



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 ZÁCHYTNÉ VANY

PRODUCTION CONCEPT OF CATCH BASIN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Denisa Kubátová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Studentka: **Bc. Denisa Kubátová**
Studijní program: Strojírenská technologie
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Michaela Císařová, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

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

Návrh výroby zachytné vany

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma diplomové práce je zaměřeno na výrobu zachytné vany sloužící k stáčení a přelévání agresivních látek nebo pro skladování hořlavých kapalin. Literární rešerše bude vypracována na vhodnou technologii plošného tváření. Výstupem bude návrh postupu výroby součásti, návrh tvářecího nástroje a volba vhodného stroje.

Cíle diplomové práce:

Vypracování literární studie na zvolenou technologii výroby. Zhodnocení současné technologie výroby zachytné vany. Návrh vhodné technologie výroby součásti a zpracování postupu výroby doplněné technologickými a kontrolními výpočty. Součástí práce bude i návrh sestavy nástroje a lisovacího stroje, závěry se zhodnocením navrhované technologie.

Seznam doporučené literatury:

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. 1. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 0-8311-3182-9.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

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

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

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na výrobu záchytné vany, sloužící ke stáčení a přelévání agresivních látek. Vana bude vyrobena z korozi-vzdorné austenitické chrom-nikl-molybdenové oceli ČSN 17 346 ve výrobní sérii 15 000 ks ročně. Literární rešerše je vypracována na technologii plošného tváření, konkrétně tažení. Praktická část se věnuje návrhu technologie výroby součásti a technologickým výpočtům jenž ukazují, že součást bude vytažena jednou tažnou operací za použití přidržovače. Na základě provedených výpočtů byl navržen tažný nástroj a na závěr byl dle vypočtené potřebné tažné síly pro výrobu součásti zvolen lis PO 630 o jmenovité síle 6 300 kN.

Klíčová slova

plošné tváření, tažení, nerotační součást, korozi-vzdorná ocel, tažný nástroj

ABSTRACT

The project is focused on the production of catch basin, used for bottling, and pouring aggressive substances. The basin will be made of corrosion-resistant austenitic chrome-nickel-molybdenum steel 17 346 in a production series of 15,000 pieces per year. The literary research is carried out on the technology of surface forming, specifically drawing. The practical part is devoted to the design of the technology for the production of the part and technological calculations that show that the part will be pulled out in one pulling operation using a holder. Based on the calculations, a pulling tool was designed, and finally, according to the calculated necessary pulling force for the production of the part, a PO 630 press with a nominal force of 6,300 kN was chosen.

Keywords

flat forming, drawing, non-rotating part, stainless steel, drawing tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUBÁTOVÁ, Denisa. *Návrh výroby záchytné vany* [online]. Brno, 2024. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/154005>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Michaela Císařová.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh výroby záchytné vany vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

místo, datum

Bc. Denisa Kubátová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucí diplomové práce Ing. Michaele Císařové, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při zpracování diplomové práce. Na závěr bych ráda poděkovala rodině a příteli za veškerou podporu v průběhu studia.

OBSAH

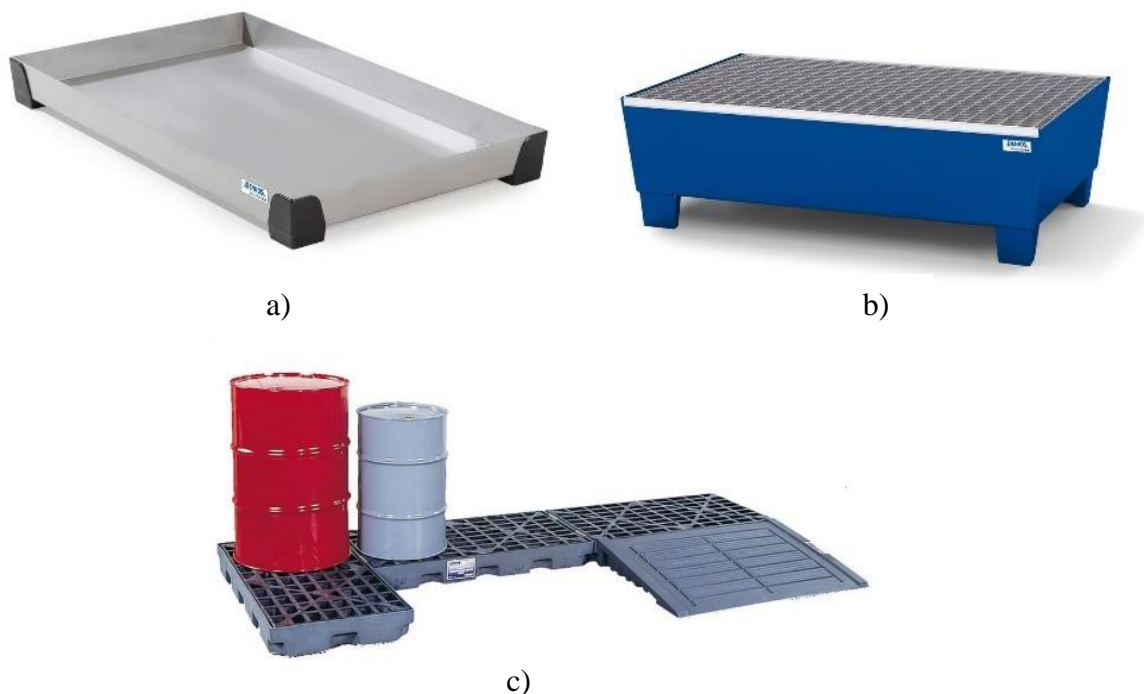
Zadání práce
 Abstrakt
 Bibliografická citace
 Čestné prohlášení
 Poděkování
 Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Možnosti zhotovení součásti	12
2 TAŽENÍ.....	14
2.1 Podstata procesu tažení	14
2.1.1 Způsoby tažení.....	15
2.2 Tažení nerotačních výtažků.....	15
2.3 Návrh ideálního tvaru a velikosti přístříhu.....	16
2.3.1 Početní a grafická metoda.....	17
2.3.2 Stanovení počtu operací a součinitele tažení	19
2.3.3 Plocha výtažku.....	21
2.3.4 Plochy výtažku po první tažné operaci.....	21
2.4 Tažná síla a práce	22
2.5 Volba přidržovače	24
2.6 Tažný poloměr, vůle a rychlost	24
2.6.1 Tažná vůle.....	25
2.6.2 Tažná rychlost.....	26
2.7 Konstrukce tažných nástrojů	27
2.7.1 Tažník, tažnice, přidržovač.....	27
2.7.2 Tažné stroje.....	29
2.7.3 Mazání	31
3 NÁVRH ŘEŠENÍ.....	32
3.1 Provedení kontroly technologičnosti.....	32
3.2 Navržení polotovaru	33
3.3 Zvolení rozměrů přístříhu.....	33
3.3.1 Nástřihový plán.....	34
3.3.2 Stanovení počtu operací.....	36
3.3.3 Výpočty ploch výtažku	36
3.3.4 Volba přidržovače, poloměr tažníku, tažná vůle	37
3.3.5 Výpočet tažné síly	38
3.4 Návrh nástroje	39
3.5 Volba stroje	41
ZÁVĚR.....	42

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

ÚVOD

Ve strojírenské praxi se běžně pracuje s nebezpečnými chemickými látkami, jako jsou například benzín, různé kyseliny, emulze a oleje, které se uchovávají nejen ve skladech a musí se s nimi manipulovat opatrně, jelikož představují velké riziko pro zdraví, a hlavně pro životní prostředí. Na skladování těchto látek musí být tedy brán velký zřetel a musí být v souladu s bezpečnostními vyhláškami a zákony. Je tedy velmi důležité, aby se zajistilo jejich správné a bezpečné skladování, pro které se využívá záchytných systémů, jenž zachycují a oddělují nebezpečné látky od ostatních skladovaných výrobků. Tyto látky tedy bezpečně uskladňují a chrání je tím před vnějšími vlivy, které by mohly vyvolat nebezpečné reakce. Zmíněnými systémy se rozumí záchytné podlahy, vany pod sudy či kontejnery a záchytné sudy, které mohou být vybaveny rošty a víky. Jejich povrch může být lakovaný, či zinkovaný. Na obr. 1 lze vidět několik příkladů záchytných systémů. [9; 15]



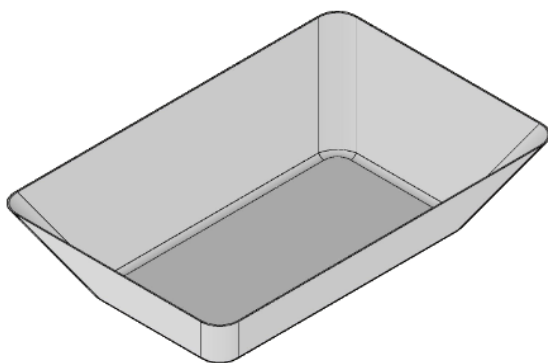
- a) Nerezová záchytná vana
 b) Lakovaná vana s nožičkami a roštem
 c) Podlahová záchytná vana

Obr. 1 Ukázka příkladů záchytných systémů [9; 10].

Systémy musí být vyrobeny z kvalitních a spolehlivých materiálů, které spolehlivě zaručí bezpečnost skladování. Mezi tyto vlastnosti lze zařadit vysokou pevnost a nosnost, odolnost vůči korozi a poréznosti, žáruvzdornost a vysokou chemickou odolnost. Jejich spoje a rohy musí být dokonale těsné, aby nedocházelo k nechtěnému úniku látek ze systémů. [9; 15]

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Smyslem této práce je navrhnout technologický postup pro výrobu záchytné vany sloužící ke stáčení a přelévání agresivních látek. Tvar je obdélníkový, bez roštu a nožiček, viz obr. 2. Vana je opatřena mírnými rádiusy pro snadnější čištění dna a k zajištění minimálního ulpívání kapaliny uvnitř během jejího přelévání. Rozměry vany jsou navrženy tak, aby bylo uvnitř možné uskladnit jeden malý sud nebo kanistr. Výrobek je zamýšlen pro použití v automobilovém průmyslu, příklad použití lze vidět na obrázku. 3. [9]

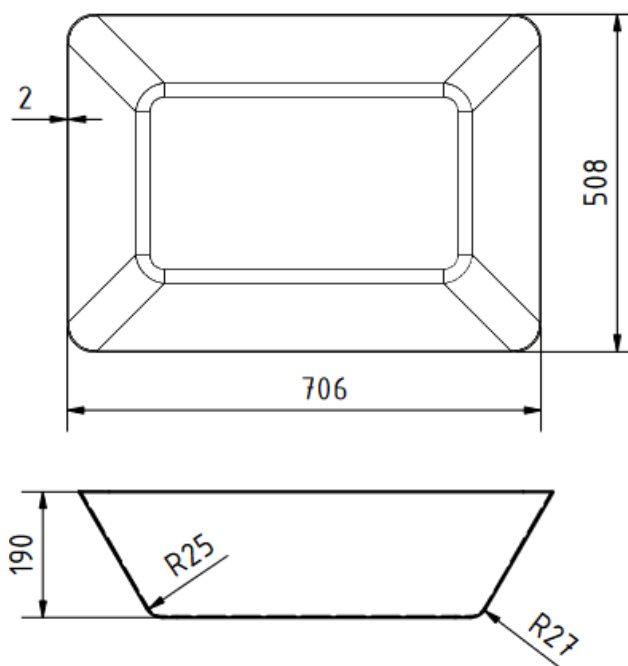


Obr. 2 3D model záchytné vany



Obr. 3 Využití záchytné vany [9].

Základní rozměry výrobku lze vidět na obr. 4, přičemž delší strana vany je dlouhá 706 mm a rozměr kratší strany dosahuje velikosti 508 mm. Výška vany dosahuje 190 mm a tloušťka dna i stěn činí 2 mm. Drsnost povrchu výrobku musí dosahovat drsnosti Ra 3,2. Rozměry, jež zde nejsou přesně tolerovány se řídí normou ISO 2768 – mK, tato norma uvádí toleranci $\pm 0,5$ mm. U dna jsou jemná zaoblení o rádiusu 25 mm sloužící k zamezení ulpívání chemické látky v rozích dna a pro snadnější vylévání kapalin jsou rádiusy i v rozích vany a to 50 mm. Ostatní rozměry je možné vidět v příloženém výkresu 2024-DP-239867-10. Výrobní série činí 15 000 kusů za rok.



Obr. 4 Základní rozměry vany.

Důležitým požadavkem na materiál pro výrobu vany je dobrá korozivzdornost z důvodu velmi častého přímého kontaktu s různými druhy kapalin a olejů. Vybraný materiál také musí být dobře tvářitelný a také je požadována vysoká chemická odolnost. Lze zvolit nerezový plech válcovaný za tepla, který je díky své tvárnosti vhodný k tažení, ohýbání i lisování.

Pro splnění požadavků na výrobu je vhodným materiálem korozivzdorná austenitická chrom-nikl-molybdenová ocel 17 346 s mezinárodním označením AISI 316 (X5CrNiMo17-12-2), s dobrou obrobitelností, svařitelností a tažností. Disponuje velmi dobrou odolností vůči korozi neoxidujícími kyselinami, která je způsobena vlivem obsahu molybdenu. Chemické složení zvolené oceli lze vidět v tabulce č. 1. [11; 12]

Tab. 1 Chemické složení oceli [11].

Chemický prvek	Hmotnostní obsah prvku v % (max.)
C	$\leq 0,07$
Cr	16,5–18,5
Mn	≤ 2
Mo	2–2,5
N	$\leq 0,1$
Ni	10–13
S	$\leq 0,03$
Si	≤ 1
P	$\leq 0,045$

Tento materiál se využívá v ropném, potravinářském a stavebním průmyslu, na výrobu vyhnívacích nádrží, potrubních rozvodů, zdravotní techniky či bělicích přístrojů. V chemickém průmyslu lze použít k výrobě tlakových nádob a vybavení pro produkci solných organických a anorganických kyselin. Také je hojně využíván k výrobě odporových teplotních sond. Je vhodná i pro výrobu nádob k uskladnění rozpouštědel, kyselin a výrobu páry. Pro doplnění vlastností je přiložena tabulka 2, zobrazující mechanické vlastnosti a v příloze 1 je přiložen materiálový list oceli. [11; 12]

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli [11].

Mechanická vlastnost oceli	Hodnota
Mez kluzu R_e	≥ 200 MPa
Mez pevnosti R_m	500–700 MPa
Tažnost	20 %
Hustota ρ	8 kg·dm ⁻³
Tvrдость	

1.1 Možnosti zhotovení součásti

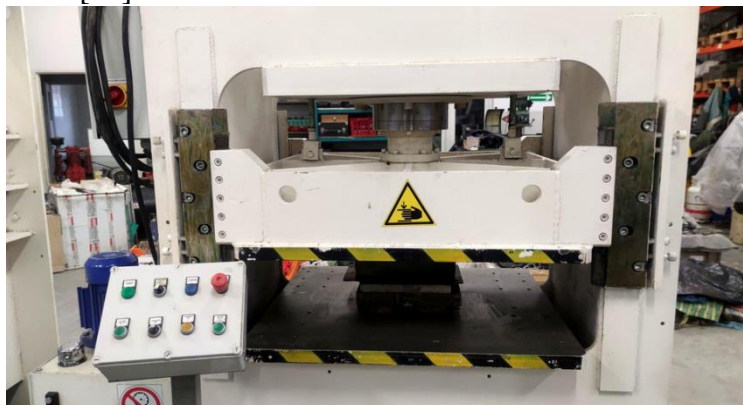
Se znalostí základních parametrů a požadavků na výrobek lze přejít k problematice volby vhodné technologie pro vyhotovení vany. Po důkladném zvážení všech vstupních parametrů lze pro vytvoření výrobku uvažovat tři způsoby zhotovení:

- Střih, ohyb, svaření – ustřížení velkého obdélníku z plátu plechu, následné vystřížení rozvinu, ohnutí stěn na ohýbacím zařízení a finální svaření hran. Pro tuto variantu by tedy bylo zapotřebí využít pro dělení materiálu tabulových nůžek na plech, dále ohýbacího zařízení pro potřebné ohnutí plechu, viz obr. 5. V posledním kroku by bylo nutné využít svářečského zařízení pro svaření jednotlivých hran rohů k sobě svarovým spojem, nejhodnější metodou svařování je zde TIG. Výhodou tohoto způsobu výroby je minimální ztenčení tloušťky. Nevýhodou této metody je riziko špatně zhotoveného svaru u hran a tím vzniká riziko prosáknutí chemické látky. Metoda je pro sérii 15 000 ks ročně zbytečně zdlouhavá, a ne velmi spolehlivá, nebude tedy zvolena.



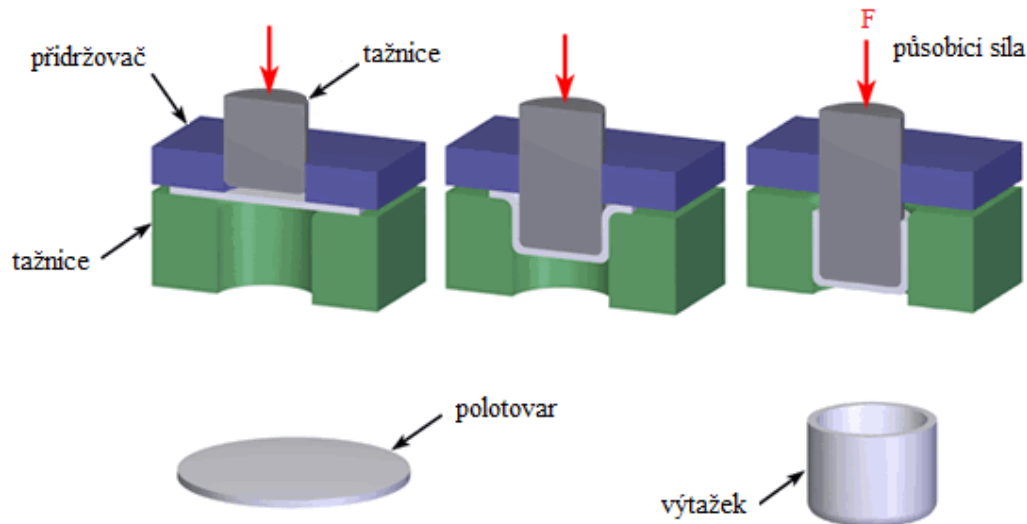
Obr. 5 Proces ohýbání plechu [13].

- Hydroform – nekonvenční metoda tváření, jenž jako médium využívá vysokotlakou kapalinu. Kapalina je uzavřena a utěsněna tenkou membránou z pryže v tlakové nádobě. Na přidržovači je umístěn polotovár. Kontejner sjede na přidržovač a tím se mezi přidržovačem, pryžovou membránou a deskou vytvoří požadovaný tvářecí tlak. Následně je tažník s polotovarem tlačěn proti pryžové membráně do pracovního prostoru uvnitř skříně, čímž je vyvolán protitlak. Pro regulaci kapaliny a tlaku slouží přepouštěcí ventil. Právě regulací tlaku dochází k deformaci na toužený tvar. Na závěr dochází ke zvýšení tlaku pro kalibraci výtažku. Zařízení pro Hydroform lze vidět na obr. 6. Výhodou je schopnost zhotovení hlubokého tahu na jednu tažnou operaci a vysoká kvalita výtažku. Nevýhodou je vysoká cena zařízení pro sérii 15 000 ks je tato metoda zbytečně drahá. [16]



Obr. 6 Lis pro Hydroform [14].

- Tažení bez zeslabení stěny – polotovar je přetvořen do dutého prostorového tělesa. Z plátu plechu se za pomoci tabulových nůžek vystříhne rovinný přístřih plechu o potřebné velikosti. Následně dochází k postupnému působení tažníku na polotovar, čímž je materiál nabalován na působící tažník a vtahován do tažnice. Tímto procesem se v několika operacích (ideálně v jedné až dvou, nejideálnější je jedna tažná operace – jeden nástroj) zhotoví požadovaný výtažek. Schéma principu tažení lze vidět na obrázku 7. Výhodou této technologie v porovnání se stříhem, ohybem a svařením je větší bezpečnost vůči narušení materiálu a možnému úniku zachyceného obsahu vany. Není zde pro výrobu zapotřebí několika strojů. Dále se jeví jako správnou volba pro úsporu materiálu, ale také i času a energií. Pro sérii 15 000 ks je vhodnou volbou. [17]



Obr. 7 Schéma principu tažení [18].

Po zhodnocení výše uvedených metod je pro splnění požadavků na těsnost záchytné vany nevhodnější volbou technologie tažení bez zeslabení stěny, jelikož zde nedochází k narušení celistvosti materiálu. Je-li uvažována výrobní série 15 000 ks ročně, je tato varianta z pohledu pořizovacích nákladů na strojní zařízení nejvhodnější pro výrobu součástí.

2 TAŽENÍ

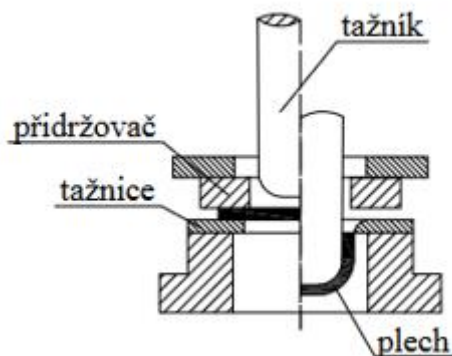
Tažení jakožto technologický proces je jedním z mnoha způsobů plošného tváření. Rozumí se tím přetvoření plechu rovinného přístřihu v duté těleso za pomoci působení síly a nedochází zde k úběru třísek. Proces lze popsat také jako prostorový ohyb do nerozvinutého tvaru bez výrazného zeslabení tloušťky stěny, či se zeslabením stěny v jedné i více tažných operacích. Tvářecí nástroj se skládá z tažníku a tažnice a hotový výrobek se nazývá výtažek. Jedná se o velmi produktivní a moderní technologii se širokým spektrem využití, ať už jde o automobilový, letecký, či lékařský průmysl. Díky nízkým nákladům na výrobu dílů se touto technologií vyrábí čím dál více produktů. Touto metodou lze vytvářet součásti rotačních tvarů, nerotačních, ale i složitých tvarů., viz obrázek 8.



Obr. 8 Ukázka výtažku složitého tvaru [21].

2.1 Podstata procesu tažení

Dle tvaru výlisku lze tažení rozdělit na tažení mělké, hluboké, tažení bez a se ztenčením stěny, tažení nepravidelných tvarů, tažení rotačních tvarů a také tažení nerotačních součástí. Technologie tažení plechu spadá do kategorie plošného tváření. Řadí se sem také mimo jiné stříhání, ohýbání, zakružování pásů (objemové tváření) a tažení plechů. Tažením se rozumí vytvoření dutého tělesa z rovinného přístřihu. Jedná se o prostorový ohyb do nerozvinutého tvaru a lze ho provést bez podstatného zeslabení tloušťky stěny, nebo se zeslabením stěny v jedné i více tažných operacích. Pro vysvětlení samotného principu lze uvést jednoduchý rotační tvar v podobě válce, viz obrázek 9. Tažník je zatlačován do tažnice, posouvajíc plech přes tažnou hranu tažnice. Tato tažná hrana je část nástroje, jenž se opotřebovává nejrychleji. Je zapotřebí kontrolovat velikost tažné síly podmínkou pevnosti, aby nedošlo k přetržení válcové části nádoby a také je nutno zohlednit zpevnění materiálu a vliv tření. [4]



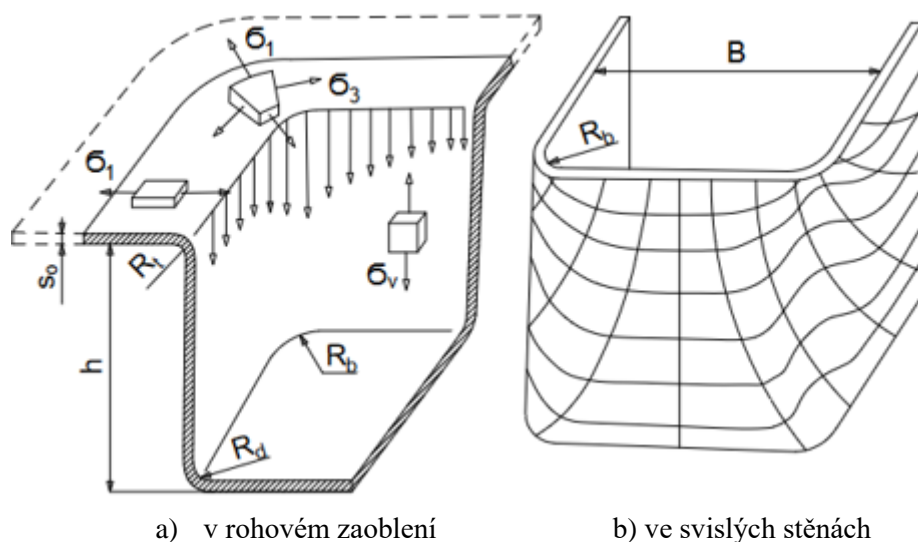
Obr. 9 Schéma procesu tažení bez zeslabení stěny [8].

2.1.1 Způsoby tažení

Existuje několik způsobů, kterými lze výtažky zhotovit – tažením nepevným nástrojem, tlačáním, konvenčním tažením tažidlem, či explozivním tvářením. Dále se rozlišují technologie, jako jsou tažení bez ztenčení stěny, známé také jako prosté tažení, jímž lze zhotovit rotační i nerotační tvary, duté uzavřené tvary a lze zhotovit i výtažky s přírubou, nebo bez příruby. Následuje tažení se ztenčením stěny, použitelné pro součásti s tenčí stěnou, nežli je dno. Tažení bez přidržovače lze využít pro nízké a tvarově jednoduché výtažky z tlustého materiálu. Naopak tažení s přidržovačem je vhodnější pro vyšší výtažky. V poslední řadě lze použít zpětného tažení, což je dvouoperační tažení vhodné pro vysokou redukci materiálu. [7]

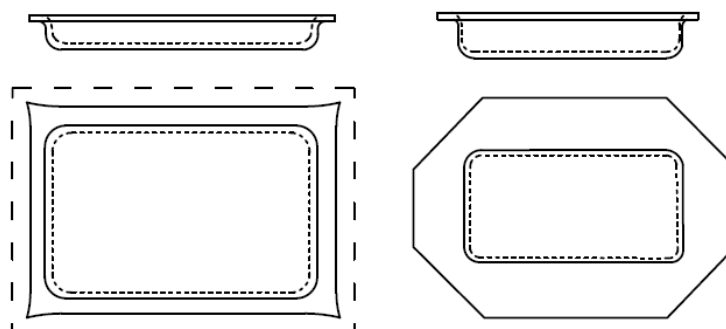
2.2 Tažení nerotačních výtažků

Nerotační tažení vychází z tažení rotačního, avšak technologické podmínky se při tažení nepravidelných, obdélníkových a čtvercových výtažků oproti válcovým výtažkům značně liší, například v rohovém zaoblení a také ve svislých stěnách panuje rozdílný stav napjatosti, což lze vidět na obr. 10 a). Průběhy deformace vynesené na obrázku 10 b) znázorňují, že ve svislých stěnách tohoto pravoúhlého výtažku dochází k ohýbání a také k deformaci, za situace, kdy je $h > (0,3 - 0,5) \cdot B$. Pouhé ohýbání svislých stěn během procesu tažení se týká pouze nižších pravoúhlých výtažků, nežli je $h < (0,3 - 0,5) \cdot B$. [6]



Obr. 10 Parametry se stavem napjatosti během procesu tažení pravoúhlého výtažku [6].

Pro tažení mělkých nerotačních tvarů s velkým zaoblením rohů dna je zapotřebí přístřih velkou silou přidržovat za účelem zabránění možného zvlnění. Z tohoto důvodu je vhodné zvolit větší přístřih, s ostřížením po procesu tažení. Dále je možno pro správné přidržení použít brzdící lišty. Ukázkou jednoduchého přístřihu pro mělký výtažek lze vidět na obr. 11. [6]

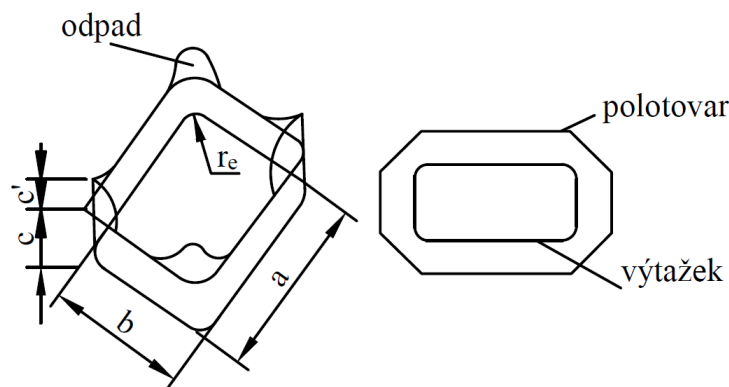


Obr. 11 Schéma jednoduchého přístřihu pro mělký výtažek [8].

Jak je již zmíněno výše, k největšímu zpevnění dochází v rozích výtažku, kde dochází k tažení materiálu, směrem k rovným stěnám se materiál zpevňuje a v dané vzdálenosti od taženého rohu jeho hodnota odpovídá tahové deformaci. Důsledkem nerovnoměrného zatížení kovu ve všech částech přístříhu vzniká únik materiálu z oblasti velkého zatížení do oblastí malého zatížení, způsobujíc tak stranový tok kovu. Ten je snadno rozpoznatelný přítomností tokových čar, či zesvětlením zbarvení materiálu v namáhaném místě. Tato skutečnost způsobuje, že určení tvaru a velikosti polotovaru pro tažení nerotačních tvarů není tak jednoduché, lze zamezit plýtváním materiálu a nadměrnému zatížení materiálu. [7]

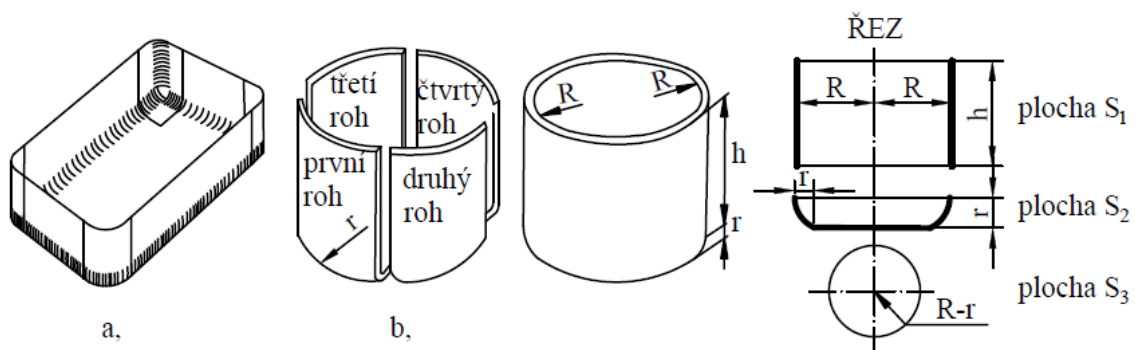
2.3 Návrh ideálního tvaru a velikosti přístříhu

Narozdíl od rotačního tažení je pro tažení nerotační volba přístříhu poměrně složitější. Musí se brát zřetel na minimální odpad při odstřížení, adekvátní volbu počtu tažných operací a rovnoměrné zatížení materiálu v jednotlivých oblastech, aby se předešlo zvětšení nepotřebných částí. K této skutečnosti dochází při nevhodném zvolení polotovaru, kdy se přebytečný materiál v rozích výtažku musí odebrat sražením, či zaoblením, viz obrázek 12. Platí zde zákon zachování objemu a při tažení bez ztenčení stěny se používá zákon stálosti ploch. Je třeba brát v úvahu ostřížení okrajů, což vede k nutnosti zvětšení velikosti výchozího přístříhu pro první tah o tři procenta a pro další tahy o jedno procento. [19, 27, 28]



Obr. 12 Nadměrná část výtažku a vhodně upravený tvar polotovaru. [27, 28]

Při volbě polotovaru pro nerotační výtažky obdélníkového tvaru se použije předpokladu, že potřebné množství materiálu k vytažení rohů obdélníkové součásti je rovno potřebnému množství materiálu k vytažení výtažku válcového tvaru o stejné výšce s velikostí průměru, jenž je rovný dvojnásobku poloměru zaoblení rohu obdélníkového výtažku. Na obrázku 13 lze vidět výše zmíněný předpoklad. [7]



Obr. 13 Válcovitý výtažek vzniká oddělením rohů [7].

2.3.1 Početní a grafická metoda

Pro určení ideálního tvaru je zapotřebí znát rozměry dna výtažku, redukovaný poloměr zaoblení a také výšku stěny výtažku v rozvinutém stavu. Konkrétně

Pro vypočtení délky a šířky dna se použijí vztahy [19]:

$$L_D = L - 2 \cdot R - 2 \cdot t, \quad (2.1)$$

kde: L_D ... délka dna výtažku [mm]
 L ... délka výtažku [mm]
 R ... poloměr zaoblení v rozích výtažku [mm]
 t ... tloušťka plechu/stěny výtažku [mm]

$$\check{S}_D = \check{S} - 2 \cdot R - 2 \cdot t, \quad (2.2)$$

kde: \check{S}_D ... šířka dna výtažku [mm]
 \check{S} ... šířka výtažku [mm]

Dále je zapotřebí vypočítat redukovaný poloměr zajišťující dostatek materiálu pro tažení, aby nedošlo k porušení celistvosti plechy během procesu. Lze ho vypočítat následujícím vztahem [19]:

$$R_c = \sqrt{2 \cdot R \cdot h^* + R^2 + 1,14 \cdot R \cdot r}, \quad (2.3)$$

kde: R_c ... redukovaný poloměr [mm]
 h^* ... výška stěny výtažku s přídavkem na ostřížení [mm]
 r ... poloměr zaoblení dna [mm]

Pro zjištění vhodného přídavku na ostřížení se využije vztahu $\frac{h}{R}$. Díky poměru výšky s poloměrem zaoblení v rozích výtažku se získá koeficient, jímž se dle tabulky 4 určí přírůstek na ostřížení. Poté lze pokračovat vztahy [19]:

$$h_1 = h - r - t, \quad (2.4)$$

$$h^* = h_1 + \Delta c, \quad (2.5)$$

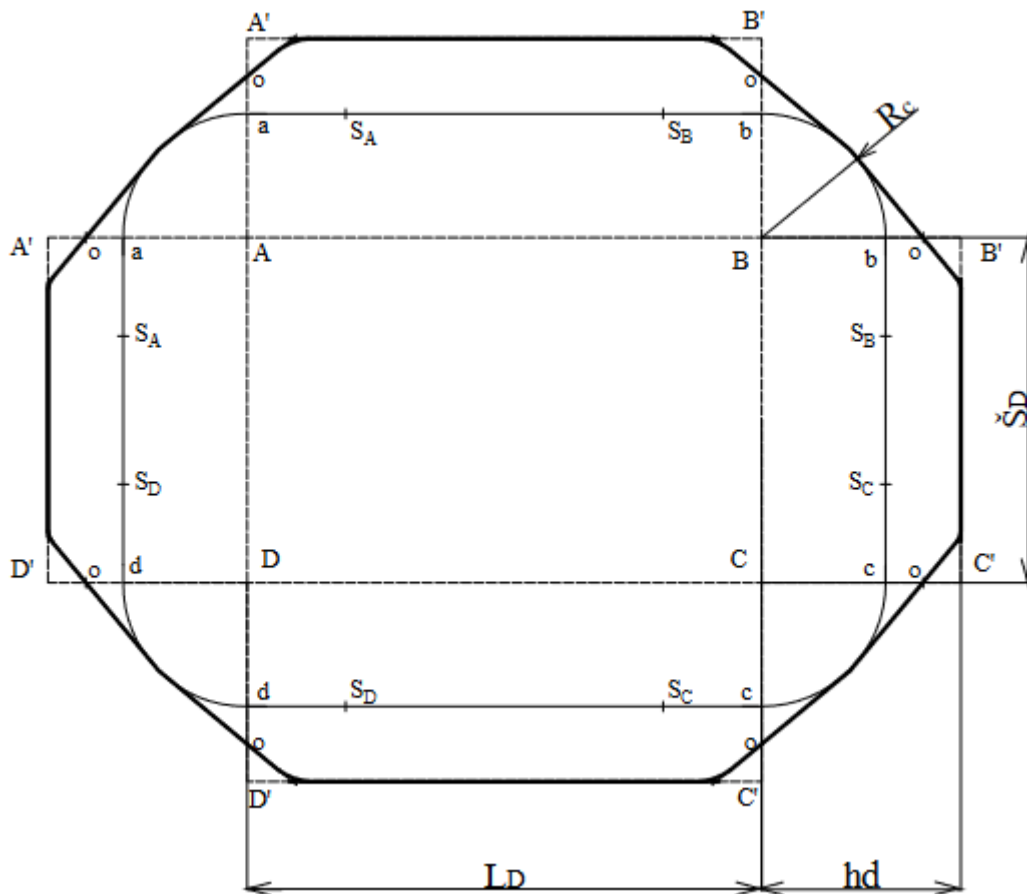
kde: h_1 ... výška stěny výtažku zkrácená o zaoblení dna a tloušťku [mm]
 h ... celková výška výtažku [mm]
 Δc ... přírůstek na ostřížení [mm]

A posledním důležitým rozměrem pro návrh ideálního přístřihu je výška stěny výtažku v rozvinutém tvaru. Zohlední se zde jak poloměr zaoblení v rozích výtažku, tak i poloměr zaoblení dna výtažku. Vztah pro výpočet je následující [19]:

$$h_D = h^* + \frac{\pi \cdot r}{2} + R - r, \quad (2.6)$$

kde: h_D ... výška stěny výtažku v rozvinutém tvaru [mm]

Vypočtené hodnoty lze nyní použít k sestavení ideálního tvaru přístřihu pomocí grafické metody, schéma s popisem lze vidět na obrázku 14, postup je popsán níže.

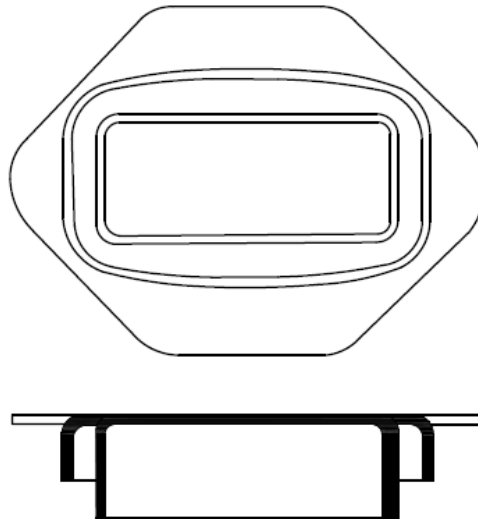


Obr. 14 Ukázka ideálního přístřihu sestrojeného grafickou metodou.

1. Narýsuje se čerchovanou čarou obdélník **ABCD** o velikosti **LD** x **ŠD**.
2. Každá strana se protáhne o velikost **ha**, čímž vzniknou body **A'**, **B'**, **C'** a **D'**.
3. Z bodů **A**, **B**, **C** a **D** se narýsují čtvrtkružnice o velikosti poloměru **Rc** a tím vzniknou body **a**, **b**, **c**, a **d**.
4. Dále se vynesou body **o**, jenž se nachází v polovině vzdálenosti mezi **a–A'**, **b–B'**, **c–C'**, **d–D'**.
5. Bodem **o** prochází tečna na čtvrtkružnici. Na každé z těchto čtvrtkružnic se potkají dvě tečny, které spolu svírají úhel, který se nerovná 180° .
6. Spojí se body **a-b**, **b-c**, **c-d** a **d-a** a vzniknou přímky
7. Z bodů **A'**, **B'**, **C'** a **D'** se vynesou čtvrtkružnice o poloměru **Rc** a protnou přímky z bodu 6, čímž vzniknou středy **SA**, **SB**, **SC** a **SD**.
8. Ze vzniklých středů se sestrojí obloučky o poloměru **Rc**, kterými se napojí tečny z bodu 5 s okrajem.

2.3.2 Stanovení počtu operací a součinitele tažení

Při stanovení počtu tažných operací při nerotačním tažení je zapotřebí brát v úvahu několik faktorů, jež toto rozhodnutí ovlivňují. Musí se zde zohlednit hlavně poloměr zaoblení rohů R , závisí na něm totiž dosažitelná výška výtažku během prvního tahu, viz tabulka 3. Mezi další faktory ovlivňující počet tažných operací patří např. tloušťka a druh taženého materiálu, velikost zaoblení dna výtažku, provedení a konstrukce tažidla, či tažná rychlost. Občas se praktikuje metoda s jemným zaoblením stěn v prvním tahu a jejich následným vyrovnáním v tahu druhém, tímto způsobem dochází ke zlepšení podmínek při tažení díky částečnému ohybu a tažení. Schéma lze vidět na obrázku 15. [7].



Obr. 13 Zaoblení stran prvních výtažků [7].

Tab. 3 Závislost maximální dosažitelné výšky prvním tahem na velikosti zaoblení v rozích výtažku pro nerotační výtažky [7].

Velikost zaoblení R	≤ 5	$5 \div 10$	$10 \div 13$	$13 \div 19$	≥ 19
Maximální výška výtažku	$8 \cdot R$	$7 \cdot R$	$6 \cdot R$	$5 \cdot R$	$4 \cdot R$

Se znalostí poměru číselného násobku poloměru zaoblení rohů výtažku lze pokračovat vztahem pro vypočtení maximální dosažitelné výšky výtažku [19]:

$$h_{\max} = x \cdot R, \quad (2.7)$$

kde: h_{\max} ... maximální dosažitelná výška výtažku [mm]

x ... konkrétní číselný násobek z tabulky [-]

Po vypočtení maximální dosažitelné výšky výtažku se získaná hodnota porovná s požadovanou výškou výtažku a určí se, zda bude výtažek zhotoven na jednu operaci, či zda bude zapotřebí více operací. [19; 22]:

Pro nerotační tažení se součinitel tažení stanoví vztahem: [22]:

$$m_1 = \frac{r_1}{R}, \quad (2.8)$$

kde: m_1 ... koeficient tažení pro první tah [mm]

x ... zaoblení pro první tah [mm]

Při použití přidržovače během tažení hlubokotažných plechů platí, že koeficient tažení pro první operaci má hodnotu $\mathbf{m}_1 = (0,25 - 0,40)$ a při dalších operacích je jeho hodnota $\mathbf{m}_x = (0,5 - 0,65)$. Pokud hodnota součinitele tažení přesáhne 0,70 není nutno použít přidržovač. [19; 22]:

Pro obdélníkové výtazky se jako koeficient tažení používá střední hodnota koeficientu pro obdélníkové nádoby. Pro koeficient \mathbf{M}_0 se delší strana označí jako \mathbf{a} a kratší strana \mathbf{b} . Pro tyto strany se nadefinují koeficienty \mathbf{M}_a a \mathbf{M}_b . Nejprve je ale zapotřebí vypočítat hodnotu poměrné tloušťky danou vztahem [19]:

$$\frac{t}{D_0} \cdot 100, \quad (2.9)$$

kde: D_0 ... průměr přístřihu [mm]

$$D_0 = 2 \cdot R_c$$

Pro zjištění délky strany \mathbf{a} , pro niž se později určí koeficient \mathbf{M}_a se využije vztahu [19]:

$$a = L - 2 \cdot R - 2 \cdot t, \quad (2.10)$$

Samotný koeficient \mathbf{M}_a se určí vztahem [19]:

$$a = M_a \cdot R \rightarrow M_a = \frac{a}{R}, \quad (2.11)$$

Obdobně se postupuje i pro stranu \mathbf{b} , viz vztah [19]:

$$b = \check{S} - 2 \cdot R - 2 \cdot t, \quad (2.12)$$

A určení koeficientu \mathbf{M}_b [19]:

$$b = M_b \cdot R \rightarrow M_b = \frac{b}{R}, \quad (2.13)$$

Nyní již lze dle tabulky 4 určit koeficienty \mathbf{M}_a a \mathbf{M}_b , a se získanými hodnotami koeficientů tažení se následně pracuje ve vztahu [19]:

$$M_0 = \frac{M_a + M_b}{2}, \quad (2.14)$$

Tab. 4 Hodnoty koeficientu tažení pro obdélníkové pravoúhlé nádoby [19].

Délka strany a	Poměrná tloušťka $\frac{t}{D} \cdot 100$ [%]					
	0,1 ÷ 0,3	0,3 ÷ 0,6	0,6 ÷ 1,0	1,0 ÷ 1,5	1,5 ÷ 2,0	≥ 2
0	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50
1r	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48
2r	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45
3r	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43
4r	0,50	0,48	0,46	0,47	0,42	0,40
5r	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38
6r	0,46	0,44	0,42	0,40	0,37	0,36
7r	0,43	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33
8r	0,41	0,39	0,37	0,35	0,32	0,31
9r	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28
10r	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26

2.3.3 Plocha výtažku

Jak je již výše zmíněno, platí zákon zachování ploch. Po určení jednotlivých rozměrů dna výtažku lze přejít k výpočtu ploch výtažku. Důležitými hodnotami jsou zde plocha hotového výtažku, plocha zaoblení dna výtažku a plocha rovinného dna výtažku. [19]:

Pro zjištění přesné hodnoty redukce poloměru R_1 v rozích stěn se použije vzorce [19]:

$$R_1 = m_1 \cdot R_c, \quad (2.15)$$

kde: R_1 ... hodnota redukce poloměru R v rozích stěn při 1. tahu [mm]

Vypočtená hodnota se následně porovnáním s reálnou hodnotou poloměru v rozích stěn použije pro zjištění, zda je pro vytažení daného poloměru zapotřebí jednoho, či více tahů. [19]:

Nyní již lze přistoupit k samotnému výpočtu plochy stěn výtažku za použití vztahu [19]:

$$S_{s0} = 2 \cdot h^* \cdot (L - 2 \cdot t - 2 \cdot R_1) + 2 \cdot h^* \cdot (\check{S} - 2 \cdot t - 2 \cdot R_1) + h^* \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_1, \quad (2.16)$$

kde: S_{s0} ... plocha stěn výtažku zvětšených o přídavek na ostřížení při použití jednoho tahu [mm²]

Následuje vypočtení plochy zaoblení dna. Pro tento výpočet se použije vztah [19]:

$$S_{r0} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot r_1}{2} \cdot \frac{\pi \cdot R_1}{2} + 2 \cdot \frac{\pi \cdot r_1}{2} \cdot (L - 2 \cdot t - 2 \cdot R_1) + 2 \cdot \frac{\pi \cdot r_1}{2} \cdot (\check{S} - 2 \cdot t - 2 \cdot R_1) \quad (2.17)$$

kde: S_{r0} ... plocha zaoblení dna výtažku [mm²]

Poslední plochou, kterou je nutno spočítat pro vypočtení celkové plochy výtažku je plocha rovinného dna výtažku, pro výpočet se použije vztah [19]:

$$S_{d0} = (L - 2 \cdot t - 2 \cdot r_1) \cdot (\check{S} - 2 \cdot t - 2 \cdot r_1), \quad (2.18)$$

kde: S_{d0} ... plocha rovinného dna výtažku [mm²]

Nyní již lze přejít k výpočtu celkové plochy výtažku pomocí vztahu [19]:

$$S_{c0} = S_{s0} + S_{r0} + S_{d0}, \quad (2.19)$$

kde: S_{c0} ... celková plocha výtažku [mm²]

2.3.4 Plochy výtažku po první tažné operaci

Pro výpočet plochy výtažku po první operaci je důležité určit geometrii výtažku, použijí se vztahy [19]:

$$\Delta = R_1 - R_2, \quad (2.20)$$

kde: Δ ... hodnota přídavku [mm]

$$L' = L + 2 \cdot \Delta, \quad (2.21)$$

kde: L' ... délka zvětšená o dvojnásobnou hodnotu přídavku [mm]

$$\check{S}' = \check{S} + 2 \cdot \Delta, \quad (2.22)$$

kde: \check{S}' ... šířka zvětšená o dvojnásobnou hodnotu přídavku [mm]

Nyní je nutno vypočítat velikost plochy rovinného dna dle vztahu [19]:

$$S_{d1} = (L' - 2 \cdot t - 2 \cdot r_1) \cdot (\check{S}' - 2 \cdot t - 2 \cdot r_1), \quad (2.23)$$

kde: S_{d1} ... velikost plochy rovinného dna [mm²]

Následuje výpočet velikosti plochy zaoblení dna dle vztahu [19]:

$$S_{r1} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot r_1}{2} \cdot \frac{\pi \cdot R_1}{2} + 2 \cdot \frac{\pi \cdot r_1}{2} \cdot (L' - 2 \cdot t - 2 \cdot R_1) + 2 \cdot \frac{\pi \cdot r_1}{2} \cdot (\check{S}' - 2 \cdot t - 2 \cdot R_1), \quad (2.24)$$

kde: S_{r1} ... velikost plochy zaoblení dna [mm]

S výše vypočtenými velikostmi ploch lze nyní vypočítat konkrétní plochy stěn, jež jsou zvětšené o přídavek na ostřížení. Je zapotřebí si uvědomit, že $S_{c2} = S_{c1}$.

K vypočtení celkové plochy stěn se použije vztah [19]:

$$S_{c1} = S_{c1} - S_{d1} - S_{r1}, \quad (2.25)$$

A pro vypočtení hodnoty výšky stěn se použije odvození ze vztahu [19]:

$$S_{s1} = 2 \cdot h^*_1 \cdot (L' - 2 \cdot t - 2 \cdot R_1) + 2 \cdot h^*_1 \cdot (\check{S}' - 2 \cdot t - 2 \cdot R_1) + h^*_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_1$$

$$\rightarrow h^*_1 = \frac{S_{s1}}{2 \cdot (\pi \cdot R_1 + L' - 4 \cdot R_1 - 4 \cdot t + \check{S}')}$$

kde: h^*_1 ...výška stěn výtažku po 1. operaci [mm]

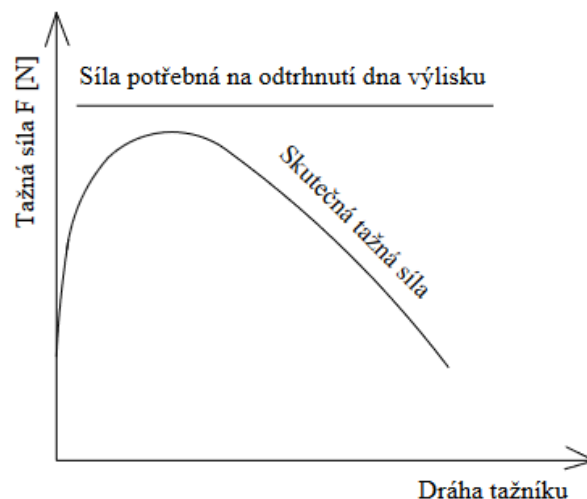
Nyní lze provést kontrolu schopnosti vytažení výška výtažku v 1. operaci pomocí vztahu [19]:

$$h' = h^*_1 + r_1 + t, \quad (2.26)$$

Vypočtená hodnota výšky výtažku v první operaci se následně porovná s maximální hodnotou výšky výtažku. V případě, že vypočtená hodnota je větší, nebo rovna maximální výšce, je výtažek vytažitelný. V opačném případě výtažek nelze vytáhnout. [19]

2.4 Tažná síla a práce

Tažná síla musí překonat třecí odpory a odpory spojené s tvárnou deformací. V průběhu procesu její hodnota roste a maximální velikost má ve chvíli, kdy tažník dosáhne hloubky h_m , neboli když největší opásání tažné hrany dosáhne velikosti $\frac{\pi}{2}$. Nejvíce se projevuje vliv tření, prostorového ohybu a vliv intenzivního zpevnění materiálu. Její velikost dále ovlivňuje radiální tahové napětí měnící se v závislosti na poloměru, přirozeném přetvárném odporu, složce napětí od tření mezi přidržovačem, odporu proti ohybu na tažné hraně tažnice a na vlivu tření s opásáním tažné hrany. Průběh tažné síly je znázorněn na obrázku 16. [19]:



Obr. 16 Schéma průběhu tažné síly [19].

Aby se předešlo vzniku trhlin a odtržení dna, musí se velikost tažné síly pohybovat pod hranicí maximální tažné síly. Tuto sílu lze také použít pro rychlé provedení kontroly jmenovité síly lisu, dle vztahu: [19]:

$$F_{krit} = t \cdot o \cdot R_m, \quad (2.27)$$

kde: F_{krit} ...síla potřebná k utržení dny výtažku [N]
 o ...obvod výtažku [mm]
 R_m ...mez pevnosti v tahu [MPa]

Celková síla potřebná k vytažení součásti se stanoví vztahem [19; 20]:

$$F_c = F_{tc} + F_p + F_v, \quad (2.28)$$

kde: F_c ... celková tažná síla potřebná pro vytažení výtažku [N]
 F_{tc} ... tažná síla [N]
 F_p ...síla přidržovače [N]
 F_v ...síla vyhazovače [N]

U tažení nerotačního výtažku o tvaru obdélníkovém, či čtvercovém se tažná síla odlišuje na sílu působící v rozích výtažku a na sílu působící na stěny výtažku. Celková tažná síla se tedy skládá ze dvou složek [19; 20]:

$$F_{tc} = F_{t1} + F_{t2}, \quad (2.29)$$

kde: F_{t1} ...síla pro rohové části výtažku [N]
 F_{t2} ...síla pro přímé části výtažku [N]

Síla potřebná pro vytažení rohových částí výtažku je dána vztahem [19; 20]:

$$F_{t1} = 2 \cdot \pi \cdot t \cdot R \cdot R_m \cdot C_1, \quad (2.30)$$

kde: C_1 ...koeficient závisující na hloubce výtažku [-]

Pro určení koeficientu C_1 se používá posouzení výšky výtažku vůči poloměru zaoblení rohu stěn výtažku. Pro mělké výtažky se použije hodnota $C_1 = 0,5$ a pro hlubší výtažky je stanovena hodnota $C_1 = 2$. Posouzení je platné pro výtažky, jejichž výška dosahuje pěti, až šestinásobku hodnoty zaoblení rohu stěn. [19; 20]

Druhá složka tažné síly, síla potřebná pro vytažení stěn výtažku se stanoví [19; 20]:

$$F_{t2} = L_s \cdot R_m \cdot t \cdot C_2, \quad (2.31)$$

kde: L_s ...součet délek všech přímých stěn výtažku [mm]
 C_2 ...koeficient závisující na tažné hraně, vůli a tlaku přidržovače [-]

V případě zvolení adekvátního tvaru tažné hrany, vhodné vůle mezi tažníkem a tažnicí a nulové hodnoty přidržovacího tlaku je hodnota koeficientu C_2 rovna 0,2. Pokud síla přidržovače dosahuje hodnoty $F_{t2} \leq 0,3 \cdot F_t$, koeficient C_2 nabývá hodnoty 0,3. Pokud je vůle nedostačující, nebo hodnota tlaku přidržovače je příliš vysoká, tak se hodnota koeficientu C_2 rovná 1. [19; 20]

Práce při tažení jsou spolu s tažnou silou důležitými faktory pro správné stanovení vhodného lisu. Pro vyrobitelnost a schopnost provozu stroje je zapotřebí splnit podmínku, kdy je celková síla chodu lisu větší než tažná síla. Vztah pro výpočet tažné práce je následující [19; 20]:

$$A_t = \frac{F_c \cdot h \cdot C}{1000}, \quad (2.32)$$

kde: A_t ...tažná práce [J]
 C ...koeficient zaplnění plochy (0,6 ÷ 0,8) [-]

2.5 Volba přídržovače

Pro zamezení zvlnění okrajů taženého plechu, což je způsobeno tlakovým napětím, které vzniká během procesu tažení se používá přídržovač. Funkční plocha přídržovače přitlačí plech k horní části tažnice a tím ho vypne a zamezí tím vzniku zvrásnění. Zvlnění v přírubě výtažku ovlivňuje součinitel tažení, tloušťka materiálu, tažná vůle a tažný poloměr. Čím nižší je hodnota součinitele tažení a tloušťka materiálu, tím vyšší je riziko vzniku zvlnění. Jestliže hodnota redukce nepřesáhne deseti procent, není nutné pro proces přídržovač použít. [7; 22]:

Pro větší redukce je nutno použít přídržovač a síla svírající přístřih mezi přídržovačem a tažnicí musí dosahovat dostatečné hodnoty pro zabránění zvlnění okrajů přístřihu, ale zároveň musí umožnit plechu být vtahován tlakem tažníku do tažnice. Velikost síly přídržovače je ovlivněna druhem taženého materiálu, tloušťkou plechu a redukcí. Lze ji určit vztahem [7; 22]:

$$F_p = S_p \cdot p, \quad (2.33)$$

kde: S_p ...styková plocha přídržovače s přístřihem [mm²]

p ...měrný tlak přídržovače, pro korozivzdorné oceli se hodnota pohybuje v rozmezí (2÷5) [MPa]

Pro určení vhodného tlaku přídržovače pro konkrétní materiál lze využít tabulku 5. [7]:

Tab. 5 Hodnoty tlaků přídržovače pro vybrané materiály [7]:

Tloušťka plechu [mm]	Tlak přídržovače [MPa]			
	Materiál			
	Plech ocelový		Hliník	Mosaz, tombak
	Hlubokotažný	Tvrký		
1	1,8 ÷ 2,3	2,7	1,4	1,8
1,5	1,8 ÷ 2,2	2,7	1,35	1,7
2	1,8 ÷ 2,1	2,6	1,3	1,7
2,5	1,8 ÷ 2,1	2,5	1,25	1,6
3	1,9 ÷ 2,1	2,5	1,2	1,6
3,5	1,8 ÷ 2,0	2,4	1,2	1,5
4	1,9	2,3	1,15	1,5

2.6 Tažný poloměr, vůle a rychlost

Během tažení je materiál tažen přes tažnici, a tomuto zaoblení se říká tažný poloměr. Pro hladký a přesný průběh procesu je velmi důležité zvolit adekvátní hodnotu poloměru, což vede k menšímu namáhání materiálu a je také možno docílit hlubších výtažků během jedné tažné operace. Při volbě příliš malého poloměru hrozí utržení materiálu, a naopak při velkém poloměru vzniká riziko zvlnění okrajů přístřihu. [8; 17]:

Obecně lze tažný poloměr tažnice určit vztahy [8; 17]:

$$R_{t1} = t \cdot (8 \div 10), \quad (2.34)$$

kde: R_{t1} ...tažný poloměr tažnice pro první tah [mm]

$$R_{tn+1} = t \cdot (6 \div 8), \quad (2.35)$$

kde: R_{tn+1} ...tažný poloměr tažnice pro další tahy [mm]

U nerotačních výtažků o čtvercových či obdélníkových tvarech lze pro přesnější určení tažného poloměru tažnice využít již komplexnějších vztahů [8; 17]:

$$R_{ta} = 0,035 \cdot [50 + 2 \cdot (L_p - a)] \cdot \sqrt{t}, \quad (2.36)$$

kde: R_{ta} ...tažný poloměr tažnice pro delší stranu výtažku [mm]

L_p ...délka přístřihu [mm]

$$R_{tb} = 0,35 \cdot [50 + 2 \cdot (\check{S}_p - b)] \cdot \sqrt{t}, \quad (2.37)$$

kde: R_{tb} ...tažný poloměr tažnice pro kratší stranu výtažku [mm]

\check{S}_p ...šířka přístřihu [mm]

$$R_{tR} = 2,5 \cdot R_{ta}, \quad (2.38)$$

kde: R_{tR} ...tažný poloměr pro oblast rohu [mm]

2.6.1 Tažná vůle

V posledních krocích výpočtů je zapotřebí stanovit tažnou vůli. Ta je důležitá pro zajištění přiměřeného prostoru mezi tažníkem a tažnicí. Za situace, že je tento prostor příliš velký nastává nežádoucí zvlnění přístřihu plechu. V případě nedostatečného prostoru vzniká nežádoucí a zvětšující se tření a také dochází k nárůstu tažné síly. Úzce souvisí s tloušťkou plechu tvářeného dílce, jsou si spolu téměř rovny. Pro první tahy bývá velikost tažné vůle vyšší, a to v poměru $1,1 \cdot t$. Při víceoperačním tažení se při posledním tahu také využívá větší tažné vůle z důvodu rostoucí tloušťky taženého materiálu v rozích. [7; 17; 20]

Pro zjištění hodnoty tažné mezery lze uplatnit dvou způsobů. Může být odečtena z tabulky 6, nebo empiricky vypočtena. [7; 17; 20]

Tab. 6 Hodnoty tažné mezery dle tloušťky plechu [8].

t	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2	3
t_m	0,45	0,65	0,9	1,2	1,4	1,75	2,4	3,5

Výpočetní vztah pro tažnou vůli je [8]:

$$t_v = t + k \cdot \sqrt{t \cdot 10}, \quad (2.39)$$

kde: t_v ...tažná vůle [mm]

k...koeficient odvíjející se od druhu materiálu [-]

Jak je již ve vztahu zmíněno, pro zjištění tažné vůle za využití vzorce je zapotřebí tabulky pro stanovení hodnoty **k**. Lze ji najít v tabulce 7. [7; 17; 20]

Tab. 7 Hodnoty koeficientu **k** pro dané materiály [17].

Materiál plechu	Ocel	Hliník	Jiný
Hodnota k	0,07	0,02	0,04

Stejně jako u výpočtu ploch stěn je zapotřebí i u volby tažné mezery rozlišovat rohové a rovinné části výtažku. Určuje se tedy tažná mezera zvlášť pro rohovou a zvlášť pro rovinnou část. Schéma znázorňující tažnou vůli mezi tažníkem a tažnicí lze vidět na obrázku 17. [7; 17; 20]

Pro určení tažné vůle pro rohové části je zapotřebí použít vztahu [22]:

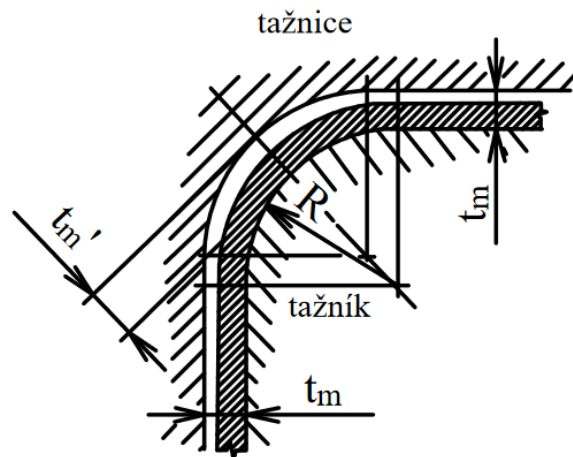
$$t'_m = t \cdot (1,30 \div 1,40), \quad (2.40)$$

kde: t'_m ...tažná mezera pro rohové části [mm]

A tažnou vůli pro rovinné části lze určit dle vztahu [22]:

$$t_m = t \cdot (1,15 \div 1,30), \quad (2.41)$$

kde: t_m ...tažná vůle pro rovinné části [mm]



Obr. 17 Schéma znázornění tažné mezery mezi tažníkem a tažnicí [20]

2.6.2 Tažná rychlost

Pro hladký průběh procesu je zapotřebí zvolit vhodnou rychlost tažení, tedy rychlost, kterou je plech během procesu tvářen. Postupně se během procesu mění, nejnižší hodnotu má při dokončení operace, a naopak nejvyšší hodnoty dosahuje během dotyku tažníku s přístřihem plechu. Stejně jako tažná síla i tažná rychlost má hranici, při jejímž překročení dochází k nežádoucímu narušení materiálu. Z tohoto důvodu existují pro dané materiály předepsané rychlosti, viz tabulka 8. [7; 20]

Tab. 8 Předepsané hodnoty tažné rychlosti pro vybrané materiály [7].

Materiál	Austenitická ocel	Korozivzdorná ocel	Nelegovaná ocel	Hliník a slitiny hliníku	Měď a slitiny
Tažná rychlost [m·min ⁻¹]	7	7	17	25	66

Dostatečný může být i výpočtový vztah pro tažnou rychlost, který neuvažuje ojnice [7]:

$$v_t = n \cdot 0,0063 \cdot \sqrt{z \cdot p - p^2}, \quad (2.42)$$

kde: v_t ...tažná rychlost [$m \cdot min^{-1}$]

n ...počet otáček lisu [min^{-1}]

z ...celkový počet zdvihů beranu lisu [-]

p ...pracovní chod tažníku [mm]

2.7 Konstrukce tažných nástrojů

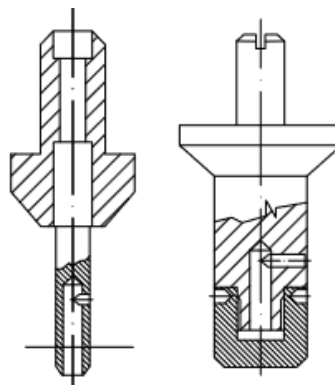
Návrh konstrukce se opírá o funkčnost nástroje, geometrii a materiálovou charakteristiku taženého výtažku, parametry tažného procesu a typ zvoleného stroje. Součástí nástrojů pro nerotační tažení je tažník, tažnice a přidržovač. Dále lze použít vyhazovače, ten zajišťuje snadnější vyndání výtažku z nástroje. Po konstrukční stránce lze tažidla rozdělit na tažidla pro první tah a pro druhý a další tahy. Tažidlům pro první tahy se říká tažidla sdružená z důvodu schopnosti tvar vystříhnout a táhnout v první operaci. Dalším druhem rozdělení jsou jednoduché, sloučené, či speciální nástroje. Také se rozlišuje, zda nástroj obsahuje přidržovač, či nikoliv. Doporučené materiály pro konkrétní části tažidel lze vidět v tabulce 9. [3; 7; 23; 24]

Tab. 9 Doporučené materiály pro části tažidel [3]

Část tažidla	Materiál	Tvrдость (HRC)
Tažník, tažnice	19 191, 19 436, 12 061, 42 24 56	58 ÷ 63
Základová deska	42 24 56, 42 26 61.2	
Zakládací kroužky	Ocel 11 600	
Přidržovače	19 191, 19 436, 42 24 56	61 ÷ 63

2.7.1 Tažník, tažnice, přidržovač

Pohyblivá část nástroje, jenž tváří polotovar v požadovaný tvar se nazývá tažník, jeho schéma lze vidět na obrázku 18. Skládá se z čela, poloměru zaoblení čela a boční části. Velikost vnějšího rozměru tažníku odpovídá velikosti vnitřního rozměru finálního výtažku. Malé tažníky mohou být celistvé, velké bývají kombinované (složené), kombinované tažníky slouží k úspoře materiálu. Podobně jako střížníky se i tažníky upínají za stopku. Materiálem pro výrobu stopky a držáku bývá nejčastěji ocel 11 500, tažník samotný se vyrábí ze šedé litiny či nástrojových ocelí, např. 19 436.4 a 19 191.4 (kaleny a popouštěny na hodnotu HRC 60–62). [3; 7; 24]



Obr. 18 Schéma tažníků [7].

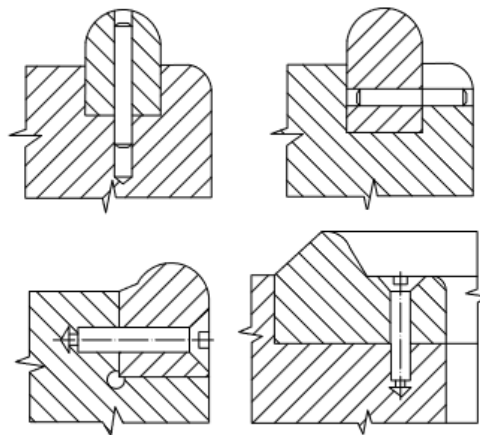
Na počátku návrhu musí být určena geometrie tažníku, konkrétně jeho funkční části jakožto poloměru zaoblení tažné hrany tažníku neboli tažného poloměru značeného r_{tv} . Je závislý na tloušťce materiálu, má velikost zaoblení výtažku a ovlivňuje napětí, tažnou sílu a také nežádoucí zvlnění. Je používán při menších redukcích a při nižších hodnotách roste velikost tažné síly, což vede ke zvýšenému riziku utržení dna. Při vyšších hodnotách dochází ke zvlnění a cípatosti. [24; 29; 30]:

Druhou důležitou částí tažného nástroje je tažnice. Z konstrukčního pohledu se rozlišují celistvé a dělené tažnice. Bývají opatřeny funkčním otvorem, jenž může být navržen v mnoha provedeních a odpovídá vnější části výtažku. Stejně jako u tažníku, i u tažnice hraje poloměr tažného zaoblení důležitou roli. Poloměr zaoblení tažnice je však důležitější pro výsledný tvar výtažku, jelikož je přes ní přístřih vtahován dovnitř a je tedy nejvíce namáhána. U pravoúhlých výtažků by měl být pro první i další tahy poloměr tažnice rovný poloměru tažníku. [29; 30; 31]

Pro výrobu velkých a nepravidelných výtažků se tažnice různě upravují za účelem zabránění tvorby zvlnění. Toho lze docílit urychlením či zbrzděním toku materiálu během tažení. Dále je možné upravit podmínky tažení následujícími způsoby [24; 31]:

- Zvětšit výchozí polotovár – plochu pod přidržovačem,
- Zvýšit tlak přidržovače – místně či celkově,
- Přidat na tažnici brzdná žebra, např. pravoúhlá.

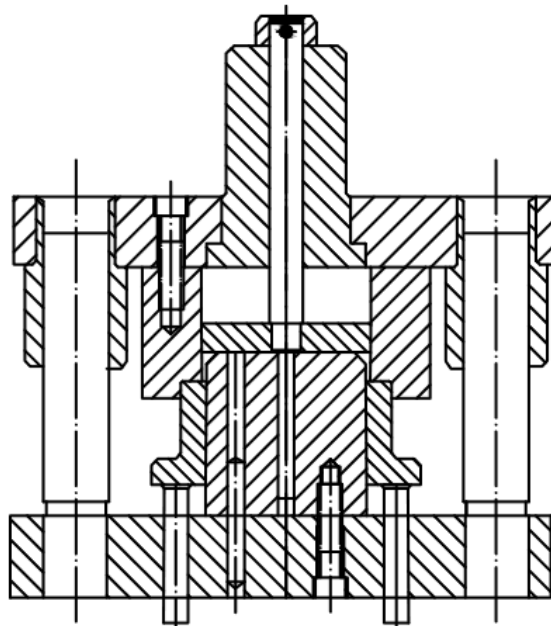
Nejefektivnější úpravou je použití brzdných žebor. Ta lze sestavit dvěma způsoby – vtahovacím způsobem a brzdícím způsobem. U vtahovacího způsobu je materiál tažen kolem tažnice a používá se pro kruhové výtažky. Brzdící způsob se využívá při tažení nepravidelných tvarů výtažků a na rozdíl od brzdícího způsobu není žebro konstruováno po celém obvodu tažnice, ale hlavně v částech rovinných. Lze sestavit více žebor za sebou a příklady konstrukce brzdných žebor lze vidět na obrázku 19.[24]:



Obr. 19 Schéma konstrukce brzdných žebor [24]

2.7.2 Tažné stroje

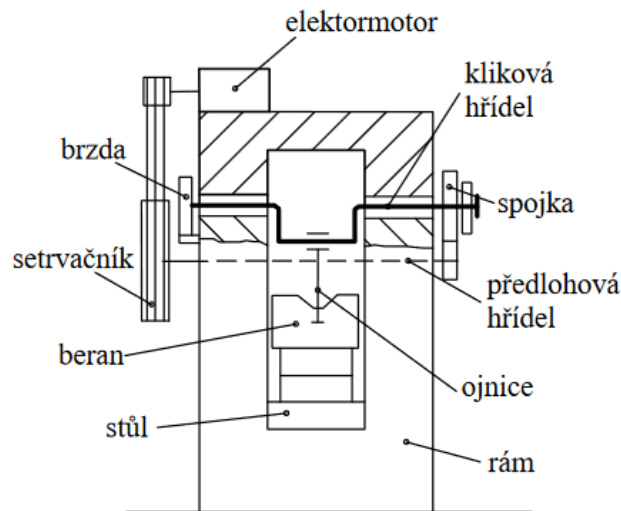
Se znalostí velikosti tažné síly, práce a rozměrů nástroje lze přejít k volbě vhodného tažného lisu. Je zapotřebí volit stroj s dostatečným zdvihem, aby bylo možné bezpečně založit polotovar a posléze vyjmout zhotovený výtažek. Dělí se dle způsobu přenosu energie a konstrukce. Působení lisu na materiál je z velké části tvořeno klidovou silou konající přímočarý pohyb vykonávaný beranem mezi dolní a horní úvratí, ke kterému je připevněna horní část nástroje, jenž koná pohyb z počáteční polohy k polotovaru. Ukázkové schéma tažidla pro nerotační výtažky lze vidět na obrázku 20 [7; 24; 26]



Obr. 20 Tažidlo pro nerotační výtažky [7].

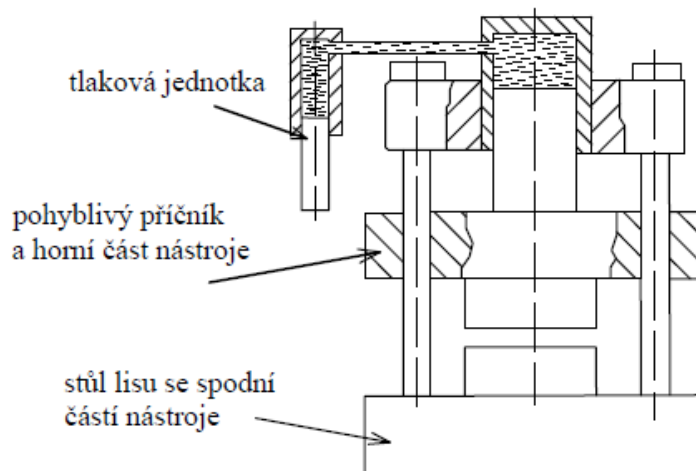
Podle přenosu energie rozlišujeme mechanické tažné lisy a hydraulické tažné lisy.

Mechanické lisy pracují na principu přenášení potenciální a kinetické energie. Nejrozšířenějšími jsou kolenové, výstředníkové a klikové, ty jsou také nejvýznamnějšími v oblasti tažení. Skládají se z elektromotoru, jenž skrze řemeny pohání setrvačnick, který energii akumuluje a neustále se pohybuje, je-li lis v činnosti. K setrvačnicku je připojena předloková hřídel a se spojením spojky je energie přenášena na klikovou hřídel konající jednu otáčku zajišťující pohyb beranu a zastavení probíhá brzdou. Jeho schéma lze vidět na obrázku 21. Nevýhodou je neměnný zdvih stroje, jenž je udáván výstředností klikového mechanismu. A další nevýhodou je rozdílná síla a rychlost závislé na úhlu natočení kliky, tento nerovnoměrný průběh může negativně ovlivnit kvalitu výtažku. Výhodou může být vyšší rychlost, způsobující větší produktivnost. [24; 26]



Obr. 21 Schéma mechanického lisu [26].

Hydraulické lisy pro přenos potenciální energie využívají pracovní kapalinu poháněnou čerpadlem, či akumulátorem. Využívají rovnoměrného šíření kapaliny do všech směrů dle principu Pascalova zákona, schéma hydraulického lisu lze vidět na obrázku 22. Jejich hlavními výhodami je schopnost zachování konstantní síly v průběhu procesu, nastavitelnost pracovního zdvihu a rychlosti beranu. Nevýhodou zde představují vyšší pořizovací náklady a pomalejší chod stroje, tudíž dochází k prodloužení výrobních časů. [24; 26]



Obr. 22 Schéma hydraulického lisu. [26]

A z konstrukčního hlediska se dělí na jednočinné, které jsou nejjednodušší, dále dvojčinné, trojčinné a postupové. Dvojčinný lis zároveň ovládá dvě samostatné části, jeden beran se vždy nachází nahoře a druhý beran bývá horní, či dolní a trojčinné lisy bývají vybaveny třemi berany, jenž jsou schopny současně ovládat všechny části. Jsou nejběžnější volbou pro tažení výtažků. [24; 26]

2.7.3 Mazání

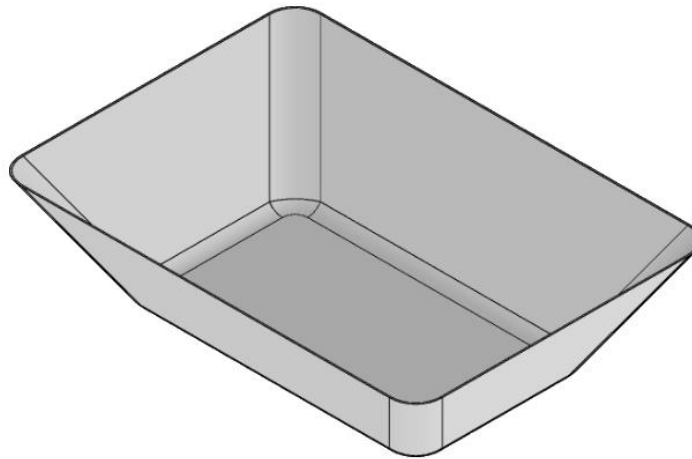
Mazivo je velmi důležitým faktorem umožňující funkčnost tvářecích procesů. Složení maziva prodlužuje životnost tvářecích strojů a nástrojů, výrazně ovlivňuje povrchové vlastnosti zpracovaných materiálů a odvíjí se od něj i velikost tvářecí práce. Vhodné mazivo má být korozivzdorné, nemělo by vyvolávat barevné změny povrchů kovů, s dobrou přilnavostí a schopností vytvářet stejnoměrné rozložení maziva a nesmí vytvářet lepící plochy. Po použití musí být lehko odstranitelné, nezávadné a ekologicky šetrné, nesmí poškozovat povrchy nástrojů a součástí a musí disponovat tepelnou stálostí. [6; 7]

Pro vyhovění pestrosti požadavků, jenž jsou kladeny na mazání a různorodosti tvářecích operací lze maziva rozdělit na kapalná, plastická a tuhá. Mezi kapalná se řadí syntetické, ropné a živočišné oleje, či mastné kyseliny. Mohou být s přísadami, bez přísad, nebo s přísadami tuhých maziv. Pro potřebu intenzivního chlazení se používají vodné roztoky sodných a draselných mýdel. Lze použít i emulze, nejvíce používaný je typ emulze olej ve vodě. Pro splnění požadavku na velkou mazací schopnost lze použít plastická měkká a tažná maziva. V případě potřeby velmi únosného mazacího filmu bez požadavků na odvod tepla se využije maziv tuhých. [6; 7]

3 NÁVRH ŘEŠENÍ

Vyrábí se plechová záchytná vana sloužící ke stáčení a přelévání agresivních látek, či hořlavých látek, využívající se v automobilovém průmyslu. Vana bude vyhotovena za pomoci technologie hlubokého tažení plechu bez zeslabení stěny. Prvním krokem pro zhotovení součásti je volba vhodného polotovaru, kontrola technologičnosti a samotné zhotovení výtažku. Vana se bude vyrábět v sérii 15 000 ks za rok.

Hotový výtažek bude disponovat rozměry $706 \cdot 508 \cdot 190 \cdot 2$ mm a jeho model lze vidět na obrázku 23. Pro vytvoření výtažku bude použit již výše zmíněný materiál ČSN 17346 – korozivzdorná austenitická chrom-nikl-molybdenová ocel o třídě jakosti 1.4401. Mez pevnosti materiálu se pohybuje v rozmezí 500–700, tažnosti oceli je 20 %.



Obr. 23 Model výtažku.

3.1 Provedení kontroly technologičnosti

Prvním krokem tvorby návrhu postupu je provedení kontroly technologičnosti. Je zapotřebí zkontrolovat, zda vybraný materiál splňuje pevnostní požadavky, jako jsou tažnost, pevnost a korozivzdornost. Dalším faktorem k prověření je vhodné zvolení rozměrů, kuželovitosti a tolerancí. V poslední řadě je důležité ověřit, zda je výtažek vyrobitelný zvolenou metodou.

Rozměrová přesnost výtažků bývá omezena nedokonalostmi procesu, které je potřeba během provedení kontroly technologičnosti prověřit. Mezi ně se řadí:

- Tloušťka stěny – během procesu tažení se tloušťka stěny plechu může měnit, proto je zvoleným materiálem ocel převálcovaná za studena, tedy s odstraněnou zřetelnou mezí kluzu, způsobující sklon ke zvrásnění povrchu.
- Kuželovitost – ta se týká hlavně pláště výtažků nízkých tvarů tvářených z tlustých plechů, jelikož je výška výtažku poměrně vysoká a tloušťka plechu malá, je zde menší riziko kuželovitosti. Tato skutečnost bývá zaviněna tažnou mezerou a odpružením.
- Vyrobitelnost danou metodou – kontrolními parametry jsou zde tloušťka stěny 2 mm, zaoblení v rozích 50 mm a výška 190 mm. Je zapotřebí zjistit, zda součást lze vytáhnout do požadované výšky. Tato kontrola se provede následovným způsobem:

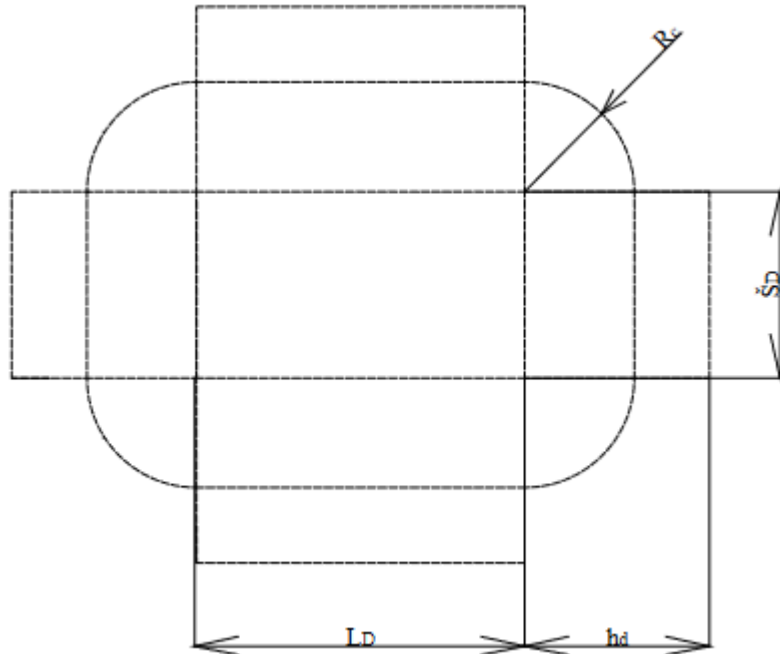
Dle tabulky 3 .se zvolí pro zaoblení v rohu R 50 mm poměr $4 \cdot R$ a poté se dosadí:

$$h_{\max} = 4 \cdot R = 4 \cdot 50 = 200 \text{ mm} > 190 \text{ mm}$$

Hodnota vypočtené výšky činí 200 mm a výška vany je 190 mm. Díky tomuto rychlému ověření bylo zjištěno, že výrobek lze vyrobit tažením a bude zhotoven na jednu tažnou operaci.

3.2 Navržení polotovaru

Pro výrobu polotovaru záchytné vany jsem zvolila přístřih z tabule plechu s tloušťkou 2 mm. Pomocí softwaru Autodesk Inventor 2024 jsem součást vymodelovala a následně vytvořila její rozvin, díky čemuž jsem mohla určit teoretický tvar přístřihu. Prozatím se jedná pouze o délky dna označené jako L_D a \check{S}_D , stěny výtažku označené h_a , a poloměr zaoblění R_c . Tyto parametry budou vypočteny později a lze je vidět na obrázku 24.



Obr. 24 Teoretický tvar přístřihu s redukovaným poloměrem.

3.3 Zvolení rozměrů přístřihu

Pro určení ideálního tvaru je zapotřebí vypočítat rozměry dna výtažku, také je nutno určit redukovaný poloměr a výšku stěny výrobku při rozvinutém tvaru. Ve výpočtech je nutno zohlednit zaoblění u dna výtažku a také zaoblění stěn. Rozměry dna výtažku, konkrétně délka a šířka dna viz obrázek 15 vypočítám pomocí následujících vztahů:

$$L_D = L - 2 \cdot r = 508 - 2 \cdot 25 = 458 \text{ mm}$$

$$\check{S}_D = \check{S} - 2 \cdot r = 310 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 2 = 260 \text{ mm}$$

Následně se k teoretickému tvaru přístřihu přidá redukované zaoblění R_c , jenž se vypočte vztahem:

$$R_c = \sqrt{2 \cdot R \cdot h^* + R^2 + 1,14 \cdot R \cdot r}$$

Nejdříve musím vypočítat poměr $\frac{h}{R}$, ze kterého následně určím přídavek na ostřížení Δc :

$$\frac{h}{R} = \frac{190}{50} = 3,8 [-] \in \langle 2,5; 7 \rangle \rightarrow \Delta c = (0,03 \div 0,05) \cdot h = 0,03 \cdot 190 = 5,7 \text{ mm}$$

$$h_n = h - r - t = 190 - 25 - 2 = 163 \text{ mm}$$

$$h_1 = \frac{h_n}{\cos 30^\circ} = \frac{163}{\cos 30^\circ} = 188,216 \text{ mm} \doteq 188 \text{ mm}$$

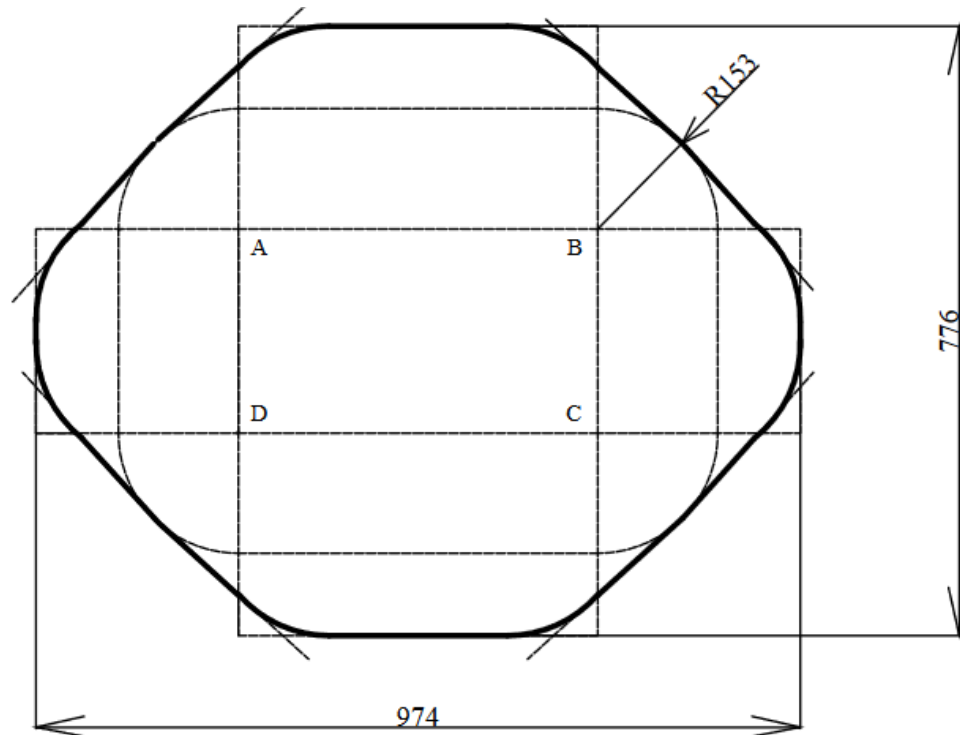
$$h^* = h_1 + \Delta c = 188 + 5,7 = 193,7 \text{ mm}$$

$$R_c = \sqrt{2 \cdot 50 \cdot 193,7 + 50^2 + 1,14 \cdot 50 \cdot 25} = 152,63 \text{ mm} \doteq 153 \text{ mm}$$

Výška stěny rozvinutého tvaru

$$h_D = h * + \frac{\pi \cdot r}{2} + R - r = 193,7 + \frac{\pi \cdot 25}{2} + 50 - 25 = 257,97 = 258 \text{ mm}$$

Nyní lze aplikovat postup z kapitoly 2.3 pro vytvoření tvaru přístřihu grafickou metodou. Sestrojený přístřih lze vidět na obrázku 25.

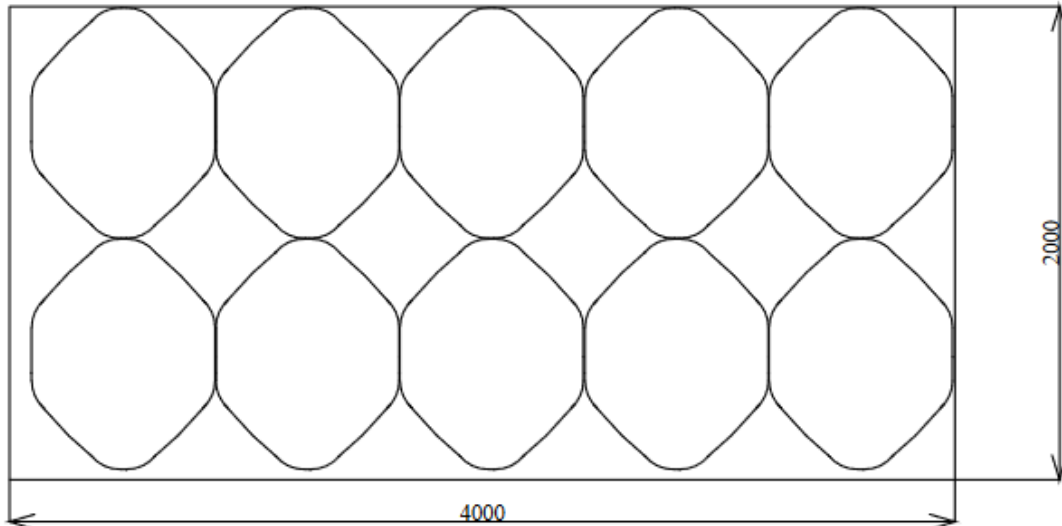


Obr. 25 Přístřih.

3.3.1 Nástřihový plán

Jako metoda zhotovení výsledného tvaru přístřihu se použije vypálení přístřihů z tabule plechu pomocí laserového paprsku. Po zhotovení ideálního tvaru je zapotřebí určit plochu přístřihu, poslouží k tomu program Autodesk Inventor 2024. Plocha je stanovena na 564 100,4 mm², ale vzhledem k odpadu na ostřížení je zapotřebí připočítat 3 % z této plochy. Výsledná velikost plochy přístřihu tedy po zaokrouhlení činí 581 024 mm²

Jelikož se tabule plechů dodávají v mnoha formátech velikostí, je zapotřebí dle výpočtu určit nejlepší rozložení s nejmenším procentem odpadu pro maximální využití materiálu.



Obr. 26 Rozložení na tabuli o rozměrech 4000 x 2000 mm.

Volím tabuli plechu o rozměrech 4000 x 2000 mm. Nástřihový plán s rozložením obrázek 26. Prvním krokem je výpočet mezery mezi jednotlivými polotovary a také mezeru od krajů o velikosti 3 mm.

Plochu tabule plechu spočítáme pomocí vztahu:

$$S_{pl} = a \cdot b = 4\,000 \cdot 2\,000 = 8\,000\,000 \text{ mm}^2 \quad (3.01)$$

kde: S_{pl} ...plocha tabule [mm^2]

Plochu polotovarů stanovíme vztahem (3.02):

$$S_k = i \cdot S_{pří} = 10 \cdot 581\,024 = 5\,810\,240 \text{ mm}^2 \quad (3.02)$$

kde: S_k ...plocha polotovarů [mm^2]

$S_{pří}$...plocha přístřihu [mm^2]

A plochu odpadu stanovíme dle vztahu (3.03):

$$S_{od} = S_{pl} - S_k = 8\,000\,000 - 5\,810\,240 = 2\,189\,760 \text{ mm}^2 \quad (3.03)$$

kde: S_{od} ...plocha odpadu [mm^2]

Procento využití plechu činí 72,6 % a procento odpadu je 27,4 %, tudíž nízké. Toto rozložení je tedy vhodné a vyhovující.

Počet tabulí za rok:

$$PT = \frac{Q}{PP} = \frac{15\,000}{10} 1\,500 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1} \quad (3.04)$$

kde: PT ...počet tabulí plechu na rok [$\text{ks} \cdot \text{rok}^{-1}$]

Q ...počet výtažků za rok [$\text{ks} \cdot \text{rok}^{-1}$]

PP ...počet polotovarů na jedné tabuli [ks]

3.3.2 Stanovení počtu operací

Dalším krokem je určení počtu tažných operací potřebných pro zhotovení samotného výtažku. Pro vypočtení maximální dosažitelné výšky výtažku v první operaci je potřeba určit správný násobek poloměru v rozích výtažku, použije se tabulka 3.

$$R = 50 \in \text{více než } 19 \text{ mm} \rightarrow 4 \cdot R \rightarrow h_{\max} = 4 \cdot R = 4 \cdot 50 = 200 \text{ mm}$$

$$h_{\max} > h \Rightarrow \text{jednooperační tažení}$$

$$200 > 190 \Rightarrow \text{jednooperační tažení}$$

Jelikož je maximální možná výška větší než výška požadovaná, lze výtažek zhotovit na jeden tah.

Nyní je zapotřebí stanovit součinitel tažení pro první operaci. Použije se výše zmíněný vztah, kde se počítá se součiniteli delší a kratší strany.

$$D_0 = 2 \cdot R_c = 2 \cdot 153 = 306 \text{ mm}$$

$$a = L - 2 \cdot R - 2 \cdot t = 706 - 2 \cdot 50 - 2 \cdot 2 = 602 \text{ mm}$$

$$a = M_a \cdot R \rightarrow M_a = \frac{a}{R} = \frac{602}{50} = 12,04 \rightarrow 10$$

$$b = š - 2 \cdot R - 2 \cdot t = 508 - 2 \cdot 50 - 2 \cdot 2 = 454 \text{ mm}$$

$$b = M_b \cdot R \rightarrow M_b = \frac{b}{R} = \frac{454}{50} = 9,08 \rightarrow 10$$

$$\frac{t}{D_0} \cdot 100 = \frac{2}{306} \cdot 100 = 0,6536 \%$$

Z poměru $\frac{t}{D_0} \cdot 100$ lze následně dle tabulky 4 určit součinitel tažení pro obdélníkové nádoby a dosadit hodnoty do vztahu pro výpočet součinitele tažení pro první operaci:

$$M_0 = \frac{M_a + M_b}{2} = \frac{0,32 + 0,32}{2} = 0,32$$

3.3.3 Výpočty ploch výtažku

Redukce poloměru R v rozích stěn.

$$R_1 = m_1 \cdot R_c = m_0 \cdot R_c = 0,32 \cdot 153 = 48,64 \text{ mm} \sim 49 \text{ mm}$$

$$R_1 < R - \text{není zapotřebí další tah}$$

$$49 < 50 - \text{není zapotřebí další tah}$$

Dále jsme provedla výpočet plochy hotového výtažku:

$$S_{s1} = 2 \cdot h^* \cdot (L - 2 \cdot t - 2 \cdot R_1) + 2 \cdot h^* \cdot (š - 2 \cdot t - 2 \cdot R_1) + h^* \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_1$$

$$S_{s1} = 2 \cdot 193,7 \cdot (706 - 2 \cdot 2 - 2 \cdot 50) + 2 \cdot 193,7 \cdot (508 - 2 \cdot 2 - 2 \cdot 50) + 193,7 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50$$

$$S_{s1} = 450\,577,05 \text{ mm}^2$$

Výpočet plochy zaoblení dna:

$$S_{r1} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot r_2}{2} \cdot \frac{\pi \cdot R_2}{2} + 2 \cdot \frac{\pi \cdot r_2}{2} \cdot (L - 2 \cdot t - 2 \cdot R_2) + 2 \cdot \frac{\pi \cdot r_2}{2} \cdot (š - 2 \cdot t - 2 \cdot R_2)$$

$$S_{r1} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 25}{2} \cdot \frac{\pi \cdot 50}{2} + 2 \cdot \frac{\pi \cdot 25}{2} \cdot (706 - 2 \cdot 2 - 2 \cdot 50) + 2 \cdot \frac{\pi \cdot 25}{2} \cdot (508 - 2 \cdot 2 - 2 \cdot 50)$$

$$S_{r1} = 91\,348,061 \text{ mm}^2$$

A výpočet plochy rovinného dna:

$$S_{d1} = (L - 2 \cdot t - 2 \cdot r_2) \cdot (š - 2 \cdot t - 2 \cdot r_2)$$

$$S_{d1} = (706 - 2 \cdot 2 - 2 \cdot 25) \cdot (508 - 2 \cdot 2 - 2 \cdot 25) = 296\,008 \text{ mm}^2$$

Pro získání celkové plochy výtažku jsem tyto tři hodnoty sečetla:

$$S_{c0} = S_{s0} + S_{r0} + S_{d0} = 450\,577,05 + 91\,348,061 + 296\,008 = 837\,933,111 \text{ mm}^2$$

Nyní lze vypočítat plochu výtažku po první operaci.

Pro tento výpočet je zapotřebí upřesnit geometrii výtažku:

$$\Delta = R_1 - R_2 = 52 - 50 = 2 \text{ mm}$$

$$L' = L + 2 \cdot \Delta = 706 + 2 \cdot 2 = 710 \text{ mm}$$

$$\check{s}' = \check{s} + 2 \cdot \Delta = 508 + 2 \cdot 2 = 512 \text{ mm}$$

S těmito hodnotami lze vypočítat plochu rovinného dna:

$$S_{d1} = (L' - 2 \cdot t - 2 \cdot r_1) \cdot (\check{s}' - 2 \cdot t - 2 \cdot r_1) = (710 - 2 \cdot 2 - 2 \cdot 25) \cdot (512 - 2 \cdot 2 - 2 \cdot 25)$$

$$S_{d1} = 300\,448 \text{ mm}^2$$

Plocha zaoblení dna:

$$S_{r1} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot r_1}{2} \cdot \frac{\pi \cdot R_1}{2} + 2 \cdot \frac{\pi \cdot r_1}{2} \cdot (L' - 2 \cdot t - 2 \cdot R_1) + 2 \cdot \frac{\pi \cdot r_1}{2} \cdot (\check{s}' - 2 \cdot t - 2 \cdot R_1)$$

$$S_{r1} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 25}{2} \cdot \frac{\pi \cdot 52}{2} + 2 \cdot \frac{\pi \cdot 25}{2} \cdot (710 - 2 \cdot 2 - 2 \cdot 52) + 2 \cdot \frac{\pi \cdot 25}{2} \cdot (512 - 2 \cdot 2 - 2 \cdot 52)$$

$$S_{r1} = 91\,841,54 \text{ mm}^2$$

Plocha stěn zvětšených o přídavek na odstřížení

$$S_{c1} = S_0 = 837\,933,111 \text{ mm}^2$$

$$S_{s1} = S_{c1} - (S_{r1} + S_{d1})$$

$$S_{s1} = 837\,933,111 - (91\,841,54 + 300\,448) = 445\,643,571 \text{ mm}^2$$

$$S_{s1} = 2 \cdot h^*_1 \cdot (L' - 2 \cdot t - 2 \cdot R_1) + 2 \cdot h^*_1 \cdot (\check{s}' - 2 \cdot t - 2 \cdot R_1) + h^*_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_1 \rightarrow$$

$$h^*_1 = \frac{S_{s1}}{2 \cdot (\pi \cdot R_1 + L' - 4 \cdot R_1 - 4 \cdot s + \check{s}')} = \frac{445\,643,571}{2 \cdot (\pi \cdot 52 + 710 - 4 \cdot 52 - 4 \cdot 2 + 512)}$$

$$h^*_1 = 190,87 \sim 191 \text{ mm}$$

Výška výtažku v 1. operaci

$$h' = h^*_1 + r_1 + t = 191 + 25 + 2 = 218 \text{ mm}$$

$$h' \geq h_{max} \quad 218 \geq 190 \text{ mm}$$

Výtažek lze vytáhnout.

3.3.4 Volba přídržovače, poloměr tažníku, tažná vůle

Jelikož se jedná o tažení nerotačního tvaru výtažku, je zapotřebí použít přídržovač pro zamezení zvlnění přístřihu. Pro vypočtení síly přídržovače je zapotřebí znát plochu působení přídržovače na přístřih. Tu jsem určila pomocí programu Autodesk Inventor 2024. Také je třeba znát tlak přídržovače. Pro jeho zjištění se použije tabulka 5. Pro zvolený hlubokotažný plech o tloušťce 2 mm se hodnota doporučeného tlaku pohybuje v rozmezí 1,8 ÷ 2,1 MPa. Volím tedy hodnotu 2 MPa. Nyní již mohu vypočítat přídržovací sílu:

$$F_p = S_p \cdot p = 182\,609,5 \cdot 2 = 365\,219 \text{ N}$$

Pomocí tabulky 7 je určena tažná mezera. Pro tloušťku plechu 2 mm je hodnota tažné mezery 2,4 mm.

Je také potřeba určit tažný poloměr tažnice. Protože se jedná o obdélníkový výtažek, použijí se složitější vzorce.

Výpočet pro delší stranu tažnice:

$$R_{ta} = 0,035 \cdot [50 + 2 \cdot (L_p - a)] \cdot \sqrt{t}, \quad (1.36)$$

$$R_{ta} = 0,035 \cdot [50 + 2 \cdot (974 - 508)] \cdot \sqrt{2} = 48,606 \text{ mm} = 49 \text{ mm}$$

Pro kratší stranu tažnice:

$$R_{tb} = 0,035 \cdot [50 + 2 \cdot (\check{S}_p - b)] \cdot \sqrt{t}, \quad (1.37)$$

$$R_{tb} = 0,035 \cdot [50 + 2 \cdot (776 - 260)] \cdot \sqrt{2} = 53,56 \text{ mm} = 54 \text{ mm}$$

Tažný poloměr pro oblast rohu:

$$R_{tR} = 2,5 \cdot R_{ta} = 2,5 \cdot 48,369 = 122,5 = 123 \text{ mm} \quad (1.38)$$

3.3.5 Výpočet tažné síly

Celková tažná síla se vypočte vztahem:

$$F_{tc} = F_{t1} + F_{t2}, \quad (1.2)$$

První složku celkové tažné síly, sílu potřebnou pro vytažení rohových částí výtažku vypočtu pomocí vztahu:

$$F_{t1} = 2 \cdot \pi \cdot t \cdot R \cdot R_m \cdot C_1, \quad (1.2)$$

Výtažek dosahuje hloubky 190 mm, není tedy mělký, ale zároveň výška nedosahuje pěti až šestinásobku poloměru R, proto volím koeficient $C_1 = 1$.

$$F_{t1} = 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 50 \cdot 600 \cdot 1 = 376\,991,12 \text{ N} = 376\,991 \text{ N}$$

Druhá složka tažné síly, síla potřebná pro vytažení stěn výtažku se vypočte vztahem:

$$F_{t2} = L_s \cdot R_m \cdot t \cdot C_2, \quad (1.2)$$

Pro vypočtení této složky síly je zapotřebí zjistit součet délek rovných stěn výtažku. K tomu použijeme schéma x:

$$L_s = 2 \cdot L_1 + 2 \cdot L_2 = 2 \cdot 706 + 2 \cdot 508 = 2\,428 \text{ mm}$$

Koeficient C_2 volím 0,3, protože tažná hrana a vůle mezi tažníkem i tažnicí jsou vhodně zvoleny, ale přidržovací tlak není nulový. Po dosazení:

$$F_{t2} = L_s \cdot R_m \cdot t \cdot C_2 = 2\,428 \cdot 600 \cdot 2 \cdot 0,3 = 874\,080 \text{ N}$$

Se znalostí velikosti jednotlivých složek sil mohu vypočítat celkovou tažnou sílu, musím zde ale zohlednit koeficient tření k_f , který nabývá hodnot od 1,1 do 1,2. Hodnotu koeficientu volím 1,1.

$$F_{tc} = (F_{t1} + F_{t2}) \cdot k_f$$

$$F_{tc} = (376\,991 + 874\,080) \cdot 1,1 = 1\,376\,178,1 \text{ N} = 1\,376\,178 \text{ N}$$

Nyní již lze přistoupit k výpočtu celkové potřebné síly, zohledňující sílu tažnou, přidržovací a vyhazovací. Sílu vyhazovací lze stanovit dle maximální vyhazovací síly zvoleného lisu. Velikost vyhazovací síly volím 100 000 N.

$$F_c = F_{tc} + F_p + F_v,$$

$$F_c = 1\,376\,178 + 365\,219 + 100\,000 = 1\,841\,397 \text{ N}$$

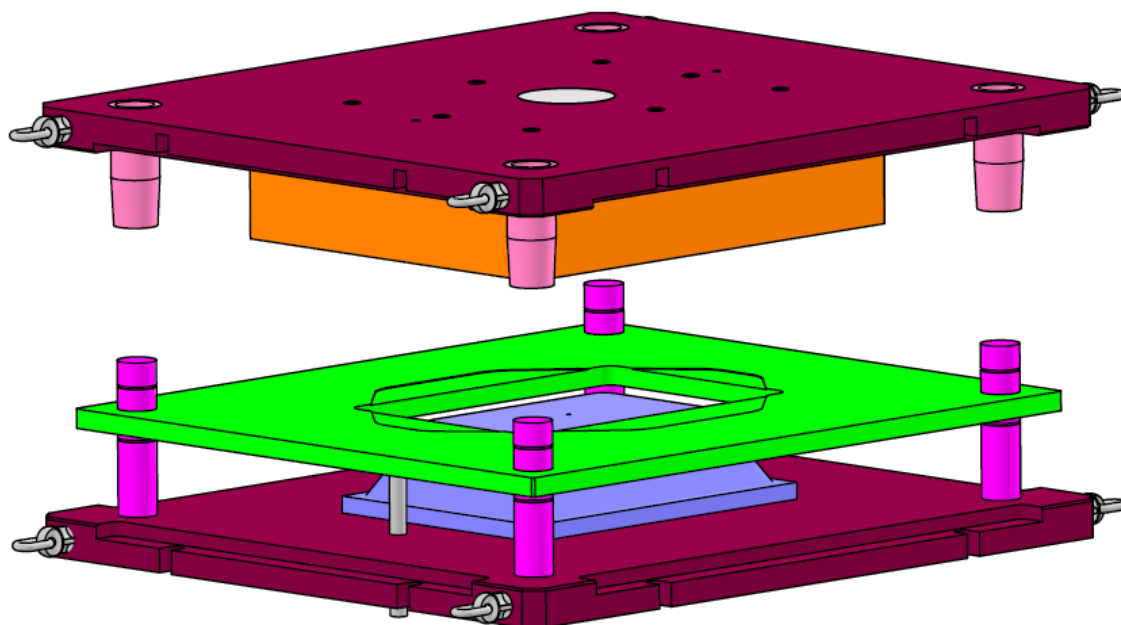
A zbývá spočítat velikost tažné práce. Pro tento výpočet volím koeficient vyplnění $C = 0,8$:

$$A_t = \frac{F_c \cdot h \cdot C}{1000} = \frac{1\,841\,397 \cdot 190 \cdot 0,8}{1000} = 279\,892,36 \text{ kJ}$$

V posledním kroku výpočtů je zapotřebí určit tažnou rychlost a k tomu použiji tabulku 8, která říká, že pro austenitickou korozivzdornou ocel je doporučena tažná rychlost 7 m^{-1} .

3.4 Návrh nástroje

Pro tento typ výtažku je tažný nástroj koncipován reversním systémem. Od klasického systému se odlišuje tím, že pohyblivou část nástroje zde tvoří tažnice, jenž je uložena ve vrchní části nástroje spolu s vrchní základovou deskou, vodícími pouzdry a vyhazovacím systémem, a tažník je v tomto případě nepohyblivý a uložený ve spodní části nástroje spolu se spodní základovou deskou a přidržovačem. Podrobné uspořádání nástroje a rozměry součástí lze vidět ve výrobním výkresu 2024-DP-339867_01 přiloženém v příloze práce. Tažný nástroj lze vidět na obrázku 27. Během výrobního procesu bude použito mazivo WISURA ZW 3356 od firmy FUCHS. [32]

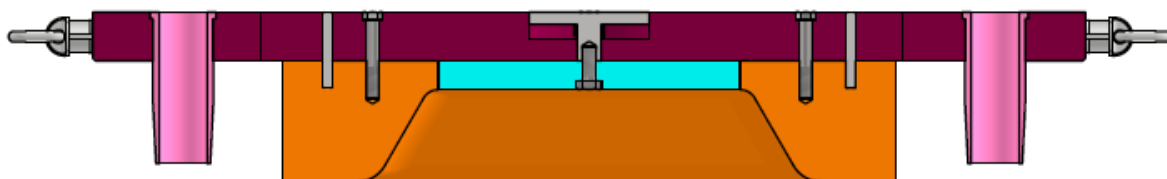


Obr. 27 Model tažného nástroje.

Rozměry nástroje jsou stanoveny na $1\,650 \times 1\,450 \text{ mm}$, přičemž v sevřeném stavu dosahuje výška nástroje 365 mm . Nástroj je opatřen upínkami vyfrézovanými na vrchní i spodní základové desce pro možnost upnutí na pracovní plochu stolu tažného stroje za pomoci šroubů M30. Pro bezpečné založení přístříhu a vytažení hotového výtažku je velikost maximálního zdvihu navržena na 530 mm .

Vrchní základová deska je v obrázku x znázorněna vínovou barvou a tažnice má oranžovou barvu, jsou spolu spojeny pomocí osmi šroubů M20. Dolní základová deska je také vyznačena vínovou barvou a tažník má světle modrou barvu, jsou spojeny pomocí šesti šroubů M20. Pro vystředění vrchní části nástroje (vrchní základové desky a tažnice) jsou použity 2 kusy vystředěvacích kolíků. Vystředění spodní části je zajištěno pomocí vodících sloupek o sytě růžové barvě – spodní základová deska, přidržovač a tažník. Vyhazovací systém se skládá z pístu vyhazovače o bílé barvě, pružiny a desky vyhazovače žluté barvy o rozměrech dna

výtažku. Vyhazovací píst je s deskou spojen pomocí šroubu M24 a jeho stlačení a uvolnění zajišťuje pružina. Řez modelem horní pohyblivé části nástroje lze vidět na obrázku 28.

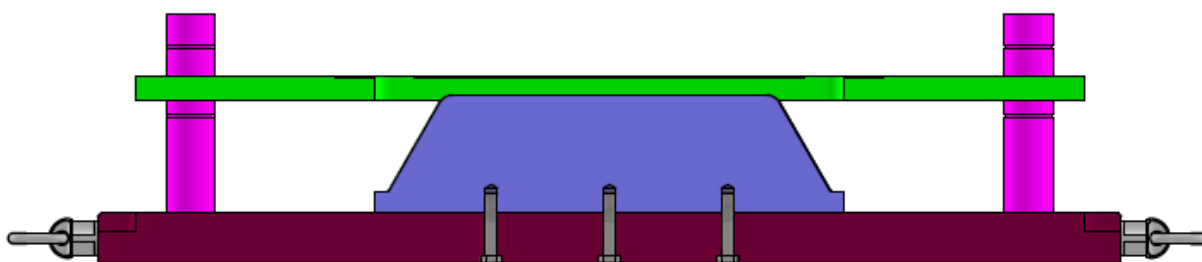


Obr. 28 Řez pohyblivou částí nástroje.

Další důležitou komponentou je tažnice.–Pro tento koncept nástroje je pohyblivá a během procesu tažení je za působení tažníku materiál vtahován dovnitř. Útvar uvnitř tažnice má tvar vnější strany výtažku zvětšený o tažnou mezeru a je zde otvor pro vyhazovací desku o velikosti dna výtažku. Pro umožnění výše zmíněného spojení s horní základovou deskou je opatřena osmi otvory pro šroub M20 se zahluobením pro schování hlavy šroubu. Také se zde nachází dva otvory pro vystředovací kolíky.

Další neméně důležitou komponentou je tažník. Je nepohyblivý a působí proti pohyblivé tažnici. Tvar tažníku odpovídá tvaru vnitřní části výtažku. Součástí tažníku je odvodušovací otvor pro zamezení vzniku podtlaku při sevření nástroje. Se spodní základovou deskou je spojen šesti šrouby M20, jak je již výše zmíněno. Jeho rozměry lze vidět na výkrese 2024-DP-239867-04 přiloženém v příloze.

Přidržovač, zde přidržovací deska je na obrázku 29 vyobrazen světle zelenou barvou je umístěn na čtyřech vodících sloupcích, jenž umožňují jeho pohyb. Na funkční ploše přidržovače je vyfrézované vybrání o velikosti ideálního přístřihu plechu pro jednodušší zakládání polotovaru. Střed přidržovače je opatřen průchozím otvorem, zajišťující volný průchod tažníku a jeho tvar odpovídá tvaru tažnice zvětšenému o poloměr zaoblení tažnice. Jeho horní polohu pro založení polotovaru zajišťují kolíky stroje, které jsou při sevření zatlačeny dovnitř stoje. Řez modelem spodní pevné části nástroje lze vidět na obrázku 29



Obr. 29 Řez pevnou částí nástroje.

Pohyb pohyblivé části nástroje a také zajištění správné polohy tažníku, tažnice a přidržovače umožňují čtyři vodící sloupky vedené ve vodících pouzdrech. Sloupky jsou zakotvené v rozích dolní desky a pouzdra jsou umístěna v horní desce. Tento systém musí být kvalitně a dostatečně mazán, aby se předešlo nežádoucímu tření a zadření, což by vedlo k nežádoucímu ovlivnění funkčnosti celého nástroje.

Součástí nástroje jsou také závěsná oka pro snadnou manipulaci s nástrojem.

3.5 Volba stroje

Zvolení vhodného stroje závisí na několika faktorech, jako jsou potřebná tvářecí síla, rozměry tažného nástroje a také rozměry výtažku. Je třeba zohlednit i tvářecí rychlost stroje a dodávané příslušenství. [25]

Po shlednutí trhu a uvážení potřebné tvářecí síly a rozměrů nástroje byl jako vhodný stroj zvolen hydraulický stříhací lis PO 630 od společnosti Dieffenbacher, který je vhodný pro tažení a stříhání ocelových plechů. Je tvořen svařovaným rámovým stojanem typu IMPRESS, obsahuje spodní přídržovač, je vybaven aktivním tlumením stříhu a lze ho vidět na obrázku 30. [25]



Obr. 4 Hydraulický lis PO 630 firmy Dieffenbacher. [25]

Maximální dosažitelná lisovací síla lisu dosahuje 6 300 kN, .maximální zdvih stroje činí 800 mm, pracovní rychlost je stanovena na 9 mm/s a přibližovací rychlost lisu je 460 mm/s. Rozměry pracovní stolní desky jsou 3 100 mm x 1 700 mm. Příslušenstvím hydraulického stroje jsou kolíky. [25]

Při porovnání s vypočtenou tvářecí silou činící 1 841,4 kN je patrné předimenzování, ale rozhodujícím faktorem pro tuto volbu je velikost pracovní desky stolu. Tyto parametry požadavkům vyhovují a tím potvrzují, že hydraulický lis PO 360 je vhodnou volbou pro výrobu záchytné vany. [25]

ZÁVĚR

Práce je zaměřena na návrh výroby záchytné vany použitelné v automobilovém průmyslu ke stáčení a přelévání agresivních látek. Materiálem pro výrobu byla zvolena korozivzdorná austenitická chrom-nikl-molybdenová ocel ČSN 17 346 vhodná pro hluboké tažení a disponující velmi dobrou odolností vůči korozi. Výrobní série je stanovena na 15 000 ks za rok.

Po porovnání dostupných metodik výroby byla pro zhotovení výrobku jako nejvhodnější vybrána metoda hlubokého tažení bez zeslabení stěny a posléze byla problematika zpracována v literární rešerši.

Na začátku praktické části byla provedena kontrola technologičnosti a skrze výpočty bylo určeno, že výtazek bude zhotoven na jednu tažnou operaci, tudíž součástí práce bude návrh jednoho tažného nástroje. Poté byl početně a graficky určen ideální tvar přístříhu. Pro zhotovení jednotlivých přístříhů byla zvolena metoda vypalování laserovým paprskem z tabule plechu o rozměrech 4 000 x 2000 mm a tloušťce 2 mm. Z jedné tabule plechu bude vyřezáno deset kusů polotovaru s celkovým využitím materiálu 72,6 %. Dále byly provedeny technologické výpočty ploch jednotlivých částí výtazku, byly stanoveny tažné mezery a použití přidržovače.

Dle kontrolních výpočtů vyšla přidržovací síla 365,2 kN, celková tažná síla činí 1 841,4 kN. V poslední řadě byla vypočtena potřebná tažná práce 279 892,4 kJ.

Na základě technologických výpočtů proběhlo navržení tažného nástroje pro výrobu zvolené součásti. Nástroj je sestaven reversním systémem s vrchním pohyblivou částí tvořenou vrchní základovou deskou, tažnicí, vodícími pouzdry a vyhazovacím systémem. Spodní nepohyblivou část tvoří spodní základová deska, tažník a přidržovač. Pohyb nástroje je zajištěn vodícím systémem skládajícím se z vodících sloupků uložených ve vodících perech. Systém je mazán mazivem.

Dle tažné síly byl zvolen hydraulický lis PO 630 od firmy Dieffenbacher se jmenovitou silou 6 300 kN, jenž svými parametry vyhovuje náročnosti procesu výroby výtazku.

Výstupem práce je teoretický návrh tažného nástroje, jenž je vhodné ověřit simulačním procesem za účelem ověření efektivnosti výrobního procesu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KŘÍŽ, Rudolf, VÁVRA, Pavel. *Strojírenská příručka*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1998. 255 s. ISBN 80-7183-054-2
2. KOTOUČ, Jiří, *Tvářecí nástroje*. ČVUT. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1993. 350 s. ISBN 80-01-01003-1
3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
4. LENFELD, P. *Technologie II – část I* [online] [cit. 2022-11-06]. Dostupné z http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm#094
5. KOČMAN, Karel, NĚMEČEK, Petr. *Aktuální příručka pro technický úsek*. Praha : Verlag Dashöfer, 1999. - s. ISBN 80-902247-2-5
6. DVORÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. *Technologie tváření – plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80–214–2340–4
7. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a MÁDLE, Luděk. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1990. ISBN 80–03–00221–4.
8. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. 1. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 0-8311-3182-9.
9. DENIOS. Online. DENIOS. 2023. Dostupné z: <https://www.denios.cz/zachytne-vana-classic-line-z-oceli-pro-1-sud-zinkovana-635x785x178-259368/259368>. [cit. 2024-05-15].
10. MEVA. *Záchytné vany – jaké použít a proč?* Online. 2024. Dostupné z: <https://www.mevatec.cz/zachytne-vany-jake-pouzit-a-proc-A/>. [cit. 2024-05-15].
11. KIPP. *Nerezová austenitická chromo-niklová molybdenová nerezová ocel (1.4401)*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Slu%C5%BEby/P%C5%99ehled-materi%C3%A1l%C5%AF/nerezov%C3%A1-ocel/1-4401-nerezov%C3%A1-ocel.html> [cit. 2024-05-15].
12. MATEZEX. *Nerezová ocel*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.matezex.cz/prevodni-tabulky.html#cookie-lista>. [cit. 2024-05-15].
13. PRIMA DOMA. *Zvládli byste naohýbat plechy bez ohýbačky?* Online. 2024. Dostupné z: <https://primadoma.cz/clanek-297117-zvladli-byste-naohybat-plechy-bez-ohybacky>. [cit. 2024-05-15].
14. EXAPRO. *Hydraulický lis Hydroforma HF-P 50*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.exapro.cz/hydroforma-hf-p-50-p221229016/>. [cit. 2024-05-15].
15. KAISERKRAFT. *Záchytné vany*. Online. 2024. Dostupné z: https://www.kaiserkraft.cz/skladovani-nebezpecnych-latek/zachytne-vany/c/63938_1-KK/. [cit. 2024-05-15].
16. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC - TECHNOLOGIE II. *Technologie plošného tváření - tažení*. Online. 2024. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm. [cit. 2024-05-15].
17. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. obr., tabulky, grafy. ISBN 978-80-214-4747-9.
18. MOLD TECHNOLOGY. *Deep drawing*. Online. 2020. Dostupné z: <http://mold-technology4all.blogspot.com/2011/08/deep-drawing.html>. [cit. 2024-05-15].
19. KOLEKTIV AUTORŮ. *Lisování*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1971. ISBN 04-234-71.

20. Bareš, Karel, et al. *Lisování*. Redaktor Jindřich Klůna, 1. vyd Praha: SNTL, 1971. 544s. ISBN 04-234-71
21. ATACO STEEL PRODUCTS. *Deep drawn shells*. Online. 2024. Dostupné z: https://www.atacosteel.com/st_product/deep-drawn-shells/ [cit. 2024-05-15].
22. ČADA, Radek. *Technologie I*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, [2008]. ISBN 978-80-248-1507-7
23. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC - TECHNOLOGIE II. *Technologie plošného tváření - tažení*. Online. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm. [cit. 2024-05-15].
24. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení [technické](#), 1992. ISBN 80-214-0401-9.
25. DEIFFENBACHER. *Lisy řady PO*. Online. 2024. Dostupné z: <https://dieffenbacher.cz/reference/lisy-rady-po>. [cit. 2024-05-15].
26. RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce*. Praha: Bratislava: SNTL; ALFA, 1979, 407 s.: il.
27. *Technologie tváření a slévání – teoretický základ: Tažení složitých výtazků* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2024-05-01]. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/7.%20TA%C5%BDEN%C3%8D%20SLO%C5%BDIT%C3%9DCH%20V%C3%9DTA%C5%BDK%C5%AE.pdf
28. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 4th ed. New York: Cambridge University Press, 2011, xii, 331 s. : il. ISBN 978-1-107-00452-8
29. ČSN 22 7303. *Tažení dutých čtyřhranných výtazků*. Praha: Český normalizační institut, 1967.
30. ČSN 22 7301. *Tažení dutých válcových výtazků*. 2. vyd. Praha: Český normalizační institut, 1969
31. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
32. FUCHS. *RENOFORM ZW 3356*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.fuchs.com/cz/cs/produkt/product/150599-RENOFORM-ZW-3356/>. [cit. 2024-05-15].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbole

Označení	Legenda	Jednotka
a	délka delší strany	[mm]
A_t	tažná práce	[J]
b	délka kratší strany	[mm]
C	koeficient zaplnění plochy	[-]
C_1	koeficient závisící na hloubce výtažku	[-]
C_2	koeficient závisící na tažné hraně, vůli a tlaku přidržovače	[-]
D_0	průměr přístřihu (rondele)	[mm]
F_c	tažná síla potřebná pro vytažení výtažku	[N]
F_{krit}	síla pro utržení dna	[N]
F_p	síla přidržovače	[N]
F_{t1}	potřebná síla pro vytažení rohových částí výtažku	[N]
F_{t2}	potřebná síla pro vytažení přímých částí výtažku	[N]
F_{tc}	celková tažná síla	[N]
F_v	síla vyhazovače	[N]
h	výška výtažku	[mm]
h^*	výška stěny výtažku s přídavkem na ostřížení	[mm]
h_1	výška stěny výtažku zkrácená o zaoblení dna a tloušťku	[mm]
h_m		[mm]
h_{max}	maximální dosažitelná výška výtažku	[-]
k	koeficient odvíjející se od druhu materiálu	[-]
L	délka výtažku	[mm]
L_D	délka dna výtažku	[mm]
L_p	délka přístřihu	[mm]
L_s	součet délek všech přímých stěn výtažku	[mm]
M_0	koeficient tažení pro tažení obdélníkového výtažku	[-]
M_a	koeficient tažení pro delší stranu	[-]
M_b	koeficient tažení pro kratší stranu	[-]
n	počet otáček lisu	[min ¹]
o	obvod výtažku	[mm]
p	tlak přidržovače	[MPa]
R	poloměr zaoblení v rozích výtažku	[mm]
r	poloměr zaoblení dna	[mm]
R_1	hodnota redukce poloměru R v rozích stěn při 1. tahu	[mm]
R_a	drsnost povrchu	[μ m]
R_c	redukovaný poloměr zaoblení	[mm]
R_e	smluvní mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{t1}	tažný poloměr tažnice pro první tah	[mm]
R_{ta}	tažný poloměr tažnice pro delší stranu výtažku	[mm]
R_{tb}	tažný poloměr tažnice pro kratší stranu výtažku	[mm]
R_{tn+1}	tažný poloměr tažnice pro další tahy	[mm]
R_{tR}	tažný poloměr pro oblast rohu	[mm]
S_{d1}	plocha rovinného dna výtažku	[mm ²]
S_p	styková plocha přidržovače s přístřihem	[mm ²]
S_{r0}	plocha zaoblení dna výtažku	[mm ²]
S_{s0}	plocha stěn výtažku zvětšených o přídavek na ostřížení	[mm ²]
Š	šířka výtažku	[mm]

\check{S}_D	šířka dna výtažku	[mm]
\check{S}_p	šířka přístřihu	[mm]
t	tloušťka plechu/stěny výtažku	[mm]
t'_m	tažná mezera pro rohové části	[mm]
t_m	tažná vůle pro rovinné části	[mm]
t_v	tažná vůle	[mm]
v_t	tažná rychlost	[m·min ⁻¹]
z	celkový počet zdvihů beranu lisu	[-]
ρ	hustota	[kg·m ⁻³]
π	Ludolfovo číslo	[-]

Zkratky

Označení	Legenda
C	uhlík
Cr	chrom
HRC	tvrdost dle Rockwella
ISO	International Organization for Standardization
Mo	molybden
Ni	nikl
TIG	Tungsten Inert Gas

SEZNAM VÝKRESŮ

KUSOVNÍK	2024-DP-239867-01/K
TAŽNÝ NÁSTROJ	2024-DP-239867-00
TAŽNÍK	2024-DP-239867-04
TAŽNICE	2024-DP-239867-06
ZÁCHYTNÁ VANA	2024-DP-239867-17