



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA NÁBOJNIC MALÉ RÁŽE

PRODUCING SMALL RAGE SHELL

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Bek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2020

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Martin Bek</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.</b>
Akademický rok:	2019/20

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

## Výroba nábojnic malé ráže

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Nábojnice je tenkostěnné pouzdro pro uložení prachové náplně, zápalky a střely náboje. Bakalářská práce je zaměřená na kovové nábojnice, ty se zhotovují z ocelí, mosazí a pro osvětlovací a signální náboje i z hliníku. Účelem práce je prověřit výrobní možnosti a na podkladě provedené analýzy navrhnout a zpracovat postup výroby nábojnic malé ráže.

### Cíle bakalářské práce:

- Analyzovat možné způsoby výroby a pro řešenou součást navrhnout výrobní postup.
- Zpracovat literární studii se zaměřením na zvolené výrobní technologie.
- Navrhnout optimální výrobní postup, doložený nezbytnými technologickými výpočty.
- Vypracovat výkresovou dokumentaci tvářecího nástroje.
- Provést technicko–ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

### Seznam doporučené literatury:

MARCINIAK, Zdislaw, J.L. DUNCAN and S.J. HU. 2002: Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

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

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. 2006: Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

JANKOVÝCH, Róbert 2012: Hlavňové zbraně a střelivo, Vysoké učení technické v Brně, ISBN 978-8-260-2384-5.

LIDMILA, Zdeněk, Jan LUKEŠ a Emil SVOBODA: Strojírenská technologie II, Technologie ve výrobě zbraní a munice. 169 s.VA Brno 1999.

LIDMILA, Zdeněk. 2008: Teorie a technologie tváření I. Brno: Univerzita obrany. 105 s. ISBN 978-8-7213-579-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

BEK Martin: Výroba nábojnice malé ráže.

---

Bakalářská práce se zaměřuje na výrobu nábojnice malé ráže a volbu vhodné technologie. Jako materiál je zvolena mosaz o označení MS70, dle ČSN 423210. Mosaz je vhodný materiál pro tváření za studena. Jako nejekonomičtější varianta se vzhledem k vysokému množství vyrobených kusů za rok ukázala kombinace dvou technologií. Nejdříve je využita technologie zpětného protlačování, kde je vstupním polotovarem kalibrovaný váleček a výstupním produktem je kalíšek. Následně je tažením se ztenčením stěny zhotoven polotovar nábojnice. Tento způsob výroby nábojnice je výhodný zejména díky vynikajícímu využití materiálu a oproti plošnému tváření zde nevzniká vysoký podíl odpadu z ústřížků plechu, ale materiál je dodáván v tyčích a stříhán na přesné ústřížky, které objemově odpovídají hotové nábojnici. Nástroje pro protlačování a tažení jsou znázorněny na příložených výkresech.

Klíčová slova: nábojnice, mosaz MS70, zpětné protlačování, tažení

## **ABSTRACT**

BEK Martin: Producing small rage shell.

---

The bachelor's thesis focuses on the production of a small rage shell and the choice of a suitable technology. Brass with the designation MS70 is chosen as the material, according to ČSN 423210. Brass is a suitable material for cold forming. Due to the high number of pieces produced per year, the combination of two technologies proved to be the most economical variant. First technology is back extrusion technology. The input semi-finished product is a calibrated cylinder and the output product is a cup. Subsequently, the cartridge is made by drawing with thinning the wall. This method of manufacturing the shell is advantageous mainly due to the excellent use of the material and, in contrast to sheet metal forming, there is no high proportion of waste from sheet metal. The material is supplied in bars and cut into precise blanks that correspond in volume to the finished shell. Extrusion and drawing tools are shown in the accompanying technical drawings.

Keywords: cartridge, brass MS 70, back extrusion, drawing

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BEK, Martin. *Výroba nábojnic malé ráže* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124343>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Zdeněk Lidmila.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 25.6.2020

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své manželce Martině Bekové, rodičům a celé své rodině za velkou podporu během celého studia.

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
ÚVOD .....	10
1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI .....	11
1.1 Možnosti výroby polotovaru nábojnice .....	12
2 Technologie výroby pro zadanou nábojnici .....	15
2.1 Pěchování .....	15
2.2 Zpětné protlačování .....	15
2.2.1 Deformace při zpětném protlačování .....	16
2.2.2 Protlačovací tlak a síla .....	17
2.2.3 Velikost logaritmické deformace, poměrné deformace a redukce .....	17
2.2.4 Pracovní teplota .....	18
2.2.5 Tribologie .....	18
2.2.6 Konstrukce a materiál nástroje .....	19
2.2.7 Tvářecí stroje na protlačování .....	21
2.3 Tažení .....	22
2.3.1 Tažení se ztenčením stěny .....	22
2.3.2 Napětí v materiálu při tažení se ztenčením stěny .....	23
2.3.3 Výpočet velikosti tažné síly, poměrné deformace, stupně ztenčení a součinitele tažení .....	23
2.3.4 Tribologie v procesu tažení .....	25
2.3.5 Konstrukce tažného nástroje .....	25
2.3.6 Stroje pro tažení .....	28
3 Návrh výroby nábojnice .....	30
3.1 Objem polotovaru .....	30
3.2 Postup zhotovení pláště nábojnice .....	32
3.3 Základní prvky tvářecích nástrojů .....	35
3.3.1 Protlačovací nástroj .....	35
3.3.2 Tažný nástroj .....	35
3.4 Protlačovací, tažná a pěchovací síla .....	37
3.5 Volba stroje .....	38
4 Technicko-ekonomické hodnocení .....	40
5 ZÁVĚRY .....	43



Seznam použitých zdrojů  
Seznam použitých symbolů a zkratk  
Seznam obrázků  
Seznam tabulek  
Seznam příloh  
Seznam výkresů

## ÚVOD [1], [2], [3], [4]

Tvářecí technologie je zařazena mezi nejstarší způsoby zpracovávání kovových materiálů. První zmínky o tváření se objevují již z dob tři tisíce let před našim letopočtem, kdy byla tato technologie využívána zejména pro tvorbu užitkových výrobků. Během středověku došlo k velkému rozvoji v tváření, díky vynálezu hamru, což byl vodou poháněný buchar. V devatenáctém století při objevu parních strojů došlo k rozvoji parních bucharů, které byly později ve dvacátém století nahrazeny lisou s kombinací parovzdušného a hydraulického pohonu, lisou hydraulickými a s mechanickým pohonem.

Technologii tváření je možno obecně definovat, jako výrobní proces, kdy je ze základního polotovaru vlivem vnějších sil cíleně vyhotoven trvale deformovaný výrobek. Hlavně díky vysoké úspoře materiálu a dobrým mechanickým vlastnostem vylisku hraje v oblasti tváření významnou roli i technologie tažení plechu a protlačování.

Při technologii tažení se rovinný tvar, nejčastěji výstřížek z plechu zvaný rondel, vlivem vnějších sil trvale mění na prostorový vylisek rotačního, nerotačního nebo nepravidelného tvaru. Výchozím polotovarem operace tažení může být již zmíněný výstřížek plechu, ale i polotovar, který byl již zpracován v předchozí operaci. Jako nástroj slouží tažidlo. Výlisky získané technologií tažení dosahují vysoké přesnosti, kvality, pevnosti a rozmanitosti tvarů od nejmenších elektrotechnických součástek až po obrovské vylisky zejména v leteckém průmyslu.

Naopak při procesu protlačování může být polotovarem kalota nebo špalík vzniklý například ustřížením tyče nebo drátu, který je následně protlačován dle konstrukce nástroje daným směrem až do konečného tvaru výsledného protlačku. Nástrojem je protlačovadlo. U této technologie je rovněž výhodou značného využití materiálu, vysoká přesnost a jakost vylisku a snadná automatizace. Příklady vylisků zhotovených tažením jsou na obr. 1.



Obr. 1 Vylisky zhotovené technologií tažení [2], [3], [4]

## 1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI [1], [5], [6]

Zadanou součástí je nábojnice malé ráže. Nábojnice je tenkostěnný obal, který drží ostatní komponenty náboje, tedy střelu, výmětnou náplň a zápalku pohromadě. Nábojnice může být vyrobena z oceli, barevných kovů, ale i z plastu nebo papíru. Podle užití zbraně a použití jsou vyráběny různé tvary nábojnic.

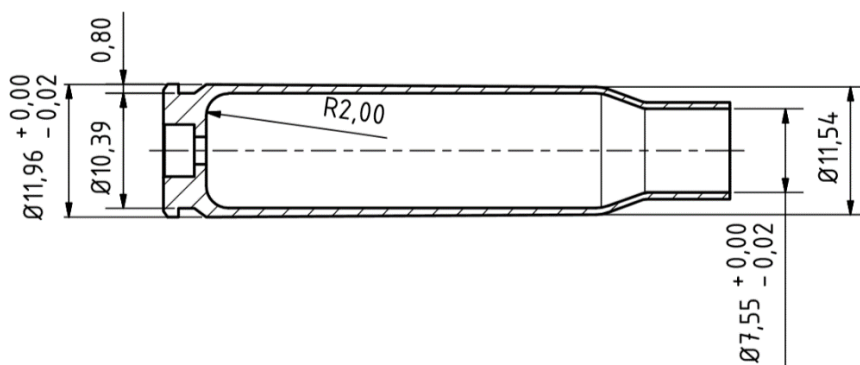
Tvar nábojnice může být válcový, kuželový, s krčkem a jiné kombinace těchto základních tvarů. Podle tvaru dna nábojnice dělíme na nábojnice s okrajem a bez okraje doplněné drážkou nebo bez drážky. Tyto tvarové části na spodu nábojnice slouží k tomu, aby mohl vyťahovač zbraně nábojnici zachytit a poté vyhodit z komory.

Model řešené nábojnice můžeme vidět na obr. 2. Nábojnice je kuželového tvaru s krčkem. Konstrukce spodní části nábojnice je řešena drážkou. Nábojnice zadaného tvaru může konkrétně reprezentovat například náboj 308. Winchester, což je obchodní název pro vojenský náboj 7,62 x 51 mm NATO, podle kterého byly zvoleny parametry zadané součásti.



Obr. 2 3D model řešené nábojnice

Výrobní tolerance rozměrů nábojnice jsou velice důležité pro dokonalý a hladký chod konkrétní zbraně, do které je navržena. Tolerovaný je rozměr vnějšího průměru nábojnice pro zajištění hladkého chodu v hlavni zbraně a vnitřní průměr ústí, pro dodržení předepsané síly pro vytažení střely z nábojnice. Z hlediska mechanických vlastností je žádoucí, aby byla nejvyšší mez pevnosti a pružnost u dna náboje a postupně se směrem k ústí může mez pevnosti snižovat. Jiný způsob rozložení pevnosti je u nábojnice nežádoucí. Na obr. 3 je řez nábojnice, kde je zřetelné, že se tloušťka nábojnice ode dna směrem k ústí zmenšuje. Zároveň jsou uvnitř nábojnice u dna větší rádiusy, které rovněž přispívají k vyšší pevnosti nábojnice u dna a eliminují tak nebezpečí odtržení dna při výstřelu.



Obr. 3 Řez nábojnicí

Jako materiál nábojnice byla zadána mosaz o označení CuZn30 (dle ČSN42 3210), což je slitina mědi a zinku s vynikajícími vlastnostmi pro hluboké tažení. Je charakteristická dobrou tvárností za studena, mechanickou pevností a odolností vůči korozi. Mechanické vlastnosti a chemické složení je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení mosazi CuZn30 [6].

Materiál	Mosaz CuZn30						
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti Rm [MPa]		Tažnost A [%]		Mez kluzu Re [MPa]		
	440 - 540		11		320-420		
Chemické složení	Měď [%]	Železo [%]	Olovo [%]	Zinek [%]	Hliník [%]	Nikl [%]	Cín [%]
	69-71	0,05max	0,05max	zbytek	0,02max	0,3max	0,1max

Úplné výroby zadané nábojnice o označení Winchester 308 je možno docílit v dílčích technologických operacích:

- Výroba polotovaru, kterým je kalíšek s tenkou stěnou a tlustým dnem
- Tvarování dna nábojnice lisováním, případně obráběním
- Rážování, neboli tvarování krčku a ustí nábojnice
- Obrábění a třískové opracování
- Závěrečné tepelné zpracování a úprava povrchu

Tato bakalářská práce je zaměřena zejména na technologii výroby polotovaru nábojnice tj. tenkostěnného kalíšku s tlustým dnem.

### 1.1 Možnosti výroby polotovaru nábojnice [7], [8], [9], [10], [11], [12]

Z tvaru zadané součásti, tedy nábojnice, je zřejmé, že jedinou ekonomickou výrobní technologií bude tváření. Obecně musí technologický postup zajistit vhodné mechanické vlastnosti nábojnice, zejména dostatečnou pevnost pláště nábojnice. Technologie výroby musí současně vyloučit místa, kde by velikost deformace dosáhla kritického stupně deformace. V těchto místech by při následném žihání, které bude nezbytné pro zajištění předepsané výtahové síly střely z nábojnice, došlo ke zhrubnutí zrna a zkrěhnutí materiálu.

Nábojnice může být vyrobena následujícími způsoby:

- Kovotlačení** – rotační tlačení, neboli kovotlačení, je rotační výrobní proces tváření, kdy je polotovar pomocí nástroje, postupně tvarován podle tvaru formy, která se nazývá tvárnice. Polotovarem pro kovotlačení je plechový výstřížek a jako tažný nástroj slouží například kladka.

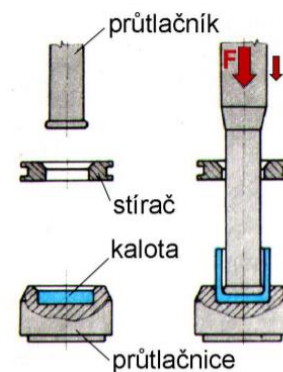
Kovotlačení lze rozdělit na tlačení, kdy se tloušťka materiálu nemění a tlačení smykové, kde naopak dochází ke ztenčení stěny. Kovotlačení nachází využití zejména při výrobě vypouklých tvarů nebo součástí těžko vyrobitelných



Obr. 4 Kovotlačení [7]

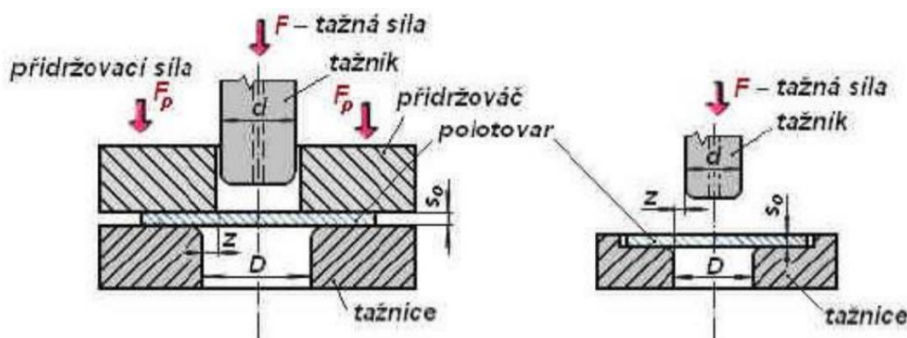
technologíí hlubokého tažení. Příklad výroby vypouklé součásti je znázorněn na obr. 4. Technologie může být vhodná pro malosériovou výrobu velkých nábojnic, kde je ekonomicky nevýhodné vyrábět velké tažné nástroje, které mohou být velice drahé.

- Protlačování** - technologie protlačování je objemové tváření, které lze konat za studena, poloohřevu nebo za tepla. Polotovarem může být tyč nebo drát nastříhaný na špalíky, či kalota. Konstrukce nástroje, tedy protlačovadla, udává směr, jakým se tvářený materiál přemísťuje. V deformovaném prvku vzniká trojosá tlaková napjatost, což přispívá k zvýšení tvářitelnosti materiálu. Produkt tohoto procesu je protlaček. Pro výrobu polotovaru nábojnice je možné využít protlačování, kdy se materiál přemísťuje podle tvaru průtlačnice a průtlačníku opačným směrem než je směr pohybu průtlačníku. Jednoduché schéma je znázorněné na obr. 5. Produkt tohoto procesu může být srovnatelný s výrobkem vzniklým při tažení, avšak při zpětném protlačování nejsme schopni vyrobít vysoké výlisky, ale jedná se spíše o nízké kalíšky. Pro výrobu nábojnice bude využití této metody vhodné, zejména díky možnosti výroby na víceoperačních tvářecích automatech.



Obr. 5 Schéma zpětného protlačování [13]

- Tažení** - technologie, při které se rovinný tvar zvaný rondel pomocí vnějších sil mění na trvale deformovaný výlisek. Tažení můžeme rozdělit například dle hloubky tažení na hluboké a mělké, dále se ztenčením stěny a bez ztenčení stěny, podle tvaru výtažku na tažení rotačních, nerotačních a nepravidelných tvarů, také podle počtu operací na jednooperační a víceoperační, tažení s přidržovačem a bez přidržovače a jiné. Výchozím polotovarem může být výstřižek plechu, ale i polotovaz, který byl již zpracován v předchozí operaci. Výsledný produkt nazýváme výtažek. Jako nástroj slouží tažidlo. Základní prvky tažidla jsou tažnice, tažník a ostatní pomocné součásti jako například přidržovač. Na obr. 6 je znázorněné vlevo tažení s přidržovačem a napravo tažení bez přidržovače. Konkrétně při výrobě nábojnice je možné technologii tažení využít k přetvoření kruhového výstřižku na nízký a mělký kalíšek bez změny tloušťky. Následně lze v dalších operacích ztenčovat stěnu a kalíšek technologií hlubokého tažení prohlubovat až do požadovaného konečného tvaru.

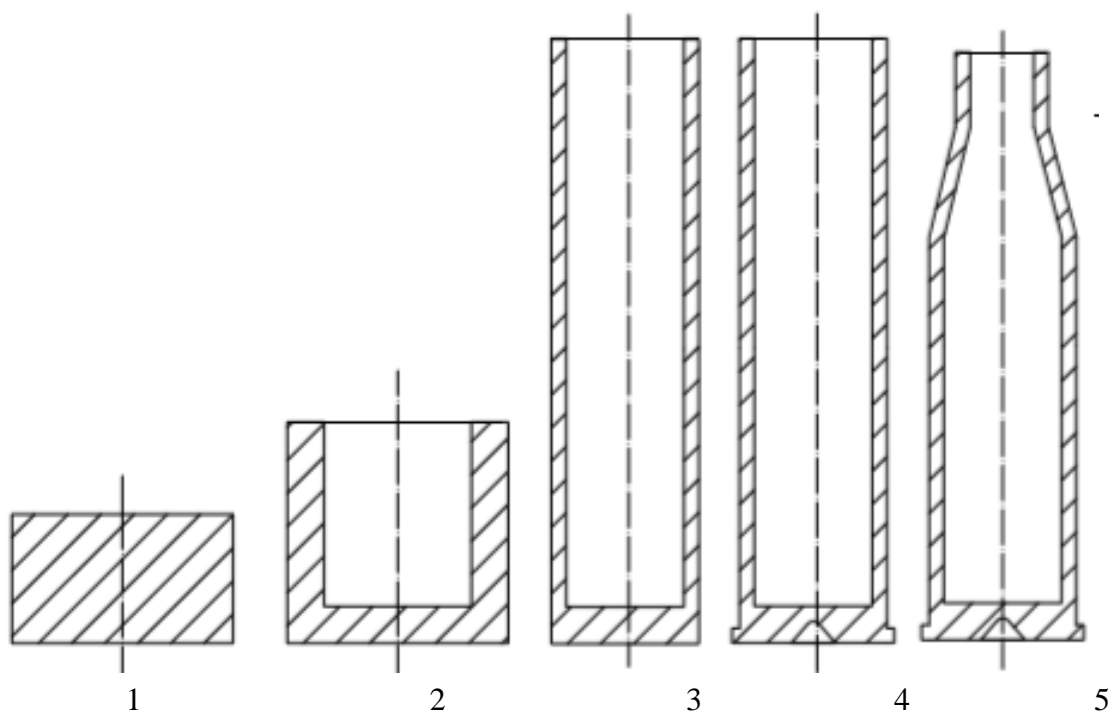


Obr. 6 Schéma tažení s přidržovačem a bez přidržovače [9]

Při vyhodnocování vhodného způsobu výroby je důležité vzít v úvahu zejména konstrukci nábojnice a sériovost neboli množství požadovaných výrobků za rok. Vzhledem k tomu, že zadané množství vyrobených nábojnic za rok je 750 tisíc kusů a jedná se o nábojnice malé ráže, je možno vyloučit možnost výroby pomocí kovotlačení, které je vhodné na malosériovou výrobu spíše velkých nábojnic.

Pro výrobu nábojnice o zadaných rozměrech je tedy vhodné využít tažení, nebo do jisté míry zpětné protlačování. S ohledem na sériovost bude důležitá ekonomická stránka celé výroby. Zejména pro možnost využití víceoperačních automatů nabízí nejvyšší produktivitu kombinace obou technologií.

Technologie bude zaměřena nejdříve na výrobu mělkého kalíšku a vzhledem k tomu, že se pouhým zpětným protlačováním nepodaří dosáhnout požadované tloušťky stěny, následně vyhotovení hlubokého kalíšku tažením ve tvaru a rozměru požadované nábojnice. Produkty jednotlivých operací jsou postupně schématicky nakresleny na obr. 7. Nábojnice bude zhotovena kombinací zpětného protlačování a následného tažení. Oběma technologiemi je možno docílit téměř stejného výsledného produktu, avšak v případě zpětného protlačování se jedná o objemové tváření, kdy je polotovarem drát, který je dělen na špalíky a dochází tak k téměř úplnému využití materiálu. Naopak tažení je plošné tváření, kdy je výsledný produkt zhotoven z plechového výstřížku. Pomocí těchto technologií získáme výbornou úsporu materiálu, efektivitu výroby, celkově výhodnou ekonomiku celého procesu, ale také vynikající pevnostní vlastnosti požadovaného výrobku. Na operace protlačování a tažení bude proto zaměřena i následující literární studie.



1. Předpěchovaný špalík připravený na protlačování
2. Kalíšek zhotovený technologií zpětného protlačování
3. Hluboký kalíšek vyhotoven pomocí tažení se ztenčením stěny
4. Lisování dna
5. Úprava ústí pomocí matrice-rážování

Obr. 7 Postupné schéma výroby polotovaru nábojnice

## 2 Technologie výroby pro zadanou nábojnici

### 2.1 Pěchování [1], [8]

Vzhledem k tomu, že bude výchozí materiál dodáván jako drát, který bude následně nastříhán na předem danou délku, bude nutné ustřížený drát nejdříve zkalibrovat. Tuto přípravu zajišťuje technologie pěchování.

Pěchování se řadí mezi objemové tváření a jeho hlavní charakteristikou je zvětšování průřezu polotovaru na úkor jeho výšky. Jako vstupní polotovar pro pěchování slouží nastříhaná tyč, drát nebo trubka. V závislosti na materiálu je možno pěchování realizovat za kovacích teplot, poloohřevu, ale i za studena. Deformace při pěchování se vyjadřuje pomocí dvou parametrů. Podle skutečné deformace, kdy lze vycházet ze změny velikosti příčného průřezu, nebo výšky:

$$\varphi = \ln \frac{h_0}{h} \quad [-] \quad (2.1)$$

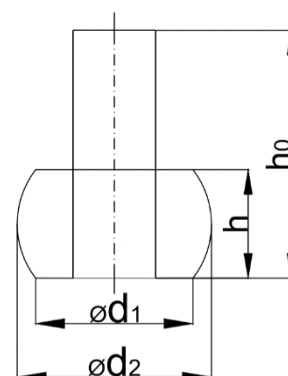
kde:  $h_0$  – výška špalíku před pěchováním [mm]

$h$  – výška špalíku po pěchování [mm]

a pomocí poměrné deformace neboli spěchování:

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.2)$$

Na obr. 8. je znázorněna změna tvaru při pěchování a rozměry použité ve vzorcích.



Obr. 8 Nákres pěchování

#### Pěchovací síla

$$F_{p\acute{e}ch} = R_m * S_p \quad [kN] \quad (2.3)$$

kde:  $R_m$  – mez pevnosti materiálu

$S_p$  – obsah příčného průřezu zpěchovaného válečku

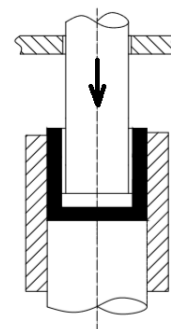
Po jednotlivých operacích se materiál zpevňuje a nelze tak do výpočtů dosazovat stále původní hodnotu pevnosti materiálu. Pevnost zpevněného materiálu lze vypočítat dle následujícího vztahu:

$$\sigma_{ps} = Re + 45,297569 \cdot \varepsilon^{0,4871027} \quad [MPa] \quad (2.4)$$

kde:  $\sigma_{ps}$  – pevnost zpevněného materiálu

$Re$  – původní pevnost [MPa]

$\varepsilon$  – poměrná deformace [-]



Obr. 9 Zpětné protlačování

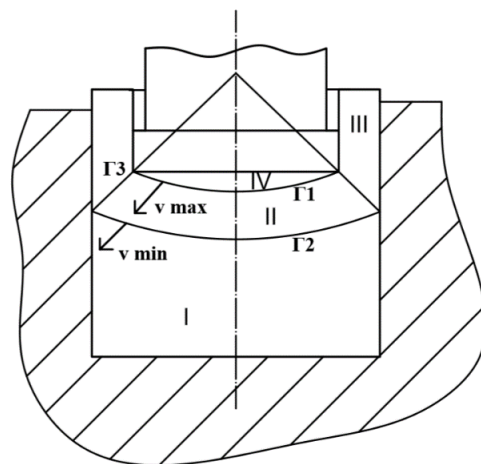
### 2.2 Zpětné protlačování [1], [8], [9], [13], [14], [15], [16], [17], [18]

Při zpětném protlačování je materiál pomocí tlaku průtlačníku protlačován v průtlačnici. Jediný možný směr, kam se deformovaný materiál může ubírat, je směr opačný k pohybu průtlačníku. Kvůli omezené délce průtlačníku je možno touto technologií vyrábět nižší kalíšky. Velice výhodná technologie zejména pro výrobu o vysoké sériovosti, protože přináší ekonomické výhody, zejména vysokou úsporu materiálu. Při volbě vhodného materiálu je technologii možno provádět za studena, což přináší další úspory. V kombinaci s následným tažením je tento způsob zhotovení kalíšku pro výrobu polotovaru nábojnice ideální a ekonomicky výhodný. Jednoduché schéma zpětného protlačování je znázorněno na obr. 9.

### 2.2.1 Deformace při zpětném protlačování [1], [8]

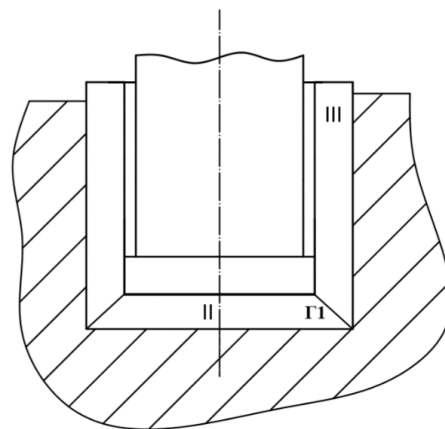
Při zahájení procesu zpětného protlačování začnou v tvářeném materiálu vlivem tlaku průtlačníku vznikat jisté deformace. Tyto deformační podmínky jsou jiné v počáteční fázi, kdy je mezi průtlačníkem a průtlačnicí značné množství materiálu, a jsou jiné v konečné fázi, kdy vzniká dno kalíšku.

- **Počáteční fáze** – pokud je používán průtlačník s rovným čelem, lze v tvářeném materiálu definovat čtyři základní deformační zóny. Tyto zóny jsou znázorněny na obr. 10. V blízkosti čela průtlačníku se nachází tzv. mrtvé pásmo IV. Jak už název napovídá, jedná se o pásmo materiálu, kde nevzniká žádná plastická deformace. Materiál se posouvá ve stejném směru a stejnou rychlostí jako čelo průtlačníku. Jednotlivá pásma I, II a IV jsou od sebe oddělena plochami diskontinuity rychlosti sférického tvaru. Tyto plochy jsou označeny  $\Gamma_1$  a  $\Gamma_2$ . Plocha diskontinuity dělící pásmo II a III je kuželového tvaru a značí se  $\Gamma_3$ . Pásmo I je v této počáteční fázi prozatím nedeformované, naopak plocha o označení III je již deformovaná oblast o prstencovém tvaru. Z obrázku je možno vyčíst, že maximální rychlost toku materiálu  $v$  se nachází na ploše  $\Gamma_1$  a minimální potom na ploše  $\Gamma_2$ , takže lze říci, že rychlost toku materiálu klesá směrem od plochy  $\Gamma_1$  k ploše  $\Gamma_2$ .



Obr. 10 Počáteční fáze protlačování [1]

- **Závěrečné stádium protlačování** – při přibližování čela průtlačníku a dna průtlačnice se mění deformační podmínky. V konečné fázi, kdy se plocha  $\Gamma_2$  dotkne dna průtlačnice se v materiálu nachází pouze dvě deformační pásma. Stále deformované pásmo II a již zdeformované pásmo III o tvaru prstence. Tyto pásma jsou od sebe oddělena plochou diskontinuity rychlosti  $\Gamma_1$ . Při dalším ztenčování dna protlačku pak již plocha protlačku o průměru  $d$  neústí do rohu průtlačnice a hrana protlačku zůstane nezatečená. Základní schéma je znázorněno na obr. 11.



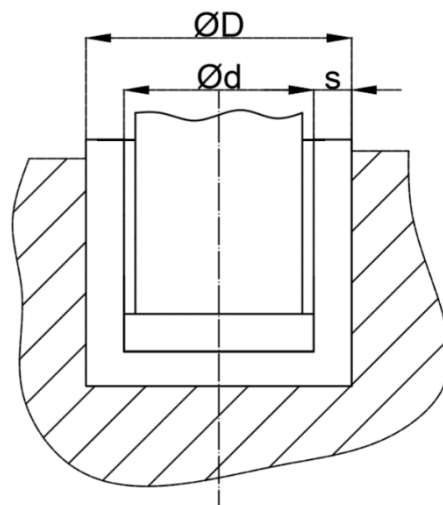
Obr. 11 Konečná fáze protlačování [1]



## 2.2.2 Protlačovací tlak a síla [1], [14]

### Protlačovací tlak

Vyjádření protlačovacího tlaku podle Siebla. Výpočet protlačovacího tlaku je důležitý pro následné dosažení do rovnice pro výpočet protlačovací síly. Zpětné protlačování vyjádřené podle Siebla je jedna z nejpoužívanějších metod pro výpočet protlačovacího tlaku neboli skutečného deformačního odporu zejména pro ocelové a mosazné materiály. Protlaček musí splňovat podmínku  $s > 0,1 \cdot d$



Velikost skutečného deformačního odporu se vypočítá:

$$\sigma_d = 1,152 \cdot \sigma_p \cdot \frac{D^2}{d^2} \left( \log \frac{D^2}{D^2-d^2} + \frac{D^2}{D^2-d^2} \cdot \log \frac{D^2}{d^2} + \log \frac{d^2}{D^2-d^2} \right) \text{ [MPa]} \quad (2.5)$$

Obr. 12 Parametry pro výpočet protlačovacího odporu [1]

kde:  $\sigma_p$  – přirozený přetvárný odpor materiálu [MPa]

$\sigma_d$  – velikost skutečného deformačního odporu [MPa]

$d$  – vnitřní průměr kalíšku [mm]

$D$  – vnější průměr kalíšku [mm]

Parametry použité ve vzorci (2.4) jsou uvedeny na obr. 12.

### Protlačovací síla [1]

Výpočet tvářecí síly pro zpětné protlačování je nutný pro výběr vhodného lisu. Zvolený lis pro výrobu daného výrobku musí být předimenzovaný, tzn. že jmenovitá síla lisu musí být větší než teoreticky stanovená tvářecí síla potřebná k výrobě výlisku.

Vzorec pro výpočet tvářecí síly pro kalíšek:

$$F_{protl.} = \sigma_d \cdot S_d \quad \text{[kN]} \quad (2.6)$$

$$S_d = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad \text{[mm}^2\text{]} \quad (2.7)$$

kde:  $S_d$  – činná plocha průtlačníku [mm<sup>2</sup>]

Celková tvářecí síla:

$$F_c = \sum F = F_1 + F_2 + \dots + F_n \quad \text{[kN]} \quad (2.8)$$

kde:  $F_1, F_2$  – tvářecí síly v jednotlivých operacích [kN]

## 2.2.3 Velikost logaritmické deformace, poměrné deformace a redukce [1], [14]

Skutečná deformace se vypočítá ze vztahu:

$$\varphi = \ln \frac{S_0}{S_0 - S_d} = \ln \frac{D^2}{D^2 - d^2} \quad \text{[-]} \quad (2.9)$$

$$S_0 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \text{[mm}^2\text{]} \quad (2.10)$$

kde:  $S_0$  – půdorysná plocha kalíšku [mm<sup>2</sup>]

$S_d$  – činná plocha průtlačníku [mm<sup>2</sup>]

Poměrná deformace se vypočítá ze vztahu:

$$\varepsilon = \frac{s}{s_0} = \frac{d^2}{D^2} \geq 0,5 \div 0,6 \quad [-] \quad (2.11)$$

kde:  $D$  – Vnější průměr kalíšku [mm]

$d$  – vnitřní průměr kalíšku [mm]

Redukce, tj. poměrná deformace vyjádřená v procentech se vypočítá ze vztahu:

$$R = \frac{d^2}{D^2} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.12)$$

Dosažitelná velikost deformace při protlačování ocelí je v tab.2. Minimální hodnoty velikostí deformací v tabulce uvedené platí pro obtížněji tvařitelné oceli s vyšším obsahem uhlíku. Naopak maximálních hodnot lze dosáhnout při protlačování ocelí nelegovaných s malým obsahem uhlíku.

Tab. 2 Dosažitelná velikost deformace při protlačování ocelí [8]

Způsob protlačování		Změna průřezu	
		[%]	$\varphi$
Zpětné protlačování		40 až 75	0,51 až 1,4
Dopředné protlačování	uzavřené	30 až 90	0,37 až 3,0
	volné	5 až 30	0,05 až 0,37

#### 2.2.4 Pracovní teplota [1], [8], [18]

Dopředné protlačování za studena nám díky absenci ohřevu materiálu před tvářením zajistí značné úspory energie. Zároveň je protlaček při tvářením za studena přesnější a s kvalitnějším povrchem. Studený materiál má ale také v zásadě nižší tvárnost, a tak jsou pro protlačování za studena vyžadovány vyšší protlačovací síly a jsou rovněž kladeny vyšší nároky na kvalitu provedení průtlačníku a průtlačnice. Pro protlačování za studena se využívají nejen materiály tvárné, tedy hliník, měď a jejich slitiny, ale v současnosti se touto technologií vyrábí i protlačky z oceli a vysokolegovaných materiálů, kde je důležitou podmínkou vysoké využití maziva.

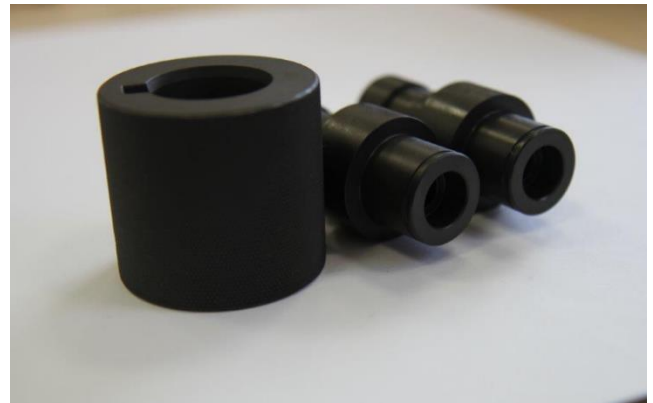
#### 2.2.5 Tribologie [1], [15], [16]

Významnou roli při protlačování za studena hraje i správné a dostatečné použití maziva. Právě díky mazivu je možné používat materiály, které by kvůli vysokému tření nemohly být za běžných podmínek tvářeny za studena. Úkol maziva, je vytvářet vrstvu, která odděluje nástroj od materiálu, čímž zabraňuje vysokému tření a chrání tak nástroj proti opotřebování. Tato vrstva by měla být souvislá, odolná proti porušení a rozpínavá, aby byla schopna přizpůsobit se nově deformovanému materiálu.

Mazivo by mělo splňovat následující podmínky:

- Snadná a proveditelná aplikace i odstranění
- Netečné vůči materiálu – nesmí vyvolávat korozi
- Hygienicky nezávadné a ekologické
- Tepelně stabilní – vysoké teploty při tření

Přestože je mazivo kvalitně naneseno, může dojít díky velkým tlakům ke stěru maziva na styčných plochách. Aby se co nejvíce předešlo nežádoucímu stěru maziva a následnému opotřebení nástrojů vlivem tření, u ocelových polotovarů se využívá fosfátování povrchu polotovaru. Fosfátová vrstva, která je chemicky vázána s povrchem polotovaru je pórovitá a na povrchu zajistí lepší přilnavost, díky které dokáže zadržet kapaliny, tuky, ale i pevné práškovité látky, takže mazivo zůstane spjato s povrchem a nedojde tak ke stěru. Na obr. 13 je vidět povlak z manganátého fosfátu, pro který je typická tmavě šedá až černá barva. Vzniklý povlak je nevodivý a nerozpustný.



Obr. 13 Součásti s fosfátovaným povrchem [16]

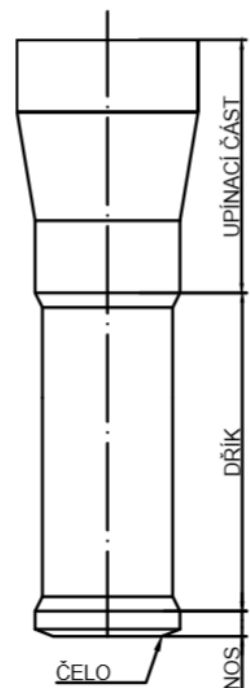
### 2.2.6 Konstrukce a materiál nástroje [1],[9],[16], [17]

Tvar a geometrie nástroje má významný vliv na deformační odpor a opotřebení nástroje. Životnost a trvanlivost nástroje je v sériové výrobě z hlediska hospodárnosti jeden z nejdůležitějších faktorů, proto je nutné klást důraz na správnou konstrukci. Největší nároky jsou kladeny na nástroje používané pro protlačování za studena, kde vznikají největší odpory. Rovněž je nástroj díky vysokému tření vystavován měnícímu se teplotnímu zatížení a vysokému napětí tlakovému, tahovému ale často i ohybovému momentu. Jako materiál se nejčastěji využívají nízkolegované chromové oceli a v případě velkých sérií například slinutý karbid, který může mít životnost až 300 tisíc ks. Kvalitní trvanlivý nástroj s dlouhou životností by měl mít tyto vlastnosti:

- dostatečnou:
  - houževnatost
  - tvrdost
  - pevnost
  - obrobitelnost
  - prokalitelnost
- homogenní strukturu nenáchylnou k prasklinám a defektům

#### Konstrukce průtlačníku:

Na obr. 14 je náčrt obvyklého tvaru průtlačníku pro zpětné protlačování. Od dopředného protlačování se kromě tvaru nosu příliš neliší.



Obr. 14 Průtlačník

Rozměry nutné pro konstrukci průtlačníku jsou stanoveny na základě následujících vztahů a vzorců vepsaných na Obr. 16:

$$\alpha = 5^\circ - 8^\circ$$

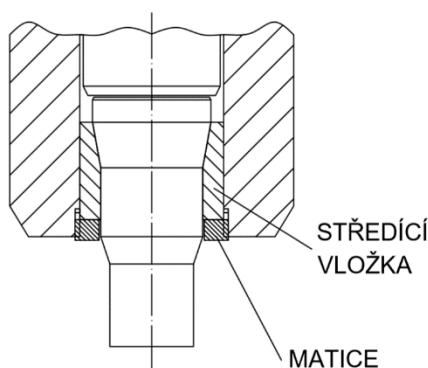
$$d_3 \cong 0,7d \quad (2.13)$$

$$d' = d - (0,1 \text{ až } 0,2) \quad (2.14)$$

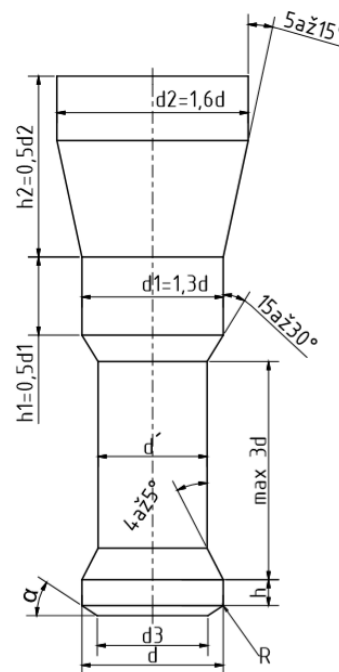
$$h = 0,5 \cdot \sqrt{d}, h_{\min} = 2\text{mm} \quad (2.15)$$

$$R = (0,05 \text{ až } 0,1)d \quad (2.16)$$

Na obr. 15 je schematicky znázorněn způsob upnutí průtlačníku, který bude využit při výrobě zadané nábojnice



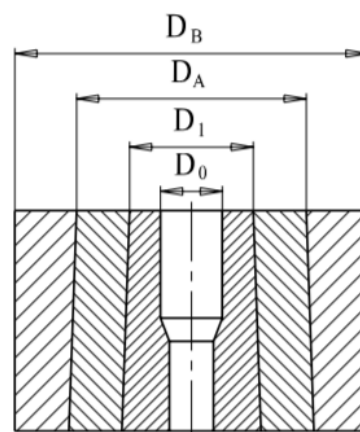
Obr. 15 Upnutí průtlačníku



Obr. 16 Průtlačník s konstrukčními vztahy [8]

### Konstrukce průtlačnice:

Průtlačnice je pevná část nástroje, do které zajíždí průtlačník a lisuje se například kalíšek. Vnější průměr průtlačnice je válcový, kuželový a bývá zalisována do objímky. Základní tvar dutiny je zkonstruován na základě tvaru vyráběné součásti a způsobu technologie. Je to jedna z nejvíce namáhaných součástí nástroje. Vzhledem ke snaze o dosažení co nejdelší životnosti se využívá tzv. zděrování průtlačnice. Znamená to, že samotná průtlačnice je nalisována do jedné až dvou objímek (obr. 17). Objímky způsobí předpětí a průtlačnice tak vykazuje mnohem větší odolnost vůči tahovému namáhání a rovněž se zlepší díky tuhosti nástroje přesnost celého výlisku. Přibližné rozměry objímek lze stanovit pomocí následujícího vzorce a poměru:



Obr. 17 Průtlačnice [1]

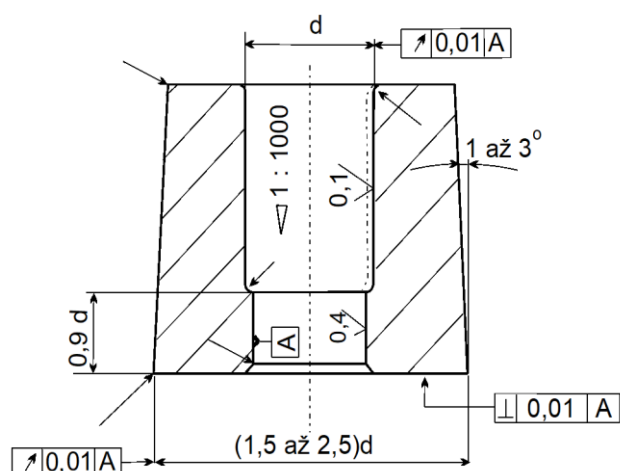
$$D_0 : D_1 : D_A : D_B = 1 : (1,6 \text{ až } 1,8) : (2,5 \text{ až } 3,2) : (4 \text{ až } 6) \quad (2.17)$$

Tvar průtlačnice, která bude použita na výrobu nábojnice a vztahy pro výpočet rozměrů průtlačnice jsou znázorněny na obr. 18.

Při konstrukci nástroje pro zpětné protlačování je třeba také zařadit prvky pro vyhození protlačku z průtlačnice (vyhazovač) a setření protlačku z průtlačníku (stěrač).

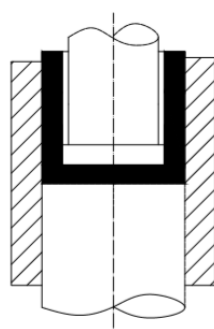
#### Použití vyhazovače a stěrače:

Vyhazovač slouží především pro vyhození výlisku z průtlačnice. U zpětného protlačování může mít zároveň funkci zachycení síly od průtlačníku. Na obr. 19 je znázorněno jednoduché schéma zpětného protlačování včetně vyhazovače. Stírač je rovněž pomocný konstrukční prvek sloužící k odstranění výlisku z nástroje. Konkrétně když zůstane výlisek kalíškovitého tvaru po zdvihu přichycen na průtlačníku, je „setřen“ stíračem. Tato pomocná součást nástroje je ukázána na obr. 20.

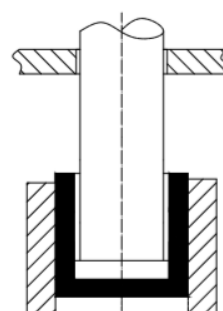


Obr. 18 Průtlačnice s kótami [8]

Konkrétně když zůstane výlisek kalíškovitého tvaru po zdvihu přichycen na průtlačníku, je „setřen“ stíračem. Tato pomocná součást nástroje je ukázána na obr. 20.



Obr. 19 Vyhazovač



Obr. 20 Stírač

#### 2.2.7 Tvářecí stroje na protlačování [1], [18], [24], [26]

Protlačovací stroje jsou složité a cenově náročné. V malosériových výrobách se tedy zpravidla uplatňují univerzální tvářecí lis. Ty lze rozdělit na:

- Mechanické lis
- Hydraulické lis

Při velkosériové výrobě se využívají víceoperační postupové tvářecí automaty, kdy je při jednom zdvihu beranu uskutečněno hned několik operací najednou. V první operaci tvářecího automatu je odstříhován špalík z drátu, který s dalším zdvihem beranu postupuje do další operace, kde může být například kalibrován pýchováním a následně protlačován. Výhodou je zejména úspora energie, která by byla spotřebována na každý zdvih beranu pro konkrétní operaci, ale také obrovská časová úspora.

Pořizovací ceny postupových tvářecích automatů jsou vysoké, ale v případě sériovosti v množství statisíců až milionů kusu výrobků za rok je tento typ stroje velice výhodný. Na obr. 21 je fotografie tvářecího postupového automatu, konkrétně TPZK 25. Tento způsob výroby se využívá na šroubovitě tvary, ale i na kalíškovité výrobky, jako je tvar zadané nábojnice.



Obr. 21 TPZK 25 [18]

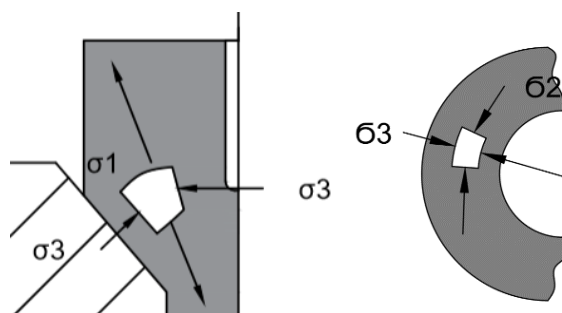
### 2.3 Tažení [1], [8], [15], [19], [20], [21] [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28]

Tažení je technologie, kdy se trvale deformuje výchozí materiál a vzniká produkt zvaný výtažek. Tažení lze rozdělit na plošné tváření a objemové tváření. Při plošném tváření je polotovarem plechový výstřížek rondel, který se následně vlivem tlaku tažníku a tažnice deformuje a vytváří zpravidla kalíškovitý tvar. Do objemového tváření se řadí tažení se ztenčením stěny, kdy se mění tloušťka stěny a tím i rozložení objemu materiálu.

Zadaná nábojnice lze vyrobit kompletně technologií tažení. Polotovár pro první tažení zvaný rondel je vystříhován z tabule plechu, a tak vzniká poměrně velké množství nevyužitých odstřížků plechu a v případě kusovosti několik set tisíc za rok se technologie plošného tváření stává méně ekonomicky výhodná. Nejen z těchto ekonomických důvodů zastupuje tuto operaci technologie zpětného protlačování. Následně je v dalších operacích využito tažení a to konkrétně se ztenčením stěny. Tažení proběhne v jedné anebo více operacích, a to na základě velikosti dosažitelné deformace.

#### 2.3.1 Tažení se ztenčením stěny [1], [8], [15]

Produktem této technologie je nejčastěji válcový výtažek s tenčími stěnami, než je tloušťka dna. Vstupním polotovarem je kalíšek, zhotovený v předchozí operaci, což může být opět tažení bez redukce stěn. V případě této bakalářské práce je ale vstupní kalíšek zhotoven technologií zpětného protlačování. Tloušťka stěny výlisku je redukována v prostoru mezi tažníkem a tažnicí. Proto musí platit pravidlo, že šířka této redukční mezery je menší než  $S_0$ , tedy tloušťka stěny vstupního kalíšku. Vnější i vnitřní průměr kalíšku se zmenšuje a výlisek se zvyšuje. Přičemž vnitřní průměr výtažku se zmenšuje zpravidla velice málo. Jeho zmenšování vychází pouze z požadavku na volné zasunutí tažníku do otvoru ve výtažku z předcházející operace. Stěna může být ztenčena do výsledné tloušťky v jedné nebo více operacích, což závisí zejména na tvárných vlastnostech materiálu a požadovaném stupni deformace.

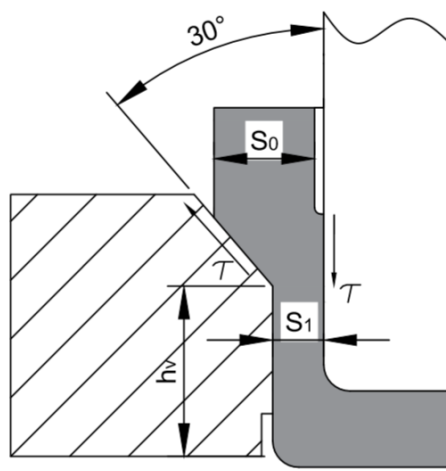


Obr. 22 Napětí v taženém materiálu [8]

Úhel redukční části tažnice s označením  $\alpha$  se obvykle pro běžné materiály volí  $30^\circ$ . V případě, že je hodnota stupně deformace alespoň 30 % a více, hodnota úhlu  $\alpha$  nemá přímý vliv na velikost tažné síly. V opačném případě, kdy je deformační stupeň nižší hodnoty, může změna úhlu vyvolat i dvojnásobné zvýšení potřebné tažné síly. Jedná se o bezodpadovou metodu výroby, tudíž lze rozměry vstupního polotovaru vypočítat pomocí zákona o zachování objemu. Tloušťka dna zůstává po této operaci stejná, jako byla při vstupu.

### 2.3.2 Napětí v materiálu při tažení se ztenčením stěny [1], [8]

Na obr. 22 a 23 je znázorněn stav napjatosti v ohnisku deformace tvářeného materiálu, tj v redukčním kuželi tažnice. Stav napjatosti je zde objemový s radiálním tahovým napětím  $\sigma_1$ , tangenciálním tlakovým napětím  $\sigma_2$ , normálovým tlakovým napětím  $\sigma_3$ , jehož velikost je v porovnání s ostatními napětími výrazně největší. Na schématu na obr.16 je vyznačeno i smykové napětí  $\tau$ , což je důsledek kontaktního tření mezi tvářeným materiálem a nástrojem na straně tažnice a tažníku. Při posunu tažníku směrem dolů ve svislém směru dochází ke vzniku třecí síly. Z obr. 16 je zřetelné, že při kontaktu mezi materiálem a tažníkem je směr působení třecí síly shodný se směrem pohybu tažníku. Naopak mezi materiálem a tažnicí vzniká třecí síla v opačném směru. Tečná napětí zde tedy působí proti sobě, což umožňuje dosažení relativně vysokého stupně deformace.



Obr. 23 Tažení se ztenčením stěny [8]

Pokud je koeficient tření  $\mu$  stejný u tažníku i tažnice, lze vypočítat výsledné napětí v taženém materiálu podle následujícího vzorce:

$$\sigma_v = \sigma_{ps} \cdot \left( 1 + \frac{\mu}{\alpha} \cdot \ln \frac{T_0}{T_1} + \frac{\alpha}{2} \right) \text{ [MPa]} \quad (2.18)$$

kde:  $T_0$  – původní tloušťka stěny kalíšku [mm]

$T_1$  – tloušťka stěny kalíšku po ztenčení [mm]

$\alpha$  – redukční úhel úkosu tažnice [ $^\circ$ ]

$\mu$  – koeficient tření [-]

### 2.3.3 Výpočet velikosti tažné síly, poměrné deformace, stupně ztenčení a součinitele tažení [1], [8]

Vzorec pro výpočet tažné síly u tažení se ztenčením stěny se skládá ze dvou složek. Ze složky vyvolené při protahování a redukování materiálu v tažnici a ze složky vyvolané třením na kontaktních plochách. Výsledná tažná síla lze vypočítat pomocí vzorce:

$$F_T = 0,13 \cdot \pi \cdot d \cdot T_1 \cdot \sigma_{ps} \cdot \left[ \left( 1 + \frac{2\mu}{\alpha} \right) \cdot \ln \frac{T_0}{T_1} + \frac{\alpha}{2} \right] \text{ [kN]} \quad (2.19)$$

kde:  $d$  – střední průměr výtažku po deformaci

### Výpočet velikosti poměrné deformace, stupně ztenčení a součinitele tažení

Vzhledem k tomu, že změna průměrů výtažku po jednotlivých tazích je v porovnání se změnou tloušťky stěny nevýznamná, vyjadřuje se zde velikost deformace na podkladě změny síly stěny. Velikost deformace se tak vyjadřuje pomocí poměrné deformace a tzv. součinitele ztenčení, nebo jeho převrácenou hodnotou, tj. stupněm ztenčení.

$$\varepsilon = \frac{S_{n-1} - S_n}{S_{n-1}} \cdot 100 = (1 - K_s) \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.20)$$

$$K_s \approx \frac{S_n}{S_{n-1}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.21)$$

$$m_s = \frac{S_n}{S_{n-1}} \quad [-] \quad (2.22)$$

Kde:  $S_{n-1}$  – plocha příčného průřezu po n-1 operaci

$S_n$  – plocha příčného průřezu po n-té operaci

$\varepsilon$  – poměrná deformace

$K_s$  – stupeň ztenčení

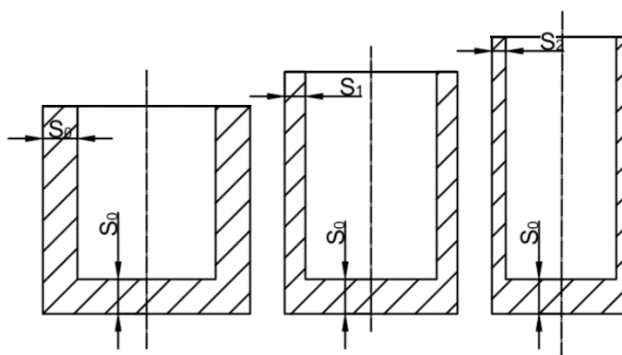
$m_s$  – součinitel tažení

Mezní hodnoty poměrné deformace a stupně ztenčení, které jsou pro určité materiály doporučeny jsou uvedeny v následující tabulce tab. 3. V tabulce je zvýrazněna mosaz, protože právě tento materiál je použit pro výrobu nábojnice.

Tab.3 Hodnoty poměrné deformace a stupně ztenčení pro 1. tah a další tahy [%] [8]

Materiál výtažku	První tah		Další tahy	
	$\varepsilon$	$K_s$ [%]	$\varepsilon$	$K_s$ [%]
ocel měkká	55 - 65	45 - 40	35 - 45	65 - 55
ocel 0,25-0,35 % C	35 - 40	65 - 60	25 - 30	75 - 70
<b>mosaz</b>	<b>60 - 70</b>	<b>40 - 30</b>	<b>50 - 60</b>	<b>50 - 40</b>
hliník	60 - 65	40 - 35	40 - 50	60 - 50

Výsledné tloušťky stěny výtažku lze dosáhnout v jedné operaci, nebo v řadě operací. Na obr. 24 je příklad tažení ve dvou operacích, kde je možno vidět, že tloušťka dna se na rozdíl od tloušťky stěn nemění. V určitých případech se využívá vícestupňová tažnice. Takto lze celý proces zintenzivnit. Dosažitelný stupeň deformace je závislý na materiálu, počtu tažnic a velikosti redukčního úhlu v tažnicích  $\alpha$ . Pro získání kvalitních výtažků jsou mezi jednotlivé operace nebo na konec zařazeny jisté procesy. Aby byly odstraněny trhliny, vady a nerovnosti na ústí výtažku, je ústí zarovnáváno. Rovněž je díky zarovnání možné lépe a přesněji změřit tloušťku stěny. Mezi operacemi se upichuje délka. Pokud to výroba vyžaduje, využívá se také soustružení. Po určitém počtu tahů je kvůli zpevnění materiál nutno materiál tepelně zpracovat, konkrétně žíhat, aby bylo dosaženo vhodných mechanických vlastností například pro další tažení.



Obr. 24 Příklad změny výtažku při tažení se ztenčením stěny



### 2.3.4 Tribologie v procesu tažení [8], [11]

Stejně jako při jakémkoliv jiném tváření dochází i při tažení ke tření. Tření má negativní vliv na životnost nástroje, způsobuje otěr kontaktních ploch nástroje a má vliv i na hodnotu součinitele tažení. Obecně je většinou snaha o maximální snížení tření. Mazání slouží k ochraně nejen nástroje, ale zlepšuje i jakost povrchu tažené součásti. Důležité je dostatečné mazání zejména mezi materiálem a tažnicí. Při mazání se šetří energie, protože při nedostatku maziva dochází třecím ztrátám a v důsledku toho ke zvětšení tažné síly až o třetinu.

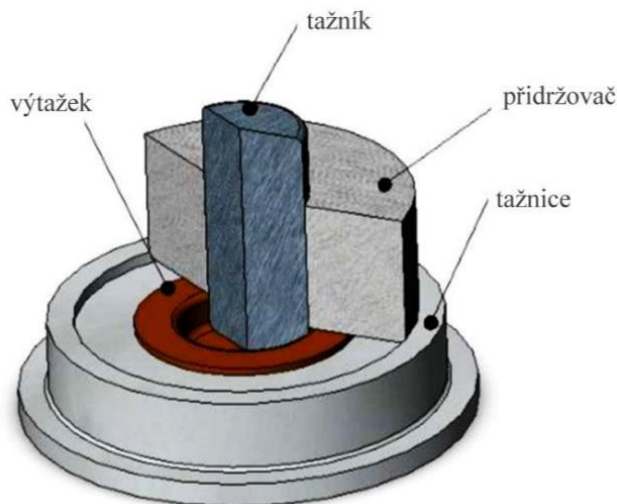
Využívané mazivo se dělí na:

- kapalné—syntetické oleje, emulze aj.
- konzistenční—tuky
- tuhá—npř. Grafit

Maziva musí být stejně jako u protlačování, nebo jiného tváření netečná vůči materiálu, ekologická apod. Důležitá je rovněž rychlost a nízká obtížnost nanesení, případně odstranění maziva ze součásti a ve větších sériích je také při volbě maziva důležité z hlediska ekonomiky věnovat pozornost i ceně daného maziva. Mazivo musí vytvářet rovnoměrnou vrstvu a musí mít výbornou adhezi, tedy přilnavost.

### 2.3.5 Konstrukce tažného nástroje [1], [21], [22], [23], [24],[26]

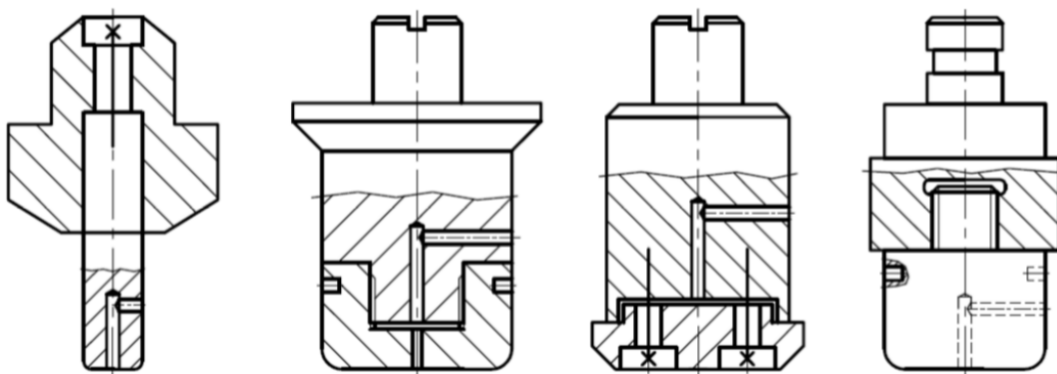
Základní tažný nástroj se skládá z pohyblivého tažníku a statické tažnice, případně přidržovače, která brání zvlnění výtažku. Dělí se na tažné nástroje pro 1. tah a tažné nástroje pro další tahy. Tažné nástroje mohou být jednoduché, sloučené (slučuje stříhání a tažení) nebo speciální. Při technologii tažení se nabízí i využití řady nekonvenčních metod, které mohou využívat hydrostatického tlaku, pryž aj. Řez tažného nástroje s přidržovačem je znázorněn a popsán na obr. 25.



Obr. 25 Řez tažného nástroje [21]

### Konstrukce tažníku:

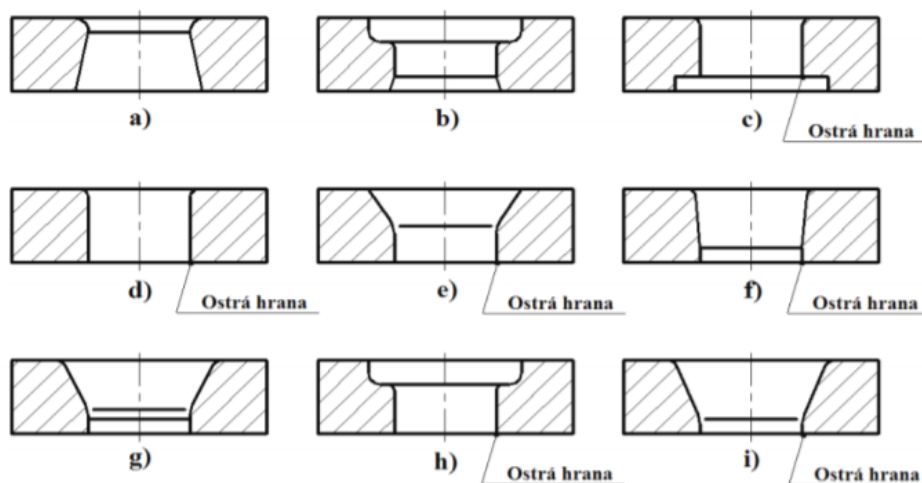
Pracovní část tažníku bývá zpravidla konstruována jako kuželová a povrch musí být hladký pro snadné sejmутí výtažku. Poloměr tažné hrany tažníku je stejně velký, nebo větší než je konstruován poloměr tažnice. Důležitý prvek tažníku, který nesmí být opomenut je odvzdušňovací kanálek. Bez tohoto prvku by při stlačení došlo k podtlaku a výtažek by tak nebylo možné sejmout z tažníku. Tento kanálek se umísťuje ve svislé ose a vrtá se o průměru 5-6 mm a na něho je následně kolmo vyvrtán otvor o stejném nebo větším průměru. Důležitá je výška umístění tohoto otvoru na tažníku. Boční otvor musí být umístěn vždy nad předpokládanou výšku výtažku. Odvzdušňovací systémy a různá provedení tažníků jsou vyobrazena, na obr. 26.



Obr. 26 Příklady řešení jednotlivých odvzdušnění [22]

### Konstrukce tažnice:

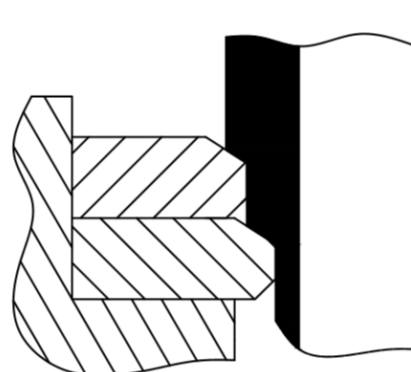
Tažnice je pevná část tažného nástroje, do které se zasouvá tažník a díky tomu je materiál vtahován do tažnice a dochází tak k tvarování výtažku. Pro konkrétní operaci jsou navrženy tažnice o různých tvarech funkčních částí, které mají přímý vliv na tvar výtažku. Vybrané tvary tažnice jsou na obr. 27.



Obr. 27 Možné tvary tažnice [23]

Při tažení se ztenčením stěny je v zásadě vždy součástí tažnice redukční oblast, kde dochází k redukci. Tato část je charakteristická úkosem o určitém úhlu  $\alpha$ . Pro tažení se ztenčením stěny je s výhodou konstruována tažnice složená ze dvou nebo i více částí, takzvaná několikanásobná tažnice. Jednoduchý nákras tohoto typu tažnice je na obr. 28.

Ke ztenčení tloušťky stěny dochází v této tažnici postupně, díky nad sebou umístěným tažným kroužkům. Tato metoda zajišťuje oproti klasické tažnici rovnoměrnou sílu stěny a výtažek má menší „křivost“.



Obr. 28 Několikanásobná tažnice [1]

### Tažník a tažnice při tažení nábojnic

Při návrhu tvaru a konstrukce tažného nástroje pro tažení nábojnic je, s ohledem na vysoké požadavky na přesnost nutno brát v úvahu hned několik faktorů:

- způsob toku materiálu z prostoru dna do stěny
- geometrii, tvar a funkci výtažku včetně úchylek a tolerancí
- pružné deformace nástroje i výtažku
- změny, které nastanou v následných operacích – npř. rážování
- druh použitého lisu
- materiál výtažku

Na obr. 28 je znázorněn tažník a tažnice pro poslední tah. Průměry pracovní části tažníku  $d_n^B$  a  $d_n^H$  se vypočítají z rozdílu průměru tažnice a dvojnásobku tloušťky stěny výtažku v konkrétním bodě dle následujících vzorců:

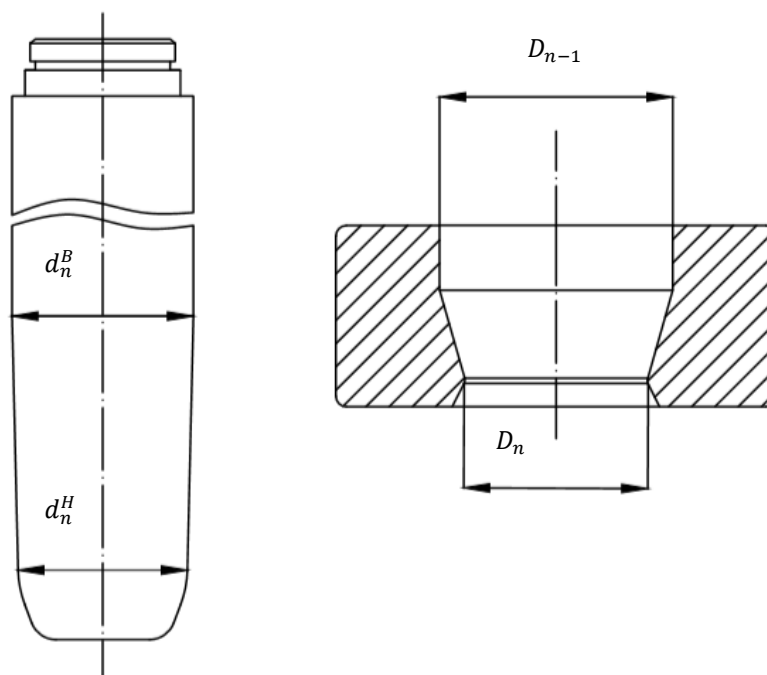
$$d_n^B = D_n - 2T_n^B \text{ [mm]} \quad (2.23)$$

$$d_n^H = D_n - 2T_n^H \text{ [mm]} \quad (2.24)$$

$$T_n^B = \left( T^B - \frac{\sum \Delta}{2} - \frac{\rho}{2} - \frac{\delta M + \Delta T_t^B}{2} + \frac{a}{2} \right) \cdot z \text{ [mm]} \quad (2.25)$$

$$T_n^H = \left( T^H - \frac{\sum \Delta}{2} - \frac{\rho}{2} - \frac{\delta M + \Delta T_t^H}{2} + \frac{a}{2} \right) \cdot z \text{ [mm]} \quad (2.26)$$

kde:  $T^B, T^H$  – nominální hodnoty tlouštěk stěn v konkrétních bodech  
 $\sum \Delta$  – suma výrobních tolerancí a tolerancí pro opotřebení nástrojů  
 $\rho$  – dovolená excentricita výtažku  
 $\delta M$  – pružné deformace tažnice  
 $\Delta T_t$  – hodnota zvětšení průměrů tažníku při zahřívání  
 $a$  – přídavek na opracování ústí  
 $\varepsilon$  – zvětšení tloušťky stěny při procesu rážování



Obr. 29 Tažník a tažnice pro poslední operaci

V případě tažnice pro poslední operaci, znázorněné na obr. 29 je možno pracovní část tažnice popsat třemi plochami. První je vstupní plocha o tvaru válce a její funkce je nasměrování a vedení vtahovaného výtažku. Další plochou je redukční část kuželového tvaru, kde dochází k toku materiálu směrem ze dna do pláště nebo naopak. To zajišťuje úhel  $\alpha$ , jehož hodnota pro poslední tah je doporučena o hodnotě 15-22°. Při menší hodnotě  $\alpha$  se kov přemísťuje směrem ze stěny do dna, naopak při vyšší hodnotě tohoto úhlu se materiál přemísťuje ze dna do pláště. Hodnota  $D_n$ , což je průměr spodní části tažnice se vypočítá podle následujícího vzorce:

$$D_n = D_{nob} - \Delta D_{nob} - \delta \quad [\text{mm}] \quad (2.27)$$

kde:  $D_{nob}$  –průměr pláště nábojnice u obruby

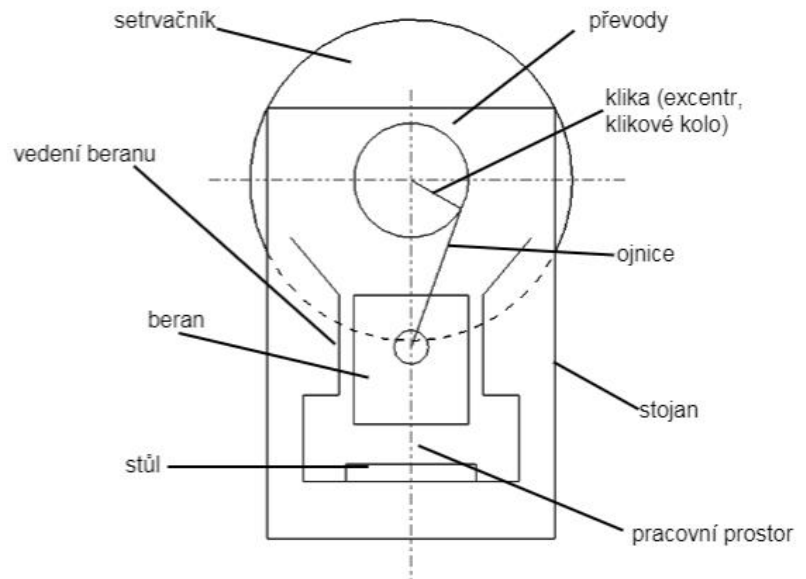
$\Delta D_{nob}$  –dovolená úchylka průměru  $D_{nob}$

$\delta$  –velikost pružných deformací výtažku a tažnice, volí se  $(0,002-0,003)D_{nob}$

### 2.3.6 Stroje pro tažení [23], [24], [25], [26], [27]

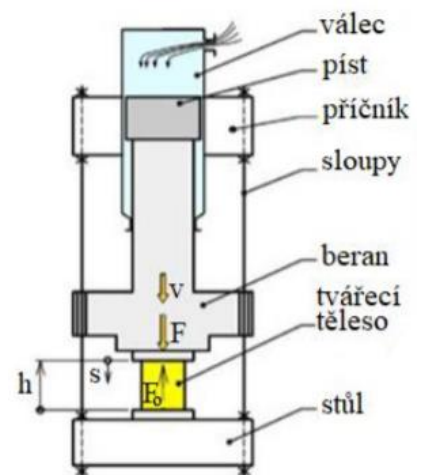
Při volbě stroje hraje roli více faktorů, zejména jmenovitá síla lisu, která musí být větší než skutečná tažná síla, dále velikost zdvihu, sevření, rozměry stolu a beranu atd. Rovněž je nutno si předem říci, jaké funkce budou od lisu požadovány. Například v případě nutného využití přidržovače, je nutno zvolit dvojčinný lis s tažným a přidržovacím beranem. Naopak pro tažení bez přidržovače si výroba vystačí s jednočinným lisem. Lisy se stejně jako u strojů pro protlačování dělí na dvě základní skupiny, a to na mechanické lisy, které mohou být zastoupeny například klikovým systémem, a hydraulické lisy.

**Mechanické lisy** – V oblasti tváření jsou to nejpoužívanější. Pracují na principu mechanického přenosu hnací síly z elektromotoru na funkční části lisu. Tento přenos síly je uskutečněn pomocí kliky, vačky, kolene nebo klínu. Výhodou je relativně jednoduchý mechanismus. V horní a dolní úvratí je v případě klikového mechanismu nulová rychlost, takže mechanismus dokáže vyvinout maximální sílu až těsně před dosažením dolní úvratí. Na obr. 30 je schematicky znázorněn princip klikového mechanického lisu včetně popisu jednotlivých součástí



Obr. 30 Mechanický lis [26]

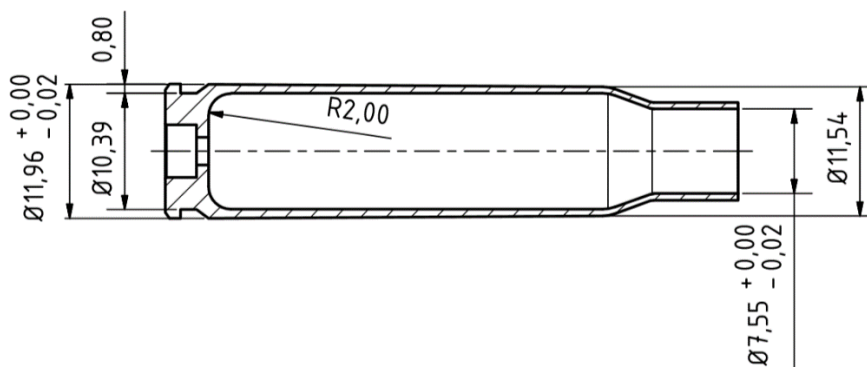
**Hydraulické lisy** – hydraulické lisy jsou založeny na principu přenosu tlaku do kapaliny bez ztráty. Tento jev popisuje Pascalův zákon. Přenos síly je zprostředkován pomocí hydrostatického tlaku vyvozeného ztlačováním jednoho pístu a druhý píst je vytlačován. Pomocí hydraulického lisu je možno dosáhnout vysokých sil, tudíž tyto lisy nacházejí využití u hlubokého tažení, tažení složitějších výlisků, anebo výtažků, kde jsou pro tváření zapotřebí vysoké tvářecí síly. Mezi výhody patří zejména plynulá regulace rychlosti beranu, libovolné nastavení zdvihu aj. Nevýhodou je vyšší cena stroje, náročnější opravy a nutnost zajištění dokonalého utěsnění hydraulické soustavy. Hydraulický lis je na obr. 31.



Obr. 31 Hydraulický lis [27]

### 3 Návrh výroby nábojnice

Řešená nábojnice je znázorněná na obr. 32 a výkres nábojnice je v příloze bakalářské práce. Jak vyplynulo z literární rešerše, optimální postup výroby bude následující:



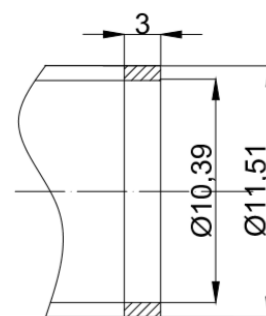
Obr. 32 Řešená nábojnice

- Ustřížení špalíku z drátu
- kalibrace ústřížku pěchováním
- zpětné protlačení kalíšku
- tažení kalíšku se ztenčováním stěny
- zarovnání ústí kalíšku upíchnutím přídavku
- napěchování mírného osazení na vnější části dna nábojnice
- dokončení dna nábojnice třískovým opracováním
- rážování, tj. uzavírání ústí nábojnice

#### 3.1 Objem polotovaru

Pro stanovení velikosti a tvaru polotovaru je třeba nejdříve stanovit objem nábojnice a zvětšit jej o potřebné přídavky. Přídavky jsou třeba

- na zarovnání ústí po operaci tažení se ztenčením stěny, tento přídavek bude současně eliminovat i nepravidelnost výšky výtažku vzniklé při tažení. Přídavek na výšku volím 3 mm, a potřebný objem materiálu na přídavek je  $53,32\text{mm}^3$ , viz obr. 33.



Obr. 33 Přídavek na zarovnání ústí

$$P_v = \frac{\pi \cdot 11,51^2 \cdot 3}{4} - \frac{\pi \cdot 10,39^2 \cdot 3}{4} = 53,32\text{mm}^3$$

kde:  $P_v$  – objem přídavku na výšku

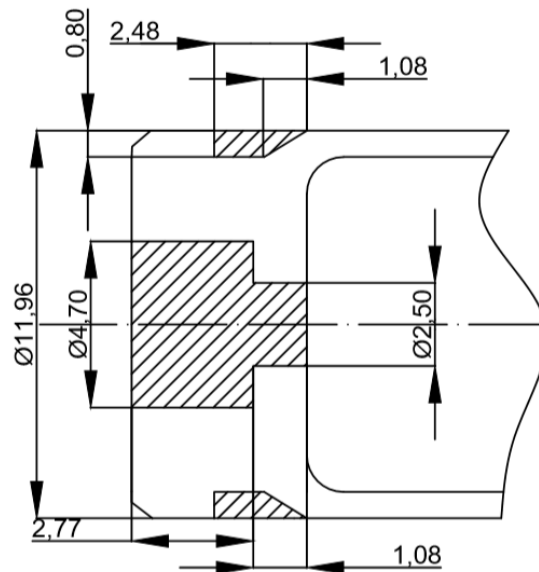
- na obrábění dna nábojnice, potřebný objem materiálu na přídavek je  $107,78\text{mm}^3$ , viz. Obr. 34.

$$P_{O1} = \frac{\pi \cdot 4,70^2 \cdot 2,77}{4} + \frac{\pi \cdot 2,50^2 \cdot 1,08}{4} = 53,36\text{mm}^3$$

$$P_{O2} = \frac{\pi \cdot 11,96^2 \cdot 1,4}{4} - \frac{\pi \cdot 10,36^2 \cdot 1,4}{4} + \frac{\frac{\pi \cdot 11,96^2 \cdot 1,08}{4} - \frac{\pi \cdot 10,36^2 \cdot 1,08}{4}}{2} = 54,42 \text{mm}^3$$

$$P_o = P_{O1} + P_{O2} = 53,36 + 54,42 = 107,78 \text{mm}^3$$

kde:  $P_o$  – objem přídatku na obrábění



Obr. 34 Přídatky na obrábění

Objem vlastní nábojnice je:

$$V_{náb} = \frac{\pi \cdot 11,68^2 \cdot 47,58}{4} - \frac{\pi \cdot 10,39^2 \cdot 47,58}{4} + \frac{\pi \cdot 11,96^2 \cdot 3,85}{4} - 107,7$$

$$= 1388,66 \text{mm}^3$$

kde:  $V_{náb}$  – objem hotové nábojnice

Objem nábojnice zjištěný pomocí Inventoru Professional 2017 je  $1391,53 \text{mm}^3$ , a je považován za přesnější, jelikož zohledňuje poloměry zaoblení hran a změny tloušťky stěn. Objem polotovaru je objem nábojnice + přírůstek na výšku a přírůstek na obrobení, tedy:

$$V_{pol} = V_{náb} + P_v + P_o = 1391,53 + 53,32 + 107,78 = 1552,63 \text{mm}^3$$

kde:  $V_{pol}$  – objem polotovaru

Polotovarem bude váleček ustřižený z drátu, pro určení rozměru je třeba vycházet z průměru.

S ohledem na tolerance průměru drátu a délky ústřížku, bude ještě třeba zvětšit velikost polotovaru. Případný přírůstek vycházející z tohoto navýšení se projeví ve zvýšené výšce nábojnice po operaci tažení a bude odstraněn současně s přírůstkem na výšku, jak bylo uvedeno výše. Tento přírůstek volím 3 % objemu polotovaru. Konečný objem polotovaru je tedy  $1599,21 \text{mm}^3$ .

$$V_{kon} = 1552,63 + 0,03 \cdot 1552,63 = 1599,21 \text{mm}^3$$

kde:  $V_{kon}$  – konečný objem polotovaru

### 3.2 Postup zhotovení pláště nábojnice

Při stanovení postupu tváření pláště nábojnice a potažmo rozměru polotovaru je třeba postupovat proti technologickému postupu výroby.

Požadovaný vnitřní průměr hotové nábojnice je 10,39 mm, min. tloušťka stěny je 0,56 mm. Z tabulky č. 3 vyplývá, že pro mosaz je v prvním tahu doporučená hodnota stupně ztenčení  $K=40$  až 30 %. V prvním přiblížení budeme předpokládat, že postačí jedna tažná operace. Volím hodnotu  $K=35$  %, kterou dosazuji do následujícího vzorce a po vyjádření a dosazení dostanu hodnotu tloušťky stěny v předchozí operaci, což je právě tloušťka stěny protlačeného kalíšku. Za  $S_n$  dosazuji nejmenší tloušťku stěny hotové nábojnice.

$$K_s \approx \frac{S_n}{S_{n-1}} \cdot 100 \rightarrow S_{n-1} = \frac{S_n}{k} \cdot 100 = \frac{0,56}{35} \cdot 100 = 1,6 \text{ mm}$$

Tloušťka stěny protlačeného kalíšku by měla být 1,6 mm a vnitřní průměr o 0,5 mm větší než průměr hotové nábojnice, tedy 10,89 mm. Důvodem je snadné zasunutí tažníku do protlačeného kalíšku. Vnější průměr je tedy 14,09 mm.

Tvar kalíšku po protlačovací operaci je na obr. 37. Přičemž tloušťka dna kalíšku vychází z konečného objemu dna a objemu materiálu, který se přesune při napěchování příruby na dně. Tloušťka dna protlačku bude tedy výška dna hotové nábojnice. Nábojnice má na kraji dna úkos, kde se před pěchováním dna nachází materiál o objemu  $3,22 \text{ mm}^3$ . Tento materiál se při pěchování přesune do mírného osazení, které vyžaduje  $0,97 \text{ mm}^3$  materiálu, a zbytek se přesune do prostoru výše, kde bude následně odebrán třískovým obráběním. Výšku dna protlačku tak není třeba navyšovat, protože materiál odebraný při tvorbě úkosu „vystačí“ na osazení. Nákres osazení včetně rozměrů je na obr. 38.

Při výpočtu výšky protlačku z celkového objemu je nutno odečíst materiál vnitřního a vnějšího poloměru. Pro stanovení objemu těchto poloměrů byly tyto části protlačku vymodelovány v Inventoru 2017 a pomocí tohoto programu objemy vypočítány. Výška protlačku byla spočítána z celkového objemu polotovaru bez objemu poloměrů a je 19,76 mm.

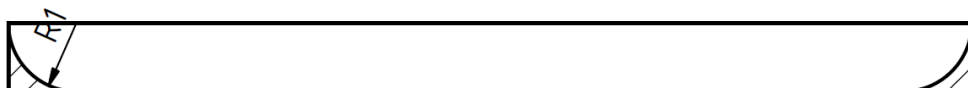
$$V_{\text{osazení}} = \frac{\pi \cdot 12,01^2 \cdot 0,99}{4} - \frac{\pi \cdot 11,96^2 \cdot 0,99}{4} = 0,97 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{úkosu}} = \frac{\frac{\pi \cdot 11,96^2 \cdot 0,38}{4} - \frac{\pi \cdot 11,00^2 \cdot 0,38}{4}}{2} = 3,22 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{pracovní}} = \frac{\pi \cdot 14,09^2 \cdot h}{4} - \frac{\pi \cdot 10,89^2 \cdot (h - 3,85)}{4} \rightarrow h = \frac{\frac{4 \cdot 1581,45}{\pi} - 3,85 \cdot 10,89^2}{14,09^2 - 10,89^2} = 19,48 \text{ mm}$$



Objem materiálu v poloměru zaoblění je spočítaný jako rozdíl vnitřního (většího) zaoblění a vnějšího menšího zaoblění. Následně je množství tohoto materiálu odečteno od celkového objemu kalíšku a pomocí vzorců pro výpočet objemu válce je dopočítána skutečná výška kalíšku. Vymodelované části kalíšku jsou na obr. 35 a 36.



Obr. 35 Vnější zaoblění R1

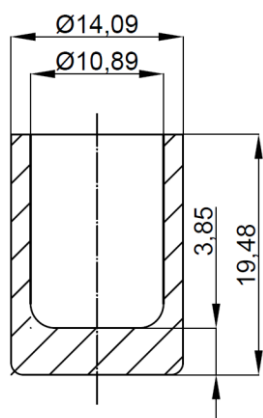


Obr. 36 Vnitřní zaoblění R2

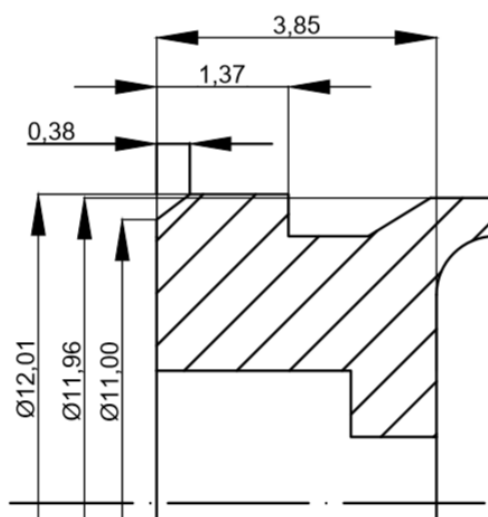
Objem zaoblění R1 je  $9,198\text{mm}^3$  a zaoblění R2  $26,958\text{mm}^3$ .

$$V_{\text{zaobl}} = 26,958 - 9,198 = 17,76\text{mm}^3$$

$$V_{\text{pracovní}} = V_{\text{kon}} - 17,76 = 1599,21 - 17,76 = 1581,45\text{mm}^3$$



Obr. 37 Tvar protlačeného kalíšku



Obr. 38 Náskres osazení vč. rozměrů

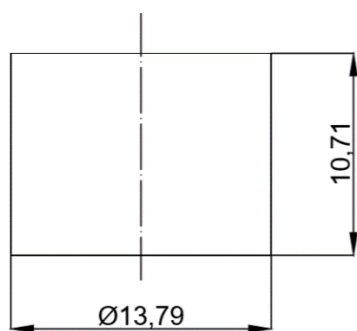
Reálnost zhotovení stanoveného tvaru protlačku se zjistí využitím tab. 2. V tabulce jsou dosažitelné hodnoty velikosti deformace při protlačování ocelí. S ohledem na mechanické vlastnosti mosazi CuZn30 ČSN 42 3210 je možné předpokládat obdobné podmínky a výsledky protlačování, jako u nízkouhlíkových ocelí.

Vychází se tedy z dosažitelné velikosti deformace  $\varphi=0,51$  až  $1,4$ , v horní části intervalu, volím hodnotu skutečné deformace  $\varphi=1,2$ . Z uvedeného vyplývá, že při vnějším průměru  $14,09\text{mm}$  lze v protlačku zhotovit otvor s max. průměrem  $11,78\text{mm}$ , což je průměr větší než požadovaný  $10,89\text{mm}$ , lze tedy nábojnici vyrobít ve dvou operacích.

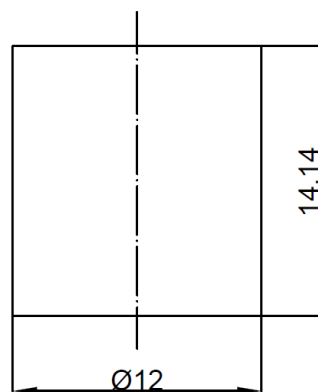
$$\varphi = \ln \frac{D^2}{D^2 - d^2} \rightarrow d = \sqrt{D^2 - \frac{D^2}{e^\varphi}} = \sqrt{14,09^2 - \frac{14,09^2}{e^{1,2}}} = 11,78\text{mm}$$

Kalibrovaný váleček musí mít průměr, který lze snadno založit do dutiny průtlačnice. Vůle pro založení je zvolena  $0,3\text{ mm}$ , potom bude průměr kalibrovaného (napěchovaného) ústřížku drátu  $13,79\text{mm}$ . Z objemu materiálu je dopočtena výška kalibrovaného ústřížku drátu  $h$ , napěchovaný tvar je na obr 39.

$$h = \frac{V \cdot 4}{\pi \cdot d^2} = \frac{1599,21 \cdot 4}{\pi \cdot 13,79^2} = 10,71\text{mm}$$



Obr. 39 Tvar kalibrovaného špalíku



Obr. 40 Ústřížek drátu

Zbývá určit průměr výchozího drátu. Pro dokonalou kalibraci, zejména pro zarovnání čel špalíku a zajištění jejich kolmosti k ose je vhodné zvolit velikost deformace  $20\%$ . Dráty se ale dodávají v daných průměrech, takže je nutno velikost deformace pozměnit. Průměr dodávaného drátu je  $12\text{ mm}$  a ústřížek bude mít délku  $14,14\text{ mm}$ , viz obr. 40. Velikost deformace tak dosahuje hodnoty  $24,3\%$ .

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100 = \frac{14,14 - 10,71}{14,14} \cdot 100 = 24,3\%$$

$$d = \sqrt{\frac{V \cdot 4}{\pi \cdot h_0}} \rightarrow h_0 = \frac{V \cdot 4}{\pi \cdot d^2} = \frac{1599,21 \cdot 4}{\pi \cdot 12^2} = 14,14\text{ mm}$$

### 3.3 Základní prvky tvářecích nástrojů

#### 3.3.1 Protlačovací nástroj

Do této operace vstupuje jako výchozí polotovár kalibrovaný váleček a výstupní součástí je kalíšek. Nástroj je podroben vysokému namáhání a musí dosahovat co nejdelší životnosti, takže musí být splněny určité pevnostní podmínky. Nástroj je vyroben z nástrojové oceli o označení 19 573.3, což je vysokolegovaná ocel, která kvalitněji nahrazuje ocel 19 436.

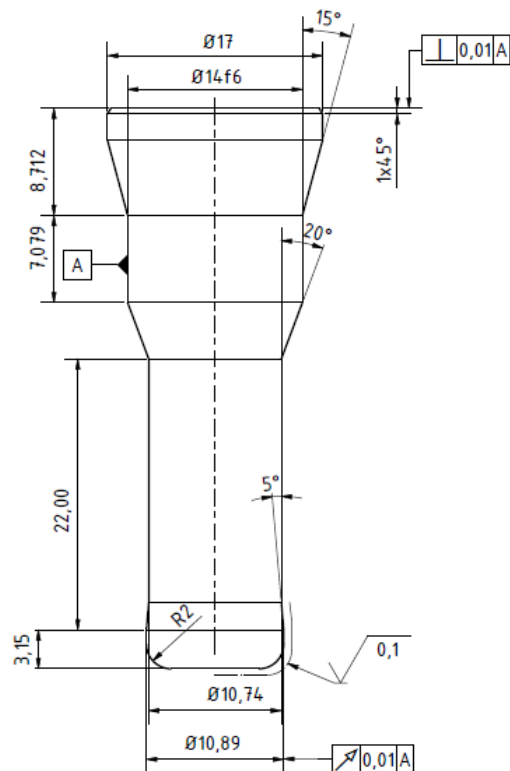
Při konstrukci protlačovacího nástroje se vychází z rozměrů vstupního válečku a výstupního kalíšku. Otvor v průtlačnici je průměr válečku navýšený o hodnotu 0,3mm pro snadné zavedení polotovaru do průtlačnice. Průtlačník má rozměry stanoveny na základě vnitřního průměru zhotoveného kalíšku  $d=10,89$ . Zbylé rozměry jsou stanoveny dle poměrů a vztahů viz kapitola 2.2.7. Na obr. 41 je znázorněn průtlačník se skutečnými rozměry a výkresy průtlačníku a průtlačnice jsou v příloze. Čelo průtlačníku je zkonstruováno s poloměrem  $R2$ , což je poloměr zaoblení vnitřní části nábojnice. Tento typ čela byl zvolen z důvodu ušetření další operace, kdy by bylo nutno úkos zkalibrovat na rádius. Průtlačnice se skutečnými rozměry je znázorněna na obr. 42. Kóty byly spočítány dle vztahů v kapitole 2.2.7 a obr.17.

$$\alpha = 5^\circ - 8^\circ$$

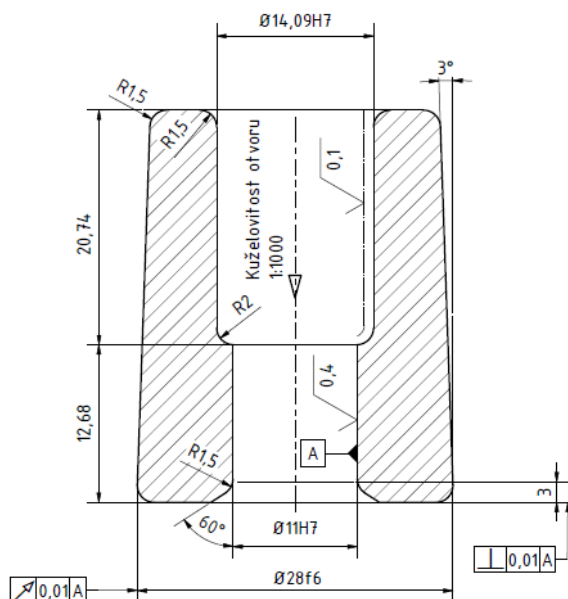
$$d' = 10,89 - (0,15) = 10,74$$

$$h = 0,5 \cdot \sqrt{10,89} = 1,65\text{mm}, h_{\min} = 2\text{mm}$$

$$R = 0,09 \cdot 10,89 = 1$$



Obr. 41 Průtlačník se skutečnými kótami



Obr. 42 Průtlačnice se skutečnými kótami

### 3.3.2 Tažný nástroj

Tažný nástroj v jedné tažné operaci zhotoví z kalíšku výsledný polotovár nábojnice a s tím souvisí konstrukční rozměry tažníku a tažnice.

Tažnice se skládá ze vstupní plochy ve tvaru válce pro zavedení kalíšku, jejíž průměr je stejně jako u protlačování z důvodu snadného zavedení kalíšku oproti jeho vnějšímu průměru navýšena o 0,5mm a z redukční části kuželového tvaru, kde nejmenší průměr této oblasti odpovídá vnějšímu průměru nábojnice viz. obr. 43.

Tažník je charakteristický průměry, které jsou stanoveny na základě požadovaných průměrů nábojnice před operací rážování. Jedná se o průměr u dna nábojnice a průměr u ústí nábojnice před operací rážování. Poloměr zaoblení tažníku je stanoven na základě poloměru zaoblení vnitřního průměru u dna nábojnice. Rozměry a tvar tažníku jsou znázorněny na obr. 44.

Rovněž je zde kladen důraz na kvalitu materiálu nástroje. Nástroj je vyroben z nástrojové oceli 19 573.3. Výkresy tažníku a tažnice jsou v příloze. Konstrukční rozměry jsou vypočítány dle vzorců uvedených v kap 2.3.5:

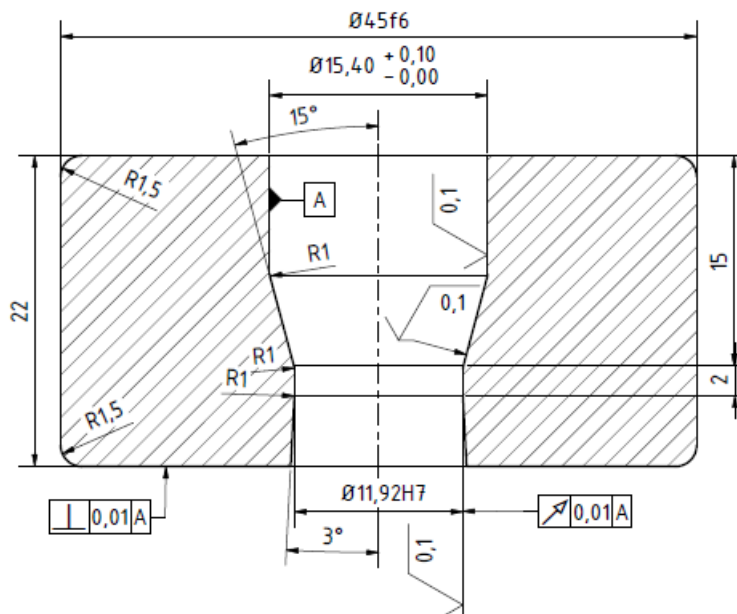
$$D_n = D_{nob} - \Delta D_{nob} - \delta = 11,96 - 0,02 - 0,02 - 0,02 = 11,92 \text{ mm}$$

$$T_n^B = \left( T^B - \frac{\Sigma \Delta}{2} - \frac{\rho}{2} - \frac{\delta M + \Delta T_t^B}{2} + \frac{a}{2} \right) \cdot z = \left( 0,56 - \frac{0,01}{2} - \frac{0,01}{2} - \frac{0,007 + 0,002}{2} \right) \cdot 1,09 = 0,59 \text{ mm}$$

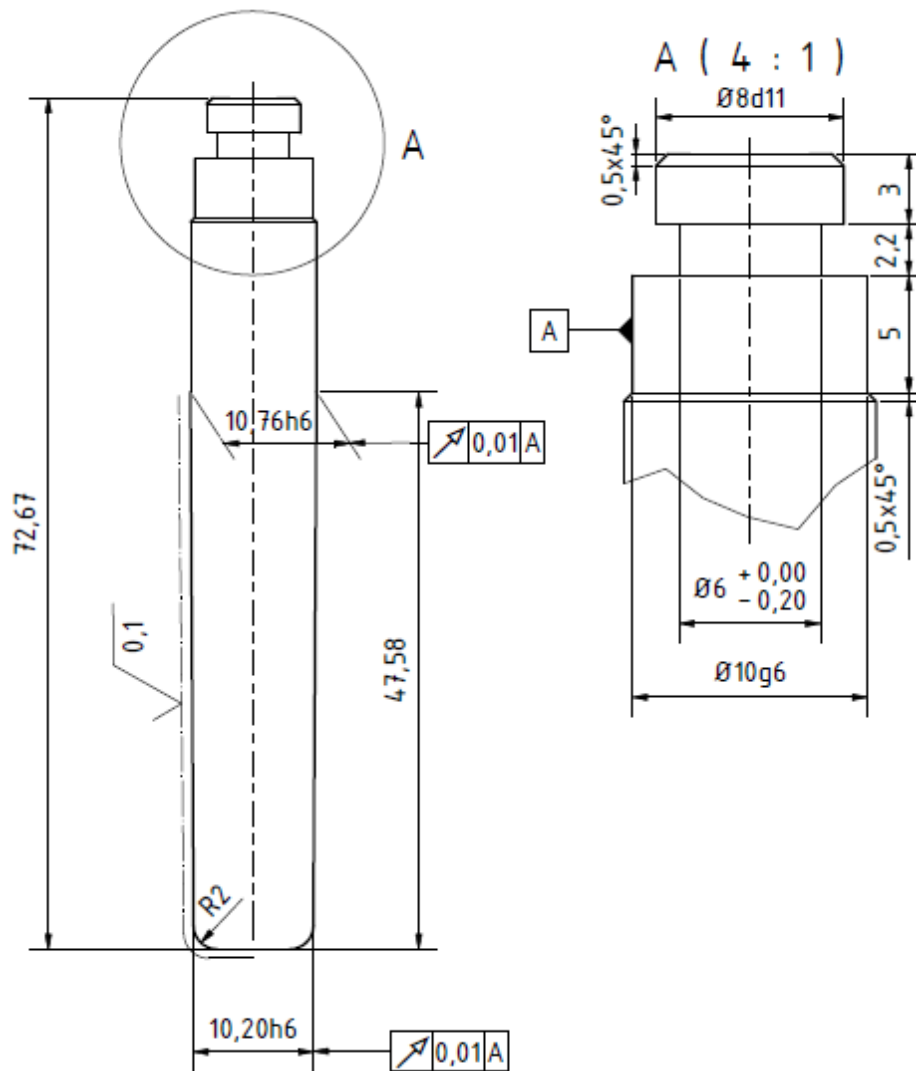
$$T_n^H = \left( T^H - \frac{\Sigma \Delta}{2} - \frac{\rho}{2} - \frac{\delta M + \Delta T_t^H}{2} + \frac{a}{2} \right) \cdot z = \left( 0,80 - \frac{0,01}{2} - \frac{0,01}{2} - \frac{0,007 + 0,002}{2} \right) \cdot 1,09 = 0,86 \text{ mm}$$

$$d_n^B = D_n - 2T_n^B = 11,92 - 2 \cdot 0,59 = 10,74 \text{ mm}$$

$$d_n^H = D_n - 2T_n^H = 11,92 - 2 \cdot 0,86 = 10,20 \text{ mm}$$



Obr. 43 Tažnice včetně výrobních rozměrů



Obr. 44 Tažník s výrobními rozměry

### 3.4 Protlačovací, tažná a pěchovací síla

Hodnota tvářecí síly je nutná zejména pro stanovení správného výrobního stroje. Vybraný lis musí být schopný vyvinout sílu o velikosti síly potřebné pro zhotovení vylisku. Pro jistotu se volí bezpečná rezerva. Jmenovitá síla lisu tedy musí být větší než potřebná tvářecí síla. Tvářecí síla pro výrobu nábojnice se skládá z protlačovací síly v první operaci a tažné síly ve druhé operaci. Jelikož bude nábojnice vyráběna na postupovém automatu a všechny operace tak budou zhotoveny současně, musí se všechny síly sečíst a na základě této hodnoty bude vybrán vhodný lis.

#### Pěchovací síla

$$F_{pěch} = Rm \cdot Sp = 480 \cdot \frac{\pi \cdot 13,79^2}{4} = 71690,2N = 71,700 kN$$

## Protlačovací síla

Velikost skutečného deformačního odporu při protlačování se vypočítá, viz vztah (2.5) v kap.2.2.2:

Materiál bude po operaci pýchování zpevněn. Hodnota meze kluzu zpevněného materiálu se dopočítá pomocí tohoto vztahu (2.4) viz kap 2.1:

$$Re = 420 + 45,297569 \cdot \varepsilon^{0,4871027} = 442,75 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0} = \frac{14,14 - 10,71}{14,14} = 0,243$$

$$\sigma_d = 1,152 \cdot Re \cdot \frac{D^2}{d^2} \left( \log \frac{D^2}{D^2 - d^2} + \frac{D^2}{D^2 - d^2} \cdot \log \frac{D^2}{d^2} + \log \frac{d^2}{D^2 - d^2} \right) = 1,152 \cdot 442,75 \cdot \frac{14,09^2}{10,89^2} \left( \log \frac{14,09^2}{14,09^2 - 10,89^2} + \frac{14,09^2}{14,09^2 - 10,89^2} \cdot \log \frac{14,09^2}{10,89^2} + \log \frac{10,89^2}{14,09^2 - 10,89^2} \right) = 958,13 \text{ MPa}$$

Velikost protlačovací síly:

$$F_{protl} = \sigma_d \cdot S_d = 958,13 \cdot 93,14 = 89,24 \text{ kN}$$

$$S_d = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 10,89^2}{4} = 93,14 \text{ mm}^2 \quad [\text{mm}^2]$$

## Tažná síla

Vzorec pro výpočet tažné síly u tažení se ztenčením stěny se skládá ze dvou složek. Ze složky vyvolené při protahování a redukování materiálu v tažnici a ze složky vyvolané třením na kontaktních plochách. Výsledná tažná síla lze vypočítat pomocí vzorce (2.19) uvedeného v kapitole 2.3:

$$F_T = 0,13 \cdot \pi \cdot d_s \cdot T_1 \cdot \sigma_{ps} \cdot \left[ \left( 1 + \frac{2\mu}{\alpha} \right) \cdot \ln \frac{T_0}{T_1} + \frac{\alpha}{2} \right] = 0,13 \cdot \pi \cdot 11,19 \cdot 0,56 \cdot 477,8 \cdot \left[ \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,1}{30} \right) \cdot \ln \frac{1,6}{0,56} + \frac{30}{2} \right] = 19,634 \text{ kN}$$

Materiál bude po operaci zpětného protlačování zpevněn a hodnota přirozeného přetvárného odporu po zpevnění je vypočítána pomocí tohoto vztahu (2.4) viz kap 2.1:

$$\sigma_{ps} = 442,75 + 45,297569 \cdot \varepsilon^{0,4871027} = 477,8 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \frac{d^2}{D^2} = \frac{10,89^2}{14,09^2} = 0,59$$

kde:  $d$  – vnitřní průměr kalíšku [mm]

$D$  – vnější průměr kalíšku [mm]

$\sigma_{ps}$  – hodnota přirozeného přetvárného odporu po zpevnění [MPa]

$\varepsilon$  – poměrné přetvoření [-]

## 3.5 Volba stroje [28]

Vzhledem k roční kusovosti 750 tisíc je důležité dosáhnout co nejvyšší efektivity výroby a výrobu z automatizovat. Ve výrobě nábojnic nebo jiných tomu podobných součástí se s výhodou využívá postupového lisu, kde je při jednom zdvihu vykonáno více operací

najednou. Při výrobě řešené nábojnice dojde při jednom zdvihu k napěchování (kalibraci) ústřížku drátu, lisování kalíšku protlačováním a tažení výsledného polotovaru nábojnice.

Důležitou roli zde hraje jmenovitá síla lisu. Ta by měla být větší než síla potřebná pro zhotovení lisované součásti. Vzhledem k tomu, že bude na jeden zdvih vykonáno více operací je nutno tyto dílčí síly sečíst a následně pro bezpečnost navýšit o 30% aby zde byla jistá rezerva.

$$F_c = F_{pěch} + F_{protl} + F_T = 71,7 + 89,24 + 19,634 = 180,574 \text{ kN}$$

$$F_{Lmin} = 1,3 \cdot 180,574 = 234,746 \text{ kN}$$

kde:  $F_c$  – celková síla [kN]

$F_{Lmin}$  – minimální jmenovitá síla lisu požadovaná od stroje [kN]

Jmenovitá síla vybraného lisu tedy musí být alespoň 234,746kN. Při takovéto sériové výrobě by se v praxi nejspíše jednalo o postupový lis zhotovený zakázkovou výrobou. Jako příklad je možné zvolit postupový automat TPZK 25 zhotovený firmou Šmeral Brno a.s. Jmenovitá síla vybraného lisu dosahuje hodnoty až 5000kN a základní parametry stroje jsou v tab. 4.

Tab. 4 Parametry postupového automatu TPZK 25 [28]

<b>Rozsah použití</b>		
Jmenovitý průměr zprac. materiálu	25	[mm]
Pevnosti do	600	[MPa]
Největší průměr zprac. materiálu	29	[mm]
Délka ústřížku max/min	85/20	[mm]
Celková délka výlisku	130	[mm]
Maximální průměr výlisku	60	[mm]
Počet zdvihů – počet výlisků za minutu	40-60	[1/min]
Jmenovitá síla	5000	[kN]
Stříhací síla	200	[kN]
Vyrážecí síla z lisovnic	100	[kN]
Vyrážecí síla z lisovníku	50	[kN]
Zdvih beranu	220	[mm]
Zdvih vyražeče z lisovnic	100	[mm]
Zdvih vyražeče z lisovníku	50	[mm]
Výkon hlavního elektromotoru	74	[kW]
<b>Rozměry automatu</b>		
Délka	8110	[mm]
Šířka	3900	[mm]
Výška bez zdvihadla	2700	[mm]
Výška se zdvihadlem	4200	[mm]
Hmotnost	63200	[kg]

#### 4 Technicko-ekonomické hodnocení

Nábojnice Winchester 308 bude zhotovena na postupovém automatu TPZK 25 při roční kusovosti 750 tisíc zhotovených nábojnic. Při takovém množství je nedílnou součástí ekonomický propočet a zhodnocení nákladů.

Vstupní výdaje zejména na tvářecí stroje jsou nákladné, avšak u takovýchto sérií nevyhnutelné a s rostoucím počtem vyrobených kusů exponenciálně klesá cena za jeden vyrobený kus.

Nábojnice je lisována za studena, takže není třeba ohřevu a celkový proces výroby je tak velice rychlý a efektivní. Kalíšek je zhotoven technologií zpětného protlačování, kde je vstupním polotovarem kalibrovaný špalík zhotovený ustřížením ze svitku drátu. Díky tomuto způsobu je dosaženo téměř dokonalého využití materiálu a nevytváří se odpad v podobě ústřížků plechu jako u plošného tváření. Následně je kalíšek tažen až do téměř konečné podoby. Následuje tvarování dna a uzavírání ústí nábojnice.

#### Přímé náklady na materiál

Polotovarem je mosazná tyč o průměru 12,33mm. Tento průměr není standardní, avšak pro tyto účely o takové kusovosti je předpokládáno, že bude mosazná tyč dodávána na míru včetně požadavku na průměr.

- Spotřeba materiálu na jeden kus

$$S_{M1} = \rho \cdot V_c = 8400 \cdot 1599,21 = 0,0134 \text{ kg/ks} \quad (4.1)$$

- Náklady na materiál

$$N_{\text{materiál}} = S_{M1} \cdot C_{\text{materiál}} \cdot n = 0,0136 \cdot 45 \cdot 750000 = 612\,000 \text{ Kč} \quad (4.2)$$

kde:  $C_{\text{materiál}}$  – cena mosazi [Kč/kg]

$n$  – roční kusovost [ks]

#### Přímé náklady na mzdy

$$t = (t_A + t_B) = \left( \frac{t_A}{60} + \frac{t_B}{60 \cdot d_v} \right) = \left( \frac{0,02}{60} + \frac{0,01}{60 \cdot 10000} \right) = 0,000334 \text{ h} \quad (4.3)$$

$$N_{\text{mzdy}} = t \cdot M_t \cdot n = 0,000334 \cdot 250 \cdot 750000 = 62\,625 \text{ Kč} \quad (4.4)$$

kde:  $t$  – výrobní čas [h]

$t_A$  – čas potřebný k výrobě jednoho kusu [min]

$t_B$  – přípravný čas k jednomu kusu [min]

$d_v$  – velikost výrobní dávky [ks]

$M_t$  – hodinová mzda [kč/h]

#### Přímé náklady na energii

$$N_{\text{energie}} = P \cdot \eta \cdot t_A \cdot C_E \cdot n = 74 \cdot 0,7 \cdot 0,02 \cdot 4 \cdot 750000 = 3\,108\,000 \text{ Kč} \quad (4.5)$$

kde:  $P$  – příkon elektromotoru automatu [kW]

$\eta$  – využití automatu [-]

$C_E$  – cena energií [Kč/kWh]

#### Celkové přímé náklady

$$N_{\text{celkové}} = N_{\text{materiál}} + N_{\text{mzdy}} + N_{\text{energie}} = 612000 + 62625 + 3108000 = 3\,782\,625 \text{ Kč} \quad (4.6)$$



### **Přímé náklady na jeden protlaček**

$$N_{pr} = \frac{N_{celkové}}{n} = \frac{3782625}{750000} = 5 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

### **Nepřímé náklady**

$$NN = \frac{N_{pr} \cdot n \cdot (VR + SR)}{100} = \frac{5 \cdot 750000 \cdot (100 + 100)}{100} = 7\,500\,000 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

kde: VR – výrobní režie [%]

SR – správní režie [%]

### **Variabilní náklady**

$$VN = N_{celkové} + NN = 3782625 + 7500000 = 11\,282\,625 \text{ Kč} \quad (4.9)$$

### **Variabilní náklady na jeden výlisek**

$$VN_{výl} = \frac{VN}{n} = \frac{11282625}{750000} = 15 \text{ Kč} \quad (4.10)$$

### **Fixní náklady**

Fixní náklady jsou náklady na tvářecí nástroje a jsou stanoveny hrubým odhadem.

$$FN = 1\,000\,000 \text{ Kč}$$

### **Celkové náklady**

$$CN = VN + FN = 11282625 + 1000000 = 12\,282\,625 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

### **Celkové náklady na jeden výlisek**

$$CN_{výl} = \frac{CN}{n} = \frac{12282625}{750000} = 16,4 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

### **Zisk**

$$Z = \frac{CN \cdot r}{100} = \frac{12282625 \cdot 30}{100} = 3\,684\,787,5 \text{ Kč} \quad (4.13)$$

kde: r – rentabilita [%]

### **Zisk na jednom kuse**

$$Z_{kus} = \frac{Z}{n} = \frac{3684787,5}{750000} = 4,9 \text{ Kč} \quad (4.14)$$

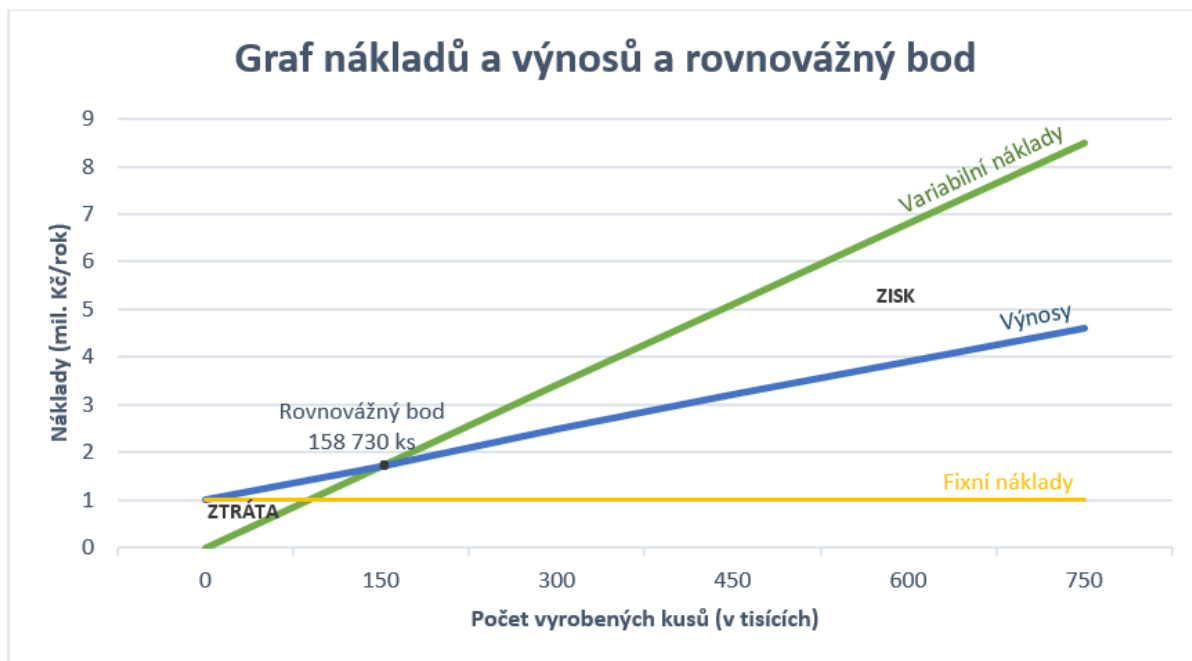
### **Cena jednoho kusu při zachování zisku 30%**

$$C_{kus} = \frac{FN + VN + Z}{n} = \frac{1000000 + 11282625 + 3684787,5}{750000} = 21,3 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

### **Rovnovážný bod**

$$RB = \frac{FN}{C_{kus} - VN_{výl}} = \frac{1000000}{21,3 - 15} = 158\,730 \text{ ks} \quad (4.16)$$

Náklady na nákup strojů se vrátí při výrobě a prodeji 158 730 kusů. Tento stav znázorňuje rovnovážný bod, který je graficky znázorněn na obr. 45.



Obr. 45 Graf nákladů a výnosů a rovnovážný bod

## 5 ZÁVĚRY

Předmětem bakalářské práce bylo zhotovení nábojnice. Nábojnice má největší průměr 12,01 a výšku 51,18, takže se řadí mezi malé ráže. Je válcovitého tvaru, kde na spodu je dno a na vrchu nábojnice zúžené ústí. Sériovost výroby je 750 000 ks/rok. Nábojnice je zhotovena z nábojnicové mosazi CuZn30 dle ČSN 42 3210. Mosaz má z hlediska tvařitelnosti vynikající vlastnosti.

Byly zhodnoceny možné technologie výroby a vzhledem k vyšší sérii byla zvolena kombinace dvou technologií. Díky této kombinaci bude dosaženo lepší efektivity a rovněž ekonomiky provozu, protože nevzniká vysoký podíl odpadu ze stříhání. Polotovarem je mosazná tyč, která je následně nastříhána, zkalibrována a protlačena technologií zpětného protlačování na malé kalíšky. Kalíšky jsou následně pomocí technologie tažení se ztenčením stěny protaženy do výsledné výšky a tloušťky. Všechny procesy jsou uskutečněny v jednom zdvíhu lisu na postupovém automatu TPZK 25.

Z ekonomického hlediska bylo spočítáno, že náklady na stroje a výrobu se vrátí při výrobě a prodeji 158 730 kusů nábojnic. Zisk na jednom kuse je uvažován 4,9 Kč a celková cena jednoho kusu je 21,3 Kč.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [3]

1. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
2. Nábojnice 45-70 Government. *Macháček zbraně* [online]. [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: [http://www.zbrane-machacek.cz/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=1241](http://www.zbrane-machacek.cz/index.php?main_page=product_info&products_id=1241)
3. Lisování a hluboké tažení. *Culobel* [online]. [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <http://www.culobel.com/cs/divize/lisovani-a-hluboke-tazeni/>
4. Hluboké tažení. *Stueken* [online]. [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <https://stueken.de/cz/technologie/hluboke-tazeni>
5. Když se řekne náboj. *Střelectví.cz* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <http://magazin.strelectvi.cz/kdyz-se-rekne-naboj/>
6. Technical Datasheet C26000. Aurubis [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.aurubis.com/binaries/content/assets/aurubisrelaunch/files/datenblatter/cuzn30/c26000-cuzn30-us.pdf>
7. Galvanické zinkování. Sofiko [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <http://www.sofiko.cz/index.php?view=cinnost>
8. LIDMILA, Zdeněk, Jan LUKEŠ a Emil SVOBODA. *Strojírenská technologie II: Technologie ve výrobě zbraní a munice*. 1. vyd. Brno: VA, 1999, 159s.
9. Technologie tažení. Technická univerzita Liberec [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/09.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm)
10. Protlačování. MLgeardesigns [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1504/protlacovani>
11. TECHNOLOGIE TAŽENÍ NEŽELEZNÝCH MATERIÁLŮ [online]. Brno, 2009 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16920](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16920).  
Bakalářská práce. VUT.

12. Technologie tváření [online]. Plzeň, 2014 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://old.zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/TechnologietvareniTTSS.pdf>

Ukončit editaci

13. Protlačování [online]. In: . Praha, 2016 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: [https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/9817/mod\\_resource/content/0/5.%20Protla%C4%8Dov%C3%A1n%C3%AD.pdf](https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/9817/mod_resource/content/0/5.%20Protla%C4%8Dov%C3%A1n%C3%AD.pdf)
14. VÝROBA POUZDRA PROTLAČOVÁNÍM ZA STUDENA [online]. Brno, 2009 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=17940](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17940). Bakalářská práce. VUT.
15. PERNIS, Rudolf. Teória a technológia výroby kalíškov. Fakulta špeciálnej techniky TU AD Trenčín, 2009. ISBN 978-80-8075-410-5.
16. Fosfátování. Galva [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.galva.cz/fosfatovani/>
17. Vliv tváření na mechanické vlastnosti materiálu [online]. Brno, 2009 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://adoc.tips/mendelova-zemdlaska-a-lesnicka-univerzita-v-brn-agronomicka-f291f714bbb2e0c207a4ab73244f9e88d95471.html>. Diplomová práce. Mendelova univerzita.
18. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metallurgy. 3rd ed. Cambridge University Press. 365 s., 2007. ISBN 987-0-521-88121-0
19. MARCINIAK, Zdislaw, J.L. DUNCAN a S.J. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 07-506-5300-00.
20. Technologie [online]. Opava, 2007 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>
21. TIŠNOVSKÝ, M. a L. MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. Brno: Nakladatelství technické literatury, 1990, 196 s. ISBN 80-03-00221-4.

22. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství Cerm, s.r.o, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9
23. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. Brno : Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
24. MAŇAS, Stanislav. VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ: Část: TVÁŘECÍ STROJE [online]. Praha: ČVUT v Praze, 2007 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1999676-Vyrobni-stroje-a-zarizeni.html>
25. NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření a slévání – Teoretický základ, Tažení složitých výtahů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2002, 27 s.
26. Základy stavby výrobních strojů Tvářecí stroje [online]. In: . [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/11466963-Zaklady-stavby-vyrobnich-stroju-tvareci-stroje-i-rozdeleni-tvarecich-stroju.html>
27. KONVIČNÝ, Denis. VÝROBA SOUČÁSTI TECHNOLOGII TAŽENÍ [online]. Brno, 2018 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=173155](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=173155). Bakalářská práce. VUT.
28. VEČEŘA, Jiří. VÝROBA UNÁŠECÍHO ČEPU OBJEMOVÝM TVÁŘENÍM [online]. Brno, 2013 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30308412.pdf>
29. CITACE PRO [online]. b.r. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
$a$	Přídavek	[-]
$CN$	Celkové náklady	[Kč]
$C_E$	Cena energie	[Kč/kWh]
$C_{kus}$	Cena kusu při určitém zisku	[Kč]
$C_{materiál}$	Cena materiálu	[Kč/kg]
$CN_{výl}$	Celkové náklady na jeden výlisek	[Kč]
$D$	Průměr	[mm]
$D_0$	Průměr	[mm]
$D_1$	Průměr	[mm]
$D_2$	Průměr	[mm]
$D_A$	Průměr	[mm]
$D_B$	Průměr	[mm]
$D_{nob}$	Průměr pláště nábojnice	[mm]
$\Delta D_{nob}$	Dovolená úchylka průměru	[mm]
$d$	Průměr	[mm]
$d'$	Průměr	[mm]
$d_3$	Průměr	[mm]
$d_v$	Výrobní dávka	[ks]
$d_n^B$	Průměr tažníku	[mm]
$d_n^H$	Průměr tažníku	[mm]
$F_1$	Tvářecí síla	[kN]
$F_2$	Tvářecí síla	[kN]
$F_c$	Celková síla	[kN]
$F_T$	Tažná síla	[kN]
$F_{pěch}$	Pěchovací síla	[kN]
$F_{protl.}$	Protlačovací síla	[kN]
$h$	Výška	[mm]
$h_0$	Původní výška	[mm]
$K_s$	Stupeň ztenčení	[-]
$M_t$	Hodinová mzda	[Kč/hod]
$\delta M$	Pružné deformace tažnice	[-]
$m_s$	Součinitel tažení	[-]
$NN$	Nepřímé náklady	[Kč]
$N_{celkové}$	Náklady celkové	[Kč]
$N_{energie}$	Náklady na energii	[Kč]
$N_{materiál}$	Náklady na materiál	[Kč]
$N_{pr}$	Náklady přímé	[Kč]
$P$	Příkon	[kW]
$P_o$	Přídavek objemu na obrábění	[mm <sup>3</sup> ]
$P_{o1}$	Přídavek objemu na obrábění	[mm <sup>3</sup> ]
$P_{o2}$	Přídavek objemu na obrábění	[mm <sup>3</sup> ]
$P_v$	Přídavek objemu na výšku	[mm <sup>3</sup> ]
$R$	Poloměr zaoblení	[mm]
$R_1$	Poloměr zaoblení	[mm]
$R_2$	Poloměr zaoblení	[mm]
$RB$	Rovnovážný bod	[-]

$Re$	Pevnost materiálu	[MPa]
$Rm$	Mez pevnosti materiálu	[MPa]
$r$	Rentabilita	[%]
$S_0$	Půdorysná plocha kalíšku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_d$	Činná plocha průtlačníku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_n$	Plocha příčného průřezu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_p$	Plocha příčného průřezu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{M1}$	Nákladny na 1 kus	[Kč]
$S_{n-1}$	Plocha příčného průřezu	[mm <sup>2</sup> ]
$s$	Tloušťka stěny	[mm]
$T_0$	Původní tloušťka stěny	[mm]
$T_1$	Tloušťka stěny po ztenčení	[mm]
$T^B$	Nominální hodnota tloušťky	[mm]
$T^H$	Nominální hodnota tloušťky	[mm]
$\Delta T_t$	Hodnota zvětšení průměru tažníku	[mm]
$T_n^B$	Tloušťky stěn	[mm]
$T_n^H$	Tloušťky stěn	[mm]
$t$	Výrobní čas	[h]
$t_A$	Čas potřebný k výrobě 1 kusu	[min]
$t_B$	Přípravný čas pro 1 kus	[min]
$V$	Objem	[mm <sup>3</sup> ]
$VN$	Variabilní náklady	[Kč]
$VR$	Výrobní režie	[%]
$V_{kon}$	Konečný objem polotovaru	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{náb}$	Objem hotové nábojnice	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{osazení}$	Objem osazení	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{pol}$	Objem polotovaru	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{pracovní}$	Objem	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{úkosu}$	Objem úkosu	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{zaobl}$	Objem zaoblení	[mm <sup>3</sup> ]
$VN_{výl}$	Variabilní náklady na jeden výlisek	[Kč]
$Z$	Zisk	[Kč]
$Z_{kus}$	Zisk na jednom kuse	[Kč]
$\alpha$	Úhel	[°]
$\Gamma_1$	Plocha diskontinuity	[-]
$\Gamma_2$	Plocha diskontinuity	[-]
$\Gamma_3$	Plocha diskontinuity	[-]
$\Delta$	Výrobní tolerance	[-]
$\delta$	Pružné deformace výtažku	[-]
$\varepsilon$	Poměrná deformace	[-]
$\mu$	Koeficient tření	[-]
$\eta$	Využití	[-]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\rho$	Dovolená excentricita výtažku	[-]



$\sigma_1$	Tahové napětí	[MPa]
$\sigma_2$	Tahové napětí	[MPa]
$\sigma_3$	Tahové napětí	[MPa]
$\sigma_d$	Velikost skutečného def. odporu	[MPa]
$\sigma_p$	Přirozený přetvárný odpor materiálu	[MPa]
$\sigma_{ps}$	Pevnost zpevněného materiálu	[MPa]
$\sigma_v$	Výsledné napětí	[MPa]
$\tau$	Smykové napětí	[MPa]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Výlisky zhotovené technologií tažení [2], [3], [4].....	9
Obr. 2 3D model řešené nábojnice .....	10
Obr. 3 Řez nábojnicí .....	10
Obr. 4 Kovotlačení[7] .....	11
Obr. 5 Schéma zpětného protlačování [13] .....	12
Obr. 6 Schéma tažení s přidržovačem a bez přidržovače [9].....	12
Obr. 7 Postupné schéma výroby polotovaru nábojnice .....	13
Obr. 8 Náskres pýchování .....	14
Obr. 9 Zpětné protlačování .....	14
Obr. 10 Počáteční fáze protlačování [1] .....	15
Obr. 11 Konečná fáze protlačování [1].....	15
Obr. 12 Parametry pro výpočet protlačovacího odporu [1] .....	16
Obr. 13 Součásti s fosfátovaným povrchem [16] .....	18
Obr. 14 Průtlačník .....	18
Obr. 15 Upnutí průtlačníku .....	19
Obr. 16 Průtlačník s konstrukčními vztahy [8].....	19
Obr. 17 Průtlačnice [1].....	19
Obr. 18 Průtlačnice s kótami [8].....	20
Obr. 19 Vyhazovač .....	20
Obr. 20 Stírač .....	20
Obr. 21 TPZK 25 [18].....	21
Obr. 22 Napětí v taženém materiálu [8] .....	21
Obr. 23 Tažení se ztenčením stěny [8] .....	22
Obr. 24 Příklad změny tvaru výtažku při tažení se ztenčením stěny .....	23
Obr. 25 Řez tažného nástroje [21] .....	24
Obr. 26 Příklady řešení jednotlivých odvodušnění [22] .....	25
Obr. 27 Možné tvary tažnice [23] .....	25
Obr. 28 Několikanásobná tažnice [1] .....	26
Obr. 29 Tažník a tažnice pro poslední operaci .....	27
Obr. 30 Mechanický lis [26] .....	28
Obr. 31 Hydraulický lis [27].....	28
Obr. 32 Řešená nábojnice .....	29
Obr. 33 Přídavek na zarovnání ústí .....	29
Obr. 34 Přídavky na obrábění .....	30
Obr. 35 Vnější zaoblení R1 .....	32
Obr. 36 Vnitřní zaoblení R2 .....	32
Obr. 37 Tvar protlačeného kalíšku .....	32
Obr. 38 Náskres osazení včetně rozměrů .....	32
Obr. 39 Tvar kalibrovaného špalíku .....	33
Obr. 40 Ústřížek drátu .....	33
Obr. 41 Průtlačník se skutečnými kótami .....	34
Obr. 42 Průtlačnice se skutečnými kótami .....	34
Obr. 43 Tažnice včetně výrobních rozměrů .....	35
Obr. 44 Tažník s výrobními rozměry .....	36
Obr. 45 Graf nákladů a výnosů a rovnovážný bod .....	41

## **SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení mosazi CuZn30[6] .....	11
Tab. 2 Dosažitelná velikost deformace při protlačování ocelí [8] .....	17
Tab. 3 Hodnoty poměrné deformace a stupně ztenčení pro 1.tah a další tahy [8].....	23
Tab. 4 Parametry postupového automatu TPZK 25 [28].....	38

## **SEZNAM VÝKRESŮ**

Nábojnice	BP-01-196807
Průtlačník	BP-02-196807
Průtlačnice	BP-03-196807
Tažník	BP-04-196807
Tažnice	BP-05-196807