



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## NÁVRH VÝROBY DŘEZU

DESIGN PRODUCTION OF SINK

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Oldřich Pecha

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2017

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Oldřich Pecha**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**  
Akademický rok: 2016/17

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:

## Návrh výroby dřezu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o výrobu kruhového kuchyňského dřezu s prolisy. Součástka je válcového tvaru s přírubou a otvorem z oceli 1.4301 (17 240; AISI 304). Vyráběna bude technologií tažení bez ztenčení stěny s využitím konvenčního nástroje. Na tuto problematiku bude také zaměřena aktuální literární studie.

### Cíle diplomové práce:

- zhodnotit technologičnost dřezu,
- 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:

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

FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.

SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. Speciální technologie tváření. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010-2011, 2 sv. (134, 155 s.). ISBN 978-80-214- 4406-52.

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.

MARCINIAK, Zdzislaw, John L. DUNCAN a Jack S. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

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.

TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.

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.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

PECHA Oldřich: Návrh výroby dřezu.

---

Práce předkládá návrh technologie na výrobu kruhového dřezu z korozivzdorné austenitické oceli 1.4301 (X5CrNi 18-10) o velikosti série 20 000 ks/rok. Z variantního řešení byla pro výrobu zvolena technologie konvenčního tažení bez ztenčení stěny a jako výrobní stroj byl využit hydraulický lis YL32 – 400, který má jmenovitou tažnou sílu 400 kN. Byl navržen nástroj s přidržovačem, ke kterému byla zpracována výkresová dokumentace. Pro ověření správnosti návrhu a realizovatelnosti výroby byla provedena simulace tažení, ze které bylo zjištěno, že zadaná součást lze vyrobit. Bylo provedeno technicko – ekonomické zhodnocení, při kterém byla stanovena výrobní cena jednoho dřezu 555 Kč. Po vyrobení 7 447 kusů začne být výroba zisková.

Klíčová slova: ocel 1.4301, dřez, hluboké tažení, tváření, tažný nástroj

## **ABSTRACT**

PECHA Oldřich: Design sink production.

---

Thesis submits concept of the sink fabrication technology where circular sink is made from rustproof austenitic steel 1.4301 (X5CrNi 18-10) using technology of conventional deep drawing without reducing wall's thickness. Hydraulic press YL32 - 400 with nominal force 400 kN has been chosen as the production machine. Drawing tool with holder was designed to be used for this technology and its drawing documentation had been enclosed in this thesis. Size of the production series was set for 20 000 products annually. Control simulation of the drawing process has proven that designed component can be made and that computations are correct. Economic and technological estimation was performed which resulted in price being set for 555 czech crowns per piece. After manufacturing first 7 447 products the manufacturing process will become economically profitable.

Keywords: 1.4301 steel, sink, deep drawing, forming, deep drawing tool

### **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

PECHA, Oldřich. *Návrh výroby dřezu*. Brno, 2017. 60s, 9 výkresů, 2 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

### **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V ..... dne 26.5.2017

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. V neposlední řadě také děkuji svojí rodině za podporu během celé doby studia.

## **OBSAH**

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ</b> .....	10
<b>1.1 Varianty výroby</b> .....	11
<b>2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ</b> .....	14
<b>2.1 Velikost přístřihu</b> .....	15
<b>2.2 Počet tažných operací</b> .....	17
<b>2.3 Tažná vůle</b> .....	18
<b>2.4 Volba přídržovače</b> .....	19
<b>2.5 Tažná síla a práce</b> .....	20
<b>2.6 Konstrukce nástroje</b> .....	21
2.6.1 Tažníky.....	22
2.6.2 Tažnice .....	23
2.6.3 Přídržovač .....	25
2.6.4 Brzdná žebra.....	25
<b>2.7 Stroje</b> .....	26
<b>2.8 Maziva v procesu tažení</b> .....	28
<b>2.9 Technologičnost</b> .....	30
<b>3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI</b> .....	31
<b>3.1 Výpočet průměru přístřihu</b> .....	31
<b>3.2 Stanovení počtu tažných operací</b> .....	34
<b>3.3 Varianty rozložení výstřížků</b> .....	35
<b>3.4 Technologické výpočty</b> .....	39
<b>3.5 Návrh tažného nástroje</b> .....	42
<b>3.6 Volba stroje</b> .....	46
<b>3.7 Simulace tažení</b> .....	47
<b>4 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ</b> .....	53
<b>5 ZÁVĚRY</b> .....	60

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

## ÚVOD [9], [12], [17], [18], [24]

Pro výrobu součástí je možné využít mnoha postupů, přičemž mezi nejvíce zastoupené metody patří obrábění, tváření, svařování a odlévání. Technologie tváření se velice významně podílí na celosvětové produkci výrobků v mnoha odvětvích strojírenství a využívá se například pro výrobu součástí v leteckém, automobilním a vojenském průmyslu. Produktivita je vysoká a jeho historie sahá až do doby bronzové. Vzrůstající požadavky na kvalitu, materiál a tvar značně komplikují výrobu, proto je potřeba neustále zlepšovat výrobní podmínky a postupy.

Vzhledem k neustálému vývoji a pokroku je důležité, aby byly aplikovány nejnovější poznatky z dané oblasti, které vedou k zefektivnění výroby a snížení výrobní ceny součástí. Důležité faktory, jako je výrobní čas, spotřeba materiálu, energie a cena, ovlivňují volbu optimální metody.

Tvářecí technologie se dělí na 2 hlavní odvětví a ve výrobním průmyslu je nejvýznamněji zastoupené objemové a plošné tváření, které se podle teploty dále dělí na tváření za studena a za tepla. Výhodou je vysoké využití materiálu, kdy odpad tvoří 5 až 10 %, vysoká produktivita a velmi dobrá rozměrová přesnost výrobků. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena nástrojů. Jednou ze základních a hojně využívaných metod je hluboké tažení. Příklady součástí vyrobených tažením jsou uvedeny na obr. 1.



Obr. 1 Příklady součástí vyrobené tažením [9] [17] [18]

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ [22], [24], [25]

Vyráběná součást je dřez (obr. 2), který je hojně využíván v každé domácnosti. Jedná se o kruhovou variantu s prolisy. Dřezy se využívají samostatně osazené ve zdi nebo vestavěné do kuchyňské linky. Výběr tvaru a materiálu ovlivňuje estetický vzhled a praktické využití, přičemž nároky na design se neustále stupňují. Přívod teplé a studené vody je zajištěn pomocí směšovacích baterií, které mohou být součástí dřezu, nebo samostatně.

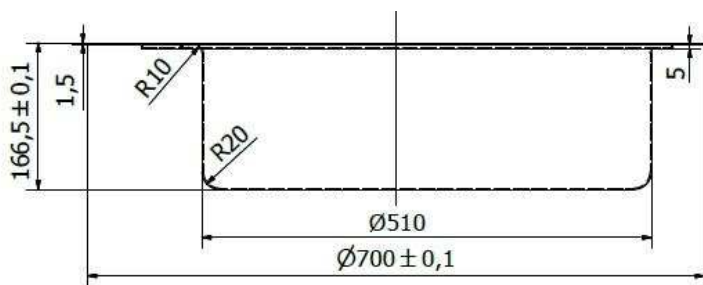
Na obrázku 2 je znázorněn tvar vyráběné součásti. Základní rozměry jsou zobrazeny na obrázku 3 a obrázku 4 a výrobní návrh je na obrázku 5. Tloušťka použitého plechu je 1,5 mm. Vnější průměr příruby je 700 mm a hloubka dřezu je 166,5 mm. Prolis je zhotoven v oblasti příruby a slouží jako odkapávač vody.

Požadavek na drsnost povrchu byl stanoven na  $R_a = 0,8$ . Zaoblení v místě přechodu stěny dřezu do dna je 20 mm a při přechodu ze stěny výtažku do příruby je 10 mm. Příruba je mírně posunutá oproti hlavní ose dřezu. Ve dně výtažku je zhotovena díra s lemem o průměru 80 mm, ke které se bude připojovat odtokové ústrojí. Díra v přírubě o průměru 40 mm slouží pro připojení vodovodní baterie na teplou a studenou vodu.

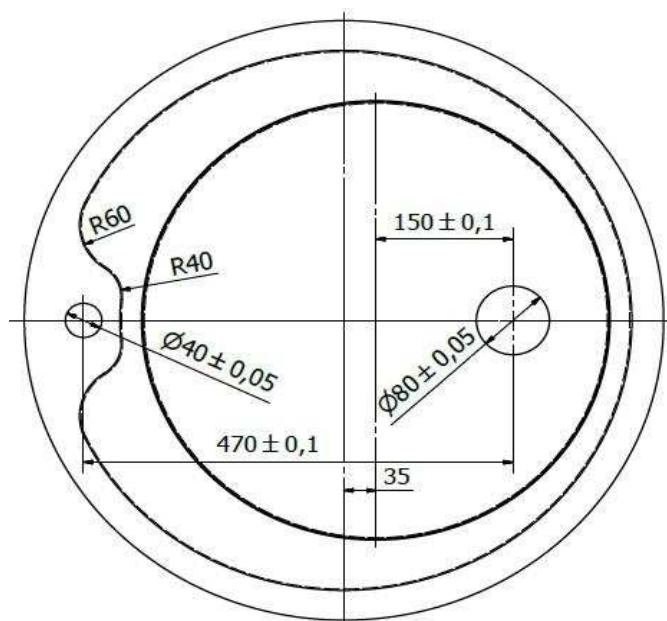
Rozměrové nároky na dřez nejsou příliš vysoké, protože dřez bude zasazen do kuchyňské linky, kde okraj příruby nepůjde vidět. Pro zlepšení kvality povrchu a jeho hezčí vzhled bude výrobní operace obsahovat broušení a poté leštění, po kterém dostane povrch lesklý vzhled.



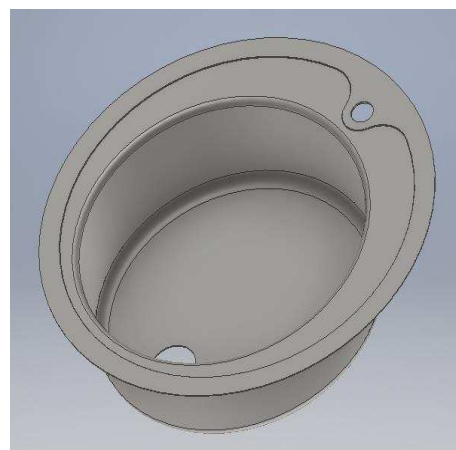
Obr. 2 Nerezový dřez [25]



Obr. 3 Základní rozměry součásti



Obr. 4 Rozměry dřezu



Obr. 5 Návrh dřezu

Materiály, které se v dnešní době používají pro výrobu dřezů, určují jejich cenu, estetický vzhled a životnost. Většina dřezů se vyrábí z nerezové oceli, granitu, keramiky nebo kompozitu. Vyráběná součást musí odolávat vodní korozi. Tyto požadavky splňuje nerezová ocel. S přihlédnutím k ceně součásti a požadavkům byla pro výrobu zvolena nerezová austenitická chrom-niklová ocel ČSN 10088-1 1.4301 (X5CrNi 18-10). Staré označení této oceli je AISI 304, 17240, AKV7. Tato ocel je velmi lehká a houževnatá a její chemické složení je uvedené v tabulce 1. Chrom-niklové oceli jsou jedny z nejvíce rozšířených a univerzálních materiálů. Jejich výhodné vlastnosti nacházejí využití v nejrůznějších odvětvích výrobního průmyslu. Žihací teplota je 1000–1100 °C. Vyznačují se dobrou svařitelností a tvařitelností, odolností proti korozi ve vodě, slabým kyselinám a dalším, proto u tohoto materiálu nejsou potřeba žádné další povrchové úpravy. Materiál je náchylný na poškrábání a odření, což způsobuje snižování korozní odolnosti. Mechanické vlastnosti jsou uvedené v tabulce 2. Největší využití nachází ve vodárenském, zemědělském, gastronomickém a farmaceutickém průmyslu. Mnohdy je také nazývána jako „potravinářská“ ocel, která se používá pro výrobu dřezů, výlevek, pánví, pružin, šroubů a matic a její odolnost vůči korozi lze mírně zvýšit leštěním.

Tabulka 1 Chemické složení nerezové oceli [1]

C [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Mn	P	N [%]
≤0,03	17,50-19,00	<0,80	8,00-10,50	≤2,00	≤0,04	≤0,11

Tabulka 2 Mechanické vlastnosti [14]

Rm [MPa]	A [%]	Rp <sub>0,2</sub> [MPa]		Odolnost proti mezikystalové korozi ve stavu		Tvrdość [HB]
		Podélně	Napříč	Dodaném	Svařovaném	
540-750	45	230	260	Ano	Ne	215

### 1.1 Varianty výroby [2], [5], [16], [22], [25], [31]

Možností, jak vyrobit zadanou součást je mnoho. Úkolem je zhodnotit a vybrat metodu, která bude pro výrobu zadané součásti nejlepší. Dřez bude vyráběn v sérii 20 000 ks/rok. Je nutné zohlednit ekonomické hledisko, výrobní časy a nároky na přesnost a kvalitu vyráběné součásti. Pro výrobu zadané součásti bude nutné zohlednit typ polotovaru, ze kterého se bude dřez vyrábět. Jako nejvýhodnější se jeví vyrábět přístřih z tabule nebo svítku plechu. Pro výrobu polotovaru bylo možno vybírat mezi konvenčním stříháním, vysekáváním, řezáním plazmou, vodním paprskem, laserem a kotoučovými nůžkami.

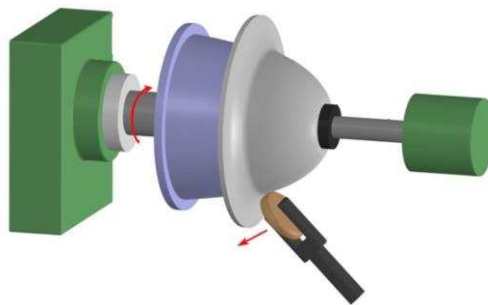
Výroba konvenčního nástroje pro stříhání by byla ekonomicky příliš náročná, proto bude nejprve vyroben čtverec plechu, ze kterého bude následně vyroben přístřih na kotoučových nůžkách. Při výrobě zadané součásti stačí přesnost IT 12 až 14.



Obr. 6 Kotoučové nůžky [31]

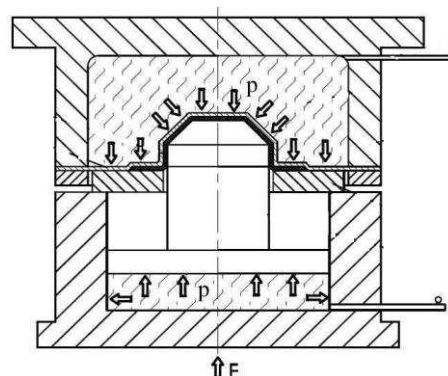
V další operaci bude potřeba vyrobit přesný tvar, u kterého bude zaručena požadovaná přesnost a kvalita. Součást lze vyrobit více způsoby, které jsou potřeba pečlivě zvážit vzhledem k velikosti série a ekonomické stránce metody. Dřez lze vyrobit tvářením bez ztenčení a se ztenčením stěny. Vzhledem k požadavkům konstruktéra je tvářením se ztenčením stěny nevhodné, proto budou zvažovány varianty výroby tvářením bez ztenčení stěny:

- Kovotlačení (obr. 9) - je metoda, kdy se polotovary kruhového průřezu připevní pomocí svěráku a koníku k rotující tvárnici. Tato tvárnice je upevněná do vřeten, které je upevněno do vřeteníku. Za pomoci nástroje je polotovar postupně přitlačován na tvárnici, kde se postupně tvaruje výsledný polotovar. K přeměně polotovaru dochází pouze v místě styku s tlačným nástrojem. Vzhledem k vysokému výrobnímu času a velikosti série není kovotlačení vhodné pro sériovou výrobu. Danou technologií nelze dosáhnout požadované drsnosti a prolisů na zadané součásti.



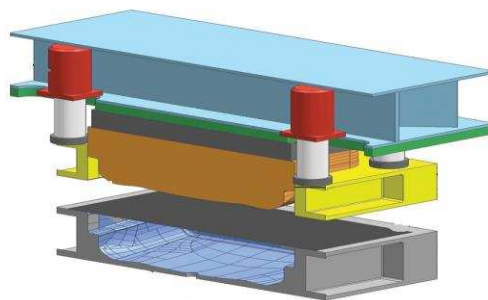
Obr. 7 Kovotlačení [5]

- Tvářením kapalinou – metoda využívá k tvářením polotovaru tlaku kapaliny. Nástroj je zobrazen na obrázku 8. Kapalina je pomocí pryžové membrány držena pod tlakem v tvárnici. Tlak se reguluje pomocí ventilu. Tato metoda se také nazývá jako Hydroform a používá tzv. pasivní tlakování, kde se pomocí pumpy tlakuje kapalina uvnitř tvárnice. Polotovar je pomocí hydrostatického tlaku a tažníku vytvarován do požadovaného tvaru. Velikou výhodou je nízký koeficient tření. Pro výrobu zadané součásti je tato metoda vhodná, ale nástroj má příliš vysoké pořizovací náklady. Tímto způsobem mohou být taženy plechy od tloušťky 0,2 mm do 10 mm.



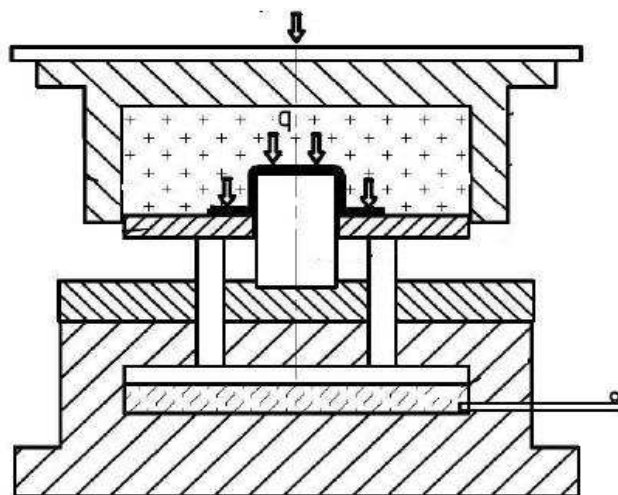
Obr. 8 Tvářením kapalinou [22]

- Hydromechanické tvářením (obr. 9) – v tomto případě se tažnice nahrazuje kapalinou. Po uzavření hydromechanického nástroje slouží plech jako uzavírací a slouží jako těsnění kapaliny pod přístřihem. Polotovar je sevřený mezi přidržovačem a tažnicí. Tažník je vtlačován do plechu, přičemž hydrostatický tlak kapaliny, který je řízený ventilem, působí proti pohybu tažníku a natlačuje tak materiál na tažník. Výhodou této metody je dosažení větších stupňů přetvoření. Oproti hlubokému tažení potřebuje menší počet tažných operací. Konstrukce nástroje bývá složitá a finančně náročná. Hydromechanické tvářením je vhodné pro tvarování velkých dílců bez zvlnění.



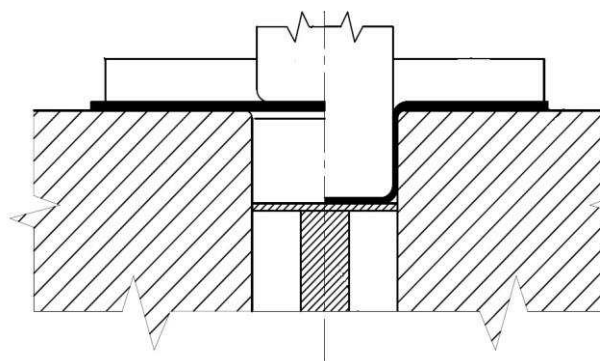
Obr. 9 Hydromechanického tažení [2]

- Tváření elastomerem (obr. 10) - kombinuje způsob tažení pryží a běžné tažení. Zatlacením tažníku přes tvářený plech do pryžového polštáře, který je uložený v pevné ocelové skříni, se dosáhne požadovaného tvaru výtažku. Marform je vhodný pro hluboké tahy, které jsou umožněny díky tažnicí. Jednoduchost nástroje umožňuje použití v kusové a malosériové výrobě pro ocelové i nezelezné výtažky. Tento způsob výroby součástí je vzhledem ke svým výhodám nejpoužívanější technologie tváření pryží. Tváření pryží není vhodná technologie pro výrobu zadané součásti vzhledem k velikosti série. Výhodou je výrobní cena nástroje, která je až 10x menší než u konvenčních nástrojů. Pryž nezanechává na povrchu žádné stopy, avšak je nutné použít vyšší tvářecí sílu.



Obr. 10 Metoda Marform [22]

- Technologie tažení (obr. 11) - metoda, při které dochází k tvárné deformaci materiálu a jeho přesouvání. Pomocí tažného nástroje se z rovinného přístříhu vyrábí dutá součást. Pomocí tažníku a tažnice je vyroben výsledný polotovár v jedné nebo více tažných operacích. Polotovarem je plochý přístříh, který je tažníkem vtahován přes tažnou hranu do tažnice. Pro vyjmutí výrobku z nástroje se používá vyhazovač. V některých případech výtažek propadáva tažnicí. Při tažení plechu s většími jmenovitými tloušťkami se využívá přidržovač, aby nedošlo ke zvlnění příruby. Výhodou konvenčního tažení je vysoká produktivita a rychlost. Tato metoda je využívána ve velkosériových výrobách z důvodu vysokých nákladů na výrobu nástroje.



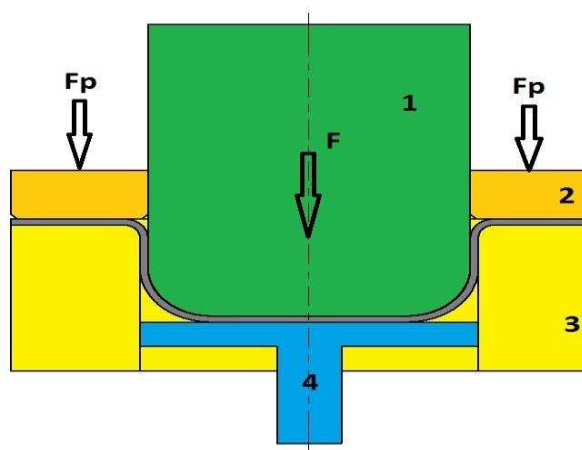
Obr. 11 Technologie tažení [22]

Pro výrobu zadané součásti byla z ekonomických důvodů a s přihlédnutím k velikosti série vybrána metoda tažení konvenčním nástrojem, která nejlépe dodrží požadované nároky na výrobu součásti, jako je geometrická přesnost nebo drsnost povrchu. Na tuto zvolenou metodu bude zaměřen zbytek této práce.

## 2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [10], [12], [22], [29]

Technologie, při které dochází k tvárné deformaci materiálu a jeho přesouvání, se nazývá tažení. Pomocí nástroje se z rovinného přístřihu vyrábí dutá součást. Součásti mohou být nejrůznějších tvarů (rotační, nerotační, hluboké, mělké, hranaté a další nepravidelné součásti).

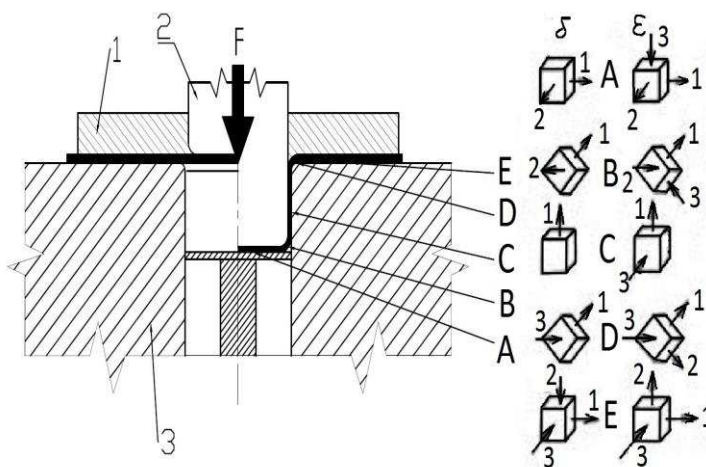
Na obrázku 13 je vidět schéma tažného nástroje. Rovinný polotovar '5' je pomocí tažníku '1' vtahován do dutiny tažnice '3', čímž dochází ke tvarování přístřihu do výsledného požadovaného tvaru. Při hlubokém tažení a při tažení větší tloušťky plechu hrozí zvlnění příruby, proto se používá pro zamezení tohoto rizika přidržovač '2'. V případě, kdy nedochází k propadávání výtažku skrz dutinu tažnice, se do tažného zařízení instaluje vyhazovač '4', který slouží ke snadnějšímu vyjímání součásti z tažného nástroje. V případě ulpívání vyrobené součásti na tažníku z důvodu vysokého tření se používají stěrače, které slouží k setření výtažku z tažníku.



Obr. 12 Schéma technologie tažení [29]

Při hlubokém tažení vznikají v materiálu plastické deformace, díky kterým dochází ke zpevnění materiálu a tím může dojít k nepatrným změnám tloušťky materiálu. Zpevnění je v různých místech odlišné. V rozích výtažku vzniká veliké pnutí, proto zde dochází k zeslabování tloušťky stěny a na okrajích dochází k jeho nahromadění. V závislosti na stupni tažení se tloušťka materiálu v oblasti příruby zvětšuje o 20 až 30 %. V místech prostorového ohybu u dna výtažku se tloušťka stěny zeslabuje. Vzhledem k tloušťce materiálu jsou tyto změny, které jsou způsobené rozdílnou napjatostí, zanedbatelné. Z tohoto důvodu se ve většině výpočtů neuvažují. Při hlubokém tažení se dosahuje přesnosti IT 11 – 12. Výhodou konvenčního tažení je vysoká produktivita a rychlost. Tato metoda je využívána ve velkosériových výrobních z důvodu vysokých nákladů na výrobu nástroje.

Na obrázku 13 je vidět, že se v různých místech mění velikosti i směry napjatostí a deformací. Dno výtažku je (oblast 'A') je namáháno rovinnou napjatostí a dochází zde k prostorovému stavu deformace. Oblast 'B', kde přechází dno do stěny válcové součásti, je charakteristické nestejnou napjatostí, která způsobuje prodloužení a tím se zeslabuje dno výtažku. Jednoosá tahová napjatost a prostorový stav deformace vzniká v oblasti 'C'. V oblasti 'D', kde přechází stěna výtažku v přírubu, dochází prostorovému stavu napjatosti, které se projevuje vysokým radiálním tahovým napětím a malým tangenciálním tlakovým napětím. Vlivem tlaku, který je způsoben přidržovačem, vzniká v oblasti příruby 'E' prostorová napjatost.

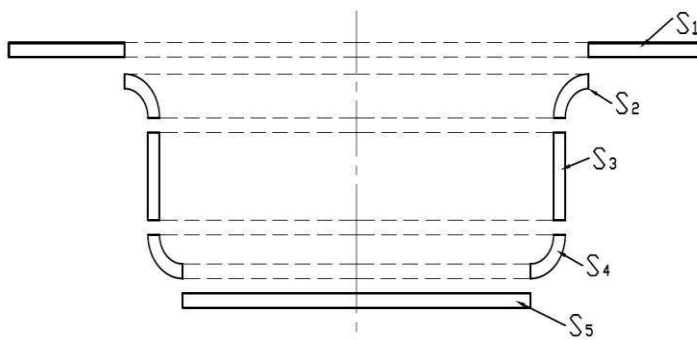


Obr. 13 Schéma napjatostí a deformací [12]

## 2.1 Velikost přístřihu [6], [16], [22]

Při stanovování rozměru přístřihu není nutné přesně počítat velikost, proto se v některých případech mohou zanedbat zaoblení v rozích výtažku a tím tak zjednodušit výpočet. Při stanovování rozměru se při větších tloušťkách plechu bere střední rozměr tloušťky a u tenkých plechů se bere vnější. Během výrobního procesu dochází ke vzniku strukturálních nerovností a ke změnám tloušťky tvářeného materiálu a okraje výrobku bývají obvykle nerovné a různě deformované. Při tvářecích operacích vznikají na součásti nerovnosti, které je nutno zohlednit. Pro zohlednění cípatosti výchozího polotovaru je nutné k velikosti základního polotovaru přičíst 3 % teoreticky vypočteného rozměru pro jednooperační tažení a pro každou další operaci je nutné přičíst další 1 %. Rozměr přístřihu u vyráběných součástí se dá vypočíst různými variantami:

- Zákon zachování objemu – jedna z nejpoužívanějších metod zjišťování průměru přístřihu. Pomocí vnějšího průměru vyráběné součásti a za využití rovnosti velikosti objemu před a po tvářecí operaci, lze vypočítat průměr polotovaru. Za předpokladu, že se tloušťka plechu nemění, se přechází na zákon zachování ploch. Spočívá v rozdělení výtažku na jednoduché úseky (obr. 14), u kterých se následně spočítá velikost ploch a následně se sečtou. Tato metoda nachází využití u jednoduchých i složitějších výtažků rotačních tvarů. Pro základní tvary byly tyto vzorce odvozené. V případech, kdy velikost zaoblení nepřesáhne osminásobek tloušťky taženého materiálu, se zaoblení v numerických výpočtech může zanedbat. Pro výpočet průměru pro válcovité nádoby se používají tyto vzorce:



Obr. 14 Rozdělení výtažku [22]

$$D_v = \sqrt{D^2 + 4 \cdot d_2(0,57 \cdot r + h_1) - 0,56 \cdot r^2} \quad (2.1)$$

kde:  $d$  – průměr výtažku [mm]

$h_1$  – výška výtažku [mm]

$r$  – zaoblení [mm]

Výpočet průměru přístřihu pomocí celkové velikosti plochy:

$$D_v = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} = 1,13\sqrt{S_c} \quad (2.2)$$

kde:  $S_c$  – součet ploch [mm<sup>2</sup>]

- Nomogram – pro zjištění velikosti přístřihu pro kruhový polotovar se mohou použít nomogramy, viz příloha 1. K užití nomogramu je potřeba znát průměr a výšku součásti. Tato metoda se používá zejména po numerickém výpočtu a slouží jako kontrolní. Je méně přesná. Není vhodná pro složité součásti.
- Pomocí počítačového software (Inventor, Catia, SolidEdge a další), ve kterém lze jednoduše vymodelovat zadanou součást s požadovanou přesností. Tyto pokročilé systémy umožňují odečíst potřebné veličiny jako je objem, plocha, hmotnost. Tato metoda je jedna z nejpresnějších a je vhodná pro jednoduché i složité tvary výtažků.
- Grafická metoda – pro stanovení průměru přístřihu u složitějších součástí, kde nelze výtažek rozložit na jednodušší části, se s výhodou využívá Guldinovy věty (obr. 15). Délka křivek se určuje graficky nebo graficko-analyticky.

Vzorce pro určení pro grafickou metodu:

$$S_c = 2 \cdot \pi \cdot R_T \cdot L \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.3)$$

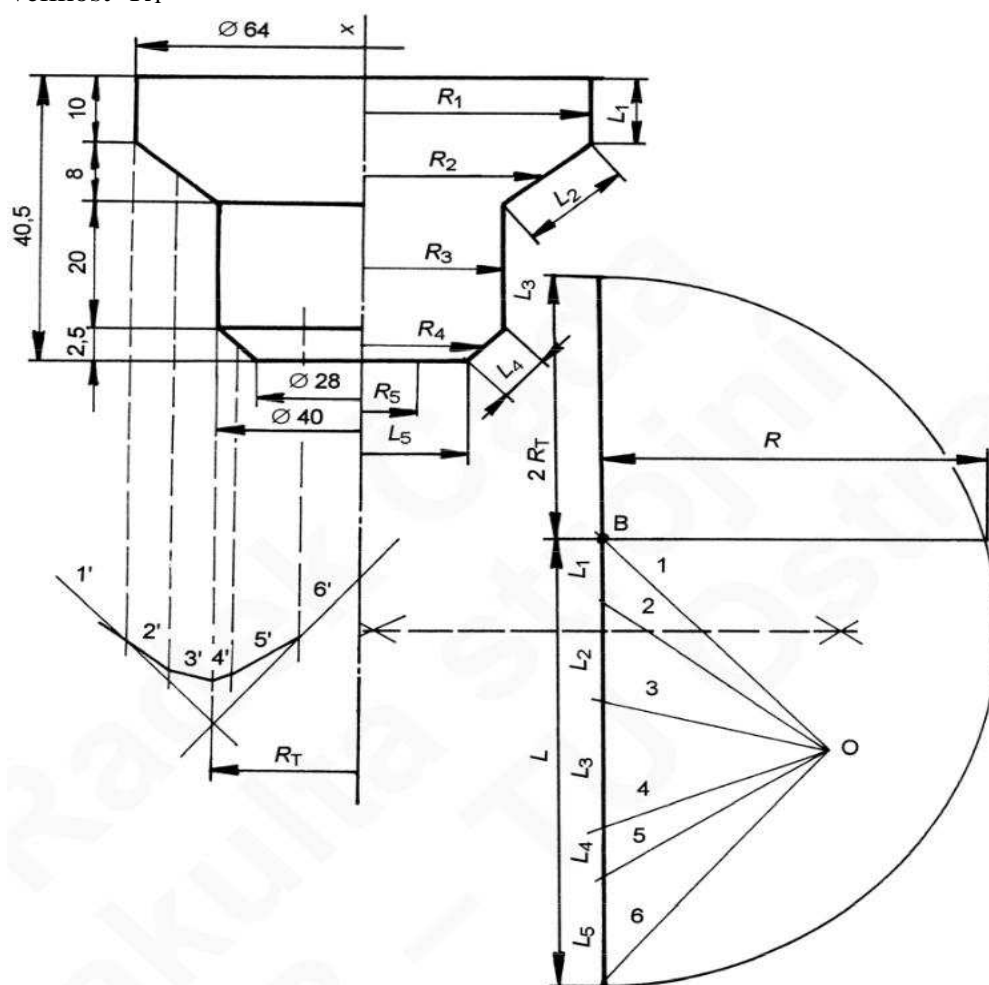
kde:  $R_T$  – Vzdálenost těžiště od osy rotace [mm]

$L$  – délka křivky [mm]

$$D_v = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} = \sqrt{8 \cdot R_T \cdot L} \text{ [mm]} \quad (2.4)$$

Popis grafické konstrukce:

- nejprve se nakreslí křivka povrchu výtažku a rozdělí se na jednotlivé části 'Li'. Poté se u těchto rozdělených segmentů najde těžiště a těmito body se vedou čáry rovnoběžné s osou x
- délky segmentů se vynesou na svislou čáru v daném pořadí a tím se sestrojí složkový obrazec úseček 'Li'. Ke koncovým bodům těchto úseček se vedou paprsky z pólu 'O', který se libovolně zvolí
- pomocí přímek rovnoběžných s pólovými paprsky se sestrojí vláknový mnohoúhelník
- poloha těžiště 'T' je určena průsečíkem krajních pólových paprsků a udává také velikost ' $R_T$ '



Obr. 15 Příklad použití Guldinovy věty [6]

## 2.2 Počet tažných operací [10], [12], [16], [22]

Počet jednotlivých tažných operací závisí zejména na tvařitelnosti materiálu. Pokud není možné v první tažné operaci vyrobit konečný tvar součásti, je potřeba zařadit víceoperační tažení, které je zobrazené na obrázku 16. Při výrobě součásti z plechu dochází ke zpevnění materiálu, který tím ztrácí na tvárnosti. Po vyčerpání tvařitelnosti je nutné zařadit rekrytalizační žíhání, které se zpravidla zařazuje po 3. tažné operaci.

V normě ČSN 22 7301 lze najít součinitele tažení pro jednotlivé tažné operace. Tyto hodnoty byly vyneseny do tabulky 3. Pro různé poloměry zaoblení tažníku a tažnice se používají různé součinitele tažení. Na obrázku 17 je vidět graf, ze kterého lze určit součinitel graficky. Tato metoda je méně přesná než výpočtová, proto slouží zejména jako orientační, popřípadě kontrolní. Velikost součinitele tažení je závislá na požadavku na kvalitu vyráběné součásti, mechanických vlastnostech a tloušťce plechu, mazivu, geometrii nástroje a druhu zvolené metody. V Německu se používá stupeň tažení K, což je převrácená hodnota součinitele tažení.

Celkový součinitel tažení:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdots m_n [-] \quad (2.5)$$

kde:  $m_i$  – součinitel tažení

Pro první tažnou operaci je součinitel tažení určen vztahem:

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} [-] \quad (2.6)$$

kde:  $m_1$  – součinitel

$d_1$  – průměr výtažku po první operaci [mm]

$D_0$  – výchozí průměr [mm]

Celkový počet tažných operací

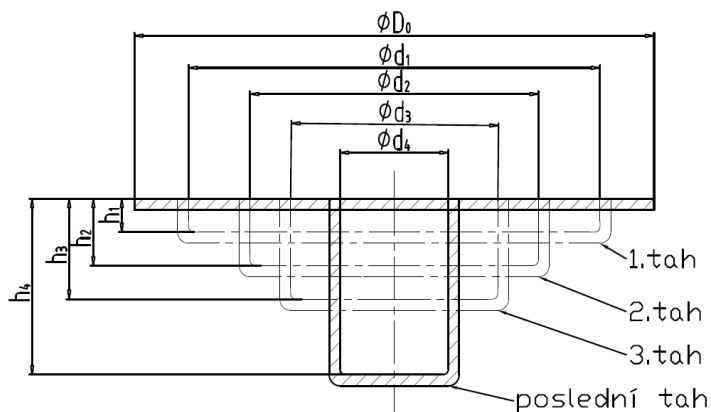
$$n = 1 + \frac{\ln d_n - \ln(m_1 \cdot D)}{\ln m'} \quad (2.7)$$

kde:  $m'$  – střední součinitel tažení [-]

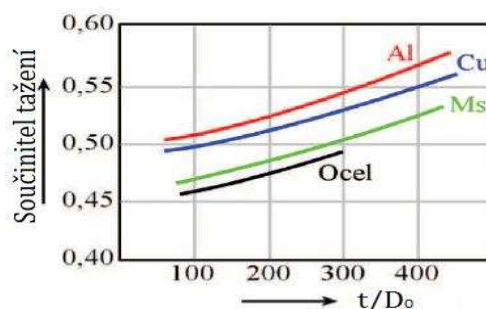
$n$  – počet tažných operací [-]

Tabulka 3 Součinitele tažení [10]

Tabulka velikostí součinitele tažení pro nerezovou ocel			
Materiál	$m_1$	$m_2$	$m_3$
Ocel	0,48-0,50	0,73-0,75	0,76-0,78



Obr. 16 Schéma tažení na více operací [12]

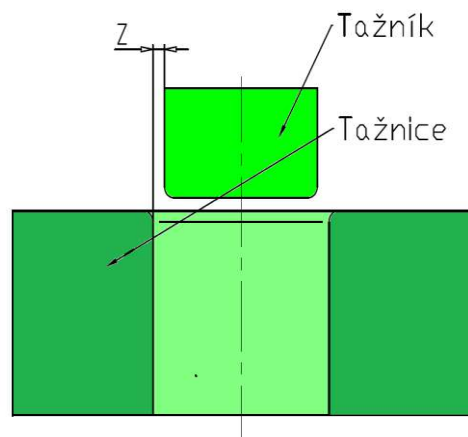


Obr. 17 Grafické stanovení součinitele tažení pro jednotlivé materiály [16]

V případě, že vyjde  $n < 1,2$  tak se předpokládá, že výtažek lze vyrobit v jedné tažné operaci. V případě, že  $n > 1,2$  se jedná o dvě nebo více tažných operací a jejich počet se určí zaokrouhlením vypočtené hodnoty na nejbližší celé číslo.

### 2.3 Tažná vůle [12], [16], [17], [21]

Je definována jako mezera mezi tažníkem a tažnicí, kterou vyplňuje v průběhu výroby součásti plechový polotovár. Její velikost je důležité vhodně zvolit. Velikost musí být taková, aby jí prošel zvolený plech. Při malé tloušťce dochází ke ztenčování stěny výtažku, což vede k nárůstu velikosti tažné síly a mohlo by dojít k utržení dna vyráběné součásti. Velká tažná vůle by naopak mohla způsobit zvlnění příruby. Volba mezery je důležitým parametrem, přičemž její velikost se volí větší, než je tloušťka plechu. Toto zvětšení by mělo kompenzovat zesílení plechu při tažení. Mezera by měla umožnit výrobu tažené součásti s přijatelným třením. Zesílení dosahuje maximální hodnoty v zaoblených částech výtažku. Při kalibraci výtažků se volí stejně veliká jako je tloušťka plechu. Velikost mezery je možné určit několika způsoby:



Obr. 18 Tažná vůle [17]

- Dle normy ČSN 22 7301

- Pro první tah

$$z = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot t \quad (2.8)$$

kde:  $z$  – tažná mezera [mm]

$t$  – tloušťka plechu [mm]

- Pro další tahy

$$z = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot t \quad (2.9)$$

- Dle Oehlera

$$z = t_{\max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot t} \quad (2.10)$$

kde:  $k$  – součinitel [mm] (součinitel se volí 0,07 pro ocel)

$t_{\max}$  – maximální tloušťka taženého materiálu [mm]

$z$  – tažná mezera [mm]

- Dle tabulky – volba tažné mezery se pro základní tloušťky volí dle tabulky 4.

Tabulka 4 Volba velikosti tažné mezery [21]

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

## 2.4 Volba přídržovače [12], [16], [22], [28]

Při tažení hlubokých součástí dochází k vytváření nerovností v přírubě součástí. Vlny se generují v důsledku vzniku plastické deformace. Vlivem působících napětí a deformací vznikají v oblasti příruby místa s rozdílnou tloušťkou stěny, která způsobují různé zpevnění materiálu. Pokud by vznikající napětí bylo vyšší, než je pevnost taženého materiálu, došlo by k utržení dna výtažku. Pro tažení součástí s malou jmenovitou výškou není nutné použít přídržovač. U součástí vyráběných na více tahů s vyšší hloubkou je nutné použít přídržovač. Přídržovač tlačí na přírubu vyráběné součásti a tím zabraňuje vzniku zvlnění. Tlak, který musí přídržovač vyvodit, nesmí být příliš velký, jinak by zabraňoval plynulému vtahování přístřihu do tažnice. V opačném případě by docházelo ke zvlnění. Velikost přídržovací síly je důležitým aspektem technologie tažení.



Obr. 19 Zvlnění příruby [28]

Materiál, ze kterého se většinou přídržovač vyrábí, je nástrojová ocel. Při tažení plechů s větší jmenovitou tloušťkou není nutné použít přídržovač. Pro menší součinitel tažení je nutné vhodně upravit funkční plochu tažnice. Při vhodné úpravě se docílí menšího součinitele tření a tím i větší deformace. Snižování součinitele tažení zlepšuje stabilitu výrobního procesu.

Kritéria volby použití přídržovače:

- o Dle normy ČSN 22 7301 se použití přídržovače určuje podle koeficientu.

$$u = 50 \cdot \left( j - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D}} \right) \quad (2.11)$$

kde:  $j$  – materiálová konstanta. Pro ocel se „ $j$ “ volí v rozsahu 1,85-1,95. [-]

Pokud „ $u$ “ splňuje podmínku:

$$u \geq \frac{100 \cdot d}{D} \quad (2.12)$$

Jedná se o tažení s přídržovačem.

Pokud „ $u$ “ splňuje podmínku:

$$u < \frac{100 \cdot d}{D} \quad (2.13)$$

Jedná se o tažení bez přídržovače

- o Šofman doporučuje užití přídržovače při splnění podmínky:

$$D - d \leq 18 \cdot t \quad (2.14)$$

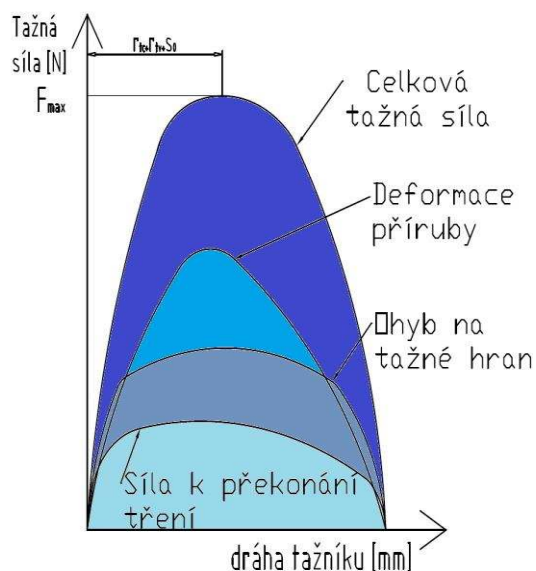
- o Freidling se určuje z poměrné tloušťky. Je-li  $\Delta t < 1,5$  je nutné přídržovač využít. Pokud je  $\Delta t > 2$  není nutné přídržovač využít. V případě, že nastane případ  $1,5 < \Delta t < 2$  je potřeba znovu ověřit zvolenou metodu tažení.

$$\Delta t = \frac{t}{D} \cdot 100 \quad (2.15)$$

## 2.5 Tažná síla a práce [6], [13], [17], [19], [20], [29]

Při tažení součástí je nezbytně nutné zjistit celkovou sílu, která je potřebná k vytvoření finálního tvaru výtažku. Výpočet celkové síly se stanoví součtem síly přidržovací, tažné a vyhazovací. Tažná síla je přenášena tažníkem a třením mezi ním a výtažkem.

Při výpočtu tažných sil se vychází ze sumarizace napětí, která vznikají v přenosovém výtažku podél tažné hrany. Jejich velikost je ovlivněna radiálním tahovým a tečným napětím, které se mění v závislosti na změnách průměru přístřihu a přirozeného přetvárného odporu. Při hlubokém tažení dochází k plastické deformaci v rovině příruby, která je charakterizována skutečnou deformací. Při tažném procesu dochází ke tření mezi přidržovačem, tažnicí a ohybem přes tažnou hranu. Tření mezi přidržovačem a přístřihem vyjadřuje odpor proti ohybu na tažné hraně. Při tažení válcové součásti s přírubou má síla maximální hodnotu v místě, kdy se tažník dostane do hloubky odpovídající zaoblení tažníku, zaoblení tažnice a tloušťky plechu. Na obrázku 20 je vidět teoretický průběh skutečné tažné síly pro válcovitý výtažek, který se může ve skutečnosti lišit od reálného. Její velikost není konstantní v průběhu tažné operace. Pro výpočet síly na utržení dna výtažku se používá empirický vzorec a její velikost bývá vyšší, než je skutečná síla, která závisí na redukcí průměru přístřihu a určuje se ze vzorce:



Obr. 20 Průběh skutečné tažné síly [29]

- Kritická síla – v praxi se při výpočtu maximální síly vychází z faktu, že nejvyšší dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být vždy menší, než je mez pevnosti v tahu. Jmenovitá hodnota síly, při jejímž překročení dojde k utržení dna. Tato síla se stanoví se pomocí vzorce:

$$F_{\text{crit}} = \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m \text{ [N]} \quad (2.16)$$

kde:  $R_m$  – pevnost taženého materiálu v tahu [MPa]

- Přidržovací síla – tlak, kterým působí přidržovač na přístřih se stanovuje experimentálně. Přidržovací síla se stanovuje ze vztahu:

$$F_p = S_p \cdot p \text{ [N]} \quad (2.17)$$

kde:  $S_p$  – plocha styku přidržovače a přístřihu [mm<sup>2</sup>]

$p$  – přidržovací tlak [MPa] (nerezová ocel 2 až 2,5)

- Vyhazovací síla – stanovuje se v závislosti na druhu použitého vyhazovače. Nejčastější typy vyhazovačů jsou pružinové a hydraulické. Síla pružinového vyhazovače se stanoví pomocí výpočtu síly od pružiny.
- Maximální tažná síla dle Šofmana – součinitel  $c$  vyjadřuje vliv součinitele tažení s přihlédnutím k poměrné tloušťce  $t/D_0$ . Součinitel je zanesen v tabulce 5. Skutečná tažná síla se vypočte dle vztahu:

$$F_t = \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m \cdot c \quad (2.18)$$

kde:  $c$  – koeficient [-]

Tabulka 5 Tabulka vlivu součinitele tažení [20]

Součinitel tažení $m$ [-]	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
Koeficient $c$ [-]	1,00	0,86	0,72	0,60	0,50	0,40

- Tažná síla – je založen na sumarizaci napětí, vznikajících v přenosovém průřezu výtažku podél hrany. Úhel opásání tažné hrany je  $\pi/2$ .

$$F = \pi \cdot d_s \cdot t \cdot \sigma_\rho [\text{N}] \quad (2.19)$$

kde:  $d_s$  – střední průměr výtažku [mm]

$\sigma_z$  - membránové napětí [MPa]

$$\sigma_\rho = 1,15 \cdot Re \cdot \left( \ln \frac{R}{r_s} + \frac{F_p \cdot f}{\pi \cdot Re \cdot t \cdot R} + \frac{t}{2 \cdot r_{te} + t} \right) \cdot (1 + 1,6 \cdot \mu) \quad (2.20)$$

kde:  $Re$  – mez kluzu [MPa]

$\mu$  – Poissonova konstanta [-]

$f$  – koeficient tření [-]

$R_{te}$  – zaoblení tažnice [mm]

Celková síla je součet síly přidržovací, vyhazovací a skutečné tažné síly a stanoví se dle vzorce:

$$F_{tc} = F_t + F_p + F_v \quad (2.21)$$

Pro volbu správného výrobního stroje je nutné znát tažnou sílu a práci. Je nezbytně nutné, aby jmenovitá síla lisu byla vyšší, než je celková tažná síla, aby mohla být součástí vyrobena a nedošlo k zastavení lisu. Výpočet tažné práce se stanoví ze vztahu:

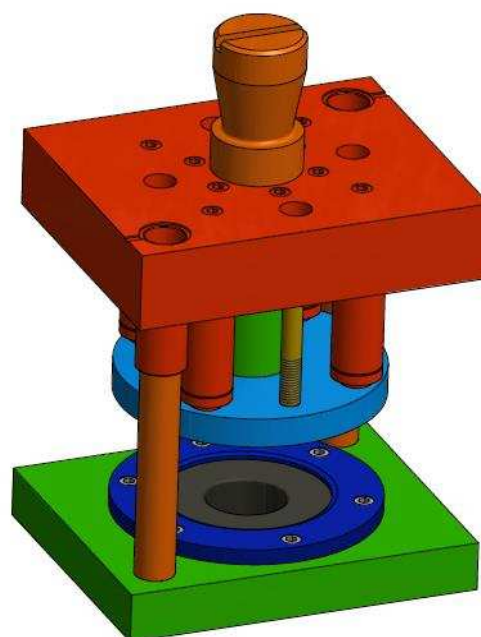
$$A_t = \frac{(C \cdot F_{tc} \cdot h)}{1000} [\text{kJ}] \quad (2.22)$$

kde:  $C$  – koeficient tažné práce (0,6 – 0,8) [-]

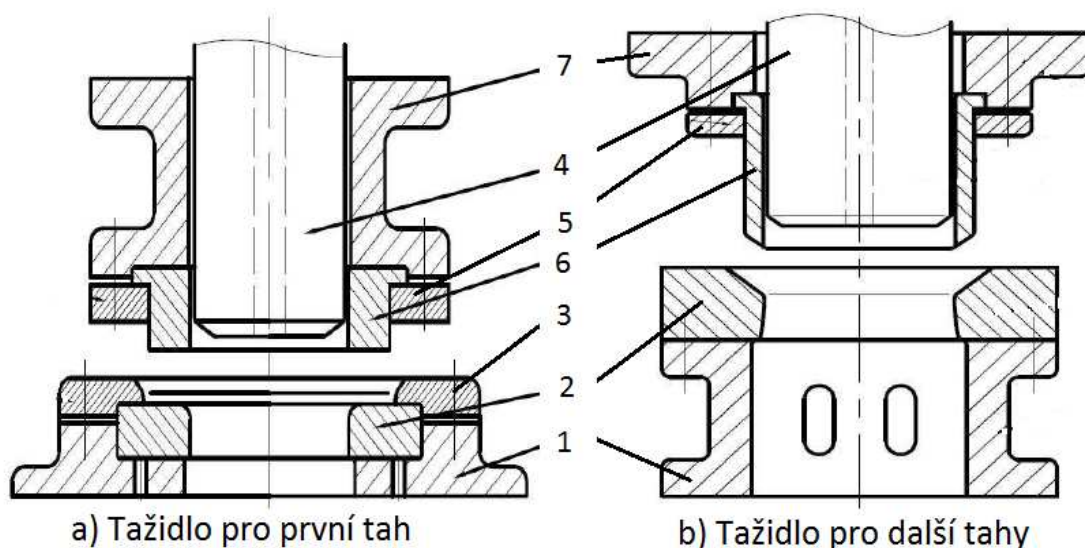
$h$  – výška výtažku [mm]

## 2.6 Konstrukce nástroje [16], [22], [29]

Navržení tažného nástroje je nejdůležitější součástí tažné operace. Požadavky na přesnost a kvalitu se neustále zvyšují, což je nutné zohlednit při vývoji nástroje. Základními vstupními parametry pro výrobu nástroje je geometrie, přesnost a kvalita vyráběné součásti. Funkční části nástroje jsou namáhané na otěr, proto se musí povrchově upravovat. Tažný nástroj je znázorněn na obrázku 21 a skládá se z tažníku, tažnice, pružinového přidržovače a vyhazovače. Spodní část nástroje bývá pevně připevněna k lisu a horní část bývá pohyblivá. Do základové desky bývá upnuta tažnice a zapuštěné vodící sloupky, které slouží k pozicování horní poloviny nástroje vůči polovině spodní. Pozice tažnice je vymezena pomocí šroubů, kolíků, zapuštění nebo aretačních kroužků. K upínací desce je připojen tažník, stopka a přidržovač. Stopka slouží k upnutí tažidla do beranu lisu a bývá normalizována. Základová, upínací a kotevní deska se vyrábí z oceli nebo litiny.



Obr. 21 Schéma tažného nástroje [22]



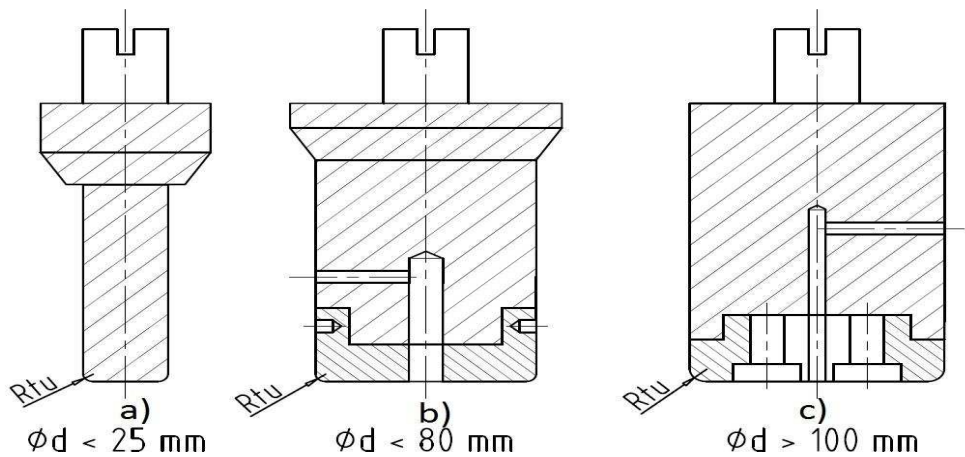
Obr. 22 Příklady tažidel [29]

Na obrázku 22 jsou znázorněny principy tažných nástrojů pro první a další tahy. Varianta a) znázorňuje princip tažného nástroje pro první tah. Pohyb tažného nástroje zajišťuje beran lisu. Spodní část tažného nástroje se skládá z tažnice '2', která může být zapuštěna nebo přišroubována do základové desky '1'. Dále se nejčastěji zajišťuje pomocí středícího kroužku '3'. Tento kroužek slouží k zajištění tažnice v základové desce a zároveň slouží ke středění přístřihu. Horní část tažného nástroje, který se skládá z tažníku '4'. Tažník se upevňuje ke kotevní desce nejčastěji pomocí zapuštění šroubů a musí být přesně vystředěn vůči poloze tažnice. K zajištění tažníku a připojení dalších součástí se k tažnému nástroji přidává upínací deska. Přidržovač '6' je pomocí kroužku '5' připevněn k upínací desce. Při rozměrnějších konstrukcích tažného nástroje se využívají vodící sloupky.

Princip tažného nástroje pro další tahy je znázorněn na obrázku 22 b). Jeho konstrukce je odlišná od tažidla pro první tah. Výška spodní části se odvíjí podle zvětšující se hloubky výtažku v jednotlivých tazích. Základová deska '1' je oproti tažidlu pro první tah vyšší. Tažnice '2' se k základové desce připojuje pomocí šroubů. Přesná poloha tažnice bývá vystředěna pomocí kolíků. Tažnice bývá mírně zkosená, aby zkosený přidržovač '6' spolehlivě zapadl do tažnice. Přidržovač je pomocí upínacího kroužku '5' a vybrání zapuštěn do kotevní desky '7'.

### 2.6.1 Tažníky [11], [16], [22]

Části tažných zařízení, které slouží k vytvoření výsledného tvaru výtažku. Na obrázku 23 jsou znázorněny velikosti pro různé průměry. Jejich vnější průměr je také vnitřním průměrem výtažku. Vyrábějí se celistvé (obr. 23 a) nebo kombinované (obr. 23 b, c). Kombinované se vyrábějí kvůli úspoře materiálu. Vložkování se provádí buď na tažné hraně nebo na válcové části tažníku. Pro zvýšení tření se využívají vložky s drsným povrchem, které zvyšují tření mezi tažníkem a přístřihem. Zvyšováním suchého tření se snižuje koeficient tažení. Pro malé průměry se tažníky vyrábí celistvé z jednoho kusu materiálu. Pro větší průměry se tažníky skládají z různých materiálů. Tažníky se vyrábějí z nástrojové oceli 19 191 a 19 436. Upínají se pomocí stopky, která se vyrábí z nástrojové oceli 11 500. U dělených variant se držák vyrábí také z oceli 11 500 a špička se vyrábí z oceli nástrojové. Uvnitř se zhotovuje odvodušňovací otvor, díky kterému se poté výtažek snadněji odebírá z tažníku a umísťuje se do osy tažníku.



Obr. 23 Tažníky pro různé průměry [11]

Poloměr zaoblění tažníku  $r_{tu}$  je závislý na poloměru zaoblění tažné hrany tažnice. Hrany tažníku se pro mezitahy zešikmují pod úhlem 35 – 45 %. Minimální hodnoty zaoblění tažníku jsou uvedeny v tabulce 6. Zaoblění tažníku pro poslední operaci se pohybuje v rozmezí:

$$r_{tu} = (3 \text{ až } 7) \cdot t \quad (2.23)$$

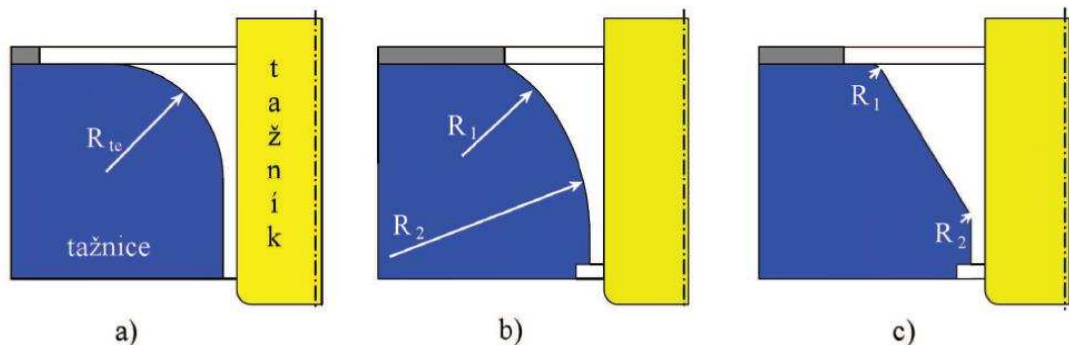
Tabulka 6 Minimální hodnoty poloměru zaoblění tažníku [22]

Průměr výtažku [mm]	$r_{tu}$ [mm]
10 až 100	$(3 \text{ až } 4) \cdot t$
100 až 200	$(4 \text{ až } 5) \cdot t$
200 a více	$(5 \text{ až } 7) \cdot t$

### 2.6.2 Tažnice [10], [11], [20], [22]

Je to jedna z hlavních částí tažného nástroje. Tvar má rozhodující vliv na výrobní proces. V průběhu výroby dochází k vtahování polotovaru přes její funkční části. Nejdůležitější část je tažná hrana, která musí splňovat přesné požadavky. Její tvar má přímý vliv na výsledný tvar vyráběné součásti. Tažnice se nejčastěji konstruuje jako celistvé nebo vložkované, popřípadě se vložkuje pouze tažná hrana.

Na obrázku 24 jsou znázorněny nejpoužívanější úpravy tažné hrany. Při tažení plechů s větší tloušťkou a nízkým stupněm tažení se nepoužívá přidržovač. Pro tyto typy tažení je výhodné vhodně upravit tvar tažné hrany. Nejvyužívanější úprava je pomocí velkého zaoblění (obr. 24 a), popřípadě jeho kombinace s kuzelem (obr. 24 c). TRATRIX profil (obr. 24 b) umožňuje dosáhnout velmi nízkého součinitele tažení  $m=0,35$ .



Obr. 24 Úpravy tažné hrany [10]

Poloměr zaoblění tažnice má přímý vliv na rozměrovou přesnost. Při velkém zaoblění by docházelo k tvorbám vln a při malém by docházelo k trhání materiálu. Možností určení poloměru tažné hrany je víc. Nejvyužívanější metody jsou:

- Dle normy ČSN 22 7301:

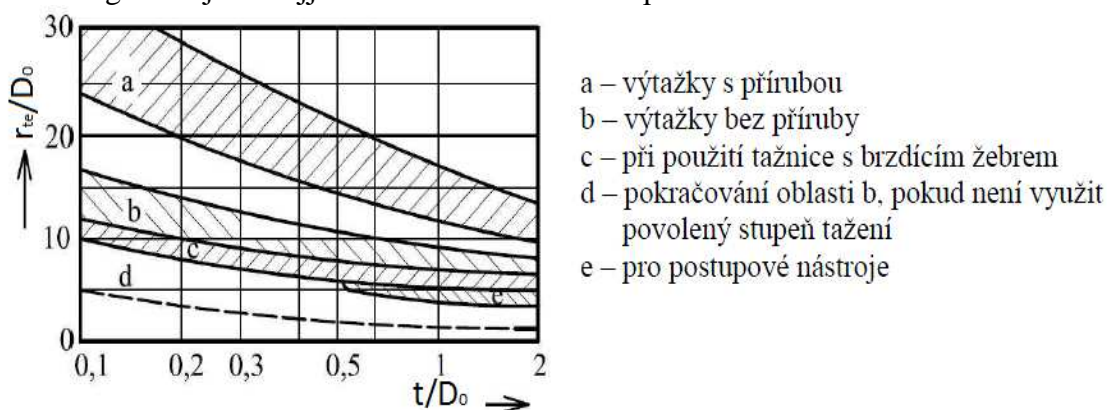
$$r_{te} = (6 \text{ až } 10) \cdot t \quad (2.24)$$

- Určení poloměru tažné hrany výpočtem

$$r_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{t \cdot (D_0 - d)} \quad (2.25)$$

kde:  $r_{te}$  – poloměr zaoblění tažnice [mm]

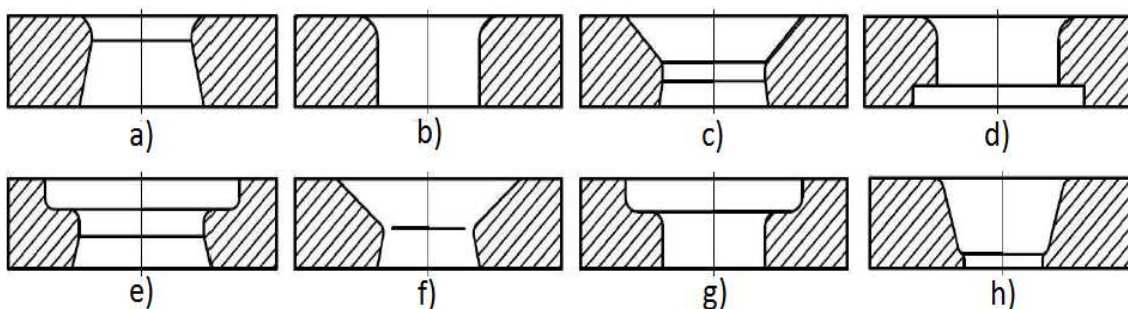
- Určení z grafu – je to nejjednodušší metoda určení poloměru



Obr. 25 Grafické určení zaoblění hrany tažnice [11]

Tažnice se konstruují celistvé nebo vložkované. Rozměrné tažnice se konstruují skládané, aby byla zajištěna lehčí manipulace. K vymezení přesné polohy vůči ostatním částem tažného nástroje se používají různé způsoby. Nejčastěji se aretuje pomocí šroubů a kolíků, popřípadě zapuštěním do základové desky. Pro konstrukci se nejčastěji využívá nástrojová ocel. Na obrázku 26 jsou znázorněny různé typy otvorů v tažnicích. Tyto tvary funkčních otvorů jsou vhodné pro:

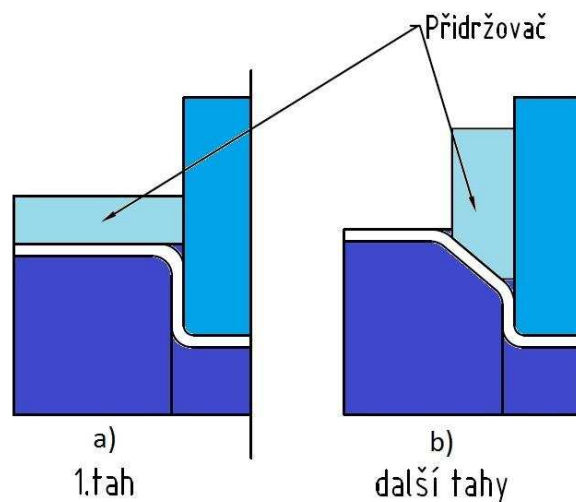
- setření tažníku po vrácení výtažku nad tažnici
- propadnutí výtažku a setření ostrou hranou tažnice
- pro druhý tah, případně další tahy, výtažek se vrací nad tažnici
- odlehčení tažného otvoru dole
- pro druhý, případně další tah do průměru 60 mm, výtažek se vrací nad tažnici
- pro druhý tah, případně další tahy, výtažek propadá
- pro druhý, případně další tah do průměru 60 mm, výtažek propadá
- otvor kuželový, výtažek propadá, tažení bez přidržovače



Obr. 26 Příklady konstrukcí tažnic [20]

### 2.6.3 Přidržovač [12], [16], [22]

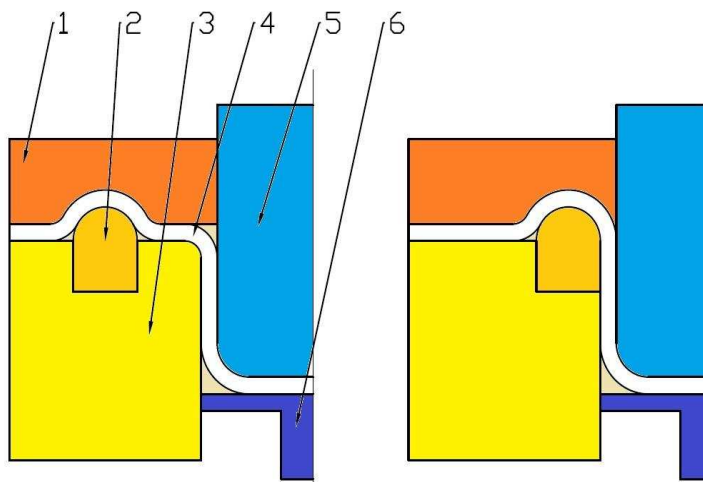
Použití přidržovače je podmíněno vznikem plastické deformace, která vzniká v přírubě vlivem působících napětí a deformací. Tvary přidržovačů se liší s ohledem na tažný proces, při kterém bude použit přidržovač. Při tažení součásti na jednu operaci bude přidržovač rovinný, viz obrázek 27 a). Pro další tahy se tvar přidržovače liší. Zkosený přidržovač (obr. 27 b) s úhlem  $30^\circ$  až  $45^\circ$  snižuje odpor materiálu. Nejčastější provedení přidržovačů je pružinové, hydraulické a vzduchové. Pružinové přidržovače se využívají pro malé tahy. Síla pružinových přidržovačů je dána silou od pružiny a jejich montáž a konstrukce je jednoduchá. Nevýhoda těchto typů přidržovačů je, že se nedá měnit jejich jmenovitá síla. U tažných procesů, při kterých by nestačila síla vyvozená přidržovačem pružinovým, se využívá vzduchových nebo hydraulických přidržovačů. Nejvýhodnější provedení přidržovače je mechanické. Tyto typy se používají u vícečinných lisů, kdy beran ovládá tažník a vnější beran ovládá přidržovač. Materiály pro výrobu přidržovačů jsou nástrojové oceli 19 191, 19 436 a konstrukční nelegovaná ocel 12 061."



Obr. 27 Přidržovače pro první a další tahy [16]

### 2.6.4 Brzdná žebra [29]

Stabilita tvářecího procesu výrazně ovlivňuje deformaci při tažném procesu. Použití brzdných žebor zlepšuje stabilitu tažení. Brzdná žebra zvyšují účinek přidržovače. Výtažky jsou během tažného procesu vystaveny nerovnoměrné napjatosti. Tato napjatost často způsobuje zvlnění, proto je třeba tok materiálu přibrzdit. Při využití brzdných žebor není nutné zvětšovat přidržovací sílu. U rotačních součástí jsou brzdná žebra rozložena spojitě po obvodu příruby. Brzdná žebra bývají vložková, což umožňuje snadnou výměnu při jejich opotřebení a změnu tvaru. Na obrázku 28 je znázorněno použití brzdných žebor. Brzdná žebra '2' zpomalují vtahování polotovaru '4' do dutiny tažnice '3'. Přidržovač '1' tlačí přidržovací silou na polotovar '4'. Vyhazovač '6' poté vysune výrobek ven z tažnice. Pro výrobu brzdných žebor a lišt se využívají materiály 12 061, 19 191 a 19 436.

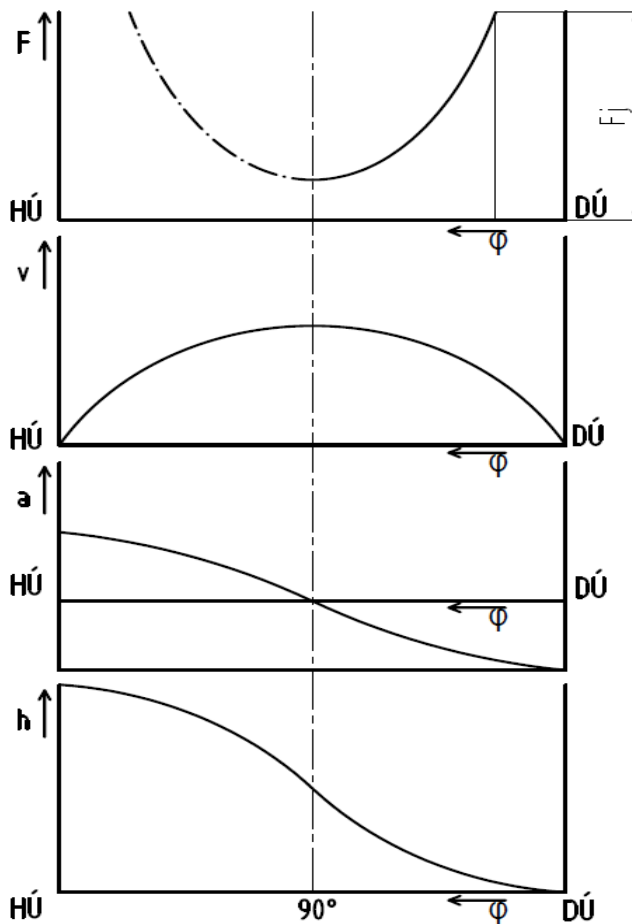


Obr. 28 Schéma brzdných žebor [29]

## 2.7 Stroje [16], [20], [23], [29], [33]

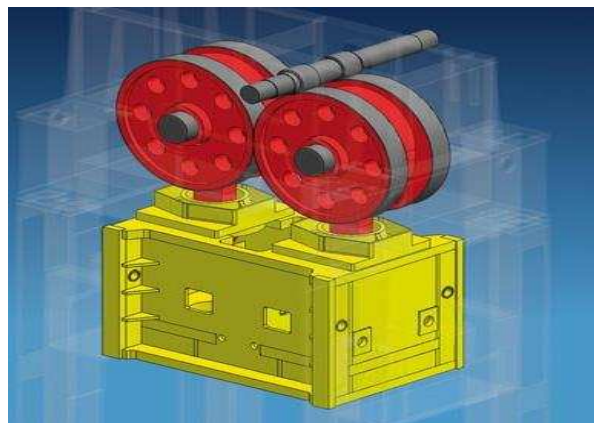
Volba vhodného lisu je důležitým parametrem. Velikost jmenovité síly lisu musí být tak velká, aby byla schopna plnit svoji požadovanou funkci a vyrobit zadanou součást. Nejvhodnějším typem strojů, které se používají při hlubokém tažení, jsou hydraulické a mechanické lisy. Využití těchto lisů dělí tyto stroje na jednočinné, dvojčinné, trojčinné a postupové.

Mechanické lisy jsou jedním z nejvyužívanějších strojů v tvářecím procesu. Podle převodového systému se dělí na výstředníkové, klikové, kolenové, šroubové a hřebenové. Vyrábějí se v jedno stojanové, dvou stojanové a sloupové. Nejdůležitější mechanismus mechanických lisů je klikový nebo vačkový pohon. Je to nejstarší typ lisů. Setrvačnick skládá potenciální energii a přes excentrické pohony a převodovky transformuje kinetickou energii potřebnou k formování plechu. Průběh síly mechanického lisu je znázorněn na obrázku 29.



Obr. 29 Průběh síly mechanického lisu [20]

- Klikové lisy – princip jejich činnosti spočívá v klikovém mechanismu, na kterém je uložena ojnice. Rotační pohyb se mění na pohyb přímočarý. Klikové lisy se vyrábějí v rozsahu jmenovité síly 0,1 až 10 MN. Výhodou je konstantní zdvih. Řadí se mezi univerzální stroje, které se s výhodou používají na plošné tváření a v automobilovém průmyslu. Princip dvoubodového klikového lisu je znázorněn na obrázku 32.
- Výstředníkové lisy – využívají k přenosu síly výstředníkového mechanismu. Pracují na stejném principu jako lisy klikové. Výhodou je nastavitelný zdvih beranu, který se dá měnit natočením výstředníkového pouzdra. Ve většině případů je u výstředníkových lisů výška zdvihu nastavována elektrickým pohonem. Vyrábějí se o velikosti jmenovité síly 250 až 4000 kN. Využití v plošném tváření nebo v automatických tvářecích linkách.



Obr. 30 Princip dvoubodového mechanického lisu [33]

- Kolenové lisy – využívají pro přenos tvářecí síly klikový mechanismus. Mají konstantní zdvih a možnost přenastavit výšku beranu. Používají se při tváření za tepla i při tváření za studena. Vyrábějí se do jmenovité síly až 40 MN.

Nevýhoda mechanických lisů je, že největší tvářecí síly dosáhnou těsně u dolní úvratí. Beran lisu se periodicky pohybuje mezi horní (HÚ) a dolní úvratí (DÚ). Výhodou mechanických lisů je jejich pořizovací cena a jednoduchá konstrukce.

Hydraulické lisy jsou nejpoužívanější stroje pro hluboké tažení. Je to stroj, který pomocí hydraulického pístu generuje tlakovou sílu. Využívá principu Pascalova zákona, kdy tlak vytvářený na kapalinu v uzavřené nádobě je ve všech místech kapaliny stejný. Hydraulický lis se využívá skoro ve všech průmyslových odvětvích. Je to nejčastěji využívaný stroj pro tvářecí procesy. Jako hydraulické médium bývá nejčastěji využíván olej. Výhodou hydraulických lisů je možnost dosažení vysoké tvářecí síly (až  $10^3$  MN). Velikost zdvihu beranu lze nastavit. Možnost plynulé regulace rychlosti a tlaku. Pracuje tiše a bez otřesů. Oproti mechanickým lisům pracuje pomaleji a je potřeba u něj regulovat polohu dolní úvratě. Hydraulické lisy mají vyšší pořizovací cenu než mechanické při stejné velikosti jmenovité síly.



Obr. 31 Hydraulický lis [23]

Tažná rychlost je jednou ze základních charakteristik lisu. U nejnovějších lisů je možnost měnit počet zdvihů za minutu. Lis by neměl překročit rychlost, kdy by mohlo dojít k poškození vyráběné součásti. Hodnota tažné rychlosti pro austenitickou ocel je zanesena v tabulce 7. Nejvyšší možná rychlost tažení se pro výstředníkové lisy stanoví ze vztahu:

$$v = 0,0063 \cdot n_0 \cdot \sqrt{Z_b \cdot p_p - p_p^2} \quad (2.25)$$

kde:  $v$  – tažná rychlost [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]  
 $n_0$  - počet otáček lisu [ $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ ]  
 $Z_b$  – zdvih beranu [mm]  
 $P_p$  – pohyb tažníku [mm]

Tabulka 7 Tažná rychlost [29]

Tažený materiál	Tažná rychlost [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]
Austenitická korozi-vzdorná ocel	7

## 2.8 Maziva v procesu tažení [8], [15], [27], [29], [30]

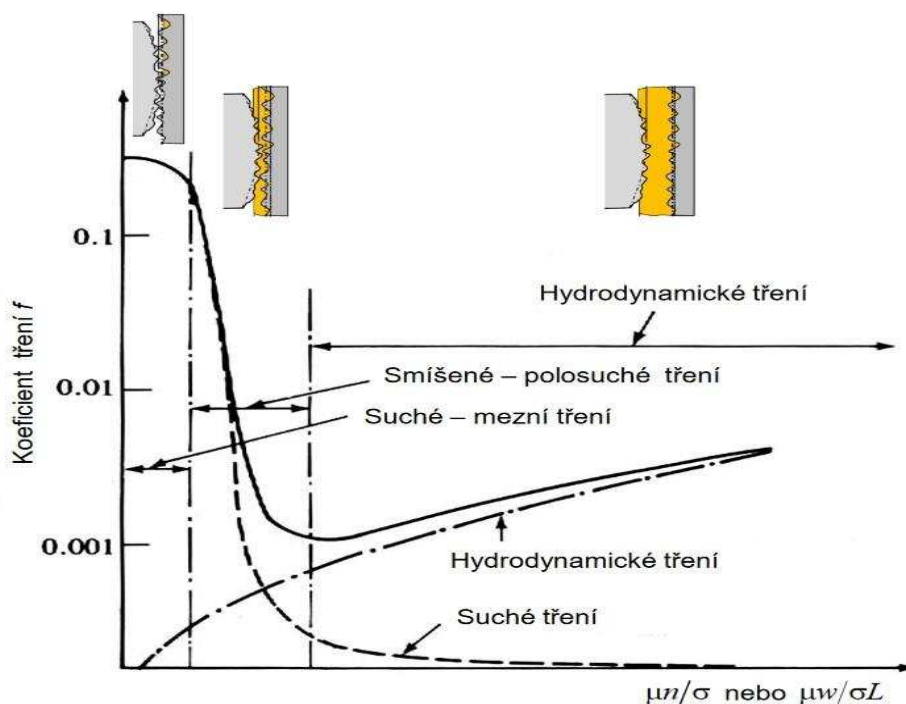
Tažení kovů je značně ovlivněno třením mezi tažným nástrojem a materiálem. Kontakt povrchů způsobuje vysoké tlaky, které se snižují použitím vhodných maziv. Mazací schopnost je jednou ze základních vlastností. Úkolem je zabránit zadírání a poškrábání taženého povrchu, snížit opotřebení tažidel a zredukovat tření natolik, aby vzniklé síly nezapříčinily porušení taženého materiálu.

Tribologie se zabývá snižováním tření a opotřebení součástí s aplikací maziv. Podle druhu použitého mazadla a kvality třecích ploch se součinitel tření může pohybovat v rozmezí 0,04 až 0,2. Koeficient tření lze určit z grafu využitím tzv. Streibeckova diagramu (obr. 33). Velikost tření závisí na velikosti



Obr. 32 Maziva v tváření [30]

a rozdělení normálových napětí, teplotě, druhu tvářecího postupu. Dále je tření ovlivněno chemickým složením, velikostí zrna a tvrdostí třecích ploch. Při tažení dochází k největšímu



Obr. 33 Streibeckův diagram [15]

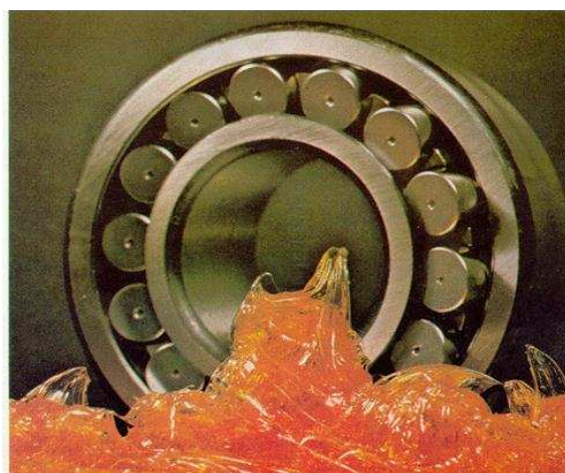
tření, když je úhel opásání tažnice největší. Snížení tření je ovlivněno volbou vhodného maziva.

Běžně se rozlišují tyto typy kluzného tření:

- Suché tření – přímý styk povrchů bez přítomnosti mazadla.
- Mezní tření – kombinace suchého a kapalného tření s velmi tenkou vrstvou mazadla.
- Hydrodynamické tření – závislé na kluzné rychlosti, měrném tlaku, tloušťkou vrstvy mazadla a koeficientu dynamické viskozity.
- Smíšené tření – kombinace mezního a hydrodynamického tření. Nejčastější typ tření v tvářecích procesech.

Redukce třecích sil se projevuje poklesem potřebné přetvárné síly a snížením vznikajícího tepla při tvářecím procesu. Při svém působení jsou maziva vystavena mechanickému, teplotnímu a chemickému namáhání. Musí být chemicky, tlakově a tepelně stálá. Nesmí chemicky reagovat s povrchem součásti a měla by odvádět teplo vytvořené tažnou operací. Při vysoké hodnotě tření by mohlo dojít ke studeným svarům a tím k oddělování částic materiálu z přístříhu a tažnice. Cílem je vytvořit vrstvu, která dokonale pokryje celý povrch a vytvoří jemný, celistvý a homogenní film. Tato vrstva má nízké vnitřní tření a adhezně ulpívá na povrchu. Zvyšuje životnost nástroje a zlepšuje výslednou kvalitu povrchu. Existuje mnoho druhů pro různé aplikace a jejich použití je vhodné nejprve ověřit experimentálně. Čistá kapalná maziva se používají při lehčím tváření do tlaku 600 MPa. Pro vyšší tlaky se do maziva přidává plnidlo, které má schopnost dokonale se spojit s povrchem kovu. Nejčastěji se používá plavená křída, oxid zinečnatý a zejména grafit. Maziva lze rozdělit do čtyř základních skupin:

- **Plastická maziva** – označují se také jako mazací tuky. Skládají se ze základového oleje, zpevňovačů a aditiv. Používají se k mazání valivých a kluzných uložení. Využívají se zejména v situacích, kde nelze používat kapalná maziva. Nejvýznamnější zástupce je lanolín a lůj. Výrazně snižují zatížení strojů. Nejsou vhodné pro hluboké tahy a při vyšší teplotě tažidla mají lepší viskózní vlastnosti než minerální oleje. Používají se například na mazání ložisek (obr. 34).
- **Pevná maziva** – bývají nanášena ve formě šupinek nebo prášků. Nejčastěji se používá směs grafitu. Vykazuje vlastnosti pevných látek a využívá se u vysokých tlaků a teplot.
- **Kapalná maziva** – nejrozšířenější typ. Jsou lehce manipulovatelná a dostupná. Podle chemického složení lze rozdělit na sloučeniny, homogenní směsi a kapalnou disperzi. Rozdíl je především v rozsahu stupně viskozity a jejich vlastnostech. Pro tažení se nejvíce využívají homogenní směsi tzv. mazací oleje, které obsahují 95 % oleje a zbývajících 5 % jsou příměsi. Dělí se na minerální a syntetické oleje. Minerální oleje patří mezi nejpoužívanější maziva ve strojírenském odvětví. Vznikají frakční destilací z ropy a jde o směs uhlovodíků. Syntetické oleje vznikají krakováním ropy. Mají vysokou odolnost a používají se tam, kde minerální oleje nestačí. Nevýhodou minerálních olejů je vysoká pořizovací cena a agresivita vůči některým materiálům.



Obr. 34 Plastické mazivo [8]



Obr. 35 Kapalně mazivo [27]

Volba vhodného druhu maziva závisí na velikosti tvářecích tlaků, provozní teplotě, požadované intenzitě mazání, pracnosti a nákladech na nanášení a odstraňování. Jejich nanášení se provádí několika způsoby. Nejčastěji pomocí štětců, hadříků, namáčení v nádobách s emulzí. Mazivo musí být po použití odstraněno. Před nanesením na povrch je nutné jej vhodně upravit, aby byly dosaženy nejlepší podmínky. První úpravy se dělají již při výrobě polotovaru vhodným opracováním kontaktních ploch. Vzhledem k požadavkům se používá nejčastěji směs olejů, grafitu, mýdla a vody. U složitějších operací se používá tuhý vosk nebo suspenze práškového grafitu. Je kladen důraz na snadné odstraňování maziva ze součásti a základním požadavkem je ulpívání na povrchu součásti, proto je jeho odstraňování tím složitější, čím je dokonalejší. Při volbě se berou v úvahu jak výrobní požadavky, tak náklady na jeho pořízení a odstranění. Je možné spojit mazací a chladicí účinek. Vhodně vybrané mazivo ovlivňuje tok materiálu při tváření. Při složitějších operacích je kladen důraz na kvalitu mazání. V těchto případech se nejčastěji využívá minerálních a lněných olejů spolu s grafitem. Úspory energie volbou vhodného typu maziva činí až 11 %.

Pro mazání oceli se při tažení lehčích součástí využívá řepkový olej a při složitějších tažných operacích se využívá maziv s plnidly, např. směs řepkového nebo živočišného oleje a plavené křídly. Pro těžké tahy se využívá zahřátá směs minerálních olejů. Pro tažení korozivzdorné oceli je mazání nedílnou součástí. Použité mazivo musí mít vysokou soudržnost, aby nedošlo k porušení vrstvy ani při vysokých tlacích. V těchto případech není vhodné použití mýdlových roztoků a lehkých olejů. Pro hlubší tahy se používá směs řepkového oleje a běloby olovnaté s přídavkem sirného květu.

## **2.9 Technologičnost**

Technologičnost je výběr prvků, které zaručují co nejvýhodnější výrobu zadané součásti. Je potřeba dodržet požadavky na konstrukci, sériovost a výslednou kvalitu výrobku. Při výrobě je nutné zaměřit se zejména na ekonomiku. Výrobní náklady na součást a nástroj by měly být co nejnižší. Technologičnost výtažků je závislá především na volbě vhodného typu materiálu. Je nutné vybrat materiál, který bezpodmínečně splní požadavky s ohledem na cenu. Hlubokotažné oceli musí mít vyhovující plastické vlastnosti a nízký sklon ke stárnutí. Zvolená korozivzdorná ocel má vysokou tažnost, avšak je nutné použít větší tažnou sílu s ohledem na vysokou pevnost a náchylnost materiálu na zpevňování při tváření za studena. Je nutné dodržovat některé zásady:

- Nepředepisovat toleranci tam, kde nemusí být.
- Nejmenší možný počet operací.
- Nejnížší pořizovací náklady na nástroje.
- Životnost nástrojů by měla být co nejdélejší.
- Produktivita práce a potřeba nižší kvalifikace pracovníků.
- Polotovar by měl mít vhodný tvar, aby se zredukovaly náklady na materiál a bylo možné vytvořit výtažek při malých nákladech, jednoduchými nástroji a v co nejkratším výrobním čase.
- Nezvyšovat výšku výtažků a šířku příruby, aby se nezvětšoval počet tahů.
- Nepředepisovat malé poloměry v přechodu dna do stěny a stěny do příruby.

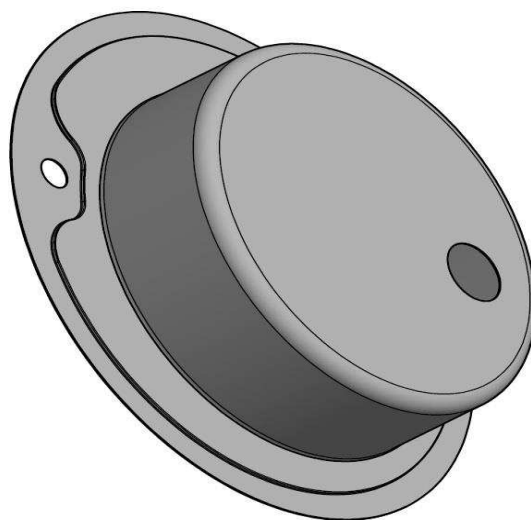
V místě, kde dno přechází do stěny součásti se tloušťka stěny mění. Při běžném tažení se přesnost pohybuje od IT 11 až do IT 12. Při zařazení další operace, např. kalibrování je možné dosáhnout přesnosti IT 8 až IT 9.

### 3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Dřez bude vyráběn z korozivzdorné austenitické oceli ČSN 1.4301, která se vyznačuje zvýšenou odolností vůči korozi ve vodě. Na obrázku 36 je zobrazen výsledný tvar součásti po první tažné operaci. Nejprve bude vytaženo hlavní válcovité těleso, do kterého bude v následné operaci vytvořen prolis a vystřiženy otvory pro baterii a odtokový systém. Nakonec bude ostřížen okraj součásti. Příruba součásti není symetrická vůči ose válcové části a je tedy nutné udělat větší přístřih. Z grafického software Inventor 2017 byla určena velikost této příruby (770 mm), která bude následně vystřižena do výsledného tvaru. Výroba otvorů a prolisu nebude v této práci zahrnuta. Dřez bude vyráběn z plechu o tloušťce 1,5 mm. Vnější průměr výtažku je 770 mm a vnitřní průměr bude 510 mm při celkové hloubce dřezu 165 mm. Výkres dřezu a všechny ostatní potřebné informace jsou zobrazeny na výkresu. Celková velikost série je stanovena na 20 000 ks/rok. Konečný tvar vyráběné součásti znázorněn na obrázku 37.



Obr. 37 Model součásti po první tažné operaci

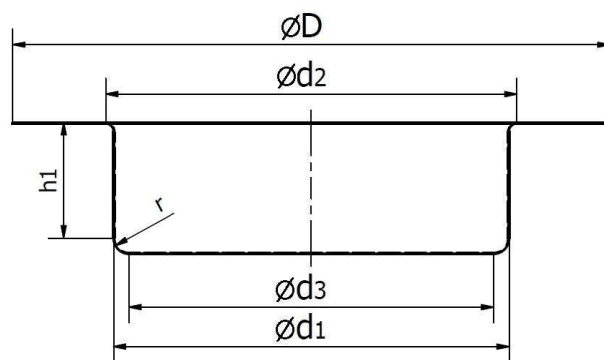


Obr. 36 Konečný tvar dřezu

#### 3.1 Výpočet průměru přístřihu

Nejdůležitějším parametrem, který je potřeba znát a od kterého se všechno odvíjí, je průměr přístřihu. Tento rozměr hraje zásadní roli při navrhování rozložení výstřižků na tabuli či svitku a je důležité jej určit co možná nejpřesněji, aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám materiálu.

- Dle vzorce (2.1) - do vztahu se dosadí základní rozměry (obr. 38).



$D = 770 \text{ mm}$   
 $d_2 = 530 \text{ mm}$   
 $h_1 = 145 \text{ mm}$   
 $r = 20 \text{ mm}$

Obr. 38 Vyráběná součást [22]

$$D_v = \sqrt{D^2 + 4 \cdot d_2 \cdot (0,57 \cdot r + h_1) - 0,56 \cdot r^2}$$

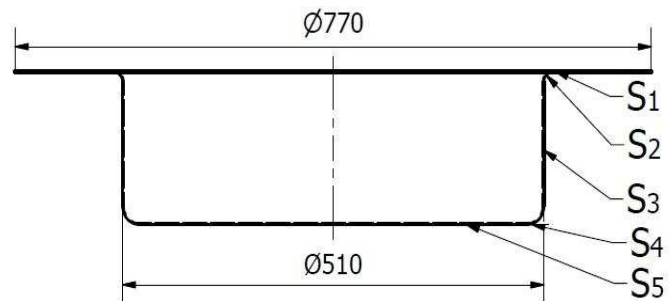
$$= \sqrt{770^2 + 4 \cdot 530 \cdot (0,57 \cdot 20 + 145) - 0,56 \cdot 20^2} = 961,4 \text{ [mm]}$$

V případě zanedbání obou zaoblení by se vzorec značně zjednodušil a byl by ve tvaru:

$$D_v = \sqrt{D^2 + 4 \cdot d \cdot h} = \sqrt{770^2 + 4 \cdot 510 \cdot 165} = 964,1 \text{ [mm]}$$

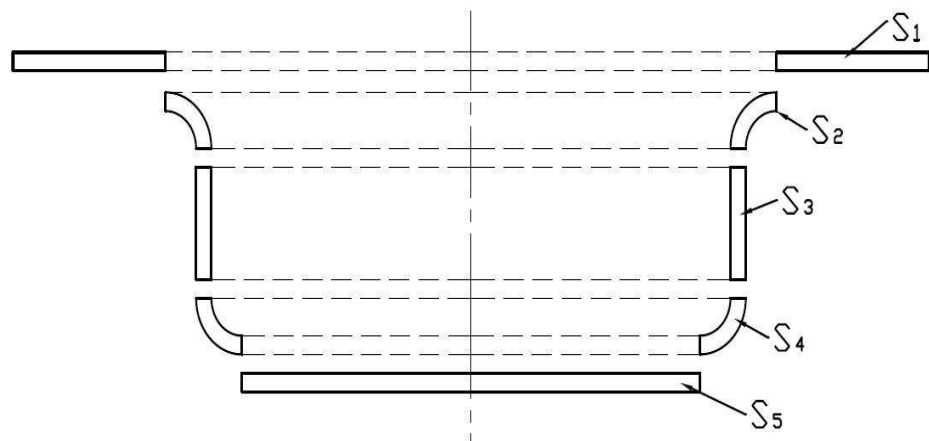
S přihlédnutím k teoretickým výsledkům byl pro tuto metodu zvolen průměr přístřihu 965 mm.

- Dle vzorce (2.2) – pro tento vztah je důležitá celková plocha výtažku 'S<sub>c</sub>'. Její velikost je možné určit více způsoby. Nejpoužívanější metodou je numerický výpočet nebo určení velikosti plochy pomocí počítačového software.
  - Numerická metoda – spočívá v rozložení součásti na základní jednoduché útvary, u kterých se vypočte velikost povrchu. Válcovitý výtažek bude nutné rozdělit na 5 základních částí a vypočítat velikosti jednotlivých ploch. Rozdělení součásti je vidět na obrázku 39, ze kterého je patrné, že se skládá ze dna součásti o obsahu 'S<sub>5</sub>', zaoblení S<sub>4</sub>, stěny součásti 'S<sub>3</sub>', zaoblení 'S<sub>2</sub>' a přírubby 'S<sub>1</sub>'.



Obr. 39 Plochy výtažku [22]

Rozložení výtažku na jednotlivé plochy (obr. 40) a výpočet jejich velikostí:



Obr. 40 Rozložení výtažku na jednotlivé plochy [22]

$$S_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (770^2 - 510^2) = 261\,248 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$S_2 = \frac{\pi}{2} \cdot [\pi \cdot r \cdot d_1 + 4 \cdot r^2] = \frac{\pi}{4} \cdot [\pi \cdot 10 \cdot 510 + 4 \cdot 10^2] = 25\,795 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$S_3 = \pi \cdot d \cdot h_1 = \pi \cdot 510 \cdot 145 = 232\,203 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$S_4 = \frac{\pi}{2} \cdot [\pi \cdot r \cdot d_3 + 4 \cdot r^2] = \frac{\pi}{4} \cdot [\pi \cdot 20 \cdot 470 + 4 \cdot 20^2] = 48\,900 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$S_5 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = \frac{\pi \cdot 470^2}{4} = 173\,407 [\text{mm}^2]$$

Celková velikost ploch se spočítá sečtením jednotlivých úseků.

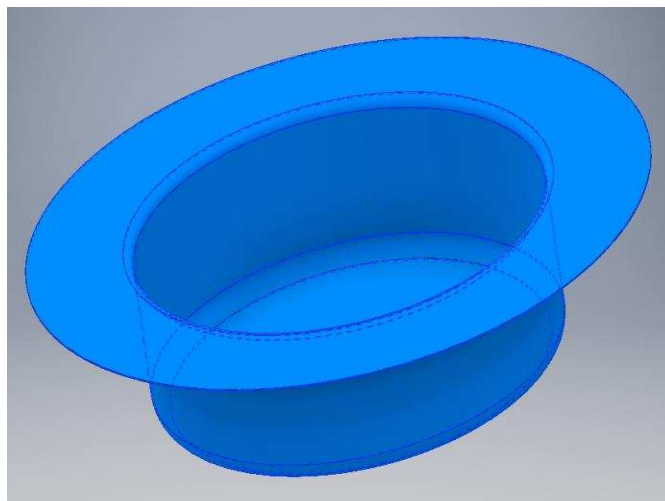
$$\begin{aligned} S_c &= S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 \\ &= 261\,248 + 25\,795 + 232\,203 + 48\,900 + 173\,407 \\ &= 741\,553 [\text{mm}^2] \end{aligned}$$

Průměr výchozího polotovaru se určí dle vzorce (2.4), do kterého se dosazuje velikost plochy výtažku.

$$D_v = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} = 1,13\sqrt{P} = 1,13 \cdot \sqrt{741\,553} = 973,08 [\text{mm}]$$

Celková velikost přístřihu určená numerickou metodou je 973,08 mm. Pro tuto metodu byl celkový průměr zvolen 973 mm.

- Software – bylo využito Inventoru 2017, ve kterém byl vytvořen model dřezu, ze kterého byly odečteny velikosti jednotlivých ploch. Tvar dřezu je znázorněn na obrázku 41. Takto bude vypadat výtažek po první tažné operaci. Celková velikost ploch se poté sečte stejně jako v první zmiňované metodě a dosadí se do vztahu (2.2). Tato metoda je přesnější než numerická, protože zde nejsou zahrnuty chyby, které vznikly při zaokrouhlování a zároveň je také jednodušší.



Obr. 41 Model dřezu pro určení velikosti přístřihu

V počítačovém software byly odměřeny velikosti ploch. Plocha příruby 'S<sub>1</sub>' měří 261 380 mm<sup>2</sup>. Zaoblení pod přírubou 'S<sub>2</sub>' má velikost 25 526 mm<sup>2</sup>. Plocha válce 'S<sub>3</sub>' je 232 320 mm<sup>2</sup> a zaoblení u dna součásti 'S<sub>4</sub>' je 48 900 mm<sup>2</sup>. Dno dřezu 'S<sub>5</sub>' o velikosti plochy 173 494 mm<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned} S_c &= S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 \\ &= 261\,380 + 25\,526 + 232\,320 + 48\,900 + 173\,494 \\ &= 741\,620 [\text{mm}^2] \end{aligned}$$

$$D_v = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} = 1,13\sqrt{P} = 1,13 \cdot \sqrt{741\,620} = 973,12 [\text{mm}]$$

Dle výsledku je patrné, že se numerická a počítačová metoda shodují. Oproti numerickému řešení se však práce při stanovování velikosti ploch využitím počítačového softwaru značně zjednoduší. Průměr přístříhu, spočítaný pomocí obou metod, bude zvolen 973 mm.

Z použitých metod je nepřesnější výpočet pomocí 3D software, protože zde nedochází k zaokrouhlovacím chybám. V první zmiňované metodě vyšel průměr přístříhu nižší, než u zbývajících 2 počítaných metod z důvodu zanedbání zaoblení pod přírubou. Pro stanovení průměru výchozího polotovaru se vycházelo z numerické a grafické metody, které jsou nejpresnější. Protože se výsledky přibližně shodovaly, bude průměr přístříhu zvolen 973 mm.

### 3.2 Stanovení počtu tažných operací

Důležitým parametrem pro výrobu dřezu je počet tažných operací. V grafickém software byla určena minimální velikost příruby před ostřížením kotoučovými nůžkami 770 mm. S tímto rozměrem bude počítáno při určování počtu tahů. Minimální průměr výtažku, který lze v dané operaci vytáhnout se určuje dle vzorce (2.6):

$$d_1 = m_1 \cdot D = 0,5 \cdot 770 \\ = 369,6 \text{ [mm]}$$

Koeficient tažení 'm' byl pro první tažnou operaci stanoven 0,5. Bylo vypočteno, že nejmenší možný průměr při tažení zadané součásti je 369,6 mm a vnitřní průměr součásti je 510 mm, z čehož plyne, že výtažek lze zhotovit na 1 tažnou operaci. Celkový počet tahů se počítá dle vzorce (2.7):

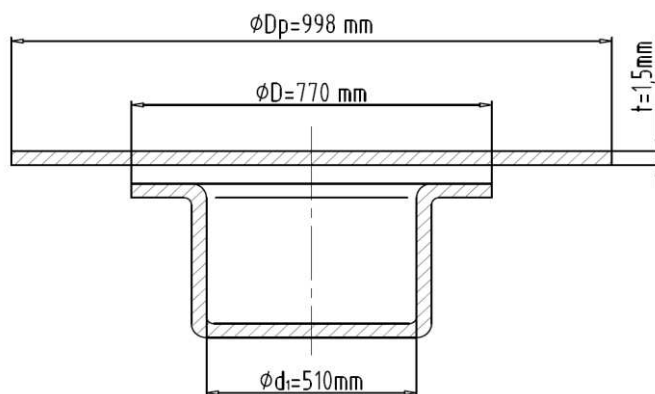
$$n = 1 + \frac{\ln d_n - \ln(m_1 \cdot D_v)}{\ln m'} = 1 + \frac{\ln 510 - \ln(998 \cdot 0,5)}{\ln 0,75} = 0,83[-]$$

Výpočet stanovil, že  $n < 1,2$ , což znamená, že také dle tohoto kritéria lze součást vyrobit na 1 tah. Součinitel m byl pro první tah zvolen 0,5 střední součinitel tažení  $m'$  byl zvolen 0,75. Z uvedených vzorců je zřejmé, že průměr tažené součásti 510 mm lze vyrobit na jeden tah a není nutné využití víceoperačního tažení.

S přihlédnutím k počtu tahů je nutné velikost výchozího polotovaru zvětšit z důvodu vzniku čípatosti na okraji výtažku. Pro jednooperační tažení se připočítávají 3 % k průměru.

$$D_p = 973 \cdot 1,03 = 1\,002 \text{ [mm]}$$

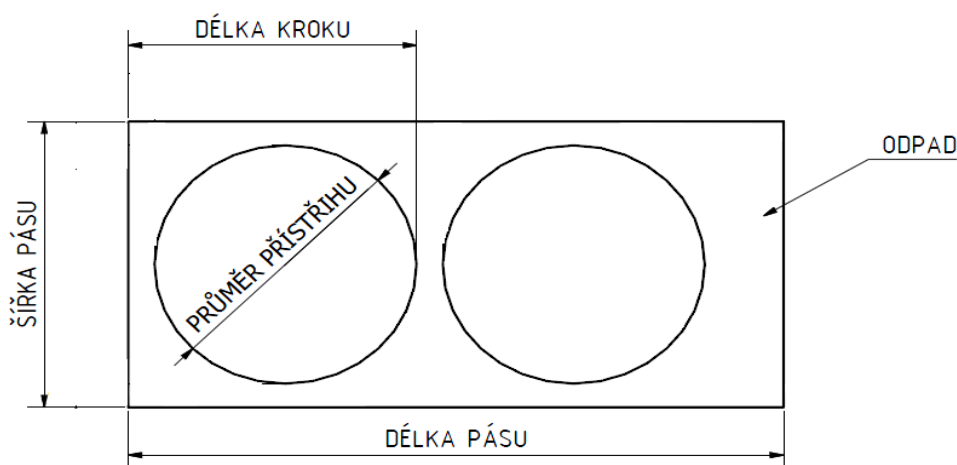
Výsledný průměr přístříhu vyšel 1002 mm. Tato velikost je značně nevýhodná vzhledem k velikostem dodávaných tabulí plechů. U takto rozměrných výstřížků není nutné přidávat celé 3 % k průměru, což umožňuje zmenšení polotovaru. V zájmu zlepšení využitelnosti materiálu se nabízí zmenšit rozměr na 1000 mm, ale byl zvolen průměr přístříhu 998 mm, protože jsou zde započtené okraje pro stříhání na kotoučových nůžkách. Tento rozměr bude využit při variantním řešení rozložení výchozích polotovarů na tabuli či svitku plechu.



Obr. 42 Stanovení počtu tažných operací

### 3.3 Varianty rozložení výstřížků

V dnešní době je kladen důraz na vhodnou volbu materiálu. Při výrobě dřezu je nutné, aby byl vhodně zvolen základní materiál, ze kterého se budou vyrábět výchozí polotovary. Vhodně zvoleným rozložením výstřížků na plechu se snižují náklady na materiál a také se snižuje množství odpadu. Nejčastěji vyráběné polotovary jsou plechové tabule a svitky. Tyto varianty jsou optimální vzhledem k přepravě a manipulaci materiálu. Při využívání svitků plechu je zapotřebí mít další přídavné stroje jako je rovnačka plechu, odvíjecí a navíjecí zařízení. Vybavení haly všechny tyto pomocné stroje obsahuje. Při nevhodném využití materiálu se úměrně zvyšuje cena součásti. Odpad bude prodáván zpět hutním společnostem, čímž se sníží náklady na výrobu dřezu. Pro minimalizaci odpadu budou navrženy varianty dělení tabulí a uspořádání výstřížků na tabuli a na svitku plechu, ze kterých bude zvolena nejoptimálnější varianta. Na obrázku 43 je vidět rozložení výstřížků a velikosti jednotlivých segmentů.



Obr. 43 Schéma rozložení výstřížků na tabuli

Vzhledem k rozměrům výchozího polotovaru není možné vyrábět přístřih konvenčním nástrojem, proto je potřeba využít jiný způsob výroby výstřížků. Byla zvolena technologie stříhání na kotoučových nůžkách (obr. 44). Rozložení jednotlivých výstřížků na tabuli plechu je jedním z nejdůležitějších parametrů a vzhledem k jejich rozměrnosti bude nejprve nutné nastříhat tabule či svitek na menší segmenty a z těch potom bude vyráběn polotovar na kotoučových nůžkách. V tabulce 8 jsou zaneseny uvažované varianty a jejich velikosti.



Obr. 44 Kotoučové nůžky [31]

Tabulka 8 Uvažované varianty

Varianta A	Varianta B	Varianta C	Varianta D
Tabule	Tabule	Tabule	Svitok
1,5x1000x2000	1,5x1250x2500	1,5x1500x3000	1,5x1000x20000

Jednotlivé varianty, u kterých je třeba určit procentuální využití plechu:

- Varianta A – tabule plechu (A x B) 1,5x1000x2000. Vzhledem k šířce pásu (obr.45) bude z tabule vyroben pouze jeden pás  $n_p = 1$ .

Počet výstřížků z pásu ‘ $i_p$ ’:

$$I_p = \frac{B}{K} = \frac{2000}{1000} = 2 \text{ výstřížky}$$

kde: K – délka segmentu [mm]

Počet výstřížků vyrobených z jednoho pásu plechu je 2. Celkový počet přístřihů z jedné tabule plechu se stanoví jako součin počtu pásů a počtu přístřihů.

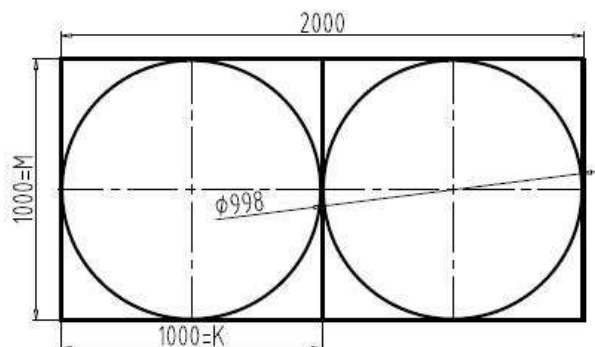
$$I_t = n_p \cdot I_p = 1 \cdot 2 = 2 \text{ výstřížky}$$

Celkově budou z jedné tabule plechu o rozměrech 1,5x1000x2000 vyrobeny 2 přístřihy. Procentuální využití se stanoví dle vzorce:

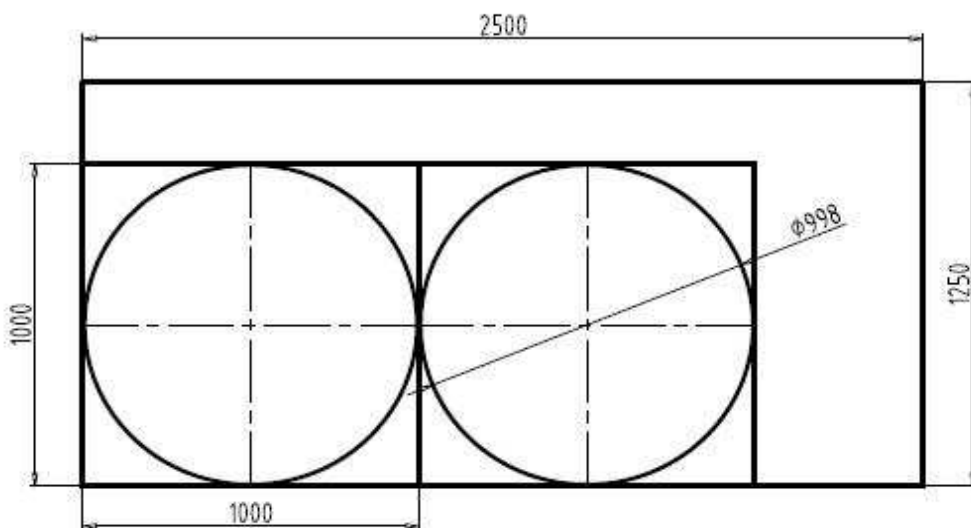
$$\mu = \frac{I_t \cdot S_{př}}{S_t} \cdot 100 = \frac{2 \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4}}{A \cdot B} \cdot 100 = \frac{2 \cdot \frac{\pi \cdot 998^2}{4}}{1000 \cdot 2000} \cdot 100 = 78,22 \%$$

Z tabule o velikosti 1,5x1000x2000 budou vyrobeny 2 rondele, přičemž bude potřeba 10 000 kusů tabulí. Celkové využití materiálu je přibližně 78 %.

- Varianta B – tabule plechu (A x B) 1,5x1250x2500. Na obrázku 46 je vidět rozložení výstřížků.



Obr. 45 Rozložení výstřížků (varianta A)



Obr. 46 Rozložení výstřížků (varianta B)

Počet pásů z jedné tabule ‘ $n_p$ ’:

$$n_p = \frac{A}{M} = \frac{1250}{1000} = 1,25 \text{ pásu}$$

kde: M – délka segmentu [mm]

Dle výpočtu je patrné, že z jedné tabule bude vyroben jeden pás plechu.

Počet výstřížků z pásu 'i<sub>p</sub>':

$$I_p = \frac{B}{K} = \frac{2500}{1000} = 2,5 \text{ výstřížku}$$

Počet výstřížků vyrobených z jednoho pásu plechu je 2. Celkový počet přístřihů z jedné tabule plechu se stanoví jako součin počtu pásů a počtu přístřihů.

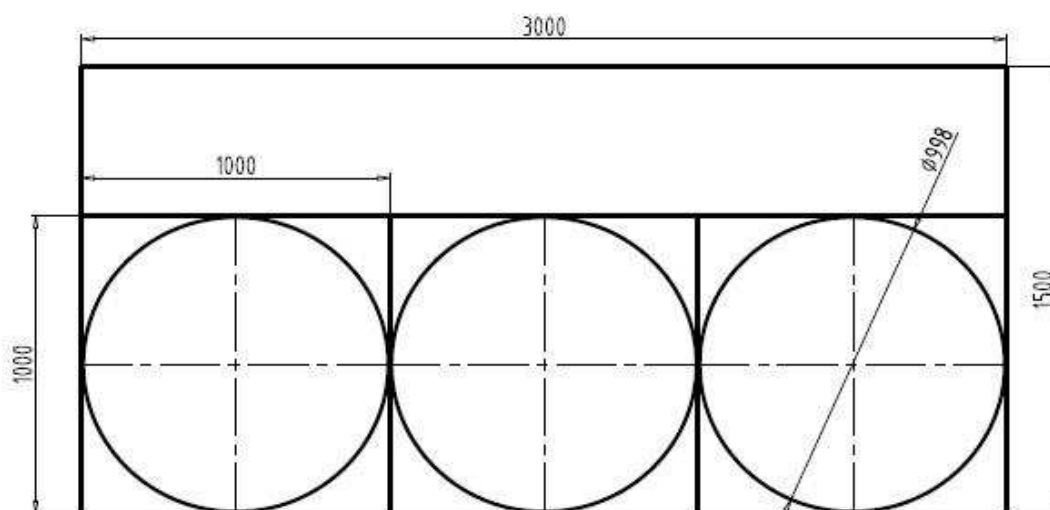
$$I_t = n_p \cdot I_p = 1 \cdot 2 = 2 \text{ výstřížky}$$

Z jedné tabule plechu o velikosti 1,5x1500x3000 budou vystříženy 2 polotovary. Využití tabule 'μ' se stanoví dle vzorce:

$$\mu = \frac{I_t \cdot S_{př}}{S_t} \cdot 100 = \frac{2 \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4}}{A \cdot B} \cdot 100 = \frac{2 \cdot \frac{\pi \cdot 998^2}{4}}{1250 \cdot 2500} \cdot 100 = 50,3 \%$$

Procentuální využití tabule o velikosti 1,5x1250x2500, ze kterého se vyrobí 2 výstřížky plechu je 50,3 %. Celkový počet potřebných tabulí pro výrobu 20 000ks dřezů je 10 000ks.

- Varianta C – tabule plechu (A x B) 1,5x1500x3000. Výpočet pro tuto variantu (obr. 47) je stejný jako pro předchozí variantu.



Obr. 47 Rozložení výstřížků (varianta C)

Počet pásů z jedné tabule 'n<sub>p</sub>':

$$n_p = \frac{A}{M} = \frac{1500}{1000} = 1,5 \text{ pásu}$$

Z dané tabule lze vyrobit pouze jeden pás plechu.

Počet výstřížků z pásu 'i<sub>p</sub>':

$$I_p = \frac{B}{K} = \frac{3000}{1000} = 3 \text{ výstřížky}$$

Počet výstřížků vyrobených z jednoho pásu plechu je 3.

Celkový počet přístřihů z jedné tabule plechu se stanoví jako součin počtu pásů a počtu přístřihů.

$$I_t = n_p \cdot I_p = 1 \cdot 3 = 3 \text{ výstřížky}$$

Z jedné tabule plechu o velikosti 1,5x1250x2500 budou vystříženy 2 polotovary.

Využití tabule ( $\mu$ ) se stanoví dle vzorce:

$$\mu = \frac{I_t \cdot S_{př}}{S_t} \cdot 100 = \frac{3 \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4}}{A \cdot B} \cdot 100 = \frac{3 \cdot \frac{\pi \cdot 998^2}{4}}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = 52,15 \%$$

Procentuální využití tabule o velikosti 1,5x1500x3000, ze kterého se vyrobí 2 výstřižky plechu je 52,15 %. Celkový počet potřebných tabulí pro výrobu 20 000ks dřezů je 10 000ks.

- Varianta D – přístřih bude vyráběn ze svitku plechu. Nástřihový plán pro svitek je stejný, jako pro vystřihování přístřihu z tabulí plechu. Využití materiálu při této variantě se vypočítá z délky kroku a ze zbytkového materiálu. Procentuální využití se počítá dle vztahu:

$$\mu_s = \frac{S_{př}}{S_u} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot D_p^2}{4}}{M \cdot K} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot 998^2}{4}}{1000 \cdot 1000} \cdot 100 = 78,22 \%$$

Potřebná délka svitku:

$$l_s = 1000 \cdot 20\,000 = 20\,000\,000 \text{ [mm]} = 20\,000 \text{ [m]}$$

Tabulka 9 Shrnutí procentuálního využití

Varianta	A	B	C	D
Typ	Tabule	Tabule	Tabule	Svitek
Rozměry [mm]	1.5x1000x2000	1.5x1250x2500	1.5x1500x3000	1.5x1000x20000
Využití [%]	78,22	50,3	52,15	78,22

Z výsledků, které jsou zaneseny v tabulce 9 je patrné, že nejlépe vychází varianty A a D, u kterých je využití materiálu shodné 78,22 %. Z tabule B je vyrobeno stejné množství přístřihů jako z A, avšak využití materiálu je pouze 50,3 %. Lépe vychází C, která má využití 52,15 %. Pro výrobu 20 000 kusů přístřihů by bylo nutné použít 10 000 tabulí nebo 5 svitků o délce 2 000 metrů. Vzhledem k tomu, že výrobní závod obsahuje zařízení na odvíjení a rovnání plechu, byla zvolena varianta výroby přístřihů ze svitku (obr. 48). Výhodná by byla i možnost výroby z plechu, avšak by bylo nutné připočítat čas na manipulaci s tabulemi a tím by se celý výrobní proces značně prodloužil. Využití materiálu je přibližně 78 %, což znamená, že při výrobě polotovarů touto metodou bude nejmenší objem odpadu, což je důležité pro úsporu materiálu. Výhodou svitků je, že se dodávají v různých délkách a šířkách.



Obr. 48 Svitek plechu [22]

### 3.4 Technologické výpočty

Při navrhování výroby dřezu a konstrukci tažného nástroje je velmi důležité znát základní parametry. Do této kategorie patří zejména geometrické rozměry zadané součásti a v neposlední řadě také rozměry jednotlivých částí tažného nástroje. Pro konstrukci nástroje je nutné znát zejména tažnou mezeru, tažnou sílu a práci. Základní technologické výpočty:

- Tažná mezera (obr. 49) – pro stanovení velikosti lze použít více způsobů.

- Dle normy ČSN 22 7301 (2.8):

$$z = 1,2 \cdot t = 1,2 \cdot 1,5 = 1,8 \text{ [mm]}$$

Koeficient byl zvolen 1,2.

- Dle Oehlera (2.10):

$$\begin{aligned} z &= t_{\max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot t} \\ &= 1,5 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot 1,5} \\ &= 1,77 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

Koeficient k byl zvolen 0,07.

- Dle tabulky 4 je pro tloušťku plechu 1,5 mm tažná vůle  $z = 1,75 \text{ mm}$

Velikost tažné vůle vyšla dle všech variant přibližně stejně, proto bude její velikost zvolena 1,8 mm.

- Použití přidržovače – v některých případech tažení hrozí vznik vln na přírubě součásti. Aby se tomuto jevu předešlo posuzuje se nutnost použití přidržovače (obr. 50).

- Dle normy ČSN 22 7301 se posuzuje velikost koeficientu  $u$ , který určuje nutnost využití přidržovače. Ve výpočtu figuruje materiálová konstanta 'j', která se pro ocel volí 1,9. Použití se posuzuje dle vzorců (2.11):

$$\begin{aligned} u &= 50 \cdot \left( j - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D}} \right) \\ &= 50 \cdot \left( 1,9 - \frac{\sqrt{1,5}}{\sqrt[3]{770}} \right) \\ &= 88,31 \text{ [-]} \end{aligned}$$

Tažení s přidržovačem dle vzorce (2.12):

$$u \geq \frac{100 \cdot d}{D} = \frac{100 \cdot 510}{770} = 66,23 \text{ [-]}$$

V tomto případě, kdy koeficient 'u' splňuje podmínku  $88,31 \geq 66,23$ , je dle výsledků patrné, že při jednooperačním tažení zadané součásti je nutné přidržovač použít, aby nedošlo ke zvlnění okrajů příruby.

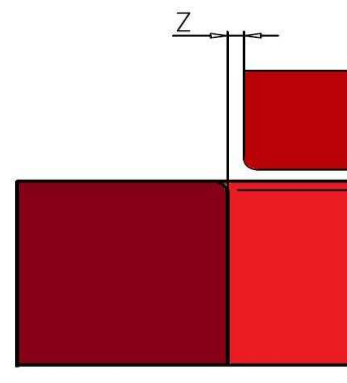
- Použití přidržovače dle Šofmana – doporučuje se použití přidržovače při splnění podmínky (2.14):

$$D - d \leq 18 \cdot t$$

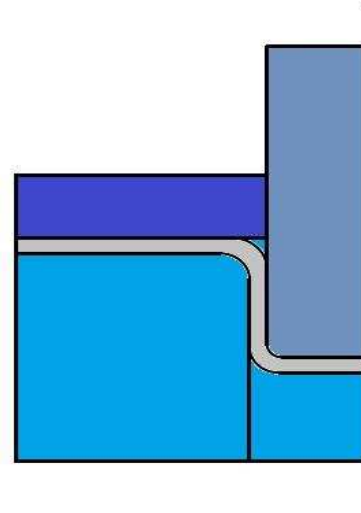
$$770 - 510 \leq 18 \cdot 1,5$$

$$260 \leq 27$$

Dle Šofmana je použití přidržovače nezbytné.



Obr. 49 Tažná mezera [29]



Obr. 50 Použití přidržovače [10]

Dle Freidlinga – pro tuto metodu je vzorec (2.15):

$$\Delta t = \frac{t}{D} \cdot 100 = \frac{1,5}{770} \cdot 100 = 0,19$$

Vzhledem k tomu, že dle Freidlinga vyšel koeficient  $\Delta t < 1,5$ , je použití přidržovače doporučené.

Výsledky všech 3 metod prokázaly, že je nutné využít přidržovač, aby bylo zabráněno tvorbě vln v oblasti příruby. Použití brzdných žeber, vzhledem k velikosti součásti, bude posuzováno experimentálně a simulací.

- Výpočet potřebné tažné síly a práce – celková síla se určí jako součet všech jednotlivých dílčích sil.

- Kritická síla – v procesu tažení je důležité znát maximální sílu, při které dochází k deformaci dna výtažku a jeho utržení. Výpočet síly, která je potřeba na utržení dna výtažku, se provádí dle vzorce (2.16):

$$F_{\text{crit}} = \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m = \pi \cdot 510 \cdot 1,5 \cdot 720 = 1\,730\,389 \text{ [N]}$$

Při překročení kritické síly  $F = 1\,730\,389 \text{ N}$  dojde k utržení dna výtažku.

- Přidržovací síla – při použití příliš malé síly by docházelo ke zvlňování příruby a v opačném případě by tato síla zabraňovala vtahování přístřihu což by mělo za následek zvětšování potřebné tažné síly. Počítá se dle vzorce (2.17):

$$F_p = S_p \cdot p = 261\,248 \cdot 2 = 522\,496 \text{ [N]}$$

$$S_p = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (770^2 - 510^2) = 261\,248 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Přidržovací tlak se volí experimentálně nebo z tabulky. Pro korozivzdornou ocel byl zvolen 2 MPa. Přidržovací síla byla stanovena na 522 496 N.

- Maximální tažná síla dle Šofmana – síla se vypočte dle vzorce (2.18):

$$F_t = \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m \cdot c = \pi \cdot 510 \cdot 1,5 \cdot 720 \cdot 1 = 1\,730\,389 \text{ [N]}$$

Součinitel  $c$  vyjadřuje vliv součinitele tažení s přihlédnutím k poměrné tloušťce  $t/D_0$ . Součinitel je zanesen v tabulce 5. Pro součinitel tažení  $m = 0,48$  je velikost součinitele  $c = 1$ . Pro jednooperační byla velikost koeficientu zvolena  $c = 1$ , proto velikost tažné síly dle Šofmana je stejná jako síla kritická.

- Tažná síla – vychází z podmínky plasticity a rovnováhy sil. Nejprve je nutné vypočítat největší hodnotu membránového napětí dle vzorce (2.20):

$$\begin{aligned} \sigma_\rho &= 1,15 \cdot Re \cdot \left( \ln \frac{R}{r_s} + \frac{F_p \cdot f}{\pi \cdot Re \cdot t \cdot R} + \frac{t}{2 \cdot (r_{te} + t)} \right) \cdot (1 + 1,6 \cdot \mu) \\ &= 1,15 \\ &\cdot 320 \left( 1,1 \cdot \ln \frac{740,5}{256,5} + \frac{522\,496 \cdot 0,1}{\pi \cdot 320 \cdot 1,5 \cdot 740,5} + \frac{1,5}{2(10 + 1,5)} \right) \\ &\cdot (1 + 1,6 \cdot 0,3) = 638,4 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

Úhel opásání tažné hrany je  $\pi/2$  a  $R = 0,75 \cdot D_0$ . Koeficient tření byl určen pro danou operaci  $f = 0,1$ . Lodeho součinitel má pro tažení velikost  $\beta = 1,1$ . Poté se tažná síla vypočte dle vzorce (2.19):

$$F = \pi \cdot d \cdot t \cdot \sigma_z = \pi \cdot 510 \cdot 1,5 \cdot 638,4 = 1\,534\,278 \text{ [N]}$$

Tažná síla je 1 534 278 N.

- Síla od vyhazovače – stanoví se jako síla potřebná k vyhození součásti z dutiny tažnice. V tomto případě působí vyhazovací síla až po dokončení tažné operace, kdy se beran lisu vrátí do horní polohy, proto bude při výpočtu celkové tažné síly nulová.

Celková síla je stanovena jako součet přidržovací, vyhazovací a skutečné. V tomto případě působí přidržovač proti tažníku, proto musí být připočtena do celkové. Pro výpočet bude použita tažná síla dle Šofmana, která má také stejnou velikost jako kritická. Celková se stanoví se dle vzorce (2.21):

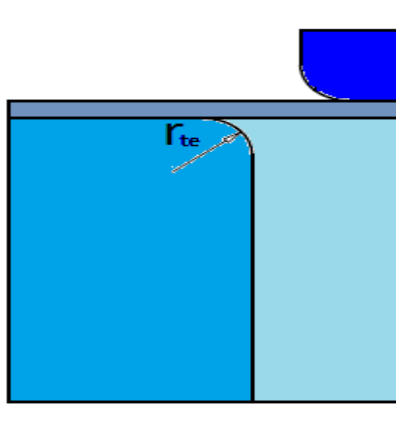
$$F_{tc} = F_t + F_p + F_v = 1\,730\,389 + 522\,496 + 0 = 2\,252\,885 \text{ [N]}$$

Tažná práce – výpočet tažné práce se stanoví ze vztahu (2.22):

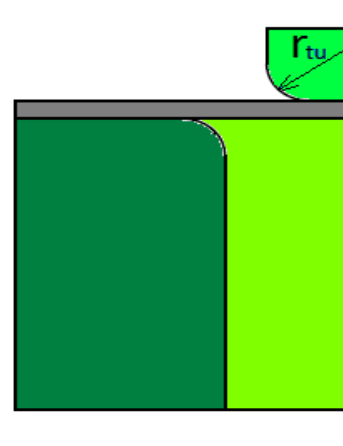
$$A_t = \frac{(C \cdot F_{tc} \cdot h)}{1000} = \frac{(0,6 \cdot 2\,252\,885 \cdot 165)}{1000} = 223\,035 \text{ [kJ]}$$

Koeficient C byl zvolen 0,6. Byla spočítána celková tažná síla potřebná k vytvoření výtažku 2 252 885 N a celková tažná práce 223 035 kJ.

- Poloměr zaoblení tažníku a tažnice:
  - Zaoblení tažnice (obr. 51):
    - Dle normy 22 7301 se poloměr zaoblení tažnice stanovuje dle vzorce (2.24):
 
$$r_{te} = (6 \text{ až } 10) \cdot t = 6 \cdot 1,5 = 9 \text{ [mm]}$$
    - Velikost zaoblení poloměru se stanovuje dle vzorce (2.25):
 
$$r_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{t \cdot (D_0 - d)} = 0,8 \cdot \sqrt{1,5 \cdot (770 - 510)} = 15,79 \text{ [mm]}$$
  - Zaoblení tažníku – tvar tažníku a jeho zaoblení (obr. 52) je dáno geometrií výtažku, proto se v tomto případě nepočítá a jeho velikost je  $r_{tu} = 20 \text{ mm}$ .



Obr. 51 Zaoblení tažné hrany [22]



Obr. 52 Zaoblení tažníku [22]

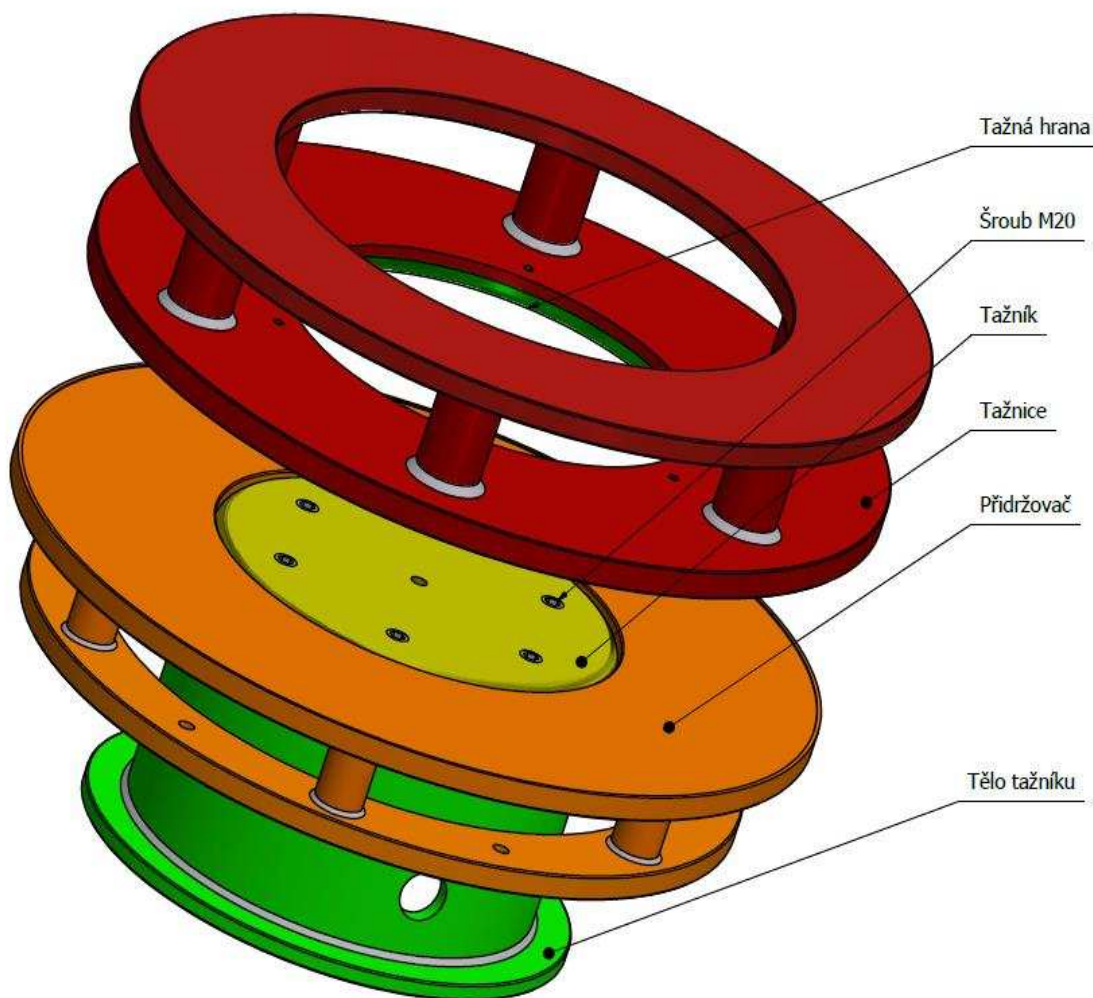
Zaoblení dřezy v oblasti pod přírubou je stanoveno na 10 mm. Dle prvního vzorce je patrné, že by bylo vhodné využít větší poloměr zaoblení při navrhování rozměrů dřezy. Dle normy je poloměr zaoblení v pořádku a lze jej vyrobit. Vzhledem k nejednotnosti výsledků je doporučeno velikost zaoblení tažnice vyzkoušet experimentálně. V případě, že by docházelo k poškození výtažku díky malému zaoblení, bude třeba tento rozměr zvětšit.

### 3.5 Návrh tažného nástroje

Vývoj tažného nástroje je jeden z nejdůležitějších parametrů výrobního procesu, při kterém je bezpodmínečně nutné řídit se vypočtenými hodnotami. Základní vstupní parametr je průměr výchozího polotovaru 998 mm, přičemž celková hloubka tažené součásti je 165 mm. Nástroj bude vyvinut pro jednooperační tažení a výpočty také ukázaly, že bude nutné použít přídržovač. V případě, že by docházelo ke zvlňování příruby, by bylo nutné upravit koncepci tažného nástroje a přidat brzdná žebra, popřípadě modifikovat tvar výtažku. Sestava tažného nástroje se dělí na 2 hlavní části, a to horní a dolní. Výkresová dokumentace je k nalezení v přílohách.



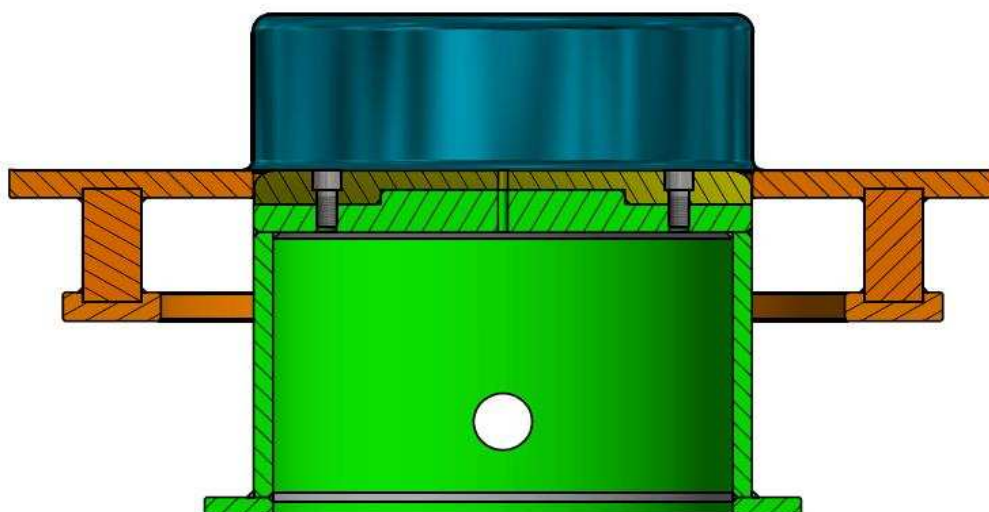
Obr. 54 T – drážky [4]



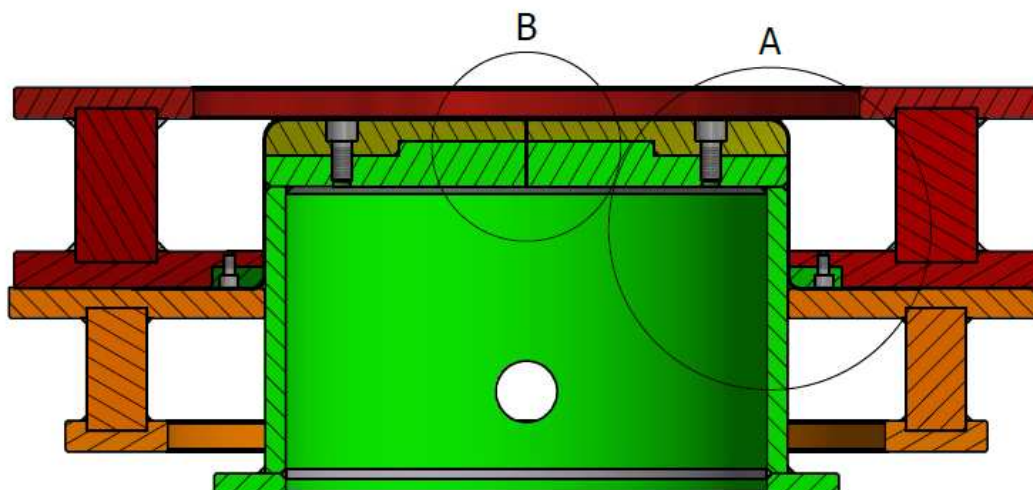
Obr. 53 Tažný nástroj

Celý tažný nástroj je zobrazen na obrázku 54. Skládá se z horní a dolní poloviny, přičemž horní polovina je pohyblivá a upíná se k beranu lisu. Spodní část se skládá z tažníku a přídržovače. Tažník je pevně upevněn na desku lisu a přídržovač je upevněn k vyhazovacím tyčím. Do přídržovače se vloží přístřih, který je následně vystředěn pomocí vybraní. Poté se

postupně začne spouštět beran lisu. Při kontaktu horní a dolní části začne vyhazovací systém působit protitlakem proti horní části a bude vyvolávat potřebnou přidržovací sílu. Postupným svíráním tažného nástroje dojde k postupnému nabalování přístřihu na tažník do doby, než je zhotoven celý tvar výtažku. Po dokončení celé tažné operace odjede beran lisu do horní úvratě, následuje zdvih přidržovače a tím také vysouvání výtažku. V horní poloze lze výtažek jednoduše odebrat z nástroje. Rozevřený nástroj s výtažkem je zobrazen na obrázku 55 a na obrázku 56 je znázorněn nástroj v sevřeném stavu s již vyrobeným výtažkem.

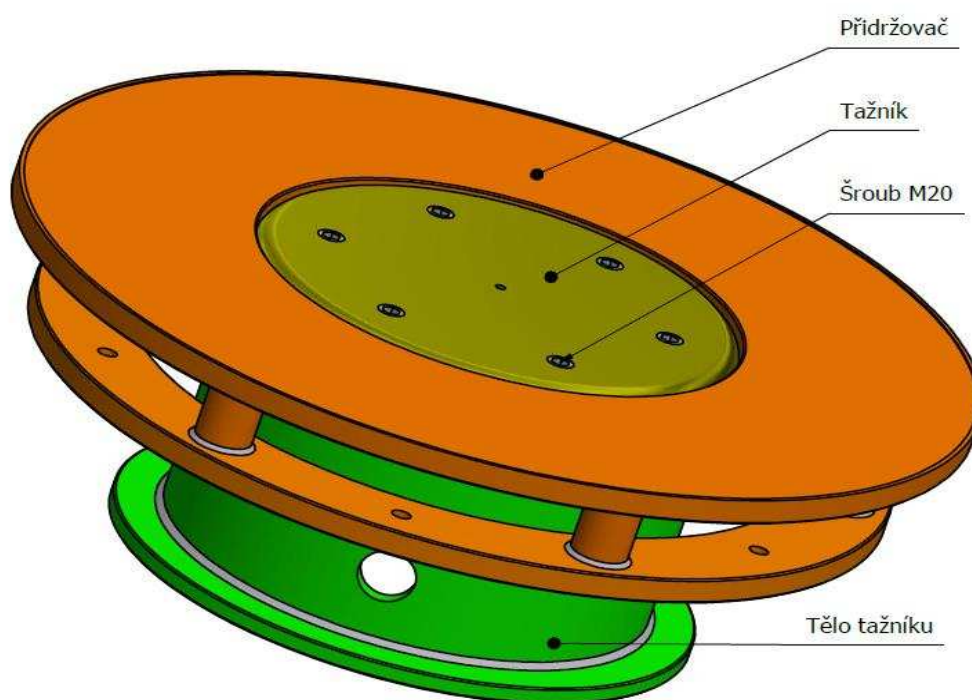


Obr. 55 Nástroj s výtažkem



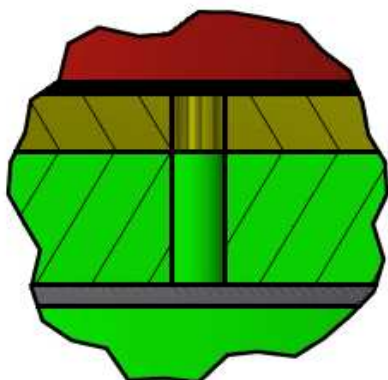
Obr. 56 Sevřený nástroj

Spodní část tažného nástroje (obr. 57) se skládá z tažníku, svařovaného těla tažníku a svařovaného přídržovače. Tažník je zhotoven ze dvou částí, jejichž poloha je vymezena pomocí osazení (obr. 56) a jsou k sobě sešroubovány pomocí šesti šroubů M20. Funkční část tažníku, která musí být odolná proti otěru a velice pevná, je vyrobena z oceli 19 436.9 a její povrch bude broušen a leštěn na  $Ra = 0,2$ . Tělo tažníku a přídržovač bude z úsporných důvodů vyroben z konstrukční oceli 11 373, u které je zaručená svařitelnost. Přídržovač bude upnutý k vyhazovacím tyčím stroje pomocí šesti zapuštěných šroubů a tím bude vymezena jeho poloha. Jeho součástí je také zhotovené vybrání, které slouží jako středící kroužek pro přístřih. Položením přístřihu do vybrání dojde k vystředění přístřihu a jeho ustavení v tažném nástroji.

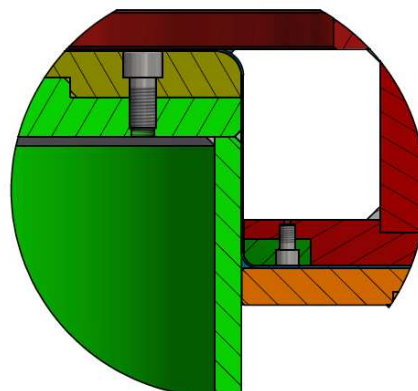


Obr. 57 Spodní část tažného nástroje

V čele tažníku je zhotovený otvor (obr. 58), který slouží k odvádění vzduchu z prostoru mezi tažníkem a tažnicí. Kdyby zde otvor nebyl, docházelo by při vysouvání přídržovače do výchozí polohy ke vzniku podtlaku mezi výtažkem a tažníkem. Na bocích těla tažníku jsou zhotoveny otvory (obr. 55), které slouží jako odvzdušňovací, ale také jako manipulační. Na obrázku 59 je znázorněn detail sevřeného nástroje a šroubových spojů.



Obr. 58 Detail odvzdušňovacího otvoru



Obr. 59 Detail sevřeného nástroje

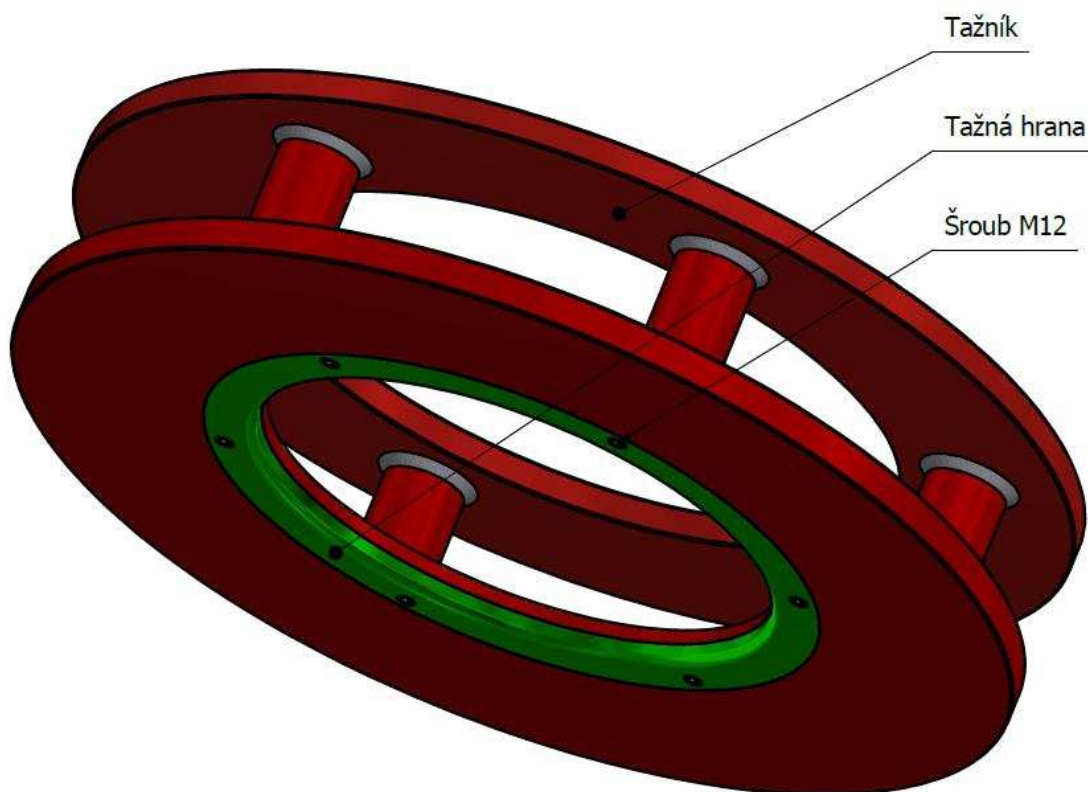


Obr. 61 Detail upevnění tažnice

nástrojové oceli 19 436.9. Oproti celistvé tažnici je tato varianta mnohem lehčí. Tažná hrana je vysoce namáhána na otěr, proto je důležité jí zhotovit z kvalitního materiálu. Povrch bude broušen a leštěn na  $Ra = 0,2 \mu\text{m}$ .

Horní část tažného nástroje je zobrazena na obrázku 61 a skládá se z vložky a tělesa tažnice. Upíná se k beranu lisu pomocí T – drážek a upínek. Vložka je do tažnice zalisována a poté také zajištěna pomocí šesti šroubů (obr. 60). Těleso tažnice je zhotoveno ze dvou částí, mezi

kterými jsou navařeny sloupky. Je vyrobeno z levnější konstrukční oceli 11 373 a tažná vložka z legované



Obr. 60 Horní část tažného nástroje

Během tažného procesu dochází ke stlačování nástroje, přičemž se také stlačuje vzduch v prostoru mezi tažnicí a deskou stolu, ke které je tažnice upnutá. Vzhledem k tomu, že je upínací plocha tažnice v kontaktu s upínací plochou lisu, je vhodné tento prostor odvzdušnit. V tomto případě je odvzdušnění realizováno mezerou mezi jednotlivými částmi tažnice a také pomocí T-drážek v desce beranu lisu.

Důležitým parametrem při tažení korozivzdorné oceli je volba správného typu maziva, které pomocí vytvořeného filmu na povrchu součásti zabraňuje přímému styku taženého materiálu s tažnicí. S přihlédnutím k požadavkům bylo zvoleno mazivo RENOFORM 2755, které má dobré mazací vlastnosti, dobrou adhezi k povrchu a zvýšenou odolnost proti vyšším teplotám, které vznikají během tažného procesu.

### 3.6 Volba stroje [13], [32]

Výběr správného stroje se řídí několika zákonitostmi. Mezi nejdůležitější patří velikost vyráběné součásti a nástroje, na kterém se bude vyrábět. Stroj musí splňovat vypočtené silové parametry. Je velice důležité vybrat takový lis, který má dostatečnou jmenovitou sílu, zdvih a dostatečně velký pracovní prostor lisu. Zdvih musí být přinejmenším takový, aby bylo možné vyndat výtažek z nástroje.

Pro výrobu zadané součásti byl zvolen hydraulický dvojčinný lis čtyřmi vodícími sloupy YL32 – 400 a je zobrazený na obrázku 62. Je vhodný pro lisování plechu a výrobu složitějších hlubokotažných výlisků. Tento lis je kontrolován elektrickým PLC softwarem, který umožňuje jednoduchou manipulaci. Má vysokou pracovní rychlost, nastavitelný tlak a přítlačnou sílu. Stroj pracuje spolehlivě při vysokorychlostním provozu a vyznačuje se vysokou energetickou účinností. Parametry lisu jsou zaneseny v tabulce 10.



Obr. 62 Hydraulický lis YL32 – 400 [23]

Tabulka 10 Vlastnosti dvojčinného lisu YL32 - 400 [32]

Tažná síla	4 000	kN
Vyhazovací síla	630	kN
Maximální výška	1 250	mm
Maximální zdvih beranu	800	mm
Příkon stroje	20	kW
Hmotnost	16 500	kg
Zdvih vyhazovače	300	mm
Tažná rychlost	4-10	mm/s
Vyhazovací rychlost	55	mm/s
Rozměry upínací desky stolu	1 250x1 250	mm
Vnější rozměry	3500x1600x4 850	mm

### 3.7 Simulace tažení

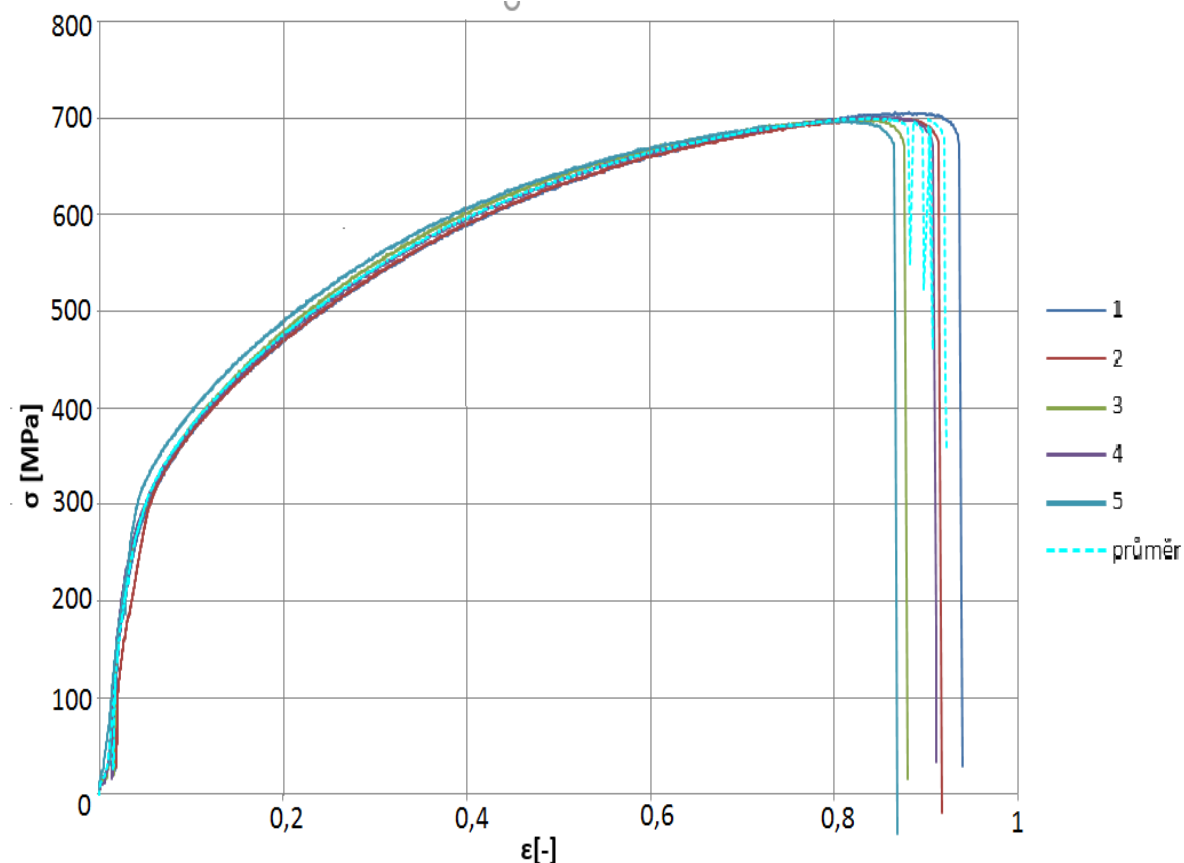
Pro zvolenou variantu tažení a pro kontrolu vyrobiteľnosti byla provedena simulace v programu ANSYS, který využívá metodu konečných prvků. Pro simulaci je nutné nejprve namodelovat situaci v pracovním prostředí. Poté se nanese síť, která slouží k popisu jednotlivých veličin jako je deformace, napětí, ztenčení a další. V kritických místech, jako je zaoblení tažnice a tažníku, se síť zjemňuje. Kvůli zjednodušení výpočtů a symetrickému tvaru nástroje byl celý model rozdělen a simulace proběhla pouze s 1/4. Parametry vstupující do simulace:

- tvar a rozměr přístříhu
- geometrie tažníku a tažnice
- materiálové charakteristiky oceli 1.4301
- součinitel tření  $f=0,1$
- přidržovací síla  $F_p = 522\,496\text{ N}$

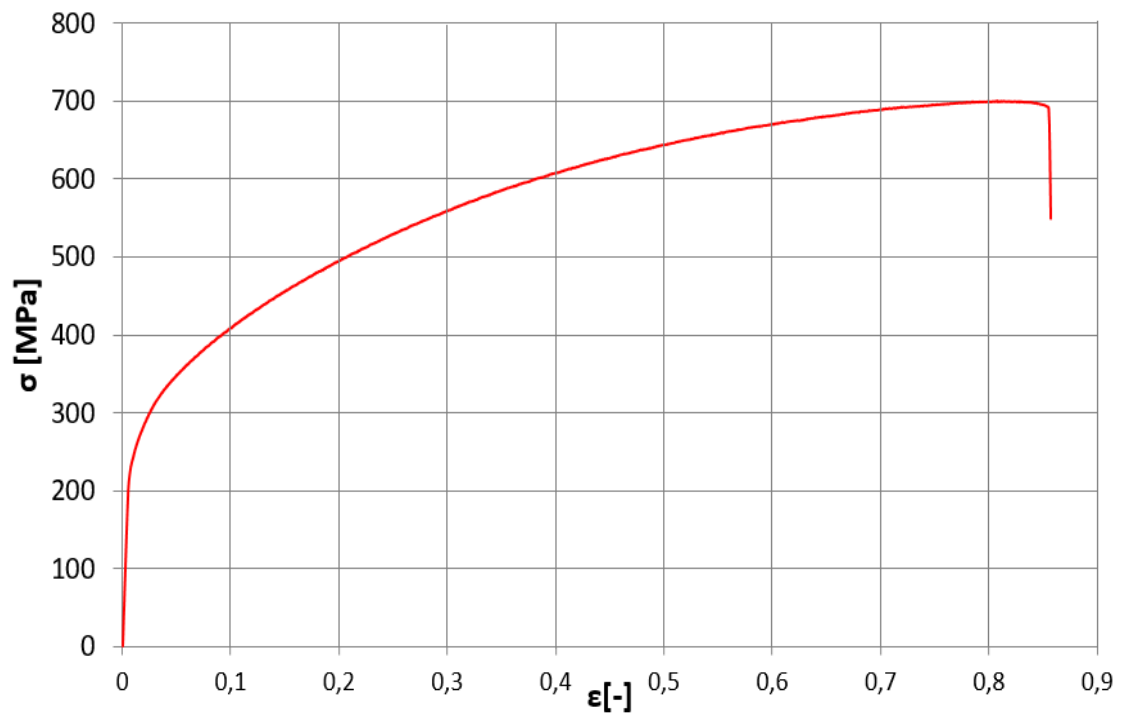
Vstupními daty materiálového modelu byla tahová zkouška oceli 1.4301. Byla použita data z 5 tahových zkoušek (obr. 63), která byla následně zprůměrována a dosazena do simulace (obr. 64). Zprůměrované hodnoty, které byly použity pro výpočet simulace jsou uvedeny v tabulce 11.

Tabulka 11 Vstupy do simulace

$F_m$ [N]	$R_{p0.2}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$A$ [%]	$E$ [GPa]	$P$ [kg/m <sup>3</sup> ]
8756,72	290,91	700,5376	49,75	199	7900

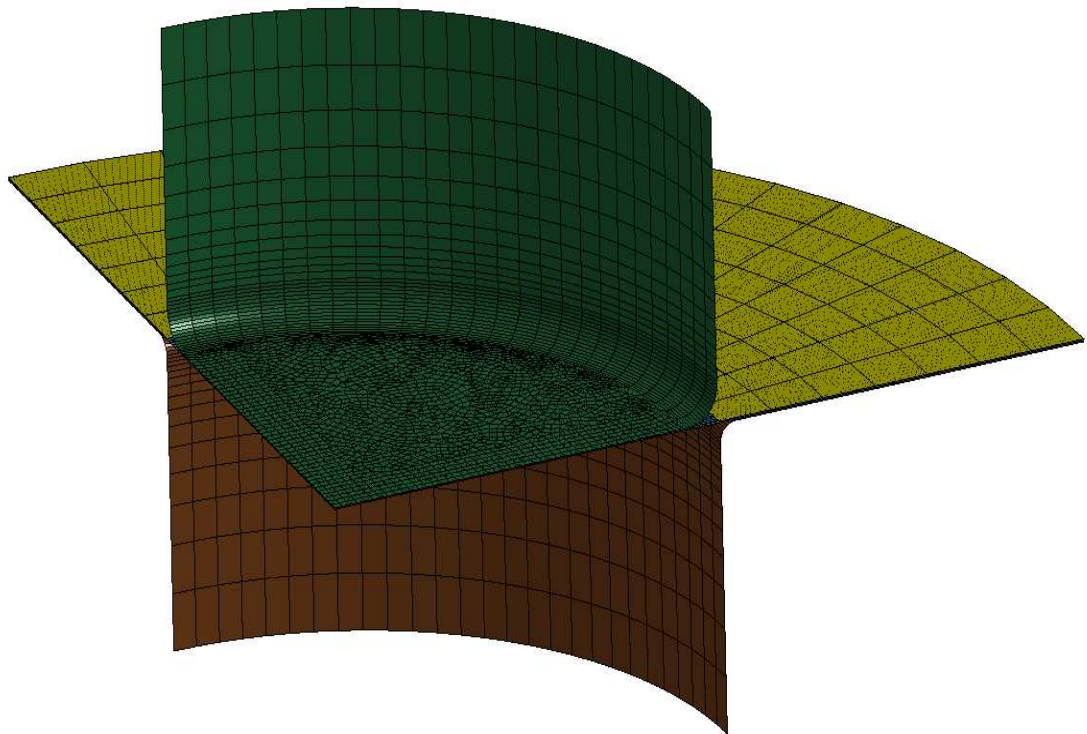


Obr. 63 Tahové zkoušky

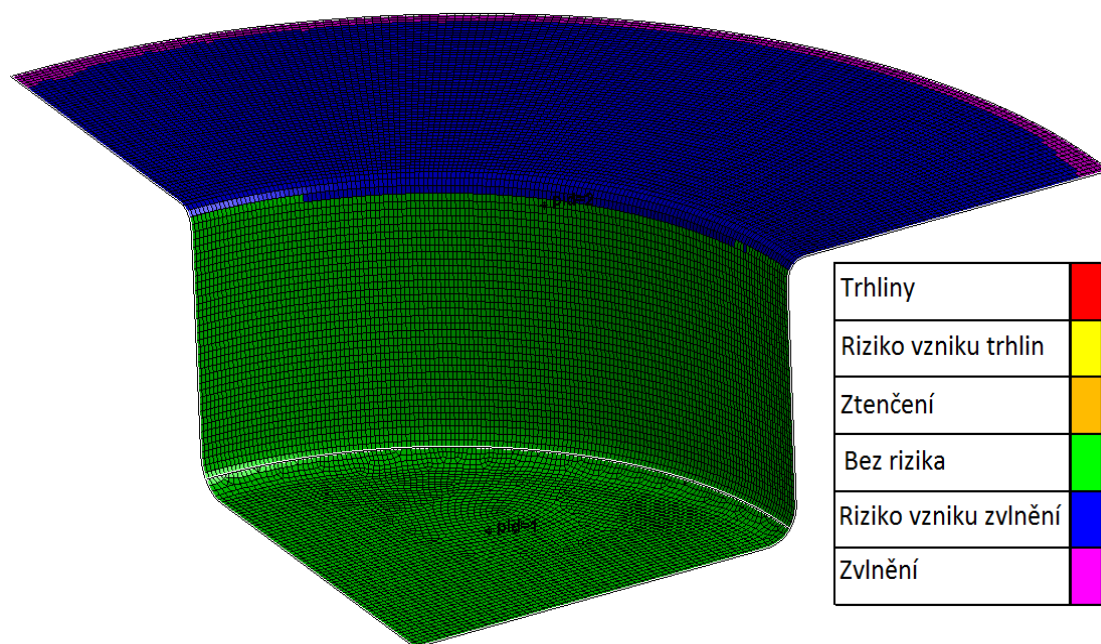


Obr. 65 Zprůměrované hodnoty

Na obrázku 65 je znázorněn původní stav před simulací. Model se skládá z tažníku, tažnice, plechu a přidržovače, který je zneviditelněný, aby byla lépe vidět síť na výchozím polotovaru.

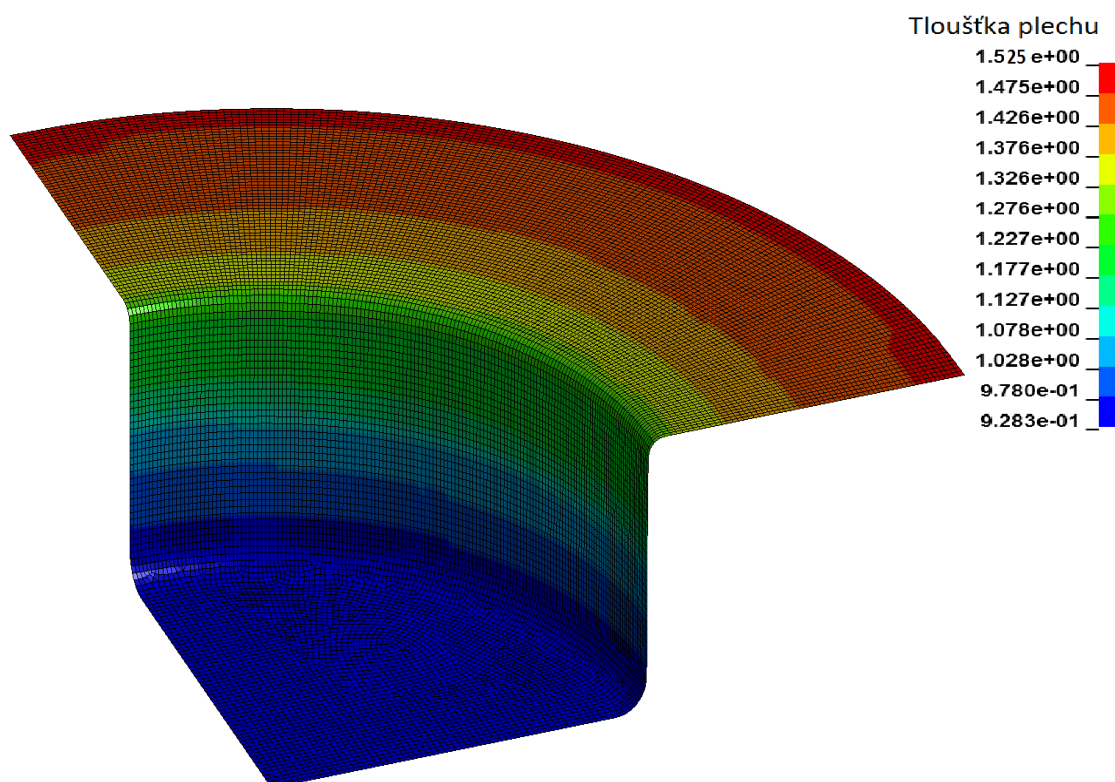


Obr. 64 Původní stav



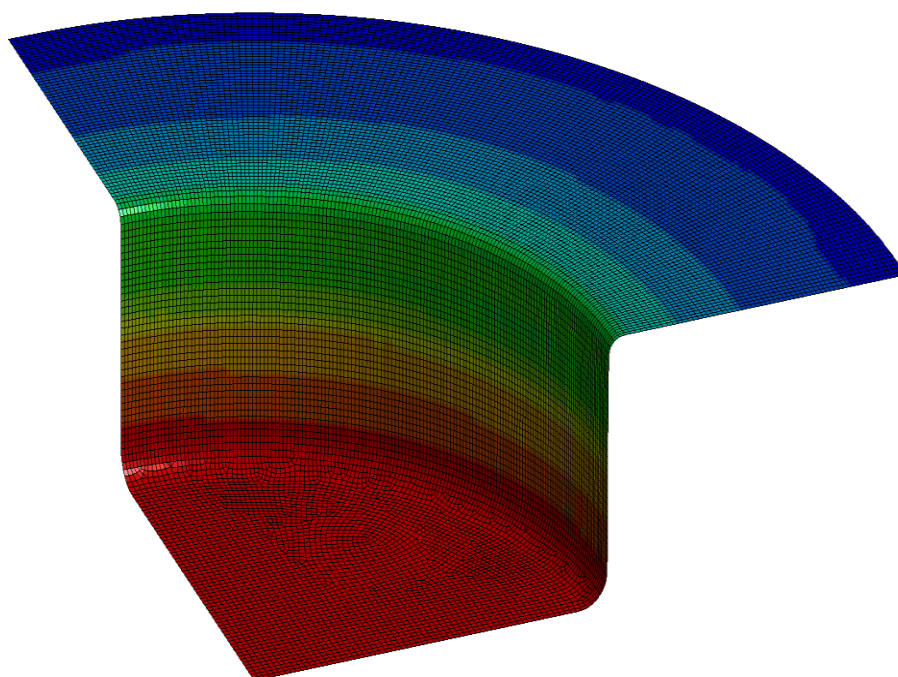
Obr. 67 Konečný stav

Na obrázku 66 je znázorněn konečný stav po ukončení simulace. Podle výsledků simulace je oblast dna, zaoblení u dna a stěna výtažku bez rizika vzniku trhlin a zvlnění. Naopak v přírubě je riziko vzniku zvlnění a dle simulace dochází ke vzniku zvlnění v okraji přírubky (fialová oblast)



Obr. 66 Tloušťka plechu

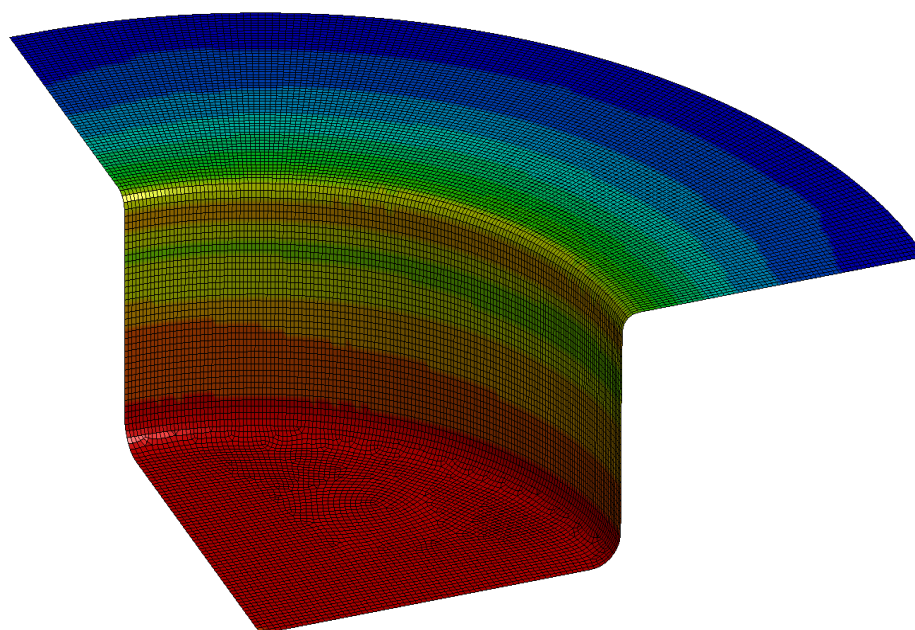
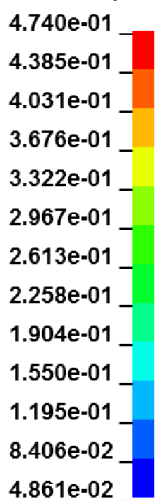
Procento ztenčení



Obr. 68 Ztenčení stěny

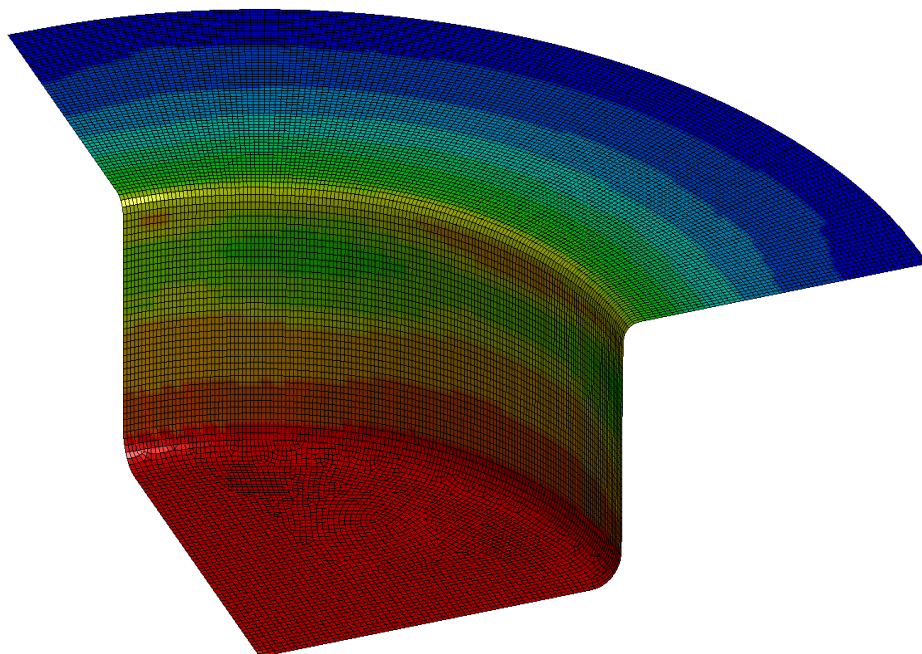
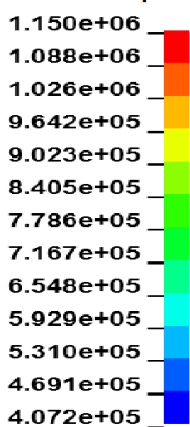
Obrázek 67 ukazuje tloušťku plechu výtažku. Největší hodnoty dosahuje v přírubě 1,525 mm a nejmenší jmenovitá tloušťka ve dně je 0,93 mm. V přírubě součásti dochází k napěchování materiálu o 2,3 % a jeho tloušťka se na okraji zvětší o 0,025 mm. Ztenčení materiálu (obr. 68) dosahuje nejvyšší hodnoty 37 % ve dně součásti.

Efektivní plastické přetvoření



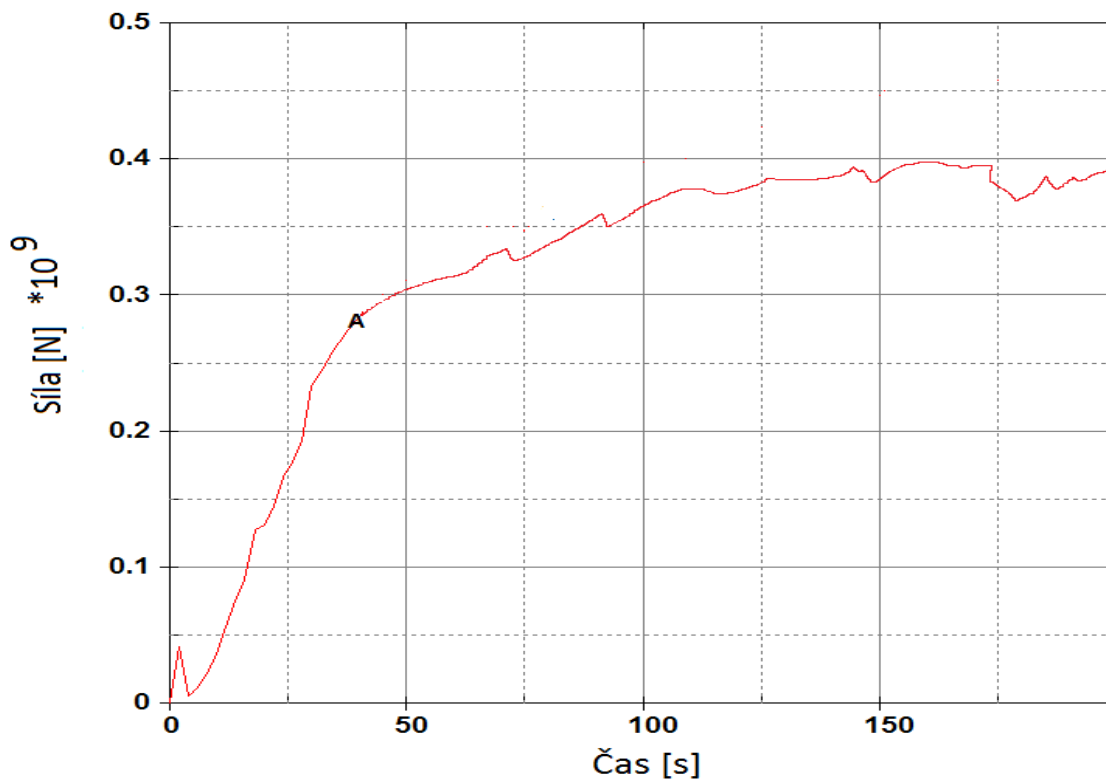
Obr. 69 Plastické přetvoření

### Efektivní napětí

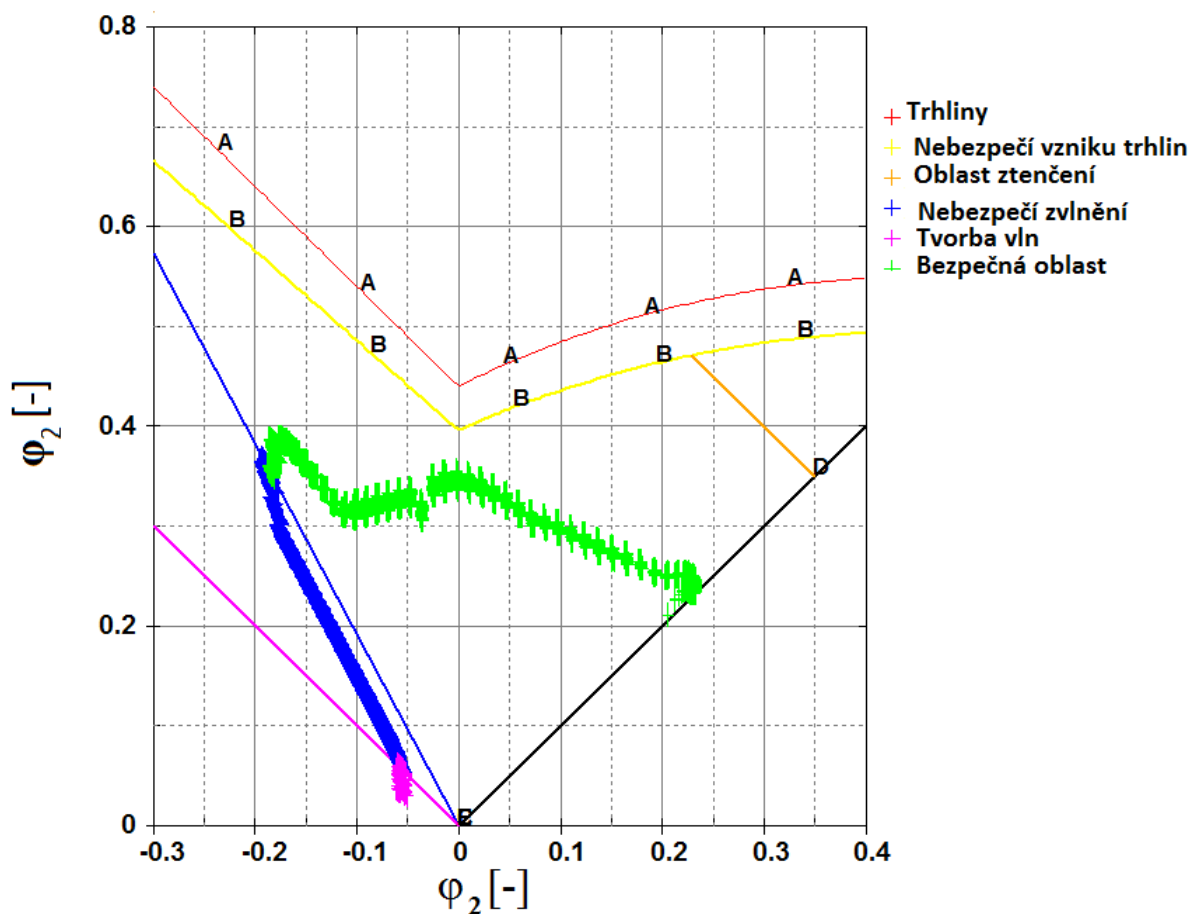


Obr. 70 Efektivní napětí

Na obrázku 69 je vidět průběh plastického přetvoření po dokončení výtažku. Ve dně příruby je hodnota přetvoření maximální. Na obrázku 70 jsou hodnoty efektivního napětí, které dosahuje vysokých hodnot ve dně součásti, proto bude třeba upravit geometrii výtažku.



Obr. 71 Průběh síly



Obr. 72 Keeler – Goodwinův diagram

Na obrázku 71 je vidět průběh síly během tažné operace. Nejvyšší hodnoty dosahuje při dosažení hloubky, která odpovídá velikosti obou zaoblení a tloušťce materiálu. Na obrázku 72 je znázorněn Keeler – Goodwinův diagram, na kterém je vidět, že u výtažku nehrozí riziko vzniku trhlin, ale dochází ke vzniku zvlnění v okraji příruby (fialová oblast) a zbytek příruby se dle grafu nachází v rizikovém pásmu, ve kterém může dojít ke tvorbě vln. Zelená oblast je bez rizika trhlin a zvlnění.

Byla provedena simulace v programu ANSYS, která ukázala, že výtažek lze táhnout na 1 tažnou operaci, ale dochází ke ztenčení tloušťky materiálu (obr. 67) až o 37 %. Ke ztenčení tloušťky plechu dochází ve dně součásti, kde se jmenovitá tloušťka zmenšila z 1,5 mm až na 0,93 mm. Naopak na okraji příruby dochází k mírnému napěchování materiálu až o 0,03 mm. Ve výtažku dochází k velkému ztenčení stěny, a to hlavně ve dně součásti. Také napětí zde dosahuje vysokých hodnot, proto bude nutné upravit geometrii součásti. Simulace dále odhalila, že bude docházet ke tvorbě zvlnění (obr. 66) v okraji příruby a celá oblast bude mít tendenci ke vzniku zvlnění. Toto zvlnění však není podstatné, protože okraj příruby bude ostřížen. Z důvodu velkého přetvoření materiálu by bylo vhodné snížit hloubku tažení. Tažná síla byla po odečtení z grafu stanovena přibližně na 1 560 kN. Vzhledem k výsledkům simulace se doporučuje změnit geometrii výtažku a provést další simulaci.

## 4 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [22]

Ekonomika tváření je ovlivněna řadou faktorů, od kterých se odvíjí celkové náklady na výrobu součásti. Pro posouzení výroby z finančního hlediska je nutné provést technicko – ekonomické zhodnocení. Výrobní hala má k dispozici potřebný stroj pro výrobu výsledného tvaru součásti, proto nebude uvažována cena na pořízení stroje. Firma má také k dispozici stroj na odvíjení, rovnání svitku, dělení a kotoučové nůžky. Po vytvoření drezu bude vyměněn nástroj a na stejném stroji také vytvořen prolis. Celková velikost série je stanovena na 20 000 ks/rok. Vstupní informace jsou zaneseny v tabulce 12.

Tabulka 12 Vstupní parametry pro technicko – ekonomické zhodnocení

Šířka svitku	$M = 1 \text{ m}$
Délka svitku	$l_s = 2\,000 \text{ m}$
Tloušťka materiálu	$t = 1,5 \text{ mm}$
Hustota oceli	$\rho_{fe} = 7\,850 \text{ kg/m}^3$
Počet přístřihů	$I_s = 20\,000 \text{ ks}$
Cena materiálu	$c_{m1} = 95 \text{ Kč/kg}$
Cena odpadu	$c_{m2} = 5 \text{ Kč/kg}$
Výrobní série	$Q = 20\,000 \text{ ks/rok}$

Sled operací:

- výroba polotovaru
- výroba válcového výtažku
- výroba prolisu
- prostřížení technologických otvorů a ostřížení okraje
- broušení a leštění
- kontrola

Ekonomické výpočty:

a) Celková cena za materiál:

- Počet svitků – vzhledem k potřebnému počtu kusů bude dodáván materiál ve svitcích o délce 2000 m. Celkový počet svitků je tedy stanovený na  $P_s = 10 \text{ ks}$
- Cena jednoho svitku - ke stanovení ceny se použije celková hmotnost svitku a cena za kilogram.

Hmotnost svitku:

$$m_s = V_s \cdot \rho_{fe} = M \cdot t \cdot l_s \cdot \rho_{fe} = 0,1 \cdot 0,0015 \cdot 2000 \cdot 7850 \quad (4.1)$$

$$= 2\,355 \text{ kg}$$

kde:  $V_s$  – objem svitku [ $\text{m}^3$ ]

Cena za svitek materiálu:

$$C_m = c_{m1} \cdot m_s = 95 \cdot 2\,355 = 223\,725 \text{ Kč} \quad (4.2)$$

Cena za 10 svitků:

$$C_s = P_s \cdot C_m = 10 \cdot 223\,725 = 2\,237\,250 \text{ Kč} \quad (4.3)$$

Byla stanovena hmotnost jednoho svitku plechu na 2 355 kg a cena za jeden svitek je 223 725 Kč. Celková cena za materiál byla určena na 2 237 250 Kč.

- Stanovení příjmu za přebytečný materiál

Hmotnost odpadu:

$$m_{od} = m_s \cdot (1 - \mu_s) = 2\,355 \cdot (1 - 0,782) = 513,39 \text{ Kg} \quad (4.4)$$

Cena odpadu:

$$C_{od} = c_{m2} \cdot P_s \cdot m_{od} = 8 \cdot 10 \cdot 513,39 = 25\,669 \text{ Kč} \quad (4.5)$$

- Celkové výdaje za materiál – stanoví se z ceny za 10 svitků od kterých se odečte hodnota odpadu.

$$N_{mat} = C_s - C_{od} = 2\,237\,250 - 25\,669 = 2\,211\,581 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

Cena za materiál na výrobu 20 000 kusů dřezů je stanovena na 2 237 250 korun. Po odečtení ceny za prodaný odpad se celkové náklady za materiál pohybují okolo 2 220 000 korun. Od této hodnoty bude odvozena cena na výrobu jednoho dřezu.

b) Cena nástrojů:

- Nástroj na stříhání polotovaru z tabulí plechu a kotoučové nůžky jsou ve vybavení firmy, proto nebude jejich výroba zahrnuta do technicko – ekonomického zhodnocení.
- Nástroj pro tažení – celková cena na vývoj a výrobu tažného nástroje byla stanovena na  $N_t = 180\,000$  Kč. Cena nástroje byla stanovena po konzultaci s odborníkem a z hmotnosti použitého materiálu.
- Nástroj pro výrobu prolisu – byla stanovena cena na výrobu lisovacího nástroje  $N_l = 310\,000$  Kč. Cena tohoto nástroje je výrazně vyšší s přihlédnutím ke složitosti geometrie tažnice a tažníku a k jejich výrobě. Cena nástroje byla určena stejně jak u nástroje pro tažení.

c) Mzdové náklady na vyrobení polotovaru – pro nastříhání čtverců plechu ze svitku a vystřížení přístřihu na kotoučových nůžkách byla stanovena doba výroby  $n_1 = 2$  min. Firma určila přestávku na oběd na 0,5 hodiny. Produktivní část směny je celkem  $t_v = 7,5$  hodiny.

- Celkový počet vyrobených součástí za hodinu:

$$n_{zs1} = \frac{60}{n_1} = \frac{60}{2} = 30 \text{ ks/hod} \quad (4.7)$$

Počet vyrobených výrobků za jednu hodinu je 30.

- Počet kusů za směnu:

$$n_{ks1} = n_{zs1} \cdot t_v = 30 \cdot 7,5 = 225 \text{ ks/směna} \quad (4.8)$$

Celkem bude vyrobeno 225 kusů za směnu.

- Celkový počet směn:

$$n_{s1} = \frac{Q}{n_{ks1}} = \frac{20\,000}{225} = 88,9 \text{ směn} \quad (4.9)$$

Celkový potřebný počet směn pro výrobu 20 000 kusů dřezů je 89 směn.

- Celkový počet potřebných hodin na výrobu zadané série:

$$n_{h1} = n_{s1} \cdot t_v = 89 \cdot 7,5 = 667,5 \text{ hodiny} \quad (4.10)$$

Výroba zadané série bude trvat 667,5 hodiny.

- Celkové mzdové náklady – firma stanovila hodinovou mzdu pro pracovníka  $v_p = 120$  Kč/hod.

$$N_{nm1} = n_{h1} \cdot v_p = 667,5 \cdot 120 = 80\,100 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

Mzda je stanovena na 80 100 Kč na jednu výrobní sérii.

- Zdravotní a sociální pojištění:  

$$N_{saz1} = 0,34 \cdot N_{nm1} = 0,34 \cdot 80\,100 = 27\,234 \text{ Kč} \quad (4.12)$$
 Celková výše zdravotního a sociálního pojištění činí 27 234 Kč.

- Výdaje za mzdy celkem:  

$$N_{nmz1} = N_{nm1} + N_{saz1} = 80\,100 + 27\,234 = 107\,334 \text{ Kč} \quad (4.13)$$
 Celková výše mezd je stanovena na 107 334 Kč/série.

- d) Mzdové náklady na výrobu hlavní válcovité součásti – pro založení součásti, vyndání součásti a nanesení maziva byla stanovena doba jednoho zdvihu na  $n_2 = 5$  min. Byl vymezen čas na kontrolu  $t_k = 0,5$  hodiny a na přípravu pracoviště  $t_p = 0,5$  hodiny. Firma určila přestávku na oběd na 0,5 hodiny. Produktivní část směny je celkem  $t_v = 6,5$  hodiny.

- Celkový počet vyrobených součástí za hodinu:  

$$n_{zs2} = \frac{60}{n_2} = \frac{60}{5} = 12 \text{ ks/hod} \quad (4.14)$$

Počet vyrobených výrobků za jednu hodinu je 12.

- Počet kusů za směnu:  

$$n_{ks2} = n_{zs2} \cdot t_v = 12 \cdot 6,5 = 78 \text{ ks/směna} \quad (4.15)$$
 Celkem bude vyrobeno 78 kusů za směnu.

- Celkový počet směn:  

$$n_{s2} = \frac{Q}{n_{ks2}} = \frac{20\,000}{78} = 256,41 \text{ směn} \quad (4.16)$$

Celkový potřebný počet směn pro výrobu 20 000 kusů dřezů je 257 směn.

- Celkový počet potřebných hodin na výrobu zadané série:  

$$n_{h2} = n_{s2} \cdot (t_v + t_p + t_k) = 257 \cdot (6 + 0,5 + 0,5) = 1\,927,5 \text{ hodiny} \quad (4.17)$$

Výroba zadané série bude trvat 1 927,5 hodiny.

- Celkové mzdové náklady – firma stanovila hodinovou mzdu pro pracovníka  $v_p = 120$  Kč/hod.  

$$N_{nm2} = n_{h2} \cdot v_p = 1\,927,5 \cdot 120 = 231\,300 \text{ Kč} \quad (4.18)$$
 Mzda je stanovena na 231 300 Kč na jednu výrobní sérii.

- Zdravotní a sociální pojištění:  

$$N_{saz2} = 0,34 \cdot N_{nm2} = 0,34 \cdot 231\,300 = 78\,642 \text{ Kč} \quad (4.19)$$
 Celková výše zdravotního a sociálního pojištění činí 78 642 Kč.

- Výdaje za mzdy celkem:  

$$N_{nmz2} = N_{nm2} + N_{saz2} = 231\,300 + 78\,642 = 309\,942 \text{ Kč} \quad (4.20)$$
 Celková výše mezd je určena na 309 942 Kč/série.

- e) Mzdové náklady na výrobu prolisu – pro založení součásti, vyndání součásti a nanesení maziva byla vymezena doba jednoho zdvihu na  $n_3 = 3$  min. Čas na přípravu pracoviště a stroje byl stanoven na  $t_p = 0,5$  hod. Čas na oběd a na kontrolu je stejný jako v předešlé operaci.

- Celkový počet vyrobených součástí za hodinu:
 
$$n_{zs3} = \frac{60}{n_3} = \frac{60}{3} = 20 \text{ ks/hod} \quad (4.21)$$

Počet vyrobených výrobků za jednu hodinu je 20.

- Počet kusů za směnu:
 
$$n_{ks3} = n_{zs3} \cdot t_v = 20 \cdot (6,5 + 0,5) = 140 \text{ ks/směna} \quad (4.22)$$

Celkem bude vyrobeno 140 prolisů za směnu.

- Celkový počet směn:
 
$$n_{s3} = \frac{Q}{n_{ks3}} = \frac{20\,000}{140} = 142,9 \text{ směn} \quad (4.23)$$

Na výrobu prolisu u dřezů je potřeba 143 směn.

- Celkový počet potřebných hodin na výrobu zadané série:
 
$$n_{h3} = n_{s3} \cdot (t_v + t_p + t_k) = 143 \cdot (6,5 + 0,5 + 0,5) = 1\,252,5 \text{ hodiny} \quad (4.24)$$

Výroba prolisů pro danou sérii bude trvat 1252,5 hodiny.

- Celkové mzdové náklady – firma stanovila hodinovou mzdu pro pracovníka  $v_p = 120 \text{ Kč/hod}$ .

$$N_{nm3} = n_{h3} \cdot v_p = 1\,252,5 \cdot 120 = 150\,300 \text{ Kč} \quad (4.25)$$

Mzda pro pracovníky na výrobu prolisů je 150 300 Kč.

- Zdravotní a sociální pojištění:
 
$$N_{saz3} = 0,34 \cdot N_{nm3} = 0,34 \cdot 150\,300 = 51\,102 \text{ Kč} \quad (4.26)$$

Celková výše zdravotního a sociálního pojištění činí 51 102 Kč.

- Výdaje za mzdy celkem:
 
$$N_{nmz3} = N_{nm3} + N_{saz3} = 150\,300 + 51\,102 = 201\,402 \text{ Kč} \quad (4.27)$$

Celková výše mezd je stanovena na 201 402 Kč/série.

- f) Mzdové náklady na vystřížení děr a ostřížení okraje – pro založení součásti, provedení operace a vyndání součásti byla vymezena doba jednoho zdvihu na  $n_4 = 2 \text{ min}$ . Čas na přípravu pracoviště a stroje byl určen na  $t_p = 0,5 \text{ hod}$ . Efektivní délka směny  $t_p = 7 \text{ hod}$ . Čas na oběd je stejný jako v předešlé operaci.

- Celkový počet vyrobených součástí za hodinu:
 
$$n_{zs4} = \frac{60}{n_4} = \frac{60}{2} = 30 \text{ ks/hod} \quad (4.28)$$

Počet vyrobených výrobků za jednu hodinu je 30.

- Počet kusů za směnu:
 
$$n_{ks4} = n_{zs4} \cdot t_v = 30 \cdot 7 = 210 \text{ ks/směna} \quad (4.29)$$

Celkem bude provedeno stříhání na 210 kusech za směnu.

- Celkový počet směn:
 
$$n_{s4} = \frac{Q}{n_{ks4}} = \frac{20\,000}{210} = 95,23 \text{ směn} \quad (4.30)$$

Na výrobu dokončení dřezu je potřeba 96 směn.

- Celkový počet potřebných hodin na výrobu zadané série:  

$$n_{h4} = n_{s4} \cdot (t_v + t_p) = 96 \cdot (7 + 0,5) = 720 \text{ hodin} \quad (4.31)$$

Celkem bude série trvat 720 hodin.

- Celkové mzdové náklady – firma stanovila hodinovou mzdu pro pracovníka  $v_p = 120$  Kč/hod.

$$N_{nm4} = n_{h4} \cdot v_p = 720 \cdot 120 = 86\,400 \text{ Kč} \quad (4.32)$$

Mzda pro pracovníky je 86 400 Kč.

- Zdravotní a sociální pojištění:

$$N_{saz4} = 0,34 \cdot N_{nm4} = 0,34 \cdot 86\,400 = 29\,376 \text{ Kč} \quad (4.33)$$

Celková výše zdravotního a sociálního pojištění činí 29 376 Kč.

- Výdaje za mzdy celkem:

$$N_{nmz4} = N_{nm4} + N_{saz4} = 86\,400 + 29\,376 = 115\,776 \text{ Kč} \quad (4.34)$$

Na mzdy bylo vyčleněno 115 776 Kč/série.

#### g) Náklady na energii:

- Výroba polotovaru

Příkon stroje P                    7            [kW]

Výrobní čas  $n_{h2}$                     667,5       [h]

Cena energie  $c_e$                     4            [Kč/kWh]

Náklady na elektrickou energii na výrobu dřezu se stanoví dle vzorce:

$$E_1 = P \cdot n_{h1} \cdot c_e = 10 \cdot 667,5 \cdot 4 = 26\,700 \text{ Kč} \quad (4.35)$$

- Výroba dřezu

Příkon stroje P                    20           [kW]

Výrobní čas  $n_{h2}$                     1 927,5     [h]

Cena energie  $c_e$                     4            [Kč/kWh]

Náklady na elektrickou energii na výrobu dřezu se stanoví dle vzorce:

$$E_2 = P \cdot n_{h2} \cdot c_e = 20 \cdot 1927,5 \cdot 4 = 154\,200 \text{ Kč} \quad (4.36)$$

- Výroba prolisu:

Příkon stroje P                    20           [kW]

Výrobní čas  $n_{h3}$                     1 252,5     [h]

Cena energie  $c_e$                     4            [Kč/kWh]

Náklady na elektrickou energii na výrobu prolisu se stanoví dle vzorce:

$$E_3 = P \cdot n_{h3} \cdot c_e = 20 \cdot 1\,252,5 \cdot 4 = 100\,200 \text{ Kč} \quad (4.37)$$

- Vystřížení děr a ostřížení okraje:

Příkon stroje P                    10           [kW]

Výrobní čas  $n_{h1}$                     697,5       [h]

Cena energie  $c_e$                     4            [Kč/kWh]

Náklady na elektrickou energii na výrobu prolisu se stanoví dle vzorce:

$$E_4 = P \cdot n_{h4} \cdot c_e = 14 \cdot 720 \cdot 4 = 40\,320 \text{ Kč} \quad (4.38)$$

Celkové náklady na elektrickou energii:

$$E_c = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = 26\,700 + 154\,200 + 100\,200 + 40\,320 \quad (4.39) \\ = 321\,420 \text{ Kč}$$

Na elektrickou energii, potřebnou k vytvoření celé výrobní série, bylo vyčleněno 321 420 Kč.

h) Výrobní náklady na dřez:

- Celkové náklady – jsou pouze orientační.

Náklady na materiál:

$$C_s = \frac{N_{\text{mat}}}{Q} = \frac{2\,221\,581}{20\,000} = 111 \text{ Kč} \quad (4.40)$$

Celkové náklady na mzdy:

$$C_{\text{nmz}} = N_{\text{nmz}1} + N_{\text{nmz}2} + N_{\text{nmz}3} + N_{\text{nmz}4} \quad (4.41) \\ = 107\,334 + 309\,942 + 201\,402 + 115\,776 \\ = 734\,454 \text{ Kč}$$

Celkem bude zapláceno 734 454 Kč na mzdách.

Náklady na výrobu jednoho dřezu:

$$N_v = \frac{N_{\text{mat}} + C_{\text{nmz}} + N_t + N_l + E_c}{Q} \quad (4.42) \\ = \frac{2\,221\,581 + 734\,454 + 180\,000 + 310\,000 + 321\,420}{20\,000} \\ = 188,4 \text{ Kč}$$

Dle výpočtů byla stanovena cena za jeden výrobek 185 Kč. K této ceně budou dále připočteny náklady na leštění, broušení a mazivo.

- Cena dřezu s 300 % ziskem:

$$N_{\text{vz}} = 3 \cdot 185 = 555 \text{ Kč} \quad (4.43)$$

Marže na jednom výrobku:

$$M_v = N_{\text{vz}} - N_v = 555 - 185 = 370 \text{ Kč} \quad (4.44)$$

Vyrobený dřez bez děr a ostřížení lze prodávat s 300% ziskem za 555 Kč, přičemž výdělek bude 370 Kč. V této marži jsou také zahrnuty odpisy stroje, náklady na broušení, leštění a mazivo. Tato cena bude přizpůsobena aktuální ceně na trhu. Podle nabídky a poptávky se dají procenta zisku měnit.

i) Bod zvratu – slouží k určení počtu vyrobených kusů, po kterých se stane vyráběná součást výdělečná.

- Fixní náklady:

$$F_n = N_{\text{mat}} + N_t + N_a + E_c \quad (4.45) \\ = 2\,221\,581 + 310\,000 + 180\,000 \\ + 321\,420 = 3\,033\,001 \text{ Kč}$$

Fixní náklady jsou 3 033 001 Kč.

- Variabilní náklady:

$$V_n = C_s + \frac{C_{nmz}}{Q} = 111 + \frac{734\,454}{20\,000} = 147,7 \text{ Kč} \quad (4.46)$$

Variabilní náklady jsou 147,7 Kč.

- Bod zvratu:

$$Z = \frac{F_n}{N_{vz} - V_n} = \frac{3\,033\,001}{555 - 147,7} = 7\,447 \text{ ks} \quad (4.47)$$

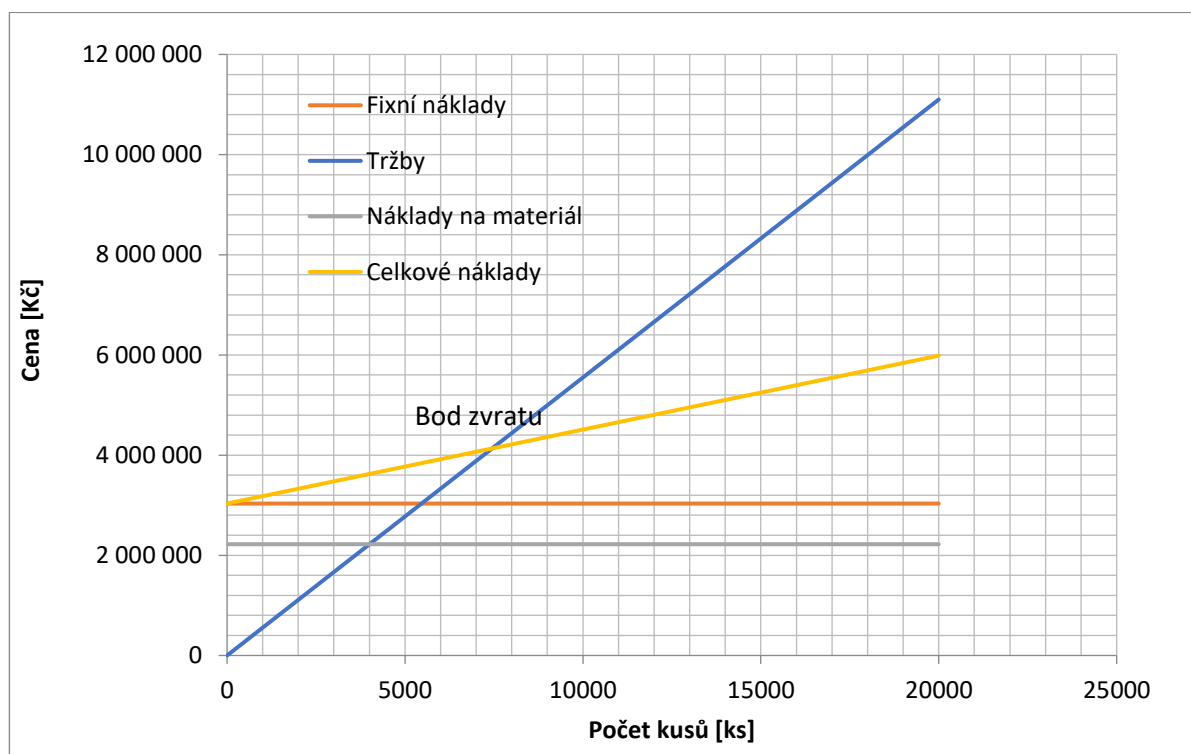
- j) Celkové náklady:

- Celková cena výrobní série:

$$C_c = F_n + C_{nmz} = 3\,033\,001 + 734\,454 = 3\,767\,455 \text{ Kč} \quad (4.48)$$

- Celkový výdělek z jedné série:

$$C_v = (Q - Z) \cdot M = (20\,000 - 7\,447) \cdot 370 = 4\,644\,610 \text{ Kč} \quad (4.49)$$



Obr. 73 Grafické stanovení bodu zvratu

Bylo provedeno technicko – ekonomické zhodnocení, při kterém bylo zjištěno, že se výroba dřezů s 300% ziskem, začne vydělávat po vyrobení 7 447 kusů (obr. 73). Tato marže se bude měnit v závislosti na poptávce a nabídce. Celková cena materiálu pro výrobu celé série je stanovena na 2 221 581 Kč, náklady na energii jsou 321 420 Kč a na mzdách bude vyplaceno 734 454 Kč. Do celkových nákladů byly zahrnuty náklady na mzdy, přičemž bylo vyčleněno 107 334 Kč na výrobu polotovaru, 309 942 Kč na tažnou operaci, 201 402 Kč na lisovací operaci a 115 776 Kč na ostřížení okraje a tvorbu technologických děr. Dřez se bude vyrábět přibližně za 185 Kč/kus a celková hodnota série, do které jsou započítány náklady na mzdy, nástroje, energii a materiál je 3 767 455 Kč a na jednom kusu firma vydělá 370 korun. Od této položky budou odečteny náklady na broušení a leštění, odpis stroje a mazivo.

## 5 ZÁVĚRY

Řešená součást je kuchyňský dřez s prolisy, pro jehož výrobu byla zvolena korozivzdorná austenitická ocel X5CrNi18-10 a bude vyráběn z plechu o tloušťce 1,5 mm, přičemž vnější průměr dřezu je 700 mm a vnitřní průměr válcového výtažku bude 510 mm při celkové hloubce dřezu 165 mm. Výrobek má zhotoveny 2 technologické otvory pro baterii a odtok. Příruba je mírně odsazená vzhledem k ose hlavní válcovité části. Celkový počet vyrobených součástí byl stanoven na 20 000 kusů za rok.

S přihlédnutím k ekonomické stránce a k technickým nárokům na součást bylo možné vybírat několik variant výroby, z nichž byl zvolen neoptimálnější způsob konvenčního tažení bez ztenčení stěny. Dřez bude vyráběn ze svitku plechu o tloušťce 1,5 mm, šířce 1 m a délce 2 000 metrů, ze kterého budou nejprve nastříhány jednotlivé segmenty a poté z nich bude vystřižen přístřih o průměru 998 mm a z něj bude v první tažné operaci vytažena hlavní válcová část s přírubou. Do příruby bude v následné lisovací operaci vytvořen prolis a následně také vystřiženy technologické otvory pro baterii a odtok. Následně bude ostřížen okraj součásti. Pro výrobu 20 000 dřezů bude potřeba 10 svitků plechu.

Dle provedených výpočtů bylo zjištěno, že dřez lze vyrobit na jednu tažnou operaci a byla vypočtena celková síla potřebná pro vyrobení součásti o velikosti 2 252 885 N a tažná práce 223 035 kJ. Z vypočítaných hodnot byl pro výrobu zvolen hydraulický dvojčinný lis YL32 – 400, který plně vyhoví požadovaným vlastnostem a má jmenovitou sílu 4000 kN. Byl navržen tažný nástroj, jehož součástí je tažník, tažnice, přídržovač a vyhazovač. Tažník a tažnice jsou vyrobeny z materiálu 19 436.9. Dále bylo provedeno simulační ověření návrhu 1 operace, která prokázala, že zadaná součást lze vyrobit.

Bylo provedeno technicko – ekonomické zhodnocení, při kterém byla stanovena cena na výrobu jednoho dřezu, přičemž cena a odpisy za stroj jsou zohledněny v režii výrobního podniku. Z ekonomických výpočtů bylo zjištěno, že cena za výrobu celé série bude 3 767 455 Kč i s náklady na mzdy, nástroje, energii a materiál. Výroba jednoho dřezu bude stát přibližně 185 Kč. Firma bude prodávat dřez s 300 % marží, ve které jsou zahrnuty náklady na odpis a pořízení stroje, za 555 Kč. Po překročení hranice 7 447 vyrobených kusů se výroba stane ziskovou.

Vzhledem k výsledku simulace je třeba upravit geometrii, po které musí následovat ověřovací série.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [3]

1. AALCO [online]. Velká Británie: Aalco metals, 2017 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: [http://www.aalco.co.uk/datasheets/Stainless-Steel-14301-Bar-and-Section\\_34.ashx](http://www.aalco.co.uk/datasheets/Stainless-Steel-14301-Bar-and-Section_34.ashx)
2. ANAC [online]. Amerika: ANAC, 2016 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.aminonac.ca/sheet-hydroforming-technology.asp>
3. CITACE PRO [online]. BRNO: CITACE PRO, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: [citace.lib.vutbr.cz](http://citace.lib.vutbr.cz)
4. CNCSHOP [online]. Holašovice: CNCSHOP, 2016 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/upinaci-stul-s-t-drazkami>
5. CUSTOMPART [online]. Olney: CustomPartNet, 2017 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-forming>
6. ČADA, Radek. *Postupy údržby I* [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PU1/Postupy-udrzby-I.pdf>. Báňská.
7. DALAGO [online]. Kvasice: LIVAGIO, 2016 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <https://www.dalago.cz/drezy/blanco-elon-xl6s-bezova-champagne.htm>
8. DBO [online]. Ústí nad labem: DBO, 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.dbo.cz/plasticka-maziva/>
9. DIYTrade [online]. DIYSite [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: [http://www.diytrade.com/china/pd/5320844/deep\\_drawing\\_part.html](http://www.diytrade.com/china/pd/5320844/deep_drawing_part.html)
10. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. : obr., tabulky, grafy. ISBN 9788021447479.
11. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 8021423749.
12. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2. Brno: CERM, 2004, 167 s. ISBN 8021427647.
13. HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje*. 3. vyd. Praha: SNTL, 1980, 551 s.
14. INOX [online]. Dřevčice: Inox, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>
15. KAREL, Páv. *Mechanická účinnost PSM* [online]. Liberec, 2016 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:2540>
16. KOTOUČ, Jiří a Jan ČERMÁK. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993, 349 s. : obr., tabulky, grafy, schémata ; 21 cm. ISBN 8001010031.
17. Lonardi Claudio [online]. San Pietro di Legnago: V.Pareto, 2016 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://www.lonardiclaudio.com/en/products>
18. Lowe's [online]. California: California, 2017 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <https://www.lowes.com/pd/American-Standard-Fairport-33-in-x-22-in-Stainless-Steel-2-Stainless-Steel-Drop-in-4-Hole-Residential-Kitchen-Sink-All-In-One-Kit/1000002904>
19. MMSpektrum [online]. Praha: CVUT, 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni.html>

20. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení* [online]. Brno, 2002 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/vyrobnni\\_stroje\\_a\\_zarizeni\\_\\_novotny.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/vyrobnni_stroje_a_zarizeni__novotny.pdf)
21. ODEHNAL, Josef. *Hluboké tažení*. Praha: STNL, 1963. 104s. DT 621.983.3
22. PECHA, Oldřich. *Výroba sítko do umyvadla*. Brno, 2015. Bakalářská. VUT. Vedoucí práce Ing.Kamil Podaný, Ph.D.
23. PILART s.r.o. [online]. Blansko: PILART, 2013 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.pilart.cz/produkt/Hydraulicky-lis-HPK-100-KNUTH-972/>
24. POALGI [online]. Polsko: [biuro@poalgi.pl](mailto:biuro@poalgi.pl), 2016 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: [http://www.poalgi.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=17&Itemid=137](http://www.poalgi.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=17&Itemid=137)
25. RONDO 146. *Koupelny-sen* [online]. Praha: Petr Diviš s.r.o, 2016 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <https://www.koupelny-sen.cz/nerezovy-drez-kruhovy-51cm-s-prepadem>
26. SAMEK, Radko a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 134 s. ISBN 978-80-214-4220-7.
27. Techmagazín [online]. Praha: Techmagazín, 2013 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/953>
28. Thefabricator [online]. Elgin: FMA Communications, 2015 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/stamping/how-to-draw-round-cups-deeper>
29. TIŠNOVSKÝ, M a L MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL, 1990, 196 s. ISBN 80-030-0221-4.
30. TOLLRIAN, Zdeněk. *Maziva využívaná v technologii tváření* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2010 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/11728>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Miroslav Šlais.
31. UNIVER [online]. Praha: Univer, 2016 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.univer.cz/kotoucove-nuzky-na-plech-rs-090-spa-id1886>
32. YANGLI [online]. China: Yangli, 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.power-press-machine.com/hydraulic-press-yl32.htm>
33. ZDAS [online]. Žďár nad Sázavou: TRINET a.s, 2016 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
A	Šířka pásu	[mm]
$A_t$	Tažná práce	[J]
B	Délka pásu	[mm]
c	Součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení	[-]
C	Koeficient tažné práce	[-]
$C_c$	Celková cena výrobní série	[Kč]
$c_e$	Cena energie	[Kč/kWh]
$C_m$	Cena za svitek	[Kč]
$c_{m1}$	Cena materiálu	[Kč]
$c_{m2}$	Cena odpadu	[Kč]
$C_{nmz}$	Celkové náklady na mzdy	[Kč]
$C_{od}$	Cena odpadu	[Kč]
$C_s$	Celková cena za svitky	[Kč]
$C_s$	Náklady na materiál na jeden kus	[Kč]
$C_v$	Celkový výdělek na jedné sérii	[Kč]
$D_0$	Výsledný průměr přístříhu	[mm]
$d_i$	Vnitřní průměr výtažku	[mm]
$d_s$	Střední průměr výtažku	[mm]
$D_v$	Průměr přístříhu	[mm]
$E_c$	Celkové náklady	[Kč]
$E_i$	Náklady na energii	[Kč]
F	Síla	[N]
f	Koeficient tření	[-]
$F_{crit}$	Kritická tažná síla	[N]
$F_n$	Fixní náklady	[Kč]
$F_p$	Přidržovací síla	[MPa]
$F_{taž}$	Tažná síla	[N]
$F_{tc}$	Celková tažná síla	[N]
$F_v$	Vyhazovací síla	[N]
$h_i$	Výška výtažku	[mm]
$I_p$	Počet výstřížků z pásu	[ks]
j	Materiálová konstanta	[-]
K	Délka kroku	[mm]
L	Délka křivky	[mm]
$l_s$	Délka svitku	[mm]
m	Součinitel tažení	[-]
M	Šířka kroku	[mm]
$m'$	Střední součinitel tažení	[-]
$m_c$	Celkový součinitel tažení	[-]
$m_{od}$	Hmotnost odpadu	[kg]
$m_s$	Hmotnost svitku	[kg]
$M_v$	Marže na výrobku	[Kč]
n	Počet tažných operací	[-]
$n_{hi}$	Počet výrobních hodin	[-]
$n_i$	Doba operace	[min]
$n_{ksi}$	Počet kusů za směnu	[ks]
$N_l$	Cena lisovacího nástroje	[Kč]

Označení	Legenda	Jednotka
$N_{mat}$	Náklady na materiál	[Kč]
$N_{nmi}$	Mzda pro výrobu celé série	[Kč]
$N_{nmzi}$	Celková mzda	[Kč]
$n_o$	Počet otáček lisu	[ot/min <sup>-1</sup> ]
$n_p$	Počet pásů	[ks]
$N_{sazi}$	Zdravotní a sociální	[Kč]
$N_t$	Cena tažného nástroje	[Kč]
$N_v$	Náklady na výrobu jednoho dřezu	[Kč]
$N_{vz}$	Prodejní cena výrobku	[Kč]
$n_{zsi}$	Počet vyrobených součástí za hodinu	[ks]
$p$	Přidržovací tlak	[MPa]
$P$	Příkon stroje	[kW]
$p_p$	Pohyb tažníku	[mm]
$Q$	Velikost série	[ks]
$r_i$	Zaoblení	[mm]
$R_m$	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_{p0,2}$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
$R_T$	Vzdálenost těžiště od osy rotace	[mm]
$r_{te}$	Zaoblení tažnice	[mm]
$r_{tu}$	Zaoblení tažníku	[mm]
$S_c$	Celková velikost plochy	[mm <sup>2</sup> ]
$S_i$	Velikost jednotlivých ploch	[mm <sup>2</sup> ]
$S_p$	Plocha pod přidržovačem	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{př}$	Plocha přístřihu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_t$	Plocha tabule	[mm <sup>2</sup> ]
$S_u$	Plocha segmentu	[mm <sup>2</sup> ]
$t$	Tloušťka plechu	[mm]
$t_{max}$	Maximální tloušťka taženého materiálu	[mm]
$t_v$	Produktivní část směny	[hod]
$u$	Podmínka použití přidržovače	[-]
$V_n$	Variabilní náklady	[Kč]
$v_p$	Hodinová mzda pracovníka	[Kč]
$V_s$	Objem svitku	[m <sup>3</sup> ]
$z$	Tažná vůle	[mm]
$Z$	Zdvih beranu	[mm]
$Z$	Bod zvratu	[ks]
$\mu$	Využití tabule	[%]
$\mu_s$	Využití svitku	[%]
$\alpha$	Úhel zkosení přidržovače	[°]
$\beta$	Lodeho součinitel	[-]
$\rho_{fe}$	Hustota železa	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\sigma_{ps}$	Přirozený přetvárný odpor	[MPa]
$\sigma_z$	Membránové napětí	[MPa]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady součástí vyrobené tažením .....	9
Obr. 2 Nerezový dřez .....	10
Obr. 3 Základní rozměry součásti .....	10
Obr. 4 Rozměry dřezu .....	10
Obr. 5 Návrh dřezu.....	10
Obr. 6 Kotoučové nůžky .....	11
Obr. 7 Kovotlačení .....	12
Obr. 8 Tváření kapalinou .....	12
Obr. 9 Hydromechanického tažení.....	12
Obr. 10 Metoda Marform.....	13
Obr. 11 Technologie tažení .....	13
Obr. 12 Schéma technologie tažení.....	14
Obr. 13 Schéma napjatostí a deformací .....	14
Obr. 14 Rozdělení výtažku.....	15
Obr. 15 Příklad použití Guldinovy věty.....	16
Obr. 16 Schéma tažení na více operací .....	17
Obr. 17 Grafické stanovení součinitele tažení pro jednotlivé materiály .....	17
Obr. 18 Tažná vůle .....	18
Obr. 19 Zvlnění příruby .....	19
Obr. 20 Průběh skutečné tažné síly .....	20
Obr. 21 Schéma tažného nástroje.....	21
Obr. 22 Příklady tažidel .....	22
Obr. 23 Tažníky pro různé průměry.....	23
Obr. 24 Úpravy tažné hrany .....	23
Obr. 25 Grafické určení zaoblení hrany tažnice.....	24
Obr. 26 Příklady konstrukcí tažnic.....	24
Obr. 27 Přidržovače pro první a další tahy .....	25
Obr. 28 Schéma brzdných žeber .....	25
Obr. 29 Průběh síly mechanického lisu.....	26
Obr. 30 Princip dvoubodého mechanického lisu .....	26
Obr. 31 Hydraulický lis.....	27
Obr. 32 Maziva v tváření .....	28
Obr. 33 Streibeckův diagram .....	28
Obr. 34 Plastické mazivo .....	29
Obr. 35 Kapalně mazivo .....	29
Obr. 36 Konečný tvar dřezu .....	31
Obr. 37 Model součásti po první tažné operaci.....	31
Obr. 38 Vyráběná součást .....	31
Obr. 39 Plochy výtažku.....	32
Obr. 40 Rozložení výtažku na jednotlivé plochy .....	32
Obr. 41 Model dřezu pro určení velikosti přístříhu.....	33
Obr. 42 Stanovení počtu tažných operací .....	34
Obr. 43 Schéma rozložení výstřížků na tabuli .....	35
Obr. 44 Kotoučové nůžky .....	35
Obr. 45 Rozložení výstřížků (varianta A).....	36
Obr. 46 Rozložení výstřížků (varianta B) .....	36
Obr. 47 Rozložení výstřížků (varianta C) .....	37
Obr. 48 Svitek plechu.....	38
Obr. 49 Tažná mezera .....	39

Obr. 50 Použití přídržovače .....	39
Obr. 51 Zaoblení tažné hrany.....	41
Obr. 52 Zaoblení tažníku.....	41
Obr. 54 Tažný nástroj.....	42
Obr. 53 T – drážky .....	42
Obr. 55 Nástroj s výtažkem.....	43
Obr. 56 Sevřený nástroj.....	43
Obr. 57 Spodní část tažného nástroje.....	44
Obr. 58 Detail odvodušňovacího otvoru .....	44
Obr. 59 Detail sevřeného nástroje.....	44
Obr. 60 Horní část tažného nástroje.....	45
Obr. 61 Detail upevnění tažnice.....	45
Obr. 62 Hydraulický lis YL32 – 400/650 .....	46
Obr. 63 Tahové zkoušky .....	47
Obr. 64 Zprůměrované hodnoty .....	48
Obr. 65 Původní stav.....	48
Obr. 66 Konečný stav.....	49
Obr. 67 Tloušťka plechu .....	49
Obr. 68 Ztenčení stěny .....	50
Obr. 69 Plastické přetvoření.....	50
Obr. 70 Efektivní napětí.....	51
Obr. 71 Průběh síly .....	51
Obr. 72 Keeler – Goodwinův diagram.....	52
Obr. 73 Grafické stanovení bodu zvratu .....	59

## SEZNAM TABULEK

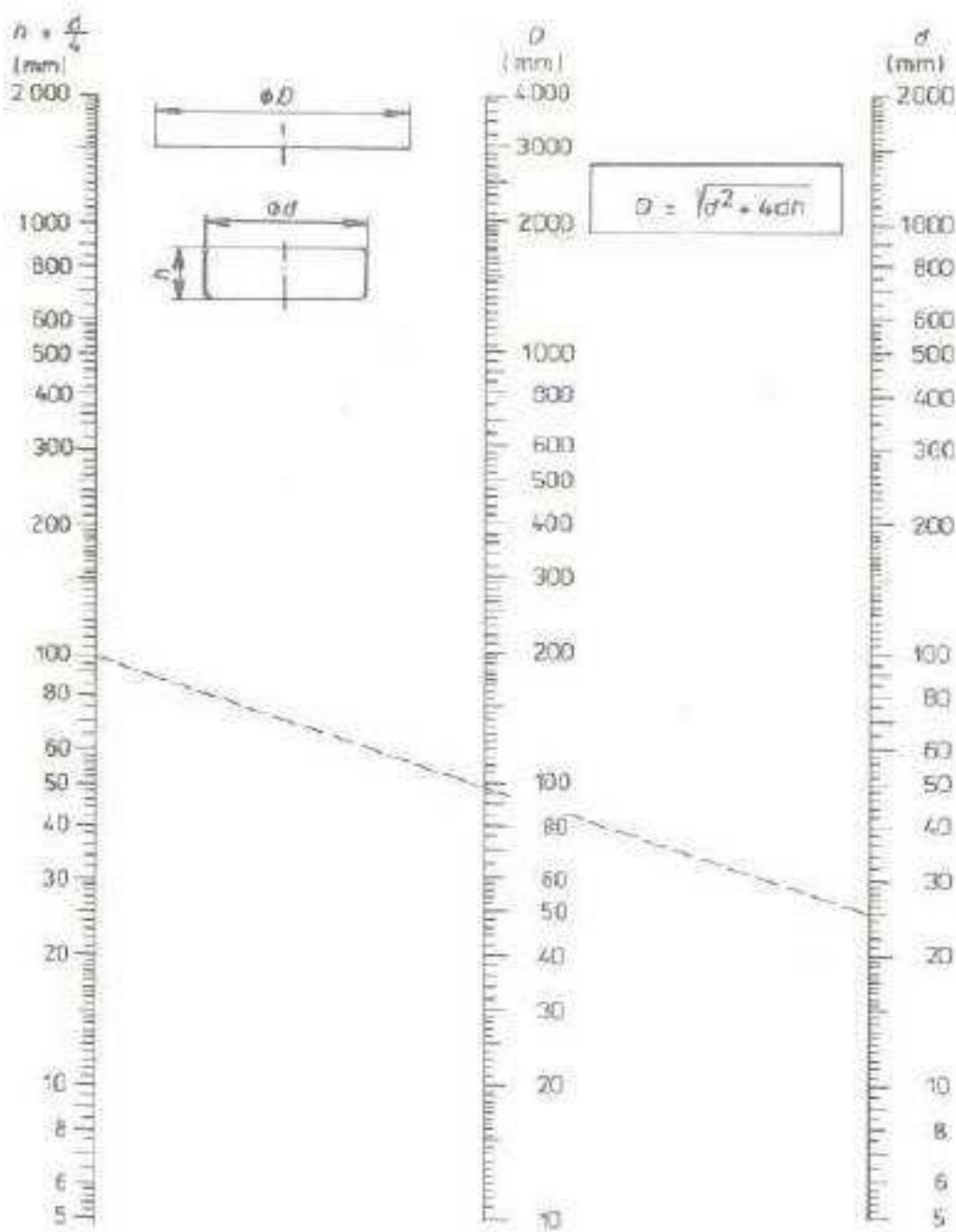
Tabulka 1 Chemické složení nerezové oceli.....	11
Tabulka 2 Mechanické vlastnosti.....	11
Tabulka 3 Součinitele tažení .....	17
Tabulka 4 Volba velikosti tažné mezery .....	18
Tabulka 5 Tabulka vlivu součinitele tažení .....	20
Tabulka 6 Minimální hodnoty poloměru zaoblení tažníku.....	23
Tabulka 7 Tažná rychlost .....	27
Tabulka 8 Uvažované varianty.....	35
Tabulka 9 Shrnutí procentuálního využití.....	38
Tabulka 10 Vlastnosti dvojčinného lisu YL32 - 400 .....	46
Tabulka 11 Vstupy do simulace .....	47
Tabulka 12 Vstupní parametry pro technicko – ekonomické zhodnocení.....	53


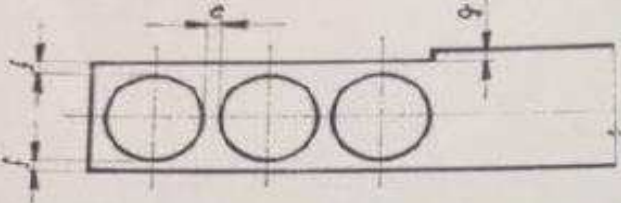
## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Graf pro určení velikosti přístřihu .....	68
Příloha 2 Určení velikostí můstků a mezer pro nástřihový plán .....	69

## SEZNAM VÝKRESŮ

Sestava	DP_2017_145596_00
Tažná hrana	DP_2017_145596_02
Tažnice	DP_2017_145596_05
Tělo tažníku	DP_2017_145596_06
Tažník	DP_2017_145596_07
Dřez	DP_2017_145596_09
Dřez po první tažné operaci	DP_2017_145596_10
Obrobené tělo tažníku	DP_2017_145596_18
Obrobená tažnice	DP_2017_145596_19



 VÚMVA KCH-KL	SMĚRNICE PRO STANOVENÍ ŠÍŘKY ODPADU	415 - 06 - 205										
Výpis z ON 22 6032		Počet stran 3										
												
Pl. mat.	Šířka 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	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5				
1	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	3,8	2,5	5,2	3	6,6
1,3	1,1	1,4	1,6	2	2,1	2,5	3,1	3,8	4	5,3	5	6,7
1,5	1,2	1,5	1,7	2,2	2,2	2,7	3,2	4	4,3	5,4	5,4	6,8
1,6	1,4	1,8	1,8	2,2	2,3	2,8	3,3	4,2	4,4	5,6	5,5	7
2	1,5	2	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,5	4,5	5,8	5,7	7,2
2,2	1,6	2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,6	4,5	4,6	6	5,8	7,3
2,5	1,7	2,2	2,3	2,8	2,7	3,4	3,7	4,7	4,7	6	5,8	7,4
2,8	1,8	2,2	2,4	3	2,8	3,5	3,8	4,7	5	6,2	6	7,5
3	2	2,5	2,5	3	3	3,7	4	5	5	6,3	6,2	7,7
3,5			2,7	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,5	6,3	8
4			3	3,8	3,5	4,3	4,5	5,6	5,6	6,8	6,5	8,2
4,5			3,2	4	3,7	4,6	4,7	5,8	5,7	7,2	6,6	8,7
5			3,5	4,2	4	5	5	6,2	6	7,7	7	9,2

Tloušťka mat.	do 1	1,1-1,3	1,4+1,5	1,6+1,8	1,9+2
g	1,5	1,8	2	2,2	2,5

Rozměry uvedené v tabulkách platí pro kovy.  
 Pro materiály měkké (chrom, kůže, textil, azbest) použít dvojnásobné hodnoty e; f. Rozměr g zvětšit 1,5 krát.

Kreslil <i>Aměl</i>	Prozkoušel <i>ky Pátek</i>	Schválil <i>Štef</i>	Platí od 1.4.1981
------------------------	-------------------------------	-------------------------	----------------------

-1-