



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA TĚLESA ZÁPADKY

MANUFACTURING OF BODY LATCH

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Adam Janáček

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2018

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Adam Janáček</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Kamil Podaný, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2017/18

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

## Výroba tělesa západky

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby zaobleného tělesa západky z ocelového plechu. Součástka je prostorového tvaru s otvory a bude vyráběna technologií stříhání a mělkého tažení. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

### Cíle diplomové práce:

- zhodnotit technologičnost tělesa západky,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj včetně základní výkresové dokumentace,
- provést technicko–ekonomické hodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV- 41/22674.

HELLWIG, Waldemar a Erwin SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

JANÁČEK Adam: Výroba tělesa západky.

---

Práce rieši výrobu telesa západky, ktorá slúži na uzamykanie okien, okeníc alebo dverí. Je vyrobené z plechu z ocele 11 375 o hrúbke 1 mm. Séria je 50000 kusov za rok. Ako najvýhodnejšia technológia bolo vybraté strihanie a ťahanie v združenom nástroji s dokončením v jednoúčelovom ťahadle, ktoré bude obsluhované manuálne. Z vykonaných technologických a konštrukčných výpočtov boli navrhnuté nástroje, k nim navrhnuté lisy Šmeral LDC 160 a prídavné zariadenia. V technicko-ekonomickom zhodnotení sa prišlo na to, že cena jedného dielu je 16,50 Kč a výroba sa stáva ziskovou po vyrobení 27185 kusov.

Kľúčové slova: teleso západky, oceľ 11 375, strihanie, ťahanie, postupový združený nástroj, ťahadlo

## **ABSTRACT**

JANÁČEK Adam: Manufacturing of body latch.

---

Thesis evaluates production of the body latch, which is used for window, window shutter and door locking. It is made from 11 375 steel sheet which is 1 mm thick. Annual production is 50000 pcs. Progressive cutting and drawing in one combined tool and finishing product in single operation drawing tool was chosen as most effective. Single operation drawing will be operated manually. Tools were designed by series of technological calculations to which was projected presses Šmeral LDC 160 with additional devices. According to economic valuation, cost of production of one piece is 16,50 Kč and production becomes profitable after production of 27185 pieces.

Keywords: body latch, steel 11 375, cutting, drawing, progressive combined tool, drawing tool

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

JANÁČEK, Adam. Výroba telesa západky. Brno, 2018. 56s, 3 výkresy, 4 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření. Vedúci práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

## **ČESTNÉ PREHLÁSENIE**

Týmto prehlasujem, že predkladanú diplomovú prácu som vypracoval samostatne, s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácií a pod vedením vedúceho diplomovej práce.

V Brne dňa 25.5.2018

.....

Podpis

## **POĎAKOVANIE**

Týmto ďakujem pánovi Ing. Kamilovi Podanému, Ph.D za cenné pripomienky, trpezlivosť a rady týkajúce sa spracovania diplomové práce. Tiež ďakujem rodičom za podporu pri štúdiu.

## OBSAH

Zadanie  
Abstrakt  
Bibliografická citácia  
Čestné prehlásenie  
Poďakovanie  
Obsah

ÚVOD.....	9
<b>1 ROZBOR SÚČASNÉHO STAVU .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Výrobné možnosti.....</b>	<b>11</b>
<b>2 TECHNOLÓGIA STRIHANIA A ŤAHANIA .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Technológia strihania.....</b>	<b>14</b>
2.1.1 Rozloženie výstrižkov a nástrihový plán .....	16
2.1.2 Strižná vôľa .....	16
<b>2.2 Technológia ťahania.....</b>	<b>17</b>
2.2.1 Tvar polotovaru .....	19
2.2.2 Počet operácii a súčiniteľ ťahania .....	20
2.2.3 Ťažná vôľa.....	22
2.2.4 Mazivo.....	22
<b>2.3 Sily a práce.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4 Nástroje.....</b>	<b>25</b>
2.4.1 Strižníky a strižnice.....	27
2.4.2 Ťažníky a ťažnice .....	28
<b>2.5 Stroje.....</b>	<b>29</b>
<b>2.6 Technologickosť.....</b>	<b>30</b>
<b>3 NÁVRH VÝROBY .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Tvar polotovaru .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Určenie hutného polotovaru .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3 Návrh postupu operácii.....</b>	<b>37</b>
<b>3.4 Technologické výpočty .....</b>	<b>39</b>
3.4.1 Návrh zostavy postupového nástroja .....	48
3.4.2 Návrh zostavy ťahadla .....	50
3.4.3 Návrh stroja a mazania.....	51
<b>4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE.....</b>	<b>52</b>
<b>5 ZÁVERY.....</b>	<b>56</b>

Zoznam použitých zdrojov  
Zoznam použitých symbolov a skratiek  
Zoznam obrázkov  
Zoznam tabuliek  
Zoznam príloh  
Zoznam výkresov



## ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5], [6]

Spracovanie materiálu na konečný výrobok má veľa častí, od výroby až po povrchovú úpravu. Na začiatku je vždy hmota v stave tekutom, z ktorého sa vyrába hutný polotovar, môže to byť normalizovaný tvar, ako napríklad plech, profil, trubka, alebo odliatok prispôbený formou pre jednoduchšie spracovanie do konečného produktu. Materiál sa do konečného tvaru môže dostávať rôznymi spôsobmi. V strojárenskej technológii sú to zváranie, tvárnenie, obrábanie a zlievanie.

Pri tvárnení prebieha zmena tvaru polotovaru za pomoci plastických deformácií bez tvorby triesky a teda dochádza k menšej tvorbe odpadu, ideálne žiadneho. Tvárnenie sa ďalej môže deliť na plošné a objemové, podľa toho v koľkých smeroch dochádza ku deformácii polotovaru. Do plošného sa zaradzuje napr. strihanie, ťahanie a ohýbanie, do objemového napr. kovanie, valcovanie a pretláčanie. K ďalším výhodám patrí jeho jednoduchá automatizácia a s tým spojená vysoká produktivita, dobré využitie vstupného materiálu a prijateľná rozmerová presnosť výsledných výrobkov. Príklady dielov vyrobených plošným tvárnením sú na obr.1.



Obr. 1 Súčasti vyrobené tvárnením [1], [2], [3], [4], [5], [6]

## 1 ROZBOR SÚČASNÉHO STAVU [7], [8], [9], [10]

Riešená súčasť je teleso západky, ktorú je možné vidieť na obr. 2. Táto sa používa na uzamknutie dverí, okien, alebo plotových brán (obr. 3), pričom je k nim pripevnená pomocou skrutiek, nitov alebo klincov, ktoré držia za pomoci dier na okraji. Diery sú štyri na každej strane s priemerom 3,5 mm, tolerancia ich polohy od seba je  $\pm 0,1$  mm a sú určené pre skrutky so závitom s menovitým rozmerom 3 mm. Hrúbka dielu je 1 mm, ale nie je to podmienka, ktorá je nutná pre správnu funkciu dielu. Na okraji súčasti je zaoblený okraj, ktorý dodáva dielu potrebnú tuhosť a slúži aj estetickému stránku telesa. Steny kolmé na pomyselné dno nemusia mať špeciálne geometrické ani rozmerové tolerancie. Na pravej strane je v strede diera

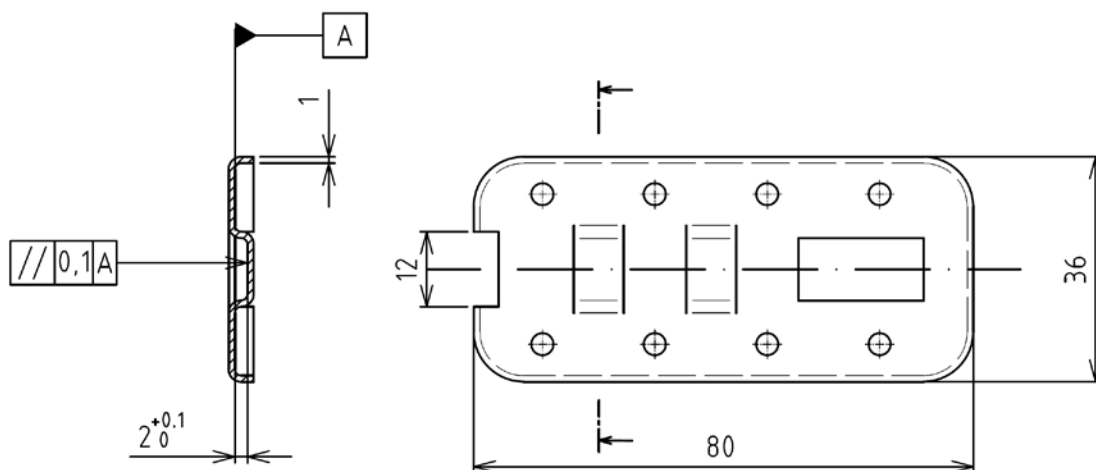


Obr. 2 Západka



Obr. 3 Použitie západky [7]

obdĺžnikového tvaru, ktorá slúži na prestrčenie dielu, ktorý má za úlohu zahasprovanie v protikuse a tak uzavretie okna alebo dverí. V strede sú smerom k druhej strane prelis, v ktorých sa kľče západka, tieto majú v hĺbke predpísanú toleranciu  $+0,1$  mm. Pre zaistenie ľahkého posuvu tejto časti je nutné predpísať toleranciu rovnobežnosti plôch, ktorých sa dotýka. Aby bolo možné západku prestrčiť cez stenu telesa bude na ľavej strane otvor, ktorý nemusí mať presný rozmer, keďže je o 2 mm väčší ako teleso západky, stačí tam len všeobecná tolerancia. Pre lepšiu orientáciu je diel možné vidieť na obr. 4.



Obr. 4 Teleso západky

Táto súčasť je určená predovšetkým do vonkajšieho prostredia, preto je nutné kvôli korózii ochrániť jej povrch. Toto môže byť docielené buď výberom korozivzdornej ocele, alebo povrchovou úpravou súčiastky. Nehrdzavejúca oceľ má množstvo výhod, k jej nevýhodám ale patrí vysoká cena. Povrchová úprava je teda lepšia alternatíva, kde je na výber veľká škála možností. Ako navyše používaná metóda sa ponúka zinkovanie, ktoré je vhodné pre malé súčasti hlavne formou odstredivého žiarového pozinkovania. Na posúdenie vhodnosti ocele na zinkovanie je potrebné zabezpečiť obsah kremíku pod 0,03 % alebo v rozsahu  $0,12 \div 0,20$  %. Toto ako najlacnejší variant spĺňajú konštrukčné ocele triedy 11, ktoré majú zaručené chemické

zloženie a je možné z nich vybrať takú, ktorá bude pre daný proces vhodná. Ako najvhodnejšia sa javí oceľ 11 375 z dôvodu jej vhodnosti k plytkému ťahaniu, prijateľnej cene a vlastnostiam, ktoré umožňujú žiarové zinkovanie. Tento materiál je dodávaný v rozmanitých normovaných tvaroch ako napr. tabule, alebo zvitky. Alternatívy značenia ocele podľa iných noriem, jej chemické zloženie a mechanické vlastnosti je možné vidieť v tabuľkách 1 až 3. Sériovosť činí 50 000 ks/rok.

Tab. 1 Značenie ocele. [10]

Norma	ČSN 42 0002	ČSN EN 10027-1	W.Nr.	DIN 17100:1980
Označenie ocele	11 375	S235JR	1.0038	St 37-2, RSt 37-2

Tab. 2 Chemické zloženie ocele 11 375. [10]

Prvok	C	Ni	P	S
% hmotnosti	max. 0,17	max. 0,007	max. 0,045	max. 0,045

Tab. 3 Mechanické vlastnosti ocele 11 375. [10]

Medza pevnosti v ťahu $R_m$ [MPa]	Zmluvná medza klzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Tvrdosť HB
360-510	max. 235	max. 225

## 1.1 Výrobné možnosti [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26]

Pri výrobe súčasti je treba brať do úvahy jej tvar, ďalšiu povrchovú úpravu, ale aj sériovosť výroby a vhodnosť vybratej technológie pre daný materiál. Pri výrobe nie je nutné, aby bola hrúbka steny telesa západky konštantná. Z hľadiska jej funkcie je ale prijateľná aj výroba bez stenčenia steny. Zahnuté sú technológie, ktorými je možné vyrobiť celý diel telesa západky. Tento je, vzhľadom na spomenuté predpoklady, možné vyrábať týmito spôsobmi:

- ♦ Odlievanie – je metóda spracovania kovu v tekutom stave, kedy je naliaty do formy a tam tuhne v požadovanom tvare. Danú súčasť by bolo možné vyrábať odlievaním do kovovej formy, alebo liatím do škrupinovej formy (obr. 5). Pri tomto by muselo dôjsť k zvýšeniu hrúbky steny, aby bola súčasť vyrobiteľná. Taktiež by nebolo možné použiť oceľ 11 375, bolo by nutné ho nahradiť materiálom vhodným pre tento typ liatia, či už liatinou alebo hliníkovou zliatinou. Odlievanie nie je veľmi presná metóda s pohľadom drsnosti povrchu, rozmerových presností, potrebných skosení na výber odliatku z formy alebo tvorby tenkých stien, preto by bolo nutné do procesu zaradiť ďalšie opracovanie obrábaním.



Obr. 5 Odlievanie do škrupinovej formy [18]

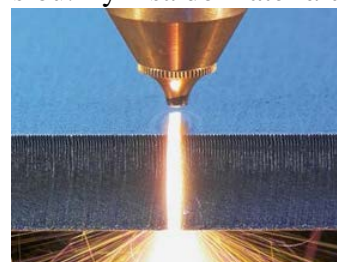
- ♦ Frézovanie (obr. 6) – trieskové obrábanie, pri ktorom je hlavný pohyb rotačný a vykonáva ho nástroj, zatiaľ čo posunový vykonáva obrobok. Pri frézovaní dochádza k postupnému odberu materiálu vo forme triesky prerušovaným rezom. Touto technológiou by sa daný diel vyrábala z jedného kusu. Pri tomto by dochádzalo k odberu veľkého objemu materiálu, ktorý by bol odpad. Znamenalo by to aj dlhé strojné časy a teda nevhodnosť z hľadiska požadovanej výrobnej série. Ak by bolo potrebné dodržanie objemu výroby, bol by nutný vysoký počet strojov, a to by bolo neekonomické z pohľadu vstupných nákladov.



Obr. 6 Frézovanie [19]



- ♦ Rezanie laserom a zváranie – pri rezaní laserom (obr. 7) sa používa zaostrený lúč monochromatického žiarenia, ktoré vzniká stimulovanou emisiou. Tým sa do materiálu vnáša teplo a dochádza k jeho taveniu až sublimácii, a tak sa oddeľuje materiál. Presnosť tejto technológie 0,05 mm je dostatočná na výrobu polotovarov pre zváranie. Hrúbka steny výrobku je 1 mm a pri nej, za použitia laseru, nedochádza k podrezaniu steny ako pri hrubších dieloch, avšak kvôli sériovosti dielu 50 000 ks by bolo jeho použitie nevýhodné.



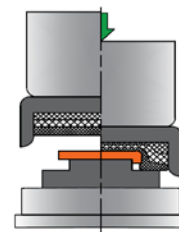
Obr. 7 Rezanie laserom [20]

Zváranie (obr. 8) je technológia výroby nerozobehateľných spojov, kedy dôjde ku spojeniu dvoch dielov vytvorením kovovej väzby medzi základnými materiálmi, prípadne prídavným materiálom. Tiež by nebolo možné vyrobiť zaoblenia v takej miere ako je požadované z estetickej stránky. Ďalej by bolo potrebné zaradiť do procesu ďalšie opracovanie zvarov. To by bolo vhodné aj kvôli ďalšej povrchovej úprave, aby sa dal zinok naniesť v požadovanej vrstve. Počas zvarovania dochádza ku vneseniu tepla do materiálu, čo je ťažšie kontrolované a môže tak dochádzať ku deformáciám dielu, ale aj k poškodeniu materiálu. Preto by bolo nutné polotovary proti tomu vymedziť, čo by s kombináciou s trieskovým obrobením viedlo k časovej, ale aj ekonomickej náročnosti výroby. Ďalšou nevýhodou by bola potreba veľa malých polotovarov a vysoký počet zvarov, čo by tiež nepriaznivo vplývalo na výrobné časy. Táto technológia nie je vhodná tiež s ohľadom na sériovosť produktu.



Obr. 8 Zváranie [21]

- ♦ Guerin – je tvárnenie nepevným nástrojom (obr. 9), kedy je kontajner naplnený plátmi, ktoré sú vyrobené z elastoméru. Tento je tlačný na materiál, ktorý sa nabaluje na matricu a je týmto tvárnený. Pri vhodnom tvare matrice môže dochádzať až k prestrihu a teda je výrobok na lise s príslušenstvom pre metódu Guerin vyrobiteľný na jeden zdvih. Prestrihnutie však sprevádza nevhodná kvalita strižnej plochy, keďže ide skôr o pretrhnutie materiálu. Táto technológia je tiež nevhodná pre požadovanú sériu kvôli opotrebovaniu elastoméru a teda jeho častej výmene, čo vedie k časovým a finančným stratám.



Obr. 9 Metóda Guerin [22]

- ♦ Vodný lúč a ťahanie – delenie materiálu prebieha vodou, ktorá je cez trysku pod vysokým tlakom vháňaná oproti materiálu (obr. 10). Voda môže byť zmiešaná s abrazívom, ktoré zlepšuje účinok rezania. Ide o studené delenie materiálu a teda nedochádza ku tepelnému ovplyvneniu materiálu. Vzhľadom na to je možné ním deliť takmer všetky typy materiálov.



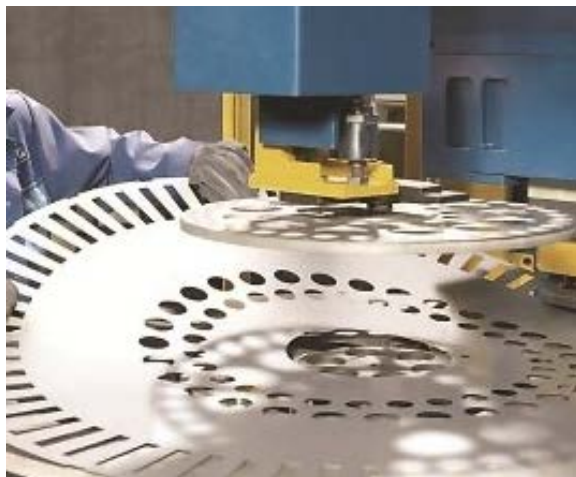
Obr. 10 Rezanie vodným lúčom [23]

Po vyrobení polotovaru by prišlo na rad ťahanie materiálu (obr. 11), čo je technológia, kedy je plochý polotovar vťahovaný medzi ťažníkom a tvorí dutú súčasť. Pri tomto môže dochádzať k stenčeniu steny polotovaru. Touto metódou by bolo možné diel vyrobiť na dva ťahy, kedy by najskôr došlo k ťahaniu rubu na okraju a potom k výrobe prelisov pre vedenie západky. Nevýhodou kombinácie týchto technológií by bola nutná manipulácia s materiálom medzi strojmi ako aj obstarávacie ceny strojov a nástrojov.



Obr. 11 Ťahanie [24]

- ♦ Strihanie a ťahanie – pri strihaní (obr. 12) sa v materiáli vyvodzujú smykové napätia vplyvom nožov a tak dochádza ku tvorbe trhliny a oddeľovaniu materiálu po obvode požadovanej súčasti. Na toto je potrebná pomerne veľká sila, ktorú je možné meniť geometriou nástroja. Strihanie má výhody v oblasti ceny a rýchlosti oproti iným technológiám delenia materiálu. Pri strihaní nedochádza k tepelnému ovplyvneniu materiálu. Ako nevýhoda by sa dala uvažovať presnosť, ktorá sa pohybuje v oblastiach IT 9 až IT 12, čo je však pre vyrábaný diel dostatočné. Ťahanie (obr. 13), by prebiehalo podľa princípu popísaného vyššie.



Obr. 12 Strihanie [25]



Obr. 13 Hlboké ťahanie [26]

Z vymenovaných technológií sa ako najvhodnejší variant výroby javí strihanie a ťahanie, ktoré môžu byť prevádzkované oddelene alebo v združenom nástroji. Združený nástroj kombinuje tieto dve operácie a vyrobí celé teleso západky. Výhoda je použitie univerzálneho tvárniaceho stroja a úspora času na manipuláciu s materiálom. Oproti tomu sa za nevýhodu môžu považovať vysoké finančné náklady na výrobu nástroja. Toto riešenie sa oplatí hlavne pri väčších sériách. Týmito technológiami sa bude zaoberať ďalšia teoretická a praktická časť práce.

## 2 TECHNOLOGIA STRIHANIA A ŤAHANIA

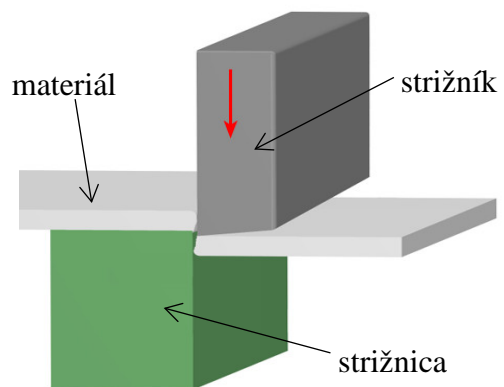
Vzhľadom na výrobné možnosti sa javí ako najlepšie použitie strihania a ťahania. Sú to vysoko produktívne tvárniace technológie, ktoré sa používajú na výrobu veľkých sérii, ale aj na kusovú výrobu jednoduchých dielov. Ako najlepší variant sa ukazuje výroba v združenom nástroji (obr. 14), ktorý kombinuje 2 a viac technológií. Týmto sa dosiahne úspora času, keďže jeden nástroj vyrobí celú súčasť, na toto je ale nutné použiť silnejší stroj kvôli potrebe väčšej sily na viac operácií. Jeho nevýhoda ešte môže byť vysoká cena a konštrukčná zložitosť, preto sa používa obvykle na väčšie výrobné série.



Obr. 14 Združený postupový nástroj [31]

### 2.1 Technológia strihania [29], [30], [27], [28], [33]

Strihanie je technologická operácia spracovania plechu, ktorá spočíva v delení materiálu vyvodzovaním šmykového napätia v požadovanom mieste za účelom vzniku nového tvaru. Je to jediná tvárniaca technológia, kedy zámerne dochádza k porušovaniu materiálu. Na toto slúži nástroj, ktorý sa skladá zo strižníku a strižnice (obr. 15). Tieto tlačia pri strihaní opačným smerom. Proces začína dosadnutím strižníku na strihaný materiál, ktorý je potom pružne deformovaný až kým nenastane prekročenie medze sklzu materiálu. Potom dochádza k plastickej deformácii. Pri dosiahnutí napätia v materiáli rovnému medzi pevnosti v strihu dochádza k tvorbe trhlín pri okrajoch strižníku a strižnice, ktoré postupujú celou hrúbkou materiálu a tým dochádza k oddeleniu jeho časti. Preto sa strihanie dá rozdeliť do niekoľkých častí, ako na obr. 16.



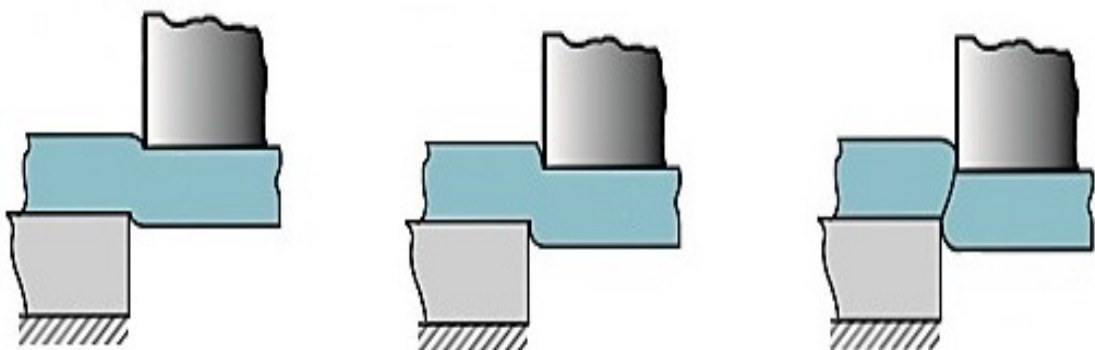
Obr. 16 Strihanie

Proces začína dosadnutím strižníku na strihaný materiál, ktorý je potom pružne deformovaný až kým nenastane prekročenie medze sklzu materiálu. Potom dochádza k plastickej deformácii. Pri dosiahnutí napätia v materiáli rovnému medzi pevnosti v strihu dochádza k tvorbe trhlín pri okrajoch strižníku a strižnice, ktoré postupujú celou hrúbkou materiálu a tým dochádza k oddeleniu jeho časti. Preto sa strihanie dá rozdeliť do niekoľkých častí, ako na obr. 16.

Elastické deformácie

Plastické deformácie

Lom a ustrihnutie

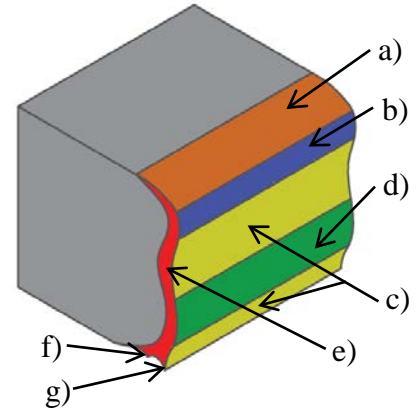


Obr. 15 Časti strihania [33]



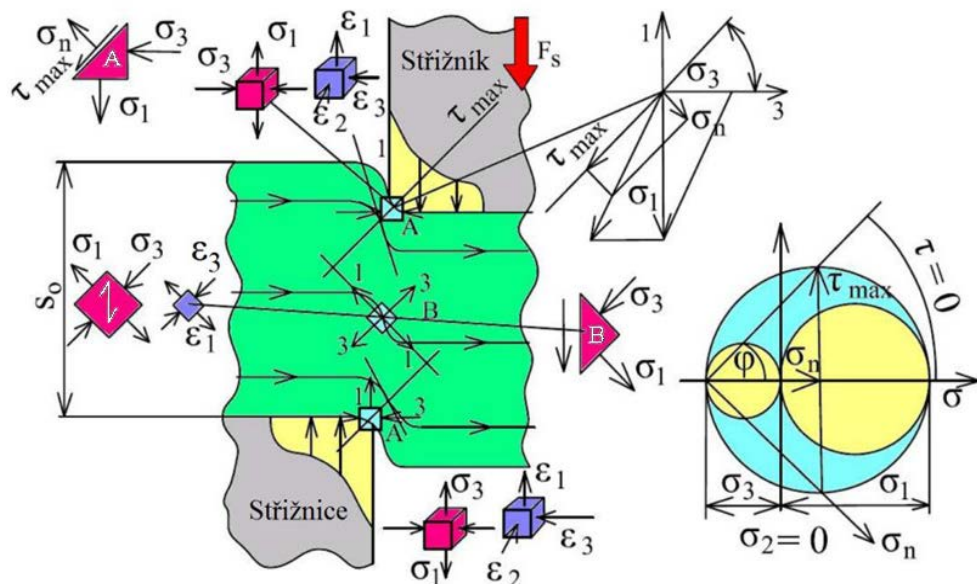
Na priereze plechu je možné rozlíšiť niekoľko pásiem, ktoré vznikajú v závislosti na vlastnostiach materiálu, veľkosti strižnej medzery, geometrii strižných hrán, alebo rýchlosti strihania. Pásma sú tvorená v rôznych časových intervaloch a majú rôzne geometrické parametre a rôzne kvality povrchu, preto. Je to spôsobené tým, že vznikajú rôznymi mechanizmami. Na obr. 17 sú oblasti:

- Zoslabenia steny – vzniká počiatočným utláčaním materiálu a tvorí 5 % až 8 % hrúbky materiálu.
- Plastického strihu – má najnižšiu hodnotu drsnosti a najpresnejší rozmer. Tvorí sa zatlačením ostria nástroja do nástroja za vzniku permanentných deformáciách. Jej veľkosť je 10 ÷ 25 % hrúbky materiálu.
- Lomu – má tvar tzv. S-krivky, kedy priehlbina vzniká hore a vystúpenie na spodnej časti. Na S-krivku má značný vplyv strižná vôľa, kedy pri veľkej vôli sa tu tvorí skosená plocha. Tvorí zhruba 80 % strižnej plochy a je možné podľa nej hodnotiť kvalitu strihania.
- Oteru – vzniká ako dôsledok trenia medzi materiálom a nástrojom, kedy najskôr vznikne oblasť c) a potom, pri ďalšom vniknutí nástroja dochádza ku vytvoreniu oblasti oteru strižníkom a rozdelenie oblasti lomu na dve časti.
- Spevnenia – oblasť spevnená procesom strihania tvorí 20 ÷ 30 % hrúbky materiálu a je daná vyčerpaním plasticity, kedy v prestrihnutej ploche sa spotrebuje úplne a v tejto oblasti dôjde k deformačnému spevneniu. Toto sa zvyšuje s otupením ostria nástroja alebo s klesajúcou tvárnosťou strihaného materiálu.
- Otlačenia – je spôsobené vniknutím strižnice do materiálu na spodnej časti.
- Otrepu – nachádza sa na spodnej časti strihaného plechu a je tým vyšší, čím je materiál tvárnejší. Tvorí sa plastickým nabalením materiálu na strižnicu. Na jeho veľkosť má vplyv aj kvalita strižnej hrany nástroja.



Obr. 17 Pásma strihania [30]

Pri strihaní sa materiál plasticky a elasticky deformuje. Na obr. 18 je znázornená deformácia pomocou vrstevníc, ktoré sa v priebehu strihania predlžujú, zvyšuje sa ich krivosť a približujú sa k sebe, čo sa navonok prejaví zmenšením hrúbky. Najväčšie ťahové hlavné napätie  $\sigma_1$  je



Obr. 18 Schéma napätosti a deformácie pri bežnom uzavretom strihaní [29]

v bodoch A, čo je na miesto, ktoré je na hrane nástroja. Napätie v tomto mieste je rovné medzi pevnosti v strihu, čo vyplýva zo vzťahu:

$$\sigma_1 = \tau_s = \frac{4}{3 \cdot \sqrt{3}} \cdot R_m, \quad (2.1)$$

kde:  $\sigma_1$  – ťahové hlavné napätie [MPa]  
 $\tau_s$  – pevnosť materiálu v strihu [MPa]  
 $R_m$  – medza pevnosti v ťahu [MPa].

Tlakové hlavné napätie  $\sigma_3$  tvorí približne polovicu  $\sigma_1$ , čo je zistené vďaka praktickým skúškam. V bodoch A je priestorový stav deformácie kvôli tomu, že je stredné napätie nenulové a zložka deviátoru  $D_{\sigma_2} = \sigma_2 - \sigma_s$ . Medzi bodmi A a B postupne dochádza ku natáčaniu roviny  $\tau_s$  a tým ku vzniku S-krivky. Spolu s tým sa mení smerom k miestu B pomer hlavných napätí a v tomto bode platí rovnosť ich veľkostí a teda vynulovania napätia  $\sigma_2$ . Pre túto oblasť je typická nerovnorodá napätosť aj deformácia. Z Mohrových kružníc je možné zistiť, že na rovinu maximálneho šmykového napätia pôsobí kolmo normálové napätie  $\sigma_n$ , ktoré je ťahové a tým sa podieľa na otváraní trhlín a ich ďalšom šírení.

### 2.1.1 Rozloženie výstrižkov a nástrihový plán [30], [31], [34]

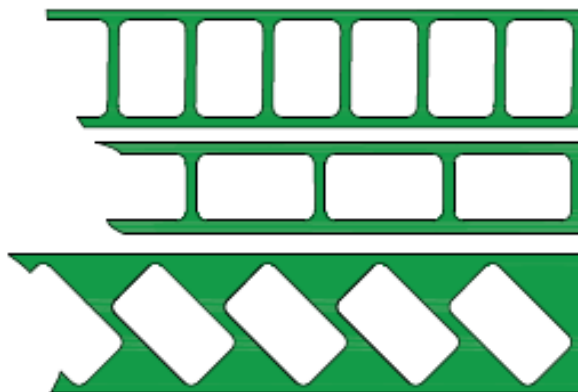
Pri strihaní nutne vzniká odpad, ktorého množstvo závisí na tvare súčasti a jej usporiadaní na páse plechu pri výrobe (obr. 19). Tento odpad sa delí na konštrukčný a technologický, ktorý je daný aj okrajom pásu plechu a mostíkmi. Rozmery mostíka a šírky okraju plechu je možné získať odčítaním z tabuľky v prílohe 2. Pri rozmiestnení výstrižkov na pás je najlepšie vybrať variantu, ktorá má najvyššie využitie materiálu. Pri tomto je však nutné zvážiť aj čo najľahšiu manipuláciu s postupnými výstrižkami. Na posúdenie objemu odpadu rôznych variant nástrihového plánu sa používa súčiniteľ využitia materiálu  $k_m$ :

$$k_m = \frac{S_v}{S_{pl}} \cdot 100 \%, \quad (2.2)$$

kde:  $S_v$  – plocha výstrižku [mm<sup>2</sup>].  
 $S_{pl}$  – plocha pásu plechu [mm<sup>2</sup>].

Súčiniteľ nad 70 % sa obvykle považuje za ekonomický, avšak môže sa pohybovať od 60 do 80 %. Ak, však je výstrižok tvarovo zložitý môže klesnúť až na 40 %.

Pri zložitejšom tvare môže byť výhodnejšie napr. ukladanie dielov sklonených o 45 °, alebo ich vzájomné pootočené.



Obr. 19 Rozmiestnenie výstrižkov

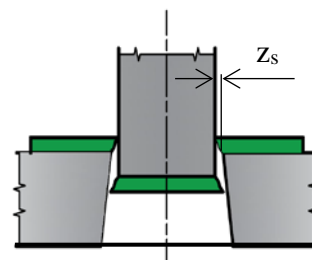
### 2.1.2 Strižná vôľa [37], [29], [34]

Voľba strižnej vôľe je jeden z hlavných parametrov technológie a značne vplýva na výslednú kvalitu vyrábaného dielu. Strižná vôľa ' $v_s$ ' je rozostup medzi nástrojmi, strižná medzera (obr. 20) ' $z_s$ ' je potom jednostranný rozdiel medzi nimi, kedy ich vzťah môže byť popísaný ako:

$$z_s = \frac{v_s}{2}, \quad (2.3)$$

kde:  $v_s$  – strižná vôľa [mm]  
 $z_s$  – strižná medzera [mm].

Strižná medzera by mala byť v ideálnom prípade rovnaká po celom obvode strihanej krivky, aby nedochádzalo k tvorbe

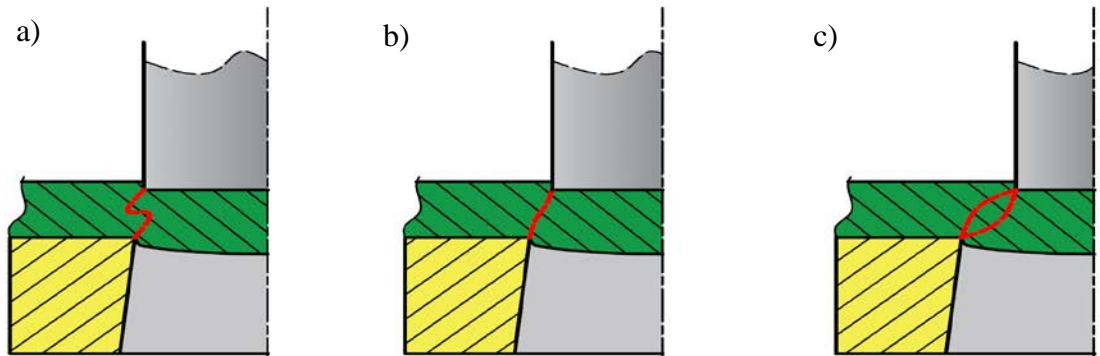


Obr. 20 Strižná medzera [34]



povrchových väd, alebo nadmerných ostrín na strižnej ploche. Veľkosť strižnej vôle ďalej ovplyvňuje aj životnosť nástroja, ale aj hlučnosť vyvíjanú pri procese či využitie energie stroja. Pri strihaní dochádza ku šíreniu trhlín od rohov oboch nástrojov a pre kvalitný výstrižok je potrebné, aby sa tieto dve trhliny spojili. Na obr. 21 sú prípady, kedy je strižná medzera:

- malá – trhliny sa nestretnú a dôjde medzi nimi k horizontálnej trhline,
- optimálna – najlepšia strižná plocha
- veľká – nastane šírenie dvoch trhlín, ale utrhnutie len jednej, čo vedie ku nepravidelnému povrchu a defektom v materiáli.



Obr. 21 Vplyv strižnej vôle na kvalitu strižnej plochy [35]

Veľkosť strižnej vôle sa odvíja od vlastností materiálu a pre plechy do hrúbky 3 mm platí:

$$v_s = c_s \cdot s_0 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s}, \quad (2.4)$$

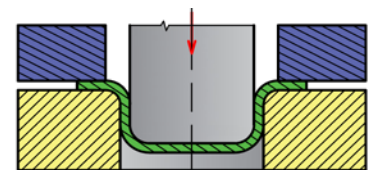
kde:  $c_s$  – koeficient, ktorý určuje druh strihania (0,005÷0,025) [-]

$s_0$  – hrúbka plechu [mm].

Vôľa môže byť pridávaná k strižníku alebo strižnici, podľa toho, či ide o vystrihovovanie obvodovej časti, alebo dierovanie, kedy vnútro výstrižku je odpad.

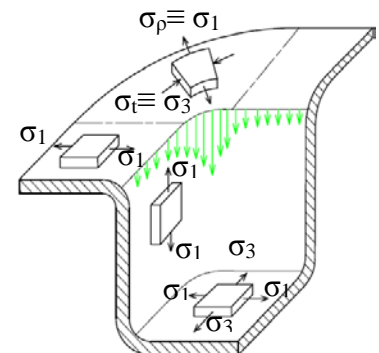
## 2.2 Technológia ťahania [29], [38]

Ťahanie spočíva v tom, že je plech vťahovaný medzi nástroje a má za úlohu výrobu dutých dielov z rovinného plechu. V technologickom postupe je často zaradzované za strihanie. Ako východiskový polotovar sa používa prístrih, ktorého tvar sa môže líšiť vzhľadom na tvar výťažku. Nástroje používané pri tomto procese sa nazývajú ťažník a ťažnica (obr. 22). Pri hlbokých výťažkoch môže byť do nástroja vkomponovaný pridržiavač, prípadne vyhadzovač, ktorý pomáha vybratiu dielu z nástroja. Ťahanie sa používa na výrobu rôzne veľkých súčastí od nábojníc po časti lodných trupov, pričom tie tvarovo zložitejšie je možné vyrobiť na viac ťahov. Samotný proces prebieha vťahovaním plechu ťažníkom do otvoru v ťažnici.



Obr. 22 Schéma ťahania

Pri väčšine napäťovo-deformačných modeloch sa uvažuje ťahanie bez stenčenia steny, avšak na konci príruby sa jej hrúbka môže zväčšiť až o 30 %, podľa toho, o ktorý ťah v poradí ide. Keďže sa toto pri ťahaní v praxi zanedbáva, je zákon zachovania objemu zjednodušený na zákon stálosti plôch. Pri ťahaní hranatých výťažkov sa v rohoch plech deformuje priestorovým ohybom a na rovných častiach ide o dvojité plošný ohyb. Ťahanie hranatých výťažkov je teda možné rozdeliť na to, ktoré prebieha v stene dielu a na jej



Obr. 23 Napätie pri ťahaní [38]

rohu. Na obr. 23 je vidieť, že v prírube na rohu nastáva stlačovanie materiálu v smere dotyčného napätia  $\sigma_t$  a jeho nat'ahovanie v smere radiálneho napätia  $\sigma_p$ , ktoré je najväčšie. Stlačovanie materiálu môže mať za následok zvlzenie materiálu, čo je možné zamedziť pridržovačom. V stene potom prebieha predlžovanie materiálu v smere relatívneho pohybu ťažníku k ťažnici a na dne výlisku dochádza ku stlačovaniu materiálu v orientácii pohybu ťažníku a jeho súčasné nat'ahovanie v ostatných smeroch.

Priebeh deformácií rohov v závislosti na rozvinutej dĺžke prístrihu sú na obr. 24 a je možné ich vypočítať pomocou vzťahov:

$$\varphi_p = \varphi_1 = \ln \frac{R_{\text{polotovar}}}{\rho}, \quad (2.5)$$

kde:  $\varphi_p$  – deformácia v radiálnom smere [-]  
 $\varphi_1$  – hlavná deformácia v smere 1 [-]  
 $R_{\text{polotovar}}$  – polomer polotovaru [mm]  
 $\rho$  – aktuálny polomer príruby [mm],

$$\varphi_t = \varphi_3 = -\ln \frac{R_{\text{polotovar}}}{\rho} \quad (2.6)$$

kde:  $\varphi_t$  – deformácia v tangenciálnom smere [-]  
 $\varphi_3$  – hlavná deformácia v smere 3 [-],

$$\varphi_2 = -\ln \frac{s_0}{s} \quad (2.7)$$

kde:  $\varphi_2$  – hlavná deformácia v smere 2 [-]  
 $s$  – výsledná hrúbka plechu [mm].

Maximálne hodnoty nadobúdajú pri dosadení za  $R$ ,  $D_0$  a za  $\rho$  vonkajší polomer výťazku.

Pri riešení veľkosti napätí (obr. 25) podľa Šofmana sa vychádza z podmienky rovnováhy síl na rovinnom elemente v prírube. Po zanedbaní malých veličín je vyjadrená rovnica:

$$\frac{d\sigma_p}{d\rho} + \frac{\sigma_p - \sigma_t}{\rho} = 0. \quad (2.8)$$

Táto riešením za podmienky plasticity:

$$\sigma_p - \sigma_t = \xi \cdot \sigma_p, \quad (2.9)$$

kde:  $\sigma_p$  – pretvárný odpor [MPa]  
 $\xi$  – Lodeho súčiniteľ (pre ťahanie 1,1) [-].

Okrajové podmienky:

$$\rho = r_1 \text{ a } \sigma_p = 0, \quad (2.10)$$

kde:  $r_1$  – vnútorný polomer príruby [mm].

Z toho sa dajú vyjadriť vzťahy pre radiálne a dotyčné napätie:

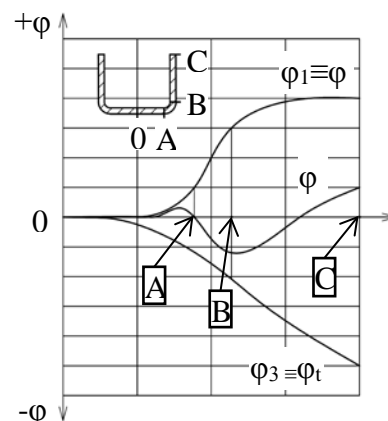
$$\sigma_p = \xi \cdot \sigma_{ps} \cdot \ln \frac{R_{\text{polotovar}}}{\rho}, \quad (2.11)$$

$$\sigma_t = -\xi \cdot \sigma_{ps} \cdot \left(1 - \ln \frac{R_{\text{polotovar}}}{\rho}\right) \quad (2.12)$$

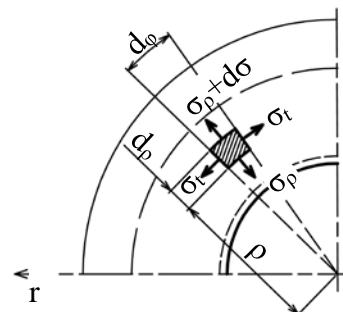
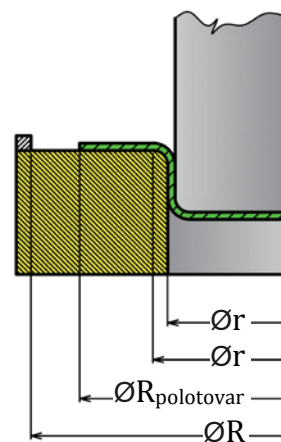
kde:  $\sigma_{ps}$  – stredný pretvárný odpor [-].

Napätie sa mení v závislosti na polohe smerom od osi výťazku po okraj príruby.

Pri ťahaní je najväčšia deformácia a napätie prítomné v prírube, ale z hľadiska možných defektov pri tvárnení je kritické miesto v zaoblení a ploche dna, hlavne na rohoch.



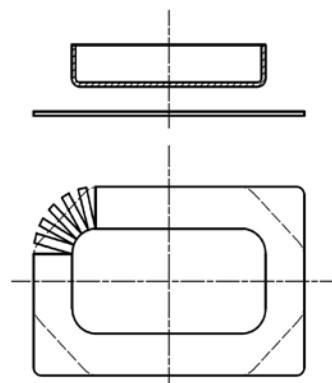
Obr. 24 Deformácie v závislosti na polomere rozvinutého prístrihu [29]



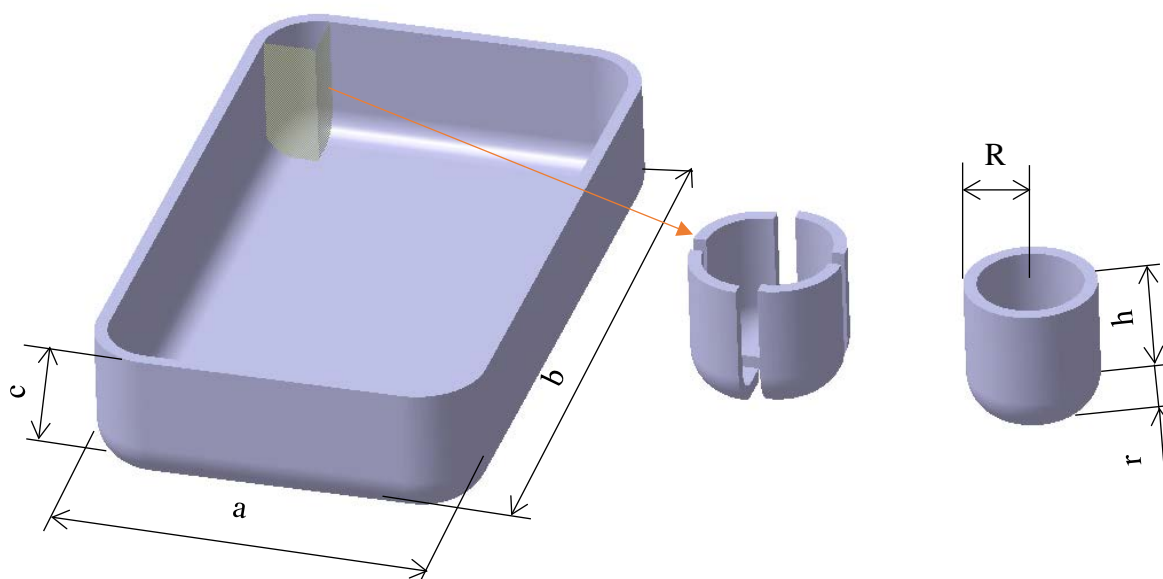
Obr. 25 Schéma ťahania s prírubou [29]

### 2.2.1 Tvar polotovaru [39], [40], [28]

Návrh vhodného polotovaru na ťahanie je pomerne zložitá úloha kvôli tomu, aby nedochádzalo k zbytočnému odpadu a neúnosnému napätiu z hľadiska materiálových charakteristík dielu. Pri nadbytku materiálu, môže dochádzať k nepravidelnostiam v horných okrajoch stien, zvyšovaniu hrúbky alebo trhaniu materiálu. Na obrázku 26 je vidieť približný teoretický prístrih a jednoduchý polotovar, ktorý by bol použitý v praxi je na obrázku čiarkovaný. Stanovenie veľkosti a tvaru polotovaru je teda značne náročné, hlavne u zložitejších súčastí. Na toto sa používajú grafické alebo výpočtové metódy alebo ich kombinácia. Materiál by mal byť dostatočným spôsobom zatečený do rohov a zároveň s čo najmenším objemom odpadu. Pre to sa upravujú hlavne rohy materiálu. Pri ťahaní hlbokých výťazkov za použitia pridržovača je potrebné navýšiť okraje prístrihu o rozmer, ktorý zaručuje funkciu pridržovača až do konca operácie. Pri návrhu polotovaru teda treba vziať do úvahy tvar produktu, použitie pridržovača, brzdiacich rebier a to, či dôjde na konci procesu k odstrihnutiu nadbytočnej časti výlisku. Každý hranatý výťazok musí mať v rohoch zaoblenia a teda je možné ho rozdeliť na rovné steny a hranové časti, ktoré, ak sú na každom rohu rovnaké, tvoria rotačnú



Obr. 26 Prístrih [40]



Obr. 27 Teoretické odrezanie rohov hranatého výťazku [40]

súčasť tvaru kalíšku, ako na obr. 27. Preto je možné vyhradiť množstvo kovu, ktoré by tam malo zatiecť tak, ako pri podobnej súčasti valcového tvaru. Podľa ČSN 22 7303 sa tvar prístrihu určuje takto:

a) Stanoví sa  $r_0$ , polomer prístrihu v rohu podľa vzorca:

$$r_0 = \sqrt{0,25 \cdot (2R_s)^2 + 2R_s \cdot (h + 0,57r_s) - 0,14r_s^2}, \quad (2.13)$$

kde:  $r$  – polomer dna výťazku [mm]

$h$  – výška rovnej strany výťazku [mm]

$R_s$  – vnútorný polomer zaoblenia rohu dielu [mm]

$r_s$  – vnútorný polomer zaoblenia dna výťazku [mm].

Ak je  $10r < R$  tak:

$$r_0 = \sqrt{0,25 \cdot (2R_s)^2 + 2R_s \cdot (h + r_s - s_0)}. \quad (2.14)$$

b) Vypočíta sa rozvinutá dĺžka  $h_s$  v pozdĺžnych rohoch:

$$h_s = 0,57r_s + h + R_s. \quad (2.15)$$

c) Vypočíta sa koeficient  $x$ :

$$x = 0,074 \cdot \left(\frac{r_0}{2R_s}\right)^2 + 0,982. \quad (2.16)$$

d) Určí sa redukovaný polomer  $R_0$ :

$$R_0 = x \cdot r_0. \quad (2.17)$$

e) Určí sa koeficient  $y$ :

$$y = \frac{\pi}{4} (x^2 - 1). \quad (2.18)$$

f) Určí sa zmenšenie rozvinutej dĺžky  $h_{sa}$ :

$$h_{sa} = y \cdot \frac{r_0^2}{a_{rd}}, \quad (2.19)$$

kde:  $a_{rd}$  – dĺžka nezaobleného dna:  $a_{rd} = a - 2R$  [mm].

g) Určí sa zmenšenie rozvinutej dĺžky  $h_{sb}$ :

$$h_{sb} = y \cdot \frac{r_0^2}{b_{rd}}, \quad (2.20)$$

kde:  $b_{rd}$  – dĺžka nezaobleného dna:  $b_{rd} = b - 2R$  [mm].

h) Takéto hodnoty sa vynesú spôsobom ako je zobrazené na prílohe 1, kedy krivka 1-3 a 2-3 je plynule napojená tak, aby sa dotýkala bodov 1, 3 resp. 2, 3. Obrázok je uvedený v prílohe 1.

Ďalšia možnosť ako tvar rohu prístrihu určiť je graficko-početne podľa obr. 28:

a) Určenie rozmeru  $L$ :

$$L = h + r + 0,57r_s, \quad (2.21)$$

kde:  $L$  – rozmer ohýbanej strany [mm].

b) Výpočet redukovaného polomeru  $R_0$ :

pre  $R_s = r_s$

$$R_0 = \sqrt{2 \cdot R_s \cdot (h + r)}. \quad (2.22)$$

pre  $R_s \neq r_s$

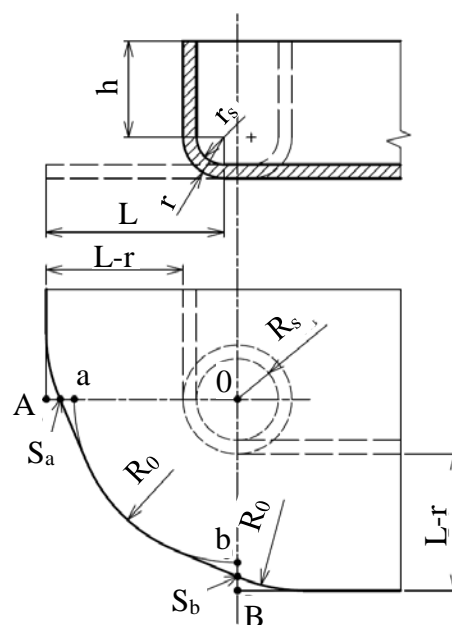
$$R_0 = \sqrt{R_s^2 + 2 \cdot (h + r) \cdot R_s - 0,86 \cdot r_s \cdot (R_s + 0,16 \cdot r_s)} \quad (2.23)$$

c) Zostroja sa kolmice  $0A$  a  $0B$  a kružnica  $R_0$ , ktorá vytvorí body  $a$  a  $b$ .

d) Body  $S_a, S_b$  vzniknú rozpolením úsečky  $Aa$  resp.  $Bb$ .

e) Spravenie dotýčnice ku kružnici  $R_0$  vedúce bodmi  $S_a, S_b$ .

f) Zaoblenie vzniknutých ostrých rohov polomerom  $R_0$ .



Obr. 28 Tvar rohu polotovaru [39]

### 2.2.2 Počet operácií a súčiniteľ ťahania [41], [40], [28],

Ťahanie je operácia, pri ktorej sa značne namáha materiál, preto niekedy nie je možné urobiť touto technológiou celý diel na jedenkrát, vtedy ide o tzv. viacoperačné ťahanie. To je pre ťahanie nerotačného výt'ážku značne zložité a je ovplyvnené množstvom faktorov:

- veľkosť výt'ážku
- zaoblenie v rohoch
- zaoblenie na dne výt'ážku
- tvar prístrihu
- pomer medzi dĺžkou steny a zaoblením v rohu

- konštrukcia nástroja
- rýchlosť ťahania
- mazivo použité pri procese
- spôsob upnutia nástroja na lise.

Z toho najväčší dopad na určenie počtu ťažných operácií má práve veľkosť zaoblenia v rohoch a výška výtlačku je na nej priamo závislá. Ako jedna možnosť na vyjadrenie tejto závislosti je diagram podľa Romanovského, ktorý je možné vidieť na obr. 29. Krivky M a N vyjadrujú hranicu pre oblasť, kde je možné výrobok vytiahnuť na jeden ťah, podľa pomernej výšky dielu:

$$N \rightarrow \frac{s_0}{D_0} \cdot 100 = 2 \quad (2.23)$$

kde: N – krivka N na grafe  
 $s_0$  – hrúbka polotovaru [mm]  
 $D_0$  – priemer prístrihu [mm],

$$M \rightarrow \frac{s_0}{D_0} \cdot 100 = 0,6 \quad (2.24)$$

kde: M – krivka M na grafe.

Oblasti označené ako 1 sú časti, kde treba zaradiť do procesu dve a viac ťahaní, v oblasti 2 ide o ťahanie na jednu operáciu, kedy v 2a sa výška výtlačku nemení, v 2b sa výška zväčší a 2c narastá značne, kvôli veľkému premiestňovaniu materiálu z rohov do stien dielu. Pri ťahaní za použitia viac krokov dochádza k redukcii rohového zaoblenia o 35 až 40 % a zároveň o zmenšenie polomeru ako na obr. 30. Tým sa rovnomernejšie rozloží napätie v materiáli a tiež dôjde k dosiahnutiu rovnomernej hrúbky steny. Redukcia polomeru spôsobí ťahanie kovu a následné lepšie pretváranie materiálu.

Na charakterizovanie procesu pri jednotlivých ťažných operáciách sa používa súčiniteľ ťahania, ktorý predstavuje pretvorenie v danom kroku:

$$m_n = \frac{R_{(n)}}{R_{(n-1)}}, \quad (2.25)$$

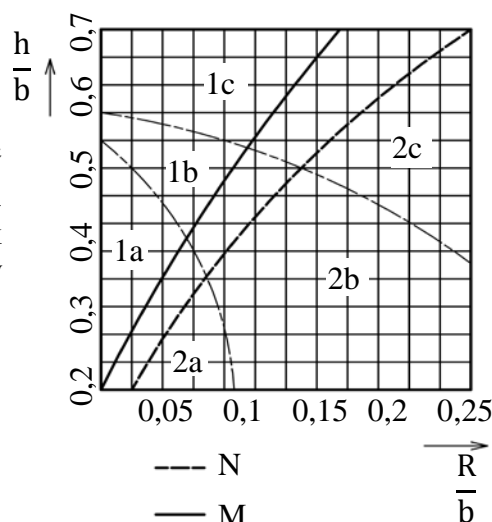
kde:  $m_n$  – súčiniteľ ťahania pre n-tú operáciu [-]  
 $R_{(n)}$  – polomer zaoblenia stien v n-tom kroku [mm]  
 $R_{(n-1)}$  – polomer zaoblenia stien v n-1-tom kroku, pri prvom kroku sa nahrádza polomerom prístrihu  $R_c$ . [mm].

Tento tvar je možné použiť aj pre ťahanie krabicových tvarov osovo symetrických dielov. Limitná hodnota tohto súčiniteľa je obvykle 0,75 pri ťahaní bez pridržiavača, s ním môže byť až 0,25. Ak tento vyjde nižší, je treba vykonať viacoperačný proces.

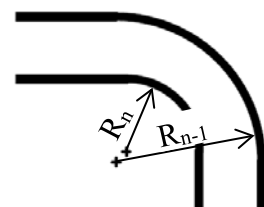
To je ale vypovedajúce len o jednej operácii, keď je nutné popísať celý výrobný proces je vhodnejšie použiť celkový súčiniteľ ťahania:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_n, \quad (2.26)$$

kde:  $m_c$  – celkový súčiniteľ ťahania [-]  
 $m_1$  – súčiniteľ ťahania pre 1. operáciu [-]  
 $m_2$  – súčiniteľ ťahania pre 2. operáciu [-]  
 $m_3$  – súčiniteľ ťahania pre 3. operáciu [-].



Obr. 29 Romanovského diagram [41]



Obr. 30 Redukcia polomeru [28]

### 2.2.3 Ťažná vôľa [29], [27]

Podobne ako pri strihaní, je vôľa a medzera medzi nástrojmi, aj u ťahania (obr. 31), kedy má byť väčšia ako hrúbka plechu tak, aby materiál mohol optimálne tiecť. Ťažná medzera podľa ČSN 22 7303 pri hranatých výt'ažkoch je v rohoch iná ako v pozdĺžnych stenách, kedy sa v rohoch určuje ako:

$$z_{t_{\text{roh}}} = (1,30 \div 1,40) \cdot s_0, \quad (2.27)$$

kde:  $z_{t_{\text{roh}}}$  – ťažná vôľa v rohu výt'ažku [mm].

Ťažná vôľa pri ťahaní stien sa vypočíta ako:

$$z_{t_{\text{stena}}} = (1,15 \div 1,30) \cdot s_0, \quad (2.28)$$

kde:  $z_{t_{\text{stena}}}$  – ťažná vôľa pri stene výt'ažku [mm].

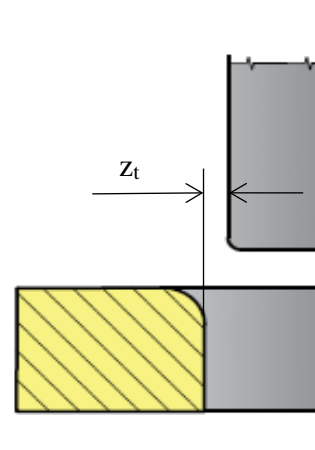
Ďalšia možnosť výpočtu ťažnej medzery je podľa Oehlerova vzťahu:

$$z_t = s_0 + k_{\text{Oehler}} \cdot \sqrt{10 \cdot s_0}, \quad (2.29)$$

kde:  $z_t$  - ťažná medzera [mm]

$k_{\text{Oehler}}$  – koeficient vo vzťahu podľa Oehlera (pre oceľ 0,07) [ $\sqrt{\text{mm}}$ ].

Ak je medzera väčšia, môže dochádzať ku zvlneniu okrajov výrobku, ak je menšia, môže nepriaznivo ovplyvniť ťažnú silu, prípadne môže spôsobiť až utrhnutie dna výt'ažku.



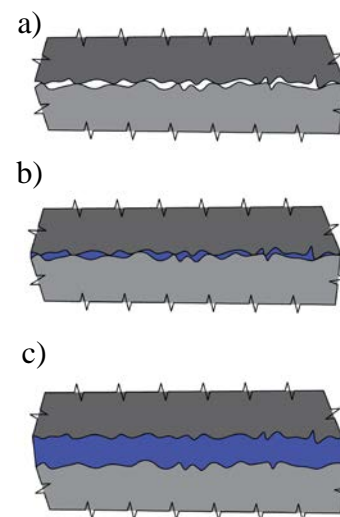
Obr. 31 Ťažná medzera

### 2.2.4 Mazivo [42], [43], [40]

Pri procese ťahania dochádza k značnému treniu medzi nástrojom a tvárneným dielom, pričom je snaha o jeho zníženie v niektorých miestach. Toto je dosiahnuteľné voľbou vhodného maziva. Kvôli úsporám sa toto nanáša len na časť polotovaru, na ktorej je potrebné dosiahnuť čo najmenší odpor voči vťahovaniu. Pri ťahaní ide o zaoblenie na strane ťažnice, kvôli tomu, že tam prebieha najväčší posun materiálu vzhľadom k nástroju, spoločne s ich kontaktom. Teda súčiniteľ ťahania je závislý na rýchlosti ťahania, teplote procesu, atď. Trenie má vplyv aj na kvalitu výsledného povrchu materiálu, trvanlivosť nástroja, ale aj na zníženie tvárniacich síl.

Trenie je možné z hľadiska vrstvy maziva rozdeliť na:

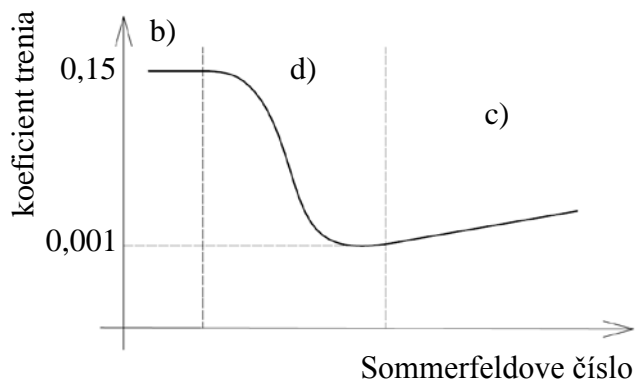
- suché – kedy dochádza ku styku a vzájomnému pohybu dvoch povrchov (obr. 32a) bez prítomnosti maziva
- medzné – ak je medzi trecími plochami (obr. 32b) vrstva maziva do 0,1  $\mu\text{m}$
- hydrodynamické – ak sú povrchy oddelené dostatočnou vrstvou maziva (obr. 32c) a dochádza len k vnútornému treniu v kvapaline
- zmiešané (obr. 32d) – je kombináciou medzného a hydrodynamického mazania, kedy v určitých úsekoch dochádza k jednému a v iných k druhému. Toto trenie je prítomné v procese tvárnenia.



Obr. 32 Typy trenia [47]



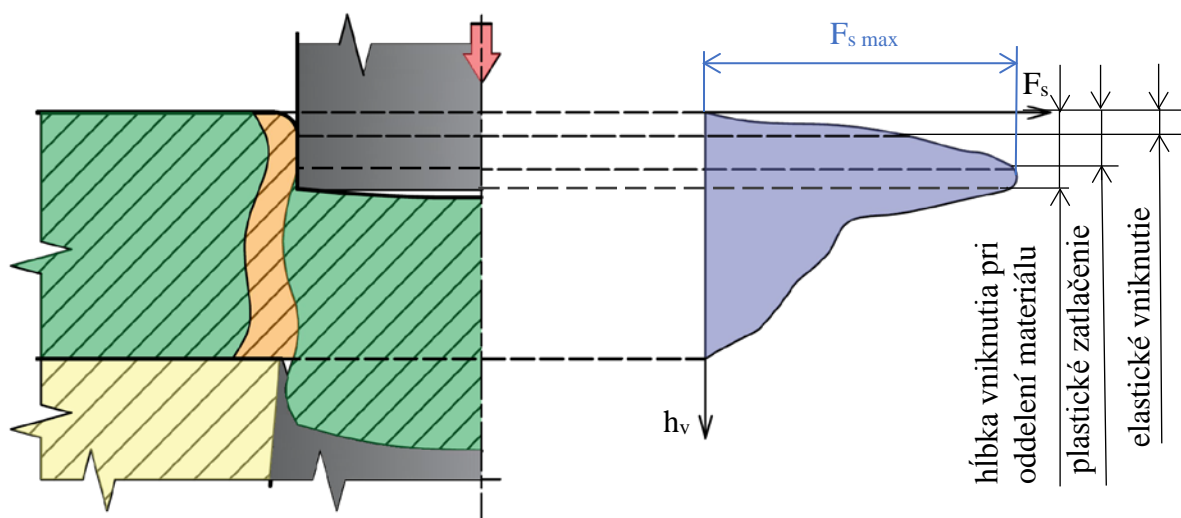
Voľba vhodného maziva je teda dôležitá súčasť procesu a je možné zvoliť z mnohých typov. Ak je to možné, používa sa kvapalné mazivo, hlavne pri ťahaní plytkých výťažkov. Tieto môžu byť na bázy oleja alebo mydlovej či tukovej emulzie. Mazivo môže mať okrem lepšieho priebehu samotného procesu na starosti aj ľahšie vyberanie telesa z nástroja alebo ich chladenie. Správny typ maziva je obvykle vybraný na základe skúšok konkrétneho procesu, ale pri bežných materiáloch sa uchýľuje k použitiu vyskúšaných a osvedčených mazadiel.



Obr. 33 Stribeckov diagram [43]

### 2.3 Sily a práce [44], [39], [43]

Tvárnenie prebieha pomocou sily pôsobiacej cez nástroj do tvárneného dielu a jej veľkosť je nutné poznať kvôli správne návrhu nástroja a výberu správneho stroja. Pri strihaní je práca závislá na hĺbke vniknutia nástroja  $h_v$  (obr. 34), kedy najskôr prudko rastie kvôli spevneniu v materiáli vplyvom elastických a plastických deformácií až po jej maximálnu hodnotu  $F_{s \max}$ .



Obr. 34 Sila pri strihaní v závislosti na hĺbke vniknutia nástroja [29]

Následne dochádza k jej miernemu poklesu, kedy sa v materiáli začínajú tvoriť prvé trhliny (tvorba tzv. nástrihu) až dôjde strižník do hĺbky, kedy sa oddelí materiál lomom v tvare S - krivky. Potom sila postupne klesá, pričom zmena rýchlosti klesania je daná oterom kriviek tvaru S o seba. Maximálnu strižnú silu je možné vypočítať ako:

$$F_{s \max} = n_s \cdot s_0 \cdot l_s \cdot \tau_s, \quad (2.30)$$

kde:  $F_{s \max}$  – maximálna strižná sila [N]

$n_s$  – koeficient opotrebenia nástroja (1,2÷1,55) [-]

$l_s$  – obvod strihanej krivky [mm].

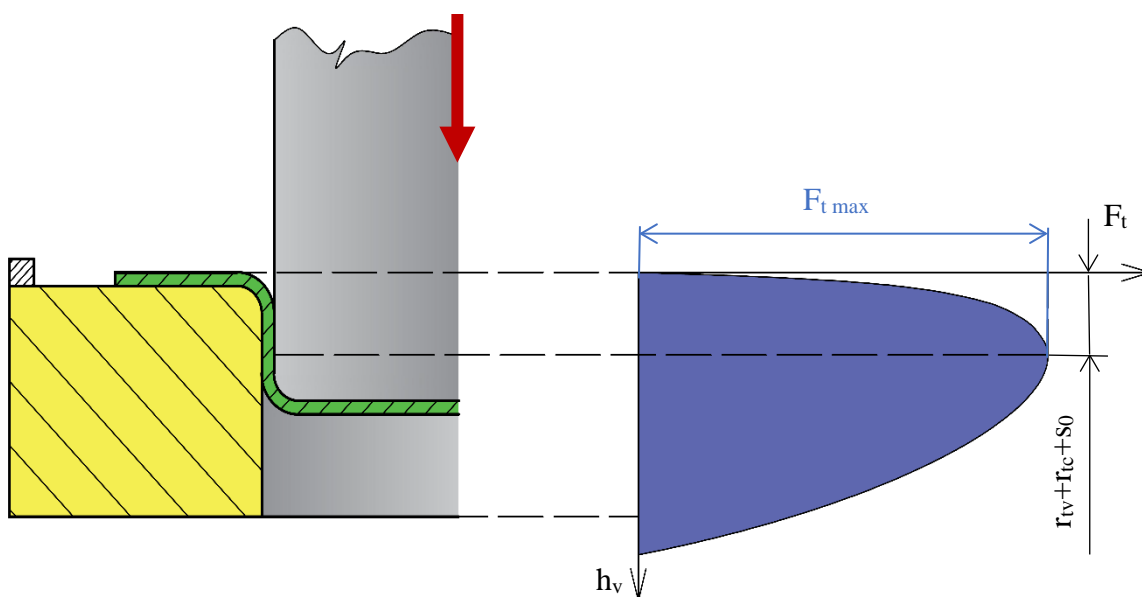
So silou súvisí práca, ktorú musí vykonať stroj na uskutočnenie operácie strihania, a tá sa dá určiť ako veľkosť plochy pod krivkou priebehu sily počas procesu, na obr. 34 fialovo. Ak ide o strihanie rovnobežnými nožmi platí vzorec:

$$A_s = \lambda \cdot F_{s \max} \cdot s_0, \quad (2.31)$$

kde:  $A_s$  – strižná práca [J]

$\lambda$  – súčiniteľ plnosti grafu [-], ktorý je rozdielny pre rozličné druhy materiálu podľa jeho tvrdosti a je možné ho určiť z grafu v prílohe 3, kde je uvedená jeho závislosť na hrúbke polotovaru.

Pri ťahaní sila (obr. 36) rastie s hĺbkou vniknutia nástroja až po jej maximálnu hodnotu, ktorú dosiahne pri hĺbke vniku nástroja približne rovná súčtu zaoblenia ťahadiel a hrúbky polotovaru. Pri ťahaní hranatých výtlačkov je možné vypočítať celkovú potrebnú silu ako súčet



Obr. 35 Sila pri ťahaní v závislosti na hĺbke vniknutia nástroja [29]

sily na vytiahnutie teoretického rotačného dielu zloženého z rohov konečného tvaru (zobrazené na obr. 27) a sily potrebnej na tvárnenie stien:

$$F_t = F_{t1} + F_{t2}, \quad (2.32)$$

kde:  $F_t$  – celková ťažná sila [N]

$F_{t1}$  – ťažná sila potrebná na vytiahnutie teoretického rotačného dielu [N]

$F_{t2}$  – ťažná sila potrebná k ťahaníu stien [N].

Sila na vytiahnutie teoretického dielu:

$$F_{t1} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot s_0 \cdot R_m \cdot k_{t1}, \quad (2.33)$$

kde:  $R_m$  – medza pevnosti materiálu výtlačku [MPa]

$k_{t1}$  – koeficient ťahania určujúci vplyv hĺbky výtlačku[-], ktorý nadobúda hodnoty od 0,5 do 2, kedy 0,5 je pre plytké ťahanie.

Sila potrebná na ťahanie zvislých stien sa dá vypočítať pomocou vzorca:

$$F_{t2} = L_{t2} \cdot s_0 \cdot R_m \cdot k_{t2}, \quad (2.34)$$

kde:  $L_{t2}$  – dĺžka rovných stien vyťahovaného dielu [mm]

$k_{t2}$  – koeficient ťahania určujúci vplyv ohybu steny cez ťažnú hranu [-], ktorý nadobúda hodnoty od 0,2 do 1, podľa toho, či je použitá sila od pridržiavača



a zohľadňuje aj kvalitu ťažnej hrany. Pre ťahanie bez pridržiavača a so správnou hranou nástroja je rovný 0,2.

Tieto dve sily teda súčtom (rovnica 2.35) určujú veľkosť celkovej ťažnej sily, do ktorej je pri použití mechanického lisu nutné zaradiť ešte korekčný súčiniteľ, ktorý zahŕňa to, že stroj nepracuje konštantnou silou v celej dĺžke výťazku:

$$F_t = s_0 \cdot R_m \cdot (2 \cdot \pi \cdot R \cdot k_{t1} + L_{t2} \cdot k_{t2}) \cdot k_{kor}, \quad (2.35)$$

kde:  $k_{kor}$  – korekčný súčiniteľ [-] z tabuľky 4.

Tab. 4 Korekčný súčiniteľ  $k_{kor}$  v závislosti na dĺžke dielu. [40]

dĺžka výťazku [mm]	50 až 75	75 až 100	100 až 150
$k_{kor}$ [-]	1,75	2	2,5

Práca pri ťahaní sa dá vyjadriť ako:

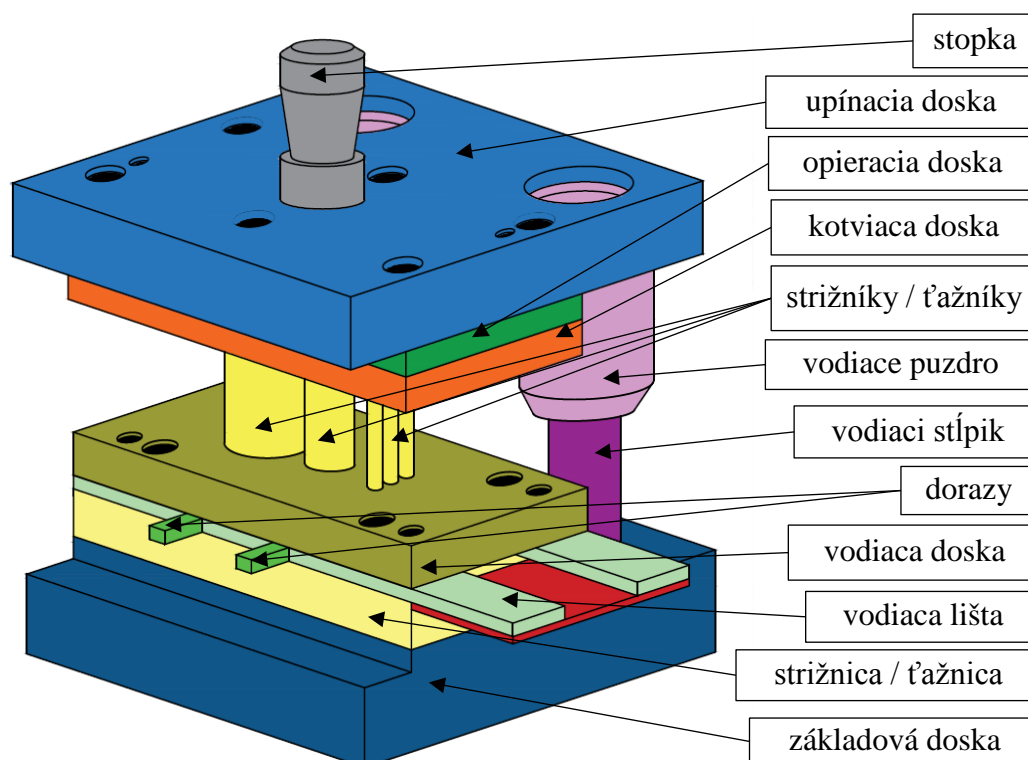
$$A_t = \frac{C_t \cdot F_t \cdot (h + R)}{1000}, \quad (2.36)$$

kde:  $A_t$  – ťažná práca [kJ]

$C_t$  – koeficient plnosti grafu [-] je vyjadrením rozdielom medzi plochou grafu a skutočným priebehom sily v závislosti na dráhe. Nadobúda hodnoty od 0,66 po 0,8 tak, že pre bežné ťahanie je najmenší a pre kalibrovanie najväčší.

## 2.4 Nástroje [44],[45] [46], [29], [37], [39], [43]

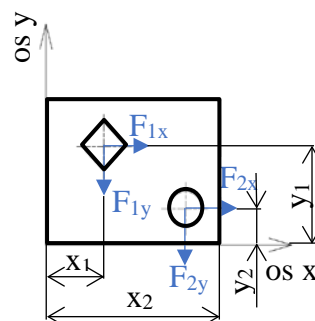
Na prenášanie sily do tvárneného dielu sa používa nástroj (obr. 36), ktorý v prípade ak je združený kombinuje 2 a viac technológií. Týmto sa dosiahne níženie časov potrebných na manipuláciu a zrýchlenie výroby. Naopak za nevýhodu takýchto nástrojov by sa dala považovať ich cena, zložitosť alebo potreba stroja s vyššou menovitou silou.



Obr. 36 Nástroj [29]

Časti nástroja sa dajú rozdeliť na pasívne a činné. Medzi pasívne patrí:

- ❖ Upínacia doska – nachádza sa na vrchu nástroja a zaisťuje upevnenie nástroja v stroji.
- ❖ Opieracia doska – slúži ako ochrana upínacej dosky proti otláčaniu upínacej dosky vplyvom tvárniacich síl a preto býva vyrobená z tvrdého materiálu.
- ❖ Kotviaca doska – na ktorú sa upevňujú strižníky/ťažníky tým, že je v nej diera, cez ktorú sa upínaný diel prestrčí tak, že drží za rozšírenie v jeho hornej časti.
- ❖ Vodiaci stĺpik a puzdro – slúži na vedenie a vystredenie pohyblivej a nepohyblivej časti nástroja. Puzdro býva zalisované v upínacej doske a je možné ho z konštrukcie nástroja vynechať.
- ❖ Vodiaca doska – má za úlohu vedenie strižníkov/ťažníkov a používa sa vtedy, keď by mohlo dôjsť k strate ich vzpernej stability
- ❖ Vodiaca lišta – používa sa na vedenie pásu plechu
- ❖ Dorazy – zabezpečujú dĺžku kroku alebo rovnakú polohu plechu pri každom zdvihu nástroja.
- ❖ Základová doska – zabezpečuje upevnenie spodnej časti nástroja. Býva spravidla rozmerovo väčšia ako strižnica/ťažnica, lebo býva ku stroju upevnená pomocou úpiniek
- ❖ Stopka – používa sa na upevnenie nástroja do výstredníkového lisu a je umiestnená na mieste kde pôsobí výslednica síl. Ak by to tak nebolo, nástroj by bol namáhaný dodatočnými momentami, ktoré by viac zaťažovali stroj, znížili presnosť výstrižku ale aj znížili životnosť nástrojov. Výpočet ťažiska síl vychádza z rovnováhy momentov k ose kolmej na smer pohybu nástroja. Polohu ťažiska v ose x je možné popísať podľa obrázku 37 ako:



Obr. 37 Určenie ťažiska

$$X = \sum_{i=1}^n \frac{F_{ix} \cdot x_i}{F_x} = \frac{F_{1x} \cdot x_1 + F_{2x} \cdot x_2 + \dots + F_{nx} \cdot x_n}{F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx}} \quad (2.37)$$

a pre os y sa počíta podobne:

$$Y = \sum_{i=1}^n \frac{F_{iy} \cdot y_i}{F_y} = \frac{F_{1y} \cdot y_1 + F_{2y} \cdot y_2 + \dots + F_{ny} \cdot y_n}{F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny}}, \quad (2.38)$$

kde: X, Y, - súradnice pôsobiska výslednej sily [mm]

$F_{ix}, F_{iy}$  - sily, ktoré pôsobia v smere osi x alebo y [N]

$x_i, y_i$  - vzdialenosť pôsobiska sily  $F_{ix}$  alebo  $F_{iy}$  od osi x prípadne y [mm]

$F_x, F_y$  - celková sila pôsobiaca v smere x alebo y [N].

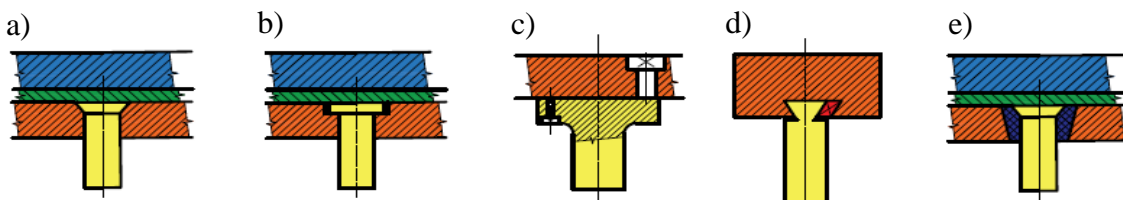
Materiály používané na tieto diely je možné vidieť v tabuľke:

Tab. 5 Materiály častí nástroja. [44]

Diel nástroja	Materiál	
	Oceľ	Oceľ pre náročnejšie podmienky
Upínacia doska	11 500	-
Základová doska	11 500, liatina 42 2456	-
Vodiaca doska	11 500	-
Stopka	11 600	-
Vodiace puzdrá, stĺpiky	11 500	14 220
Opieracia doska	11 700, 12 050	-
Kotviaca doska	11 500	-
Vodiace lišty	11 600, 14 220	-

## 2.4.1 Strižníky a strižnice [46], [44], [50], [30], [37], [45]

Činnými časťami nástroja pri strihaní sú strižník a strižnica. Strižník je časť nástroja, ktorá obvykle býva v jeho pohyblivej časti a jeho tvar je daný tvarom výstrižku a spôsobom upevnenia. Upevnenie môže byť roznitovaním (obr. 38a), alebo odsadením (obr. 38b), ak to priestor medzi strižníkmi dovoľuje, je možné upnutie za prírubu (obr. 38c). Ďalším spôsobom je použitie klinku alebo skrutky (obr. 38d). Ak ide o výstrižok zložitejšieho tvaru používa sa upnutie zaliatím živicom (obr. 38e).



Obr. 38 Upevnenie strižníkov [50]

Strižník malých rozmerov je možné vyrobiť z jednej časti, pri väčších rozmeroch sa vyrábajú ako tzv. delené, kedy sa menej dôležitá časť môže vyrobiť z lacnejšieho materiálu. Pri použití delených strižníkov je nutné, aby ich časti boli súosové. Dierovacie strižníky sa môžu vyrábať ako valcové alebo osadené, ktoré sú na konci zúžené na požadovaný priemer diery. Toto sa uplatňuje kvôli tomu, aby nedošlo k vzperu. Pri návrhu je nutné overiť diel na vzper, teda určiť kritickú silu pri ktorej dôjde k strate vzpernej stability:

$$F_{\text{krit}_{vz}} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} = F_s \cdot k_{vzper}, \quad (2.39)$$

kde:  $F_{\text{krit}_{vz}}$  – kritická sila pre vzper [N]

$I$  – moment zotrvačnosti prierezu strižníku [ $\text{mm}^4$ ]

$l$  – voľná dĺžka strižníku [mm]

$k_{vzper}$  – koeficient bezpečnosti pri vzpere [-].

Ak pri výpočte dochádza ku vzperu, je možné skrátiť voľnú dĺžku použitím vodiacej dosky.

Pri návrhu strižníku je tiež potrebné overiť otláčenie nástroja:

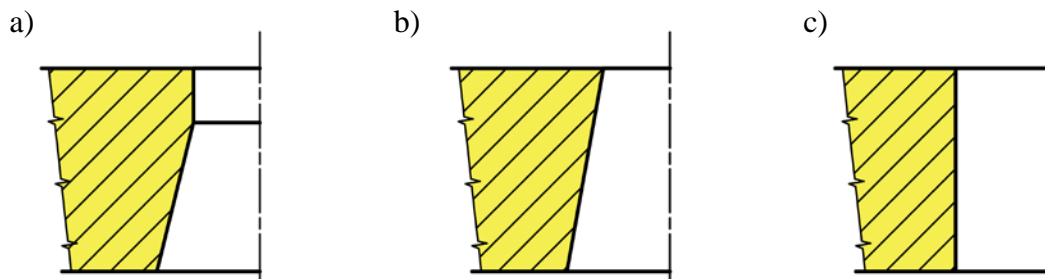
$$\sigma_{\text{dov}} = \frac{F_s}{S_{\text{strižník}}}, \quad (2.40)$$

kde:  $\sigma_{\text{dov}}$  – dovolené napätie na dosadacej ploche strižníku [MPa]

$S_{\text{strižník}}$  – obsah prierezu strižníku. [ $\text{mm}^2$ ]

Ak je namáhanie väčšie ako 180 MPa, je nutné použiť opieraciu dosku z tvrdého, kaleného materiálu. Dovoľené napätia na dosadacej ploche sa spravidla pohybujú zhruba v rozsahu 1600 až 2400 MPa a závisia od materiállovej charakteristiky dosadacej plochy a strižníku.

Strižnica tvorí protikus ku strižníku a býva upevnená na základovej doske. Môže byť celistvá alebo delená, ako jej protikus, kedy delená má výhodu okrem ušetrenia na materiáli aj lepšiu rozmerovú presnosť. Brit musí byť správne ostrý, aby nedochádzalo k nárastu sily potrebnej na prestrih, ale aj k dosiahnutiu správnej kvality strižnej plochy. Tvary vnútorného vybratia môžu



Obr. 39 Tvary strižníc [30]

byť rôzne, ale na strihanie tenkých plechov s nižšou odchýlkou sa najviac hodí tvar kužeľový s fazetkou v hornej časti (obr. 39a), ktorá má pre hrúbku plechu 3 až 5 mm rozmer 0,5 mm a je kolmá na povrch strižnice. Vrcholový uhol kužeľovej časti je  $6 \div 10^\circ$ . Ďalšie možnosti tvaru strižnice sú kužeľová (obr. 39b) alebo valcová (obr. 39c). Minimálnu hrúbku celej strižnice je možné vypočítať napr. cez vzťah podľa Oehlera, kde je táto závislá len na strižnej sile:

$$H_{\text{strižnica}} = \sqrt[3]{F_s}, \quad (2.41)$$

kde:  $H_{\text{strižnica}}$  – hrúbka strižnice [mm].

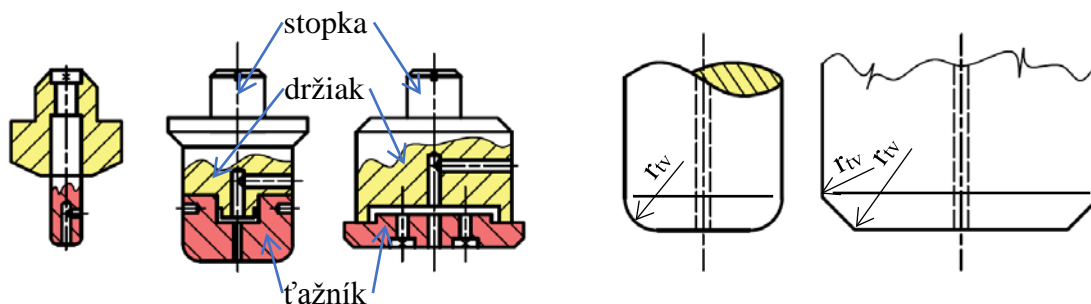
Materiály, z ktorých sa tieto časti vyrábajú sú v tabuľke:

Tab. 6 Materiály strižníkov a strižníc [44].

Diel nástroja	Materiál	
	Oceľ	Oceľ pre náročnejšie podmienky
<b>Strižníky</b>	19 191, 19 221	19 312, 19 421, 19 436
<b>Strižnice</b>	19 191, 19 356	19 312, 19 436, 19 830

#### 2.4.2 Ťažníky a ťažnice [37], [45], [29]

Ťažník je časť nástroja, na ktorú sa nabaľuje tvárnený plech a má tvar výtážku. Rohový prechod na ťažníku je najviac namáhaná časť. Pri výtážkoch s priemerom nad 100 mm býva



Obr. 40 Možné konštrukcie ťažníku a úprava jeho hrán [29]

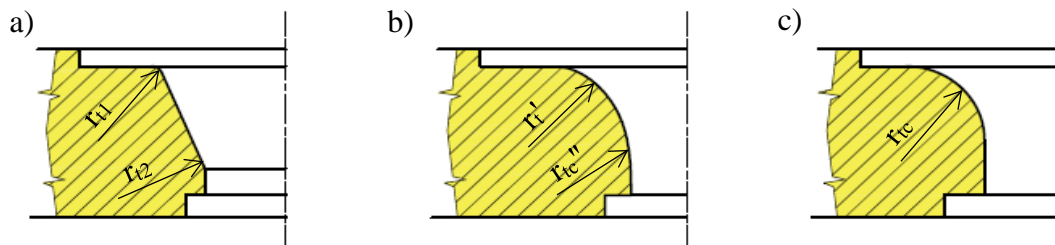
skosený s dvomi polomerami (obr. 40), pod 100 mm zaoblený jedným polomerom, ktorý sa, pri jednooperačnom ťahaní určuje ako:

$$r_{tv} = r_{tc}, \quad (2.42)$$

kde:  $r_{tv}$  – polomer zaoblenia ťažníku [mm].

Malo by však ísť o polomer zaoblenia výtážku  $r$ , ktorý je možné zmeniť tak, aby spadal do daného intervalu. Ak toto nie je možné, je treba zaradiť do procesu kalibračnú operáciu. Aby bolo možné výrobok vybrať z ťažníka, obsahuje tento zavzdušňovací kanálik, ktorý je pri zložitých výtážkoch nahraditeľný ryhou na okraji dielu. Pri ťahaní dochádza k namáhaniu ťažníku na vzper, čo sa kontroluje obdobne ako pri strižníku. Takisto ťažník môže byť vyrobený z viacerých častí, kvôli úspore materiálu (obr. 40).

V ťažnici je funkčnou časťou otvor, do ktorého je plech vťahovaný, pričom je tendencia tento pohyb uľahčovať úpravou povrchu napr. leštením, ale aj tým, že sa zvolí vhodná úprava hrany tohto otvoru. Tá môže byť kužeľová so zaobleniami v rohoch (obr. 42a), tvorená



Obr. 41 Úpravy ťažnej hrany [29]

evolventným profilom TRAXTRIX (obr. 42b), alebo najpoužívanejší variant, jednoduché zaoblenie ťažnej hrany (obr. 42c). Výpočet  $r_{tc}$  je podľa ČSN 22 73 01 pre jednooperačné ťahanie:

$$r_{tc} = (6 \div 10) \cdot s_0, \quad (2.43)$$

kde:  $r_{tc}$  – polomer zaoblenia ťažnice [mm].

Ďalšia možnosť určenia zaoblenia hrany na ťažnici je podľa vzorca pre prvý ťah:

$$r_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{s_0 \cdot (R_0 - R - s_0)}. \quad (2.44)$$

Materiály z ktorých sa tieto diely vyrábajú sú v tabuľke 7.

Tab. 7 Materiály ťažníc a ťažníkov [44].

Diel nástroja	Materiál	
	Oceľ	Oceľ pre náročnejšie podmienky
Ťažníky a ťažnice	19 191	19 312, 19 313, 19 830

## 2.5 Stroje [51], [48], [38],

Pri tvárnení je potreba na pretvorenie materiálu pomerne veľká sila. Táto sa generuje v stroji a je cezeň prenášaná do nástroja. Preto býva voľba stroja dôležitou súčasťou návrhu nástroja. Pre tvárniace procesy sa zväčša používajú silové stroje, teda lisy. Najčastejšie sa používajú lisy mechanické alebo hydraulické.

Mechanické lisy pracujú na princípe kľukového mechanizmu a jeho variáciách a využívajú potenciálnu aj kinetickú energiu na pretvorenie materiálu. Sú najbežnejšími typmi strojov hlavne kvôli ich jednoduchosti. Ich nevýhodou je však možnosť odoberať z mechanizmu silu až v dolnej časti dráhy barana. Pri potrebe pôsobenia sily na dlhšej dráhe nutne dochádza k preťažovaniu mechanizmu, čomu sa zabraňuje použitím rôznych poistiek.

Hydraulické lisy (obr. 42) používajú na generovanie sily rovnomerný tlak kvapaliny v hydraulickom valci. Preto je možné v celej dráhe barana pôsobiť konštantnou silou. Ich výhodou je možnosť nastavenia dĺžky zdvihu, ale aj rýchlosti barana, ktorá je však oproti mechanickým lisom menšia, čo nepriaznivo vplýva na rýchlosť výroby. Ďalšou nevýhodou by mohlo byť zložitejšia údržba, ich vyššia cena, ale aj menšia účinnosť oproti mechanickým lisom.

Pri potrebe pôsobenia sily vo viacerých miestach v rozdielnom čase je možné použiť buď viacčinné lisy alebo prídavné hydraulické zariadenie.



Obr. 42  
Hydraulický lis[51]

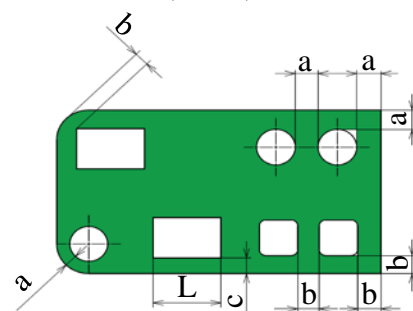
## 2.6 Technologickosť [52], [27], [49]

Pri technológiách ťahania a strihania v postupovom nástroji sa vyžaduje, aby bol celý proces rýchly, ale zároveň presný a spoľahlivý. Preto treba diel a potrebné nástroje konštruovať s ohľadom na nedokonalosti výrobného procesu. Pri tomto je nutné dodržiavať určité zásady:

- Zachovať funkčnosť dielu pri čo najjednoduchšom návrhu.
- Materiál by mal byť čo možno najlacnejší, ale zároveň so zaručenou kvalitou.
- Používať radšej zvitky ako tabule plechu
- Materiál vhodný pre obe technológie.
- Pri strihaní nepredpisovať tolerancie, ktoré sú s daným nástrojom nedodržiateľné, riadia sa toleranciou, s ktorou je vyrobený strižník a strižnica (tab. 9).
- Nenavrhopovať otvory bližšie ku kraju strihaného dielu a k sebe (obr. 43) ako v tabuľke 8.

Tab. 8 Vzďialenosť otvorov od kraju plechu [52]

	$s_0$ [mm] →	< 1	1 ÷ 6
	L [mm] ↓		
a [mm]	-	1,5	2,4
b [mm]	-	2,5	3,2
c [mm]	5 až 50	3	4,5
	50 až 100	8	8



Obr. 43 Vzďialenosť otvorov od kraju polotovaru [52]

- Nepredpisovať drsnosť na strižnú plochu, ani jej kolmosť.
- Rohy výstrižku zaobliť alebo zraziť, ak je to možné.
- Plochu strihu voliť tak, aby bola vyrobiteľná na čo najmenší počet operácií.
- Neurčovať toleranciu hrúbky steny.
- Konštruovať čo najnižší výt'azok.
- Tolerovať rozmery výt'azku tak, aby nemusela byť do procesu zaradená kalibrácia, teda tak, že priečny prierez nemal mať toleranciu nižšiu ako IT 11.

Tab. 9 Vyrobiteľné tolerancie strihaním. [52]

Tolerancia výrobku IT	11	12	13	14	15
Tolerancia nástrojov IT	7-8	8-9	10	11	12

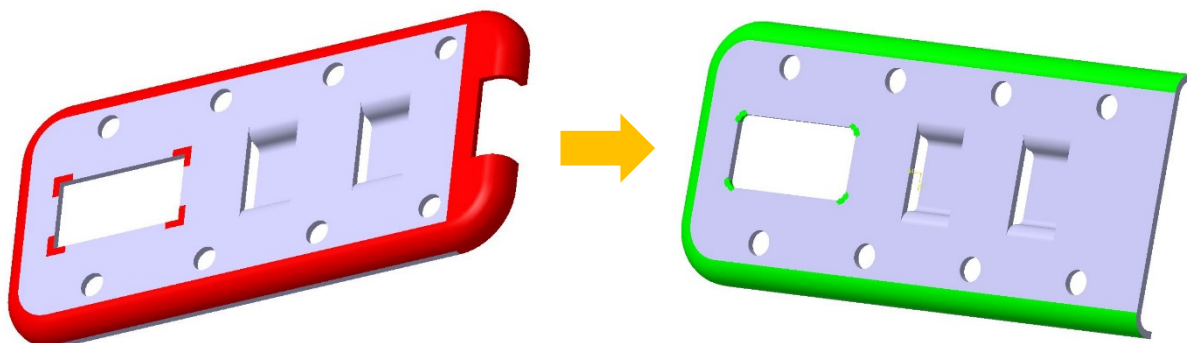
- Navrhnuť minimálnu vzdialenosť otvorov od steny, ktorá je pri ťahu ohýbaná tak, aby nedošlo k ich deformácii, kedy by vzdialenosť okraju otvoru od stredu zaoblenia prechodu dna do stien mala byť väčšia ako dvakrát hrúbka plechu.



### 3 NÁVRH VÝROBY

Riešenou súčiastkou je teleso západky na obrázku 42. Súčasť má tvar krabicového výťazku s hrúbkou steny 1 mm. Na dne má otvory pre pripevnenie pomocou skrutiek alebo nitov. Hlavné rozmery sú: dĺžka 80 mm, šírka 36 mm a hrúbka 4 mm. Zaoblenia na vnútornej strane činia 1 mm. V strede dielu sú prelisy zabezpečujúce držanie západky a na ľavej strane je otvor, ktorým bude prestrčená. Ostatné rozmery sú uvedené na výkrese 01-DP-160911-01. Materiál je konštrukčná oceľ 11 375 a výrobná séria 50 000 ks za rok. Na ochranu pred vonkajším prostredím bude diel odstredivo pozinkovaný.

Výroba bude prebiehať v niekoľkých krokoch: strihanie okrúhlych dier, dierovanie hranatej diery, ťahanie prelisov, obstrihnutie obvodu a ťahanie okraju. Z hľadiska technologickosti je potrebná dodržať najmenšiu vzdialenosť otvorov od okraju steny dielu 4 mm a medzi nimi 2,4 mm. Medzi hranatou dierou a okrajom by malo byť minimálne 4,5 mm. Kvôli tomu, aby bolo posúvanie v nástroji jednoduchšie by bolo vhodné z jednej strany obvodový lem vynechať (obr. 44) Zaoblenie zvonku obvodového lemu má hodnotu 2 mm, avšak kvôli tomu, aby sa predošlo defektom bol zväčšený na 3 mm. Tiež došlo k zaobleniu rohov hranatého otvoru na 0,5 mm (obr. 44).



Obr. 44 Úprava telesa západky

#### 3.1 Tvar polotovaru [39], [41]

Na ďalšie výpočty je nutné určiť tvar a rozmery prístrihu. Vnútorne prelisy budú ťahané na úkor stenčenia steny, preto sa pri stanovení polotovaru bude počítať len s ťahaním obvodu súčasti. Prístrih bude určený podľa ČSN 22 7303 a graficko-výpočetnej metódy:

- Určenie podľa ČSN 22 7303, (tvar prístrihu so zakótovanými rozmermi je možné vidieť v prílohe 1):

- Stanovenie polomeru prístrihu v rohu ' $r_0$ ' podľa (2.13):

$$r_0 = \sqrt{0,25 \cdot (2R_s)^2 + 2R_s \cdot (h + 0,57r_s) - 0,14r_s^2}$$

$$r_0 = \sqrt{0,25 \cdot (2 \cdot 7)^2 + 2 \cdot 7 \cdot (1 + 0,57 \cdot 2) - 0,14 \cdot 2^2} = 8,886 \text{ mm.}$$

- Výpočet rozvinutej dĺžky ' $h_s$ ' v pozdĺžnych rohoch podľa (2.15):

$$h_s = 0,57r_s + h + R_s = 0,57 \cdot 2 + 1 + 7 = 9,14 \text{ mm.}$$

Bola zaokrúhlená na hodnotu  $h_s = 9,1 \text{ mm}$

- Výpočet koeficientu ' $x$ ' podľa (2.16):

$$x = 0,074 \cdot \left(\frac{r_0}{2R_s}\right)^2 + 0,982 = 0,074 \cdot \left(\frac{8,886}{2 \cdot 7}\right)^2 + 0,982 = 1,0118.$$

- Určenie redukovaného polomeru 'R<sub>0</sub>' podľa (2.17):

$$R_0 = x \cdot r_0 = 1,0116 \cdot 8,886 = 8,99 \text{ mm}$$

Bol zaokrúhlený na R<sub>0</sub> = 9 mm

- Určenie koeficientu 'y' podľa (2.18):

$$y = \frac{\pi}{4} (x^2 - 1) = \frac{\pi}{4} (1,0116^2 - 1) = 0,0183.$$

- Určenie zmenšenie rozvinutej dĺžky 'h<sub>sa</sub>' podľa (2.19):

$$h_{sa} = y \cdot \frac{r_0^2}{a_{rd}} = 0,0183 \cdot \frac{8,886^2}{30} = 0,048 \text{ mm.}$$

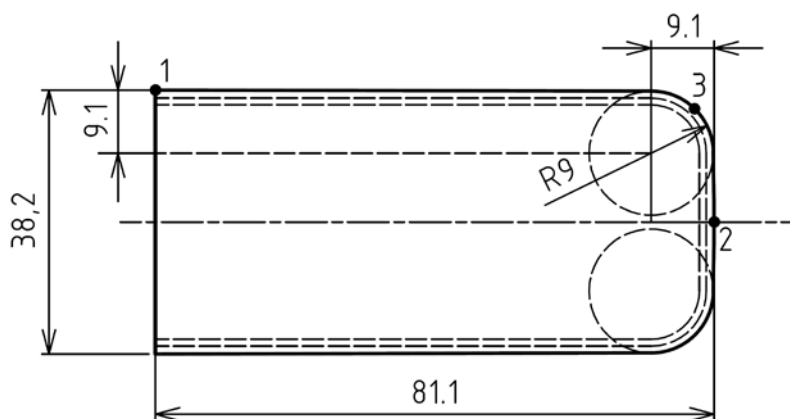
Vzhľadom na jej malú hodnotu je možné ju v ďalšom postupe zanedbať.

- Určenie zmenšenia rozvinutej dĺžky 'h<sub>sb</sub>' podľa (2.20):

$$h_{sb} = y \cdot \frac{r_0^2}{b_{rd}} = 0,0183 \cdot \frac{8,886^2}{2 \cdot 77} = 0,009 \text{ mm.}$$

Vzhľadom na jej malú hodnotu je možné ju v ďalšom postupe zanedbať. Kvôli tomu, že je riešený diel na jednej strane rovný dosadzuje sa za b<sub>rd</sub> dvojnásobná dĺžka.

Krivka, ktorá sa prekladá bodmi 1, 2 resp. 2, 3 vznikla tak, že sa kruhový oblúk tangentne napojil na kružnicu R 9. Takto vzniknutý polotovár je možné vidieť na obr. 45.



Obr. 45 Tvar prístrihu podľa ČSN 22 7303

- Stanovenie tvaru prístrihu podľa graficko-výpočetnej metódy:

- Určenie rozmeru 'L' podľa rovnice (2.21):

$$L = h + r + 0,57r_s = 1 + 3 + 0,57 \cdot 2 = 5,14 \text{ mm.}$$

Bol zaokrúhlený na L = 5,1 mm.

- Výpočet redukovaného polomeru 'R<sub>0</sub>' podľa (2.23):

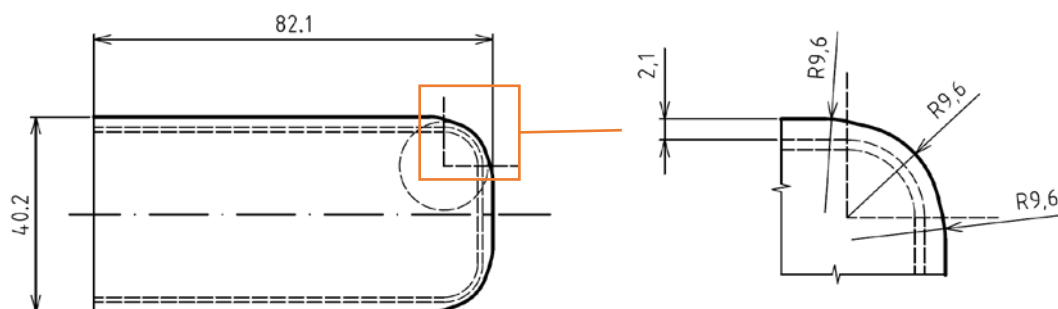
$$R_0 = \sqrt{R_s^2 + 2 \cdot (h + r) \cdot R_s - 0,86 \cdot r_s \cdot (R_s + 0,16 \cdot r_s)}$$

$$= \sqrt{7^2 + 2 \cdot (1 + 3) \cdot 7 - 0,86 \cdot 2 \cdot (7 + 0,16 \cdot 2)} = 9,61 \text{ mm.}$$

Zaokrúhlenie na R<sub>0</sub> = 9,6 mm.



- Postupom spomenutým vyššie sa vytvorí tvar polotovaru v rohu a pri stenách sa vynesie dĺžka L. Tvar prístrihu je možné vidieť na obr. 44.



Obr. 46 Tvar polotovaru podľa graficko-výpočetnej metódy

Na výrobu telesa západky bola vybratý tvar prístrihu podľa graficko-početnej metódy kvôli zložitému tvaru prístrihu vo variante podľa ČSN.

### 3.2 Určenie hutného polotovaru [50]

Aby bola technológia strihania výhodná, malo by dochádzať k tvorbe čo najmenšieho množstva odpadu. Toto sa zaručuje výberom vhodného usporiadania výstrižkov na plechu, ale aj vhodným výberom jeho rozmerov pri jeho nákupe. Výstrižok je približne obdĺžnikového tvaru o rozmeroch  $B_{vys} = 40,2$  mm a  $A_{vys} = 82,1$  mm, jeho plocha bola určená pomocou softvéru AutoCAD Mechanical 2018 na  $S_{vys} = 2972$  mm<sup>2</sup>. Pri strihaní môžu byť výstrižky:

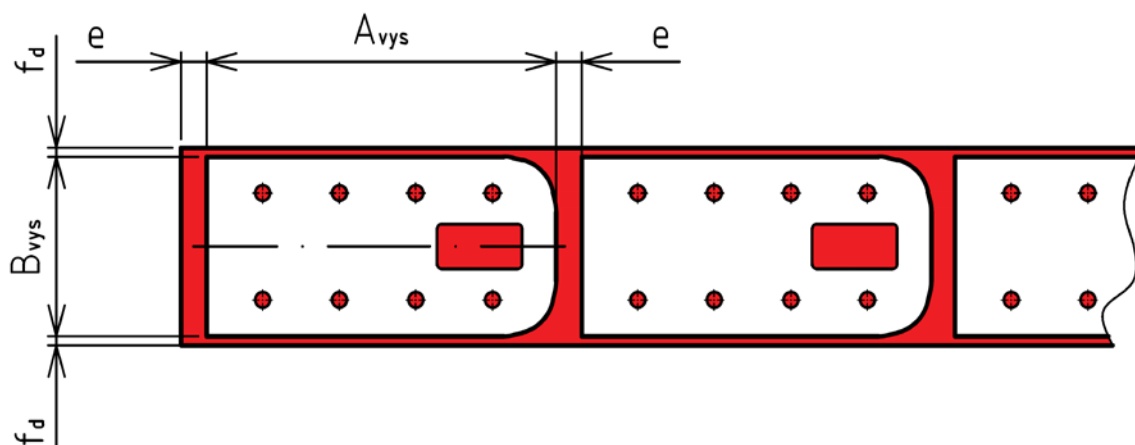
- I. Usporiadané na dĺžku, ako je možné vidieť na obr. 47. Pre takéto usporiadanie sa dajú zistiť hodnoty okraju plechu a mostíku z tabuľky v prílohe 2:

$$f_d = 2 \text{ mm,}$$

kde  $f_d$  – šírka okraju pásu plechu [mm],

$$e = 1,6 \text{ mm,}$$

kde  $e$  – šírka mostíku [mm], kvôli lepšiemu konštrukčnému riešeniu nástroja bude rozšírený na  $e = 6$  mm



Obr. 47 Usporiadanie výstrižkov na dĺžku

Pri takomto usporiadaní bude uvažovaná výroba z týchto hutných polotovarov:

- ♦ Tabuľa plechu 2000 x 1000 mm, na ktorej sú pásy plechu strihané pozdĺžne ako na obr. 48. Výpočet využitia materiálu:

- Počet pruhov na tabuli  $n_p$ :

$$n_p = \frac{B_{pl}}{B_{vys} + 2 \cdot f_d} = \frac{1000}{40,2 + 2 \cdot 2} = 22,6 \text{ ks} \quad (3.1)$$

kde:  $B_{pl}$  – šírka plechu [mm]

$B_{vys}$  – šírka výstrižku [mm]

$f_d$  – rozmer okraju plechu pri uložení výstrižku na dĺžku. výstrižky nie je možné rozdeliť na viac častí tvorí 0,6 ks pruhu odpad, teda  $n_p = 22$  ks

- Počet prístrihov z jedného pásu:

$$n_v = \frac{L_{pl}}{A_{vys} + e} = \frac{2000}{82,1 + 6} = 22,7 \text{ ks}, \quad (3.2)$$

kde:  $L_{pl}$  – dĺžka plechu [mm]

$A_{vys}$  – dĺžka výstrižku [mm]

$e$  – rozmer potrebného mostíku [mm].

Zaokrúhlené na  $n_v = 22$  ks

- Využitie plechu podľa (2.2):

$$k_m = \frac{S_{vys} \cdot n_v \cdot n_p}{L_{pl} \cdot B_{pl}} \cdot 100 = \frac{2972 \cdot 22 \cdot 22}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 71,9 \% \quad (3.3)$$

- ♦ Tabuľa plechu 2000 x 1000 mm, na ktorej sú pásy plechu usporiadané na priečne ako na obr. 49. Výpočet využitia materiálu:

- Počet pruhov na tabuli  $n_p$ :

$$n_p = \frac{L_{pl}}{B_{vys} + 2 \cdot f_d} = \frac{2000}{40,2 + 2 \cdot 2} = 45,2 \text{ ks},$$

Zaokrúhlené na  $n_p = 45$  ks

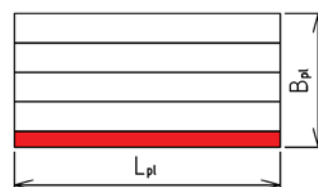
- Počet prístrihov z jedného pásu:

$$n_v = \frac{B_{pl}}{A_{vys} + e} = \frac{1000}{82,1 + 6} = 11,4 \text{ ks},$$

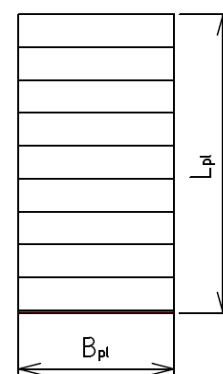
Zaokrúhlené na  $n_v = 11$  ks

- Využitie plechu podľa (2.2):

$$k_m = \frac{S_{vys} \cdot n_v \cdot n_p}{L_{pl} \cdot B_{pl}} \cdot 100 = \frac{2972 \cdot 11 \cdot 45}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 73,6 \%$$



Obr. 48 Pozdĺžne pásy z tabule plechu



Obr. 49 Priečne pásy z tabule

- ♦ Zvitok plechu (obr. 50), ktorý sa dodáva na hmotnosť. Potrebná šírka zvitku, za predpokladu, že v nej bude jeden výstrižok, sa určí ako:

$$B_{zv} = B_{vys} + 2 \cdot f_d = 40,2 + 2 \cdot 2 = 44,2 \text{ mm.}$$

Kvôli tomu, že výrobca dodáva zvitky o šírke na celé milimetre,  $B_{zv} = 45 \text{ mm}$

Výpočet využitia materiálu:

- Dĺžka rozvinutého zvitku:

$$L_{zv} = \frac{m_{zv}}{B_{zv} \cdot s_0 \cdot \rho_{ocel}} = \frac{300}{45 \cdot 1 \cdot 7850} \cdot 10^9 = 849257 \text{ mm} \quad (3.4)$$

kde:  $L_{zv}$  – dĺžka zvitku [mm]  
 $m_{zv}$  – hmotnosť zvitku [kg]  
 $B_{zv}$  – šírka zvitku [mm]  
 $\rho_{ocel}$  – hustota ocele [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

- Počet výstrižkov zo zvitku:

$$n_v = \frac{L_{zv}}{A_{vys} + e} = \frac{849257}{82,1 + 6} = 9639,7 \text{ ks.}$$

Zaokrúhlené na  $n_v = 9639 \text{ ks}$

- Využitie materiálu podľa (2.2):

$$k_m = \frac{S_{vys} \cdot n_v \cdot 1}{L_{zv} \cdot B_{zv}} \cdot 100 = \frac{2972 \cdot 9639 \cdot 1}{849257 \cdot 44,5} \cdot 100 = 75,8 \%$$

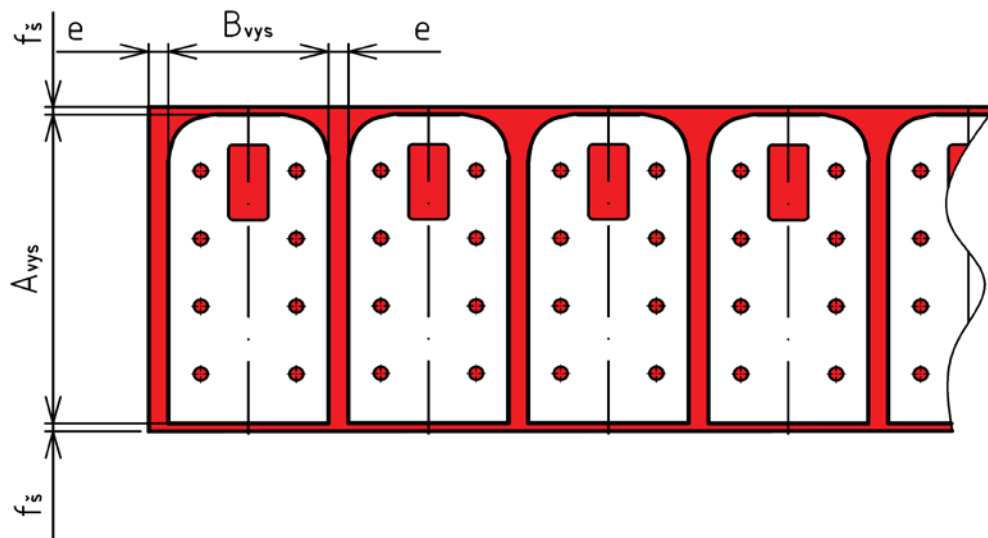
II. Usporiadané na šírku, ako je možné vidieť na obr. 51. Pre takéto usporiadanie sa dajú zistiť hodnoty okraju plechu a mostíku z tabuľky v prílohe 2:

$$f_s = 2,5 \text{ mm,}$$

kde  $f_s$  – šírka okraju pásu plechu [mm],

$$e = 2 \text{ mm,}$$

kvôli lepšiemu konštrukčnému riešeniu nástroja bude rozšírený na  $e = 6 \text{ mm}$



Obr. 51 Rozloženie výstrižkov na šírku



Obr. 50 Zvitok plechu [52]

Pri takomto usporiadaní bude uvažovaná výroba z týchto hutných polotovarov:

- ♦ Tabuľa plechu 2000 x 1000 mm, na ktorej sú pásy plechu strihané pozdĺžne ako na obr. 48. Výpočet využitia materiálu:

- Počet pruhov na tabuli  $n_p$ :

$$n_p = \frac{B_{pl}}{A_{vys} + 2 \cdot f_s} = \frac{1000}{82,1 + 2 \cdot 2,5} = 11,5 \text{ ks}$$

Zaokrúhlené na  $n_p = 11$  ks

- Počet prístrihov z jedného pásu:

$$n_v = \frac{L_{pl}}{B_{vys} + e} = \frac{2000}{40,2 + 6} = 43,3 \text{ ks,}$$

Zaokrúhlené na  $n_v = 43$  ks

- Využitie plechu podľa (2.2):

$$k_m = \frac{S_{vys} \cdot n_v \cdot n_p}{L_{pl} \cdot B_{pl}} \cdot 100 = \frac{2972 \cdot 43 \cdot 11}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 70,3 \%$$

- ♦ Tabuľa plechu 2000 x 1000 mm, na ktorej sú pásy plechu usporiadané na priečne ako na obr. 49. Výpočet využitia materiálu:

- Počet pruhov na tabuli  $n_p$ :

$$n_p = \frac{L_{pl}}{A_{vys} + 2 \cdot f_s} = \frac{2000}{82,1 + 2 \cdot 2,5} = 22,9 \text{ ks,}$$

Zaokrúhlené na  $n_p = 22$  ks

- Počet prístrihov z jedného pásu:

$$n_v = \frac{B_{pl}}{B_{vys} + e} = \frac{1000}{40,2 + 6} = 21,6 \text{ ks,}$$

Zaokrúhlené na  $n_v = 21$  ks

- Využitie plechu podľa (2.2):

$$k_m = \frac{S_{vys} \cdot n_v \cdot n_p}{L_{pl} \cdot B_{pl}} \cdot 100 = \frac{2972 \cdot 21 \cdot 22}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 68,7 \%$$

- ♦ Zvitok plechu (obr. 50) o šírke 88 mm, ktorý sa dodáva na hmotnosť Potrebná šírka zvitku, za predpokladu, že v nej bude jeden výstrižok, sa určí ako:

$$B_{zv} = A_{vys} + 2 \cdot f_s = 82,1 + 2 \cdot 2,5 = 87,1 \text{ mm.}$$

Kvôli tomu, že výrobca dodáva zvitky o šírke na celé milimetre je zaokrúhlené na  $B_{zv} = 88$  mm

Výpočet využitia materiálu:

- Dĺžka rozvinutého zvitku:

$$L_{zv} = \frac{m_{zv}}{B_{zv} \cdot s_0 \cdot \rho_{ocel}} \cdot 10^9, \\ = \frac{300}{88 \cdot 1 \cdot 7850} \cdot 10^9 = 434279 \text{ mm}$$

- Počet výstrižkov zo zvitku:

$$n_v = \frac{L_{zv}}{B_{vys} + e} = \frac{434279}{40,2 + 6} = 9399,9 \text{ ks.}$$

Zaokrúhlené na  $n_v = 9399$  ks

- Využitie materiálu podľa (2.2):

$$k_m = \frac{S_{vys} \cdot n_v \cdot 1}{L_{zv} \cdot B_{zv}} \cdot 100 = \frac{2972 \cdot 9399 \cdot 1}{434279 \cdot 88} \cdot 100 = 73,1 \%$$

Porovnanie jednotlivých variant je možné vidieť v tabuľke 10. V praxi sa považuje využitie materiálu nad 70 % za ekonomicky dobré. Za najlepšie je podľa tabuľky považovať zvitok o šírke 45 mm za predpokladu, že prevádzka už disponuje zariadeniami, ktoré sú potrebné na odvíjanie, rovnanie a posúvanie plechu. Ako druhý najlepší variant je možné považovať strihanie priečných pruhov z plechu o rozmeroch 1000 x 2000 mm a ukladaním výstrižkov pozdĺžne s využitím materiálu 70,8 %. Ostatné rozloženia s využitím materiálu sú menej vhodné. Pri návrhu nástroja sa bude uvažovať prvá možnosť, teda zvitok plechu.

Tab. 10 Porovnanie využitia materiálu.

Polotvar	plech 1000 x 2000				zvitok šírka 45 mm	zvitok šírka 88 mm
	I.		II.		I.	II.
Rozloženie výstrižkov						
Delenie polotovaru	pozdĺžne	priečne	pozdĺžne	priečne	pozdĺžne	priečne
Súčiniteľ využitia materiálu	71,9 %	73,6 %	70,3 %	68,7 %	75,8 %	73,1 %

### 3.3 Návrh postupu operácii

Pri návrhu je nutné poznať počet potrebných ťažných operácii. Na to je nutné poznať súčiniteľ ťahania. Pre ťahanie lemu sa zistí výpočtom podľa (2.25):

$$m_n = \frac{R_{(n)}}{R_{(n-1)}} = \frac{8}{9,6} = 0,83.$$

Súčiniteľ ťahania je vyšší ako limitná hodnota 0,75, čo znamená, že lem na danej súčasti je možné vyrobiť na jednu ťažnú operáciu bez pridržovača.

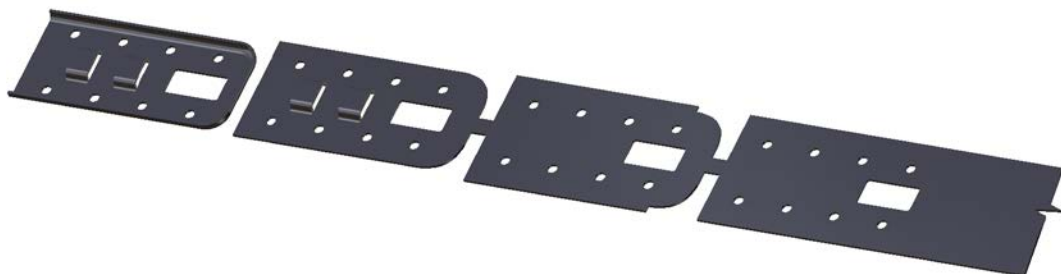
Pri návrhu postupu operácii sa bude uvažovať výroba z pásu plechu o šírke 45 mm, kde sú diely ukladané pozdĺžne. Medzi jednotlivými krokmi je mostík o šírke 6 mm. Možnosti sú:

- Prvý variant (obr. 52) – Najskôr dochádza k dierovaniu kruhových a hranatej diery, v druhom kroku dôjde k vystrihnutiu obrysu. V treťom kroku sa uskutočňuje ťahanie prelisov spolu s prestrihnutím. Posledný krok je odstrihnutie mostíku a vytiahnutie obrysu dielu. Nevýhodou tohto variantu je zložitý tvar nástroja v treťom kroku, ale aj nutnosť použitia viacčinného lisu, keďže ťahanie prebiha v dvoch smeroch.



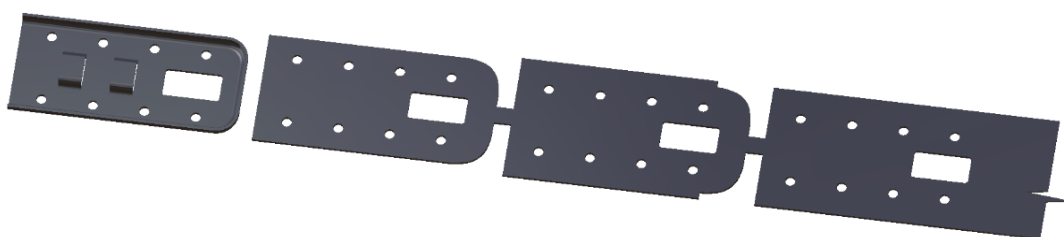
Obr. 52 Výrobný variant 1

- Druhý variant (obr 53) – prebieha podobne; najskôr dochádza k predierovaniu otvorov, prestrihnutie časti obrysu a v ďalšom kroku dôjde k dostrihnutiu obvodov a vytiahnutie prelisov. Na koniec sa prestrihne mostík a vytiahne sa olemovanie dielu. Tento variant je výhodnejší z pohľadu jednoduchšiemu tvaru potrebných nástrojov.



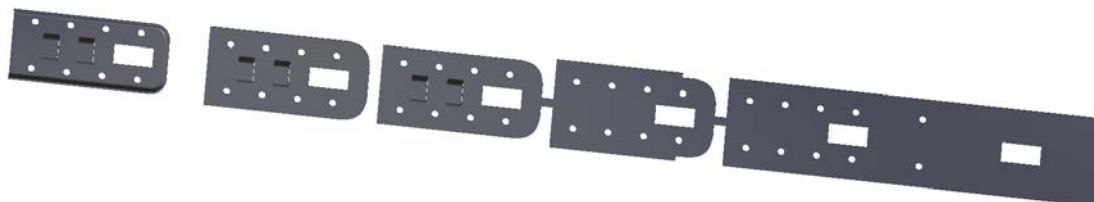
Obr. 53 Výrobný variant 2

- Tretí variant (obr. 54) – najskôr prebieha vystrihnutie otvorov, potom prestrihnutie časti obvodu, dostrihnutie obvodu a v poslednom kroku dochádza najskôr k prestrihnutiu mostíku, potom vytiahnutiu obvodového lemu a nakoniec prelisov na opačnú stranu. Tento variant má výhodu v posúvaní materialú, ktorý je až do posledného kroku rovinný. Je nevýhodný hlavne z hľadiska potreby použitia trojčinného lisu, kde by jeden posuv vykonával strih, ďalší by ťahal lemy a posledný by ťahal opačným smerom prelisy.



Obr. 54 Výrobný variant 3

- Štvrtý variant (obr.55) – Tu sa najskôr prestrihne obdĺžnikový otvor a dve kruhové diery, kvôli usporiadaniu činných častí nástrojov, potom sú vystrihnuté ostatné diery, v treťom kroku dochádza ku vystrihnutiu časti obrysu a vytiahnutiu prelisov. V ďalšom kroku je ustrinutý mostík. Nasleduje ťahanie v osobitnom ťahadle. Výhoda tohto variantu spočíva vo vhodnejšom rozmiestnení nástrojov. Jej nevýhoda je to, že pri odstrihnutí mostíku je potrebný zložitý transport plechu z predchádzajúcej operácie.



Obr. 55 Výrobný variant 4

- Piaty variant (obr. 56) – Je podobný ako štvrtý variant avšak k odstrihnutiu mostíku dochádza spolu s ťahaním prelisov a obstrihnutím obrysu. Táto metóda má výhodu v nižšom počte operácií,



Obr. 56 Výrobný variant 5

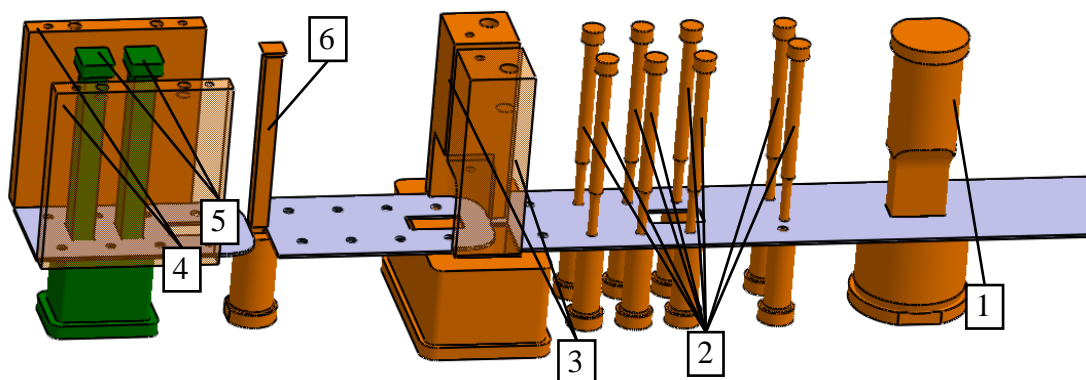
Variant 5 sa javí ako najvhodnejší a preto bude použitý. Na výrobu telesa západky bude potrebné navrhnuť nástroje dva; jeden združený postupový a druhý na dokončenie lemu dielu.

### 3.4 Technologické výpočty

Medzi technologické výpočty patrí určenie potrebných síl a prác na celý proces, určenie strižnej a ťažnej vôle, zaoblenie ťažných hrán a kontrola strižníkov a ťažníkov a na otláčenie, vzper a strižnice a ťažnice kvôli ich minimálnej prípustnej hrúbke.

Strižnú a ťažnú silu, prácu je nutné poznať kvôli výberu vhodného stroja na výrobu, ale aj kvôli pevnostnému výpočtu jednotlivých činných častí nástroja. Tieto sily budú počítané pre každú operáciu samostatne. Potom bude ich súčtom zistená sila potrebná pre celý nástroj, prípadne jednotlivý krok. Strižná sila sa spočíta podľa vzorca (2.30), kde sa za koeficient strihania volí hodnota 1,45 a za  $\tau_s=0,77.R_m$ , kedy za  $R_m$  je volená najvyššia možná hodnota z tab 3. Na výpočet ťažnej sily v postupovom nástroji bude použitý vzťah (2.34) pre ťahanie stien nádoby. Na ťahanie lemu sa použijú vzťahy (2.32), (2.33) a (2.34) Výpočty pre:

- I. Postupový nástroj – prebieha v ňom výroba diel na obr.57. Pre sprehľadnenie výpočtov budú jednotlivé činné časti nástroja očíslované podľa operácie, ktorá v nich prebieha a je možné ich vidieť na obr. 58. Výpočet pre jednotlivé operácie:



Obr. 57 Očíslovanie častí nástroja

- Sila pre operáciu 1 'F<sub>1</sub>':

$$F_1 = n_s \cdot s_0 \cdot o_1 \cdot \tau_s = 1,45 \cdot 1 \cdot 58,3 \cdot 0,77 \cdot 510 = 33197 \text{ N,}$$

kde:  $o_1$  - dĺžka strihania strižníkom 1:

$$\begin{aligned} o_1 &= 2 \cdot \pi \cdot r_{ho} + 2(a_h + b_h) - 8r_{ho} \\ &= 2 \cdot \pi \cdot 1 + 2(20 + 10) - 8 \cdot 1 = 58,3 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.5),$$

kde:  $r_{ho}$  - polomer zaoblenia v rohoch obdĺžnikovej diery na súčiastke [mm]

$a_h$  - dĺžka hranatej diery [mm]

$b_h$  - šírka hranatej diery [mm].

- Sila pre operáciu 2 'F<sub>2</sub>':

$$F_2 = n_s \cdot s_0 \cdot o_2 \cdot \tau_s = 1,45 \cdot 1 \cdot 22 \cdot 0,77 \cdot 510 = 12527 \text{ N.}$$

kde:  $o_2$  - dĺžka strihu strižníku 2 [mm]:

$$o_2 = 2 \cdot \pi \cdot r_{ko} = 2 \cdot \pi \cdot 3,5 = 21,99 \text{ mm,} \quad (3.6)$$

kde:  $r_{ko}$  - polomer kruhovej diery na súčiastke [mm].

- Sila pre operáciu 3, 'F<sub>3</sub>':

$$F_3 = n_s \cdot s_0 \cdot o_3 \cdot \tau_s = 1,45 \cdot 1 \cdot 59,22 \cdot 0,77 \cdot 510 = 33721 \text{ N.}$$

kde:  $o_3$  - dĺžka strihu strižníkom 3 [mm], ktorá bola zistená pomocou programu AutoCAD Mechanical 2018 a rozšírenia AddLen:

$$o_3 = 59,22 \text{ mm.}$$

- Sila pre operáciu 4 'F<sub>4</sub>':

$$F_4 = n_s \cdot s_0 \cdot o_4 \cdot \tau_s = 1,45 \cdot 1 \cdot 65 \cdot 0,77 \cdot 510 = 37012 \text{ N.}$$

kde:  $o_4$  - dĺžka strihu strižníkom 4 [mm]

$$o_4 = a_{striz4} = 65 \text{ mm.} \quad (3.7)$$

kde:  $a_{striz4}$  - šírka strižníku použitého v 4. kroku

- Sila pre operáciu 5, 'F<sub>5</sub>':

$$F_5 = F_{5t} + F_{5s} = 2736 + 15944 = 18680 \text{ N.}$$

kde:  $F_{5t}$  - sila na ťahanie kombinovaným nástrojom [N]

$$F_{5t} = o_{5t} \cdot s_0 \cdot R_m \cdot k_{t2} = 16 \cdot 1 \cdot 510 \cdot 0,3 = 2736 \text{ N,}$$

kde je súčiniteľ  $k_{t2}$  volený podľa kapitoly 2.3  $k_{t2} = 0,3$ , lebo ide o ťahanie bez pridržovača.

kde:  $o_{5t}$  - dĺžka ťahu kombinovaným nástrojom [mm]:

$$o_{5t} = 2 \cdot b_{prelis} = 2 \cdot 8 = 16 \text{ mm,} \quad (3.8)$$

kde:  $b_{prelis}$  - šírka prelisu [mm].

$F_{5s}$  - sila na prestrihnutie kombinovaným nástrojom [N]:

$$F_{5s} = n_s \cdot s_0 \cdot o_{5s} \cdot \tau_s = 1,45 \cdot 1 \cdot 28 \cdot 0,77 \cdot 510 = 15944 \text{ N,}$$

kde:  $o_{5s}$  - dĺžka strihu kombinovaným nástrojom [mm]:

$$o_{5s} = 2 \cdot a_{prelis} = 2 \cdot 14 = 28 \text{ mm,} \quad (3.9)$$

kde:  $a_{prelis}$  - dĺžka prelisu [mm].



- Sila pre operáciu 6:

$$F_6 = n_s \cdot s_0 \cdot o_6 \cdot \tau_s = 1,45 \cdot 1 \cdot 8,4 \cdot 0,77 \cdot 510 = 4783 \text{ N.}$$

kde:  $o_6$  - dĺžka strihu strihania strižníkom 6 [mm]:

$$o_6 = 2 \cdot e_d = 2 \cdot 4,2 = 8,4 \text{ mm,} \quad (3.10)$$

kde:  $e_d$  - dĺžka mostíku [-]

Výpočet celkovej sily a práce:

- ♦ Celková sila:

$$\begin{aligned} F_c &= F_1 + 8 \cdot F_2 + 2 \cdot F_3 + 2 \cdot F_4 + 2 \cdot F_5 + F_6 \\ &= 33197 + 8 \cdot 12527 + 2 \cdot 33721 + 2 \cdot 37012 + 2 \cdot 18680 + \\ &\quad + 4783 \\ &= 316622 \text{ N,} \end{aligned} \quad (3.11)$$

- ♦ Celková práca 'A<sub>c</sub>' je daná súčtom strižnej a ťažnej práce:

$$A_c = A_s + A_t = 186,9 + 84,15 = 271,05 \text{ J.} \quad (3.15)$$

kde:  $A_s$  - strižná práca [J]:

$$A_s = \lambda \cdot F_s \cdot s_0 = 0,6 \cdot 311550 \cdot 0,001 = 186,9 \text{ J,}$$

kde:  $\lambda$  - súčiniteľ plnosti z grafu v prílohe 3,  $\lambda = 0,6$

$F_s$  - strižná sila [N]:

$$\begin{aligned} F_s &= F_1 + 8 \cdot F_2 + 2 \cdot F_3 + 2 \cdot F_4 + 2 \cdot F_{5s} + F_6 \\ &= 33197 + 8 \cdot 12527 + 2 \cdot 33721 + \\ &\quad + 2 \cdot 37012 + 2 \cdot 15944 + 4783 \\ &= 311550 \text{ N.} \end{aligned} \quad (3.16)$$

$A_t$  - ťažná práca [J]:

$$A_t = \frac{C_t \cdot F_t \cdot (h + R)}{1000} = \frac{0,66 \cdot 31888 \cdot (1 + 3)}{1000} = 84,18 \text{ J,}$$

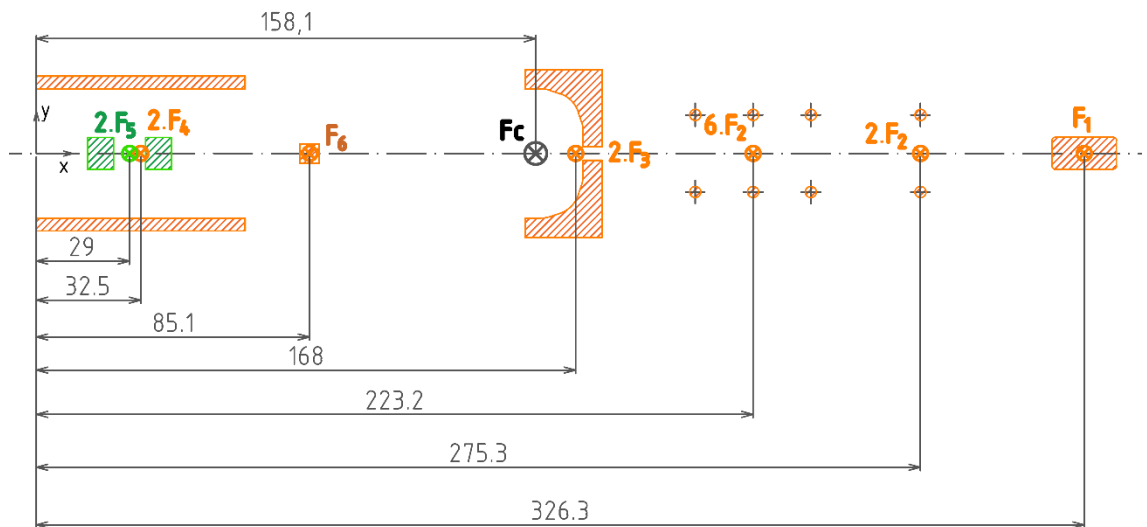
kde:  $C_t$  je volený 0,66 pre bežné ťahanie

$F_t$  - ťažná sila [N]:

$$F_t = 2 \cdot F_{5t} = 2 \cdot 15944 = 31888 \text{ N.} \quad (3.14)$$

Po výpočte síl treba zistiť ich ťažisko na správne umiestnenie stopky nástroja. Jednotlivé vzdialenosti čiastkových ťažísk od stredu súradného systému boli určené pomocou softvéru AutoCAD Mechanical 2018 a je možné ich vidieť, spolu so silami, ktoré v nich pôsobia, na obr. 58. Keďže sily pôsobia symetricky na oboch stranách je ťažisko pre každý typ nástroja v osi. Preto bude výpočet podľa (2.37) prebiehať len v osi x:

$$\begin{aligned} X &= \sum \frac{F_{ix} \cdot x_i}{F_x} \\ X &= \frac{F_1 \cdot x_1 + 2 \cdot F_2 \cdot x_{2_1} + 6 \cdot F_2 \cdot x_{2_2}}{F_1 + 8 \cdot F_2 + 2 \cdot F_3 + 2 \cdot F_4 + 2 \cdot F_5 + F_6} + \\ &\quad + \frac{2 \cdot F_3 \cdot x_3 + 2 \cdot F_4 \cdot x_4 + 2 \cdot F_5 \cdot x_5 + F_6 \cdot x_6}{F_1 + 8 \cdot F_2 + 2 \cdot F_3 + 2 \cdot F_4 + 2 \cdot F_5 + F_6} = \\ &= \frac{33197 \cdot 326,3 + 2 \cdot 12527 \cdot 275,3 + 6 \cdot 12527 \cdot 223,2}{33197 + 8 \cdot 12527 + 2 \cdot 33721 + 2 \cdot 37012 + 2 \cdot 18680 + 4783} + \\ &\quad + \frac{2 \cdot 33721 \cdot 167,95 + 2 \cdot 37012 \cdot 32,5 + 2 \cdot 18680 \cdot 29 + 4783 \cdot 168}{33197 + 8 \cdot 12527 + 2 \cdot 33721 + 2 \cdot 37012 + 4783 + 32783 + 2 \cdot 18680} \\ &= 158,1 \text{ mm} \end{aligned}$$



Obr. 58 Rozloženie ťažísk nástrojov

Pri návrhu nástroja je nutné urobiť kontrolu činných častí nástroja. Pri nej je potrebné preveriť každý strižník a ťažník na vzper a otláčenie a pri každej ťažnici a strižnici jej minimálnu hrúbku. Pri kontrole na otláčenie je dovolené napätie pre upínaciu dosku 180 MPa, ak je vyššie musí sa použiť opieracia doska, ktorá má limitné napätie 1600 MPa. Kontrola nástrojov pre každú operáciu:

➤ Operácia 1:

- Strižník 1 bude nakupovaný a bude mať tvar ako na obr. 59. Kontrola strižníku 1 na vzper:

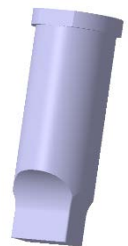
Výpočet momentu zotrvačnosti:

$$I_1 = \frac{\pi \cdot d_{1r}^4}{64} = \frac{\pi \cdot 25^4}{64} = 19175 \text{ mm}^4, \quad (3.17)$$

kde:  $d_{1r}$  – priemer rozšírenia strižníku 1 [mm].

Výpočet kritickej dĺžky strižníku 1 vyjadrením z (2.39):

$$l_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_2}{k_{vzper} \cdot F_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 19175}{1,5 \cdot 33197}} = 1263,4 \text{ mm}. \quad (3.18)$$



Obr. 59 Tvar strižníku 1

Voľná dĺžka strižníku bude 24,9 mm, čo je menšie ako  $l_1$ , a teda k strate vzpernej stability nedôjde.

- Kontrola strižníku 1 na otláčenie zo vzorca (2.40)  $S_{\text{strižník}}$  plochu strižníku v kontakte s upínacou/opieracou doskou:

$$\sigma_{ot1} = \frac{F_1}{S_{\text{strižník1o}}} = \frac{F_1}{603} = \frac{33197}{603} = 55 \text{ MPa},$$

kde:  $S_{\text{strižník1o}}$  – plocha strižníku 1 v kontakte s kotevnou alebo opieracou doskou [mm<sup>2</sup>] určený pomocou softvéru Catia V5,

Hodnota  $\sigma_{ot1}$  je nižšia ako dovolená. nie je potrebná opieracia doska.

- Kontrola hrúbky strižnice 1 podľa (2.41):

$$H_{\text{strižnica 1}} = \sqrt[3]{F_1} = \sqrt[3]{33197} = 32,1 \text{ mm},$$

kde:  $H_{\text{strižnica 1}}$  – hrúbka strižnice 1 [mm].

Strižnica volená z katalógu predajcu o hrúbke 35 mm.

➤ Operácia 2:

- Strižník 2 bude nakupovaný a bude s rozšírením (obr. 60). Kontrola strižníku 2 na vzper:

Výpočet momentu zotrvačnosti:

$$I_2 = \frac{\pi \cdot d_{2r}^4}{64} = \frac{\pi \cdot 5^4}{64} = 30,680 \text{ mm}^4,$$

kde:  $d_{2r}$  – priemer rozšírenia strižníku 2 [mm].

Výpočet kritickej dĺžky strižníku vyjadrením z (2.39):

$$l_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_2}{k_{vzper} \cdot F_2}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 30,680}{1,5 \cdot 12527}} = 82,27 \text{ mm}.$$

Kde bola zvolená bezpečnosť  $k_{vzper} = 1,5$

Voľná dĺžka strižníku bude 24,9 mm, čo je menšie ako  $l_2$ , a teda k strate vzpernej stability nedôjde.



Obr. 60  
strižník 2

- Kontrola strižníku 2 na otláčenie zo vzorca (2.40) s dosadením za  $S_{\text{strižník}}$  plochu strižníku v kontakte s upínacou/opieracou doskou:

$$\sigma_{ot2} = \frac{F_2}{S_{\text{strižník}}} = \frac{F_2 \cdot 4}{\pi \cdot d_{10}^2} = \frac{12527 \cdot 4}{\pi \cdot 8^2} = 249 \text{ MPa}, \quad (3.19)$$

kde:  $d_{20}$  – priemer osadenia strižníku 1 [mm],

Hodnota  $\sigma_{ot2}$  je vyššia ako limitná, je potrebná opieracia doska.

- Kontrola hrúbky strižnice 2 podľa (2.41):

$$H_{\text{strižnica 2}} = \sqrt[3]{F_2} = \sqrt[3]{12527} = 23,22 \text{ mm},$$

kde:  $H_{\text{strižnica 2}}$  – hrúbka strižnice 2 [mm].

Hrúbka strižnice je volená podľa katalógu výrobcu na 35 mm, aby bola rovnaká ako v operácii 1.

➤ Operácia 3:

- Strižník 3 bude tvaru ako na obr. 61. Kontrola strižníku 3 na vzper:

Výpočet momentu zotrvačnosti:

$$I_3 = \frac{a_{3r}^4}{12} = \frac{24^4}{12} = 27648 \text{ mm}^4,$$

kde:  $a_{3r}$  – rozmer rozšírenia strižníku 3 [mm].



Obr. 61 Strižník

Výpočet kritickej dĺžky strižníku vyjadrením z (2.39):

$$l_3 = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_3}{k_{vzper} \cdot F_3}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 27648}{1,5 \cdot 33721}} = 1505 \text{ mm.}$$

Voľná dĺžka strižníku bude 19,9 mm, čo je menšie ako  $l_3$ , a teda k strate vzpernej stability nedôjde.

- Kontrola strižníku 3 na otláčenie zo vzorca (2.40) s dosadením za  $S_{\text{strižník}}$  plochu strižníku v kontakte s upínacou/opieracou doskou, ktorá bola zistená pomocou softvéru Catia V5::

$$\sigma_{ot3} = \frac{F_3}{S_{\text{strižník}}} = \frac{33721}{534,7} = 63 \text{ MPa,}$$

Hodnota  $\sigma_{ot3}$  je nižšia ako dovolená, nie je potrebná opieracia doska.

- Kontrola hrúbky strižnice 3 podľa (2.41):

$$H_{\text{strižnica 3}} = \sqrt[3]{F_3} = \sqrt[3]{33721} = 32,3 \text{ mm,}$$

kde:  $H_{\text{strižnica 3}}$  – hrúbka strižnice1 [mm].

Hrúbka strižnice je volená podľa katalógu výrobcu na 35 mm, aby bola rovnaká ako v operácii 1.

#### ➤ Operácia 4:

- Strižník 4 bude tvaru ako na obr. 62 a bude nevedený . Kontrola strižníku 4 na vzper:

Moment zotrvačnosti zistený pomocou softvéru AutoCAD Mechanical 2018:

$$I_4 = 2765 \text{ mm}^4,$$

kde:  $a_{3r}$  – rozmer rozšírenia strižníku 4 [mm].

Výpočet kritickej dĺžky strižníku vyjadrením z (2.39):

$$l_4 = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_4}{k_{vzper} \cdot F_4}}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2765}{1,5 \cdot 37012}} = 227,2 \text{ mm.}$$

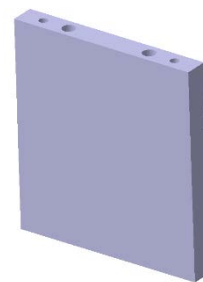
kde: je delené  $l_4$  dvomi kvôli uloženiu strižníku bez vedenia

Voľná dĺžka strižníku bude 53 mm, čo je menšie ako  $l_3$ , a teda k strate vzpernej stability nedôjde.

- Kontrola strižníku 4 na otláčenie zo vzorca (2.40) s dosadením za  $S_{\text{strižník}}$  plochu strižníku v kontakte s upínacou/opieracou doskou, ktorá bola zistená pomocou softvéru Catia V5:

$$\sigma_{ot4} = \frac{F_4}{S_{\text{strižník}}} = \frac{37012}{474,1} = 78,5 \text{ MPa,}$$

Hodnota  $\sigma_{ot1}$  je nižšia ako dovolená, nie je potrebná opieracia doska.



Obr. 62 Strižník 4

- Kontrola hrúbky strižnice 1 podľa (2.41):

$$H_{\text{strižnica 4}} = \sqrt[3]{F_4} = \sqrt[3]{37012} = 33,3 \text{ mm},$$

kde:  $H_{\text{strižnica 4}}$  – hrúbka strižnice 1 [mm].

Hrúbka strižnice je volená podľa katalógu výrobcu na 35 mm, aby bola rovnaká ako v operácii 1.

➤ Operácia 5:

- Horný nástroj 5 bude tvaru ako na obr. 63. Kontrola horného nástroja 5 na vzper: Výpočet momentu zotrvačnosti:

$$I_5 = \frac{a_{\text{dol}_n5} \cdot b_{\text{dol}_n5}^3}{12} = \frac{10 \cdot 8^3}{12} = 426,7 \text{ mm}^4,$$

kde:  $a_{\text{dol}_n5}$  – rozmer úzkej časti nástroja 5 [mm].

$b_{\text{dol}_n5}$  – rozmer širokej časti nástroja 5 [mm].

Výpočet kritickej dĺžky horného nástroja vyjadrením z (2.39):

$$l_5 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_5}{k_{\text{vzper}} \cdot F_5}}$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 426,7}{1,5 \cdot 18680}} = 125,6 \text{ mm}.$$

kde: je delené  $l_5$  dvomi kvôli uloženiu horného nástroja bez vedenia

Voľná dĺžka horného nástroja bude 55,9 mm, čo je menšie ako  $l_5$ , a teda k strate vzpernej stability nedôjde.

- Kontrola horného nástroja 5 na otláčenie zo vzorca (2.40) s dosadením za  $S_{\text{strižník}}$  plochu strižníku v kontakte s upínacou/opieracou doskou, ktorá bola zistená pomocou softvéru Catia V5:

$$\sigma_{\text{ot5}} = \frac{F_5}{S_{\text{dol}_n}} = \frac{18480}{167,1} = 110,6 \text{ MPa},$$

Hodnota  $\sigma_{\text{ot5}}$  je nižšia ako dovolená, nie je potrebná opieracia doska.

- Kontrola hrúbky dolného nástroja 5 podľa (2.41):

$$H_{\text{dol}_n5} = \sqrt[3]{F_5} = \sqrt[3]{18480} = 26,4 \text{ mm},$$

kde:  $H_{\text{dol}_n5}$  – hrúbka dolného nástroja 5 [mm].

Hrúbka dolného nástroja je volená podľa katalógu výrobcu na 35 mm, aby bola rovnaká ako v operácii 1.

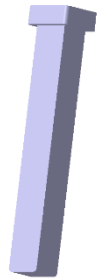
➤ Operácia 6:

- Strižník 6 bude tvaru ako na obr. 64. Kontrola strižníku 6 na vzper:

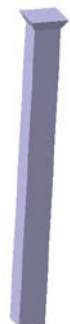
Výpočet momentu zotrvačnosti:

$$I_6 = \frac{a_{\text{striz6}}^4}{12} = \frac{6^4}{12} = 108 \text{ mm}^4,$$

kde:  $a_{\text{striz6}}$  – rozmer úzkej časti strižníku 5 [mm].



Obr. 63 Nástroj 5



Obr. 64 Strižník 6

Výpočet kritickej dĺžky strižníku vyjadrením z (2.39):

$$l_6 = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_6}{k_{vzper} \cdot F_6}}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2773}{1,5 \cdot 4783}} = 124,9 \text{ mm.}$$

kde: je delené  $l_6$  dvomi kvôli uloženiu strižníku bez vedenia

Voľná dĺžka strižníku bude 53 mm, čo je menšie ako  $l_5$ , a teda k strate vzpernej stability nedôjde.

- Kontrola strižníku 6 na otláčenie zo vzorca (2.40) s dosadením za  $S_{\text{strižník}}$  plochu strižníku v kontakte s upínacou/opieracou doskou, ktorá bola zistená pomocou softvéru Catia V5:

$$\sigma_{ot6} = \frac{F_6}{S_{\text{strižník}}} = \frac{4783}{72,9} = 65,6 \text{ MPa,}$$

Hodnota  $\sigma_{ot6}$  je nižšia ako dovolené, nie je potrebná opieracia doska.

- Kontrola hrúbky strižnice 1 podľa (2.41):

$$H_{\text{strižnica 6}} = \sqrt[3]{F_6} = \sqrt[3]{37012} = 33,3 \text{ mm,}$$

kde:  $H_{\text{strižnica 6}}$  – hrúbka strižnice 6 [mm].

Hrúbka strižnice je volená podľa katalógu výrobcu na 35 mm, aby bola rovnaká ako v operácii 1.

Pri návrhu nástroja je nutné poznať strižnú a ťažnú vôľu a pri ťahaní zaoblenie ťažníka a ťažnice:

- Výpočet strižnej vôle podľa (2.4):

$$v_s = c_s \cdot s_0 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,015 \cdot 1 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,77 \cdot R_m}$$

$$= 0,015 \cdot 1 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,77 \cdot 510} = 0,095 \text{ mm,}$$

kde:  $c_s$  volené z rozsahu 0,005÷0,025, pre bežné strihanie.

Ťažná vôľa zaokrúhlená na 0,1 mm

- Výpočet ťažnej vôle podľa (2.28):

$$z_{tstena} = (1,15 \div 1,30) \cdot s_0 = 1,2 \cdot 1 = 1,2 \text{ mm,}$$

Pri výrobe prelisov bude na jednom nástroji prebiehať prestrihnutie dlhších častí a vytiahnutie kratších strán. Bude to dosiahnuté rozdielnou vôľou na stranách nástroja a zaoblením v časti kde bude prebiehať ťahanie.

- Určenie zaoblenia ťažnice podľa (2.44):

$$r_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{s_0 \cdot (R_0 - R - s_0)} = 0,8 \cdot \sqrt{1 \cdot (9,6 - 8 - 1)} = 0,61$$

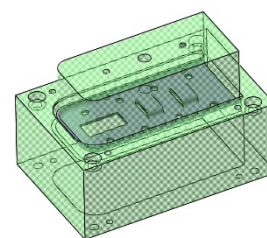
Kvôli tomu, že na strane dielu, ktorého sa ťažnica dotýka pri ťahaní má byť zaoblenie 1 mm je zaoblenie ťažnej hrany volený ako  $r_{tc}=1$  mm.

- Určenie zaoblenia ťažníku podľa (2.42):

$$r_{tv_2} = r_{tc} = 1 \text{ mm}$$

Ťahanie bude prebiehať na jednu operáciu, je teda nutné zaoblenie ťažníka zvoliť také, ako je na výslednom produkte.

II. Ťahadlo - Na výrobu lemu súčasti bude používaný jednúčelový ťahací nástroj, ktorého časti je možné vidieť, spolu s ťahaným dielom na obr. :



- Sila pre ťahadlo:

$$F_7 = (F_{7tr} + F_{7ts}) \cdot k_{kor} = (7691 + 25092) \cdot 2 = 65566 \text{ N},$$

kde:  $k_{kor}$  volený z tabuľky 4 pre 75 až 100 ako  $k_{kor} = 2$  Obr. 65 Ťahanie lemov

$F_{7tr}$  – sila na ťahanie rohov výťažku:

$$F_{7tr} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot s_0 \cdot R_m \cdot k_{t1}}{2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8 \cdot 1 \cdot 510 \cdot 0,6}{2} = 7691 \text{ N},$$

ktorá je delená dvomi, kvôli tomu, že sú ťahané len 2 rohy, koeficient  $k_{t1}$  je podľa kapitoly 2.3 volený 0.6, pre plytké ťahanie.

$F_{7ts}$  – sila na ťahanie stien výťažku:

$$F_{7ts} = o_7 \cdot s_0 \cdot R_m \cdot k_{t2} = 164 \cdot 1 \cdot 510 \cdot 0,3 = 25092 \text{ N}.$$

kde:  $o_7$  – dĺžka stien ťahaného dielu:

$$o_7 = 2 \cdot b_{rd} + a_{rd} = 2 \cdot 72 + 20 = 164 \text{ mm.} \quad (3.20)$$

- Ťažná práca  $A_{t7}$  podľa (2.36):

$$A_{t7} = \frac{C_t \cdot F_7 \cdot (h + R)}{1000} = \frac{0,66 \cdot 65566 \cdot (1 + 3)}{1000} = 173,09 \text{ J},$$

Kde sa koeficient  $C_t$  volí 0,66 pre bežné ťahanie.

- Kontrola činných častí nástroja:

- ♦ Kontrolu ťažníku na vzper nie je nutné vykonávať, lebo má dostatočný prierez
- ♦ Kontrola na otláčenie zo vzorca (2.40) s dosadením za  $S_{strižník}$  plochu strižníku v kontakte s upínacou/opieracou doskou, ktorá bola zistená pomocou softvéru Catia V5:

$$\sigma_{ot7} = \frac{F_7}{S_{strižník}} = \frac{65566}{2622,6} = 25 \text{ MPa},$$

Dovolené napätie je 180 MPa pre upínanie dosku a 1600 MPa pre opieranie dosku. Hodnota  $\sigma_{ot7}$  je nižšia ako 180 MPa, nie je potrebná opieracia doska.

- ♦ Kontrola hrúbky strižnice 1 podľa (2.41):

$$H_{strižnica\ 7} = \sqrt[3]{F_7} = \sqrt[3]{65566} = 40,3 \text{ mm},$$

kde:  $H_{strižnica\ 7}$  – hrúbka strižnice 7 [mm].

Hrúbka strižnice je volená 40 mm, keďže vzorec (2.41) je pre hrubý odhad.

- Ťažisko sily sa určí ako ťažisko prierezu ťažníku 7, to je zistené podľa softvéru AutoCad Mechanical 2018, vid' príloha 4:

$$X = 39,2 \text{ mm}$$

- Ťažná vôľa pri ťahaní hranatých výťažkov nie je v rohoch a v stenách rovnaká. Podľa ČSN 22 7303 sa dá vypočítať:

$$z_{tstena} = (1,15 \div 1,30) \cdot s_0 = 1,2 \cdot 1 = 1,2 \text{ mm},$$

$$z_{troh} = (1,30 \div 1,40) \cdot s_0 = 1,35 \cdot 1 = 1,35 \text{ mm}.$$



- Zaoblenie ťažnice:

$$r_{tc} = 0.8 \cdot \sqrt{R_0 - R - s_0} = 0.8 \cdot \sqrt{9,1 - 8 - 1} = 0.25 \text{ mm}$$

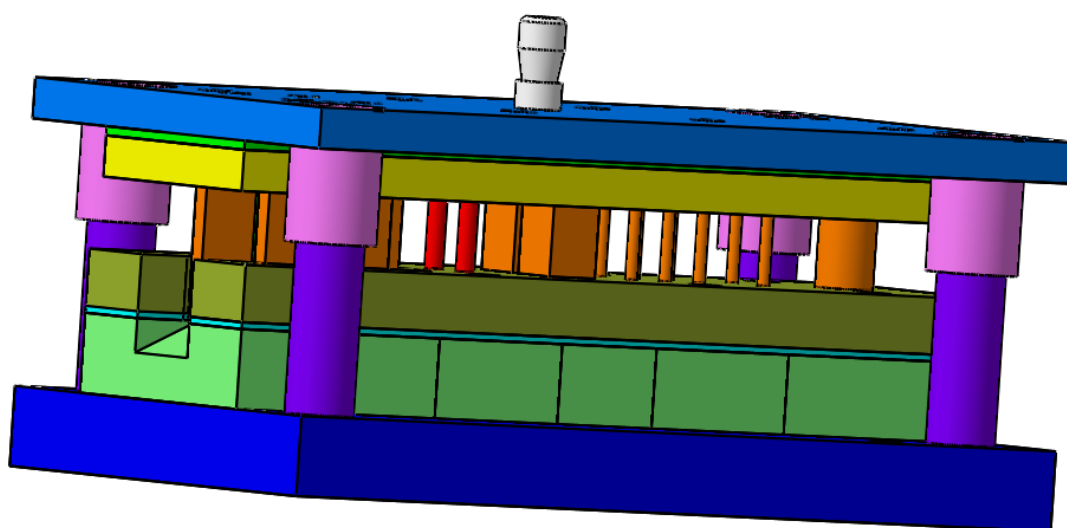
- Zaoblenie ťažníku

$$r_{tv} = r_{tc} = 0,25$$

kvôli jednooperačnému plytkému ťahaniu je možné tento polomer upraviť tak ako je na výsledom diele.  $r_{tc} = 2 \text{ mm}$

### 3.4.1 Návrh zostavy postupového nástroja [53]

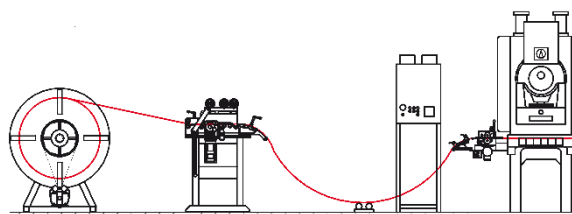
Nástroj (obr. 66) je zhotovený na výrobu polotovaru na výrobu telesa západky postupovým spôsobom. Činné časti nástroja sú z väčšej časti normalizované a objednávané od výrobcu



Obr. 67 Postupový nástroj

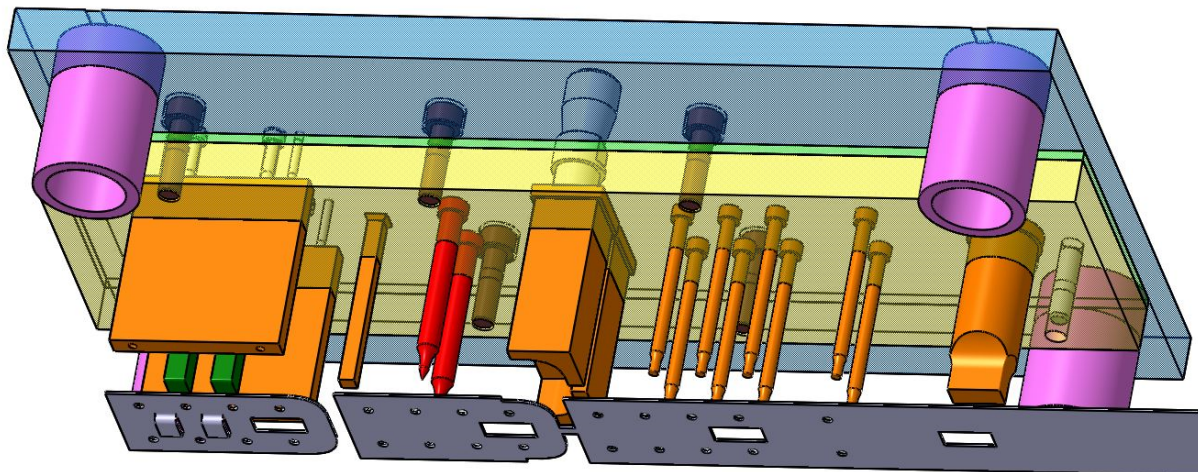
Fibro GmbH. Celý nástroj je možné vidieť na obr. 66, kde je v hornej polohe. Zdvih nástroja činí 7 mm. Pri návrhu sa uvažuje s výrobou zo zvitku plechu, kedy na jeho spracovanie je potrebná odvíjačka, rovnačka a na pohyb pásu je použitá automatická posúvačka (obr. 67).

Ako je vidieť na hornej časti nástroja (obr. 68), plech je v prvom kroku predierovaný obdĺžnikovým strižníkom a prvým radom okrúhlych strižníc, v druhom kroku dochádza k dostrihnutiu ostatných kruhových dier. V ďalšom kroku sa odstrihne časť obrysu. V tomto kroku sú prítomné aj hľadáčky, ktoré napomáhajú stredeniu plechu. Sú to hľadáčky s kužeľovitým hrotom. V poslednom kroku sa najskôr zelenými nástrojmi 5 vytiahnu prelisy a potom dôjde naraz k odstrihnutiu ostávajúcej časti obvodu a mostíku. Strižníky 1, 2, 6, hľadáčky a horná časť kombinovaného nástroja 5 sú v upínacej doske upevnené pomocou osadenia. Strižník 4 je skrutkami a kolíkmi spojený s kotviacou doskou. V nástroji je použitá opieracia doska o hrúbke 4 mm. Nástroj bude v stroji upevnený pomocou upínacej stopky, ktorá je na upínacej doske upevnená pomocou závitú a jej poloha je vo vypočítanom ťažisku z predchádzajúcej kapitoly. Vedenie nástroja majú za úlohu v hornej



Obr. 66 Radenie prídavných zariadení pre nástroj [53]

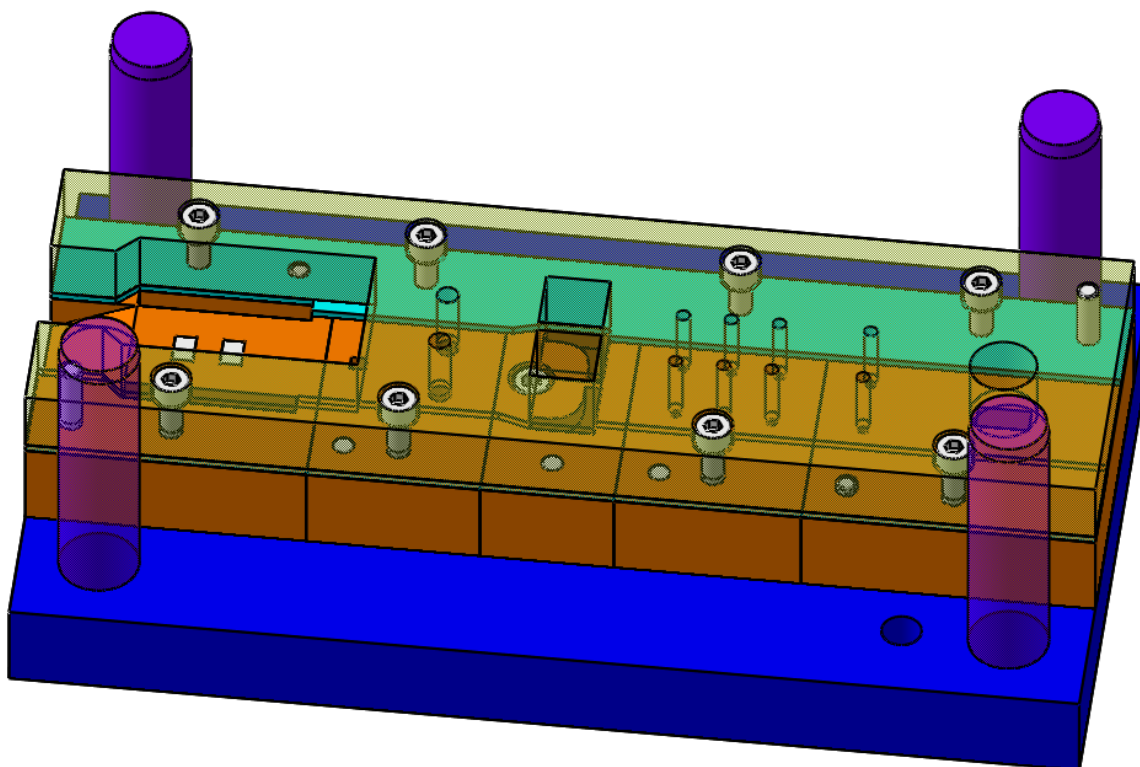
časti nástroja vodiace púzdra, ktoré sú štyri, v každom rohu jedno. Upínacia, opieracia a kotviaca doska sú spolu spojené pomocou skrutiek a zamedzené voči pohybu kolíkmi.



Obr. 68 Horná časť nástroja s pásom plechu

Horná časť sa bude zmontovávať na stojankochťak, že sa najskôr do upínacej dosky vložia strižníky, hľadáčky a ťažníky s osadením, potom sa na vrch pomocou kolíkov a skrutiek upevnia opieracia a upínacia doska v ktorej sú predtým nalepené vodiace púzdra. Potom môže byť nástroj položený na bok a namontované úzke strižníky z posledného kroku pomocou skrutiek a čapov.

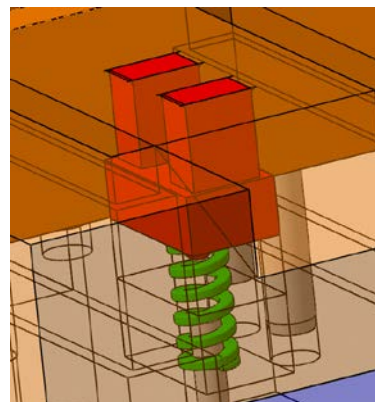
V spodnej časti nástroja (obr. 69) je možné vidieť, že strižnice a ťažnice sú vyrobené ako delené, kedy je pri opotrebení možné vymeniť len jeden segment. Spodné činné časti nástroja sú pripevnené pomocou skrutiek a kolíkov. V nástroji je použitá vodiaca doska a vodiace lišty, ktoré sú upevnené podobne, ktoré sú do základovej dosky upevnené skrutkami a poistené voči posunutiu čapmi. V základovej doske je pri vodiacom stĺpiku otvory pre prepravné dorazy



Obr. 69 Spodná časť nástroja

Montáž spodnej časti nástroja bude zložitejšia kvôli prítomnosti veľkého počtu zaisťovacích kolíkov a tiež prítomnosti vyhadzovača. Skladanie by začalo tak, že by sa do ťažnice vložil vyhadzovač spolu s pružinou a na ňu by sa dočasne skrutkou upevnila základová doska. Po otočení by nasledovalo namontovanie ostatných strižníc, vodiacich líšt a vodiacej dosky. Na koniec by boli do základovej dosky zalisované vodiace stĺpiky.

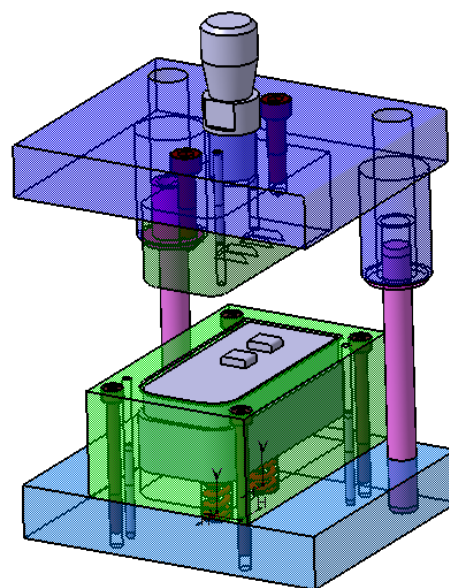
Do kombinovanej strižnice/ťažnice 5 bolo potrebné pre vytiahnutie dielu z nástroja pridať pružinový vyhadzovač, ktorý je možné vidieť na obr. 70. Tento pôsobí proti smeru ťahania prelisov a po ich vytiahnutí a prestrihnutí ostatných častí v tomto kroku nadvihne diel tak, že dno prelisu je zároveň s používajúcim sa rovinným plechom. Pružina je zaistená v základovej doske kolíkom a v telese vyhadzovača pomocou výstupku. Z nástroja sa výlisok vyhodí posunutím plechu na pozíciu, kde je šikmá plocha konštruovaná tak, aby sa po nej výrobok zošmykol von z nástroja. Na rohoch nástroja sú vodiace stĺpiky, ktoré sú zalisované do základovej dosky. Tá je ku stroju pripevnená pomocou upíniek.



Obr. 70 Vyhadzovač

### 3.4.2 Návrh zostavy ťahadla

Ťahadlo má za úlohu vytiahnutie obvodového lemu na súčasti, ktorý vyrobí na jeden zdvih. Nástroj je v stroji upevnený pomocou upínok a stopky, ktorá drži v kotviacej doske pomocou závit. V hornej časti je v základovej doske upevnený ťažník pomocou dvoch skrutiek a kolíkov. V ťažníku je vybrané pre prelis vytvorené predchádzajúcim nástrojom. V základovej doske sa nachádzajú dve vodiace púzdra, ktoré sú zalisované v protíahlých rohoch. V spodnej časti je ťažnica, ktorá má v hornej časti vybrané na ľahšie vkladanie a centrovanie polotovaru. K základovej doske je pripevnená pomocou štyroch skrutiek a kolíkov. Do ťažnice bolo nutné vložiť vyhadzovač, ktorý funguje za pomoci dvoch pružín, ktoré sú na ňom pripevnené pomocou kolíkov. Vyhadzovač má na vrchnej časti výbežky, ktoré majú za funkciu to, aby sa prelis na diele ťahaním obvodu neporušili. V rohoch základovej dosky sú nalisované vodiace stĺpiky. Nástroj je obsluhovaný manuálne, preto má zdvih 44 mm.



Obr. 71 Ťahadlo



### 3.4.3 Návrh stroja a mazania [42], [48]

Pri návrhu stroja sa vychádza z vypočítanej sily a práce, ale aj z ponuky výrobcov stroja. Pri výrobe súčasti postupovým nástrojom je potrebný lis o minimálnej sile 320 kN spolu s rezervou na silu vyhadzovača, prekonanie trenia atď. Na proces stačí jedničinný lis. Tiež je potrebné zvážiť veľkosť upínacej plochy stroja tak, aby naň bolo možné upnutie nástroja, potrebná upínacia plocha je 400 x 220 mm. Z možných typov lisov bol vybratý lis mechanický práve pre jeho cenu oproti hydraulickému. Ako najvhodnejší sa javí kľukový lis LDC 160 od výrobcu Šmeral Brno a.s., čo je stroj s nastaviteľným zdvihom barana a stojanom typu C, ktorý je vhodný na výrobu zo zvitku plechu. Stroj má menovitú silu 1600 kN, čo je dostatočné na celý proces prebiehajúci v nástroji. Plocha upínania na stole je 2000 x 780 mm a na barane 1550 x 630 mm, čo je vhodné pre konštruovaný nástroj. Tento lis je vhodný aj na ťahanie s manuálnym zakladaním dielu.

Pri výrobe pomocou postupového nástroja zo zvitku plechu je nutné použitie prídavných zariadení; odvíjaku, rovnačky a podávača. Tieto boli zvolené z katalógu výrobcu Attl a spol s.r.o. Odvíjač je volený AOZ 03 a má najnižšiu možnú nosnosť ale na uvažovaný zvitok plechu o hmotnosti 300 kg je dostatočný. Rovnačka je volená ROA 160 bez elektromotoru. Ako podávač je volený PAL 150.

Pri ťahaní prelisov nebude potrebné pri procese mazivo. Pri ťahaní lemu bude použité kvapalné mazivo RENOFORM MBW-Rad, ktoré bude nanášané na spodnú časť dielu manuálne.



Obr. 72 Kľukový lis Šmeral LDC 160 [48]

#### 4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE [55], [56], [57], [58], [59]

Pri technicko-ekonomickom zhodnotení sa bude predpokladať, že stroje potrebné na výrobu sú už zaplatené a odpísané v účtovníctve. Pri výrobe je prítomných veľa neznámych nákladov, ktoré nie je možné zahrnúť do výpočtu, kvôli tomu, že nástroj sa nenavrhuje pre konkrétnu prevádzku. Kvôli tomu budú odhadnuté a zahrnuté vo výrobnej a správnej réžii. Tieto sú napr. platy administratívnych pracovníkov, náklady na prenájom priestorov, kúrenie, osvetlenie, opravy strojov a nástrojov a i. Sériovosť činí 50 000 kusov za rok

Výpočet je možné rozdeliť na niekoľko častí:

- ❖ Náklady na materiál – usporiadanie potrebných výstrižkov bude uvažované to, ktoré podľa predchádzajúceho výpočtu vyšlo najvýhodnejšie, čo je výroba zo zvitku plechu s využitím materiálu 75,8 %.

Potrebná dĺžka zvitku na sériu:

$$L_s = l_k \cdot n_{se} = 88,1 \cdot 50000 = 4405000 \text{ mm}, \quad (4.1)$$

kde:  $l_k$  – dĺžka kroku nástroja  
 $n_{se}$  – počet kusov série.

Hmotnosť zvitkov na celú sériu:

$$m_s = \rho_{ocel} \cdot V_c = 7850 \cdot 0,198225 = 1556,1 \text{ kg}, \quad (4.2)$$

kde:  $V_c$  – objem materiálu série:

$$\begin{aligned} V_c &= s_0 \cdot L_s \cdot B_{zv} = 1 \cdot 4405000 \cdot 45 = 198225000 \text{ mm}^3 \\ &= 0,198225 \text{ m}^3. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Cena materiálu na sériu:

$$c_s = c_{11\ 375} \cdot m_s = 13,80 \cdot 1556,1 = 21474,2 \text{ Kč}, \quad (4.4)$$

kde:  $c_{11\ 375}$  – cena materiálu [ $\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$ ], ktorá bola zistená  $13,8 \text{ Kč} / \text{kg}^{-1}$

Hmotnosť jedného dielu je zistená pomocou softvéru Catia V5 ako  $m_d = 24,5 \text{ g}$

Celková hmotnosť všetkých dielov v sérii:

$$m_{sd} = m_d \cdot n_{se} = 24,5 \cdot 50000 = 1225000 \text{ g} = 1225 \text{ kg}. \quad (4.5)$$

Hmotnosť odpadu:

$$m_o = m_s - m_{sd} = 1556,1 - 1225 = 331,1 \text{ kg}. \quad (4.6)$$

Cena odpadu:

$$c_o = m_{sd} \cdot c_{okg} = 1556,1 \cdot 3,1 = 4823,91 \text{ Kč}, \quad (4.7)$$

kde:  $c_{okg}$  – výkupná cena ocele [ $\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$ ].

Celkové náklady na materiál:

$$C_m = c_s - c_o = 21474,2 - 4823,91 = 16650,29 \text{ Kč}, \quad (4.8)$$

Cena materiálu jedného dielu:

$$C_{dm} = \frac{C_m}{n_s} = \frac{16650,29}{50000} = 0,33 \text{ Kč}. \quad (4.9)$$

Cena jedného kusu činí  $0,096 \text{ Kč}$ , k čomu je nutné pričítať cenu žiarového zinkovania, ktorú je možné odčítať z tabuľky 11 pre celú sériu ako  $18 \text{ Kč/kg}$ .

Tab. 11 Ceny zinkovania. [55]

hmotnosť materiálu [kg]	301 - 600	601 - 1000	1001 - 3000	nad 3000
cena [ $\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]	21	20	19	18

Cena povrchovej úpravy celej série:

$$c_{pu} = m_{sd} \cdot c_{pu\_kg} = 1556,1 \cdot 18 = 28009,8 \text{ Kč} \quad (4.10)$$

kde:  $c_{pu\_kg}$  – cena za kilogram zinkovania [ $\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

Cena povrchovej úpravy jedného dielu

$$c_{pud} = \frac{c_{pu}}{n_s} = \frac{28009,8}{50000} = 0,56 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

Celková cena dielu

$$C_d = C_{dm} + c_{pud} = 0,33 + 0,56 = 0,89 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

- ❖ Náklady na mzdy – výroba bude prebiehať v dvoch nástrojoch, pričom každý bude obsluhovať jeden človek. Mzda bude počítaná pre dve osoby s osemhodinovou pracovnou dobou a budú počítané osobitne pre oba nástroje:

- Postupový nástroj:

Počet dielov vyrobených za hodinu:

$$n_{zh} = n_z \cdot 60 = 45 \cdot 60 = 2700 \text{ ks}, \quad (4.13)$$

kde:  $n_z$  – počet zdvihov lisu za minútu [ $\text{min}^{-1}$ ], zistená zo stránok výrobcu lisu

Počet dielov vyrobených za deň:

$$n_{dzd} = n_{hz} \cdot t_v = 2700 \cdot 6,5 = 17550 \text{ ks}, \quad (4.14)$$

kde:  $t_v$  – časť pracovnej doby, kedy sa na stroji vyrába [hod].

Počet zmien, potrebných na vyrobenie série:

$$n_{zm} = \frac{n_{se}}{n_{dzd}} = \frac{50000}{17550} = 2,84 \text{ zmien.} \quad (4.15)$$

Počet hodín potrebných na vyrobenie série:

$$n_{Hp} = t \cdot n_{zm} = 8 \cdot 2,84 = 22,72 \text{ hod} \quad (4.16)$$

kde:  $t$  – pracovná doba [hod]

Mzda pracovníka s počítaním zo superhrubej mzdy, kedy :

$$M_{prac} = n_H \cdot J_m \cdot SM = 22,72 \cdot 150 \cdot 1,34 = 4566,7 \text{ Kč}, \quad (4.17)$$

kde:  $J_m$  – hodinový plat [ $\text{Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$ ], je volený ako  $150 \text{ Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$

$SZ$  – koeficient superhrubej mzdy [-], určený pre rok 2018 ako 1,34.

Náklady na mzdu pracovníka obsluhujúceho postupový nástroj:

$$\begin{aligned} N_{mz} &= M_{prac} \cdot (r_{sp} + r_{vyr}) = 4566,7 \cdot (1,10 + 2,50) \\ &= 16440,1 \text{ Kč}, \end{aligned} \quad (4.18)$$

kde:  $r_{sp}$  – koeficient správnej réžie [-], odhadnutý ako 1,10

$r_{vyr}$  – koeficient výrobnéj réžie [-], odhadnutý ako 2,50

Náklady na mzdu pracovníka obsluhujúceho postupový nástroj pre diel:

$$N_{mzd1} = \frac{N_{mz}}{n_{se}} = \frac{16440,1}{50000} = 0,33 \text{ Kč}, \quad (4.19)$$

- Ťahadlo:

Počet dielov vyrobených za hodinu:

$$n_{zh} = n_z \cdot 60 = 10 \cdot 60 = 600 \text{ ks,}$$

kde počet zdvihov lisu za minútu znížený na  $10 \text{ min}^{-1}$  keďže nástroj bude obsluhovaný manuálne spoločne s nanášaním maziva

Počet dielov vyrobených za deň:

$$n_{dzd} = n_{hz} \cdot t_v = 600 \cdot 6,5 = 3900 \text{ ks,}$$

Počet zmien, potrebných na vyrobenie série:

$$n_{zm} = \frac{n_{se}}{n_{dzd}} = \frac{50000}{3900} = 12,8 \text{ zmien.}$$

Počet hodín potrebných na vyrobenie série:

$$n_{Ht} = t \cdot n_{zm} = 8 \cdot 12,8 = 102,4 \text{ hod}$$

Mzda pracovníka s počítaním zo superhrubej mzdy, kedy :

$$M_{prac} = n_H \cdot J_m \cdot SM = 102,4 \cdot 150 \cdot 1,34 = 20582,4 \text{ Kč,}$$

Náklady na mzdu pracovníka obsluhujúceho ťahadlo:

$$\begin{aligned} N_{mz} &= M_{prac} \cdot (r_{sp} + r_{vyr}) = 20582,4 \cdot (1,10 + 2,50) \\ &= 74094,6 \text{ Kč,} \end{aligned}$$

Náklady na mzdu pracovníka obsluhujúceho ťahadlo pre diel:

$$N_{mzd2} = \frac{N_{mz}}{n_{se}} = \frac{74094,6}{50000} = 1,48 \text{ Kč,}$$

- ❖ Náklady na el. energie – pri výrobe je nutné použiť dva lisy s príkonom 17,5 kW, rovnačka s príkonom 7,5 kW a podávač s príkonom 3 kW

Náklady na el. energiu lisu s postupovým nástrojom:

$$\begin{aligned} N_{el1} &= (P_{lis} + P_{rov} + P_{pod}) \cdot C_e \cdot n_{Hp} = (17,5 + 7,5 + 3) \cdot 3,1 \cdot 22,7 \\ &= 1970,36 \text{ Kč,} \end{aligned} \quad (4.20)$$

kde:  $P_{lis}$  – príkon lisu [kW]

$P_{rov}$  – príkon rovnačky [kW]

$P_{pod}$  – príkon podávača [kW]

$C_e$  – cena elektrickej energie [ $\text{Kč} \cdot (\text{kWh})^{-1}$ ].

Náklady na el. energiu lisu s ťahadlom:

$$N_{el2} = P_{lis} \cdot C_e \cdot n_{Ht} = 17,5 \cdot 3,1 \cdot 102,4 = 5555,2 \text{ Kč,}$$

Náklady na el. energiu pre jeden diel:

$$N_{elk} = \frac{N_{el1} + N_{el2}}{n_{se}} = \frac{5555,2 + 1970,36}{50000} = 0,15 \text{ Kč.} \quad (4.21)$$

- ❖ Náklady na nástroje – sú odhadnuté tak, že cena postupového nástroja je 280000 Kč a cena ťahidla 90000 Kč

Náklady na nástroje pre jeden diel:

$$N_n = \frac{C_{pos} + C_{taz}}{n_{se}} = \frac{280000 + 90000}{50000} = 7,4 \text{ Kč,} \quad (4.22)$$

kde:  $C_{pos}$  – cena postupového nástroja [-]

$C_{tah}$  – cena ťahidla [-].

- ❖ Náklady na mazanie - sú odhadované pre jeden výlisok na 0,08 Kč



Celkové náklady sú určené ako súčet nákladov na materiál, mzdy pracovníkov, náklady na elektrickú energiu, náklady na nástroj a mazanie:

$$N_c = 1,5 \cdot (C_d + N_{mzd1} + N_{mzd2} + N_{el} + N_n + N_{maz})$$

$$= 1,5 \cdot (0,89 + 0,33 + 1,48 + 0,15 + 7,4 + 0,08) = 15,50 \text{ Kč} \quad (4.23)$$

kde:  $N_{maz}$  – náklady na mazanie [Kč]

je navýšenie ceny o 50 % kvôli ďalším vplyvom inak do výpočtu nezahrnuté.

Pre ďalšie výpočty je suma 15,50 Kč zaokrúhľená na 16 Kč.

Pre plánovanie výroby je potrebné zistiť tzv. bod zvratu, ktorý slúži ako informácia o návratnosti počiatkových investícií:

$$B = \frac{N_{fix}}{N_{ct} - N_{var}} = \frac{370000}{16,5 - 2,89} = 17527 \text{ ks} \quad (4.24)$$

kde:  $N_{fix}$  – fixné náklady (náklady, ktoré sú jednorázové) [Kč]:

$$N_{fix} = N_n \cdot n_{se} = 7,4 \cdot 50000 = 370000 \text{ Kč} \quad (4.25)$$

$N_{var}$  – variabilné náklady [Kč]

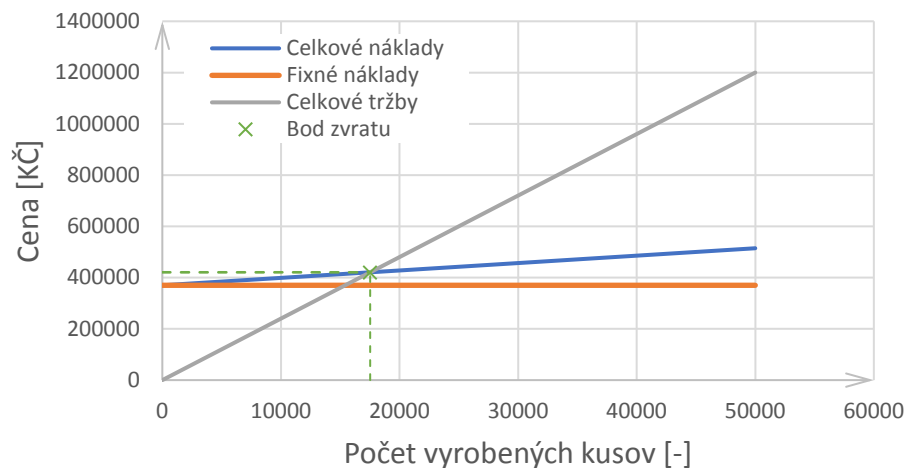
$$N_{var} = C_d + N_{mzd1} + N_{mzd2} + N_{el} + N_{maz}$$

$$= 0,89 + 0,33 + 1,48 + 0,11 + 0,08 = 2,89 \quad (4.26)$$

$N_{ct}$  – celkové tržby [Kč]

$$N_{ct} = mar \cdot N_c = 1,5 \cdot 16 = 24 \text{ Kč} \quad (4.27)$$

Bod zvratu je po vyrobení 27185 ks a vývoj fixných a variabilných nákladov je možné vidieť na obrázku 73.



Obr. 73 Graf bodu zvratu

Z obr. 73 a výpočtov bolo zistené, že technológia je vyhovujúca pretože sa po čase stáva ziskovou. Toto sa stane po výrobe a predaji 27185 ks. Technicko-ekonomické hodnotenie je však len orientačné, keďže veľa nákladov bolo len odhadnutých a nebolo počítané s využitím už existujúceho strojového parku.

## 5 ZÁVERY

Práca rieši výrobu telesa západky, ktorá slúži na uzatváranie okien, okeníc alebo dverí. Bude vyrábaná v sérii 50 000 ks za rok. Použitý materiál je oceľ 11 375, ktorá bude proti vonkajším vplyvom prostredia ošetrená odstredivým zinkovaním.

Po zhodnotení technologickosti bolo teleso západky upravené tak, aby bola zachovaná jeho funkčnosť. Bol zmenený polomer obvodového lemu a na jednej strane bol vynechaný. Tiež boli zaoblené rohy obdĺžnikovej diery.

Z variantného riešenia boli zvolené technológie strihania a ťahania. Ako polotovár bol zvolený zvitok plechu o šírke 45 mm s pozdĺžnym usporiadaním výstrižkov a ktorá má využitie materiálu 75,8 %.

Boli navrhnuté varianty výroby, kde bol uvažovaný aj postupový nástroj na výrobu celého telesa západky, avšak kvôli zložitosti takéhoto nástroja bolo pristúpené k variante produkcie v združenom postupovom nástroji v kombinácii s jednúcelovým ťahadlom na dokončenie lemu súčasti. V postupovom nástroji sa vystrihujú diery, vzniká prístrih a dochádza k plytkému ťahaniu prelisov v štyroch krokoch. Z konštrukčných a technologických výpočtov boli určené potrebné sily a práce a podľa nich navrhnuté nástroje

Podľa potrebnej sily bol zvolený pre oba nástroje lis Šmeral LDC 160, pričom pri postupovom nástroji budú k nemu zaradené prídavné zariadenia v podobe odvíjaku, rovnačky a valčekového podávača od firmy Attl a spol. s.r.o. V druhom nástroji bude obsluha manuálna a bude pri tom polotovár mazaný mazivom RENOFORM MBW-Rad.

V technicko-ekonomickom zhodnotení sa tento spôsob výroby prejavil ako výhodný, lebo po vyrobení 27185 kusov začal byť ziskový, za podmienky, že sa použije strojový park firmy.

## ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV [58]

1. Plech dverí X032 mercedes w164. In: *Bazar.Automedik.cz*[online]. [cit. 2018-3-16]. Dostupné z: <http://bazar.automedik.cz/AMD7374229346/mercedes/ml-w164>
2. Kryt na opotrebenie. In: *EXCEL SPRING & STAMPING*[online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.excelspring.com/metal-stamping-services.html>
3. Strúhadlo na uhorky. In: *Homedesign SK*[online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://homedesignsk.sk/detail/27759/struhadlo-na-uhorky--nerez/cat/710>
4. Stríhaný diel. In: *TRUMPF* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [https://www.trumpf.com/sk\\_SK/produkty/systemystrojov/kombinovane-vysekavacie-a-laserove-zariadenie/trumatic-7000/](https://www.trumpf.com/sk_SK/produkty/systemystrojov/kombinovane-vysekavacie-a-laserove-zariadenie/trumatic-7000/)
5. Diel dverí. In: *Phys.org* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://phys.org/news/2015-05-high-volume-aluminum-autos.html>
6. Panvica wok. In: *Hrnce.sk* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.ihrnce.sk/wok-ocel-30>
7. Okno s okenicami. In: *Pixabay* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://pixabay.com/en/window-shutter-shutters-1074511/>
8. *SIGNUM* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.signumcz.com/sk/>
9. Ploché výrobky válcované za tepla. *ArcelorMittal* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [https://ostrava.arcelormittal.com/pdf/AM\\_katalog-ploche-cz.pdf](https://ostrava.arcelormittal.com/pdf/AM_katalog-ploche-cz.pdf)
10. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnícké tabuľky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 80-864-9074-2.
11. *MatNet* [online]. 2006 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.matnet.sav.sk>
12. VAJDOVÁ, ALENA a ANNA MIČIETOVÁ. OBRÁBANIE VODNÝM LÚČOM A JEHO APLIKÁCIE. In: *Strojárstvo / Strojirenství* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/1296-obrabanie-vodnym-luom-a-jeho-aplikacie>
13. PERŽEL, Vincent, Pavol HREHA a Milan MIČKO. VÝHODY A NEDOSTATKY TECHNOLOGIÍ DELENIA KYSLÍKOM, PLAZMOU A LASEROM V PRAXI. In: *Strojárstvo / Strojirenství* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/785-vyhody-a-nedostatky-technologiei-delenia-kyslikom-plazmou-a-laserom-v-praxi>
14. NORBERTO LÓPEZ DE LACALLE, L., F.J. CAMPA a A. LAMIKIZ. Milling. *Modern Machining Technology: A Practical Guide*. Woodhead Publishing Limited, 2011, s. 213-303. DOI: 10.1533/9780857094940. ISBN 9780857090997.
15. RAMEZANI, Maziar a Zaidi Mohd RIPIN. *Rubber-Pad Forming Processes: Technology and Applications*. United Kingdom: Elsevier Science, 2012. ISBN 0857090941.

16. LENFELD, Petr. *Technologie II. Katedra strojírenské technologie*[online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/index.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm)
17. GUSTAFSSON, Emil. *Experiments on sheet metal shearing*. Luleå: Luleå tekniska universitet, 2013. ISBN 978-91-7439-622-5. ISSN 1402-1757. Licentiate Thesis. Luleå University of Technology.
18. Odlievanie. In: *Zlieváreň Zábrež* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://zlievaren.sk/vyrobny-program/>
19. Rohové frézovanie ako nikdy predtým. In: *Rezné nástroje | Nástroje na obrábění kovů / WNT* [online]. 2016 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/sk/news-detail/rohove-frezovanie-ako-nikdy-predtym-849.html>
20. Laser cut. In: *Lasermade* [online]. 2013 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.lasermade.com.au/home>
21. Construction Worker Welding. In: *Pixabay* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://pixabay.com/en/construction-worker-welding-welder-703773ú>
22. Guerin process. In: *Integrated Publishing* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.tpub.com/air/1-27.htm>
23. Vodný lúč. In: *REZMAT s.r.o* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.rezmat.sk/Obrazky/tech1vel.jpg>
24. FARRE, Sten a Niclas STENBERG. Simulation of the manufacturing process. In: *Swerea* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.swerea.se/en/services/simulation-verification/manufacturing-processes>
25. FINDA, Luděk a Roman HALTUF. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, (2010/6) [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
26. Electric cooker deep drawing mould. In: *Alibaba.com*[online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [https://www.alibaba.com/product-detail/sheet-metal-deep-drawing-progressive-die\\_60559597838.html](https://www.alibaba.com/product-detail/sheet-metal-deep-drawing-progressive-die_60559597838.html)
27. FINDA, Luděk a Roman HALTUF. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, 2010(2010/6) [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
28. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
29. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
30. ČADA, Radek. *Technologie I. Studijní opora*. 1. vyd. Ostrava: Editační středisko VŠB TUO, 2007. 360s. ISBN 978-80-248-1507-7
31. *ToMaC* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.tomac.sk/index.php?page=nastrojaren&lng=sk>

32. *Custompart* [online]. In: . [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/images/sheet-metal/shearing.png>
33. *Slideshare.net: Cutting operations* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [https://www.slideshare.net/e\\_gulfam/cutting-operations](https://www.slideshare.net/e_gulfam/cutting-operations)
34. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
35. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I. Plošné a objemové tváření*. Vyd. 2. Brno: VUT, 1992, 171 s. : il. ; 30 cm. ISBN 80-214-0404-3.
36. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. : il. ISBN 80-214-2683-7.
37. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
38. BAREŠ, Karel. Lisování: Určeno [také] stud. na stř. a vys. odb. školách. Praha: SNTL, 1971, 542 s.
39. ČSN 22 7303: Lisovací nástroje. Tažení dutých čtyřhranných výtažků. Směrnice pro konstrukci. 1967.
40. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990, 200 s. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-030-0221-4.
41. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
42. *Oleje a mazivá pre priemysel* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [http://www.hopex.sk/industrial\\_2007.pdf](http://www.hopex.sk/industrial_2007.pdf)
43. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
44. ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky: pro školu a praxi*. Praha: Scientia, 2007, 586 s. ISBN 978-80-86960-20-3.
45. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli (odborná kniha)*. 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
46. *Katalóg FIBRO* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://gore.cz/index.php/katalogy/cz-katalog>
47. *Rozlišení druhů tření* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/T%C5%99en%C3%AD#/media/File:Druhy\\_t%C5%99en%C3%AD.png](https://cs.wikipedia.org/wiki/T%C5%99en%C3%AD#/media/File:Druhy_t%C5%99en%C3%AD.png)
48. *Lisy* [online]. In: . [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/>
49. BAREŠ, Karel. Lisování: Určeno [také] stud. na stř. a vys. odb. školách. Praha: SNTL, 1971, 542 s.
50. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9
51. *Hydraulický lis* [online]. In: . [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.ripron.cz/lisy-rovnaci/hydraulicky-lis-7-5/>

52. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983, 213 s.
53. *Zvitok plechu* [online]. In: . [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.feroplech-letko.sk/>
54. *Attl a spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.attl.cz/>
55. KRUTINA, Václav a Martina NOVOTNÁ. *Ekonomika podniku: (cvičení)*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2004. ISBN 80-704-0732-8.
56. *MS - ŠROT, s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.mssrot.cz/>
57. *Žárové zinkování Kondor.cz* [online]. In: . [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [https://www.kondor.cz/zarove-zinkovani/t-159/#anchor\\_zinkovani\\_cenik](https://www.kondor.cz/zarove-zinkovani/t-159/#anchor_zinkovani_cenik)
58. *Linky na rovnání pasu* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [http://www.attl.cz/dokumenty/ostatni\\_produkty-rovnani\\_pasu.pdf](http://www.attl.cz/dokumenty/ostatni_produkty-rovnani_pasu.pdf)
59. *Finance.cz* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/zpravy/finance/445479-co-je-dobre-vedet-o-superhrube-mzde/>
60. *CITACE PRO: generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z : <http://citace.lib.vutbr.cz/>
61. ŠPAČEK, Jindřich a Ladislav ŤÁK. *Speciální technologie I a II: návody do cvičení - část: plošné tváření*. Vyd. 1 Praha. VUT Brno, 1991, 109 s. ISBN 80-214-0259-8.

## ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Označenie	Popis	Jednotka
$A_c$	Celková práca	J
$a_{dol\_n5}$	Rozmer úzkej časti nástroja 5	mm
$a_h$	Dĺžka hranatej diery	mm
$a_{prelis}$	Dĺžka prelisu	mm
$a_{rd}$	Dĺžka nezaobleného dna	mm
$A_s$	Strižná práca	J
$a_{striž4}$	Šírka strižníku použitého v 4. Kroku	mm
$a_{striž6}$	Rozmer úzkej časti strižníku 5	mm
$A_t$	Ťažná práca	J
$A_{t7}$	Ťažná práca	J
$A_{vys}$	Dĺžka výstrižku	mm
$B$	Bod zvratu	Kč
$b_{dol\_n5}$	Rozmer úzkej časti nástroja 5	mm
$b_h$	Šírka hranatej diery	mm
$B_{pl}$	Šírka plechu	mm
$B_{vys}$	Šírka výstrižku	mm
$B_{zv}$	Šírka zvitku	mm
$c_{11\ 375}$	Cena materiálu 11375	Kč
$C_d$	Celková cena dielu	Kč
$C_{dm}$	Cena materiálu jedného dielu	Kč
$C_e$	Cena elektrickej energie	Kč
$C_m$	Celkové náklady na materiál	Kč
$c_o$	Cena odpadu:	Kč
$c_{okg}$	Výkupná cena ocele	Kč·kg <sup>-1</sup>
$C_{pos}$	Cena postupového nástroja	Kč
$c_{pu}$	Cena povrchovej úpravy celej série	Kč
$c_{pu\_kg}$	Cena za kilogram zinkovania	Kč·kg <sup>-1</sup>
$c_{pud}$	Cena povrchovej úpravy jedného dielu	Kč
$c_s$	Koeficient, ktorý určuje druh strihania	-
$C_t$	Koeficient plnosti grafu	-
$C_{tah}$	Cena ťahadla	Kč
$D_0$	Priemer prístrihu	mm
$e$	Šírka mostíku	mm
$e_d$	Dĺžka mostíku	-
$F_1$	Sila pre operáciu 1	N
$F_2$	Sila pre operáciu 2	N
$F_3$	Sila pre operáciu 3	N
$F_4$	Sila pre operáciu 4	N
$F_5$	Sila pre operáciu 5	N
$F_{5s}$	Sila na prestrihnutie kombinovaným nástrojom	N



Označenie	Popis	Jednotka
$F_{5t}$	Sila na ťahanie kombibovaným nástrojom	N
$F_6$	Sila pre operáciu 6	N
$F_7$	Sila pre ťahadlo	N
$F_{7tr}$	Sila na ťahnie rohov výťazku pre ťahadlo	N
$F_{7ts}$	Sila na ťahanie stien výťazku pre ťahadlo	N
$F_c$	Celková sila:	N
$f_d$	Šírka okraju pásu plechu pri uložení na dĺžku	mm
$F_{ix}, F_{iy}$	Sily, ktoré pôsobia v smere osi x alebo y	N
$F_{kritvz}$	Kritická sila pre vzper	N
$F_s$	Strižná sila	N
$F_{s\ max}$	Maximálna strižná sila	N
$f_\xi$	Šírka okraju pásu plechu pri uložení na šírku	mm
$F_t$	Ťažná sila	N
$F_{t1}$	Ťažná sila potrebná na vytiahnutie teoretického rotačného dielu	N
$F_{t2}$	Ťažná sila potrebná k ťahaniu stien	N
$F_x, F_y$	Celková sila pôsobiaca v smere x alebo y	N
$h$	Výška rovnej strany výťazku	mm
$H_{dol\_n\ 5}$	Hrúbka strižnice 4	mm
$h_s$	Rozvinutá dĺžka v pozdĺžnych rohoch	mm
$h_{sa}$	Zmenšenie rozvinutej dĺžky $a_{rd}$	mm
$h_{sb}$	Zmenšenie rozvinutej dĺžky $a_{rd}$	mm
$H_{strižnica}$	Hrúbka strižnice	mm
$H_{strižnica\ 1}$	Hrúbka strižnice 1	mm
$H_{strižnica\ 2}$	Hrúbka strižnice 2	mm
$H_{strižnica\ 3}$	Hrúbka strižnice 3	mm
$H_{strižnica\ 4}$	Hrúbka strižnice 4	mm
$H_{strižnica\ 6}$	Hrúbka strižnice 4	mm
$H_{strižnica\ 7}$	Hrúbka strižnice 7	mm
$I$	Moment zotrvačnosti prierezu strižníku	mm <sup>4</sup>
$I_1$	Moment zotrvačnosti strižníku 1	mm <sup>4</sup>
$I_2$	Moment zotrvačnosti strižníku 2	mm <sup>4</sup>
$I_3$	Moment zotrvačnosti strižníku 3	mm <sup>4</sup>
$I_4$	Moment zotrvačnosti strižníku 4	mm <sup>4</sup>
$I_5$	Moment zotrvačnosti horného nástroja 5	mm <sup>4</sup>
$I_6$	Moment zotrvačnosti strižníku 4	mm <sup>4</sup>
$J_m$	Hodinový plat	Kč·hod <sup>-1</sup>
$k_{kor}$	Korekčný súčiniteľ	-
$k_m$	Súčiniteľ využitia materiálu	-
$k_{Oehler}$	Koeficient vo vzťahu podľa Oehlera	mm <sup>0,5</sup>
$k_{t1}$	Koeficient ťahania určujúci vplyv hĺbky výťazku	-
$k_{t2}$	Koeficient ťahania určujúci vplyv ohybu steny cez ťažnú hranu	-

Označenie	Popis	Jednotka
$k_{vzper}$	Koeficient bezpečnosti pri vzpere	-
$L$	Rozmer ohýbanej strany	mm
$l$	Voľná dĺžka strižníku	mm
$l_1$	Kritická dĺžka strižníku 1	mm
$l_2$	Kritická dĺžka strižníku 2	mm
$l_3$	Kritická dĺžka strižníku 3	mm
$l_4$	Kritická dĺžka strižníku 4	mm
$l_5$	Kritická dĺžka horného nástroja 5	mm
$l_6$	Kritická dĺžka strižníku 4	mm
$l_k$	Dĺžka kroku nástroja	mm
$L_{pl}$	Dĺžka plechu	mm
$l_s$	Obvod strihanej krivky	mm
$L_s$	Potrebná dĺžka zvitku na sériu	mm
$L_{t2}$	Dĺžka rovných stien vytáňovaného dielu	mm
$L_{zv}$	Dĺžka zvitku	mm
$m_1$	Súčiniteľ ťahania pre 1. Operáciu	-
$m_2$	Súčiniteľ ťahania pre 2. Operáciu	-
$m_3$	Súčiniteľ ťahania pre 3. Operáciu	-
$m_c$	Celkový súčiniteľ ťahania	-
$m_n$	Súčiniteľ ťahania pre n-tú operáciu	-
$m_o$	Hmotnosť odpadu	kg
$M_{prac}$	Mzda pracovníka	Kč
$m_s$	Hmotnosť zvitkov na celú sériu	mm
$m_{sd}$	Celková hmotnosť všetkých dielov v sérii	kg
$m_{zv}$	Hmotnosť zvitku	kg
$N_c$	Celkové náklady	Kč
$N_{ct}$	Celkové tržby	Kč
$n_{dzd}$	Počet dielov vyrobených za deň	ks
$N_{el1}$	Náklady na el. Energiu lisu s postupovým nástrojom	Kč
$N_{el2}$	Náklady na el. Energiu lisu s ťahadlom	Kč
$N_{elk}$	Náklady na el. Energiu pre jeden diel	Kč
$N_{fix}$	Fixné náklady	Kč
$n_{Hp}$	Počet hodín potrebných na vyrobenie série	hod
$N_{maz}$	Náklady na mazanie	Kč
$N_{mz}$	Náklady na mzdu pracovníka postupového nástroja	Kč
$N_{mzd1}$	Náklady na mzdu pracovníka postupového nástroja na diel	Kč
$N_{mzd2}$	Náklady na mzdu pracovníka obsluhujúceho ťahadlo na diel	Kč
$N_n$	Náklady na nástroje pre jeden diel	Kč
$n_s$	Koeficient opotrebenia nástroja	-
$n_{se}$	Počet kusov série	mm
$n_v$	Počet prístrihov z jedného pásu	-

Označenie	Popis	Jednotka
$N_{var}$	Variabilné náklady	Kč
$n_z$	Počet zdvihov lisu za minútu	$\text{min}^{-1}$
$n_{zh}$	Počet dielov vyrobených za hodinu	ks
$n_{zm}$	Počet zmien, potrebných na vyrobenie série	-
$n_p$	Počet pruhov na tabuli	-
$o_1$	Dĺžka strihania strižníkom 1	mm
$o_2$	Dĺžka strihu strižníku 2	mm
$o_3$	Dĺžka strihu strižníkom 3	mm
$o_4$	Dĺžka strihu strižníkom 4	mm
$o_{5s}$	Dĺžka strihu kombinovaným nástrojom	mm
$o_{5t}$	Dĺžka ťahu kombinovaným nástrojom	mm
$o_6$	Dĺžka strihu strihania strižníkom 6	mm
$o_7$	Dĺžka stien ťahaného dielu	mm
$P_{lis}$	Príkon lisu	kW
$P_{pod}$	Príkon podávača	kW
$P_{rov}$	Príkon rovnačky	kW
$r$	Polomer dna výt'ažku	mm
$R_{(n)}$	Polomer zaoblenia stien v n-tom kroku	mm
$R_{(n-1)}$	Polomer zaoblenia stien v n-1-tom kroku	mm
$r_0$	Polomer prístrihu v rohu	mm
$R_0$	Redukovaný polomer	mm
$r_1$	Vnútorý polomer príruby	mm
$r_{ho}$	Polomer zaoblenia v rohoch obdĺžnikovej diery na súčiastke	mm
$r_{ko}$	Polomer kruhovej diery na súčiastke	mm
$R_m$	Medza pevnosti v ťahu	MPa
$R_{polotovaru}$	Polomer polotovaru	mm
$R_s$	Vnútorý polomer zaoblenia rohu dielu	mm
$r_{sp}$	Koeficient správnej réžie	-
$r_{tc}$	Polomer zaoblenia ťažnice	mm
$r_{tv}$	Polomer zaoblenia ťažníku	mm
$r_{tv2}$	Zaoblenie ťažníku v operácii 5	mm
$r_{vyr}$	Koeficient výrobnéj réžie	-
$s$	Výsledná hrúbka plechu	mm
$s_0$	Hrúbka plechu	mm
$S_{pl}$	Plocha pásu plechu	mm
$S_{strižník}$	Obsah prierezu strižníku	$\text{mm}^2$
$S_{strižník1o}$	Plocha strižníku 1 v kontakte s kotevnou alebo opieracou doskou	$\text{mm}^2$
$S_v$	Plocha výstrižku	mm
$SZ$	Koeficient superhrubej mzdy	-
$t$	Pracovná doba	hod
$t_v$	Časť pracovnej doby, kedy sa na stroji vyrába	hod

Označenie	Popis	Jednotka
$V_c$	Objem materiálu série	$m^3$
$v_s$	Strižná vôľa	mm
$x$	Koeficient x	-
$X$	Poloha ťažiska v ose x	mm
$x_i, y_i$	Vzdialenosť pôsobiska sily $F_i$ x alebo $F_i$ y od osi x prípadne y	mm
$y$	Koeficient y	-
$Y$	Poloha ťažiska v ose y	mm
$z_s$	Strižná medzera	mm
$z_t$	Ťažná medzera	mm
$z_{troh}$	Ťažná vôľa v rohu výťazku	mm
$z_{troh}$	Ťažná medzera v rohoch	mm
$z_{tstena}$	Ťažná vôľa pri stene výťazku	mm
$z_{tstena}$	Ťažná medzera pri stenách	mm
$\rho$	Aktuálny polomer príruby	mm
$\rho_{ocel}$	Hustota ocele	kg/m <sup>3</sup>
$\sigma_1$	Ťahové hlavné napätie	MPa
$\sigma_{dov}$	Dovolené napätie na dosadacej ploche strižníku	MPa
$\sigma_{ot1}$	Napätie na stykovej ploche strižníku 1 s doskou	MPa
$\sigma_{ot2}$	Napätie na stykovej ploche strižníku 2 s doskou	MPa
$\sigma_{ot3}$	Napätie na stykovej ploche strižníku 3 s doskou	MPa
$\sigma_{ot4}$	Napätie na stykovej ploche strižníku 4 s doskou	MPa
$\sigma_{ot5}$	Napätie na stykovej ploche nástroja 5 s doskou	MPa
$\sigma_{ot6}$	Napätie na stykovej ploche strižníku 4 s doskou	MPa
$\sigma_{ot7}$	Napätie na stykovej ploche ťažníku 7 s doskou	MPa
$\sigma_p$	Pretvárnny odpor	MPa
$\sigma_{ps}$	Stredný pretvárnny odpor	-
$\tau_s$	Pevnosť materiálu v strihu	MPa
$\varphi_1$	Hlavná deformácia v smere 1	-
$\varphi_2$	Hlavná deformácia v smere 2	-
$\varphi_3$	Hlavná deformácia v smere 3	-
$\varphi_t$	Deformácia v tangenciálnom smere	-
$\varphi_p$	Deformácia v radiálnom smere	-

## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Súčasti vyrobené tvárnením.....	9
Obr. 2 Západka.....	10
Obr. 3 Použitie západky.....	10
Obr. 4 Teleso západky.....	10
Obr. 5 Odlievanie do škrupinovej formy.....	11
Obr. 6 Frézovanie.....	11
Obr. 7 Rezanie laserom.....	12
Obr. 8 Zváranie.....	12
Obr. 9 Metóda Guerin.....	12
Obr. 10 Rezanie vodným lúčom.....	12
Obr. 11 Ťahanie.....	12
Obr. 13 Hlboké ťahanie.....	13
Obr. 12 Strihanie.....	13
Obr. 14 Združený postupový nástroj.....	14
Obr. 15 Strihanie.....	14
Obr. 16 Časti strihania.....	14
Obr. 17 Pásma strihania.....	15
Obr. 18 Schéma napätosti a deformácie pri bežnom uzavretom strihaní.....	15
Obr. 19 Rozmiestnenie výstrižkov.....	16
Obr. 20 Strižná medzera.....	16
Obr. 21 Vplyv strižnej vôle na kvalitu strižnej plochy.....	17
Obr. 23 Napätie pri ťahaní.....	17
Obr. 22 Schéma ťahania.....	17
Obr. 24 Deformácie v závislosti na polomere rozvinutého prístrihu.....	18
Obr. 25 Schéma ťahania s prírubou.....	18
Obr. 26 Prístrih.....	19
Obr. 27 Teoretické odrezanie rohov hranatého výťazku.....	19
Obr. 28 Tvar rohu polotovaru.....	20
Obr. 29 Romanovského diagram.....	21
Obr. 30 Redukcia polomera.....	21
Obr. 31 Ťažná medzera.....	22
Obr. 32 Typy trenia.....	22
Obr. 33 Stribeckov diagram.....	23
Obr. 34 Sila pri strihaní v závislosti na hĺbke vniknutia nástroja.....	23
Obr. 35 Sila pri ťahaní v závislosti na hĺbke vniknutia nástroja.....	24
Obr. 36 Nástroj.....	25
Obr. 37 Určenie ťažiska síl.....	26
Obr. 38 Upevnenie strižníkov.....	27
Obr. 39 Tvary strižníc.....	27
Obr. 40 Možné konštrukcie ťažníku a úprava jeho hrán.....	28
Obr. 41 Úpravy ťažnej hrany.....	29
Obr. 42 Hydraulický lis.....	29

Obr. 43	Vzdialenosť otvorov od kraju polotovaru .....	30
Obr. 44	Úprava telesa západky .....	31
Obr. 45	Tvar prístrihu podľa ČSN 22 7303 .....	32
Obr. 46	Tvar polotovaru podľa graficko-výpočetnej metódy .....	33
Obr. 47	Usporiadanie výstrižkov na dĺžku.....	33
Obr. 48	Pozdĺžne pásy z tabule plechu .....	34
Obr. 49	Priečne pásy z tabule plechu .....	34
Obr. 50	Zvitok plechu .....	35
Obr. 51	Rozloženie výstrižkov na šírku.....	35
Obr. 52	Výrobný variant 1 .....	37
Obr. 53	Výrobný variant 2 .....	38
Obr. 54	Výrobný variant 3 .....	38
Obr. 55	Výrobný variant 4 .....	38
Obr. 56	Výrobný variant 5 .....	39
Obr. 57	Očíslovanie častí nástroja .....	39
Obr. 58	Rozloženie ťažísk nástrojov.....	42
Obr. 59	Tvar strižníku 1 .....	42
Obr. 60	strižník 2 .....	43
Obr. 61	Strižník 3.....	43
Obr. 62	Strižník 4.....	44
Obr. 63	Nástroj 5.....	45
Obr. 64	Strižník 6.....	45
Obr. 65	Ťahanie lemov.....	47
Obr. 66	Postupový nástroj.....	48
Obr. 67	Radenie prídavných zariadení pre nástroj .....	48
Obr. 68	Horná časť nástroja s pásom plechu .....	49
Obr. 69	Spodná časť nástroja .....	49
Obr. 70	Vyhadzovač.....	50
Obr. 71	Ťahadlo .....	50
Obr. 72	Kľukový lis Šmeral LDC 160 .....	51
Obr. 73	Graf bodu zvratu .....	<b>Chyba! Záložka nie je definovaná.</b>

## **ZOZNAM TABULIEK**

- Tab. 1 Značenie ocele.
- Tab. 2 Chemické zloženie ocele 11375.
- Tab. 3 Mechanické vlastnosti ocele 11 375.
- Tab. 4 Korekčný súčiniteľ  $k_{kor}$  v závislosti na dĺžke dielu.
- Tab. 5 Materiály častí nástroja.
- Tab. 6 Materiály strižníkov a strižníc
- Tab. 7 Materiály ťažníc a ťažníkov.
- Tab. 8 Vzďialenosti otvorov od kraju plechu.
- Tab. 9 Vyrobitel'né tolerancie strihaním.
- Tab. 10 Porovnanie využitia materiálu.
- Tab. 11 Ceny zinkovania.

## **ZOZNAM PRÍLOH**

- PRÍLOHA 1 Určenie rohu prístrihu [39]
- PRÍLOHA 2 Tabuľka pre voľbu mostíku a okraju plechu [59]
- PRÍLOHA 3 Graf pre určenie súčiniteľa plnosti  $\lambda$
- PRÍLOHA 4 Určenie ťažiska pomocou AutoCAD Mechanical 2018

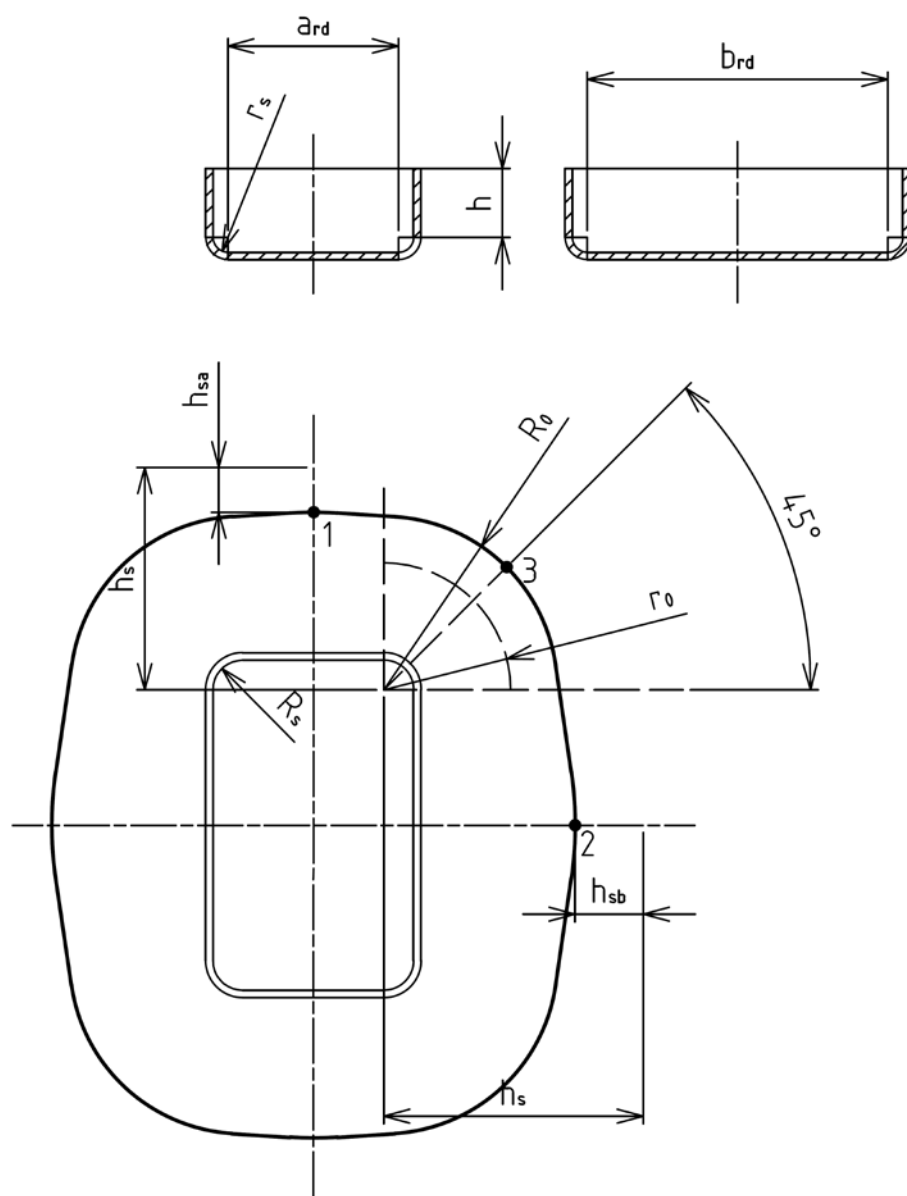
## **ZOZNAM VÝKRESOV**

- 01-DP-160911-01
- 01-DP-160911-02
- 01-DP-160911-03



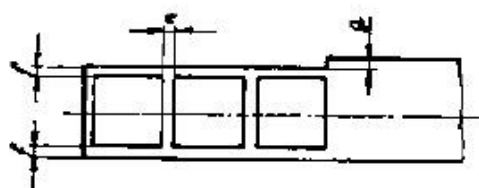
# PRÍLOHY

## PRÍLOHA 1 Určenie rohu prístrihu [39]



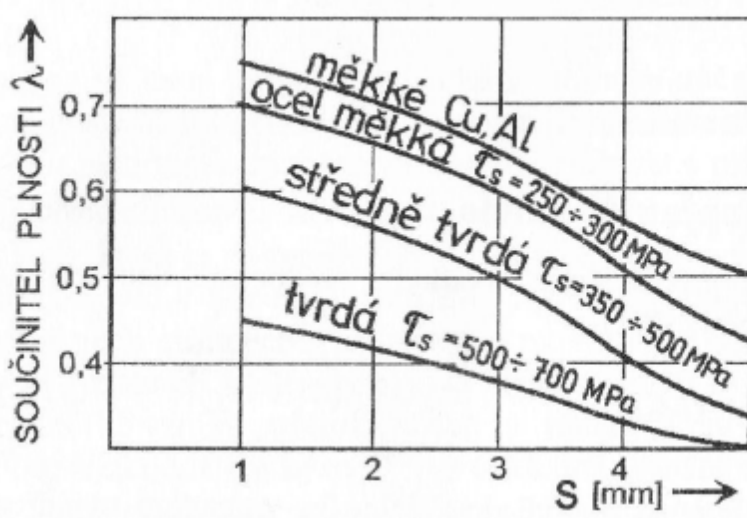
PRÍLOHA 2 tabuľka pre voľbu mostíku a okraju plechu [59]

Tab. 17

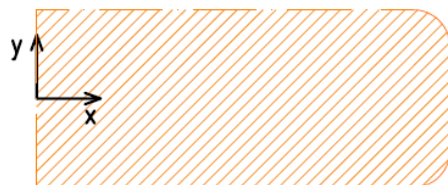


Tl. mst.	Šírka pásu											
	do 15		15 - 50		50-100		100 -200		200 -300		300 -400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1-0,9	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,2	2,5	3,1				
1	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	3,5	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4	5	5	6	6	7
2,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,2	6,2	7,2
2,5	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,3	7,2
2,8	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	4,5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			3,5	4,3	4	5	5	6	6	7	7	8,5
4			3,8	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8	8	9,3
4,5			4,0	4,8	4,5	5,7	5,5	6,8	7	8,3	8,3	9,8
5			4,5	5	5	6	6	7	7,3	8,5	8,7	10

PRÍLOHA 3 graf pre určenie súčiniteľa plnosti  $\lambda$  [59]



#### PRÍLOHA 4 Určenie ťažiska pomocou AutoCAD Mechanical 2018



Plocha: 2664.97  
Obvod: 219.99  
Ohraničujúci kvádr: X: 0.00 -- 79.00  
Y: -17.00 -- 17.00  
Těžiště: X: 39.20  
Y: 0.00  
Momenty setrvačnosti: X: 253703.77  
Y: 5461628.94  
Deviační moment: XY: 0.00  
Pol. setrvačnosti: X: 9.76  
Y: 45.27  
Hlavní momenty a X-Y směry z těžiště:  
I: 253703.77 podél [1.00 0.00]  
J: 1366401.54 podél [0.00 1.00]