



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SPRCHOVÉ VANIČKY

PRODUCTION OF SHOWER TRAY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vít Černý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Vít Černý
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Michaela Císařová, Ph.D.
Akademický rok:	2017/18

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

Výroba sprchové vaničky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma práce je zaměřeno na výrobu sprchové vaničky obdélníkového tvaru z ocelového plechu. Součástí je nižší hloubky, která bude zhotovena technologií tažení kovovým či nekonvenčním nástrojem.

Cíle bakalářské práce:

Zhodnotit technologičnost součástí.

Analýza možných metod výroby součástí se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti.

Vypracování aktuální literární rešerše se zaměřením na vybranou technologii.

Zpracování návrhu technologického postupu výroby součástí, doplněného technologickými a kontrolními výpočty.

Navrhnout a popsat tvářecí nástroj včetně základní výkresové dokumentace.

Technicko–ekonomické zhodnocení a závěry.

Seznam doporučené literatury:

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 08-311-3182-9.

VALBERG, S. Henry. Applied Metal Forming: Including FEM analysis. New York: Cambridge University Press, 2010. ISBN 978-0-521-51823-9.

TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-030-0221-4.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-72-1-579-6.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Milan HORÁČEK. Technologie II. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. ISBN 80-214-2032-4.

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

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

ČERNÝ Vít: Výroba sprchové vaničky.

Práce se zabývá návrhem výroby sprchové vaničky hlubokým tažením z austenitické oceli 17 240. Na základě rešerše problematiky hlubokého tažení a vyhotovených výpočtů bylo navrženo tažení v nástroji s horním přidržovačem a spodním vyhazovačem. Tažidlo využívá standartních součástí, které zajišťují jeho funkčnost a upnutí do hydraulického lisu CYA 500 s tažnou silou 5000 kN. Tažník a tažnice jsou vyrobeny z oceli jakosti 19 437.3 tepelně zpracované podle přiložené výkresové dokumentace.

Klíčová slova: Ocel 17 240, tváření, napětí, tažení, tažný nástroj

ABSTRACT

ČERNÝ Vít: Production of shower tray.

The thesis deals with design of technology production of the shower tray made of austenitic steel 17 240. Based on the research of deep drawing and calculations, it was proposed to draw in the tool with upper blankholder and the lower ejector. The drawing tools uses standard components that ensure its functionality and clamping in the CYA 500 hydraulic press with nominal tensile force of 5000 kN. Drawing punch and die are made of 19 437.3 grade steel, heat treated according to the attached drawing documentation.

Keywords: 17 240 steel, forming, strain, deep drawing, drawing tool,

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČERNÝ, Vít. *Návrh sprchové vaničky*. Brno, 2018. 34 s, 5 výkresů, 3 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce paní Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 25.5.2018

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Michaela Císařová, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za plnou podporu.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....9

1 ROZBOR SOUČÁSTI..... 10

1.1 Výrobní možnosti 11

2 HLUBOKĚ TAŽENÍ 13

2. 1 Tažení nerotačních výtažků 14

2. 2 Určení rozměrů a tvaru přístříhu 14

2. 3 Určení počtu tažných operací 16

2. 4 Brzdící žebra..... 17

2. 5 Tažný poloměr..... 18

2. 6 Tažná vůle 19

2. 7 Tažná síla..... 19

2. 8 Mazání v procesu tažení 20

2. 9 Tvářecí nástroje 20

2. 10 Tažná rychlost 22

3 NÁVRH VÝROBY 23

3. 1 Určení polotovaru 23

3. 2 Stanovení počtu tažných operací a použití přidržovače 25

3. 3 Stanovení tažné mezery a velikosti tažných poloměrů 25

3. 4 Výpočet celkové tažné síly a velikosti tažné rychlosti 25

3. 5 Návrh nástroje 26

3. 5. 1 Konstrukce tažidla 26

3. 6 Volba lisovacího stroje 28

3. 7 Technologický postup 29

4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ..... 30

4. 1 Přímé náklady 30

4. 2 Nepřímé náklady 32

4. 3 Stanovení ceny součásti..... 33

4. 4 Určení bodu zvratu 33

5 ZÁVĚRY 34

Seznam použité literatury

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [3], [4], [5], [6], [7], [16]

Mezi významné metody výroby součástí patří technologie tváření. Představuje výrobní proces, při němž dostávají polotovary po zpracování konkrétní navržený tvar za působení vnějších sil. Patří do oblasti beztržkových technologií. Tvářením se zhotovují polotovary určené k dalšímu zpracování např. tvářením a obráběním, ale i hotové výrobky rozmanitých tvarů. Jedná se o ekonomicky efektivní technologii, která se převážně uplatňuje v sériové a hromadné výrobě. V současné době se více jak 90 % výroby zhotovuje tvářením.

Tažení patří k nejdůležitějším lisovacím operacím. Výtažky z plechu představují více než 30 % z celkového objemu výroby lisoven. Je chápáno jako trvalé přetváření plechu v dutá tělesa pomocí lisovacích nástrojů – tažidel. Výchozím polotovarem je přístříh, který se pomocí tažidel přetváří do miskovitěho tvaru výtažku.

Změna tvaru plochého výstrižku se dosahuje tlakem tažníku na polotovar. Tažení ocelí je proces, při kterém se ocel vtahuje za pomoci tažníku do otvoru tažnice. Tenký plech oceli je modelován do rotačního, kuželovitěho nebo hranatěho výtažku. Tímto procesem je možné vyprodukovat finální součást při minimální manipulaci a odpadu. Specifické metody hlubokého tažení se uplatňují především v automobilovém a leteckém průmyslu. Nicméně má tato technologie široké spektrum využití v potravinářském, zdravotnickém ale i v elektronickém průmyslu (obr. 1).



Obr. 1 Příklady výrobků vytvořených technologií tváření [4], [6], [7]

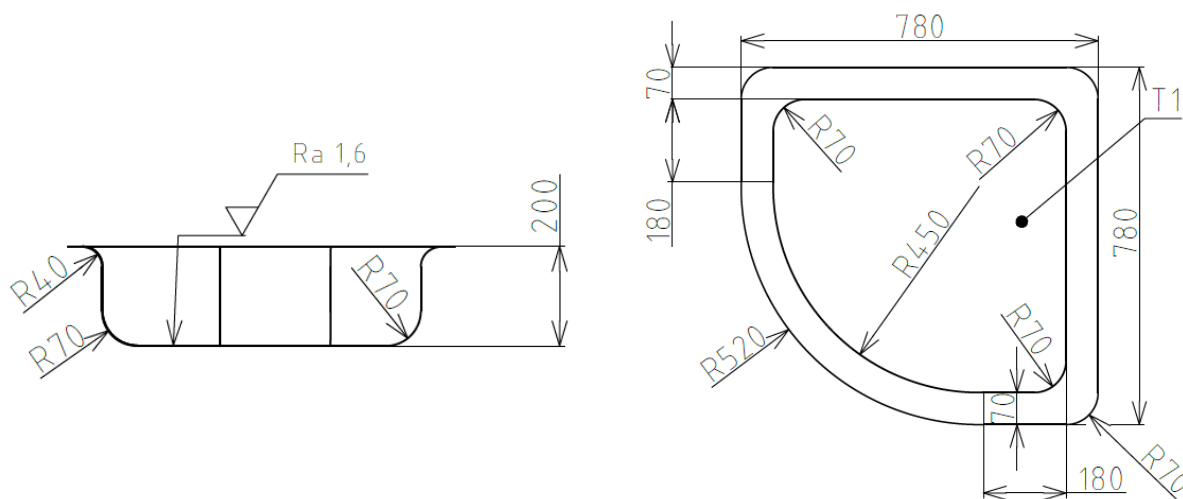
1 ROZBOR ZADÁNÍ [8], [9], [10], [11]

Řešeným výrobkem je nerezová vanička (obr. 2), která je novým produktem na trhu a bude se používat především pro zlepšení kvality každodenní hygienické rutiny. Její integrace do sprchových koutů je zprostředkována pomocí příruby. Zaoblené hrany vaničky jsou stanoveny na R70 mm a tloušťka plechu na 1 mm (obr. 3). Nepředepsané mezní úchytky a geometrické tolerance rozměrů vyráběného výrobku jsou dle ČSN ISO 2768–1(014240). Na modelu vaničky se nevyskytují díry, závitky ani jiné problematické objekty, které by komplikovaly výrobu.

Vzhledem k častému kontaktu s vlhkostí, párou a s jiným nežádoucím prostředím a tažením jako předpokládané technologie výroby je požadavek na materiál korozivzdornost a lepší tažnost. Uvážen musí být také fakt, že polotovar bude vytvořen stříháním na stříhadle. Vlastnosti splňuje austenitická ocel ČSN 17240 (DIN 1. 4301, EN X5CrNi18-10). Je vhodnější volbou než feritická ocel, protože vanička může být vystavena externím nežádoucím látkám (dezinfekce), které mohou poškodit vnější pasivační vrstvu. Je velmi dobře tváritelná a má ze všech základních tříd nejlepší odolnost proti korozi, korozivzdornost může být navýšena přidáním molybdenu a mědi. Další významnou vlastností je dobrá houževnatost. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2.



Obr. 2 Model vaničky



Obr. 3 Rozměry vaničky

Tab. 1 Chemické vlastnosti oceli ČSN 17240 (DIN 1. 4301, EN X5CrNi18-10) [8]

Prvek	C	Cr	Ni	Mn
Chemické složení v %	< 0,07	17,5 - 19,5	8,0 - 10,5	< 2,0

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli ČSN 17240 (DIN 1. 4301, EN X5CrNi18-10) [8]

Pevnost Rm [MPa]	Mez kluzu Rp0,2 [MPa]	Tažnost A [50 %]	Tažnost Tváření	Korozní odolnost	Max. teplota použití
540–750	230	45	Vynikající	Dobrá	400 °C

Pokud bude materiál táhnut pevným nástrojem, bude vhodné po procesu vybrousit povrch na požadovanou přesnost. Pomocí brusných pásů nebo kotoučů na korozní oceli je možné dosáhnout předepsané přesnosti povrchu a odstranit povrchové defekty, aniž by byla snížena korozní odolnost.

1.1 Výrobní možnosti [1], [3], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [19], [20], [21], [23], [24], [25], [28]

Pro výrobu vaničky lze uplatnit více metod zhotovení. Faktory ovlivňující volbu vhodné technologie výroby jsou především druh, tvar a jakost materiálu, mechanické a chemické vlastnosti a roční produkce, která činí 450 000 kusů za rok. Do úvahy musí být také zaneseno ekonomické hledisko.

- Třískové obrábění (obr. 4) – princip, při kterém je odebrána tříska z polotovaru pomocí řezného nástroje, čímž je získán požadovaný tvar a přesné rozměry výrobku. Řezný pohyb je vzájemný pohyb mezi obrobkem a nástrojem. Vrtáním se vytváří otvory, soustružením zase rotační součásti, broušením hladké povrchy. Třískové obrábění není vhodné z důvodu větší pevnosti austenitické oceli ČSN 17240 a není také určeno pro velké série, spíše pro kusovou nebo malosériovou výrobu. Vysokou teplotou při obrábění vzniká zbytkové tahové napětí, které snižuje mez únavy a je příčinou vzniku únavových trhlin. Obráběním by vzniklo mnoho odpadu, protože finální výrobek je dutá skořápka, proto by se touto technologií vygenerovalo mnoho přebytečné třísky.



Obr. 4 Třískové obrábění [12]

- Odlévání (obr. 5) – je způsob zhotovení součásti nebo výrobku, při kterém se roztavený kov nebo jiný materiál vlije do formy, jejíž dutina má tvar a velikost budoucího odlitku. Jedná se potenciálně o neekonomičtější způsob přeměny výchozího materiálu v požadovaný finální výrobek. Tvarově velmi univerzální metoda. Nevýhodou je velké smršťování některých slitin při tuhnutí, které vyžaduje použití mohutných nálitků, zvyšující pracnost při úpravě a snižující využití tekutého kovu. Velký nárok se klade na plnění forem, při kterém může dojít k znehodnocení odlitku špatnou zabíhavostí, stržením nečistot a plynů nebo vytvořením nevhodného teplotního pole. Sérii 450 000 kusů by bylo neefektivní zhotovit daným způsobem.



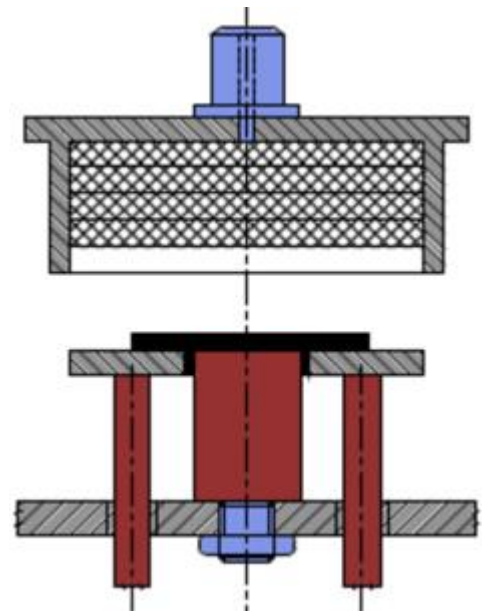
Obr. 5 Odlévání [28]

- Svařování (obr. 6) – je proces k vytvoření nerozebíratelného spojení charakteristické vytvořením kovových vazebných sil mezi spojovanými materiály za použití tepla, tlaku a přídavného materiálu. Spojení se vyznačuje velkou pevností, trvanlivostí a těsností a umožňuje až 50 % úspory materiálu. Ve srovnání s feritickými oceli mají austenitické asi o 50 % větší tepelnou roztažnost a o 30 % nižší tepelnou vodivost, což je odraženo na zvýšeném napětí a deformaci. Při svařování vysokými teplotami je nevýhodou změna struktury materiálu a tím i mechanických vlastností svarových spojů, které je doprovázeno vnitřními vadami a ztrátou korozivzdornosti. Technologie je vhodná pro kusovou nebo malosériovou výrobu



Obr. 6 Svařování [21]

- Metoda Marform (obr. 7) – tažení nepevným nástrojem je technologií, při které je přístřih tažen za pomoci pryže, polyuretanu nebo kapaliny. Systém Marform je kombinací pryže s běžným tažením a přidržovačem, kde je tažnice nahrazena právě pryžovou vložkou. Pořizovací cena i výrobní čas tažidla je podstatně nižší než u konvenčního způsobu tažení; povrch finální součást je velmi hladký a kvalitnější než při postupu s pevným nástrojem. Při dané sérii 450 000 kusů za rok je tato metoda ekonomicky nevýhodná kvůli velkému opotřebení pryže a vyšší ceně celého nástroje.



Obr. 7 Metoda Marform [1]

- Hydromechanické tažení – je technologie využívající tlaku kapaliny. Rovinný přístřih plechu je sevřen mezi přidržovačem a tažnicí, může se však pohybovat. Přístřih je tvářen tažníkem do tažné komory, kde je kapalina působící hydrostatickým tlakem na plech, který je tlačěn na celou plochu tažníku. V jedné tažné komoře je lze táhnout různých tvarů výtažků jak klasického tvaru, tak složitějšího, navíc technologie pokryje i hlubší výtažky. Jakost povrchu dosahuje vysoké kvality obdobně jako u systému Marform. Metodou HTM lze táhnout hlubší součásti pouze na jeden tah. Nevýhodou je nevhodnost pro velké série, kdy se tato metoda ekonomicky nevyplácí.
- Hluboké tažení (obr. 7) – je proces, při kterém je ocelový plech táhnut do formy dutého tělesa za pomoci mechanického nebo hydraulického lisu. Metodou lze vyrobit součásti složitých tvarů, které nemohou být vyrobeny jinou technologií. Pracovní cykly se vyznačují krátkými výrobními časy, což je odraženo na ekonomické stránce věci. Postup je vhodný pro zadanou roční sérii a materiál ČSN 17240, který je velmi dobře tvárný. Povrch materiálu nebude tak kvalitní, jako při tažení nepevným nástrojem, patřičným mazáním a materiálem tažníku bude tomuto zabráněno.

Po porovnání výše uvedených technologií se jako nejvhodnější metoda výroby zadaného výrobku jeví hluboké tažení. Tento způsob výroby bude dále popsán v teoretické i praktické části práce.

Ostatní typy technologií nejsou vhodné z hlediska druhu materiálu, který je špatně obrobitelný a nepříliš dobře svařitelný, efektivnost výroby a výrobní časy také nejsou optimální. Polotovary bude vystřihnout na jednoduchém stříhadle a táhnout na tažidle, které bude navrženo v praktické části práce.

2 HLUBOKÉ TAŽENÍ [1], [3], [16], [18], [22], [26]

Technologie hlubokého tažení (obr. 8) patří do kategorie plošného tváření za studena. Je to proces, při kterém je ocelový materiál formován za pomoci plastické deformace. Mikrostruktura materiálu je změněna plastickou deformací a finální výrobek bude mít lepší vlastnosti, než podobný výrobek zhotovený např. obráběním nebo odléváním.

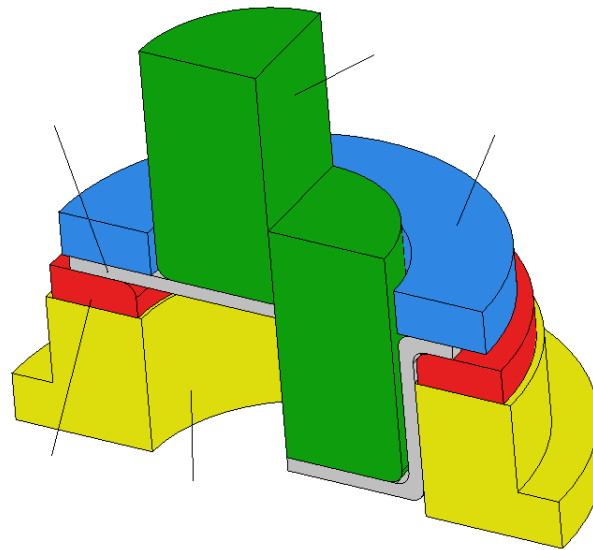
Přístřih se při tažení na tažnici vystředí, poté začne sestupovat tažník, který dosedne na tažený materiál. Polotovár je vtahován do otvoru tažnice se zaoblenými hranami a formován do objemového tělesa, zatímco průměr polotovaru se zmenšuje a materiál se na jeho okraji pěchuje. Pokud je použit přídržovač, je nutné udržet správný kontaktní tlak mezi ním a tažnicí. Při příliš vysokém tlaku hrozí utrnutí příruby nebo dna výtažku, za nízkého tlaku se vyskytuje problém vzniku vrás na stěnách produktu.

V procesu hlubokého tažení se vyskytuje mnoho proměnných, které mohou být klasifikovány do dvou kategorií:

- třecí a materiálové faktory,
- nástrojové faktory.

Důležité materiálové vlastnosti jako deformační zpevňování a anizotropie ovlivňují celý postup operace stejně jako tření a mazání na tažnici, tažnici a povrchu polotovaru. Na rozdíl od ohýbání, kde se materiál plasticky deformuje pouze v relativně malé oblasti, se polotovár při tažení deformuje ve větším pásmu. Napětí se liší v různých místech výtažku, které mohou být rozděleny na tři oblasti:

- rovná část přístřihu, která ještě nevstoupila do otvoru tažnice (příruba),
- část přístřihu, která již vstoupila do tažnice (stěna),
- oblast kontaktu tažníku a dna výtažku.

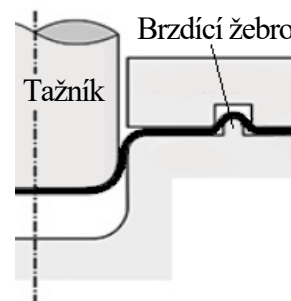


Obr. 8 Hluboké tažení [1]

Radiální tahové napětí je zapříčiněno vtahováním polotovaru do tažnice, tlakové napětí je způsobeno tlakem přídržovače. Síla je přenášena tažníkem do dna nádoby, které je vystaveno radiálnímu a tangenciálnímu napětí; poté je přesunuta zpět ze dna přes stěny výrobku až do příruby. V tomto napětěovém stavu mají stěny tendenci se protahovat v axiálním směru.

Metoda hlubokého tažení je řízena složitými faktory, které mohou vést k úspěšnému nebo zmetkovitému výrobku:

- vůle mezi tažníkem a tažnicí – pokud je zvolena nevhodně, může být příčinou vzniku trhlin během procesu,
- tlak přídržovače – zvolením velkého tlaku přídržovače je zvětšena práce tažníku a dochází k protržení stěny výtažku,
- zaoblení rohů tažníku a tažnice – při malém zaoblení dochází k protržení rohů výtažku, protože je zapotřebí větších tažných sil; se zvyšujícím se zaoblením hrozí výskyt zvlnění na přírubě,
- brzdící žebra (obr. 9) – slouží k lepší kontrole vtahování polotovaru do dutiny tažnice a jsou nezbytné při tažení nesymetrických výrobků, kde přibrzďují materiál v rovných částech stěn výtažku.

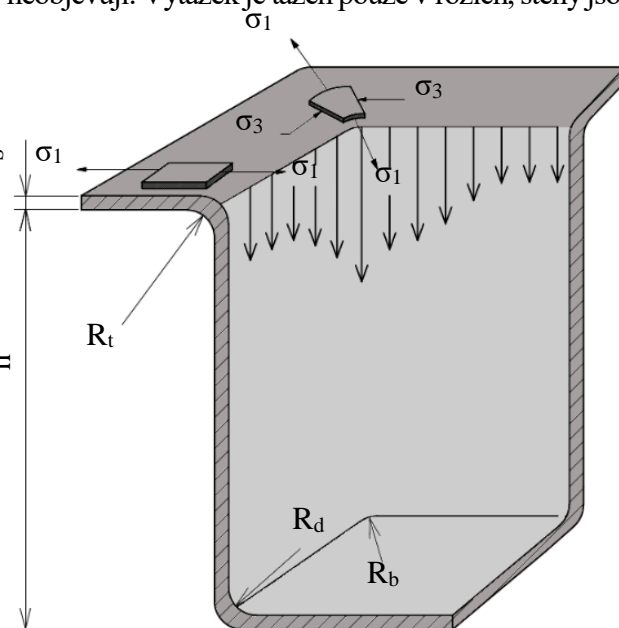


Obr. 9 Brzdící žebro [26]

2. 1 Tažení nerotačních výtažků [1], [18], [35]

Při tažení výtažků nerotačních tvarů, např. čtvercového, obdélníkového nebo nepravidelného tvaru, se vyskytují obtíže, které se při tažení tvarů rotačního neobjevují. Výtažek je tažen pouze v rozích, stěny jsou tvořeny pouze ohybem, proto kov při tažení není deformován rovnoměrně podél celého obvodu.

Největší zpevnění je v rozích výtažku, kde je materiál skutečně tažen. Směrem k rovným stěnám se zpevnění postupně zmenšuje a v určité vzdálenosti od taženého rohu má hodnotu danou pouhou ohybovou deformací. Táhne-li se bez přidržovače, je v přírubě hranaté nádoby dvojosý stav napjatosti s radiálním tahovým napětím $\sigma_r = \sigma_1$ a tangenciálním tlakovým napětím $\sigma_t = \sigma_3$ (obr. 10). Velikost a směr napětí se v rozích příruby nemění, v plášti výtažku je napětí jednoosé tahové. U hranatých výtažků se velikost napětí mění, v rozích je maximální a postupně klesá směrem k rovné boční části. V rovných stěnách výtažku nedochází pouze k ohýbání ale i ke složitějším deformacím. Boční stěny mají kladný vliv v tom, že tangenciální napětí v přírubě je menší a tím je příruba stabilnější a součinitel tažení je v prvním tahu s porovnáním s válcovým výtažkem menší.



Obr. 10 Napětí při tažení hranaté nádoby [18]

2. 2 Určení rozměrů a tvaru přístřihu [1], [16]

Určení polotovaru je při tažení nádob nepravidelného tvaru v porovnání s válcovými výtažky složitější. Obrys přístřihu lze získat rozvinutím ploch hranatého výtažku do základní roviny a vykreslením plynulého obrysu v rozích rozvinutí. Existují tři možnosti pro rohové rozvinutí, jejichž závislost je na R_a a R_e (obr. 11, 12)

1. Pokud je $R_a < R_e$, zaoblení R je dáno vztahem:

$$R = \sqrt{R_e^2 + 2R_e(c - 0,47R_a)} \quad [\text{mm}] \quad (2. 1)$$

kde: $c = c_0 + \Delta c$ (příloha 1)

R – poloměr rozvinutého rohu výtažku [mm]

c_0 – výška taženého materiálu [mm]

Δc – přídavek materiálu na odstříhnutí (tab. 3) [mm]

c – výška finálního výrobku [mm]

2. Pokud je $R_a = R_e$, pro zaoblení R platí, že:

$$R = \sqrt{2R_e c} \quad [\text{mm}] \quad (2. 2)$$

3. Pokud je $R_a = 0$, pro zaoblení platí, že:

$$R = \sqrt{R_e^2 + 2R_e c} \quad [\text{mm}] \quad (2. 3)$$

Tab. 3 Přidávky na ostřížení [16]

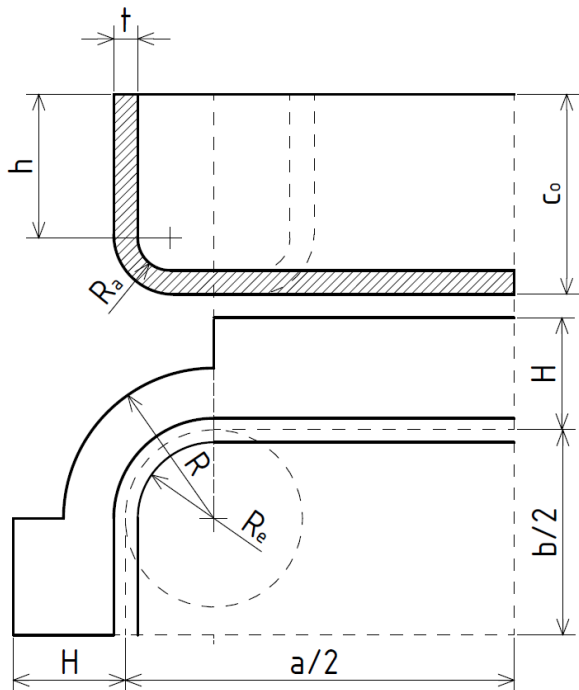
c_0/R_e	2,5 až 7,0	7,0 až 18,0	18,0 až 45,0	45,0 až 100
Počet tahů	1	2	3	4
Δc	$(0,03 \div 0,05) c_0$	$(0,04 \div 0,06) c_0$	$(0,05 \div 0,08) c_0$	$(0,06 \div 0,10) c_0$

Ve všech třech uvedených případech je střed zaoblení R a R_e shodný. Stěny výtažků jsou zakřivené, proto pro výpočet rozměru H může být použit vzorec:

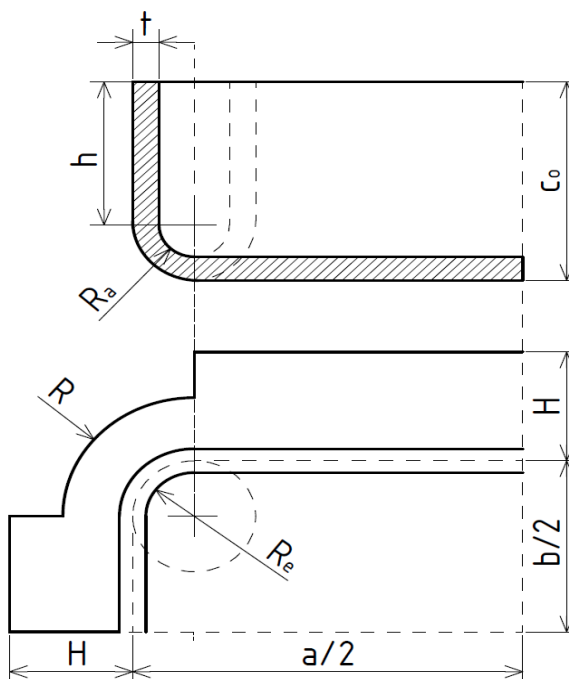
$$H = h + R_e + 0,57R_a \quad [\text{mm}] \quad (2.4)$$

kde: H – rozvinutá velikost obvodové stěny [mm]

h – výška stěny bez poloměru mezi dnem a stěnou [mm]



Obr. 11 Rozložené rohové zaoblení pokud $R_a < R_e$ [16]



Obr. 12 Rozložené rohové zaoblení pokud $R_a = R_e$ [16]

Výpočet rozměrů přístřihu pro obdélníkové výtažky není konečným řešením, protože ostré přechody mezi oblouky a rovnými stranami mohou vézt k trhlinám. Tvar musí být upraven (obr. 13) pomocí následujících kroků:

- znázornění obdélníku o velikosti a, b
- připočtení rozměru H k výšce obvodových stěn
- zkonstruování kružnice ve středu poloměru ze středu R_e o velikosti $R_x = x \cdot R$ kde:

$$x = 0,0185 \left(\frac{R}{R_e} \right)^2 + 0,982 \quad (2.5)$$

- zmenšení velikosti všech stran obdélníku o hodnotu podle vzorce:

$$H_{sa} = 0,785(x^2 - 1) \frac{R^2}{a}, \quad H_{sb} = 0,785(x^2 - 1) \frac{R^2}{b} \quad [\text{mm}] \quad (2.6)$$

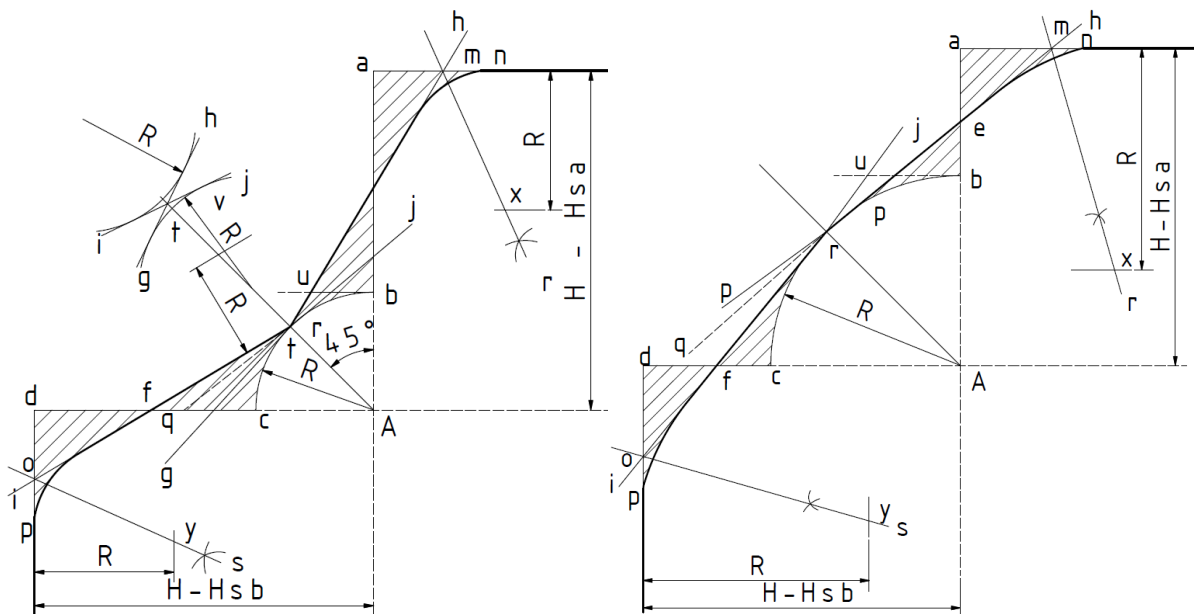
kde: H_{sa} – redukce delší stěny [mm]

H_{sb} – redukce kratší stěny [mm]

a, b – obvodové stěny [mm]

x – koeficient pro upravení rozměrů stěn

- zaoblení rohů podle obrázku č. 13. Odečtené a přičtené plochy se rovnají. Je vhodné navrhovat přístřih tak, aby rohy finálního výtažku byly mírně vyšší z důvodu většího opotřebení tažnice v rozích.



Obr. 13 Konstrukční úprava ostrých rohů [1]

2.3 Určení počtu tažných operací [1], [18]

Při tažení nerotačních výtažků se obtížně určuje správný počet tažných operací, protože je ovlivňováno množstvím veličin:

- velikost zaoblení v rozích R ,
- velikost výtažku,
- tloušťka taženého kovu,
- druh taženého materiálu,
- poměr mezi velikostí zaoblení v rozích a délkou rovné části stěny výtažku,
- velikost zaoblení u dna výtažku,
- šířka příruby výtažku,
- tvar přístřihu,
- konstrukce a provedení tažidla,
- tažná rychlost,
- mazání a upnutí lisovadla na lise.

Z těchto parametrů má největší vliv zaoblení v rozích R u dna, na kterém je přímo úměrná výška výtažku, které je možno dosáhnout v prvním tahu (tab. 4). Uvedené hodnoty v tabulce jsou maximální dosažitelné výšky pouze u hlubokotažných ocelí a u běžných materiálů se snižují o $1R$. Při tažení bez přidržovače dochází ke značnému zmenšení této výšky a je značně závislá na tloušťce taženého materiálu. Pokud nemůže být výtažek dokončen jednou operací, je redukce zvolena v jednotlivých tazích přibližně stejná. Vhodná volba redukce u nerotačních výtažků je 60 až 65 %.

Tab. 4 Závislost maximální výšky nerotačního výtažku dosažitelné v prvním tahu na velikosti zaoblení výtažku v rozích [1]

Velikost zaoblení R	Maximální výška výtažku
do 5 mm	8R
přes 5 do 10 mm	7R
přes 10 do 13 mm	6R
přes 13 do 19 mm	5R
přes 19 mm	4R

Výtažky zhotoveny ve více operacích, kde je poměr výšky ke straně $H/B > 0,6$ až $0,8$ se zpravidla táhnou z kruhového polotovaru tak, že v první a druhé je táhnuta válcová nádoba. V předposledním tahu se pak táhne válec, který přechází v hranaté dno a v posledním tahu se zhotoví hranatá nádoba. Součinitel tažení je stanoven z poměru zaoblení rohů výtažku dle vzorce:

$$m_n = \frac{R_n}{R_{(n-1)}} \quad [\text{mm}] \quad (2.7)$$

kde: $R_{(n-1)}$ a R_n - poloměry zaoblení rohů pro $(n-1)$ a n -tou operaci [mm]

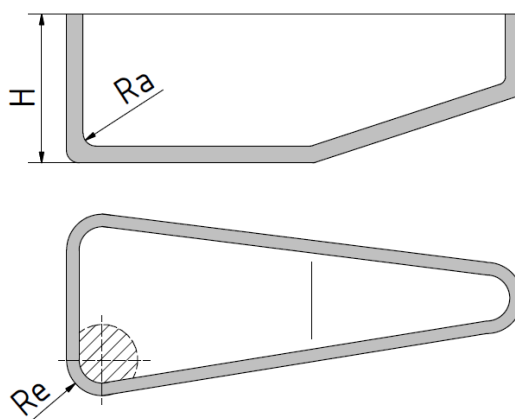
m_n - součinitel tažení pro n -tou operaci [mm]

Konkrétní hodnoty dosažitelných součinitelů tažení v jednotlivých operacích jsou určeny mechanickými vlastnostmi materiálu polotovaru, jeho tloušťkou, tvarem a rozměry výtažku. Minimální hodnota součinitele pro první tah se pohybuje u ocelových plechů od $m_1 = 0,38$ až $0,48$. Pokud je součinitel tažení pro první tah $m_1 > 0,75$, lze použít tažení bez přidržovače. Součinitel tažení pro nesouměrné hranaté výtažky je určen podle místa, kde zakřivení stěny a poměrná hloubka výtažku dosahuje maximální hodnotu. Pro nepravidelný výtažek (obr. 14) je součinitel určen vzorcem:

$$m = \frac{2R_e}{D_0} \quad (2.8)$$

kde: D_0 – průměr polotovaru určený podle vzorce:

$$D_0 = 2\sqrt{R_e^2 + 2R_eH - 0,85R_eR_a - 0,14R_a^2} \quad [\text{mm}] \quad (2.9)$$

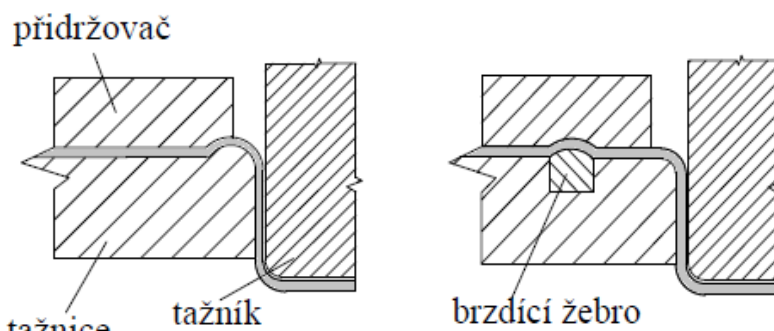


Obr. 14 Nepravidelný výtažek (18)

2.4 Brzdící žebra [16], [18], [27]

U výtažků složitého tvaru je často nutné pro rovnoměrné tvarování a tuhost usilovat o místní přibrzdění plechu. Pracovní části tažníku, tažnice a přidržovače jsou složité, zakřivené plochy, proto v důsledku nerovnoměrné napjatosti ve výtažku zde dochází ke ztrátě stability a zvlnění v určitých místech. K zabránění vzniku defektů je možné provést různé úpravy k přibrzdění nebo k urychlení toku materiálu, např. zvětšení tlaku přidržovače nebo plochy materiálu pod ním nebo vestavění brzdících žebor. Pro zlepšení toku materiálu se brzdící žebra nacházejí po obvodu tažnice, k omezení toku jsou uložena v drážkách v tažnici (obr. 15).

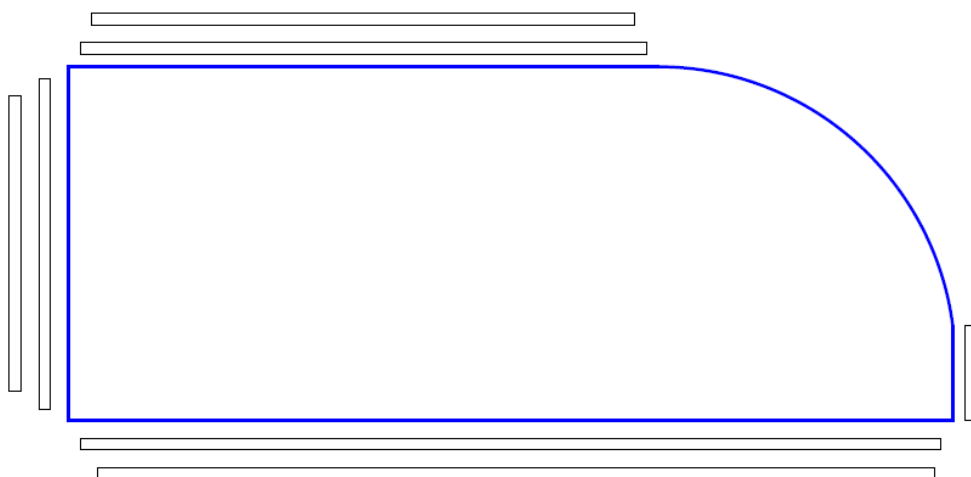
Způsob brzdění brzdícími žebry patří mezi nejúčinnější způsoby, jak lze regulovat brzdění a v potřebném rozsahu zvyšovat tahová napětí. Použitím brzdících žeber je umožněno zvětšit sevření příruby tvářeného polotovaru a tím zvýšit přibrzdění toku materiálu během tažení. Za další výhodu se může považovat zvýšení přípustného rozmezí tlaku přidržovače a schopnost usměrnění přemísťování tvářeného materiálu v rozích a v rovných částech tažnice. Při tažení velkých nepravidelných výtažků dopomáhají ke stabilizaci procesu a odstranění tvoření vln.



Obr. 15 Typy brzdících žeber [16]

Pro tvarový výtažek je vhodné použít brzdící žebra v rovinné části výtažku, kde se materiál přemísťuje největší rychlostí. Umístění v přidržovači se uvádí 20 mm až 30 mm od tažné hrany tažnice a v případě většího počtu žeber za sebou je vzdálenost 25 mm až 35 mm, zatímco šířka žeber se udává od 5 mm do 10 mm a jejich výška od 1, 2 mm do 5 mm.

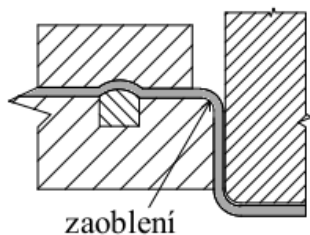
Vhodné zvolení umístění (obr. 16), délky a geometrie žebra je otázkou mnoha pokusů a simulací, a ne vždy se podaří najít správné řešení.



Obr. 16 Příklad umístění brzdících žeber [16]

2. 5 Tažné poloměry [1], [16], [18], [32]

Tažnice se zaoblením jsou frekventovaně používány při tažení bez ztenčení stěny s i bez přidržovače. U tažnic pro nerotační výtažky je tažný poloměr (obr. 17) asi stejně velký, jako u tažnic pro výtažky rotační, tj. 8 až 10násobek tloušťky taženého materiálu pro první tah. Při tažení nerotačních výtažků je kov v rovných stranách tvářen méně než v rozích. Při žihání se toto napětí projeví tvorbou vrásek. Zmenšením tažného poloměru podél rovných stěn oproti poloměru v rozích zabráníme tvorbě pnutí. V prvních tazích je tažný poloměr tažnice největší, v dalších se postupně zmenšuje. Pro druhý tah se udává poloměr 6 až 8násobek tloušťky materiálu. Poloměry tažníků se volí v závislosti na poměru t/D (tab. 5) pro první tah.



Obr. 17 Zaoblení tažnice
(16)

Tab. 5 Zaoblení tažníku [33]

$t/D \cdot 100$	$> 0,6$	$= 0,3 \div 0,6$	$< 0,3$
Zaoblení tažníku r_{tk} [mm]	$r_{tk} = r_{tc}$	$r_{tk} = 1,5 r_{tc}$	$r_{tk} = 2 r_{tc}$

Pro další tahy se zaoblení tažníku volí buď stejně jako pro první tah nebo je rovný poloměru předepsanému konstruktérem.

2.6 Tažná vůle [1], [16]

Tažná vůle mezi stěnou tažníku a tažnice je důležitým parametrem celé operace. Při tažení bez ztenčení stěny výtažku by měla být větší než tloušťka materiálu. Zvýšením tažné vůle v rozích je snížen stupeň zpevnění a velikost tažné síly; při její malé velikosti může být přístřih protrhnut tažidlem. Větší hodnota tažné vůle je také použita u posledního tažidla při větším počtu tažných operací, protože se při každé redukci zvýší tloušťka kovu v rozích. Při posledním tahu se používá vůle stejně velká jako je tloušťka plechu kvůli kalibraci. Tažná vůle závisí na tloušťce materiálu a je vypočtena podle vzorce:

$$z = t + k(\sqrt{10t}) \quad [\text{mm}] \quad (2.10)$$

kde: z – tažná vůle [mm]

t – tloušťka materiálu [mm]

k – koeficient (tab. 6) [-]

Tab. 6 Velikost koeficientu k pro různé materiály [16]

Materiál	Ocel	Hliník	Ostatní
Koeficient k	0,07	0,02	0,04

2.7 Tažná síla [1], [30]

Podle velikosti tažné síly se určuje vhodný lis k tažení a maximální velikost síly, kterou je možno táhnout výtažek, aniž by došlo k utržení dna. Maximální síla, při které se již utrhne dno, se vypočte stejně jako u výtažků rotačního tvaru:

$$F_{\max} = o \cdot t \cdot R_m \quad [\text{N}] \quad (2.11)$$

kde: o – obvod taženého materiálu [mm]

t – tloušťka materiálu [mm]

R_m – pevnost v tahu [MPa]

Při výpočtu tažné síly pro čtvercové nebo obdélníkové výtažky musí být rozlišena síla potřebná k tváření přímých stěn, které se pouze ohýbají a sílu nutnou k tváření rohových částí, kde nastává vlastní tažení.

Pro čtyři rohy je velikost síly vypočtena podle vzorce:

$$F_1 = 2\pi \cdot R \cdot t \cdot R_m \cdot C_1 \quad [\text{N}] \quad (2.12)$$

Pro přímé části výtažku pak:

$$F_2 = L \cdot t \cdot R_m \cdot C_2 \quad [\text{N}] \quad (2.13)$$

Celkovou velikost tažné síly získáme součtem:

$$F = F_1 + F_2 = t \cdot R_m \cdot (2\pi \cdot R \cdot C_1 + L \cdot C_2) \quad [\text{N}] \quad (2.14)$$

kde: L – součet délek přímých částí stěn výtažku

C_1, C_2 – konstanty

Velikost konstanty pro velmi mělké výtažky je $C_1 = 0,5$; pro výtažky výšky 5 až 6násobku velikosti zaoblení se $C_1 = 2$. Pro správný tvar tažné hrany, s dostatečnou vůlí mezi tažníkem a tažnicí a nulový přidržovací tlak, se $C_2 = 0,2$; pro normální tlak přidržovače se pak $C_2 = 0,3$.

Pokud je použit při procesu přidržovač, musím být uváženo i jeho silové působení, které se vypočte podle vzorce:

$$F_p = S \cdot p \quad [N] \quad (2.15)$$

kde: S – plocha příruby pod přídržovačem [mm²]

p – měrný tlak mezi přídržovačem a přírubou (tab. 7) [MPa]

Pro celkovou velikost síly je dále potřeba přičíst sílu vyhazovače, síla se tedy vypočte:

$$F_c = F + F_p + F_t \quad (2.16)$$

kde: F_t = síla vyhazovače

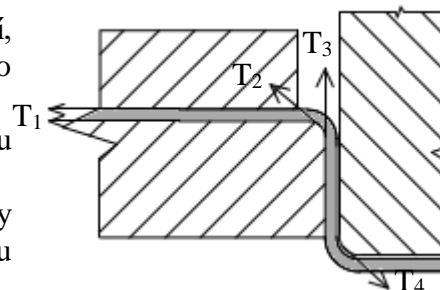
Tab. 7 Měrný tlak mezi přídržovačem a přírubou [30]

Materiál		Měrný tlak [MPa]
Uhlíková ocel	$t < 0,5$ mm	2,5 ÷ 3,0
	$t > 0,5$ mm	2,0 ÷ 2,5
Mosaz		1,5 ÷ 2,0
Měď		1,0 ÷ 1,5
Hliník		0,8 ÷ 1,2

2.8 Mazání při technologii tažení [16], [18]

Při technologii tažení vznikají třecí síly, které jsou nežádoucí, proto se odstraňují za pomoci vhodně zvoleného maziva. Tyto síly mohou být rozděleny na následující čtyři oblasti (obr 18):

- T_1 – třecí síly vznikají v oblasti mezi přírubou výtažku a přídržovačem (tažnicí),
- T_2 – objevuje se v oblasti zaoblení tažné hrany tažnice. Podílí se asi 75 % na celkovém součtu třecích sil,
- T_3 – působí v tažné mezeře. Ze všech sil nejmenší,
- T_4 – vzniká v místě zaoblení tažné hrany tažníku.



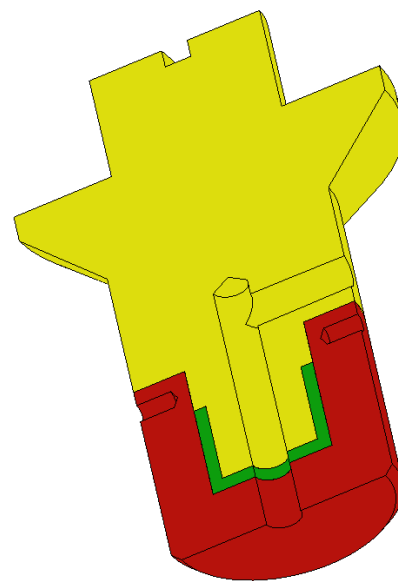
Obr. 18 Třecí síly v procesu tažení [18]

Existuje mnoho typů mazadel, které mohou být při procesu tažení použity. Hrají důležitou roli ve snížení tažné síly, zvýšení tažnosti, redukcí opotřebení nástrojů a defektů přístříhu. Volba druhu závisí na typu operace a taženého materiálu (příloha 2).

2.9 Tvářecí nástroje [1], [29], [30]

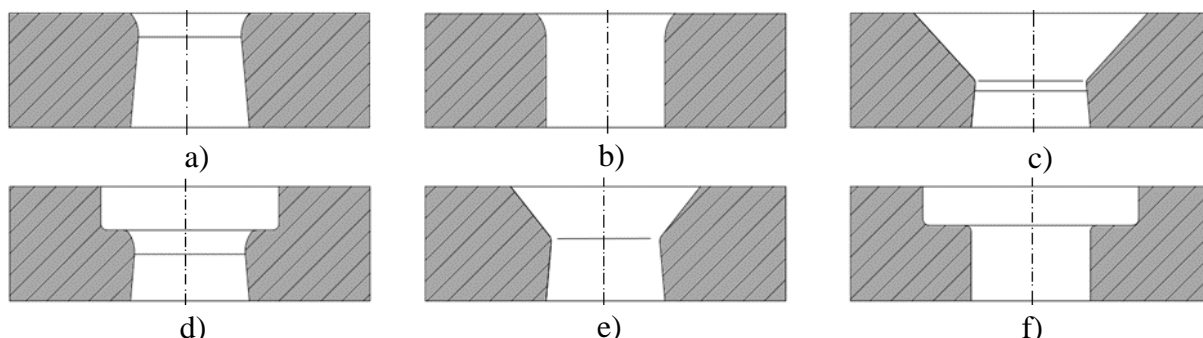
U procesu tažení jsou činnými částmi nástroje tažník, tažnice a přídržovač. Pro konstrukci je důležité rozlišovat, zda se jedná o jednu nebo více operací a jestli bude použit jednočinný nebo vícečinný lis. Dále nástroje mohou být rozlišeny na jednoduché, postupové, sloučené nebo sdružené.

- Tažník (obr. 19) - konstruuje se jako celistvý nebo vložkový, přičemž vložkování se provádí buď na tažné hraně nebo válcové části. Důraz se klade na zavzdušnění prostoru výtažku. Provádí se buď podélným otvorem nebo se používá rozpružení výtažku, případně kombinace obou kvůli lepšímu stírání tažníku a výrobku. Vnější tvar tažníku je současně vnitřní tvar výtažku. Přínými funkčními částmi je čelo, poloměr zaoblení a válcová část, která je namáhána radiálními silami, zatímco celá součást na vzpěr.



Obr. 19 Řez tažníkem běžného provedení [30]

- Tažnice (obr. 20) - podobně jako u tažníků se tažnice také konstruují jako celistvé nebo vložkové, přičemž se nejčastěji vložkuje tažná hrana. Funkční otvor je shodný s tvarem výtažku a může být proveden různými způsoby, které jsou vyobrazeny na obr. 21. Různé typy otvorů mají jinou funkci, např.: na obr. 20 b) se výtažek propadá pod nástroj, je setřen hranou tažnice nebo speciálním stíračem.



Obr. 20 Vybraná provedení tažnic [30]

- Přidržovač (obr. 21) - u prvních tahů se používá rovného přidržovače, kde se úhel $\alpha = 0^\circ$. U dalších tahů je vhodné snížit odpor plechu proti vtahování do tažnice, proto je přidržovací plocha kuželová o sklonu $\alpha = 30^\circ$ až 45° (obr. 22). Přidržovač musí působit optimálně zvolenou silou, aby bylo zabráněno zvlnění přístřihu, ale nesmí dojít k protržení dna výtažku. Použití přidržovače se vypočte pomocí vzorce:

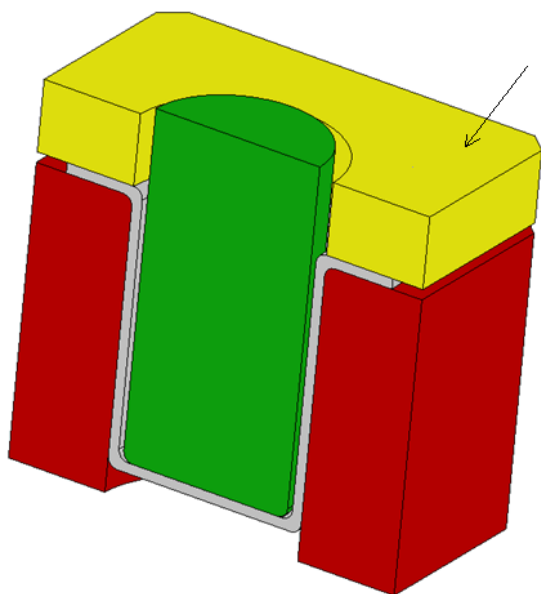
$$k_p = 50 \left(Z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D}} \right) \quad [-] \quad (2.17)$$

Je-li $k_p \geq \frac{100 \times d_1}{D}$ je nutné táhnout s přidržovačem

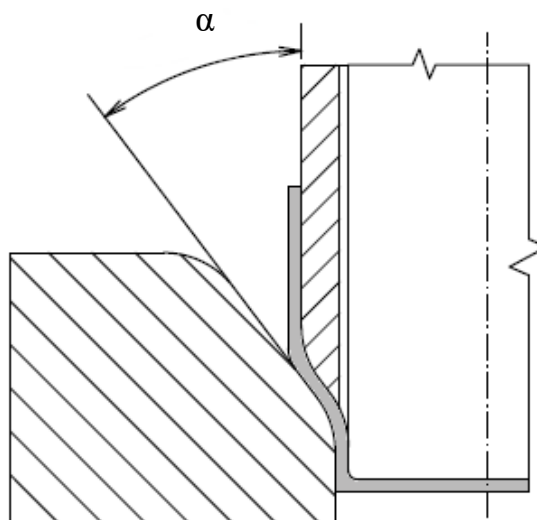
Je-li $k_p < \frac{100 \times d_1}{D}$ není nutné táhnout s přidržovačem

kde: k_p – součinitel určující nutnost použití přidržovače

Z – materiálová konstanta – pro ocelový hlubokotažný plech	Z = 1,9
pro mosazný plech	Z = 1,95
pro hliníkový plech	Z = 2,0



Obr. 21 Přidržovač



Obr. 22 Úhel α přidržovače [31]

- Materiály vhodné pro tažníky a tažnice jsou především konstrukční oceli, šedé litiny, oceli na odlitky nebo nástrojové oceli. Pro malé a střední průměry se doporučuje ocel 19 191, 19 221, 19 356, 19 312 nebo 19 436. Pokud je ocel méně namáhána, vyplatí se ocel cementační 14 220. Pro velmi dobré třecí vlastnosti je vhodná šedá litina 42 2425 HB 190 až 240.
- Přidržovač se zhotovuje ze stejných, popřípadě z materiálu s menším koeficientem tření než tažnice. Typickými příklady používaných materiálů je např.: šedá litina 42 2425, oceli nástrojové 19 191, 19 221, 19 312 nebo ocel cementační 12 020.
- Korozivzdorná ocel má vysokou tažnost a velmi dobře se táhne, ale její vysoká pevnost a rychlé zpevňování tvářením za studena vyžaduje jiný přístup z hlediska materiálu funkčních částí nástroje. Pracovní části musí být zhotoveny z robustnějších a pevnější materiálů než běžné nástroje, protože tažený polotovár je pevnější. Přitom nesmí docházet k zadírání taženého kovu do pracovních ploch. Pro hluboké tažení se jeví jako nejvýhodnější tvrdý bronz, jehož chemické složení je uvedeno v tabulce 8.

Tab. 8 Složení tvrdého bronzu [1]

Prvek	Cu	C	Al	Ni	Fe	Mn
Chemické složení v %	82	6,5 ÷ 11	9,5	5	2,5	1

2. 10 Tažná rychlost [1]

Při běžném tažení nemá rychlost průběhu tažné operace přestoupit určitou hranici, aby nenastalo porušení výtazku. Pro klasická tažidla, u kterých se nemůže měnit tažná rychlost, jsou uvedeny rychlosti tažení pro vybrané oceli a slitiny v tabulce 9.

Tab. 9 Rychlosti pro vybrané oceli a slitiny [1]

Tažený materiál	Austenitická korozivzdorná ocel	Nelegované ocel	Hliník a jeho slitiny	Měď a její slitiny
Tažná rychlost [m·min ⁻¹]	7	17	25	66

U výstředníkových lisů nebo modernějších typů je možné tažnou rychlost korigovat. Při tažení je tažná rychlost největší v okamžiku dosednutí tažníku na materiál, nejnižší je v okamžiku skončení samotného tažení. Pro výpočet nejvyšší rychlosti tažení je možné použít následující vzorec:

$$v \cong 0,0063n \cdot \sqrt{z_b \cdot p - p^2} \quad (2. 18)$$

kde: v – tažná rychlost [m·min⁻¹]

n – počet otáček [min⁻¹]

z_b – celkový zdvih beranu [mm]

p – pracovní zdvih beranu [mm]

3 NÁVRH VÝROBY

U návrhu výroby vaničky se bude vycházet z jejího finálního tvaru (obr. 23). Je čtvercového tvaru o rozměrech 780 x 780 mm s rádiusem 520 mm. Hloubka 200 mm a poloměry u dna a stěn R70 mm budou hrát roli při určení celkového počtu tahů a polotovaru výrobku. Příruba po obvodu má šířku 70 mm, musí být zohledněna při určení velikosti přístřihu. Výrobek bude zhotoven z korozivzdorného materiálu ČSN 17 240, který je velmi dobře tvárný za studena (tab. 1, 2). Obecné vlastnosti jsou na obrázku 24.

Polotovaru bude vystřížen z tabule plechu ČSN EN ISO 9445-2 3000x1500x1 zakoupeného od firmy Feron a. s. Přístřih bude tažen technologií hlubokého tažení, která se jeví jako nejvýhodnější pro tento případ.



Obr. 23 Tvar vaničky

Materiál	
Nerezová ocel, austenitická	
Hustota	Požadovaná přesnost
8,000 g/cm ³	Nízká
Těžiště	
Hmotnost	X
8,110 kg (Relativní ch)	84,578 mm (Relativní)
Povrch	Y
1786877,938 mm ²	41,353 mm (Relativní)
Objem	Z
1013756,588 mm ³	18,215 mm (Relativní)

Obr. 24 Obecné vlastnosti

3.1 Určení polotovaru

Pro správné určení výchozího polotovaru je nutné rozvinout součást do roviny. Nejprve bude určen přídavek na ostřížení dle tabulky č. 3:

$$\frac{c_0}{R_e} = \frac{200}{70} = 2,86 \rightarrow \text{volím } 0,05$$

$$\Delta c = 0,05 \cdot 200 = 10 \text{ mm}$$

Přídavek na ostříhnutí materiálu je 10 mm. Součást je čtvercového tvaru, pro poloměry zaoblění 70 mm je použit vzorec 2. 2, kde je $R_a = R_e$. Rádus R520 mm bude vypočten podle vzorce 2. 1, kdy se $R_a = R_e$:

$$R_1 = \sqrt{2 \cdot 70 \cdot 210}$$

$$R_1 = 171,46 \text{ mm}$$

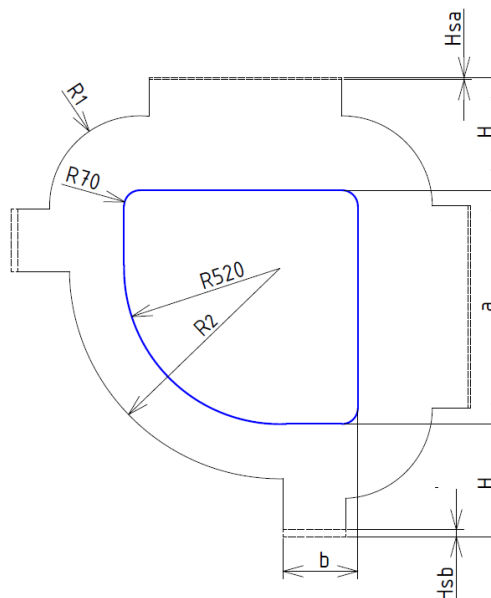
$$\text{kde: } c = c_0 + \Delta c = 200 + 10 = 210 \text{ mm}$$

$$R_2 = \sqrt{520^2 + 2 \cdot 520(210 - 0,47 \cdot 70)}$$

$$R_2 = 674,23 \text{ mm}$$

Rozvinutý rádus R20 mm bude mít velikost 171,46 mm a rádus R520 bude 674,23 mm. Velikost obvodových stěn bude vypočtena za pomoci vzorce 2. 4. Pro obvodové stěny platí:

$$H = 180 + 70 + 0,57 \cdot 70$$



Obr. 25 Vypočítaný polotovaru

$$H = 289,9 \cong 290 \text{ mm}$$

Velikost rozvinutých stěn je 290 mm. Dále je nutné výše vypočítané hodnoty poloměrů a velikostí stěn korigovat za pomoci koeficientu x , který se vypočte podle vzorce 2. 5. Poté je zapotřebí vynásobit vypočtené velikosti poloměrů R_2 a R_1 podle vzorce $R_x = x \cdot R$:

$$x_1 = 0,0185 \left(\frac{171,46}{70} \right)^2 + 0,982$$

$$x_1 = 1,03 \rightarrow R_{b0} = 1,03 \cdot 171,46 = 176,65 \text{ mm}$$

$$x_2 = 0,0185 \left(\frac{674,23}{520} \right)^2 + 0,982$$

$$x_2 = 1,01 \rightarrow R_{a0} = 1,01 \cdot 674,23 = 680,1 \text{ mm}$$

kde: R_{b1} , R_{a1} – redukované poloměry zaoblení

Velikost rozvinutého poloměru R20 je 176,65 mm. Poloměr R520 má velikost 680,1 mm. Redukce velikosti rozvinutých obvodových stěn je určena podle vzorce 2. 6 pro delší i kratší ze stěn:

$$H_{sa} = 0,785(1,03^2 - 1) \frac{171,46^2}{780}$$

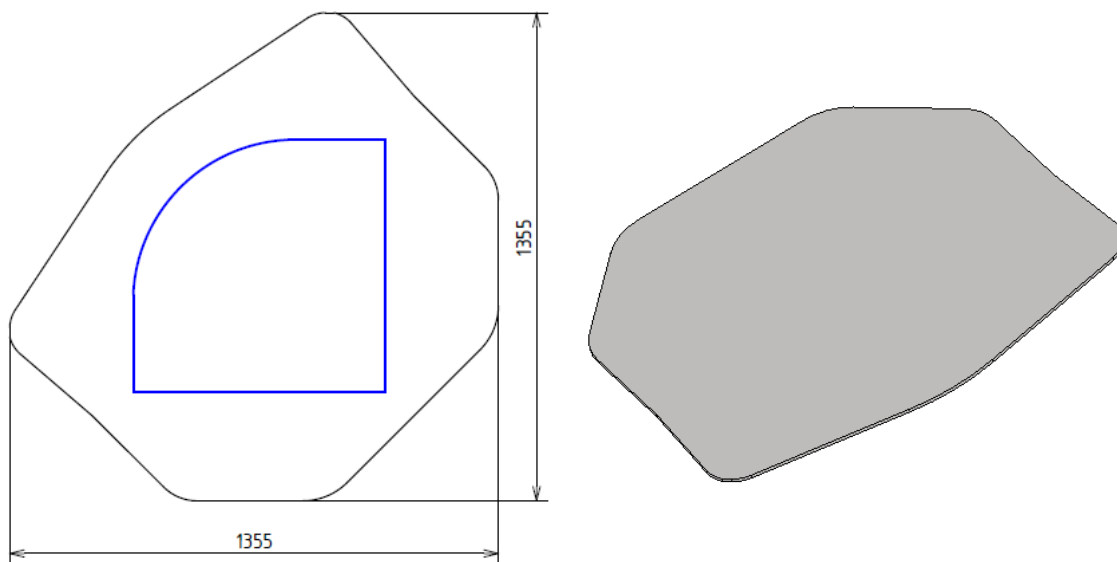
$$H_{sa} = 1,80 \text{ mm}$$

$$H_{sb} = 0,785(1,03^2 - 1) \frac{171,46^2}{250}$$

$$H_{sb} = 5,62 \text{ mm}$$

Výsledná velikost delší stěny bude zkrácena o 7,41 mm a kratší o 23,13 mm.

Následně tvar bude upraven podle obrázku 13 tak, aby všechny ostré hrany byly zaobleny z důvodu odstranění případných defektů (obr. 26).



Obr. 26 Upravený polotovar

3. 2 Stanovení počtu tažných operací a použití přídržovače

Počet tažných operací se vypočte podle kapitoly 2. 3. Nejprve bude orientačně zjištěno, jestli táhnutí bude probíhat na jednu či více tažných operací. Dle tabulky č. 4 a zaoblení v rohu R bude určena výška, kterou je možno vytáhnout v prvním tahu. Počet tažných operací

$$R = 70 \text{ mm} \rightarrow R > 19 \text{ mm} \rightarrow 4 \cdot R = 4 \cdot 70 = 280 \text{ mm.}$$

Je možné táhnout hloubku až 280 mm. Výrobek má hloubku 200 mm, z rovnice vyplývá, že se výtažek bude táhnout na jednu operaci. Minimální hodnota součinitele pro první tah se pohybuje u ocelových plechů od 0,38 až 0,48, který ověříme dle vzorce (2. 8) a (2. 9):

$$D_0 = 2\sqrt{70^2 + 2 \cdot 70 \cdot 200 - 0,85 \cdot 70 \cdot 70 - 0,14 \cdot 70^2}$$

$$D_0 = 334,96 \text{ mm}$$

$$m = \frac{2 \cdot 70}{334,95}$$

$$m = 0,42$$

Součinitel tažení je 0,42, což spadá do výše uvedeného intervalu. Tento součinitel je vhodný pro stanovenou součást. Z rovnice uvedené výše navíc vyplývá, že $m < 0,75$, tudíž bude použit přídržovač.

3. 3 Stanovení tažné mezery a velikostí tažných poloměrů

- Tažná mezera je obvykle vypočítána pomocí vzorce (2. 10) pro první tah. Vanička bude tažena na jeden tah, který je zároveň i poslední, proto musí dojít ke kalibrace a tažná mezera se bude rovnat tloušťce plechu

$$z = t = 1 \text{ mm}$$

- Poloměr zaoblení u tažnic a pro nerotační výtažky je obvykle určen dle kapitoly 2. 5. Pro stanovení tažných poloměrů pro tento případ ale postačí fakt, že se bude táhnout na jeden tah, poloměr zaoblení tažnice se pak bude rovnat poloměru zaoblení pod přírubou:

$$r_{tc} = 40 \text{ mm}$$

Stejně se bude postupovat u určení poloměru tažníku, který je stejný jako poloměr zaoblení u dna výtažku:

$$r_{tc} = 70 \text{ mm}$$

3. 4 Výpočet celkové tažné síly a velikosti tažné rychlosti

Výpočet tažné síly je stěžejní pro výběr správného lisu. Maximální síla se vypočte podle vzorce (2. 11). Nejprve je potřeba vypočítat obvod taženého materiálu:

$$o = 521 + 2 \cdot 295 + 2 \cdot 277 + 2 \cdot 264 + 2 \cdot 448 + 2 \cdot 26 + \frac{\pi \cdot 174}{4} \cdot 2 + \frac{\pi \cdot 132}{4} \cdot 2 + \frac{\pi \cdot 95}{4} \cdot 2 + \frac{\pi \cdot 94}{4} \cdot 2 + \frac{\pi \cdot 600}{4}$$

$$o = 4989,78 \cong 4990 \text{ mm}$$

Obvod polotovaru je 3182 mm. Maximální síla tedy je:

$$F_{\max} = 4990 \cdot 1 \cdot 630$$

$$F_{\max} = 3143700 \text{ N} = 3143,7 \text{ kN}$$

Dále se musí rozlišit síla potřebná pro rohy výtažku a pro obvodové stěny. Bude využit vzorec (2. 14). Konstanty C_1, C_2 mají velikost 2 a 0,3 z důvodu výtažku o výšce větší než 6násobku zaoblení a normálního tlaku přídržovače. Velikost celkové tažné síly se tedy vypočte:

$$L = 2 \cdot 640 + 2 \cdot 180$$

$$L = 1640 \text{ mm}^2$$

$$F = F_1 + F_2 = 1 \cdot 630 \cdot \left[(2\pi \cdot 70 \cdot 2) \cdot 0,75 + \frac{2\pi \cdot 450}{4} \cdot 2 + 1640 \cdot 0,3 \right]$$

$$F = 1616234,23 \text{ N} = 1616,234 \text{ kN}$$

Protože se jedná o rozměrově větší a geometricky složitější výtažek, bude použit přidržovač. Také je nutné brát do úvahy jeho sílu. Plocha příruby pod přidržovačem je vypočítána pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2018. Měrný tlak přidržovače je určen z tabulky 7 a je stanoven na 2,0 MPa. Síla je pak vypočtena pomocí vzorce (2. 15):

$$S = 611495,81 \text{ mm}^2$$

$$F_p = 611495,81 \cdot 2 = 1302991,62 \text{ N} \cong 1302,991 \text{ kN}$$

Nakonec je třeba připočítat sílu vyhazovače, kterou získáme z parametru stroje. Celková síla se vypočte podle vzorce (2. 16):

$$F_c = 1616,234 + 1302,991 + 160$$

$$F_c = 3079,225 \text{ kN}$$

Celková tažná síla je 3079,225 kN, což je menší, než síla na protržení dna, může se tedy bezpečně táhnout určenou celkovou silou. Tažná rychlost je určena za pomoci tabulky 9. Ze skutečnosti, že se táhne korozivzdorná ocel na klasickém tažidle, bude tažná rychlost:

$$v_t = 7 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}$$

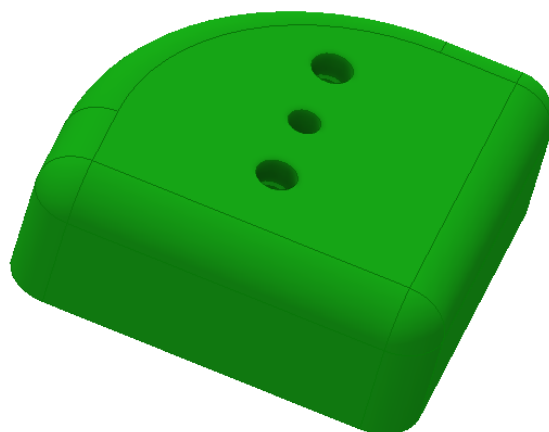
3.5 Návrh nástroje

Tažení bude probíhat na nástroji pro výtažky s přírubou tažené na jeden tah. Nástroj (obr. 29) je navržen pro jednočinný lis. Shora bude upnut za stopku do beranu lisu, která je kolíkem spojená s tažníkem, a zdola za kolík vyhazovače, který je integrován do stojánku tažidla. Vyhazovač bude ovládán mechanismem lisu. Přidržovač zabudovaný pomocí tří pružin a tří vodicích šroubů v horním stojánku klesne společně s tažníkem na polotovar, kde vyvine požadovanou přidržovací sílu. Vrchní stojánek je veden dvěma sloupky, které prokluzují ve dvou nalisovaných pouzdrech. Výkresová dokumentace byla zpracována pro tažník, tažnici a sestavu tažidla.

3.5.1 Konstrukce tažidla

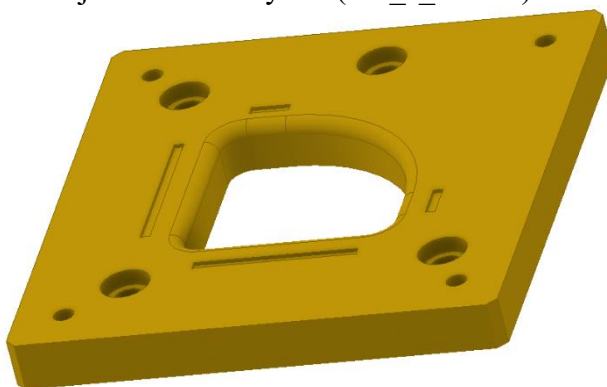
Návrh nástroje bude vyhotoven pro jeden tah s horním přidržovačem. Jeho hlavními částmi jsou tažník, tažnice a přidržovač.

- Funkční část tažníku (obr. 27) bude vyrobena z nástrojové oceli ČSN 19 437. 3 tepelně zpracované na 58–63 HRC. Je přišroubována pomocí dvou šroubů k držáku tažníku z konstrukční oceli ČSN 11 500, který je přišroubován do vrchního stojánku tažidla. V tažníku je vyvrtán otvor pro zavzdušnění výtažku. Výkres (BP_4_170229) funkční části tažníku je v příloze.

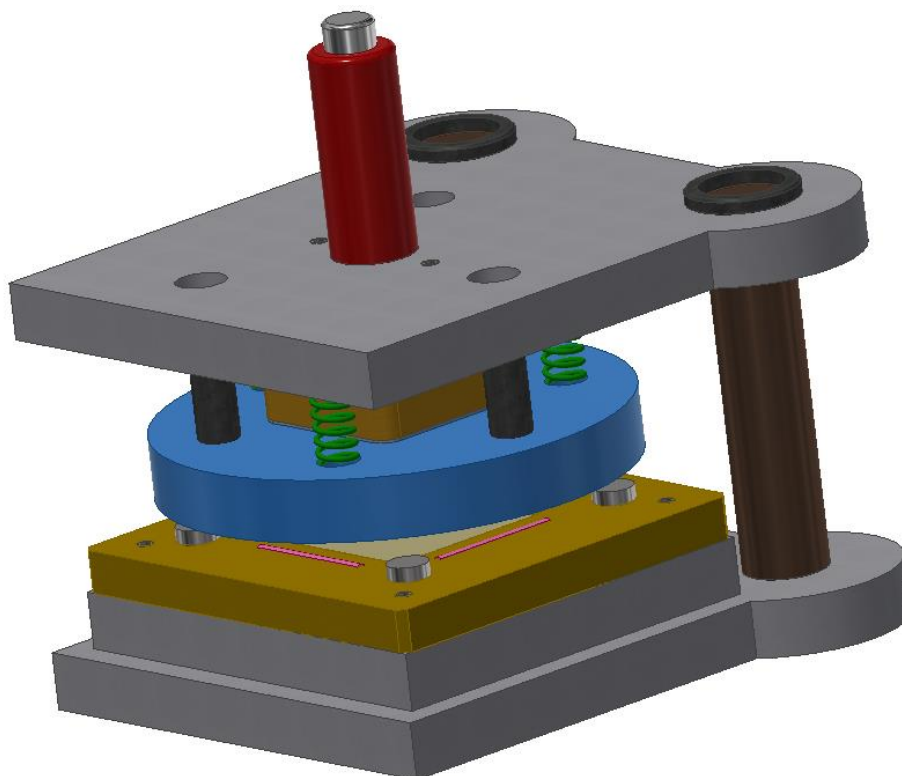


Obr. 27 Funkční část tažníku

- Tažnice (obr. 28) bude zhotovena z materiálu ČSN 19 437.3 tepelně zpracované na 58–63 HRC. Je upnuta čtyřmi šrouby k dolnímu stojánku tažidla. Výkres (BP_4_170229) tažnice je v příloze.
- Přidržovač bude vyroben z nástrojové oceli ČSN 19 191. Uchycení je zprostředkováno za pomoci tří pružin z oceli ČSN 12 060 a tří vodících šroubů za horní část stojánku.
- Pohyb vodících stojánků z litiny 42 2661 je umožněn dvěma vodícími sloupy a dvěma zalisovanými pouzdry. V horní části stojánku je zapuštěná stopka nástroje, která bude upnuta do beranu lisu.
- Vyhadzovač bude zkonstruován z konstrukční oceli 11 500 a je uložen v základové desce. Jeho funkčnost je zajištěna přišroubovanou tyčí.
- Zakládací dorazy budou rozestavěny po obvodu polotovaru. Přišroubování těchto tvarových příložek zajistí polohu přístříhu.
- Brzdící žebra budou zapuštěna do tažnice. Je nutné vzít do úvahy skutečnost, že výtažek má přírubu širokou 70 mm. Při konstrukci se musí uvážit zvlnění příruby při obtékání žebel. Rozměr delšího žebra je 501x30x15 mm, kratšího 120x30x15. Jsou rozmístěna 100 mm od tažné hrany tažnice.



Obr. 28 Tažnice



Obr. 29 Koncept tažidla

3.6 Volba lisovacího stroje [31], [32], [33]

Volba lisovacího stroje závisí především na velikosti celkové tažné síly, dále na rozměrech pracovní plochy. Vypočítané parametry splňuje lis formy ŽĎAS CYA 500 (obr. 32). Technické parametry jsou vyobrazeny v tabulce 10. Jedná se o univerzální lis, který je možné použít jak pro plošné tváření, tak i na tváření objemové za tepla i studena.

Tab. 10 Technické parametry lisu CYA 500 [32]

Lisovací síla	5000 kN
Síla vyhazovače	160 kN
Přibližovací rychlost	600 mm.s ⁻¹
Zpětná rychlost	600 mm.s ⁻¹
Rychlost beranu	600 mm.s ⁻¹
Zdvih	1600 mm
Sevření	200 mm
Délka stolu	2800 mm
Šířka stolu	1800 mm
Výkon motoru	30 kW



Obr. 30 Hydraulický lis CYA 500 [32]

3.7 Technologický postup

K vyhotovení technologického postupu výtažku je zapotřebí určit všechny pomocné stroje, které slouží k přípravě polotovaru před samotným procesem tažení výtažku na lisu CYA 500. Je nutné vystříhnout výstřížek z pásu plechu, kontrolovat stav výrobku mezi operacemi a zvolit správné mazání. Podrobnější popis se nachází v tabulce 11,

Tab. 11 Technologický postup

Technologický postup			
Název součásti	Označení polotovaru	Označení výtažku	
Vanička	170229-01-BC	170229-02-BC	
Číslo operace	Název operace		
1/1	Vystřížení polotovaru		
	Hmotnost polotovaru: 9,276 kg	Pás plechu: ČSN EN ISO 9445-2 3000x1500x1	Materiál: ČSN 17240
	Stroj: Hydraulický lis CYA		
2/2	Mezioperační kontrola		
	Kontrola rozměrů s četností 5 %		
3/3	Mazání: hutný voskový povlak		
4/4	Hluboké tažení		
	Stroj: Hydraulický lis CYA		
5/5	Kontrola rozměrů s četností 5 %		
6/6	Odstrihnutí přebytečného materiálu z příruby, vystříhnutí otvoru pro odtok vody		
7/7	Odmaštění		
8/8	Výstupní kontrola		
9/9	Balení		
10/10	Expedice		

4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomickým zhodnocením se myslí stanovení nákladů na výrobu zadané součásti a určení množství, kde se vrátí náklady. Bude se vycházet z výrobní série $Q = 450\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$. Bude se jednat pouze o orientační výpočet. Hodnoty jsou buď dostupné na internetu nebo byly určeny odhadem.

4.1 Přímé náklady

Náklady na materiál

- náklady na pořízení materiálu

$$M_p = PT \cdot m_t \cdot c_m = 6000 \cdot 35,55 \cdot 95,1 = 20284830 \text{ Kč}$$

kde: m_t – hmotnost tabule plechu [kg]

c_m – cena materiálu [$\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$]

- Zhodnocení odpadu

$$Z_o = PT \cdot m_o \cdot c_o = 6000 \cdot 15,93 \cdot 5,5 = 525690 \text{ Kč}$$

kde: m_o – hmotnost odpadu [kg]

c_o – cena odpadu [$\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$]

- Celkové náklady na materiál

$$M_{\text{mat}} = M_p - Z_o = 20284830 - 449229 = 19835601 \text{ Kč}$$

Náklady na výrobu

1. operace – vystřížení (Hydraulický lis CYA)

- Jednotkový čas operace

$$t_{Av} = \frac{1}{n_{zd} \cdot 60} + \frac{t_{Apv}}{60} = \frac{1}{50 \cdot 60} + \frac{0,7}{60} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ hod}$$

kde: t_{Ap} – jednotkový čas přípravy [min]

n_{zd} – počet zdvihů za minutu [min^{-1}]

- Náklady na mzdy

$$N_{ms} = t_{Av} \cdot Q \cdot c_t = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 450000 \cdot 75 = 405000 \text{ Kč}$$

kde: c_t – hodinová mzda [$\text{Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$]

- Náklady na stroj

$$N_{ss} = t_{Av} \cdot Q \cdot c_v = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 450000 \cdot 2200 = 11880000 \text{ Kč}$$

kde: c_s – hodinový provoz lisu [$\text{Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$]

4. operace – tažení (Hydraulický lis CYA)

- Jednotkový čas výroby

$$t_{At} = t_{př} + t_p + t_z = \frac{h_{př}}{v_{př}} + \frac{h_v}{v_p} + \frac{h_{př} + h_v}{v_z} = \frac{180}{600} + \frac{200}{55} + \frac{180 + 200}{600} = 4,569 \text{ s}$$
$$= 0,076 \text{ min}$$

kde: $t_{př}$ – jednotkový čas přibližovací [s]

t_p – jednotkový čas pracovní [s]

t_z – jednotkový čas zpětného chodu [s]

$h_{př}$ – přibližovací vzdálenost [mm]

v_p – pracovní rychlost [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]

$v_{př}$ – přibližovací rychlost lisu [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]

v_z – zpětná rychlost lisu [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]

- Jednotkový čas operace

$$t_{At} = \frac{t_{At} + t_{Apt}}{60} = \frac{0,076 + 0,34}{60} = 6,93 \cdot 10^{-3} \text{ hod}$$

- Náklady na mzdy

$$N_{mt} = t_{At} \cdot Q \cdot c_t = 6,93 \cdot 10^{-3} \cdot 450000 \cdot 75 = 233888 \text{ Kč}$$

- Náklady na stroj

$$N_{st} = t_{At} \cdot Q \cdot c_s = 6,93 \cdot 10^{-3} \cdot 450000 \cdot 2200 = 6860700 \text{ Kč}$$

6. operace – odstříhnutí příruby (Hydraulický lis CYA)

- Jednotkový čas operace

$$t_{Ao} = \frac{1}{n_{zd} \cdot 60} + \frac{t_{Apv}}{60} = \frac{1}{55 \cdot 60} + \frac{0,25}{60} = 4,47 \cdot 10^{-3} \text{ hod}$$

- Náklady na mzdy

$$N_{mo} = t_{Ao} \cdot Q \cdot c_t = 4,47 \cdot 10^{-3} \cdot 450000 \cdot 75 = 150863 \text{ Kč}$$

- Náklady na stroj

$$N_{so} = t_{Ao} \cdot Q \cdot c_v = 4,47 \cdot 10^{-3} \cdot 450000 \cdot 2200 = 4425300 \text{ Kč}$$

6. operace – děrování odtoku (Hydraulický lis CYA)

- Jednotkový čas operace

$$t_{Ad} = \frac{1}{n_{zd} \cdot 60} + \frac{t_{Apv}}{60} = \frac{1}{55 \cdot 60} + \frac{0,5}{60} = 8,63 \cdot 10^{-3} \text{ hod}$$

- Náklady na mzdy

$$N_{md} = t_{Ad} \cdot Q \cdot c_t = 8,63 \cdot 10^{-3} \cdot 450000 \cdot 75 = 291263 \text{ Kč}$$

- Náklady na stroj

$$N_{sd} = t_{Ad} \cdot Q \cdot c_v = 8,63 \cdot 10^{-3} \cdot 450000 \cdot 2200 = 8543700 \text{ Kč}$$

7. operace – odmaštění

- Náklady na tuto operaci budou zahrnuty v režii

Celkové náklady na mzdy:

$$N_{cm} = N_{ms} + N_{mt} + N_{mo} + N_{md} = 405000 + 233888 + 150863 + 291263 \\ = 1081016 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na chod strojů:

$$N_{ch} = N_{ss} + N_{st} + N_{so} + N_{sd} = 11880000 + 6860700 + 4425300 + 8543700 \\ = 31709700 \text{ Kč}$$

Náklady na nástroje: (hrubý odhad)

$$N_n = N_{ns} + N_{nt} + N_{no} + N_{nd} = 600000 + 590000 + 300000 + 150000 \\ = 1640000 \text{ Kč}$$

kde: N_{ns} – náklady na střížník na vystřihování [Kč]

N_{nt} – náklady na tažník na tažení [Kč]

N_{no} – náklady na střížník na odstřížení [Kč]

N_{nd} – náklady na střížník na děrování [Kč]

Protože jsou všechny operace zhotovené na jednom lisu, jsou náklady na pořízení stroje:

$$N_{CYA} = 10000000 \text{ Kč}$$

4.2 Nepřímé náklady

Režijní náklady se dělí na:

- Výrobní režie – jsou to náklady společné všem výrobkům – pomocný materiál, provozní látky, čisticí prostředky, mzda mistra ve výrobě. Skládá se z fixní a variabilní části:

Variabilní výrobní režie

$$N_{var} = N_{cm} \cdot \frac{V_r}{100} = 1081016 \cdot \frac{500}{100} = 5405080 \text{ Kč}$$

kde: V_r – hodnota výrobní režie

fixní výrobní režie

$$N_{fix} = 400000$$

$$N_{Rež} = N_{var} + N_{fix} = 5405080 + 400000 = 5805080 \text{ Kč}$$

- Odbytová režie – jedná se o náklady spojené s odbytem (mzdy pracovníků odbytu, cestovné, telefon, nájemné sklady výrobků, náklady marketingu):

$$N_{odb} = N_{cm} \cdot \frac{O_r}{100} = 1081016 \cdot \frac{90}{100} = 972914 \text{ Kč}$$

kde: O_r – hodnota odbytové režie [%]

- Správní režie – náklady spojené s řízením podniku (mzdy managementu, cestovné, nájemné administrativní budovy)

$$N_{spr} = N_{cm} \cdot \frac{S_r}{100} = 1081016 \cdot \frac{120}{100} = 1297219 \text{ Kč}$$

kde: S_r – hodnota správní režie [%]

Celkové režijní náklady:

$$N_{rc} = N_{Rež} + N_{odb} + N_{spr} = 5805080 + 972914 + 1297219 = 8075213 \text{ Kč}$$

4.3 Stanovení ceny součásti

Pomocí následujících výpočtů bude stanovena orientační cena jednoho výrobku. Pro vlastní náklady výroby se musí sečíst následující činitele:

Vlastní náklady výroby

$$\begin{aligned} &= \text{celkové náklady materiálu} + \text{celkové náklady na mzdy} \\ &+ \text{strojn} \text{í náklady} + \text{kooperace} + \text{nástroje} + \text{stroje} + \text{výrobn} \text{í re} \text{žie} \\ &= 19835601 + 1081016 + 31709700 + 1640000 + 10000000 \\ &+ 5805080 = 70071397 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vlastní náklady výkonu} &= \text{vlastní náklady výroby} + \text{správn} \text{í re} \text{žie} \\ &= 70071397 + 1297219 = 71368616 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Úplné vlastní náklady výkonu} &= \text{vlastní náklady výkonu} + \text{odbytová re} \text{žie} \\ &= 71368616 + 972914 = 72341530 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\text{Zisk} = \text{úplné vlastní náklady výkonu} \cdot 0,15 = 72341530 \cdot 0,30 = 21702459 \text{ Kč}$$

Po výše uvedených výpočtech byla stanovena prodejní cena jednoho výrobku, která činí 800 Kč.

4.4 Určení bodu zvratu

Nejprve je třeba určit variabilní náklady

- Celkové variabilní náklady:

$$\begin{aligned} N_{\text{var}_{\text{cel}}} &= M_{\text{mat}} + N_{\text{cm}} + N_{\text{ch}} + N_{\text{var}} + N_{\text{odb}} + N_{\text{spr}} \\ &= 19835601 + 31709700 + 5405080 + 972914 + 1297219 \\ &= 59220514 \text{ Kč} \end{aligned}$$

- Celkové náklady na jeden kus:

$$N_{\text{jed}} = \frac{\text{Úplné vlastní náklady výkonu}}{Q} = \frac{72341530}{450000} = 160,76 \cong 161 \text{ Kč}$$

K výše uvedené ceně je nutné připočíst 30 % zisku. Cena jedné vaničky se tedy rovná 209 Kč. Dále je nutné stanovit fixní náklady:

$$N_{\text{fix}_{\text{cel}}} = N_n + N_{\text{CYA}} + N_{\text{fix}} = 1640000 + 10000000 + 400000 = 12040000 \text{ Kč}$$

Nyní je možné vypočítat kritické množství výrobků – bod zvratu – množství výrobků, kdy se smažou náklady a začne se generovat zisk:

$$B_z = \frac{\text{Úplné vlastní náklady výkonu}}{\text{Cena jedné vaničky}} = \frac{72341530}{209} = 346131,7 \cong 346132 \text{ ks}$$

Po prodání 346132 kusů se začne generovat zisk. Bod zvratu je znázorněn v grafu (příloha 3)

5 ZÁVĚRY

Byl proveden návrh výroby sprchové vaničky. Vyráběná součást je čtvercového tvaru se zaoblením u dna 70R a přírubou širokou 70 mm z plechu o tloušťce 1 mm. Výrobek je z austenitické oceli 17 240, protože bude vystaven vlhkému prostředí. Roční série výroby byla stanovena na 450 000 kusů.

Z uvažovaných variant výroby byla zvolena technologie hlubokého tažení, která je podrobně rozebrána v teoretické části této práce. Polotovar, vystříhnutý z tabule plechu o rozměrech 3000x1500x1 mm, má rozměry 1355x1355 mm. Celková tažná síla byla stanovena na 3079,225 kN, podle které se vybral hydraulický lis ŽĐAS CYA 500 o lisovací síle 5000 kN. Výtažek bude zhotoven na jeden tah, podle této skutečnosti byla navržena vhodná konstrukce nástroje. Práce obsahuje výkres sestavy, tažníku a tažnice.

V orientačním ekonomickém zhodnocení byly zaneseny přímé i nepřímé náklady. V přímých nákladech se počítalo s náklady na materiál a všechny operace z technologického postupu. V nepřímých se brala do úvahy výrobní, odbytová i správní režie. Ve fixních nákladech bylo počítáno pouze s hrubým odhadem ceny nástrojů. Na základě těchto výpočtů a skutečností, že se jedná o výrobní sérii 450 000 kusů ročně, se stanovila cena jednoho výrobku na 800 Kč. Zisk začne výroba generovat za 18024 kusů.

Z technického hlediska je navržená technologie výroby vhodná pro tento případ a z ekonomického hlediska je velmi efektivní. S přihlédnutím k životnosti nástroje by se do budoucna mohla snížit cena výrobku, aby byl konkurenceschopný na trhu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY [2]

1. TIŠNOVSKÝ, M a L MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL, 1990, 196 s. ISBN 80-030-0221-4.
2. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2018 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/>
3. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s.: il. ISBN 80-214-2683-7
4. PROFI. *PROFI VTP* [online]. Vosmikových 16 Praha 8 Libeň: Lioliová, 1992 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.profi-vtp.cz/drezy-prodejna-praha-8>
5. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání – teoretický základ: Nekonenční způsoby tváření* [online]. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2018-04-15]. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/>
6. *Dasheng metal* [online]. Xiaoganga Street, Beilun District, Ningbo, Zhejiang, 315821 Čína, 2008 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://cz.oemdeepdrawn.com/deep-drawn-parts/steel-deep-drawn-parts>
7. *TAWESCO s.r.o.* [online]. Kopřivnice: TAWESCO [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://www.tawesco.cz/lisovani/>
8. *RAVAK* [online]. Příbram 1: RAVAK, 2004 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.ravak.cz/cz/vanicky-hluboke-a-minivany>
9. *Alfun* [online]. Bruntál: ALFUN, 1999 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/korozivzdorna-ocel-nerez>
10. *TERAPOL* [online]. Chomutov: TERAPOL spol. s r.o. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://www.terapol.cz/clanek/zasady-zpracovani>
11. *TECHNOR* [online]. Hradec Králové: TECHNOR print, s.r.o, 2005 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/014240-csn-iso-2768-1_4_24201.html
12. *BRÁZDA: Kovovýroba* [online]. Žďár nad Sázavou: Ladislav Brázda, 1992 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://www.kovovyroba-brazda.cz/kovovyroba-triskove-obrabeni-str-10-1-0-2.html>
13. *ELUC* [online]. Olomoucký kraj: ELUC, 2015 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1813>
14. HORÁČEK, M a L ZEMČÍK. *Slévárenská technologie: Technologie II* [online]. Vysoké učení technické, 25 s. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/slevarenska-technologie/slevtech.pdf>

15. *Odbor slévárenství* [online]. Brno: FSI VUT v Brně, ÚST odbor slévárenství [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/studium/studijni-opory>
16. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. 2nd ed. New York: Industrial Press, 2014, 291 s. ISBN 9780831134921.
17. RAMEZANI, Maziar a Zaidi RIPIN. Analysis of deep drawing of sheet metal using the Marform process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. London: Springer-Verlag, 2012, **59**(5), 491-505 [cit. 2018-04-23]. DOI: 10.1007/s00170-011-3513-1. ISSN 0268-3768. Dostupné z: <https://link-springer-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/article/10.1007%2Fs00170-011-3513-1>
18. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
19. TOMAN, Pavel. *Výroba součástí z plechu pomocí technologie HMT* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2009 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/13684>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ladislav Žák.
20. *Libor Beneš* [online]. Praha: Libor Beneš [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/>
21. *Svarovanikraus.cz* [online]. Praha 4, 1992 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://svarovanikraus.cz/svarecske-prace/>
22. VALBERG, Henry S. *Applied metal forming: including FEM analysis*. New York: Cambridge University Press, 2010. ISBN 978-0-521-51823-9.
23. HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 2. 2. díl, Koroze, základy obrábění, výrobní postupy*. Span class. Praha: Scientia, spol. s r.o., pedagogické nakladatelství, 2001. ISBN 80-7183-245-6.
24. NĚMEC, Milan, Bohumír BEDNÁŘ a Barbora BRYKSÍ STUNOVÁ. *Teorie slévání*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016, 217 stran : ilustrace (některé barevné). ISBN 978-80-01-06026-1.
25. SCHMIDOVÁ, Eva. *Metalurgické vady svarových spojů*. Vyd. 2. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra mechaniky, materiálů a části [sic] strojů, 2014, 146 s. : il. (některé barev.) ; 24 cm. ISBN 978-80-7395-851-0.
26. *AutoForm Engineering GmbH* [online]. Zurich: Dr. Waldemar Kubli, c2018 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.autoform.com/en/glossary/drawbeads/>
27. FRODLOVÁ, Barbora, Radek ČADA a Jakub MACHÁLEK. *Simulace procesů plošného tváření v softwaru Dynaform: studijní opora* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012 [cit. 2018-05-11]. ISBN 978-80-248-2714-8. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2714-8.pdf>

28. *Stolle* [online]. Euskirchen: Wilh. Stolle GmbH – Broichstraße 78–90, c2018 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://www.stolle-plates.cz/informace/galerie-obrazku/site/1/>
29. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993, 349 s. : obr., tabulky, grafy, schémata ; 21 cm. ISBN 80-01-01003-1.
30. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
31. LENFELD, Petr. *Technologie II. Chnologie II* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
32. *Katalog obráběcích a tvářecích strojů*. Žďas, a. s. Žďár nad Sázavou. Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/scya500_1.html
33. *Ferona* [online]. Praha: Feron, c2017 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/22422/plech-nerez-valcovany-za-studena-en-iso-9445-rozmer-1x1500x300>
34. ŽILKA, Daniel. *Výroba tvarového krytu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Kamil Podaný.
35. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
a	Délka kratší stěny krabicového výtažku	[mm]
A	Tažnost	[%]
b	Délka delší stěny krabicového výtažku	[mm]
c	Výška finálního výrobku	[mm]
c ₀	Výška taženého materiálu	[mm]
C ₁	Konstanta pro hluboké výtažky	[-]
C ₂	Konstanta pro tlak přidržovače	[-]
c _m	Cena materiálu	[Kč·kg ⁻¹]
c _s	Hodinový provoz lisu	[Kč·hod ⁻¹]
c _t	Hodinová mzda	[Kč·hod ⁻¹]
D	Průměr výtažku	[mm]
D ₀	Průměr polotovaru	[mm]
F	Celková tažná velikost	[N]
F ₁	Velikost tažné síly pro čtyři rohy	[N]
F ₂	Velikost tažné síly pro přímé stěny	[N]
F _{max}	Síla na protržení dna	[N]
F _p	Síla přidržovače	[N]
F _s	Střižná síla	[N]
F _{SO}	Střižná síla pro určení lisu	[N]
H	Rozvinutá velikost obvodové stěny	[mm]
h	Výška stěny bez poloměru mezi dnem a stěnou	[mm]
h _{př}	přibližovací vzdálenost	[mm]
H _{sa}	Redukce delší stěny	[mm]
H _{sb}	Redukce kratší stěny	[mm]
k	Koeficient pro určení tažné mezery	[-]
K _p	Součinitel určující nutnost použití přidržovače	[-]
L	Součet délek přímých částí stěn výtažku	[mm]
m ₀	Hmotnost odpadu	[kg]
m ₁	Součinitel tažnosti pro první tah	[-]
M _{mat}	Celkové náklady na materiál	[Kč]
m _n	Součinitel tažení	[mm]
M _p	Náklady na materiál	[Kč]
n	Počet otáček	[min ⁻¹]
n ₀	Koeficient otupení	[-]
N _{cm}	Celkové náklady na mzdy	[Kč]
N _{CYA}	Náklady na pořízení stroje	[Kč]

Označení	Legenda	Jednotka
N_{fix}	Fixní výrobní režie	[Kč]
N_{fixcel}	Fixní náklady	[Kč]
N_{ch}	Celkové náklady na chod strojů	[Kč]
N_{jed}	Celkové náklady na jeden kus	[Kč]
N_{md}	Náklady na mzdy v 6. operaci děrování	[Kč]
N_{mo}	Náklady na mzdy v 6. operaci odstříhnutí	[Kč]
N_{ms}	Náklady na mzdy v 1. operaci vystřihování	[Kč]
N_{mt}	Náklady na mzdy ve 4. operaci tažení	[Kč]
N_n	Náklady na nástroje	[Kč]
N_{odb}	Náklady na odbyt	[Kč]
$N_{rež}$	Režijní náklady	[Kč]
N_{sd}	Náklady na stroj v 6. operaci děrování	[Kč]
N_{so}	Náklady na stroj v 6. operaci odstříhování	[Kč]
N_{spr}	Správní režie	[Kč]
N_{ss}	Náklady na stroj v 1. operaci stříhání	[Kč]
N_{st}	Náklady na stroj ve 4. operaci tažení	[Kč]
N_{var}	Variabilní výrobní režie	[Kč]
N_{varcel}	Celkové variabilní náklady	[Kč]
n_{zd}	Počet zdvihů za minutu	[min ⁻¹]
o	obvod taženého materiálu	[mm]
O	Délka střížné čáry	[mm]
O_r	Hodnota odbytové režie	[%]
p	Měrný tlak mezi přidržovačem a přírubou	[MPa]
p_{zv}	Pracovní zdvih beranu	[mm]
Q	Roční série	[Ks · rok ⁻¹]
R	Rozvinutý poloměr zaoblení	[mm]
$R_{(n-1)}$	Poloměry zaoblení rohů pro (n-1) operaci	[mm]
R_1	Rozvinutý poloměr zaoblení pro R20	[mm]
R_2	Rozvinutý poloměr zaoblení pro R520	[mm]
R_a	Poloměr zaoblení u dna výtažku	[mm]
R_e	Poloměr zaoblení mezi stěnami výtažku	[mm]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_n	Poloměry zaoblení rohů pro n-tou operaci	[mm]
$R_{p0,2}$	Mez kluzu	[MPa]
r_{tc}	Poloměr zaoblení tažnice	[mm]
r_{tc}	Poloměr zaoblení tažnice	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
r_{tk}	Poloměr zaoblení tažníku	[mm]
r_{tk1}	Poloměr zaoblení tažníku	[mm]
R_x	Upravený poloměr zaoblení	[mm]
S	Plocha příruby pod přidržovačem	[mm ²]
t	Tloušťka materiálu	[mm]
T_1	Třecí síla mezi přírubou a přidržovačem	[N]
T_2	Třecí síla v oblasti tažné hrany	[N]
T_3	Třecí síla v tažné mezeře	[N]
T_4	Třecí síla v místě zaoblení tažníku	[N]
t_{Ad}	Jednotkový čas přípravy pro 6. operaci děrování	[s]
t_{Ao}	Jednotkový čas přípravy pro 6. operaci odstřížení	[s]
t_{At}	Jednotkový čas přípravy pro 4. operaci tažení	[s]
t_{Av}	Jednotkový čas přípravy pro 1. operaci vystřihování	[s]
t_p	Jednotkový čas pracovní	[s]
$t_{př}$	Jednotkový čas přibližovací	[s]
t_z	Jednotkový čas zpětného chodu	[s]
v	Tažná rychlost	[m·min ⁻¹]
v	Tažná rychlost	[mm·s ⁻¹]
v_p	Pracovní rychlost	[mm·s ⁻¹]
$v_{př}$	Přibližovací rychlost lisu	[mm·s ⁻¹]
V_r	Hodnota výrobní režie	[%]
x	Koeficient pro upravení rozměrů stěn	[mm]
x_1	Koeficient pro upravení rozměrů stěn pro R20	[mm]
x_2	Koeficient pro upravení rozměrů stěn pro R520	[mm]
Z	Materiálová konstanta	[-]
z	Tažná vůle	[mm]
Z_0	Zhodnocení odpadu	[Kč]
z_b	Celkový zdvih beranu	[mm]
α	Úhel skonu přidržovače	[°]
Δc	Přídavek materiálu na ostříhnutí	[mm]
π	Ludolfovo číslo	[-]
σ_1	Radiální tahové napětí	[MPa]
σ_3	Tangenciální tahové napětí	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výrobků vytvořených technologií tváření [4], [6], [7].....	9
Obr. 2 Model vaničky.....	10
Obr. 3 Rozměry vaničky.....	10
Obr. 4 Třískové obrábění [12]	11
Obr. 5 Odlévání [28]	11
Obr. 6 Svařování [21]	12
Obr. 7 Metoda Marform [1]	12
Obr. 8 Hluboké tažení[1]	13
Obr. 9 Brzdící žebro [26]	13
Obr. 10 Napětí při tažení hranaté nádoby [18]	14
Obr. 11 Rozložené rohové zaoblení $R_a < R_e$ [16]	15
Obr. 12 Rozložené rohové zaoblení $R_a = R_e$ [16]	15
Obr. 13 Konstrukční úprava ostrých rohů [1]	16
Obr. 14 Nepravidelný výtazek (18)	17
Obr. 15 Typy brzdících žebor [16]	18
Obr. 16 Příklad umístění brzdících žebor [16]	18
Obr. 17 Zaoblení tažnice (16)	18
Obr. 18 Třecí síly v procesu tažení [18]	20
Obr. 19 Řez tažníkem běžného provedení [30]	20
Obr. 20 Vybraná provedení tažnic [31]	21
Obr. 21 Přidržovač.....	21
Obr. 22 Úhel α přidržovače [31]	21
Obr. 23 Vnitřní tvar vaničky.....	23
Obr. 24 Obecné vlastnosti.....	23
Obr. 25 Vypočítaný polotovar.....	23
Obr. 26 Upravený polotovar.....	24
Obr. 27 Funkční část tažníku.....	26
Obr. 28 Tažnice.....	27
Obr. 29 Koncept stříhadla.....	27
Obr.30 Hydraulický lis CYA 500 [33].....	28

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické vlastnosti oceli ČSN 17240 (DIN 1. 4301, EN X5CrNi18-10) [8].....	11
Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli ČSN 17240 (DIN 1. 4301, EN X5CrNi18-10) [8].....	11
Tab. 3 Přídavky na ostřížení [16].....	14
Tab. 4 Závislost maximální výšky nerotačního výtažku dosažitelné v prvním tahu na velikosti zaoblení výtažku v rozích [1]	17
Tab. 5 Zaoblení tažníku.....	19
Tab. 6 Velikost koeficientu k pro různé materiály [16].....	19
Tab. 7 Měrný tlak mezi přidržovačem a přírubou [30].....	20
Tab. 8 Složení tvrdého bronzu [1].....	22
Tab. 9 Rychlosti pro vybrané oceli a slitiny [1].....	22
Tab. 10 Technické parametry lisu CYA 500 [33].....	28
Tab. 11 Technologický postup výroby.....	29

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Mazadla pro různá tažení
Příloha 2	Řešení výpočtu na odstřížení příruby
Příloha 3	Graf bodu zvratu

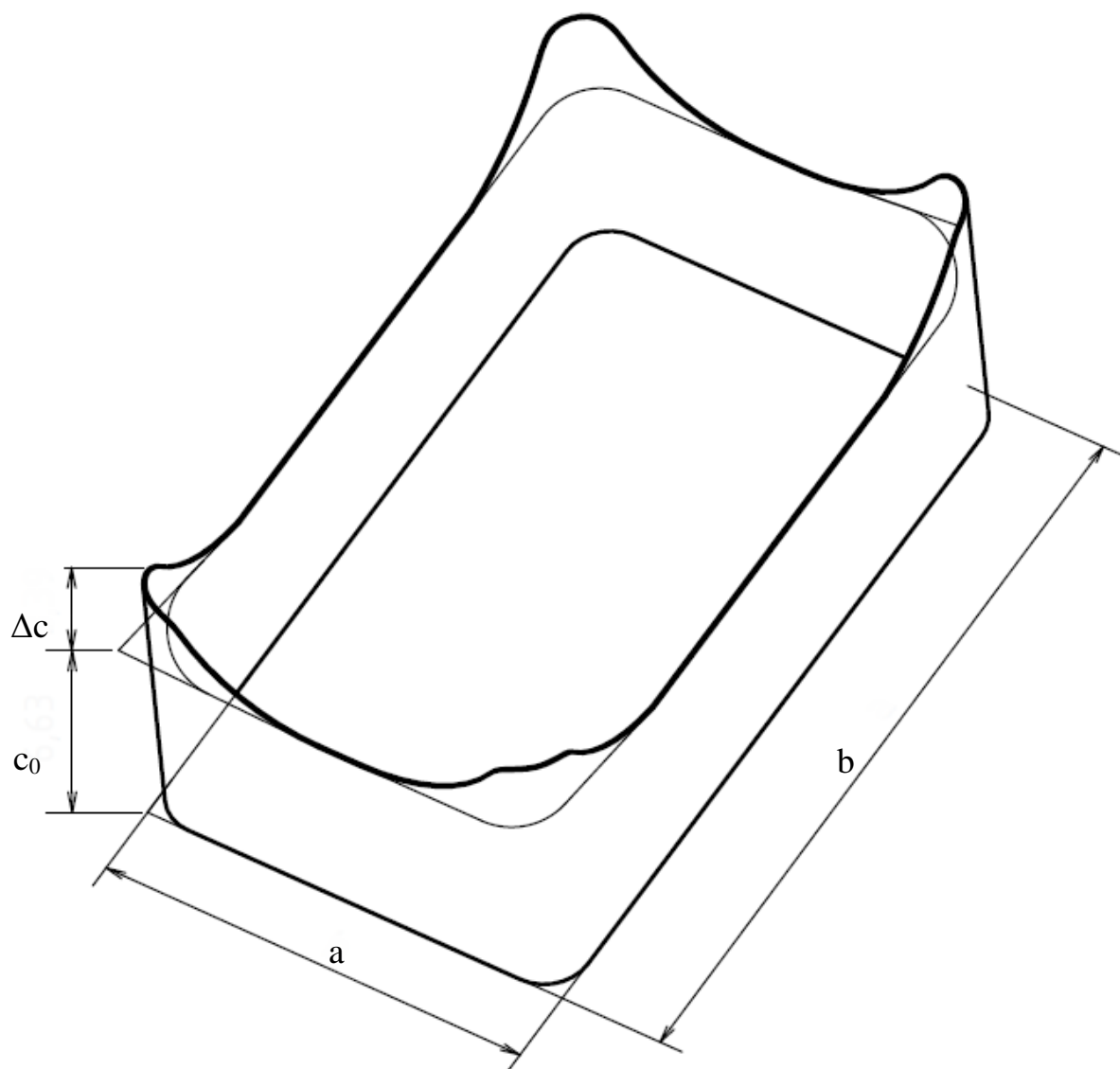
SEZNAM VÝKRESŮ

Tažidlo	BC_1_170229
Výtažek	BC_2_170229
Tažnice	BC_3_170229
Tažník	BC_4_170229
Kusovník	BC_5_170229

Příloha 1: Mazadla pro různá tažení

Tažený materiál	Mazadlo
Uhlíkové a nízkolegované oceli	<p>Mělké tažení: Minerální kapalné mazivo střední až vysoké viskozitě Mýdlový roztok Živočišný tuk + min. kapalné mazivo, emulze</p> <p>Hluboké tažení: Emulze na bázi živočišného tuku a mýdla, mýdlo + vosk, povlak ze suchého mýdla</p> <p>Hluboké, těžce zhotovitelné výtažky: povlak ze suchého mýdla nebo vosku, sulfidový nebo fosfátový povlak</p>
Korozivzdorné oceli	<p>Mělké tažení: Solný nebo ricinový olej + emulgované mýdlo, mýdlový nebo voskový papír</p> <p>Hluboké tažení: Práškový grafit sušený na polotovaru před procesem, hutný voskový povlak</p> <p>Hluboké, těžce zhotovitelné výtažky: Směs sulfidu zinečnatého a síranu barnatého a oleje ze lněného semínka, bílé olovo</p>
Hliník a slitiny uhlíku	<p>Nízké tažení: Minerální kapalné mazivo, olej živočišných tuků s minerálním kapalným mazivem, lůj a parafín, síření olej</p> <p>Hluboké, těžce zhotovitelné výtažky: Povlak ze suchého mýdla nebo vosku, minerální kapalné mazivo nebo olej z živočišných tuků, emulze na bázi tuku s mýdlovou vodou.</p>
Titan	Chlorovaný parafín, mýdlo, polymery, vosk
Měď	Olej z živočišných tuků + mýdlová emulze, minerální kapalné mazivo nebo olej z živočišných tuků, mastné směsi, suché mýdlo

Příloha 2: Řešení výpočtu na odstřížení příruby



Příloha 3: Graf bodu zvratu

