



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 STROPNÍHO SVÍTIDLA

PRODUCTION OF CEILING LIGHT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Kvasnička

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jan Kvasnička**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Michaela Císařová, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

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

Návrh výroby stropního svítidla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby části stropního svítidla. Součást bude zhotovena z ocelového plechu, je rotačního tvaru s otvory pro připevnění krytu a přišroubování do zdi. Bude vyráběna technologií tažení. Na tuto problematiku bude zaměřena i literární studie.

Cíle bakalářské práce:

Zhodnotit možné technologie výroby součásti s posouzením jejich vhodnosti.
Vypracovat aktuální literární studii na zvolenou technologii.
Zpracovat návrh výroby součásti doložený technologickými a kontrolními výpočty.
Navrhnout a popsat tvářecí nástroj.
Zhotovit výkres nástroje s vyhotovením výkresů vybraných dílů.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 3. vyd. Brno: CERM. 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HOSFORD, William F. and Robert CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 4th ed. New York: Cambridge University Press, 2011. 331 s. ISBN 978-1-107-88-00452-8.

TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1990. 198 s. ISBN 80-03-00221-4.

TSCHAETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. Springer Berlin Heidelberg, New York, 2006. 404 s. ISBN 3-540-33216-2.

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

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Vyráběná součást je vnitřní část stropního svítidla. Je vyrobena z oceli 17 240 v sérii 100 000 ks/rok. Z možných technologií pro výrobu byla vybrána kombinace stříhání v nástroji a hlubokého tažení bez ztenčení stěny. Průměr přístříhu, ze kterého je vytažen výsledný tvar, byl výpočtem stanoven na 400 mm. Ten bude vystřižen z odvíjeného svitku plechu, jehož vnitřní průměr je 400 mm a vnější 1000 mm. K tváření byl navržen tažný nástroj a jeho funkční části byly vyrobeny z oceli 19 436. Nástroj je umístěn v hydraulickém trojčinném lisu PO 160/100 firmy Dieffenbacher. Lis je součástí linky, ve které se nachází odvíjecí zařízení, rovnací zařízení a střížný nástroj.

Klíčová slova

hluboké tažení, tváření, tažný nástroj, svítidlo, ocel 17 240

ABSTRACT

The manufactured component is the inner part of the ceiling lamp. It is made of 17 240 steel in a series of 100 000 pieces/year. A combination of tool cutting and deep drawing without thinning the wall was chosen from the possible production technologies. The diameter of the blank from which the resulting shape is pulled out was calculated to be 400 mm. It will be cut from an unwound coil of sheet metal, the inner diameter of which is 400 mm and the outer 1000 mm. A drawing tool was designed for forming and its functional parts were made of 19 436 steel. The tool is placed in hydraulic three-acting press PO 160/100 from company Dieffenbacher. The press is part of a line which includes an unwinding device, a straightening device and a cutting tool.

Key words

deep drawing, forming, drawing tool, lamp, steel 17 240

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KVASNIČKA, Jan. *Návrh výroby stropního svítidla* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139928>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Michaela Císařová.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh výroby stropního svítidla vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

místo, datum

Jan Kvasnička

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto paní Ing. Michaelae Císařové, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD.....	7
1 Rozbor součásti	8
1.1 Možné varianty řešení	9
2 Technologie plošného tváření.....	12
2.1 Technologie hlubokého tažení	13
2.1.1 Určení velikosti přístřihu plechu	14
2.1.2 Stanovení počtu tažných operací.....	15
2.1.3 Použití přidržovače.....	16
2.1.4 Tažná síla a práce	18
2.1.5 Tažná mezera	19
2.1.6 Mazání při procesu tažení	20
2.1.7 Geometrie tažného nástroje.....	21
2.1.8 Stroje pro tažení.....	23
3 Návrh výroby součásti	25
3.1 Stanovení velikosti přístřihu	25
3.2 Stanovení počtu tažných operací	26
3.3 Návrh rozmístění přístřihu	26
3.4 Kontrola potřeby přidržovače	29
3.5 Určení tažné mezery	30
3.6 Určení geometrie tažného nástroje	30
3.7 Výpočet tažné síly a práce.....	31
3.8 Návrh nástroje.....	32
3.9 Volba stroje	32
ZÁVĚR	34
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	35
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	38
SEZNAM PŘÍLOH.....	40

ÚVOD

V posledních letech je snaha o co největší výrobní produkci a zautomatizování výrobního procesu. Zároveň je ale také snaha toto uskutečnit s co největším ekonomickým ziskem. Proto jsou stále hledány lepší způsoby výroby či zdokonalení již stávajících. Tváření představuje z hlediska těchto aspektů velice slibný technologický proces. Výhodou je malé procento nevyužitého kovu při výrobě. Obecnou nevýhodou je drahá cena nástrojů, proto je nezbytná dobře promyšlená technologičnost výroby a výsledná ekonomičnost procesu. Z těchto důvodů je tažení použito v hromadné výrobě a průmyslech jako je automobilový či letecký.

Materiál s vyhovující tvařitelností je pomocí vnější síly nedestruktivně tvářen a výsledkem je součást s velice dobrými mechanickými vlastnostmi a většinou i kvalitním povrchem (obr. 1.). Jako tvárný materiál je označen takový, který vydrží plastickou deformaci. Nedestruktivní proces z důvodu toho, že objem materiálu je přemísťován, aniž by při tom došlo k porušení celistvosti kovu. Základní dělení je na tváření za studena (pokojová teplota) a na tváření za tepla (materiál je ohříván). Po tomto základním dělení následuje rozdělení dle použité technologie na tváření objemové a plošné. [2; 7]



Obr. 1. Příklad výrobků zhotovených tvářením. [30; 31; 32]

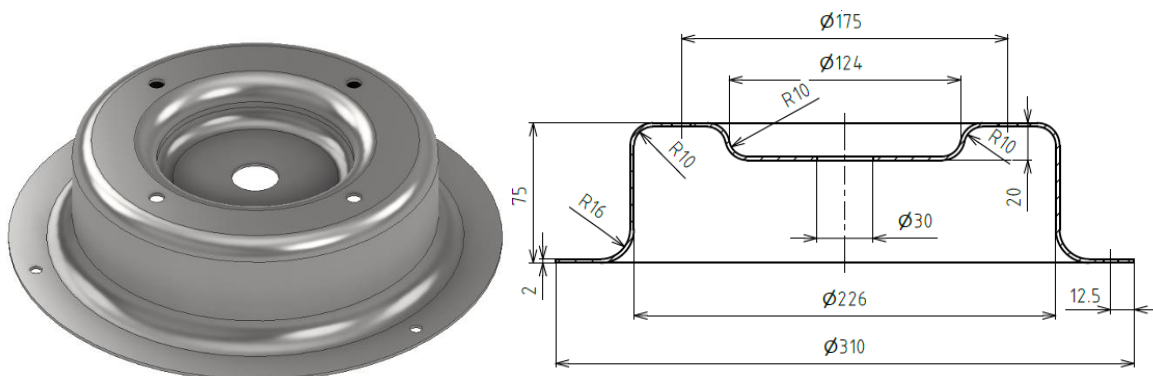
1 ROZBOR SOUČÁSTI

Vyráběná součástka je jedna z komponent stropního svítidla (obr. 2.), která je vyrobena z plechu. Mezi další části patří elektrické zařízení s žárovkou, designová objímka a stínítka ze skla či plastu, které zajišťuje dobré rozptýlení světla. Plechový díl slouží k uložení elektrického zařízení, jako základna k přichycení ke stropu nebo stěně a k uchycení stínítka pomocí malých šroubků. V této práci je řešen pouze technologický postup výroby vnitřního dílce plechu.



Obr. 2. Příklady stropních svítidel. [41]

Tloušťka plechu, ze kterého je výrobek vytvořen, je stanovena na 2 mm. Výrobek je kruhového typu a skládá se ze dvou průměrů, viz obr. 3. Větší z nich ($\varnothing 310$ mm) je určen pro uchycení stínítka za pomoci třech děr k tomu určených. Druhý ($\varnothing 230$ mm) funguje jako základna pro přišroubování svítidla ke stěně či stropu. K tomuto účelu jsou vyvrtány čtyři díry pro šrouby. Ve dně průměru 230 mm je výstupek v kruhové podobě o velikosti $\varnothing 128$ mm a v ose je díra průměru 30 mm. Zde je uložena elektrické zařízení svítidla a dírou prostrčen elektrický kabel. Uvnitř průměru 226 mm je místo pro led žárovku. Celková výška součásti je 75 mm a výška výstupku je 20 mm. Dírami, které jsou určeny pro montáž svítidla a které budou vyvrtány se tato práce zabývat nebude. Požadavky na přesnost nejsou velké, a proto žádné rozměry nemají zvláštní tolerance.



Obr. 3. Model a rozměry navrhované součásti.

Při výběru materiálu musí být brán zřetel na umístění výrobku. Pro funkci není podstatná pevnost, a proto na ní nebude brán zřetel. Jelikož se předpokládá umístění v obytných prostorech, je důležitý vzhled a dostatečně veliká tvárnost materiálu, která bude vyhovující pro velikost série 100 000 ks/rok. Lze tedy zvolit buď ocel konstrukční s následnou povrchovou úpravou – pravděpodobně lakování, nebo ocel korozivzdornou. Vzhledem k tomu, že je od výrobku požadován dobře vypadající povrch a s přihlédnutím k velikosti série, je zvolena korozivzdorná ocel 17 240 jejíž mechanické a chemické vlastnosti jsou uvedeny v tab.1. Volba také poskytuje zvýšení odolnosti svítidla ve vlhkém prostředí jako je například koupelna.

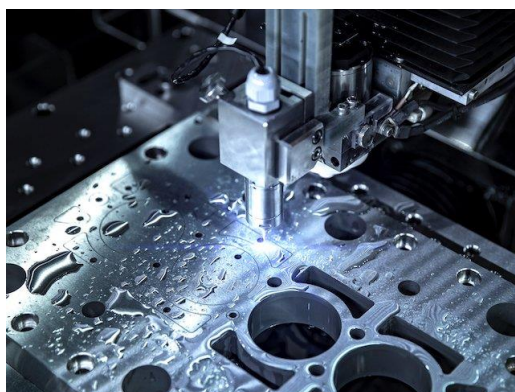
Tab. 1. Mechanické vlastnosti a chemické složení ČSN 17 240. [35]

R_m [MPa]	R_e [MPa]	A₁ [%]	Struktura	Chemické složení [%]					
				C	Si	S	Mn	Cr	Ni
550	195	45	Austenitická	0,07	1	0,03	2	18	9

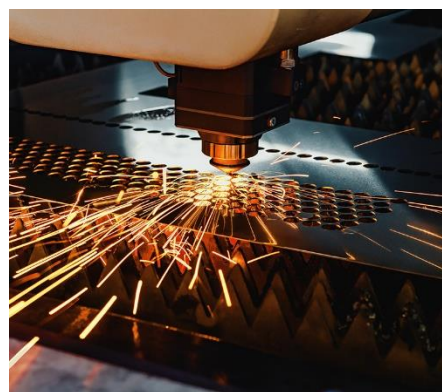
1.1 Možné varianty řešení

Pro dosažení co nejlepších výsledků je nutné zvolit správný technologický postup výroby. Měl by být, pokud možno co nejrychlejší, ekonomicky výhodný, funkční a samozřejmě součást musí být vyrobena v základní toleranci ČSN ISO 2768. Jedním z hlavních faktorů, které ho ovlivňují je výrobní série. Prvním krokem výroby je vytvoření polotovaru, ze kterého je navrhovaný díl vyroben. Po získání polotovaru je třeba zhotovit daný válcový tvar. Typy technologií pro výrobu polotovaru plechu:

- Řezání vodním paprskem – obrušování materiálu pomocí tenkého a vysokotlakového proudu vody (obr. 4.). Díky velice úzkému řezu vzniká minimum odpadu, řez je čistý a není tepelně ovlivněný. Mezi výhody patří velmi přesný řez a to, že při použití korozivzdorné oceli nevádí kontakt vody s polotovarem. Pro řezání kovu je zapotřebí přidat do vody tzv. abrazivo (velmi tvrdé částice) – což způsobí navýšení nákladů na provoz. Přes určitá pozitiva není tento proces vhodný pro daný problém, a to především z důvodu drahého stroje, nástroje a jejich údržby vzhledem k velikosti série 100 000 ks/rok. [25; 26]
- Řezání pomocí laseru – dělení materiálu pomocí laserového paprsku, což je zesílené světlo ve formě úzkého paprsku, který je zaměřen do velmi malého bodu (obr. 5.). Řezání je velmi rychlé a hrany jsou po procesu hladké. Při zadané tloušťce 2 mm je zaručená vysoká přesnost polotovaru. Dělení polotovaru tímto způsobem nebude použito především z důvodu velikosti série výroby 100 000 ks/rok a drahému stroji. [27; 28]



Obr. 4. Řezání vodním paprskem. [42]

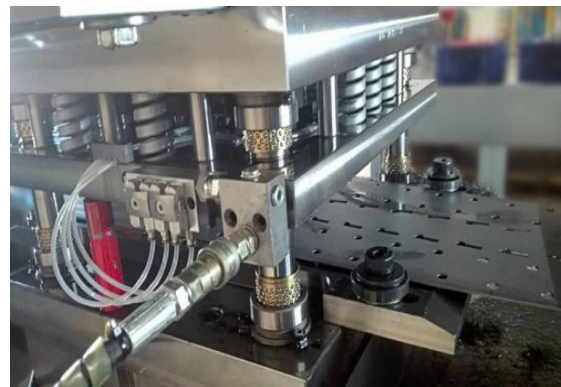


Obr. 5. Příklad laserového řezání. [43]

- Stříhání na kotoučových nůžkách – dělení materiálu postupně vlivem odvalování polotovaru, za působení dvou protilehlých nožů (obr. 6.). Zmenšují se rázy při stříhání, ale zvětšuje doba trvání což je vzhledem k velikosti série 100 000 ks/rok nevýhodou. Ale i přes tento nedostatek je tato metoda vhodná, jelikož tvar výrobku je kruhový, tedy je předpokládán přístřih stejného tvaru – rondel. Ovšem hlavně z důvodu velikosti série není tato metoda zvolena. [7; 13]
- Stříhání v nástroji – oddělování materiálu pomocí dvou ostrých hran (nožů), které překonají střížný odpor materiálu. Běžně dosažitelná přesnost je až IT9. Nevýhodou je vysoká cena stříhacího nástroje (obr. 7.). Použití této technologie je tudíž velice závislé na velikosti výrobní série. Především díky velikosti výrobní série je zvolena pro výrobu přístřihu. [1; 7; 16]



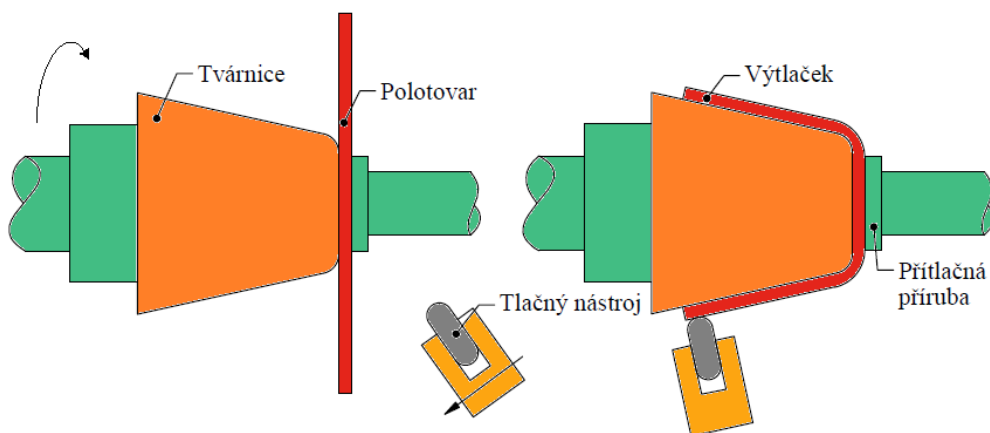
Obr. 6. Kotoučové nůžky. [46]



Obr. 7. Postupový střížný nástroj. [36]

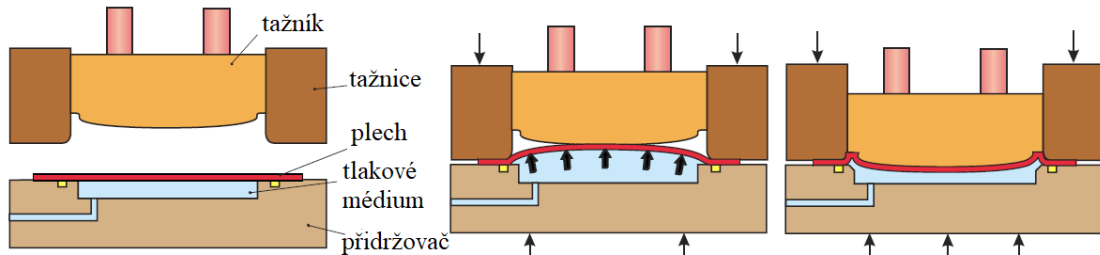
Po získání polotovaru je třeba zhotovit daný válcový tvar. Možné způsoby výroby polotovaru po získání přístřihu z plechu:

- Kovotlačení – výroba rotačním způsobem pro tvary vyduté či vypuklé. Princip kovotlačení (obr. 8.), spočívá v upnutí tvárnice (negativ výsledného tvaru výrobku) na vřeteník stroje a postupném tlačení nástroje na přístřih. Pro tento proces jsou doporučeny plechy tenké tloušťky (zhruba do 1,5 mm), lze tedy brát plech 2 mm v toleranci vyrobiteľnosti. Výhodou je velmi kvalitní výsledný povrch. Tato volba je nevhodná především z důvodu velké pracnosti, malé rychlosti výroby, velikosti výrobní série a hlavně proto, že je prakticky nemožné vyrobit daný tvar. [1; 2; 5; 7; 23; 24]



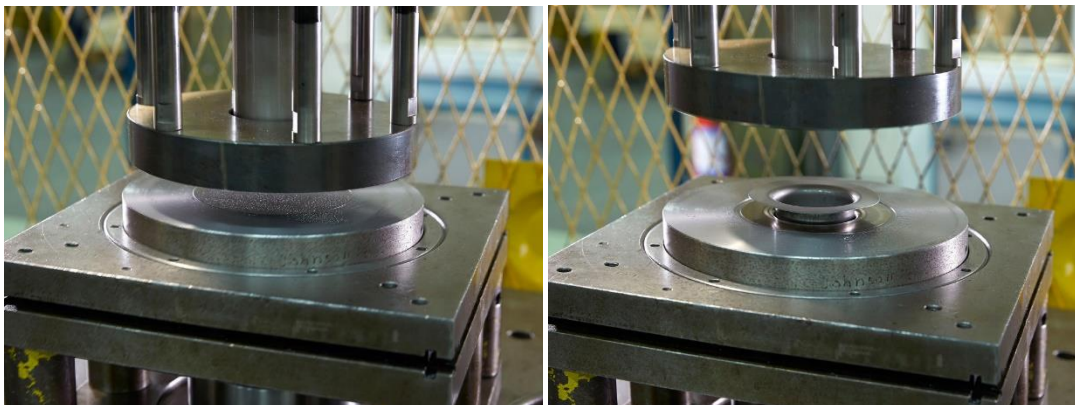
Obr. 8. Princip kovotlačení. [23]

- Nekonvenční tažení – proces, při kterém je použito nepevného nástroje (pryž, kapalina) viz obr. 9. Mezi největší výhody patří rovnoměrné rozložení měrného tlaku na celý plášť výtažku. Po pryži a kapalině je povrch materiálu čistý a nepoškozený, ale je potřeba velkých tlaků. Lze táhnout složité tvary na méně tahů, ale je zapotřebí těsnění a složité hydraulické systémy. Vzhledem k jednoduchosti výsledného tvaru a velikosti výrobní série 100 000 ks/rok je tato volba velice drahá a z těchto důvodů nebude použita. [1; 2; 29]



Obr. 9. Hydromechanické tažení. [3]

- Konvenční tažení – tváření pevným nástrojem, kdy je polotovár pomocí tažníku vtahován do tažnice viz obr. 10. Pro výtažky s přírubou je nutné většinou použít vyhazovač, který odstraní hotový výtažek z tažnice. Výhodou jsou nízké výrobní náklady, dobrá kvalita povrchu a dobrá tuhost či nízká hmotnost. Varianta se jeví vzhledem k výrobní sérii 100 000 ks/rok i ekonomickým nákladům na nástroj jako nejlepší volba. [1; 2; 3; 10]



Obr. 10. Konvenční tažení s přírubou. [44]

Z hlediska technologií výroby dané součásti s přihlédnutím ke tvaru, výrobní sérii a nákladům na stroje a nástroje, se jako nejlepší volba jeví kombinace stříhání v nástroji a konvenčního hlubokého tažení bez ztenčení stěny. Na zvolené varianty výroby bude zaměřena teoretická i praktická část práce.

2 TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ

Pomocí plošného tváření jsou vyráběny převážně součásti z plechu, tyčí nebo trubek, které jsou tvářeny do různých rozměrů a tvarů. Na obr. 11. jsou ukázky možných výrobků. Lze pomocí nich nahradit svařené součásti či odlitky, vůči kterým mají výhodu v menší pracnosti výroby a úspoře materiálu. Typickými vlastnostmi součástek vyrobených touto technologií je jejich nízká hmotnost a dobrá pevnost a tuhost. [1; 2; 9]



Obr. 11. Příklady výrobků plošného tváření. [20; 21; 22]

Podle normy ČSN 22 6001 lze plošné tváření rozdělit na [1; 2; 3; 19]:

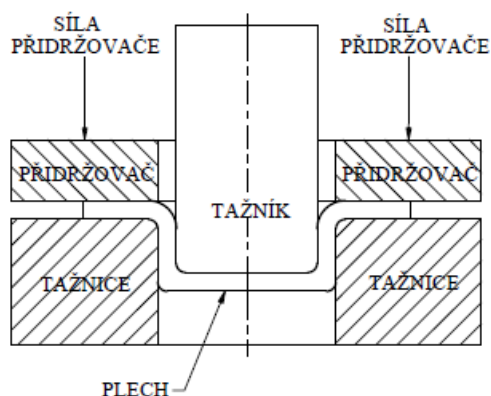
- Stříhání – spočívá v oddělování tvářeného materiálu pomocí břitů protilehlých nožů. Mezi varianty této technologie je zařazeno:
 - prosté stříhání,
 - přesné stříhání
 - stříhání na nůžkách,
 - vystřihování,
 - děrování,
 - stříhání nepevným nástrojem.
- Ohýbání – trvalá deformace materiálu působením síly bez podstatné změny průřezu. Technologie je dělena na:
 - prostý ohyb,
 - ohýbání s kalibrováním,
 - ohraňování,
 - lemování,
 - zakružování,
 - rovnání.

- Tažení – trvalé přetvoření přístřihu plechu pomocí lisovacích nástrojů. Vzniká v jedné nebo více operacích dutá nádoba. Dělí se na:
 - tažení bez ztenčení stěny,
 - tažení se ztenčením stěny,
 - zpětné tažení,
 - protahování,
 - rozšiřování,
 - zužování,
 - vypínání,
 - hydromechanické tažení.
- Kovotlačení – rotačním způsobem jsou vyráběny součásti vydutého nebo vypuklého tvaru z přístřihu plechu. Je rozděleno na:
 - kovotlačení beze změny tloušťky stěny,
 - kovotlačení se změnou tloušťky stěny.

2.1 Technologie hlubokého tažení

Technologický proces hlubokého tažení patří mezi technologie plošného tváření. Zjednodušeně jej lze označit za proces, při kterém je vytvořen výrobek rotačního, hranatého a symetrického či nesymetrického tvaru z rovinného přístřihu plechu. Typickým výsledkem je vytvoření duté nádoby jakéhokoli tvaru. Za polotovar je nejčastěji zvolen přístřih či pás plechu, který má dobré tažné podmínky. V průmyslové výrobě je nejvíce praktikovaný tvar výtažku ve tvaru rotačního symetrického dílce. [1; 2; 3]

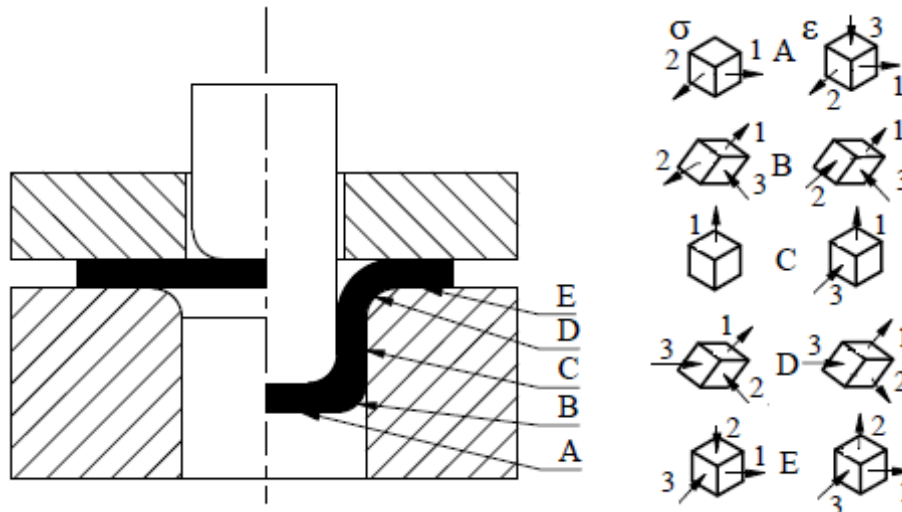
Princip (obr. 12.) spočívá ve vytvoření tlaku nástroje na polotovar, který je následně vytvarován do požadovaného tvaru. Nástroj se nazývá tažidlo, které je složeno z tažníku, tažnice a většinou i z přídržovače. Přístřih je vložen mezi tažník a tažnici. Působením síly je plech tvarován přes tažnou hranu a je deformován. Obecně je snahou o co nejmenší počet tahů při výrobě součásti. [1; 2; 3; 5; 6]



Obr. 12. Princip hlubokého tažení [6].

Nejvýhodnější a nejvíce vyhledávaný tvar je symetrický rotační. Na obr. 13. je znázorněn princip tažení výtažku s vyznačenými napětími a deformacemi probíhajícími v procesu. Důsledkem této napjatosti, která je v různých místech rozdílná vzniká anizotropie (změna mechanických vlastností) materiálu. Ve válcové části (oblast C) se nachází pouze jednoosá tahová napjatost. Zatímco v přechodu válcové části ve dno výtažku (oblast B) je prostorová trojosá napjatost, která značně ovlivňuje prodloužení a tím způsobuje ztenčení stěny výtažku. [1; 2; 3]

Právě v tomto místě dochází ke kritickému zeslabení tloušťky stěny, které vede ke vzniku trhliny a k utržení dna výtažku. Jedná se tedy o kritické místo tažení. Při vytvoření výtažku na jednu operaci není ztenčení stěny tolik výrazné (ale může být, záleží na materiálu a dalších okolnostech) a dá se tedy zanedbat. Ovšem při víceoperačním procesu je s ním už potřeba počítat. [1; 2; 3]



Obr. 13. Schéma napětí a deformace [3].

Pro vytvoření kvalitního výtažku je nutno určit optimální technologicko-konstrukční parametry. Díky těmto kritériím je určena výsledná přesnost a kvalita výtažku. Mezi hlavní patří volba vhodného plechu, určení maziva a zvolení vhodného stroje. Tato kritéria jsou určena rozdílně dle druhu tažení. [1; 2; 5]

2.1.1 Určení velikosti přístříhu plechu

Stanovení velikosti přístříhu je možné pomocí dvou metod. Lze ho stanovit pomocí výpočtu nebo pomocí diagramů (grafické metody určení přístříhu). U početního řešení, je vycházeno z předpokladu, že objem tvářeného materiálu zůstává stejný a také tloušťka plechu se při procesu nemění. Z toho vyplývá, že plocha přístříhu se rovná ploše výtažku. Je brán ohled na cípatost, a proto je teoreticky vypočtený průměr zvětšen u jednooperačního tažení o 3 % a u každé následující operace o další 1 %. Pro tenké plechy je počítáno s vnitřními rozměry výtažku. Naopak u tlustých plechů je počítáno se středními rozměry. [1; 3; 9; 10]

Vzhledem k rovnosti plochy přístříhu a plochy výtažku je možno dosadit do vzorce [9]:

$$S = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} = S_v \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2.1)$$

kde: S - plocha přístříhu [mm²]
 D_0 - průměr výstřížku [mm]
 S_v - plocha výtažku [mm²]

Z předchozí rovnice lze vyjádřit rozměr průměru výstřížku [9]:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S_v} \text{ [mm]}. \quad (2.2)$$

Výpočet průměru je také možný pomocí vzorců určených pro různé tvary výtažku. Přehled těchto vzorců lze nalézt v příslušné odborné literatuře např. [4]. Pro příklad je zde uveden vzorec pro výpočet přístřihu pro válcový výtažek bez přírubby [1]:

$$D_0 = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} \text{ [mm]}, \quad (2.3)$$

kde: d - vnitřní průměr výtažku [mm]
 h - minimální výška výtažku [mm]

2.1.2 Stanovení počtu tažných operací

Je obecnou snahou vyrobit výtažek na co nejmenší počet operací. Počet tažných operací závisí na rozměrech, tvaru a materiálu daného výrobku. Stupeň deformace v jednotlivých tazích nesmí překročit určitou mez. Na obr. 14. je ukázán příklad tažení na více operací. Při vyčerpání plasticity materiálu je nutné provést mezioperační žihání. Konkrétně minimálně po třetí operaci je nutno zařadit rekrytalizační žihání. Počet tahů je určen pomocí součinitele tažení m nebo také stupeň tažení K , který se vypočte pomocí následujícího vztahu [1; 2; 3; 6; 9; 10]:

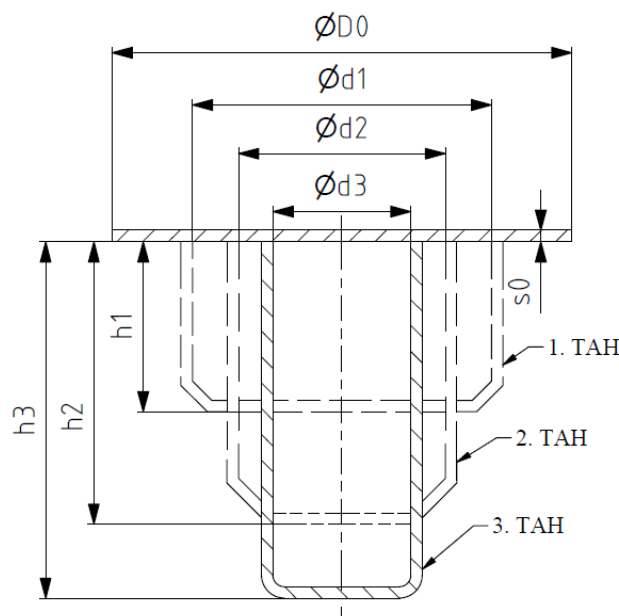
$$m = \frac{d}{D_0} = \frac{1}{K} [-]. \quad (2.4)$$

Celkový počet potřebných tažných operací vychází ze vztahu [1]:

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

kde: m_c - celkový součinitel tažení [-]
 m_n - součinitel tažení pro n-tý tah [-]

Hodnoty součinitelů tažení je možno také získat z tzv. nomogramu, který je uveden v normě ČSN 22 7301. Další možností je určení hodnot z tabulky vzhledem k poměrné tloušťce plechu nebo k poměrné hloubce tažení. Pro korozivzdorné hlubokotažné oceli platí minimální hodnoty součinitele tažení uvedené v tab. 2. [1; 7; 9; 11]



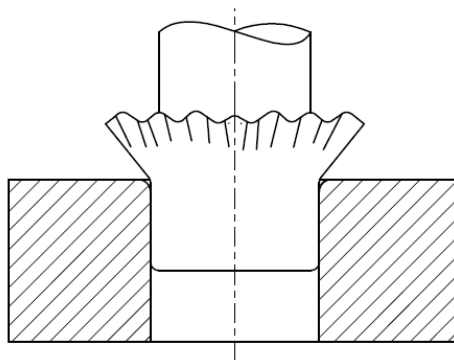
Obr. 14. Schéma tažení na 3 operace. [7]

Tab. 2 Doporučené hodnoty součinitele tažení. [7]

Součinitel tažení	Poměrná tloušťka přístřihu $\frac{s_0}{D_0} \cdot 100$					
	2 – 1,5	1,5 – 1	1 – 0,6	0,6 – 0,3	0,3 – 0,15	0,15 – 0,08
m₁	0,48 – 0,50	0,50 – 0,53	0,53 – 0,55	0,55 – 0,58	0,58 – 0,60	0,60 – 0,63
m₂	0,73 – 0,75	0,75 – 0,76	0,76 – 0,78	0,78 – 0,79	0,79 – 0,80	0,80 – 0,82
m₃	0,76 – 0,78	0,78 – 0,79	0,79 – 0,80	0,80 – 0,81	0,81 – 0,82	0,82 – 0,84
m₄	0,78 – 0,80	0,80 – 0,81	0,81 – 0,82	0,82 – 0,83	0,83 – 0,85	0,85 – 0,86
m₅	0,80 – 0,82	0,82 – 0,84	0,84 – 0,85	0,85 – 0,86	0,86 – 0,87	0,87 – 0,88

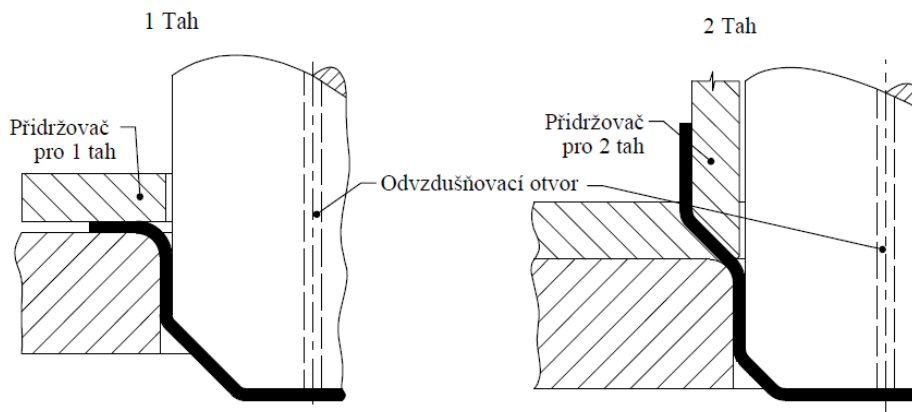
2.1.3 Použití přídržovače

Při tažení se přesunuje velká část materiálu a tento objem se vytlačuje, zatímco se mění výška výtažku. Vzhledem k tomu, že materiál postupuje z příruby do válcové části, tak v materiálu vzniká snaha o tvorbu vln. Proto hraje v procesu tažení důležitou roli použití či nepoužití přídržovače. Díky jeho tlaku je možné zabránit zvlnění materiálu (obr. 15.). U tlustých plechů s malým stupněm deformace lze táhnout bez přídržovače. [1; 2; 3; 6]



Obr. 15. Příklad vzniku vlnění. [3]

Naopak u hlubokotažných plechů do tloušťky 0,5 mm je použití přídržovače podmínkou procesu. V prvním tahu je jako přídržovač použito mezikruží kolem tažníku, přídržující plech na tažnici. V dalších operacích je vhodná konstrukce přídržovače se zkosenou hranou viz obr. 16. [1; 2; 3; 9; 10]



Obr. 16. Příklad přídržovače pro 1 a 2 tah. [10]

Rozhodnutí, zda použít nebo nepoužít přidržovač vychází z empirických vztahů ověřených praxí, např. [1; 2]:

- Podle Freidlinga, který vychází z poměrné tloušťky:

$$\Delta s = \left(\frac{s_0}{D_0} \right) \cdot 100 \text{ [mm]}, \quad (2.6)$$

kde: s_0 - výchozí tloušťka plechu [mm]

- je-li $\Delta s < 1,5$, je nutné použití přidržovače
- je-li $\Delta s > 2$, není nutné použití přidržovače
- je-li $\Delta s = 1,5$ až 2 , je třeba ověřit způsob tažení

- Dle Šofmana je potřeba přidržovače nutno zkontrolovat dle vztahu:

$$D_0 - d \leq 18 \cdot s_0 \text{ [mm]}. \quad (2.7)$$

- je-li tato podmínka v pořádku může být provedeno tažení bez přidržovače

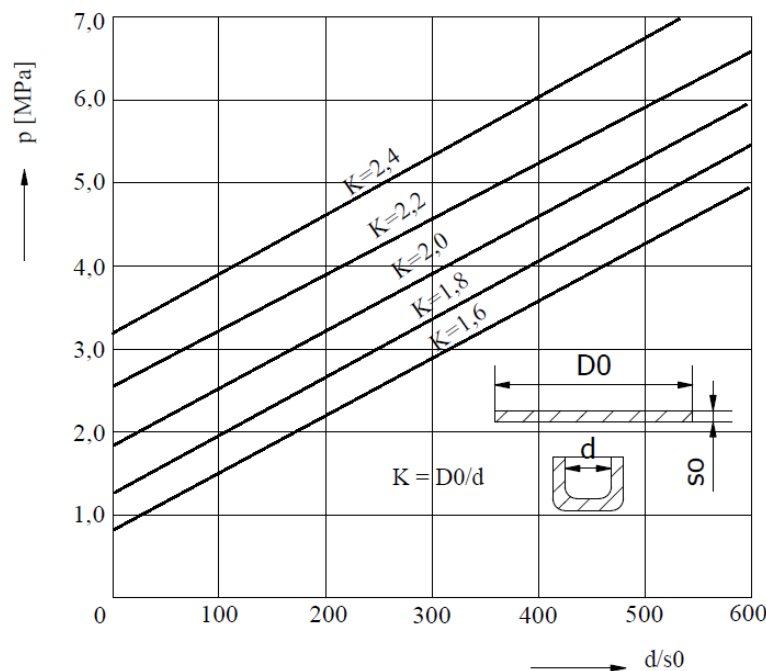
- V normě ČSN 22 7301 je uvedena rovnice:

$$\alpha = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) \text{ [-]}, \quad (2.8)$$

kde: Z - materiálová konstanta [-]

- $\alpha \geq 100 \cdot \frac{d}{D_0}$ je nutné použití přidržovače
- $\alpha < 100 \cdot \frac{d}{D_0}$ není nutné použití přidržovače

Síla přidržovače, která je potřeba pro správný průběh procesu je určena z činné plochy přidržovače a měrného přidržovacího tlaku. Musí být dostatečně velký, aby zabránil zvlnění a zároveň ne tak vysoký, aby způsobil utržení dna výtažku. Závisí na více parametrech jako jsou tloušťka plechu, součinitel tažení a jakost plechu. Může být určen například pomocí grafů viz obr. 17. nebo pomocí empirických vztahů. V tab. 3. jsou uvedeny příklady doporučených tlaků přidržovače. [1; 2; 5; 10; 12]



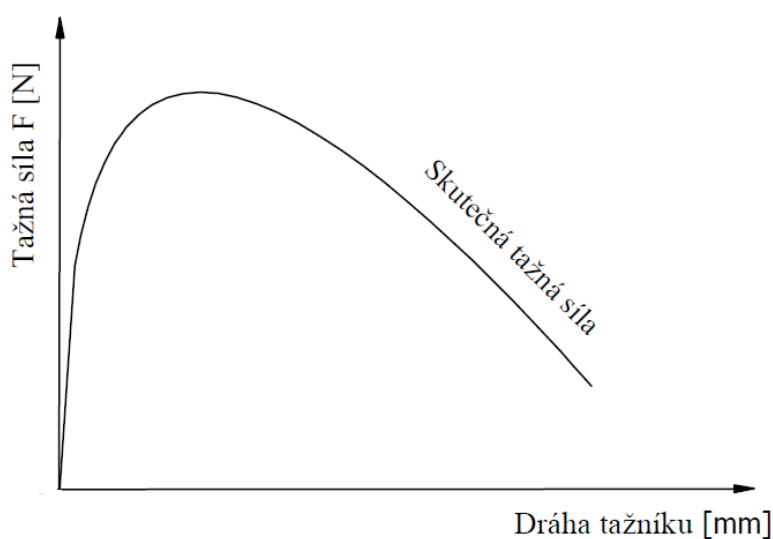
Obr. 17. Tlak přidržovače v závislosti na poměrné tloušťce. [12]

Tab. 3. Doporučené hodnoty měrných tlaků. [1]

Materiál	Měrný tlak přidržovače [MPa]
korozivzdorný plech	2,0 – 5,0
ocelový hlubokotažný plech	2,0 – 3,0

2.1.4 Tažná síla a práce

Vytvoření požadovaného tvaru výtažku je podmíněno správnou tažnou silou, díky které je z přístřihu vytvořen výtažek. Síla jako taková musí překonat tření, které je způsobeno kontaktem polotovaru a nástroje. Velký vliv na tuto sílu má tahové napětí ve výtažku, které se v průběhu tažení mění, tzn. že i síla není po celou dobu stejná. Z praktického hlediska se skutečný průběh může od toho na obr. 18. trochu lišit (například z důvodu špatně zvolené tažné mezery). [1; 2; 3; 5]



Obr. 18. Průběh tažné síly. [1]

Pro stanovení tažné síly pomocí výpočtu jsou stanoveny složité matematické vztahy. Proto se tyto vztahy zjednodušují a v praxi je použito zjednodušeného vztahu, který představuje empirický vzorec pro stanovení síly na utržení dna výtažku. Vycházeno je z předpokladu, že tažná síla musí být o něco málo menší než právě síla na utržení dna. Dle vypočítané síly je volen lis pro tažení. [1; 2; 3; 9]

Síla na utržení dna výtažku [1]:

$$F_{tkrit.} = \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot R_m \quad [\text{N}], \quad (2.9)$$

kde: R_m - mez pevnosti materiálu [MPa]

Určení tažné síly je dle vztahu [1]:

$$F_t = C \cdot \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot R_m \quad [\text{N}], \quad (2.10)$$

kde: C - součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení (tab. 3.) [-]

Tab. 4. Příklad hodnot součinitele C. [1]

Součinitel tažení $m = \frac{d}{d_0}$	Vliv součinitele tažení C
0,55	1,00
0,60	0,86
0,65	0,72
0,70	0,60
0,80	0,40

V případě použití vyhazovače je zapotřebí vypočítat jeho sílu, která se spočítá jako tlak na plochu výtažku [49]:

$$F_v = S_v \cdot p_v \quad [N], \quad (2.11)$$

kde: p_v - měrný tlak vyhazovače (volen dle tlaku přidržovače) [MPa]

Je-li při tažení použit přidržovač, musí být k výsledné tažné síle přičtena síla od přidržovače a je-li použit, tak také od vyhazovače. Aby mohla být zvolena správná velikost lisu je zapotřebí znát celou sílu. Její velikost je vypočtena dle vztahu [2; 3; 12]:

$$F_c = F_t + F_p + F_v \quad [N], \quad (2.12)$$

kde: F_v - velikost síly potřebné pro vyhození výtažku [N]

F_p - velikost síly od přidržovače [N]

Práce pro tažení je vypočtena pomocí vztahu [16]:

$$A = \frac{k \cdot F_c \cdot h_v}{1000} \quad [J], \quad (2.13)$$

kde: F_c - velikost celkové síly [N]

h_v - hloubka výtažku (pracovní zdvih lisu) [mm]

k - koeficient zaplnění plochy [-]

2.1.5 Tažná mezera

Tímto pojmem je myšlen rozdíl velikosti tažníku a tažnice. Její velikost by měla být tak velká, aby jí prošel zesílený okraj výtažku. Je-li příliš malá, dochází k tomu, že je navýšena tažná síla a hrozí utržení dna výtažku. Naopak moc velkou tažnou mezerou je způsobeno vytvoření sekundárního zvlnění materiálu ve stěně výrobku. V praktických případech je volena mezera větší, než je tloušťka polotovaru. Tato velikost je volena z důvodu přemístění vytahovaného materiálu tak, aby nebyl pěchován. Největší mezera je navržena při prvním tahu a s dalšími tahy je postupně zmenšována. Při kalibračním tažení je mezera stejná jako tloušťka plechu. Její výpočet je pomocí vztahu [1; 2; 5; 10; 12]:

$$z_k = (1,0 \div 1,1) \cdot s_0 \quad [mm], \quad (2.14)$$

kde: z_k - velikost tažné mezery pro kalibraci [mm]

Pro stanovení mezery lze využít doporučených hodnot viz tab. 5. nebo je lze vypočítat. V praxi a při konstrukci nástrojů je použito označení tažná vůle v , která je vyjádřena jako polovina tažné mezery z viz obr. 19. Dle normy ČSN 22 7301 jsou doporučeny hodnoty pro první a další operace volit dle vztahů [1; 2; 9; 10]:

$$z_1 = (1,2 \div 1,3) \cdot s_0 \quad [mm], \quad (2.15)$$

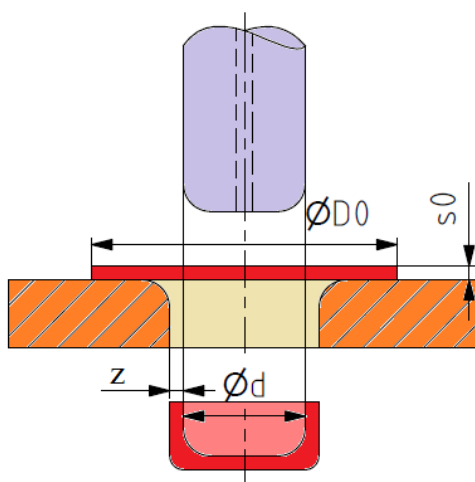
kde: z_1 - velikost tažné mezery pro první operaci [mm]

$$z_n = (1,1 \div 1,2) \cdot s_0 \quad [\text{mm}], \quad (2.16)$$

kde: z_n - velikost tažné mezery pro další operace [mm]

Tab. 5. Doporučené hodnoty tažné mezery. [4]

Tloušťka plechu s_0 [mm]	Tažná mezera z [mm]
0,40	0,45
0,60	0,65
0,80	0,90
1,00	1,20
1,20	1,40
1,50	1,75
2,00	2,40
3,00	3,50



Obr. 19. Tažná mezera z . [13]

2.1.6 Mazání při procesu tažení

Při tažení hraje velmi důležitou roli tření materiálu. Třecí síla je vyvozována mezi polotovarem a nástroji a vzniká díky přechování v tvářené oblasti. Z důvodu této síly je nutné navýšit tažnou sílu. Je tedy požadováno co nejmenší tření materiálu, a to je právě hlavní úkol mazání, tedy snížit tření. Není použito na celý přístřih plechu, ale je mazáno jen ze strany tažnice a mezi přídržovačem a polotovarem. Pro mazání musí být použito takových maziv, které nepoškozují povrch výrobku a nástroje, dobře přilnou a je díky nim vytvořena souvislá vrstva. [3; 6; 10; 12]

Mezi základní druhy maziv je řazeno [10]:

- Maziva kapalná (různé druhy olejů, mýdlové emulze, atd...), (obr. 20.).
- Maziva konzistentní (mazací tuky). Hlavní roli zde hrají minerální oleje a mastné přísady. Vhodné pro nenáročné tahy a tažení barevných kovů (obr. 21.).
- Maziva tuhá (použito jako přísady).



Obr. 20. Příklad syntetických olejových maziv. [14]

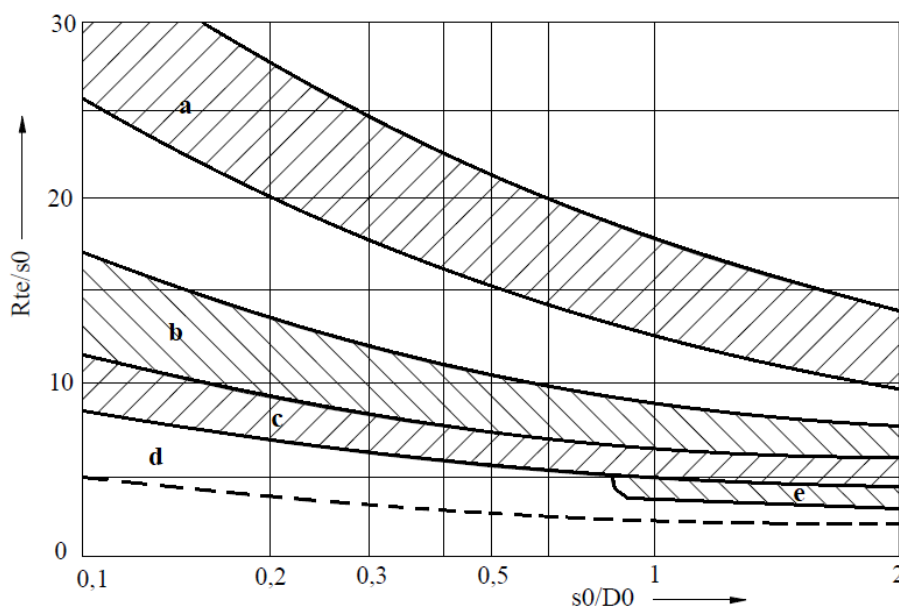


Obr. 21. Mazací tuk pro procesní mazání. [15]

2.1.7 Geometrie tažného nástroje

Jeden ze zásadních vlivů ovlivňující proces tažení jsou funkční části tažného nástroje. Řadí se mezi ně zaoblení funkční hrany tažnice (R_{te}) a tažníku (R_{tw}). Větší vliv na úspěch procesu má tažnice a tento poloměr zaoblení je určen různými způsoby. Může být volen v závislosti na tvaru součásti viz tab. 6. nebo je určen pomocí diagramu na obr. 22. dle oblasti [1; 2; 7]:

- Oblast a – výtažky s přírubou.
- Oblast b – výtažky bez příruby.
- Oblast c – použití tažnice s brzdým žebrem.
- Oblast d – pokračování oblasti B při nevyužití dovoleného stupně tažení.
- Oblast e – postupové nástroje.


 Obr. 22. Doporučené hodnoty R_{te} . [7]

Je-li zvětšen poloměr tažnice, vede to k lepšímu průběhu procesu. Současně je ovšem zmenšena plocha pod přidržovačem a vzniká nebezpečí tvorby tzv. sekundárního vlnění. Při tažení bez příruby a zvoleném velkém poloměru hrozí vznik vln. [7; 10; 16]

Tab. 6. Velikost poloměru tažné hrany. [16]

Tvar výtažku	Poměrná tloušťka polotovaru $\frac{s_0}{D_0} \cdot 100$ [%]		
	2,0 – 2,5	1,0 – 0,3	0,3 – 0,1
bez příruby	6,0 – 8,0	8,0 – 10,0	10,0 – 15,0
s přírubou	10,0 – 15,0	15,0 – 20,0	20,0 – 30,0
s brzdící lištou	4,0 – 6,0	6,0 – 8,0	8,0 – 10,0

Pro první tah je poloměr tažnice R_{te} vypočítán podle vztahu [7]:

$$R_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d) \cdot s_0} \quad [\text{mm}]. \quad (2.17)$$

Dle ČSN 22 7301 je pro určení poloměru tažné hrany R_{te} použit vzorec [11]:

$$R_{te} = (6 \text{ až } 10) \cdot s_0 \quad [\text{mm}]. \quad (2.18)$$

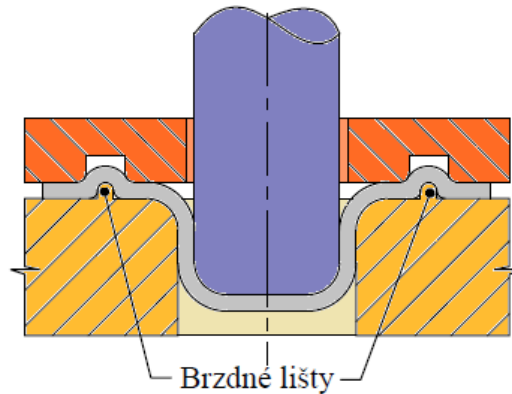
Při tažení tlustých plechů není nutno použít přidržovač, ale je potřeba upravit tažnou hranu. Příčinou této úpravy je zvýšení deformace a dosažení nízkého součinitele tažení. Tím by měl být zajištěn optimální proces a nedošlo ke zborcení příruby a poškození výtažku. Poloměr tažníku R_{tu} je určen v prvním a předposledním tahu pomocí poloměru tažné hrany. Jinak řečeno platí, že $R_{te} = R_{tu}$. Doporučené minimální hodnoty pro zaoblení tažníku v poslední operaci jsou uvedeny v tab. 7. [1; 2; 4; 7; 13]

Tab. 7. Minimální hodnoty R_{tu} . [1]

Průměr výtažku [mm]	Poloměr zaoblení tažníku R_{tu} [mm]
10 – 100	$(3 - 4) \cdot s_0$
100 – 200	$(4 - 5) \cdot s_0$
200 a více	$(5 - 7) \cdot s_0$

Pro tahy kromě prvního a posledního při víceoperačním tažení platí, že hrana tažníku je zkosená pod určitým úhlem (35 až 45°). Při této úpravě je také zkosen pod stejným úhlem i přidržovač. V ose tažníku je nutno vyrobit odvzdušňovací otvor jako na obr. 16. a je nutno mít povrch hladký a neporušený. Bez vyvrtného otvoru vzniká podtlak mezi tažníkem a výtažkem, a to má za následek nemožnost vytažení tažníku. Tažný nástroj je složen z více částí (příloha 1). Mezi ty hlavní je řazena tažnice, tažník a přidržovač. Nástroj je dotvářen různými dalšími součástmi (vodící desky, základové desky, vodící sloupky, upínací desky atd.). Přidržovač může také plnit roli stírače (setření hotového výtažku z nástroje). Pro zvýšení brzdného účinku může být použito tzv. brzdných lišt, které jsou konstruovány v tažnici (obr. 23.). [1; 2; 3; 7; 10; 16]

Funkční části tažnice a tažníku bývají vložkovány, aby byla možná snadná výměna opotřebovaných částí a při velkých nástrojích ušetřena spotřeba drahého materiálu. Jako materiál vložek se nejčastěji používá nástrojová ocel a slinutý karbid. Pro menší a střední velikosti nástrojů může být použita ocel 19 191, 19 356, 19 313 a 19 436. Při použití karbidu je nutné zalisovat vložku do zděře s předpětím (pomocí ohřevu zděře), a to z důvodu toho, že slinutý karbid nesnese tahové napětí. Z důvodu velmi dobrých třecích vlastností a pro málo namáhané součásti je možno použít šedou litinu (42 2425). [2; 13; 16]



Obr. 23. Příklad brzdných lišt v tažnici. [33]

2.1.8 Stroje pro tažení

Pro výrobu požadované součásti je použit tvářecí stroj. Hlavní rozdíl tvářecího stroje od obráběcího spočívá ve větší robustnosti stroje a menším odpadu materiálu. Stroje jsou děleny z pohledu druhu hlavní použité energie, dle druhu mechanismu a podle druhu technologického určení. V té nejzákladnější podobě jsou lisы děleny na silové (hydraulické) a zdvihové (mechanické). Pro proces tažení je nejčastěji užito mechanických lisů, postupových lisů či i v některých případech lisů hydraulických. [1; 17; 18]

Lisy jsou dále děleny dle počtu činností, které můžou provádět:

- Jednočinné – jen jednou částí nástroje je pohybováno – většinou je to beran lisu (např. tažení bez přidržovače).
- Dvojčinné – lis je schopen vykonávat dvě operace najednou (např. řízení přidržovače není ovlivněno chodem stroje).
- Trojčinné – většinou automatizované stroje – tažný stroj vykonává tři operace (např. pohyb beranu, pohyb přidržovače a pohyb vyhazovače).
- Postupové – automatizované, vhodné pro velkosériovou výrobu.

Mechanické lisы jsou děleny dle použitého mechanismu k přenosu energie:

- klikové,
- kolenové,
- vačkové,
- klínové,
- výstředníkové.

Z těchto lisů je nejpoužívanější typ klikový (obr. 24.). Princip jeho činnosti spočívá v přeměně rotačního pohybu hřídele na pohyb přímočarý. Pro pracovní zdvih je využito maximálně jedné čtvrtiny otáčky klikového hřídele. Mechanické lisы vynikají vysokou výrobností, stavba stroje je poměrně jednoduchá, ale hrozí nebezpečí přetížení stroje, po delší dráze je obtížné tvářet (zejména velkou silou), aj. Pro zamezení přetížení je použito různých typů pojistek. [17; 18]

Princip hydraulických lisů oproti mechanickému je veden Pascalovým zákonem (princip šíření kapaliny všemi směry stejně). Kapaliny je tedy používáno k vytvoření síly. Oproti mechanickému lisu má výhodu v nastavitelném možném zdvihu, možnost použití větších sil, plynulé regulování rychlosti, aj. Ovšem má také určité nevýhody jako nižší výkon stroje, složitá konstrukce, vyšší cena či větší údržba. Pro natlakování kapaliny je zapotřebí hydromotor. Ten lze uložit na odlišná místa ve stroji. [17; 18]

Lze je tedy dle tohoto kritéria dělit na:

- Svislé uložení hydromotoru.
- Vodorovné uložení hydromotoru.
- Kombinované uložení hydromotoru.

Další dělení hydraulických lisů je dle konstrukce:

- stojanové,
- rámové,
- sloupové,
- skříňové.

Jak už je řečeno, pro funkci stroje je nutnost použití kapaliny jako tlakového média. Je používáno emulzních kapalin (dostupné, nehořlavé, levné) nebo olejů. Olej je aplikován i zároveň jako mazivo a je vhodný pro malé tváření. Příklad hydraulického lisu je na obr. 25. [16; 18]



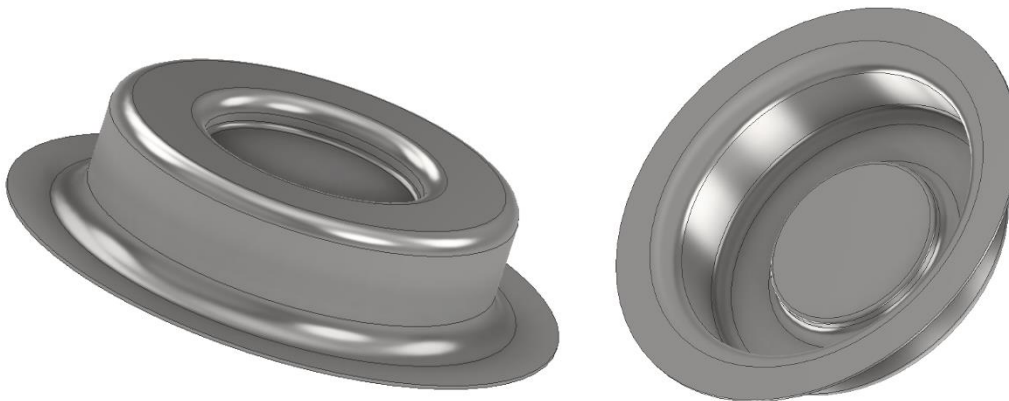
Obr. 24. Mechanický klikový lis. [37]



Obr. 25. Hydraulický lis. [38]

3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Pro výrobu přístřihu plechu je tedy zvolena technologie stříhání v nástroji a pro výrobu samotného tvaru technologie hlubokého tažení. Na obr. 26. je znázorněn konečný tvar bez děr, který je vytvořen v programu Autodesk Inventor Professional 2022, výkres součásti se všemi rozměry je uveden v příloze 2. Na žádný z uvedených rozměrů a tvarů není požadována zvláštní tolerance, je tedy nutné dodržet jen základní tolerance rozměrů. Zvýšená přesnost není požadována ani na hodnotu drsnosti povrchu, požadovaná velikost je dosažena technologií hlubokého tažení. O zvolení příslušných nástrojů a strojů rozhoduje více aspektů, mezi které lze zařadit polotovár, materiál a tvar součásti, sériovost, kvalita a velmi důležitým prvkem je výsledné ekonomické zatížení. Dostatečná velikost přírubby dovoluje bezproblémové použití přídržovače. Z hlediska technologického postupu výroby je důležité určit postup tažení. Zde se nabízí dvě řešení, prvním je vytažení daného tvaru s tím, že v poslední operaci bude v tažnici umístěn další nástroj (tažník), kterým bude vytvořena spodní část výtažku. Druhým způsobem je nejprve vytažení tvaru s větším vnitřním průměrem a poté následné otočení součásti a vytažení menšího vnitřního průměru do dna výtažku. V prvním postupu je ušetřena jedna tažná operace, ale nástroj pro poslední operaci bude dražší, v druhém případě nemusí být řešen složitější tvar tažníku a v tažnici nemusí být další tažník, ale nástroj bude větší. Obě tyto metody mají své výhody a nevýhody a v konečném výběru hraje roli rychlost výroby a samozřejmě cena jedné či druhé metody.



Obr. 26. Navrhovaná součást.

Postup výroby se skládá z vystřížení přístřihu ze zvoleného polotovaru plechu. Následně je z těchto přístřihů pomocí tažného nástroje vyroben na jednu operaci výsledný tvar i s prolisem ve dně výtažku. [16]

3.1 Stanovení velikosti přístřihu

Jak je zmíněno v kapitole 2.1.1, je výpočet přístřihu možný početně nebo dle grafů k tomu určených. Zde je využito početní řešení, které vychází ze zákona zachování plochy. Pro výpočet přístřihu tedy stačí znát celkovou plochu výtažku. Je využito programu Autodesk Inventor Professional 2022 pro zjištění celkové plochy, která je dle programu 123 729,7 mm².

Výpočet přístřihu dle vzorce 2.2:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 123729,7}{\pi}} = 396,91 \text{ mm}$$

Vzhledem k tažení výtažku s přírubou je ještě průměr přístřihu zvětšen o 3 mm (po zajištění dostatečné šířky příruby) [48]:

$$D_0 = 396,91 + 3 = 399,91 \text{ mm}$$

Vzhledem ke zvolené technologii dělení materiálu (stříhání) je zvolen konečný průměr přístřihu materiálu:

$$D_0 = 400 \text{ mm.}$$

3.2 Stanovení počtu tažných operací

Počet operací závisí na hodnotě součinitele tažení m , který je určen buď pomocí diagramů nebo tabulky v závislosti na poměrné tloušťce přístřihu. Zde je použit přístup přes tabulku (tab. 2.) ze které jsou určeny hodnoty součinitelů tažení a pomocí nich vypočítány potřebné počty operací.

Výpočet poměrné tloušťky přístřihu:

$$\frac{s_0}{D_0} \cdot 100 = \frac{2}{400} \cdot 100 = 0,5$$

Dle vypočítané poměrné tloušťky je ve výše uvedené tabulce (kap. 2.1.2, tab. 2.) určen příslušný sloupec (0,6 – 0,3) a jsou určeny součinitelé tažení:

$$m_1 = 0,55$$

$$m_2 = 0,78$$

$$m_3 = 0,80$$

$$m_4 = 0,82$$

$$m_5 = 0,85$$

Pomocí již určených součinitelů tažení a vzorce 2.4 z kapitoly 2.1.2 lze vypočítat průměry výtažku v jednotlivých operacích a z toho určit potřebný počet operací, je zapotřebí dosáhnout průměru 226 mm:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,55 \cdot 400 = 220 \text{ mm}$$

Z výpočtu je tedy jasné, že je možné na jednu operaci vytáhnout průměr 220 mm. To značí, že potřebný průměr 226 mm je možno zhotovit na jednu tažnou operaci.

Jako kontrola počtu tahů je použit vzorec 2.5:

$$m_c = m_1 = 0,55$$

$$m_n = \frac{d_1}{D_0} = \frac{226}{400} = 0,565$$

Pro potřebný počet tažných operací platí, že $m_c = m_n$. Z předchozího výpočtu je vidět, že součinitele tažení se skoro rovnají a počet tahů je vyhovující.

3.3 Návrh rozmístění přístřihu

Výchozí polotovár je volen mezi tabulí plechu a svitkem plechu. V případě tabule je nutné zvolit její příslušné rozměry. Dle výrobce jsou nabízeny tři typy tabulí, které vyhovují požadavku 2 mm a materiálu ČSN 17 240 a jejich rozměry jsou uvedeny v tab. 8.

Tab. 8. Typy plechů dle výrobce. [39]

Rozměr [mm]	Váha tabule [kg]	Cena/kg [Kč]	Cena tabule [Kč]
2 x 1000 x 2000	32	222,8	7129,6
2 x 1250 x 2500	50	222,8	11140
2 x 1500 x 3000	72	222,8	16041,6

Přístřih kruhového tvaru, který je zapotřebí vystřihnout bohužel není úplně nejlepší volbou z pohledu uspořádání na pásu plechu. Proto je zvoleno uspořádání jednořadé přímé a dle digramu, který je uveden v příloze 3 jsou určeny velikosti přepážek. Pomocí těchto hodnot je vypočítána šířka pásu, který bude ustřižen z tabule a velikost kroku na daném pásu. Následně je z příložených plechů určen dle výpočtů a ekonomického zhodnocení rozměr plechu a rozmístění přístřihu na něm [6; 16]:

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

$$F = 9 \text{ mm}$$

$$\check{S} = D_0 + F = 400 + 9 = 409 \text{ mm}, \quad (3.1)$$

kde: \check{S} - šířka pásu plechu [mm]

F - velikost okrajů [mm]

$$K_p = D_0 + E = 400 + 3 = 403 \text{ mm}, \quad (3.2)$$

kde: K_p - velikost kroku na pásu [mm]

E - velikost přepážky [mm]

Na obr. 26. je tedy finální rozmístění přístřihu na tabuli, ze které jsou vystřihány pásy plechu o příslušné šířce. Pro příklad je vypočítáno uspořádání na tabuli 2 x 1000 x 2000, zbylé možnosti jsou počítány stejným způsobem, a proto zde nejsou detailně popisovány a jejich výsledky jsou zaneseny v tab. 9.:

Počet pásů na dané tabuli plechu:

$$P_p = \frac{1000}{\check{S}} = \frac{1000}{409} = 2,445 \text{ ks}. \quad (3.3)$$

Z výpočtu vyplývá, že z příslušné tabule je možné zhotovit 2 pásy plechu.

Počet výstřížků na pásu na dané tabuli plechu:

$$P_v = \frac{2000}{K} = \frac{2000}{403} = 4,963 \text{ ks}. \quad (3.4)$$

Je zřejmé, že na příslušný pás se vejdou 4 výstřížky polotovaru.

Celkový počet výstřížků na dané tabuli plechu:

$$P_c = P_p \cdot P_v = 2 \cdot 4 = 8 \text{ ks}. \quad (3.5)$$

Z tabule plechu o rozměrech 1000 x 2000 lze zhotovit 8 výstřížků.

Počet tabulí na sérii:

$$P_t = \frac{100000}{P_c} = \frac{100000}{8} = 12500 \text{ ks}. \quad (3.6)$$

Pro vyrobení potřebných výstřížků na splnění zadané série je potřeba nakoupit 12 500 ks tabulí plechu o rozměrech 2 x 1000 x 2000.

Využití tabule plechu [7]:

$$\eta = \frac{S_{vs} \cdot P_c}{1000 \cdot 2000} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot P_c}{1000 \cdot 2000} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot 400^2}{4} \cdot 8}{1000 \cdot 2000} \cdot 100 = 50,27 \%, \quad (3.7)$$

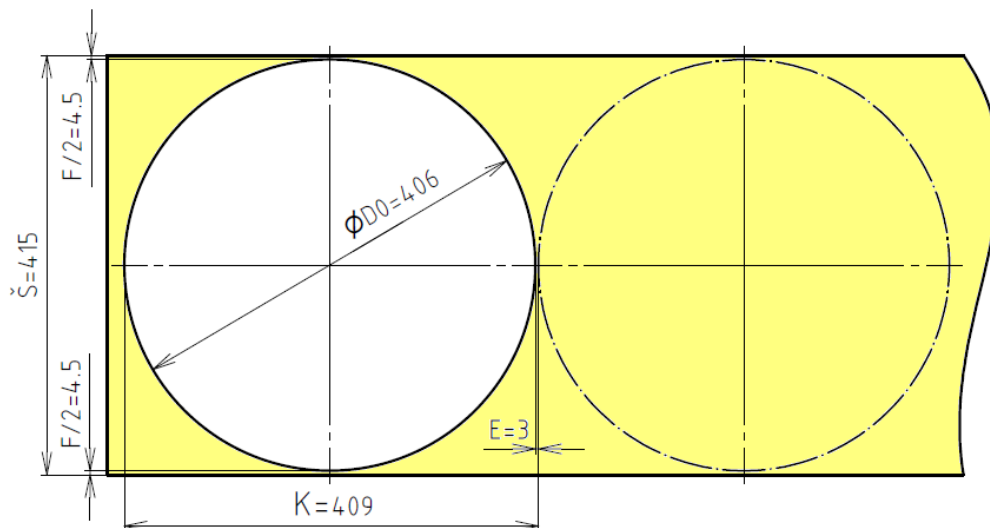
kde: η - využití tabule plechu [%]
 S_{vs} - plocha výstřížku [mm²]

Tato tabule má využití 51,78 %.

Tab. 9. Výsledky rozmístění variant plechů.

Rozměr [mm]	P _p [ks]	P _v [ks]	P _c [ks]	P _t [ks]	η [%]
2 x 1000 x 2000	2	4	8	12500	50,27
2 x 1250 x 2500	3	6	18	5556	72,38
2 x 1500 x 3000	3	7	21	4762	58,64

Z tabulky je patrné, že nejlepší účinnost má tabule 2 x 1250 x 2500. Poté následuje varianta 2 x 1500 x 3000 a nejhůře je na tom tabule 2 x 1000 x 2000.



Obr. 26. Rozmístění výstřížků na páse.

V případě svitku plechu je nutné určit jeho šířku. Ta je definovaná stejně jako v případě tabule plechu (dle přílohy 2), a tudíž rozmístění přístříhu je stejné jako na obr. 26. Po stanovení šířky svitku je zvolen jeho vnitřní průměr 400 mm a jeho vnější průměr 1000 mm. Tyto hodnoty jsou voleny z důvodu jednodušší manipulace se svitkem. Jeho objem je vypočítán dle vztahu:

$$V_{sv} = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot \check{S} - \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot \check{S} = \frac{\pi \cdot 1000^2}{4} \cdot 409 - \frac{\pi \cdot 400^2}{4} \cdot 409 = 269831393 \text{ mm}^3, \quad (3.8)$$

kde: D_1 - vnitřní průměr svitku [mm]
 D_2 - vnější průměr svitku [mm]

Objem svitku je 269831393 mm³.

Výpočet celkové délky svitku:

$$L_{sv} = \frac{V_{sv}}{\check{S}_{s0}} = \frac{269831393}{409 \cdot 2} = 329867,2 \text{ mm}, \quad (3.9)$$

Celková délka svitku je 329867,2 mm.

Počet přístřihů z jednoho svitku plechu:

$$n_v = \frac{L_{sv}}{K} = \frac{329867,2}{403} = 818,529 \text{ ks}, \quad (3.10)$$

Počet přístřihů z jednoho svitku je 818 ks.

Počet svitků pro vyrobení dané série:

$$N_{sv} = \frac{100000}{n_v} = \frac{100000}{818} = 122,25 \text{ ks}, \quad (3.11)$$

Pro vyrobení dané série je zapotřebí 123 ks svitků plechu.

Využití svitku plechu:

$$\eta_{sv} = \frac{S_v \cdot n_v}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot n_v}{L_{sv} \cdot \delta} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot 400^2}{4} \cdot 818}{329867,2 \cdot 409} \cdot 100 = 76,19 \%, \quad (3.12)$$

kde: S_v - plocha svitku [mm^2]

Celkové využití svitku plechu je 76,19 %.

Po porovnání variant s tabulí plechu či se svitkem je zvolena varianta se svitkem plechu jako polotovarem. Tato volba je především z důvodu využití svitku a velkého množství tabulí plechu, které by byly potřeba pro vyrobení dané série. S použitím svitku je ale nutné přidat před střížný nástroj podavač svitku a rovnací stroj pro narovnání plechu.

3.4 Kontrola potřeby přidržovače

Pro zjištění, zda je nutné v první operaci použít či nepoužít přidržovač při tažení, je použito tři empirických vztahů, které jsou uvedeny v kapitole 2.1.3:

Dle Freidlinga (vzorec 2.6):

$$\Delta s = \frac{s_0}{D_0} \cdot 100 = \frac{2}{400} \cdot 100 = 0,5$$

Jelikož poměrná tloušťka, která dle výpočtu vyšla 0,5 je menší než hodnota 1,5, je dle Freidlinga nutné použít přidržovač.

Dle Šofmana (vzorec 2.7):

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

$$400 - 226 \leq 18 \cdot 2 \Rightarrow 174 \not\leq 36$$

Podmínka dle Šofmana tedy není splněna což znamená, že je nutné použít přidržovač.

Podle normy ČSN 22 7301 (vzorec 2.8):

$$\alpha = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{2}}{\sqrt[3]{400}} \right) = 85,403 ,$$

$$\alpha \geq 100 \cdot \frac{d}{D_0}$$

$$85,403 \geq 100 \cdot \frac{226}{400} \Rightarrow 85,466 \geq 56,5$$

Z výsledku nerovnice vyplývá, že použití přidržovače je nutné pro správný proces tažení.

Všechny tři způsoby ověření použití přidržovače se shodují, že jeho použití je nutné, a je tedy zapotřebí táhnout s přidržovačem.

3.5 Určení tažné mezery

Stanovit lze dvěma způsoby, a to buď výpočtem dle vzorce 2.14 nebo pomocí tabulky 5 v kapitole 2.1.5. Výpočet dle vzorce pro první operaci:

$$z_1 = (1,2 \div 1,3) \cdot s_0 = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ mm}$$

Tažná mezera dle výpočtu je 2,4 mm.

Dle tab. 5. je zvolena doporučená hodnota pro tloušťku plechu 2 mm hodnota 2,4 mm. Hodnoty získané výpočtem a dle tabulky se shodují, a proto je velikost tažné mezery zvolena 2,4 mm což tedy znamená, že tažná vůle je 4,8 mm.

Pro prolis je zvolena stejná tažná mezera jako u první. Důvodem je stejná tloušťka plechu a splnění operace na jeden tah, tak jako u hlavní operace.

3.6 Určení geometrie tažného nástroje

Hlavními aspekty stanovení geometrie pro první operaci je určení funkčních částí nástroje, tedy přesněji řečeno poloměry hran tažníku a tažnice. Tažná hrana může být určena více způsoby, např. pomocí vzorců 2.16 a 2.17:

$$R_{te1} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d) \cdot s_0} = 0,8 \cdot \sqrt{(400 - 226) \cdot 2} = 14,924 \text{ mm}$$

Dle vzorce 2.16 výpočet udává výsledek 14,924 mm, je zaokrouhleno nahoru a zvolena tažná hrana 16 mm.

$$R_{te1} = (6 \div 10) \cdot s_0 = 8 \cdot 2 = 16 \text{ mm}$$

Je zřejmé, že podle vzorce 2.17 (ČSN 7301) může tažná hrana nabývat hodnot 12 až 20 mm. Je zvolena střední hodnota a velikost tažné hrany je vypočten na 16 mm.

Poloměr tažnic je ještě určen pomocí tab. 6. Je zvolen řádek tažení s přírubou a sloupec 1 – 0,3 neboť poměrná tloušťka polotovaru, která je vypočítána v kapitole 3.2 má hodnotu 0,5. Doporučená hodnota dle tabulky je 15 až 20 mm.

Podle vypočítaných hodnot a s přihlédnutím k hodnotám, které jsou doporučeny dle tabulky je zvolena pro poloměr tažnice hodnota 16 mm.

Jako další funkční část je zapotřebí určit poloměr tažníku. Ten je určen pomocí tab. 7., kdy je zvolen řádek 200 a více a poloměr je vypočítán dle následujícího vzorce:

$$R_{tu1} = (5 \div 7) \cdot s_0 = 5 \cdot 2 = 10 \text{ mm}$$

Poloměr hrany tažníku může dle vzorečku nabývat hodnot 10 až 14 mm. Jelikož je průměr 226 tažen na jednu operaci je nutné, aby poloměr funkční hrany tažníku byl stejný jako poloměr ve dně výtažku. Proto je zvolen 10 mm.

Také v prolisu ve dně je nutné stanovit funkční části nástroje. Způsob je použit stejný jako pro předchozí operaci, a to podle vzorců 2.16 a 2.17:

$$R_{te2} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_{01} - d_{01}) \cdot s_0} = 0,8 \cdot \sqrt{(230 - 124) \cdot 2} = 11,648 \text{ mm}$$

Vypočtená hodnota je zaokrouhlená na 12 mm.

$$R_{te2} = (6 \div 10) \cdot s_0 = 6 \cdot 2 = 12 \text{ mm}$$

Dle výpočtu je možná velikost tažné hrany od 12 do 20 mm. Je zvolena hodnota 12 mm.

Z výpočtů je patrné, že velikost poloměru tažné hrany pro prolis ve dně výtažku je 12 mm, ale protože je tažen na jednu operaci je nutné zvolit poloměr dle součásti a to 10 mm.

Stanovení poloměru tažníku pro zhotovení prolisu vychází z tab. 7, kdy je zvolen řádek 100 až 200:

$$R_{tu2} = (4 \div 5) \cdot s_0 = 5 \cdot 2 = 10 \text{ mm}$$

Je zřejmé, že hodnota poloměru může být 8 až 10 mm. Je nutné ho zvolit dle výsledného tvaru, protože je prolis proveden na jeden tah. Poloměr tažníku pro druhou operaci je tedy stanoven na 10 mm.

3.7 Výpočet tažné síly a práce

Pro první operaci platí, že tažná síla musí být o něco menší než síla na utržení dna výtažku tzv. síla kritická, která je vypočítána dle vzorce 2.9 (hodnota R_m je brána z tab. 1.):

$$F_{tkrit} = \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot R_m = \pi \cdot 226 \cdot 2 \cdot 550 = 780999,93 \text{ N}$$

Výsledek kritické síly je zaokrouhlen na 781 kN.

Skutečná tažná síla je o něco menší než kritická a pro její výpočet je zapotřebí určit koeficient C . Ten je stanoven dle tab. 4. a jeho hodnota je 0,9. Výpočet síly je proveden dle vzorce 2.10:

$$F_t = C \cdot \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot R_m = 0,9 \cdot \pi \cdot 226 \cdot 2 \cdot 550 = 702899,94 \text{ N}$$

Po zaokrouhlení je stanovena velikost skutečné tažné síly na 702,9 kN.

Jelikož je použit přídržovač je nutné také počítat se silou přídržovače, které je vypočtena dle následujícího vzorce, kde měrný tlak je určen dle tab. 3. [16]:

$$F_p = S_p \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot [D_0^2 - (d + 2 \cdot R_{te1})^2] \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot [400^2 - (226 + 2 \cdot 16)^2] \cdot 3 = 220153,39 \text{ N}, \quad (3.4)$$

kde: S_p - plocha příruby pod přídržovačem [mm^2]
 p - měrný tlak přídržovače [MPa]

Vypočtená přídržovací síla je zaokrouhlena na 220 kN.

Jelikož je použit vyhazovač, je zapotřebí vypočítat také vyhazovací sílu. Ta je spočtena dle vzorce 2.11 (měrný tlak volen dle tab. 3.):

$$F_v = S_v \cdot p_v = 123729,7 \cdot 2 = 247459,4 \text{ N}$$

Vyhazovací síla je zaokrouhlena na 247 kN.

Další výpočet se týká velikosti síly pro vytažení prolisu ve dně výtažku. Je proveden dle vzorce 2.10 a koeficient C je zvolen 1:

$$F_r = C \cdot \pi \cdot d_{01} \cdot s_0 \cdot R_m = 1 \cdot \pi \cdot 124 \cdot 2 \cdot 550 = 428513,24 \text{ N}$$

Spočtená hodnota tažné síly je zaokrouhlena na 429 kN.

Celková síla pro druhou operaci je vypočítána dle vzorce 2.11:

$$F_c = F_t + F_p + F_r + F_v = 702900 + 220000 + 429000 + 247000 = 1598900 \text{ N}$$

Velikost celkové síly pro celý proces má hodnotu 1 598,9 kN.

Pro určení stroje je třeba ještě vypočítat tažnou práci dle vzorce 2.12, hodnota koeficientu zaplnění plochy k je zvolena 0,66:

$$A = \frac{k \cdot F_c \cdot h_v}{1000} = \frac{0,66 \cdot 1598900 \cdot 75}{1000} = 79145,55 \text{ J}$$

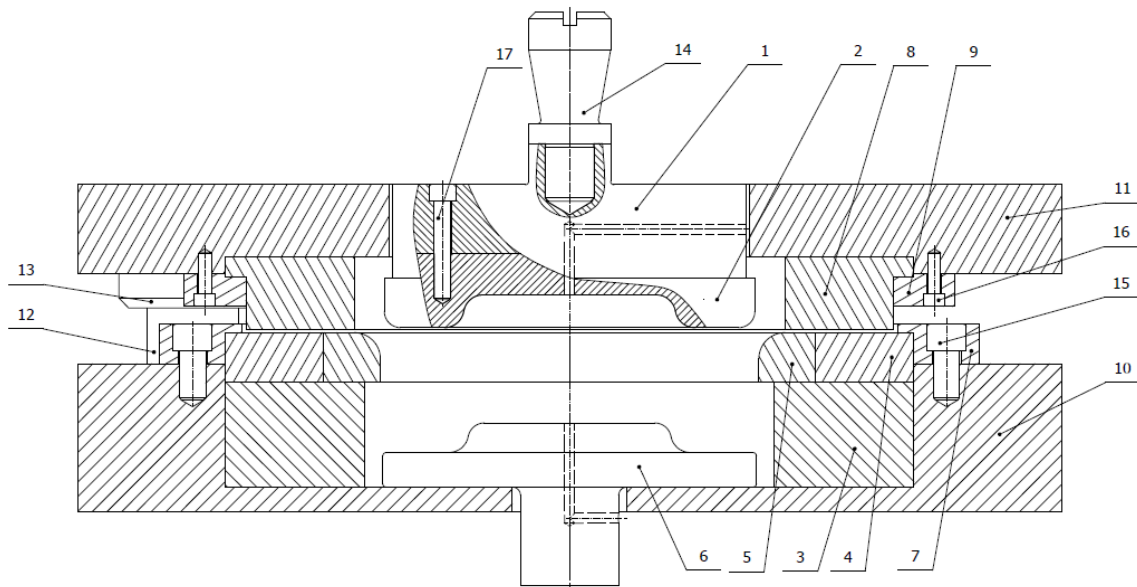
Po zaokrouhlení je velikost tažné práce 79,1 kJ.

3.8 Návrh nástroje

Nástroj je zkonstruován tak, aby při jedné operaci vznikl výsledný tvar i s prolisem ve dně výtažku, viz obr. 28. Je složen ze spodní a vrchní části, které jsou spojeny dvěma vodícími sloupky **12** ve vodících pouzdrech **13**.

Základ spodní části je základová deska **10**, ve které je umístěno tělo tažnice **3**. Na těle je umístěna dělená tažnice, která se skládá z konstrukční **4** a nástrojové oceli (19 436) **5**, která je zalisována v konstrukční části. Uvnitř těla tažnice je umístěna dorazová deska **6**, která plní funkci tažníku pro prolis ve dně výtažku a zároveň plní roli vyhazovače. Poloha tažnice je upevněna středícím kroužkem **7** za pomoci dvou kolíků. Tento kroužek je upevněn k základové desce pomocí šesti šroubů **15**.

Horní část se skládá z děleného tažníku, který je složen z konstrukční **1** a nástrojové oceli (19 436) **2**. Tyto dvě části jsou spojeny dvěma šrouby **17**. V těžišti tažníku je umístěna stopka **14**, která je upnuta do beranu lisu. Celá tato část prochází kotevní deskou **11** k níž je pomocí zakládacího kroužku **9** a šroubů **16** připevněn a vystředěn přídržovač **8**.



Obr. 28. Řez tažným nástrojem.

Výsledný tvar výrobku je tedy vytažen na jednu operaci. Beran lisu sjíždí s horní částí nástroje směrem dolů. Přístřih plechu je umístěn na tažnici ve středícím kroužku. První začne působit silou na plech přídržovač. Dále ze spodní části vyjíždí dorazová deska a jako první je vytažen prolis ve spodní části. Po vytažení prolisu dorazová deska zajíždí zpátky do tažnice a seshora sjíždí tažník do tažnice. Po dosáhnutí požadované hloubky, která je zajištěna dorazovou deskou, tažník vyjíždí zpátky nahoru a pomocí přídržovače je setřen výtažek. Po setření je výtažek dorazovou deskou vyhozen z tažnice. Výkres sestavy je uveden v příloze.

3.9 Volba stroje

Volba závisí na velikosti potřebné síly, práce a tvaru výrobku. Důležité je také vybrat lis s dostatečným zdvihem pro bezpečné založení a vyjmutí součástí. Je oddělen pohyb tažníku a přídržovače a ze spodní části je ještě pohyb dorazové desky. Z toho vyplývá, že je zapotřebí trojčinného lisu. Dle těchto požadavků je navrhnout hydraulický lis PO 160/100 firmy Dieffenbacher (obr. 27.) o jmenovité tažné síle 1600 kN horního beranu, 1000 kN přídržovače a 1000 kN pro spodní beran lisu. Splňuje tak potřebnou tvářecí sílu 1 598,9 kN. [47]

Zdvih horního tažného beranu je 750 mm, což vyhovuje velikosti vyráběné součásti. Pro vytažení spodního prolisu je dostačující zdvih spodního beranu, který je 300 mm.



Obr. 27. Lis PO 160/100. [47]

ZÁVĚR

Vyráběnou součástí je vnitřní část stropního svítidla, která slouží pro uchycení žárovky a také je pomocí ní a šroubů svítidlo přichyceno ke stropu. Je vyráběna v sérii 100 000 ks/rok. Jako výrobní materiál je zvolena ocel 17 240. Korozivzdorná ocel je zvolena z důvodu možnosti umístění světla na místa se zvýšenou vlhkostí, a především pro kvalitní povrch, který nebude dále upravován.

Nejdříve byly uvažovány technologie pro výrobu přístříhu. Po uvážení podmínek výroby a velikosti série byla zvolena technologie stříhání v nástroji. Pro výrobu výsledného tvaru byly uvažovány různé druhy technologií a jako optimální metoda vyplynula technologie hlubokého tažení bez ztenčení stěny. Jako výsledná kombinace bylo zvoleno stříhání v nástroji a hluboké tažení.

Na základě výpočtů byl sestaven technologický postup výroby. Jako první je z odvíjeného pásu plechu vystřižen přístříh $\varnothing 400$ mm. Ten je poté založen do nástroje a na jednu tažnou operaci je vyroben výsledný tvar, kdy je nejdříve vytažen prolis ve dně výtažku a poté je vytáhnut přírubový tvar. Nástroj pro výrobu výtažku je složen z horní a spodní části. V horní se nachází kotevní deska s přidržovačem a tažník pro vytažení kruhového tvaru s přírubou, který slouží pro prolis ve dně jako tažnice. Ve spodní části je tažnice, ve které se nachází dorazová deska. Ta slouží jako tažník pro vytažení prolisu a zároveň také plní funkci vyhazovače. Na základě vypočtené síly potřebné pro vytažení tvaru je zvolen jako stroj hydraulický trojčinný lis PO 160/100 firmy Dieffenbacher.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2013. ISBN 978-80-214-3425-7.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.
3. LENFELD, Petr. *Technologie II: Technologie plošného tváření - tažení*. Liberec. [online]. [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm
4. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00221-4
5. HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. *Metal Forming: Mechanics and Metalurgy*. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0-521-88121-0.
6. ALTAN, Taylan a A. Erman TEKKAYA. *Sheet metal forming*. Materials Park, Ohio: ASM International, 2012. ISBN 9781615038442.
7. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I. Plošné a objemové tváření*. Vyd. 2. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0404-3
8. LENFELD, Petr. *Technologie II: Technologie tváření kovů*. Liberec. [online]. [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
9. DVOŘÁK, Milan, Ladislav ŽÁK a František GAJDOŠ. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Brno: PC-DIR Real, 2000. ISBN 80-214-1723-4.
10. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání – Teoretický základ. Tažení plechu*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. [online]. [cit. 2020-02-14]. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tváření%20a%20slévání%20-%20Teoretický%20základ/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/6.%20TAŽENÍ%20PLECHU.pdf
11. ČSN 22 7301. *Tažení dutých válcových výtažků: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1969.
12. Akademie tváření: Hluboké tažení. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011 [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni>
13. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
14. KLUBER LUBRICATION. *Produkty a služby: Klübertec ST 4-701*. [online]. [cit. 2022-02-25] Dostupné z: <https://www.klueber.com/cz/cs/produktysluzby/produkty/kluebertec-st-4-701-/10214/>
15. HI-OIL s. r. o. *Plastická maziva: Mogul LV 2 EP*. [online]. [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: https://www.hi-oil.cz/p/mogul-lv-2-ep-250-g?gclid=CjwKCAiAsNKQBhAPEiwAB-I5zfk5uSg4bmif5rBY73-yUD9k7i36SrIPbiPj72Ef3D8pQeUj2nibGxoCCWMQAvD_BwE
16. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993. ISBN 80-01-01003-1.
17. POKORNÝ, Přemysl. *Výrobní stroje II. Mechanické lisy*. Liberec: TUL, 1998. [online]. [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní_stroje/tvareci.pdf

-
18. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje*. Brno, 2002. Kombinované studium, III. ročník. [online]. [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobní_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf
 19. ČSN 22 6001. *Názvosloví technologie tváření kovů*. Praha: Český normalizační institut, 1968.
 20. MS TECHNIK spol. s r. o. *Výroba: Lisovna*. [online]. [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://www.mstechnik.cz/vyroba/lisovna/>
 21. TRYON s. r. o. *Výroba: Lisování plechových výlisků*. [online]. [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: <https://www.tryon.cz/lisovani-plechovych-vylisku/>
 22. PROMAT s. r. o. *Technologie: Ohýbání plechů*. [online]. [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: <https://www.promatcz.cz/cz/cnc-vyroba/ohybani-plechu/>
 23. LENFELD, Petr. *Technologie II: Technologické způsoby výroby dutých těles*. Liberec. [online]. [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/10.htm
 24. MEVA a. s. *Služby: Kovotlačení*. [online]. [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: <https://www.meva.eu/cs/sluzby/kovotlacení/>
 25. MORKUS MORAVA s. r. o. *Technická data: Princip řezání vodou*. [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <http://www.rezani-cnc.cz/princip-rezani-vodnim-paprskem.html>
 26. WATERJET CORPORATION s. r. l. *Applications: Waterjet technology and applications*. [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.waterjetcorp.com/en/application-sectors.php>
 27. LINTECH, spol. s r. o. *Produkty: Laserová technologie*. [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.lintech.cz/produkty/laserove-technologie/laser-podle-aplikace/laserove-rezani>
 28. TRUMPF PRAHA, spol. s r. o. *Řešení: Použití: Laserové řezání*. [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/reseni/pouziti/laserove-rezani/
 29. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání – teoretický základ: Nekonenční způsoby tváření*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013. [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tváření%20a%20slévání%20-%20Teoretický%20základ/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/11.%20NEKONVENČNÍ%20ZPŮSOBY%20TVÁŘENÍ.pdf
 30. Mech4study. *What is deep drawing process*. [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.mech4study.com/2017/05/what-is-deep-drawing-process.html>
 31. INDIAMART InterMESH Ltd. *Deep drawn components*. [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/deep-drawing-components-9507175130.html>
 32. KM RUSTFRI a. s. *Deep drawing*. [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://kmrustfri.dk/deep-drawing/>
 33. AUTOFORM ENGINEERING. *Glossary: Drawbeads*. [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.autoform.com/en/glossary/drawbeads/>
-

-
34. FERONA a.s. *Materiálové normy*. [online]. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/materialove-normy/>
 35. NOVEL s. r. o. *Materiálové normy*. [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <http://www.novel.sk/materialove-normy/>
 36. COMPANY PMX s. r. o. *Postupové nástroje*. [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.companypmx.cz/cz/nase-vyrobky/postupove-nastroje.html>
 37. ŠMERAL BRNO, a. s. *Tvářecí stroje: Klikové lisy*. [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/48/lkt-250-a>
 38. ŠMERAL BRNO, a. s. *Tvářecí stroje: Hydraulické lisy*. [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/52/cys-320>
 39. NEREZMATERIAL.CZ. *Produkty: Plechy*. [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.nerezmaterial.cz/produkty-plechy>
 40. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání v příkladech: Stříhání plechu*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013. [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/vy_01_005/Technologie%20tváření%20a%20slévání%20-%20v%20příkladech/02%20Text%20pro%20e-learning/3.%20STŘÍHÁNÍ%20PLECHU.pdf
 41. VACKOVÁ MICHAELA – ELEKTROMATERIÁL A SVÍTIDLA. *Svítidla interiérová*. [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.elektromaterial-svitidla.cz/eurakles-aneta-led-12w-4000k--ip44/>
 42. KT METSTEEL s. r. o. *Řezání vodním paprskem*. [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.ktmetsteel.cz/rezani-vodnim-paprskem>
 43. TORQUE PRECISION Ltd. *Laser cutting*. [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.torqueld.co.uk/laser-cutting/>
 44. HERMANDERS AB. *Deep drawing*. [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://hermanders.se/en/deep-drawing/>
 45. GUTEKUNST + Co.KG. *Vypočítejte sílu pružiny*. [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://blog.federnshop.com/cs/vypocitejte-silu-pruziny/>
 46. UNIVER, spol. s. r. o. *Produkty: Autokarosárna: Stroje a nářadí DINO*. [online]. [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.univer.cz/nuzky-na-plech-kotoucouve-rs-080-sp2-id5798>
 47. DIEFFENBACHER – CZ, hydraulické lisy, s. r. o. *Tváření plechů: Reference tvářecích strojů*. [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: https://dieffenbacher.cz/upload/Downloads/dieffenbacher_plosne_tvareni_plechu.pdf
 48. DVOŘÁK, Milan, Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření*. Brno, 2006. Kombinované studium I. Stupeň, 2. ročník. [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/priklady_tazeni.htm
 49. GAJDOŠ, František. *Technologie tváření kovů: Studijní opory*. [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/5te_technologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažná práce	[J]
A ₁	tažnost materiálu	[%]
C	součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení	[-]
D ₀	průměr výstřížku	[mm]
D ₁	vnitřní průměr svitku	[mm]
D ₂	vnější průměr svitku	[mm]
d	vnitřní průměr výtažku	[mm]
E	velikost přepážky	[mm]
F	velikost okrajů	[mm]
F _c	celková tažná síla	[N]
F _p	přidržovací síla	[N]
F _r	síla pro vytažení prolisu ve dně výtažku	[N]
F _t	tažná síla	[N]
F _{tkrit}	síla na utržení dna výtažku	[N]
F _v	vyhazovací síla	[N]
h	minimální výška výtažku	[mm]
h _v	hloubka výtažku	[mm]
K	stupeň tažení	[-]
K _p	velikost kroku na pásu plechu	[mm]
k	koeficient zaplnění plochy	[-]
L _{sv}	celková délka svitku plechu	[mm]
m _{1,2,3,4,5}	součinitelé tažení	[-]
m _c	celkový součinitel tažení	[-]
m _n	součinitel tažení pro n-tý tah	[-]
N _{sv}	počet svitků plechu na vyrobení dané série	[ks]
n _v	počet přístřihů z jednoho svitku plechu	[ks]
P _c	celkový počet výstřížků na tabuli plechu	[ks]
P _p	počet pásů na tabuli plechu	[ks]
P _t	počet tabulí plechu na danou sérii	[ks]
P _v	počet výstřížků na pásu plechu	[ks]
p	měrný tlak přidržovače	[MPa]
p _v	měrný tlak vyhazovače	[MPa]
R _e	mez kluzu	[MPa]
R _m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
R _{te1,2}	zaoblení hrany tažnice	[mm]
R _{tu1,2}	zaoblení hrany tažníku	[mm]
S	plocha přístřihu	[mm ²]
S _p	plocha příruby pod přidržovačem	[mm ²]
S _{sv}	plocha svitku plechu	[mm ²]
S _v	plocha výtažku	[mm ²]
S _{vs}	plocha výstřížku	[mm ²]
s ₀	výchozí tloušťka plechu	[mm]
Δs	součinitel dle Freidlinga	[-]
Š	šířka pásu plechu	[mm]
V _{sv}	objem svitku plechu	[mm ³]
v	tažná vůle	[mm]

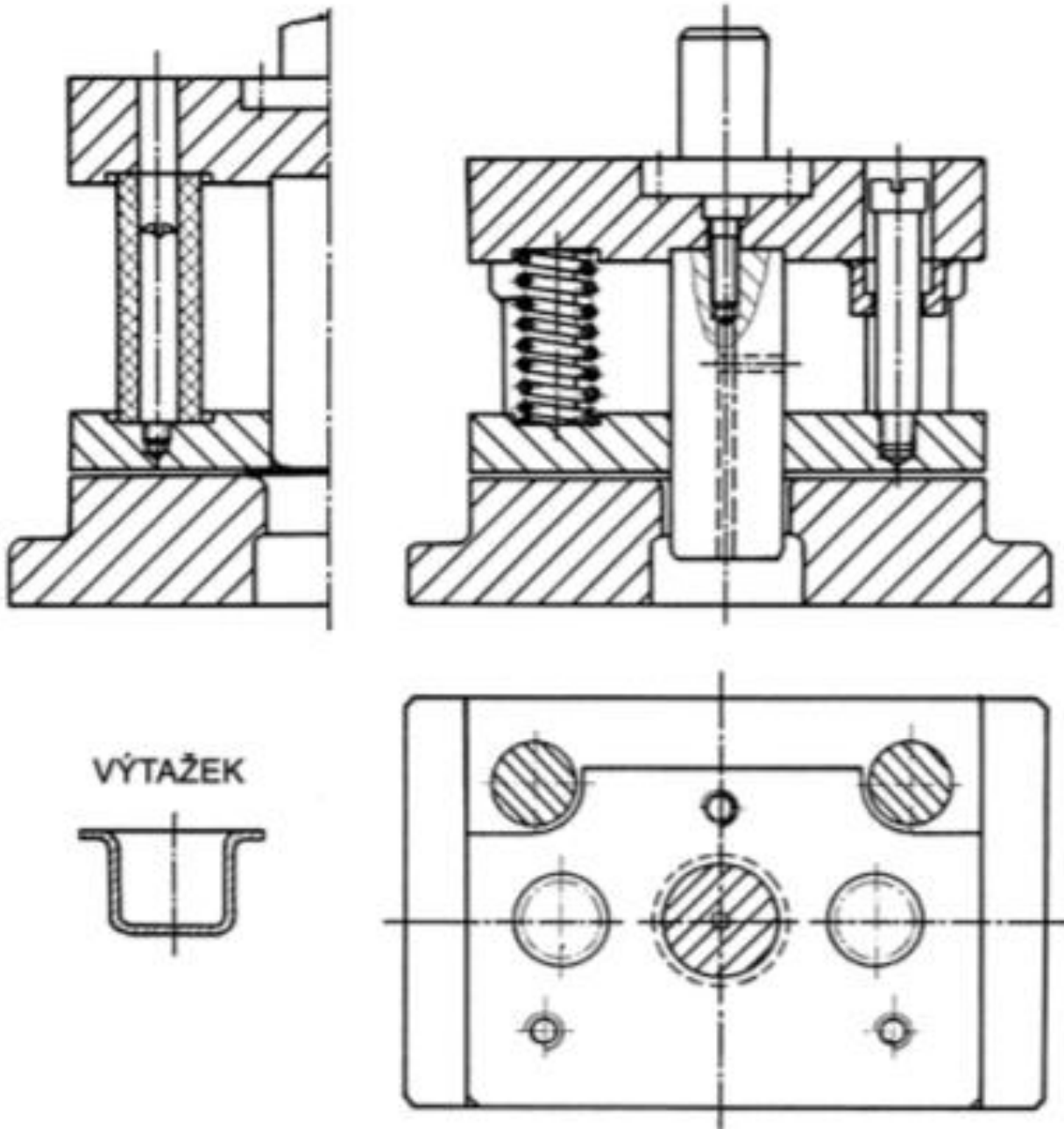
Z	materiálová konstanta	[-]
z	tažná mezera	[mm]
z_k	velikost tažné mezery pro kalibraci	[mm]
z_n	tažná mezera pro další operace	[mm]
z_1	tažná mezera pro první operaci	[mm]
α	součinitel pro určení přidržovače dle ČSN 22 7301	[-]
ε	deformace	[-]
σ	napětí	[MPa]
η	využití tabule plechu	[%]
η_{sv}	využití svitku plechu	[%]

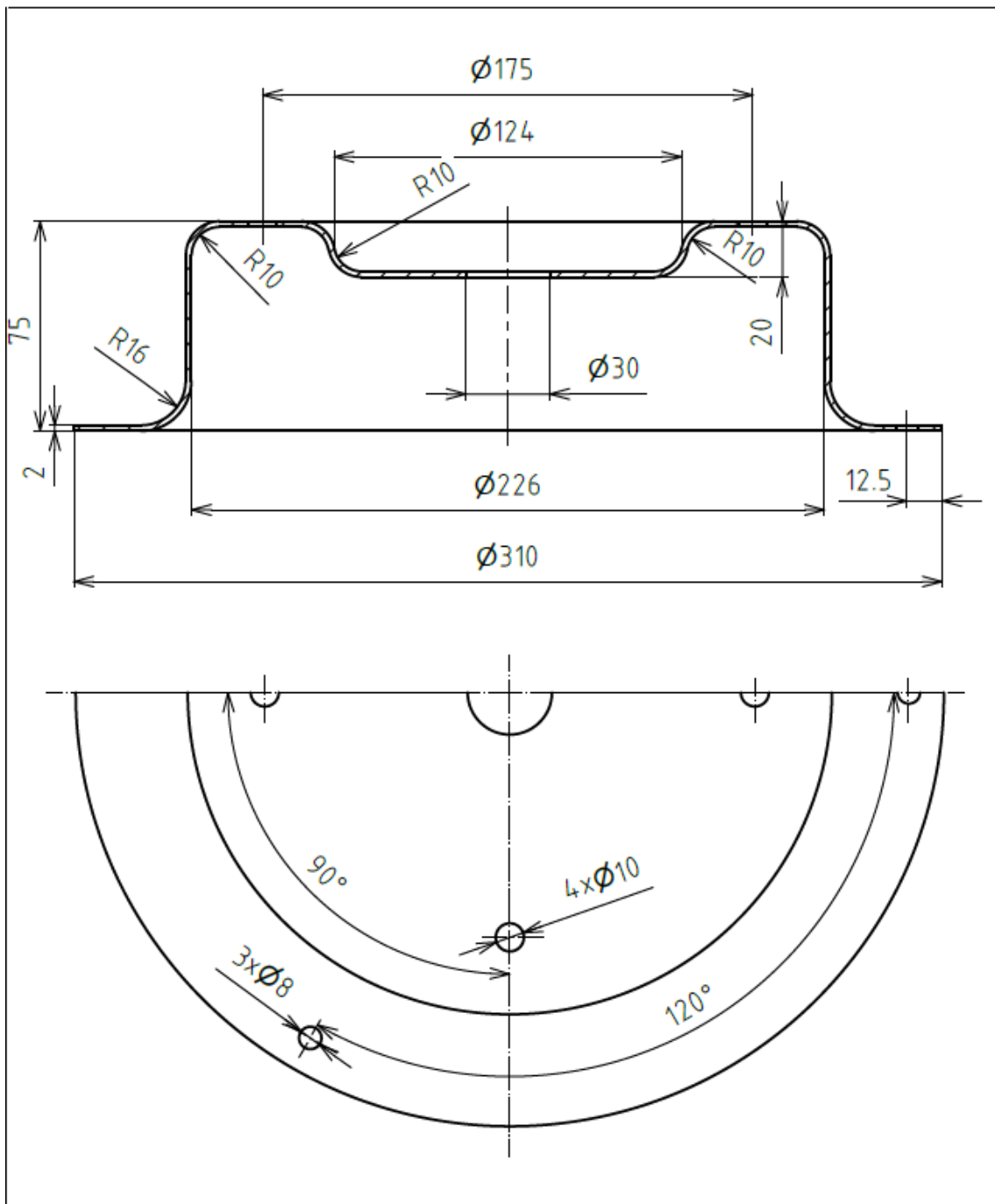
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Příklad tažného nástroje.
Příloha 2 Výkres vyráběné součásti.
Příloha 3 Diagramy pro určení velikosti přepážek u rozmístění přístřihu.

Seznam výkresů

- Svítidlo; BP_208826_00
Tažný nástroj; BP_208826_01
Kusovník; BP_208826_01
Tažník; BP_208826_02
Tažník – nástrojová ocel; BP_208826_02_01
Tažník – konstrukční ocel; BP_208826_02_02
Tažnice; BP_208826_03
Tažnice – konstrukční ocel; BP_208826_03_01
Tažnice – nástrojová ocel; BP_208826_03_02





Drsnost povrchu Ra 3,2 (✓)	Hrany $-0,3$ $+0,3$	Měřítka 1 : 2	Přesnost ISO 2768-mH Promítání Sestava
Materiál 17 240	Polotovár	Hmotnost 1,95 kg	Chráněno podle ISO 16016
	Druh dokumentu Kreslil KVASNIČKA JAN Schválil Datum vydání 12.05.2022	Název <h1 style="text-align: center;">SVITIDLO</h1> Číslo dokumentu	
			List 1/1

