



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KRYTU VZDUCHOVÉHO FILTRU

PRODUCTION OF AIR FILTER COVER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Procházka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Vojtěch Procházka
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
Akademický rok:	2016/17

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

Výroba krytu vzduchového filtru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby krytu vzduchového filtru používaného u zahradní techniky. Součástka je válcového tvaru s otvorem pro přišroubování. Bude vyráběna technologií tažení bez ztenčení stěny s využitím konvenčního nástroje. Na tuto problematiku bude také zaměřena aktuální literární studie.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit technologičnost krytu vzduchového filtru,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj včetně základní výkresové dokumentace,
- provést technicko–ekonomické hodnocení.

Seznam doporučené literatury:

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

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

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

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

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

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

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

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

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

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

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

PROCHÁZKA Vojtěch: Výroba krytu vzduchového filtru.

Práce se zabývá návrhem výroby krytu vzduchového filtru. Součást má válcový tvar s kruhovým prolisem a dírou ve dně. Je vyráběná z ocelového plechu 11 320 tloušťky 1 mm. S přihlédnutím k sérii 20 000 kusů ročně, byla vybrána jako nejvhodnější technologie tažení konvenčním nástrojem bez ztenčení stěny. Součást je nutné táhnout ve dvou operacích, při každé musí být použit přidržovač. Nástroj pro každou operaci je samostatný. Výkresová dokumentace je zpracována pro druhý nástroj. Vzhledem k vypočtené síle byl zvolen hydraulický lis ŽĐAS CTH 250 o jmenovité síle 2 500 kN. Z ekonomického zhodnocení vyplývá, že náklady na materiál pro výrobu jednoho dílu činí asi 42 Kč. Cena nástroje pro druhý tah je 260 000 Kč.

Klíčová slova: kryt, ocelový plech, konvenční tažení, nástroj, lis

ABSTRACT

PROCHÁZKA Vojtěch: Production of the air filter cover.

The thesis is concerned with the concept of an air filter cover production. The component has a cylindrical shape with a circular protrusion and a hole in the bottom. It is made of a steel sheet 11 320 with the thickness 1 mm. Considering the production volume of 20,000 units per year, it was chosen as the most suitable pulling technology with a conventional tool without wall thinning. The component needs to be pulled in two operations, each time a retainer has to be used. The tool for each operation is separate. Technical drawing documentation is processed for the second tool. Due to the calculated force, the ŽĐAS CTH 250 hydraulic press with a nominal force of 2,500 kN was chosen. The economic evaluation shows that the production material cost for one piece is about CZK 42. The cost of the second stroke tool is 260,000 CZK.

Keywords: cover, steel sheet, conventional drawing, tool, press

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PROCHÁZKA, Vojtěch. *Výroba krytu vzduchového filtru*. Brno, 2017. 36s, 4 výkresy, 4 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 26.5.2017

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamil Podaný, Ph.D za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu a pomoc.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ	10
1.1 Variantní řešení	11
2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ	14
2.1 Velikost přístřihu	15
2.2 Počet tažných operací	16
2.3 Tažná mezera	17
2.4 Volba přidržovače	18
2.5 Výpočet síly a práce	18
2.6 Konstrukce tažného nástroje	20
2.6.1 Tažnice	21
2.6.2 Tažník	21
2.6.3 Přidržovač	22
2.7 Stroje	22
2.8 Maziva	24
2.9 Technologičnost	24
3 NÁVRH VÝROBY	25
3.1 Velikost přístřihu	25
3.2 Nástřihový plán a procentní využití materiálu	27
3.3 Tažná mezera a volba přidržovače	30
3.4 Výpočet síly a práce	31
3.5 Návrh nástroje	32
3.6 Volba stroje	34
4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	35
5 ZÁVĚRY	36
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

ÚVOD [7], [8], [13], [18], [22], [31]

Dnešní moderní doba klade vysoké nároky na široké spektrum součástí, ať už se jedná o části automobilů, letadel nebo například věcí používaných v domácnostech. Neustále dochází k vývoji nových konstrukcí, materiálů nebo způsobu výroby. Vyráběné součásti mají stejné nebo lepší vlastnosti, ale především jejich výroba je lépe zvládnuta v mnoha ohledech, jako je efektivnost, přesnost a automatizace. Neustálé vylepšování je spojeno s využitím a modernizací základních technologií, jako je svařování, obrábění, odlévání, tváření nebo 3D tisk, který v poslední době zažívá velký rozmach.

Tváření je stále velmi výhodný způsob výroby. Nedochází u něj k odstraňování přebytečného materiálu a tím k jeho porušení s výjimkou stříhání, kde je porušení cílené. Materiál je pomocí síly tvarován do požadované podoby. Toto sebou nese řadu výhod, jako vysoké využití materiálu, rychlost a hospodárnost výroby, dobré mechanické vlastnosti, přesnost a dobrý povrch součástí. Je zde možnost využít automatizaci výroby, čímž dojde k dalšímu navýšení efektivnosti. Nevýhody jsou spojovány s vyšší pořizovací cenou nástrojů.

Tvářecí technologie se dělí na objemové a plošné. Do objemového tváření spadají metody např. kování, protlačování. Mezi plošné se řadí stříhání, ohýbání, tažení atd. Tažení tvoří asi jednu třetinu výroby lisoven. Na obrázku 1 je možné vidět různé součásti vyrobené tímto způsobem.



Obr. 1 Tažené součásti [13], [18], [22], [31]

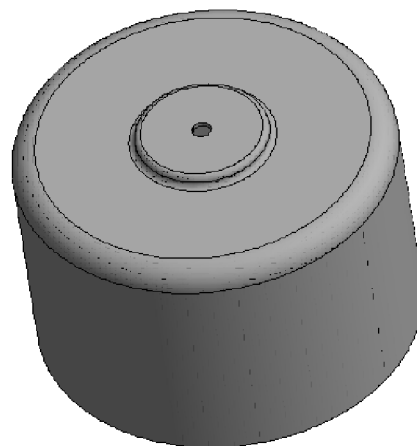
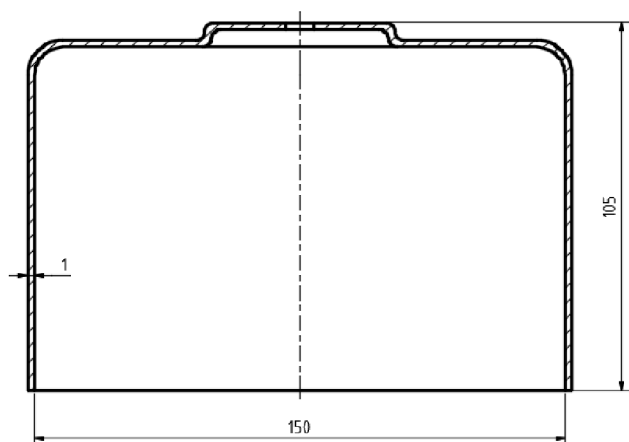
1 ROZBOR ZADÁNÍ [2], [8], [12], [16], [24]

Řešenou součástí je kryt vzduchového filtru, viz obr. 2. Slouží k tomu, aby samotný filtr nebyl příliš vystavován nečistotám z okolí a současně jej chrání před možným mechanickým poškozením. Tento konkrétní kryt se používá u zahradní techniky, například u malotraktoru. Jedná se o rotační součástku válcového tvaru, umístěnou v motorovém prostoru co nejbližže karburátoru, jak lze vidět na detailu obrázku 2. Uvnitř krytu je válcový filtr, který je možno jednoduše vyměnit.

Jelikož kryt musí být lehký a nejsou na něj kladeny velké mechanické nároky, je tloušťka stěny 1 mm ideální. Výška krytu je 105 mm a vnitřní průměr 150 mm, viz obr. 3. Dno je opatřeno prolisem válcového tvaru, který má za úkol zvýšit jeho tuhost a současně do něj zapadá z vnitřní strany filtr, který tak má zajištěnou polohu uprostřed. Ve středu dna je zhotovena díra o průměru 6 mm. Dírou bude procházet šroub, na jehož konci bude podložka s křídlovou maticí, pomocí které bude kryt zajištěn. Souosost díry a krytu se musí pohybovat v toleranci IT8, aby byla zajištěna smontovatelnost a ideální dosednutí na kontaktní díl. Požadavky na přesnost jsou malé, kromě již zmíněné souososti díry a krytu není třeba více využívat rozměrové ani geometrické tolerance. Na drsnost povrchu nejsou kladeny žádné nároky. Jedná se o hojně využívanou součástku, proto výroba bude probíhat v předpokládané sérii 20 000 kusů ročně.



Obr. 2 Malotraktor [24], [16]



Obr. 3 Kryt vzduchového filtru

Vyráběná součást nebude vystavována mechanickému namáhání, ani nadměrným teplotám. Bude vystavena pouze atmosférickým vlivům (vlhkost, prach, atd.), musí být vybrán materiál, který jim dokáže odolávat, nebo musí být vhodně povrchově upraven

(zinkování, ochranný nátěr, atd.). Jde o sériovou výrobu, materiál nebude dlouho skladován. Po předání od dodavatele bude rovnou zpracován, čímž se zabrání jeho nechtěnému stárnutí. Jak již bylo zmíněno, jedná se o sériovou výrobu, proto hlavní roli budou hrát náklady na materiál, který musí být vhodný pro technologii tváření. Jako nejvýhodnější materiál se jeví oceli třídy 11.

Vzhledem k výše uvedeným požadavkům, které musí materiál splňovat je vybrána jako nejvýhodnější ocel 11 320. Jedná se o nelegovanou uhlíkovou ocel, která má dostatečné mechanické vlastnosti. Je tvářitelná za studena, hodí se k mírnému nebo hlubokému tažení a také k povrchovému upravování. Hlavní výhodou této oceli je nízká cena. Jedná se o neuklidněnou ocel, což nám v tomto případě nevadí, protože bude zpracována v co nejkratším čase. Aby byla zajištěna delší životnost součástky, bude kryt na konci výrobního procesu vhodně povrchově upraven. Jako vhodná povrchová úprava se jeví zinkování nebo nanesení ochranného nátěru. Její mechanické vlastnosti a chemické složení je popsáno v následující tabulce 1.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli 11 320 [2]

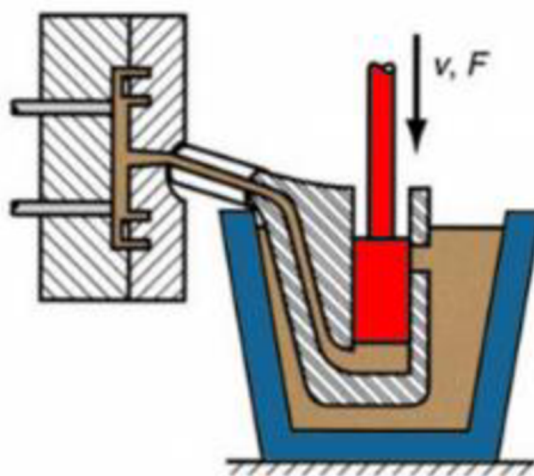
ČSN	EN 10027-1	Chemické složení			Mechanické vlastnosti		
		C max.	P max.	S max.	Re [MPa]	Rm [MPa]	A [%]
41 1320	DC 01	0,11	0,045	0,045	260	270-370	30

1.1 Variantní řešení [4], [5], [15], [27], [29], [30]

Kryt lze vyrobit různými technologiemi, z nichž každá má své plusy i mínusy. Musí být vybrána optimální, kterou bude možné docílení potřebných mechanických vlastností vyrábění součásti, ekonomické stránky výroby, časové náročnosti a výroba musí být co nejjednodušší. S uvážením požadovaných vlastností lze pro výrobu použít tyto technologie:

- Odlévání – proces, při kterém se roztavený kov vlévá do formy. Dutina formy má tvar budoucí součástky. Existuje několik způsobů lití, jako na příklad lití do kokil, pískových forem, odstředivé lití, metoda vytavitelného modelu nebo tlakové lití. V případě krytu přichází v úvahu pouze metoda tlakového lití, protože tloušťka stěny je 1 mm. Podstata tlakového lití spočívá ve vstřikování taveniny pod vysokým tlakem do formy, kde se promění v pevný odlitek a následně se forma rozdělí a odlitek je pomocí vyhazovače vyjmut. Tlak je vyvozen různými způsoby, například pomocí pístu, viz obr. 4, nebo pomocí vzduchu.

V případě výroby krytu nejde o vhodnou metodu, odlitek sice bude mít požadovaný tvar, ale tloušťka stěny 1 mm je poměrně složitě vyrobitelná. Ocel 11 320 není možné odlít, musel by být použit jiný ekvivalentní materiál, který bude mít podobné vlastnosti. Tato metoda také není vhodná vzhledem k roční sérii 20 000 kusů.



Obr. 4 Tlakové lití [5]

- Svařování – proces, při kterém dochází ke spojení dvou, nebo více součástí pomocí tepla. Po vychladnutí se stává spoj nerozebíratelný. Svařovat lze s použitím přídavného materiálu, ale i bez něj. Při svařování vzniká v blízkosti svaru tepelně ovlivněná oblast, což doprovází následný vznik nežádoucího vnitřního pnutí, které ale lze odstranit vhodným tepelným zpracováním. V tomto případě, by musela být s konstruktérem projednána změna tvarů krytu, protože kryt by byl pro jednoduchost svařen ze dvou částí a to z trubky a dna.

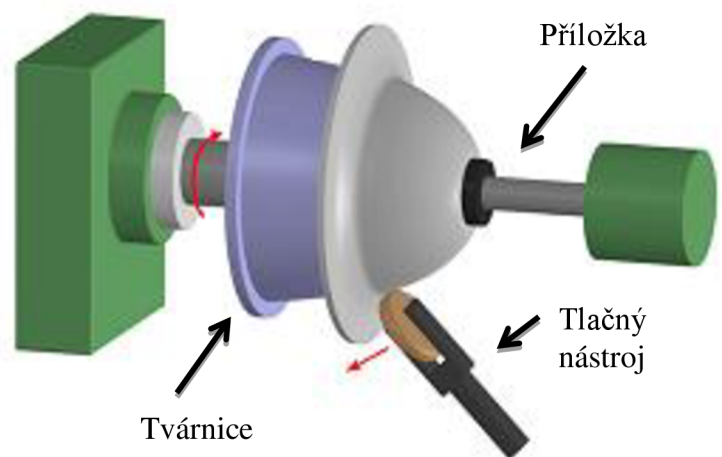
V případě sériové výroby krytu se jedná také o nevhodnou technologii. Kryt by musel být sestaven z většího množství navzájem svařených součástí, dochází k nežádoucímu tepelnému ovlivnění a ke vzniku vnitřního pnutí.



Obr. 5 Svařování [27]

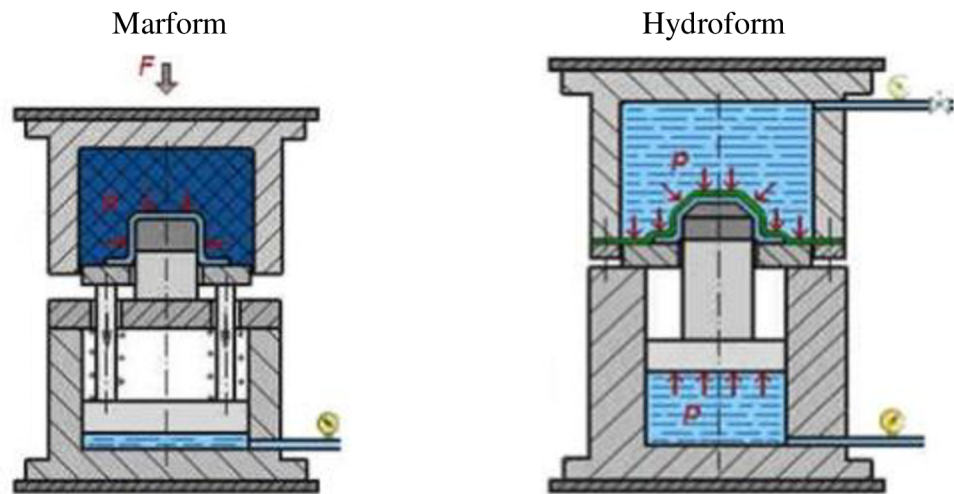
- Kovotlačení – technologická operace, pomocí které lze vytvářet pouze rotační vyduuté součásti. Tvárnice je vyrobena z kovu a má tvar budoucí vytačené součásti. Polotovar (přístřih) je upnut mezi tvárnici a příložku, která jej přitlačuje k čelu tvárnice. Tvárnice s polotovarem a příložkou jsou roztočeny a k tvarování dochází pomocí tlačného nástroje, který přitlačuje polotovar na tvárnici. K tvarování dochází jen v místě působení tlačného nástroje, který má ruční nebo strojní posuv. Tlačným nástrojem může být kladka nebo palička. V tomto případě, kdy je podmínka konstantní tloušťky stěny, kladka jede kolmo na obrys formy a materiál pouze přihýbá.

Tato metoda se hodí pro kusovou výrobu rotačních hlubokých výtažku, pro sériovou výrobu krytu není vhodná kvůli nízké produktivitě.



Obr. 6 Kovotlačení [15]

- Marform – jedná se o nekonvenční způsob tažení pomocí elastomeru. Tato metoda umožňuje táhnout i hluboké výtažky díky vyšší vrstvě pryže. Princip spočívá v nahrazení ocelové tažnice, která se používá u konvenčního způsobu, kontejnerem s elastickým (pryžovým) blokem. Přidržovač je ovládán hydraulicky, lze tedy prostřednictvím ventilu regulovat přitlačnou sílu v různých fázích tažení, viz obrázek 7. Mezi výhody lze zařadit získání hladkých a nezvrásněných dílů, nedochází ke ztenčení plechu a jedná se o jednoduchý a levný nástroj. Naopak do nevýhod patří vyšší potřebné tvářecí síly, nižší životnost elastického bloku a hodí se pro malosériové díly (používá se především v letectví).



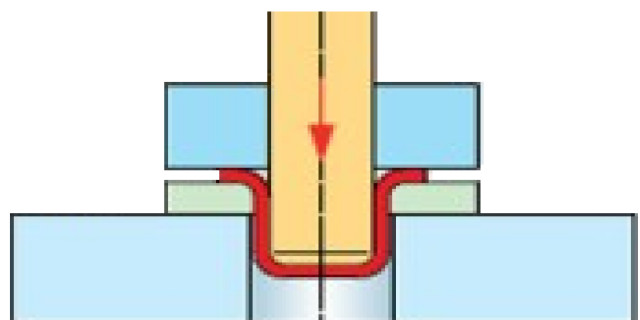
Obr. 7 Metoda Marform a Hydroform [29]

- Hydroform – metoda je podobná metodě Marform, ale místo elastomerového bloku je zde použit kontejner s kapalinou. Kapalina je utěsněná pryžovou membránou, která má tloušťku asi 25 mm. Přístřih je pomoci tažníku vtlačován přes membránu do kapaliny, tvar tedy získává podle tažníku, jak lze vidět na obrázku 7. Díky kapalině je tlak rovnoměrně rozložen, tlak je regulován regulačním ventilem.

Výhody této metody jsou například vyvození velkých měrných tlaků, minimální tření, získání hladkých a nezvrásněných dílů. Do nevýhod patří větší čas na výrobu, vyšší náklady z důvodu složitých hydraulických zařízení a s tím spojeno těsnění kapaliny.

- Konvenční tažení – Jedná se o nejběžnější metodu. Obě hlavní části nástroje, tažník i tažnice, jsou vyrobeny z kovu, především z nástrojové oceli. Tažník vtahuje přístřih do tažnice a tím dochází ke vzniku požadovaného tvaru výtažku, jak lze vidět na obrázku 8. Při tažení může docházet k tvorbě vln, tento problém lze odstranit použitím přidržovače.

Je možno vyrábět mělké i hluboké výtažky. Výtažky jsou přesné a metoda je rychlá. Nástroj má velkou trvanlivost, proto je vhodný pro sériovou a velkosériovou výrobu. Nevýhoda této technologie je vyšší pořizovací cena nástroje.



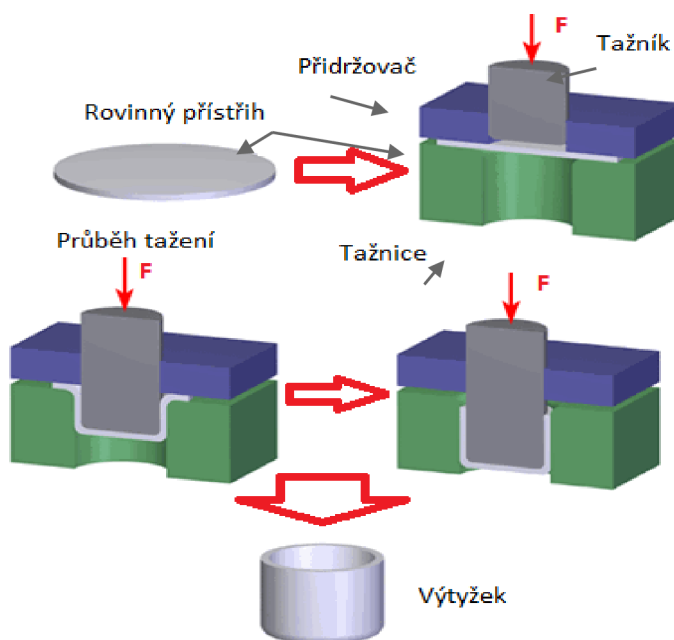
Obr. 8 Konvenční tažení [4]

Z výše uvedených možných technologií výroby vyplývá, že nejvýhodnější metoda pro výrobu krytu filtru je konvenční způsob tažení bez ztenčení stěny. Tato technologie byla vybrána především z důvodu velikosti série. Pořizovací cena nástroje je sice vyšší, ale díky jeho velké životnosti se vyplatí. Metoda je rychlá a výtažky jsou kvalitní. Následující literární studie a návrh výroby se bude zabývat touto technologií.

2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [3], [7], [8], [11], [20]

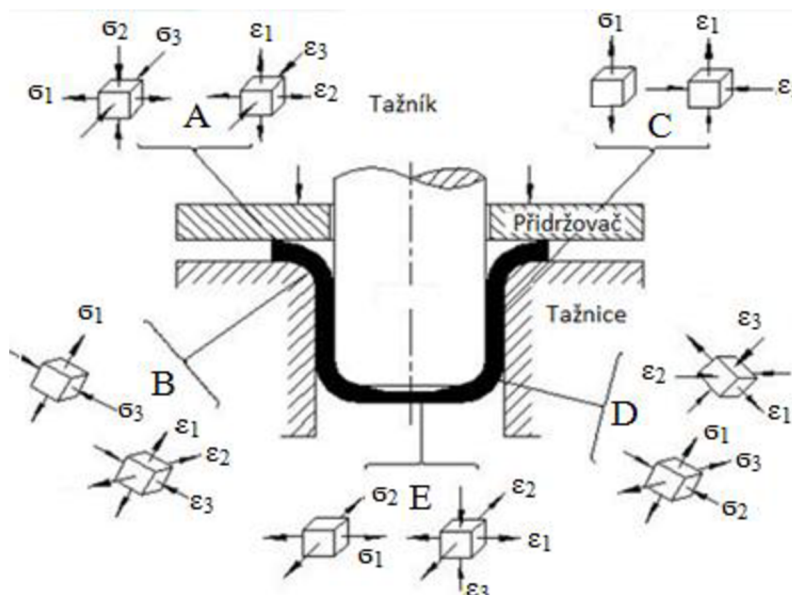
Tažení je jedna z hlavních lisovacích operací, jedná se o tváření proces, při kterém se stává z rovinného přístřihu výtažek v podobě dutého tělesa. Jedná se tedy o prostorový ohyb, jímž se získá tvar, který už není možné rozvinout. Nástroj tvoří dvě hlavní části, tažník a tažnice. Rovinný přístřih je pomocí tažníku vtahován do tažnice, čímž získává požadovaný tvar, viz obr. 9. Při tažení může docházet vlivem pětování materiálu na okraji přístřihu k jeho zvlnění. Tomuto nechtěnému jevu však lze zabránit použitím přídržovače, který lze také vidět na obrázku 9.

Touto technologií se vyrábí mělké i hluboké výtažky různých tvarů (rotační, nerotační, s přírubou, bez příruby nebo i výtažky nepravidelných tvarů,...). Tělesa vyrobená tažením se vyznačují nízkou hmotností a vysokou tuhostí. Mají tedy široké uplatnění, například jako kryty, nádoby, ale i součásti karoserií a další.



Obr. 9 Postup tažení [3]

Tažení doprovází vznik tvárné deformace, která sebou přináší vznik napětí v materiálu. Jak lze vidět z obr. 10, napětí ani deformace nejsou stejná v celém výtažku, ale v různých částech se mění a to i co se velikosti týče. Napětí v místě příruby závisí na tom, zda je použit přídržovač nebo není. V případě, který je znázorněn na obrázku 10, tedy tažení s přídržovačem, vzniká prostorová napjatost i deformace. V oblasti 'B' probíhá prostorový



Obr. 10 Schéma napětí a deformací [11]

ohyb, vzniká tak složitá deformace. Působí zde největší tahové radiální napětí a tangenciální tlakové napětí, které je naopak malé. V oblasti 'C', tedy válcové části je pouze rovinná deformace způsobená jednoosou tahovou napjatostí. Nejvíce ožehavým místem je zaoblení, které spojuje dno s válcovou částí. Dochází zde ke značnému tenčení stěny a prodloužení, které způsobuje nestejnou napjatost. Jde tedy o nejkritičtější místo, v kterém se často dno utrhne. V části dna (oblast 'E') působí při tažení rovinná tahová napjatost, která má za následek prostorovou deformaci.

2.1 Velikost přístřihu [6], [19], [20], [28], [30]

Aby byl výtazek dostatečně kvalitní, musí být zvolen optimální tvar a velikost přístřihu. Optimální přístřih zaručuje dobrý průběh tažení a šetří náklady (nevzniká přebytečný odpad). Z důvodu anizotropie materiálu (různé mechanické vlastnosti v různých směrech), vzniká nerovný okraj, který se následně odšťihuje. Vypočtená plocha přístřihu se tedy navyšuje a to až o 10%. Velikost navyšení závisí na počtu operací, pro jednooperační tažení se většinou volí přírůstek 3% a pro každý následující tah se přidává 1%. Velikost přístřihu lze určit více způsoby:

- Zákon konstantního objemu – objem výtazku se rovná objemu přístřihu. Uvažuje se shodná tloušťka výtazku i přístřihu. Na základě shodných tloušťek vyplývá, že se rovnají také plochy, tedy plocha přístřihu je stejná jako plocha výtazku. Pro jednoduchost je dobrý výtazek rozdělit na části, u kterých se spočítá jejich plocha a následně se sečte, viz obr. 11

$$S_v = S_p \quad (2.1)$$

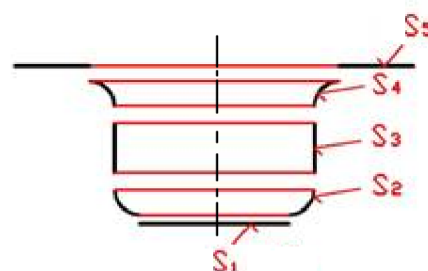
kde: S_v – plocha výtazku [mm^2]
 S_p – plocha přístřihu [mm^2]

$$S_v = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 \quad (2.2)$$

kde: S_i – plocha jednotlivých částí [mm^2]

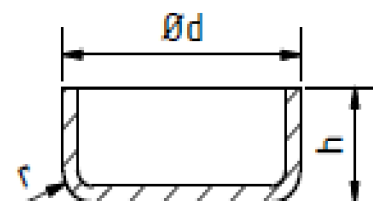
$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_v}{\pi}} \quad (2.3)$$

kde: D_0 – průměr přístřihu [mm]



Obr. 11 Rozdělení výtazku [28]

- Výpočet vzorcem – pomocí vzorce, který vznikl ze vzorců pro výpočet základních rotačních ploch. Na obrázku 12 jsou zakótované parametry, které vstupují do vzorce. Počítáním pomocí tohoto vzorce vzniká chyba, jelikož neuvažujeme zaoblení a prolis dna. Vzorce pro jiné tvary jsou umístěny v příloze 1.



Obr. 12 Výtazek pro výpočet [30]

$$D_0 = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} \quad (2.4)$$

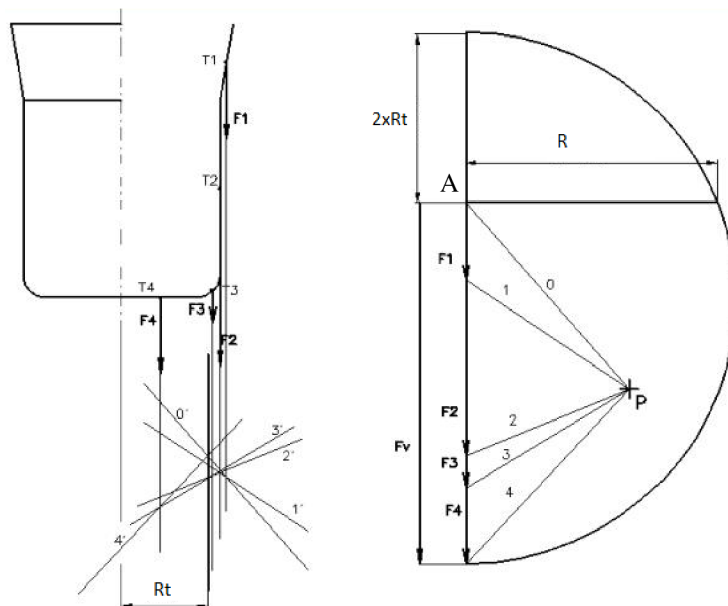
kde: d – průměr výtazku [mm]
 h – výška výtazku [mm]

- software – ve vhodném programu je vytvořen model výtazku. Program dokáže vypočítat jeho vlastnosti, jako objem, povrch, hmotnost a další. Jestliže je znám objem výtazku, tak se dále postupuje podle zákona konstantního objemu a průměr se ze známe plochy stanoví ze vztahu (2.3)
- Graficky – pomocí Guldinovy věty, jedná se o nejpřesnější metodu, lze postupovat grafickým způsobem nebo grafickoanalytickým způsobem. Znění Guldinovy věty: „Plocha rotačního tělesa, vytvořeného otáčením rovinné křivky L kolem osy rotace, se rovná součinu délky křivky a dráhy jejího těžiště při rotaci“.

Postup sestavení grafické konstrukce je vztažen k ilustrativnímu obrázku 13:

- křivka opisující povrch výtazku se rozdělí na jednotlivé části ‘ T_i ’,
- u každé z částí se nalezne těžiště, jednotlivými těžišti se vedou svisle rovnoběžky,

- bokem se sestrojí svislá přímka, na kterou se popořadě vynesou jednotlivé složky 'Fi', které představují délku jednotlivých částí 'Ti', okraje každé složky jsou spojeny pólými úsečkami (0 až 4) s libovolně zvoleným pólem 'P',
- následně jsou pólové úsečky přeneseny do prvního obrazce a je sestaven mnohoúhelník, průsečík okrajových pólových úseček, tedy úsečky 0 a 4 udává polohu těžiště, je tedy i známá velikost 'Rt',
- dvojnásobek velikosti 'Rt' je nanesen za úsečku 'Fv' v druhém obrazci, je sestrojena půlkružnice a kolmice v bodě 'A' na úsečku 'Fv', která protne půlkružnici a vznikne úsečka představující poloměr přístříhu s délkou 'R'.



Obr. 13 Grafické řešení [19]

2.2 Počet tažných operací [6], [8], [20], [30]

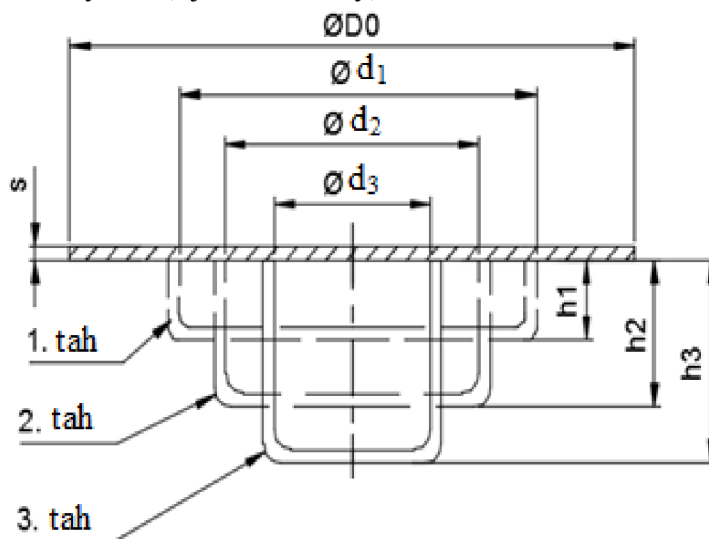
Mělké součásti lze většinou táhnout v jedné operaci, naopak při tažení hlubokých součástí bývá zapotřebí, použít tažení ve více operacích. Zda výtažek půjde táhnout jednou operací ovlivňuje několik faktorů, jako materiál výtažku, jeho rozměry, složitost tvaru a tloušťka stěny. Počet tažných operací se určuje pomocí součinitele tažení. V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty mezních součinitelů tažení pro válcové ocelové nádoby. V případě, kdy hodnota součinitele je nižší než doporučená hodnota, tak výtažek nejde zhotovit v jedné operaci a musí být tažen ve dvou nebo více operacích. Průběh víceoperačního tažení je znázorněn na obrázku 14, kde lze vidět, jak se mění průměr a hloubka výtažku.

Plasticita materiálu není nekonečná, každým dalším stupněm tažení se snižuje. Počet tažných operací vychází z celkového součinitele tažení:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \dots \quad (2.5)$$

kde: m_c – celkový součinitel tažení

m_i – součinitel tažení pro jednotlivé operace



Obr. 14 Tažné operace [20]

Z pravidla po třetí operaci se materiál rekrytalizačně žihá, čímž materiál získá potřebné vlastnosti pro další tahy. Součinitel tažení pro jednotlivé operace se spočítá:

$$m_i = \frac{d_i}{d_{i-1}} \quad (2.6)$$

kde: m_i – součinitel tahu i

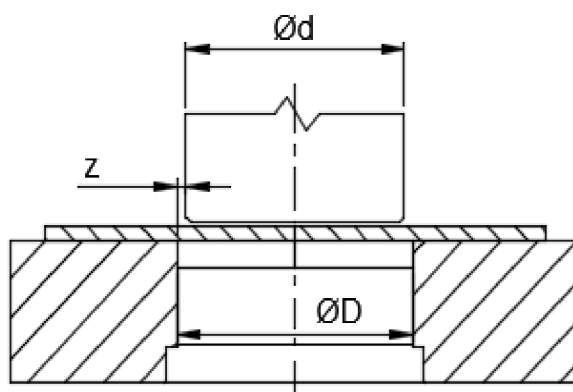
d_i – průměr výtažku pro tah i [mm]

Tab. 2 Součinitele tažení [20]

Tažná operace	Součinitel tažení	Poměrná tloušťka polotovaru $s/D.100$					
		2,0-1,5	1,5-1,0	1,0-0,6	0,6-0,3	0,3-0,15	0,15-0,08
1	m_1	0,5	0,53	0,55	0,58	0,6	0,63
2	m_2	0,75	0,76	0,78	0,79	0,8	0,82
3	m_3	0,78	0,79	0,8	0,81	0,82	0,84
4	m_4	0,8	0,81	0,82	0,83	0,85	0,86
5	m_5	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88

2.3 Tažná mezera [8], [20], [30]

Vůle mezi tažníkem a tažnicí se nazývá tažná mezera, označuje se písmenem ‘z’, jak je možno vidět na obrázku 15. Tažná mezera je o málo větší než tloušťka tvářeného plechu. Mezera musí mít ideální velikost, protože když je mezera malá, tak je zapotřebí větší tažná síla a dochází k zadírání, v krajním případě může dojít i k utržení dna. Naopak v případě, kdy je vůle mezi tažníkem a tažnicí příliš velká dochází ke zvlnění výtažku.



Obr. 15 Tažná mezera [30]

V případě, kdy je třeba získat přesný výtažek se provádí kalibrace. Tažnou mezeru lze určit více způsoby:

- Dle ČSN – se doporučené hodnoty počítají:

- pro první operaci:

$$z = (1,2 \div 1,3) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.7)$$

kde: z – tažná mezera [mm]

s – tloušťka plechu [mm]

- pro následující operace

$$z = (1,1 \div 1,2) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.8)$$

- Hodnoty dle tabulky

Tab. 3 Tažná vůle [30]

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

2.4 Volba přídržovače [6], [20]

Přídržovač je přídavné zařízení v tvářecím nástroji, které má za úkol zabránit zvlnění výtažku. Při tažení mělkých součástí z tlustého plechu většinou přídržovač není vůbec potřeba. Tažné nástroje jsou tedy konstrukčně jednodušší a levnější. Naopak při tažení hlubokotažných plechů do tloušťky 0,5 mm se přídržovač používá vždy. Zda má být použit přídržovač, lze určit z následujících vztahů:

- Podle Freidlinga z poměrné tloušťky

$$\Delta s = \left(\frac{s_o}{D_o} \right) \cdot 100 \quad (2.9)$$

kde: s_o – výchozí tloušťka materiálu [mm]

Pokud poměrná tloušťka Δs je menší jak 1,5, je nutné použít přídržovač. Pokud je vyšší jak 2, přídržovač nemusí být použit. V případě, kdy je Δs mezi 1,5 a 2, je nutné ověřit, zda má být přídržovač použit.

- Podle ČSN 22 7301

$$\alpha = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s_o}}{\sqrt[3]{D_o}} \right) \quad (2.10)$$

kde: z – materiálová konstanta (pro hlubokotažnou ocel $z = 1,9$)

Vyjde-li $\alpha < 100 \cdot d/D_o$ jedná se o mělké tažení a je možné táhnout bez přídržovače. Ovšem pokud je $\alpha \geq 100 \cdot d/D_o$, je nutné táhnout s přídržovačem. V dalších operacích musí být přídržovač použit je-li $d_i/d_{i-1} < 0,9$

- Podle Šofmana

$$D_o - d \leq 18 \cdot s_o \quad (2.11)$$

V případě, kdy je tento vztah splněný, je možné táhnout bez přídržovače

2.5 Výpočet síly a práce [6], [8], [20], [30]

Aby se z rovinného přístřihu stal výtažek, musí být tažidlu dodána určitá síla, ta se označuje jako celková síla, která se skládá ze složky tažné, přídržovací, popřípadě vyhazovací síly.

- Výpočet celkové síly (bez uvážení vyhazovací síly):

$$F_c = F_t + F_p \quad (2.12)$$

kde: F_c – celková síla [N]

F_t – tažná síla [N]

F_p – síla přídržovače [N]

- Tažná síla se spočítá z napjatostních poměrů:

$$F_t = \pi \cdot d \cdot s_o \cdot \sigma_v \quad (2.13)$$

kde: F_t – tažná síla [N]

σ_v – tahové napětí [MPa]

Tahové napětí je ovšem obtížné určit, proto se používá rychlejší a jednodušší metoda v podobě empirického vzorce, kde se vychází z kritické síly na utržení dna.

- Výpočet kritické síly:

$$F_k = \pi \cdot d \cdot s_o \cdot R_m \quad (2.14)$$

kde: R_m – mez pevnosti v tahu [MPa]

- Skutečná tažná síla je však menší, spočítá se pomocí součinitele tažení z kritické síly jako:

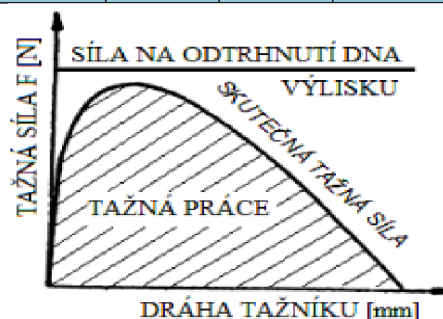
$$F_t = C \cdot \pi \cdot d \cdot s_o \cdot R_m \quad (2.15)$$

kde: C – součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení s přihlédnutím k poměrné tloušťce, hodnoty součinitele jsou uvedeny v tabulce 4

Tab. 4 Hodnoty součinitele C [20]

$m = d/D_o$	0,55	0,60	0,65	0,70	0,80
C	1,00	0,86	0,72	0,60	0,40

Tažná síla se v závislosti na přetvoření mění. Největší je na počátku, kdy se rovinný polotovár přetváří do dutého tělesa, dále už má klesající tendenci, jak lze vidět na obrázku 16, kde je graf závislosti na dráze tažníku.



Obr. 16 Tažná síla a práce [6]

- Síla působící na přidržovač:

$$F_p = S \cdot p \quad (2.16)$$

kde: F_p ... síla přidržovače [N]

S ... styková plocha přidržovače a přístřihu [mm²]

p ... tlak přidržovače [MPa], viz tab. 5

Tab. 5 Vybrané velikosti doporučených tlaků [30]

Tloušťka taženého materiálu [mm]	Tlak přidržovače [MPa]			
	tažený materiál			
	ocelový plech		mosaz	hliník
	tvrdý	hlubokotažná		
0,6	2,8	2,0 až 2,4	1,9	1,45
1	2,7	1,8 až 2,3	1,8	1,4
2	2,6	1,8 až 2,1	1,7	1,3

Síla působící na přidržovač musí být dostatečně velká, aby nedocházelo k zvlnění, ale zase nesmí být moc velká, protože by bránila vtahování přístřihu do tažnice. Její velikost závisí především na druhu a tloušťce tvářeného materiálu.

- Tažná práce

$$A = \frac{F_c \cdot h \cdot c}{1000} \quad (2.17)$$

kde: A ... tažná práce [J]

h ... hloubka tažení [mm]

c ... koeficient (pro tažení s kalibrací $c = 0,8$, bez kalibrace $c = 0,66$)

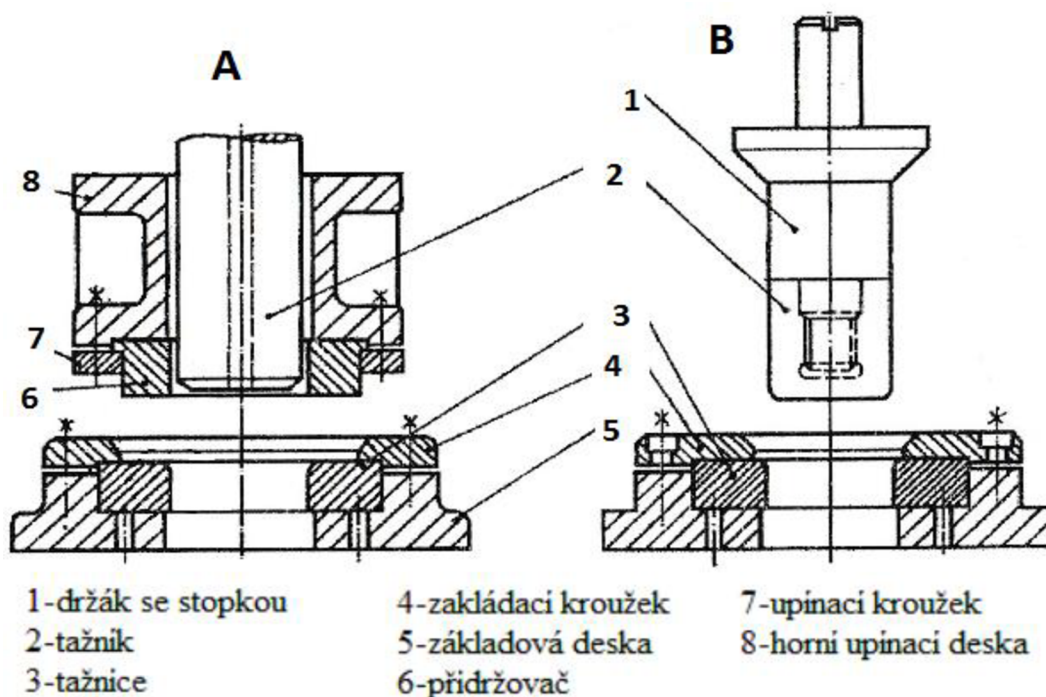
Tažná práce odpovídá ploše pod křivkou skutečné tažné síly, viz obr. 19, tedy je závislá na tažné síle a dráze tažníku.

2.6 Konstrukce tažného nástroje [6], [7], [20]

Tažný nástroj, tak zvané tažidlo, je zařízení, díky kterému dochází k přetvoření plechu ve výtažek. Skládá se z několika částí, které je možné rozdělit do dvou skupin, hlavní součásti a konstrukční součásti. Mezi hlavní součásti patří tažník, tažnice, přídržovač a vyhazovač. Mezi konstrukční prvky spadá spojovací materiál, základové desky, opěrné desky, vodící sloupky, které zajišťují souosost mezi pohyblivou a pevnou částí nástroje, zakládací kroužek, pomocí kterého je polotovar usazen ve správné poloze. Doporučené materiály pro výrobu jednotlivých částí jsou k nalezení v tabulce 6.

Tažidla se liší podle toho, jestli se používají pro první tah, druhý tah nebo poslední tah. Lze je rozdělit podle složitosti konstrukce na:

- jednoduché – tažidla určená pro jeden tah, na obrázku 17 A lze vidět tažidlo, které se používá pro první tah. Je tam zakládací kroužek, pro uložení přístříhu a přídržovač je rovný. V druhých a dalších operacích je zakládací kroužek zkosený pro uložení součástí z předchozí operace. Přídržovač je zkosený, nebo není použit, jako na obrázku 17 B
- postupové – nástroj, v němž se součást postupně táhne v několika krocích odstupňovaných za sebou,
- sdružené – v nástroji je kromě tažení vykonáváno ještě třeba stříhání,
- sloučené – umožňují provést více tažných operací při jednom zdvihu.



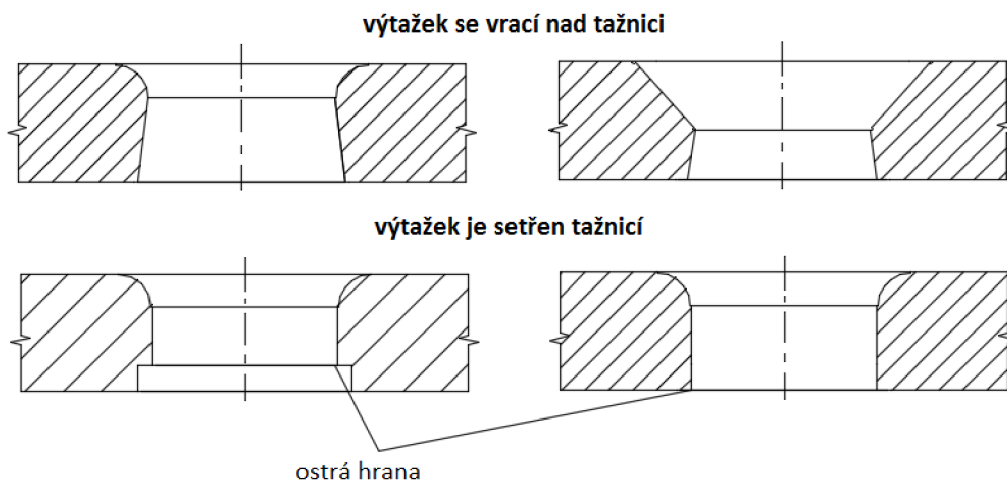
Obr. 17 Tažný nástroj [7]

Tab. 6 Doporučené materiály jednotlivých částí [7]

část tažidla	materiál	HRC
tažník, tažnice	19 191, 19 436, 12 061, 42 24 56	58 až 63
základové desky	42 24 56, 42 26 61.2	
zakládací kroužky	ocel 11 600	
přídržovače	19 191, 19 436, 42 24 56	61 až 63

2.6.1 Tažnice [7], [20]

Tažnice pro kruhové výtažky má tvar prstenu. Jsou dva druhy provedení tažnic a to tažnice celistvé nebo vložkové. Pokud je třeba, aby hotový výtažek (bez příruby) propadl nástrojem do bedny, je na spodku tažnice zřízená stírací hrana, o kterou se tažená součást zasekne a je setřena z tažníku. Na obrázku 18 jsou různé typy tažnic.



Obr. 18 Typy tažnic[7]

Nejdůležitějším parametrem tažnice je poloměr zaoblení tažné hrany R_{tc} . Zaoblení má velký vliv na kvalitu a rozměrovou přesnost výtažku. Pro jednooperační tažení doporučuje norma ČSN 22 73 01 poloměr tažné hrany $R_{tc} = (6 \div 10) \cdot s_o$ [mm]

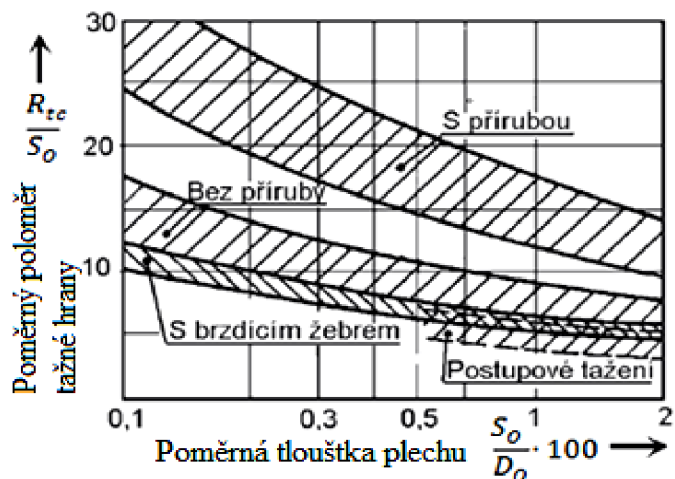
Pro první tah se velikost vypočte dle:

$$R_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{s_o \cdot (D_o - d_1)} \quad (2.18)$$

kde: R_{tc} – poloměr zaoblení

[mm]

Velikost poloměru zaoblení tažné hrany tažnice lze také odečíst z grafu, viz obr. 19. Na vodorovné ose je znázorněna poměrná tloušťka plechu, na svislé ose je poměrný poloměr tažné hrany. Jestliže je známa geometrie a způsob tažení, lze z diagramu vyčíst určité rozpětí hodnot, z kterého po odečtení na svislé ose vyplyne poměr mezi R_{tc} a S_o , z něhož je následně vyjádřeno samotné R_{tc} .



Obr. 19 Graf ke stanovení R_{tc} [7]

2.6.2 Tažník [6], [7]

Tažník je jedna z hlavních částí tažného nástroje. Jeho vnější průměr udává vnitřní průměr výtažku. Tažník je zakončen stopkou, pomocí které je upnut do beranu lisu. Podle velikosti taženého průměru se konstruuje, jako celistvý (z jednoho kusu), pro malé tažníky a nebo dělený pro velké tažníky. Jednotlivé konstrukční provedení jsou na obrázku 20. Důležitým prvkem tažníku je odvodušovací kanál, který zamezuje tvorbě podtlaku při zpětném pohybu, čímž nedojde k přisání výtažku na tažník. Poloměr zaoblení tažníku R_{tu} pro první a následující operace bývá stejný jak poloměr zaoblení tažné hrany.

Minimální poloměr zaoblění R_{tv} pro poslední tah se určí z následujících vztahů:

- výtažky do 100 mm

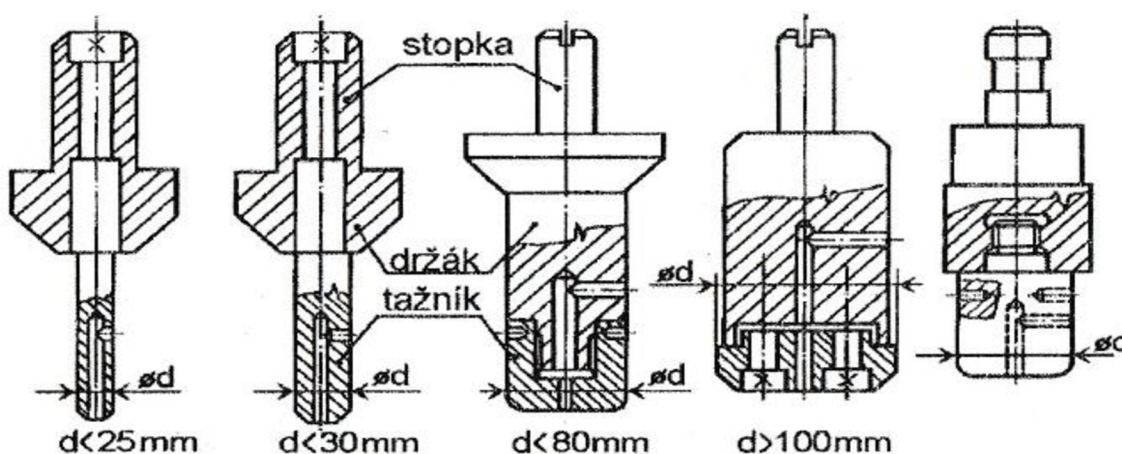
$$R_{tv} = (3 \div 4) \cdot s_o \text{ [mm]} \quad (2.19)$$

- výtažky 100 až 200 mm

$$R_{tv} = (4 \div 5) \cdot s_o \text{ [mm]} \quad (2.20)$$

- výtažky nad 200 mm

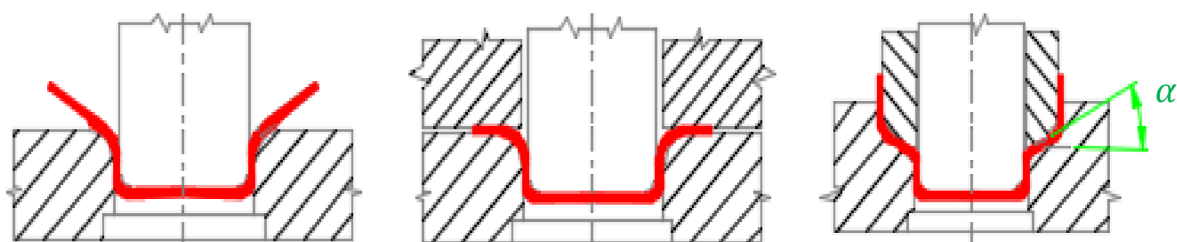
$$R_{tv} = (5 \div 7) \cdot s_o \text{ [mm]} \quad (2.21)$$



Obr. 20 Konstrukce tažníku [7]

2.6.3 Přidržovač [6], [7]

Tvar přidržovače se odvíjí podle toho, jestli je použit pro první tah nebo pro následující tahy. Přidržovač pro první tah má tvar prstence a rovnou přidržovací plochu. Přidržovač pro následující tahy má přidržovací plochu zkosenou pod úhlem $\alpha = 35^\circ$ až 45° . Na obrázku 21 je znázorněno tažení bez přidržovače, s přidržovačem pro první tah a následující tahy. Síla působící na přidržovač může být vyvolána několika způsoby, samostatným beranem (dvojčinné a vícečinné lisy), prostřednictvím pružin nebo pomoci přidavného zařízení ovládaného hydraulicky nebo pneumaticky.



bez přidržovače

s přidržovačem pro 1. Tah a pro následující tahy

Obr. 21 Přidržovače [7]

2.7 Stroje [1], [9], [21], [26]

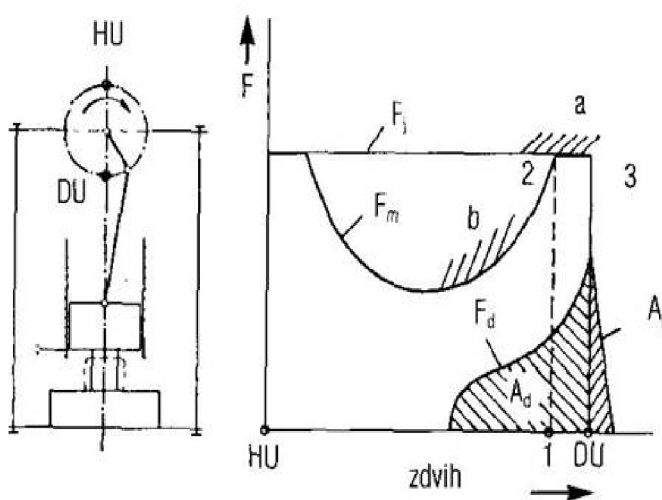
Stroje, které se používají pro tažení, jsou lisy. Je mnoho kritérií, podle kterých je lze rozdělit, běžně se však dělí podle konstrukce nebo častěji podle druhu mechanismu na hydraulické a mechanické. Dle konstrukce se dělí na:

- jednočinné – lis je tvořen pouze jedním beranem, hodí se pro tažení bez přidržovače,

- dvojčinné – tento typ lisu je vhodný pro tažení složitějších výtažku s přidržovačem, jelikož stroj disponuje přidržovacím a tažným beranem nebo tažným beranem a spodním přidržovačem, přičemž práce jednotlivých beranů na sobě není závislá,
- trojčinné – lis, který má vnitřní tažný beran, vnější přidržovací a spodní přidržovač, hodí se pro složité výtažky,
- postupové – lis pro víceoperační tažení,

- Mechanický lis – princip spočívá v přenesení rotačního pohybu, který vykonává motor se setrvačnickem na přímočarý vratný pohyb beranu, který je zprostředkován pomocí klikového mechanismu. Průběh síly a rychlost nejsou konstantní, jsou závislé na úhlu natočení klikového mechanismu. Z obrázku 22 jde vyčíst, že největší rychlosti beran dosahuje přesně mezi horní a dolní úvratí, ovšem zde je nejmenší síla.

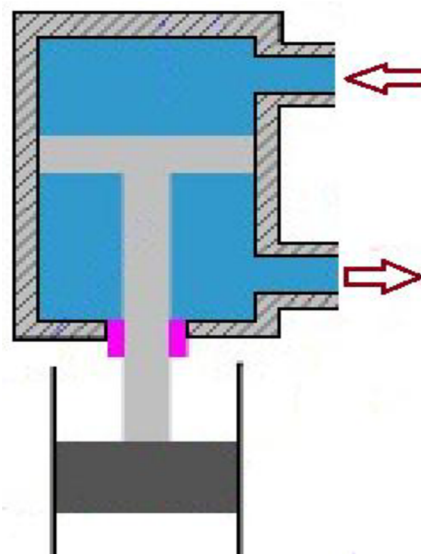
Výhody těchto lisů jsou jednoduchá konstrukce, velká výrobnost a oproti hydraulickým nižší pořizovací cena. Nevýhody jsou proměnlivá rychlost a síla beranu, omezený zdvih, který není možné regulovat a možné přetížení, kterému však lze zabránit pojistkou.



Obr. 22 Mechanický lis [26]

- Hydraulické lisy – fungují na principu Pascalova zákona, tedy tlak vyvolaný vnější silou na kapalinu v uzavřené nádobě je ve všech místech stejný. Kapalinou je zde hydraulický olej. Tlak je vyvozen pomocí olejového čerpadla, které posílá olej nad píst, čímž pádem jde píst směrem dolů. Píst je propojený s beranem lisu, viz obrázek 23.

Přednost lisů je ve stálé rychlosti a síle beranu, díky čemuž bývá využíván pro hluboké tažení. Dokáží vyvinout větší sílu v porovnání s klikovými lisy a to až 10^3 MN. Umožňují proměnlivý zdvih beranu (délka se omezuje dorazem) a jeho rychlost je možné plynule regulovat. Naopak do nevýhod spadá pomalejší chod beranu a s tím spojená menší výrobnost, složitější konstrukce, těsnění kapaliny a vyšší pořizovací náklady.



Obr. 23 Hydraulický lis [9]

2.8 Maziva [17], [25], [30]

Při tažení kovů vzniká mezi taženým materiálem a nástrojem velké tření. Aby bylo co nejvíce potlačeno, používají se vhodná maziva. Snížení tření znamená snížení potřebné tažné síly, menší opotřebení tvářecího nástroje, a také zabránění zadírání a poškrábání taženého plechu, což přináší lepší povrch součástí.

Mazivo musí splňovat řadu předpokladů:

- tažená plocha musí být pokryta dokonalým, celistvým filmem maziva, který musí odolat vysokým tlakům
- nesmí způsobovat korozi povrchu, nebo jiné změny (např. obarvení)
- musí být ekologicky nezávadné
- jeho nanesení musí být jednoduché a rychlé
- nesmí vysychat a nesmí se měnit jeho vlastnosti vlivem teploty
- musí jít dobře odstranit z povrchu taženého materiálu
- náklady na jeho pořízení by měly být co nejnižší

Existují dva základní druhy maziv, a to čistá kapalná maziva, která se používají pro nižší tlaky, nebo maziva s plnidlem (přidanou tuhou složkou) používané pro vysoké tlaky. Jako plnidlo se používá: mastek, plavená křída, grafit, oxid zinečnatý. Pro nejnáročnější podmínky se používají maziva s grafitem. Maziva se nanáší buď za pomoci štětce (válečku) nebo pomoci sprejů.

Pro lehké tahy oceli se používá řepkový olej. Na těžší tahy musí být použito mazivo s plnidlem, například směs řepkového oleje a plavené křídly. Jako mazivo pro těžké tahy se používá směs oleje a chlóru.

2.9 Technologičnost [20], [30]

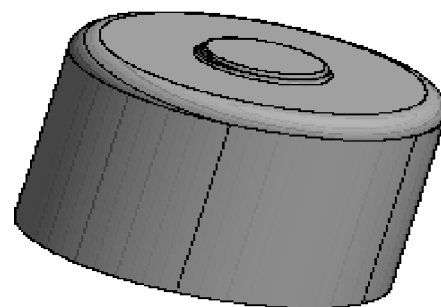
Technologičnost znamená přiřadit výrobku pokud možno co nejideálnější vlastnosti z hlediska jednoduchosti výroby se zachováním potřebné jakosti. Dobrá technologičnost se odrazí na nízkých výrobních nákladech. Přesnost výtažku se pohybuje ve stupni IT 11 až IT 12, závisí to především na anizotropii plechu, přesnosti, konstrukci a opotřebení nástroje. Vyšší přesností je možné dosáhnout kalibrací vyráběné součástí, její přesnost se poté pohybuje v rozmezí IT 7 až IT 8. Pro hospodárnou, jednoduchou, a rychlou výrobu musí být dodržena určitá pravidla, jako:

- vyhnout se ostrým přechodům
- navrhovat pokud možno rotační součásti s kolmým dnem na plášť
- nekonstruovat výtažek s přírubou (pokud si to okolnosti nevyžadají)
- volit co největší poloměry zaoblení
- zvolit co nejmenší tloušťku plechu
- navrhnout co nejméně hluboký výtažek
- vybrat vhodný materiál, jak z finančního, tak i technologického hlediska
- nepředepisovat zbytečné rozměrové a geometrické tolerance
- klást malé požadavky na povrch

Z obecných požadavků hraje velkou roli také výrobní série. Výroba by měla odpovídat možnostem podniku, jak z hlediska strojního vybavení, tak z hlediska kvalifikovaných pracovníků.

3 NÁVRH VÝROBY

Vyráběná součást je válcového tvaru bez příruby s válcovým prolisem ve dně, její tvar lze vidět na obrázku 24. Tloušťka stěny je konstantní 1 mm, vnitřní průměr je 150 mm a výška 105 mm. Výkres součásti s dalšími rozměry je umístěn v příloze. Z hlediska výrobních tolerancí je předepsána pouze souosost díry s pláštěm výtažku, na drsnost není kladen žádný důraz. Zvolená technologie pro výrobu je konvenční způsob tažení, počítá se s předpokládanou sérií 20 000 kusů ročně. S přihlédnutím k zásadám technologičnosti a porovnání s řešeným dílcem je patrné, že poloměr v rohu je dostatečný. Dno je kolmé na plášť, výtažek nemá žádné ostré přechody, požadavky na přesnost a povrch jsou malé. Vyráběná součást tedy vyhovuje technologičnosti.



Obr. 24 3D kryt

3.1 Velikost přístřihu

Nejdříve je třeba stanovit velikost přístřihu, z kterého bude součást vyráběna. Existuje několik variant, jak jej vypočítat:

- Vypočet velikostí přístřihu pomocí rovnosti ploch. Výtažek je pro jednoduchost rozdělený na plochy, které se dají lehce spočítat, viz obrázek 25. Součet těchto ploch udává celkovou plochu součásti, která se následovně dosadí do vztahu (2.3) a vyjde průměr přístřihu.

$$S_v = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6$$

$$S_v = 42882,74 + 7043,56 + 11875,22 + 518,61 + 479,13 + 1809,56$$

$$S_v = 64\,611,82 \text{ mm}^2$$

kde: plocha pláště výtažku:

$$S_1 = \pi \cdot d \cdot h = \pi \cdot 150 \cdot 91$$

$$S_1 = 42\,882,74 \text{ mm}^2$$

plocha zaoblení mezi pláštěm a dnem:

$$S_2 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot (d - 2 \cdot R) \cdot R + 4 \cdot R^2)$$

$$S_2 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot (150 - 2 \cdot 10) \cdot 10 + 4 \cdot 10^2) = 7\,046,56 \text{ mm}^2$$

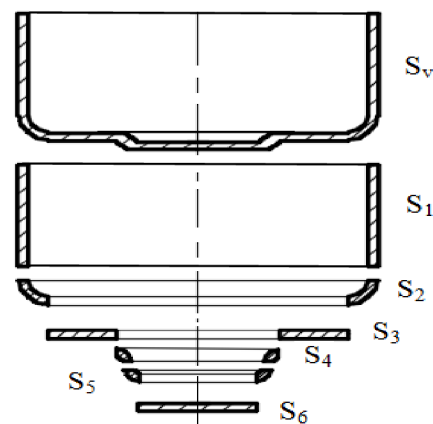
plocha prstence dna:

$$S_3 = \frac{\pi \cdot (d - R)^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_a^2}{4} = \frac{\pi \cdot 132^2}{4} - \frac{\pi \cdot 48^2}{4} = 11\,875,22 \text{ mm}^2$$

plocha zaoblení mezi prstencem a prolisem:

$$S_4 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot (d_b - 2 \cdot R) \cdot R + 4 \cdot R^2)$$

$$S_4 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot (54 - 2 \cdot 2) \cdot 2 + 4 \cdot 2^2) = 518,61 \text{ mm}^2$$



Obr. 25 Rozdělení na plochy

plocha zaoblení prolisu:

$$S_5 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot (d_c - 2 \cdot R) \cdot R + 4 \cdot R^2)$$

$$S_5 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot (50 - 2 \cdot 2) \cdot 2 + 4 \cdot 2^2) = 479,13 \text{ mm}^2$$

plocha dna:

$$S_6 = \frac{\pi \cdot d_d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 48^2}{4} = 1\,809,56 \text{ mm}^2$$

Průměr přístřihu dle vztahu (2.3)

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 64611,82}{\pi}} = 286,90 \text{ mm}$$

Je zbytečné počítat s takto přesným číslem, velikost bude navyšována o přídavky, pro další výpočty je volená zaokrouhlená hodnota $D_0 = 287 \text{ mm}$

- Výpočet průměru polotovaru pomocí vzorce (2.3), který neuvažuje zaoblení a prolis dna, tento způsob je tedy méně přesný.

$$D_0 = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} = \sqrt{150^2 + 4 \cdot 150 \cdot 105} = 292,40 \text{ mm}$$

Je zbytečné počítat s takto přesným číslem, proto $D_0 = 292 \text{ mm}$

- Výpočet softwarem, který vypočetl plochu výtažku $S_v = 64\,240,16 \text{ mm}^2$. Průměr se vypočte dle vztahu (2.3).

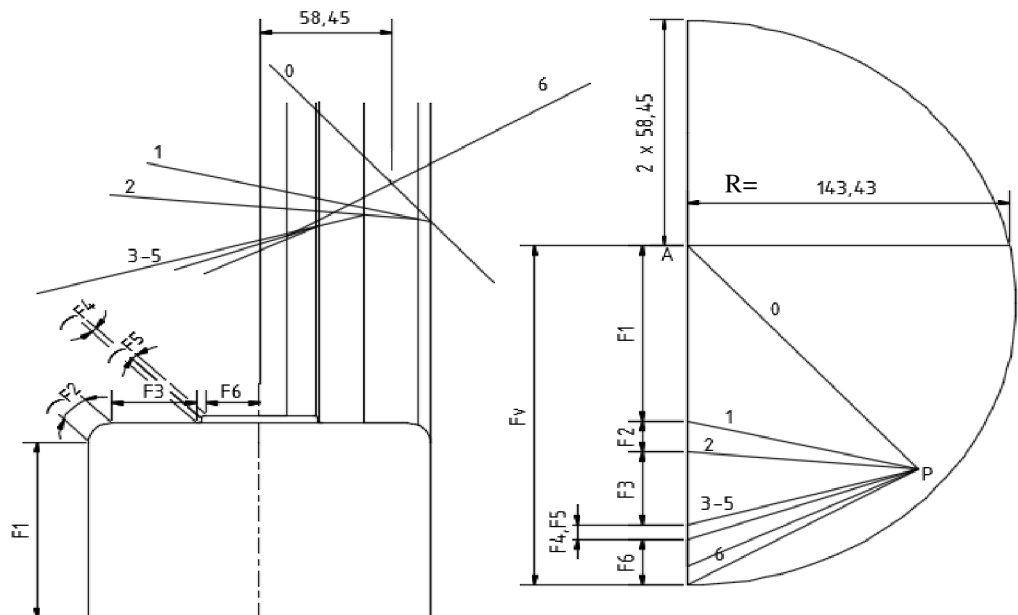
$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 64240,99}{\pi}} = 285,99 \text{ mm}$$

Pro další výpočty je výsledek možné zaokrouhlit na $D_0 = 286 \text{ mm}$

- Grafická metoda – velikost poloměru přístřihu odpovídá délce úsečky, která vychází z bodu 'A' a protíná půlkružnici.

$$D_0 = 2 \cdot R = 2 \cdot 143,43 = 286,86 \text{ mm}$$

Velikost poloměru přístřihu je uvažována $D_0 = 287 \text{ mm}$.



Obr. 26 Grafická metoda

Velikosti vypočtených přístřihů se liší pouze nepatrně, v některých případech byl prolis zanedbán, v některých byl započítáván, rozdíl mezi těmito možnostmi je nepatrný. Pro další výpočty se uvažuje hodnota $D_o = 287$ mm. Ještě je však třeba vypočtenou plochu navýšit o přídavek na odstřížení, který je 3% pro jednooperační tažení, přičemž pro další tahy se přidává 1%. Než bude určen výsledný průměr přístřihu, musí být tedy vypočten počet tažných operací:

- Součinitel tažení pro první operaci:

$$\frac{S_0}{D_o} \cdot 100 = \frac{1}{287} \cdot 100 = 0,35$$

Z tabulky 3 je tedy volen interval $0,6 \div 0,3$, jemuž odpovídá součinitel tažení $m_1 = 0,58$.

Vyrobitelný rozměr výtažku v první operaci

$$d_1 = m_1 \cdot D_o = 0,58 \cdot 287 = 166,46 \text{ mm}$$

Výsledek je možné zaokrouhlit na celé větší číslo, tedy $d_1 = 167$ mm, ovšem z toho plyne, že výtažek není možné sestrojít v jedné operaci.

- Součinitel tažení pro druhou operaci:

$$\frac{S_0}{d_1} \cdot 100 = \frac{1}{167} \cdot 100 = 0,60$$

Z tabulky 3 je tedy volen interval $0,6 \div 0,3$ (nezaokrouhlená hodnota poměru tloušťky vyšla 0,598), jemuž odpovídá součinitel tažení $m_2 = 0,79$.

Vyrobitelný rozměr výtažku v první operaci

$$d_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,79 \cdot 167 = 131,93 \text{ mm}$$

Výsledek je možné zaokrouhlit na hodnotu $d_2 = 132$ mm, z čehož plyne, že součást bude zhotovena ve dvou tažných operacích

Výsledná velikost přístřihu, kde je průměr navýšen o přídavek 4 % z důvodu tažení ve dvou operacích

$$D_o = 287 \cdot 1,04 = 298,48 \text{ mm}$$

Vypočtený průměr rondule je možné zaokrouhlit na celé větší číslo, jeho velikost bude tedy $D_o = 299$ mm.

3.2 Nástřihový plán a procentní využití materiálu [14], [32]

Plech pro vystřihování přístřihu může být dodáván v podobě svitku, nebo tabulí. Svitek je varianta pro hromadnou výrobu, při jeho použití musí být součástí provozu odvíjecí a rovnací zařízení. Bohužel toto zařízení není součástí podniku a nebude dokupováno, proto tato možnost nebude uvažována a součást bude vyráběna z tabulí plechu.

Stanovení velikosti kroku, můstku a okrajů pásu:

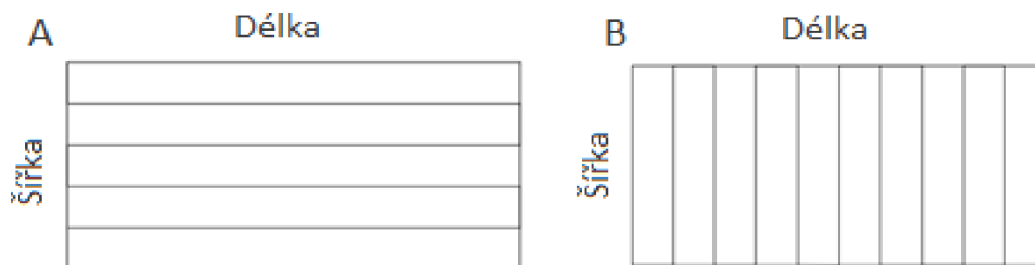


Obr. 27 Velikost kroku, můstku a okrajů [32]

Z přílohy 2 byly dle tloušťky plechu odečteny následující rozměry okraje a můstku.

$$\begin{aligned} e &= 2,5 \text{ mm} & f &= 5,2 \text{ mm} & K &= e + A = 2,5 + 299 = 301,5 \text{ mm} \\ A &= 299 \text{ mm} & P &= 2 \cdot f + A = 2 \cdot 5,2 + 299 = 309,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Procentuální využití materiálu – bude spočteno pro dva druhy tabulí a to o rozměrech 1 x 1 000 x 2 000 a 1 x 1 500 x 3 000. Z nichž bude pro výrobu vybrána ta výhodnější. Tabule plechu mají delší a kratší rozměr, jsou tedy dvě možnosti, jak můžou být rozřezány, viz obrázek 28.



Obr. 28 Varianty rozřezání tabule plechu

- Tabule plechu 1 x 1 000 x 2 000
 - Varianta rozřezání A, tedy délka pásu 2 000 mm.
 - Počet pásů z tabule:
 - $$n_{pa} = \frac{1000}{P} = \frac{1000}{309,4} = 3,23 \text{ dílů}$$
 - Jsou zvoleny 3 pásy, protože to musí být uzavřený počet.
 - Počet dílů na pás:
 - $$n_{pda} = \frac{2000}{P} = \frac{2000}{301,5} = 6,63 \text{ dílů}$$
 - Je zvoleno 6 dílů, protože to nemůže být neucelený počet.
 - Počet dílů z tabule:
 - $$n_{tda} = n_{pa} \cdot n_{pda} = 3 \cdot 6 = 18 \text{ dílů}$$
 - Varianta rozřezání B, pás dlouhý 1 000 mm.
 - Počet pásů z tabule:
 - $$n_{pb} = \frac{2000}{309,4} = \frac{2000}{P} = 6,46 \text{ pásů}$$
 - Je zvoleno 6 pásů, protože to musí být ucelený počet.
 - Počet dílů na pás:
 - $$n_{pdb} = \frac{1000}{301,5} = \frac{1000}{K} = 3,31 \text{ dílů}$$
 - Jsou zvoleny 3 díly, protože to nemůže být neuzavřený počet.
 - Počet dílů z tabule:
 - $$n_{tdb} = n_{pa} \cdot n_{pda} = 6 \cdot 3 = 18 \text{ dílů}$$
 - Využití tabule 1 x 1 000 x 2 000 – pro obě varianty délek pásů vyšel stejný počet kusů na tabuli, procentuální využití jsou tedy shodná a není nutné je počítat pro obě varianty rozřezání zvlášť.

$$V_{t1} = \frac{n_{tda} \cdot \frac{\pi \cdot D_o^2}{4}}{\text{plocha tabule}} \cdot 100 = \frac{18 \cdot \frac{\pi \cdot 299^2}{4}}{1000 \cdot 2000} \cdot 100 = 63,19\%$$

- Tabule plechu 1 x 1 500 x 3 000
 - Varianta rozřezání B, pás dlouhý 1 500 mm.
Počet pásu z tabule:

$$n_{pb} = \frac{3\,000}{309,4} = 9,70 \text{ pásů}$$
 Je zvoleno 9 pásů, musí to být uzavřený počet.
Počet dílů na pás:

$$n_{pdb} = \frac{1\,500}{301,5} = 4,97 \text{ dílů}$$
 Jsou zvoleny 4 díly, protože to musí být uzavřený počet
Počet dílů z tabule:

$$n_{tdb} = n_{pa} \cdot n_{pda} = 9 \cdot 4 = 36 \text{ dílů}$$
 - Varianta rozřezání A, tedy délka pásu 3 000 mm.
Počet pásu z tabule:

$$n_{pa} = \frac{1\,500}{309,4} = 4,84 \text{ pásů}$$
 Jsou zvoleny 4 pásy, musí to být ucelený počet.
Počet dílů na pás:

$$n_{pda} = \frac{3\,000}{301,5} = 9,95 \text{ dílů}$$
 Je zvoleno 9 dílů, protože to nemůže být neuzavřený počet.
Počet dílů z tabule:

$$n_{tda} = n_{pa} \cdot n_{pda} = 4 \cdot 9 = 36 \text{ dílů}$$
 - Využití tabule 1 500 x 3 000 – pro obě varianty délek pásu vyšel stejný počet kusů na tabuli, využití materiálu je tedy shodné.

$$V_{t2} = \frac{n_{tda} \cdot \frac{\pi \cdot D_o^2}{4}}{\text{plocha tabule}} \cdot 100 = \frac{36 \cdot \frac{\pi \cdot 299^2}{4}}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = 56,17\%$$

Tab. 7 Souhrnné využití materiálu

Tabule[mm]	1 x 1000 x 2000		1 x 1500 x 3000	
Délka pásu [mm]	1 000	2 000	1 500	3 000
Počet pásu	6	3	9	4
Počet dílu na pás	3	6	4	9
Počet dílů z tabule	18	18	36	36
Využití materiálu [%]	63,19		56,17	
Počet tabuli na sérii	1 112		556	

Pro výrobu bude použita tabule o rozměru 1 x 1000 x 2000, kvůli lepšímu využití materiálu, než u tabule 1 x 1500 x 3000, viz tabulka 7. U této tabule délka pásu nemá vliv na počet přístřihu, bude volena kratší varianta pásu, tedy dlouhého 1 000 mm, z důvodu lepší prostorové manipulace a nižší hmotnosti. Z jedné tabule je možno udělat 6 pásů, přičemž z každého pásu je možno vystříhnout 3 přístřihy.

3.3 Tažná mezera a volba přidržovače

Vůle mezi tažnicí a tažníkem se spočítána výpočtem dle ČSN nebo prostřednictvím hodnot, které udává tabulka 4.

- výpočet pro první tah dle vztahu (2.7), z intervalu volena hodnota 1,25:
$$z = 1,25 \cdot s = 1,25 \cdot 1 = 1,25 \text{ mm}$$
- výpočet pro druhý tah dle vztahu (2.8), z intervalu volena hodnota 1,15:
$$z = 1,15 \cdot s = 1,25 \cdot 1 = 1,15 \text{ mm}$$
- hodnota tažné vůle určená pomoci tabulky 4, pro tloušťku plechu 1 mm:
$$z = 1,2 \text{ mm}$$

Z porovnání těchto hodnot plyne, že velikost se liší o 0,05 mm u obou tahů. Pro oba tahy bude volena vůle dle ČSN, tedy 1,25 mm pro první tah a pro druhou operaci 1,15 mm.

V dalším kroku je důležité stanovit, zda bude třeba použít přidržovač. Řešení se provede dle základních přístupů:

- Podle Šofmana
 - pro první tah
$$D_o - d \leq 18 \cdot s_o$$
$$299 - 167 \leq 18 \cdot 1 \dots \text{rovnice neplatí, musí být použit přidržovač.}$$
 - pro druhý tah
$$d_1 - d_2 \leq 18 \cdot s_o$$
$$167 - 150 \leq 18 \cdot 1 \dots \text{rovnice platí, přidržovač nemusí být použit.}$$
- Podle Freidlinga
 - pro první tah
$$\Delta s = \left(\frac{s_o}{D_o}\right) \cdot 100 = \frac{1}{299} \cdot 100 = 0,33 \text{ mm}$$

Poměrná tloušťka je menší jak 1,5, přidržovač musí být použit.
 - pro druhý tah
$$\Delta s = \left(\frac{s_o}{d_1}\right) \cdot 100 = \frac{1}{167} \cdot 100 = 0,60 \text{ mm}$$

Poměrná tloušťka je menší jak 1,5, přidržovač musí být použit.
- Podle ČSN 22 7301
 - pro první tah
$$\alpha = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s_o}}{\sqrt[3]{D_o}}\right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{1}}{\sqrt[3]{299}}\right) = 87,52$$
$$87,52 \geq 100 \cdot 167/299 \dots \text{vztah platí, je nutné použít přidržovač.}$$
 - pro druhý tah
$$\frac{d_2}{d_1} < 0,9$$
$$\frac{150}{167} < 0,9$$
$$0,898 < 0,9 \dots \text{nerovnice platí, přidržovač musí být použit.}$$

Z výpočtu pomocí různých metod vyplývá, že pro oba tahy bude muset být přidržovač použit, i když Šofmanova metoda určila, že při druhé operaci nebude třeba. Důraz je kladen především na výsledky dle normy ČSN 22 7301 a s přihlédnutím k tomu, že jde o hluboký tah tenkého plechu je vhodné přidržovač použít.

3.4 Výpočet síly a práce

Do výpočtu síly je třeba zahrnout tažnou sílu, a pokud je použit přidržovač, tak i přidržovací. V případě krytu musí být zahrnutá přidržovací síla ve výpočtech pro oba tahy. Tažná síla se určí pomocí vztahu (2.15), kde R_m oceli 11 320 je v rozsahu 270 až 370 MPa. Pro materiál nebyly provedeny ověřovací zkoušky, je třeba počítat s nejhorší možnou variantou, uvažuje se tedy ta nejvyšší hodnota R_m . Součinitel C je odečten z tabulky 5. Pro výpočet přidržovače je nutné znát tlak, který na něj působí. Je odečten z tabulky 6 a jeho velikost je $p = 2$ MPa. Celková síla je součet tažné a přidržovací, viz vzorec (2.12), jelikož tažení bude probíhat ve dvou samostatných nástrojích, není nutné síly pro jednotlivé tahy sčítat. Tažná práce se určí z rovnice (2.17), kde $c = 0,66$, jelikož jde o tažení bez kalibrace.

- Pro první tah:

- Tažná síla:

$$F_{t1} = C \cdot \pi \cdot d_1 \cdot s_o \cdot R_m = 0,974 \cdot \pi \cdot 167 \cdot 1 \cdot 370 = 189\,071,92 \text{ N}$$

kde: $C = 0,974$

- Síla přidržovače:

$$F_{p1} = S_{p1} \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot (D_o^2 - d_1^2) \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot (299^2 - 167^2) \cdot 2 = 96\,622,82 \text{ N}$$

- Celková síla pro první tah:

$$F_{c1} = F_{t1} + F_p = 189\,071,92 + 96\,622,82 = 285\,694,74 \text{ N}$$

- Tažná práce:

$$A_{p1} = \frac{F_{c1} \cdot h \cdot c}{1000} = \frac{290\,741,83 \cdot 105 \cdot 0,66}{1000} = 19\,798,64 \text{ J}$$

- Pro druhý tah:

- Tažná síla:

$$F_{t2} = C \cdot \pi \cdot d_2 \cdot s_o \cdot R_m = 0,4 \cdot \pi \cdot 150 \cdot 1 \cdot 370 = 69\,743,36 \text{ N}$$

kde: $C = 0,4$

- Síla přidržovače:

$$F_{p2} = S_{p2} \cdot p = 6\,642,29 \cdot 2 = 13\,284,58 \text{ N}$$

kde: S_{p2} – plocha přidržovače spočítaná programem $S_{p2} = 6\,642,29 \text{ mm}^2$

- Celková síla pro druhý tah:

$$F_{c2} = F_{t2} + F_{p2} = 83\,027,94 \text{ N}$$

- Tažná práce:

$$A_{p2} = \frac{F_{c2} \cdot h \cdot c}{1000} = \frac{83\,027,94 \cdot 105 \cdot 0,66}{1000} = 5\,753,83 \text{ J}$$

Oba tahy budou probíhat na stejném stroji. Značný rozdíl mezi tažnou prací pro první operaci a pro druhou je způsoben tím, že v druhé operaci dochází k menšímu přetvoření než u první a přidržovač má znatelně menší styčnou plochu, stačí tedy, když na něj působí menší síla. Stroj bude tedy dimenzován na první sílu, jelikož je větší.

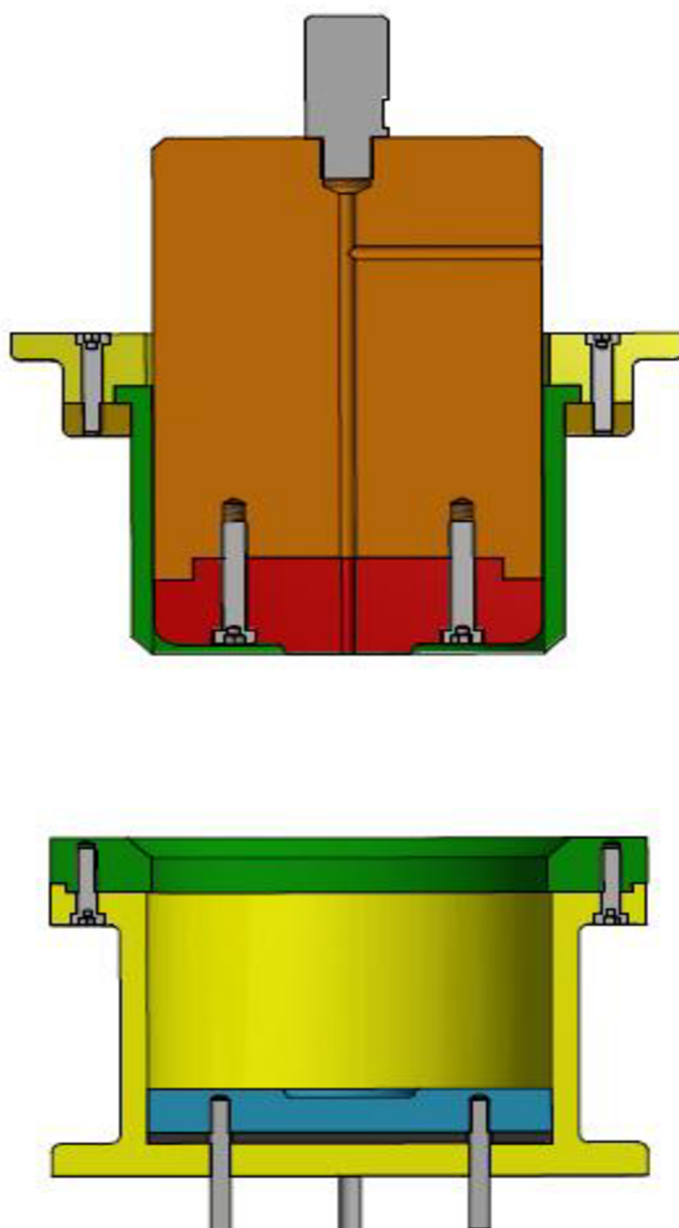
3.5 Návrh nástroje [7]

Kryt vzduchového filtru bude vyroben prostřednictvím dvou tahů, přičemž tažný nástroj je koncipován, jako dva samostatné nástroje pro každý tah. V první operaci bude zhotoven výtažek miskovitého tvaru o průměru 167 mm, v druhém tahu se zhotoví prolis a součást bude mít požadovaný průměr 150 mm. Po vytažení daného tvaru bude odstříhnut okraj výtažku a zhotovená díra ve dnu. Daná práce se zabývá pouze vytažením požadovaného tvaru a další operace již neřeší.

Jako vhodné mazivo se jeví nízkoviskózní olej na minerální bázi, který bude obsahovat aditiva a tuhé přísady a nebude obsahovat chlór. Má dobré antikorozi vlastnosti, což je důležité, jelikož materiál, z kterého je vyroben tažník i tažnice je na korozi náchylný, olejový film lze snadno odstranit.

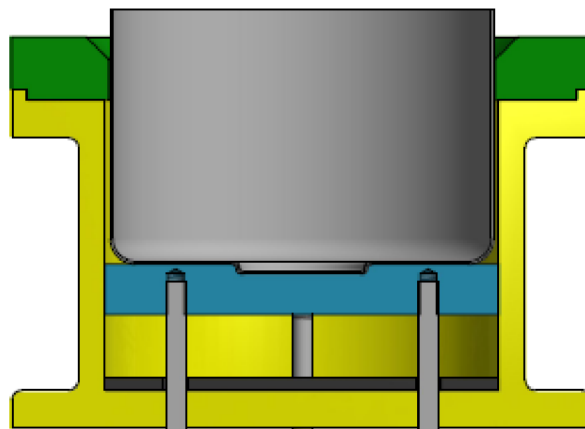
V bakalářské práci bude z hlediska výkresové dokumentace a sestavení celého tažidla řešen pouze nástroj pro druhý (závěrečný) tah. Jedná se tedy o jednooperační tažidlo, které je určeno pro dvojčinný lis, který musí mít přídavné hydraulické zařízení pro ovládání vyhazovače. Díky potřebnému velkému zdvihu, je nelze umístit do tažné skříně s vodícími sloupky.

Vrchní část se skládá z tažníku a přídržovače. Obě tyto části pracují díky dvojčinnému lisu nezávisle na sobě. Tažník je pomocí stopky upnut do hlavního beranu lisu, horní kotevní deska s přídržovačem je upnutá k přídržovacímu beranu. Funkční část tažníku bude pomocí 4 šroubu uchycena do upínací části. Přesnou polohu zajišťuje osazení. Do upínací části je upevněná stopka. Protože se jedná o nástroj pro druhou operaci, přídržovač má tvar silnostěnné trubky, která má dole zkosenou hranu a nahoře osazení pro přesné upnutí, které zapadá do horní upínací desky. Pomocí kroužku a šesti šroubu je přídržovač pevně spojen s horní upínací deskou.



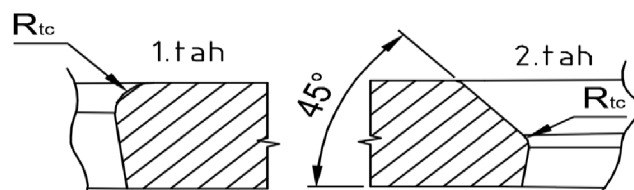
Obr. 29 Nástroj

Spodní část tvoří litá základní deska, která pomocí upínek bude pevně přichycená ke stolu lisu. Tažnice je šesti šrouby spojena se základní deskou, poloha je zde také zajištěna osazením. Aby bylo možné vyhotovit prolis dna, musí k tomu být vyhazovač tvarově přizpůsoben. Je ovládán pomocí přídavného hydraulického zařízení, které výtažek pozvedne a obsluha jej vyjme z nástroje. Pod přidržovačem je umístěná pryžová deska, protože hydraulický lis nemá pevně daný zdvih, je omezen koncovým dorazem, což znamená určitou nepřesnost. Deska tuto nepřesnost pokryje a brání zničení nástroje.



Obr. 30. Spodní část nástroje

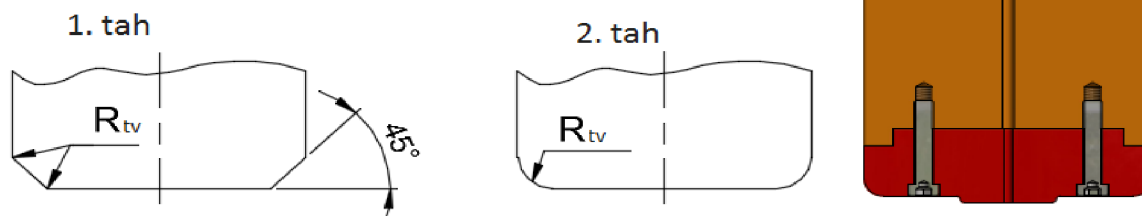
Tažnice – bude konstruována tak, aby se výtažek vracel při obou tazích zpět nahoru. Nesmí mít tedy žádnou hranu, o kterou by se výtažek zachytil a byl setřen. Její tvar pro první i druhou operaci je znázorněn na obrázku 31. Hlavní parametr je zaoblení tažné hrany. Ten je určen z obrázku 31, $R_{tc} = 10 \text{ mm}$, pro oba tahy.



Obr. 31. Zaoblení tažnice [7]

Tažník – finální výtažek bude mít průměr 150 mm. Použitý tažník se z důvodu velkého průměru bude skládat ze tří částí a to z upínací stopky, upínací části tažníku a funkční části tažníku, která bude pomocí šroubu upnuta do upínací části, viz obr. 32. Tažník pro první operaci bude skosený pod úhlem 45° a zaoblení tažníku bude stejné jako tažnice, tedy $R_{tv} = 10 \text{ mm}$. Pro druhou operaci již nebude zkosený, poloměr zaoblení bude $R_{tv} = 10 \text{ mm}$, což splňuje podmínku minimálního poloměru dle vztahu (2.21). Tvary jednotlivých tažníku jsou na obr. 32.

Funkční část bude vyrobená z oceli 19 191 kalené a popuštěné na $58 \pm 1 \text{ HRC}$, upínací část bude vyrobená z oceli 11 600.



Obr. 32. Zaoblení tažníku [7]

Přidržovač – Nástroj pro první tah bude mít přidržovač tvaru prstence, dosedací plocha bude vodorovná. Bude ovládán pomocí přidržovacího beranu. Přidržovač pro druhou operaci bude zkosený pod úhlem 45° a bude ovládán také pomocí přidržovacího beranu.

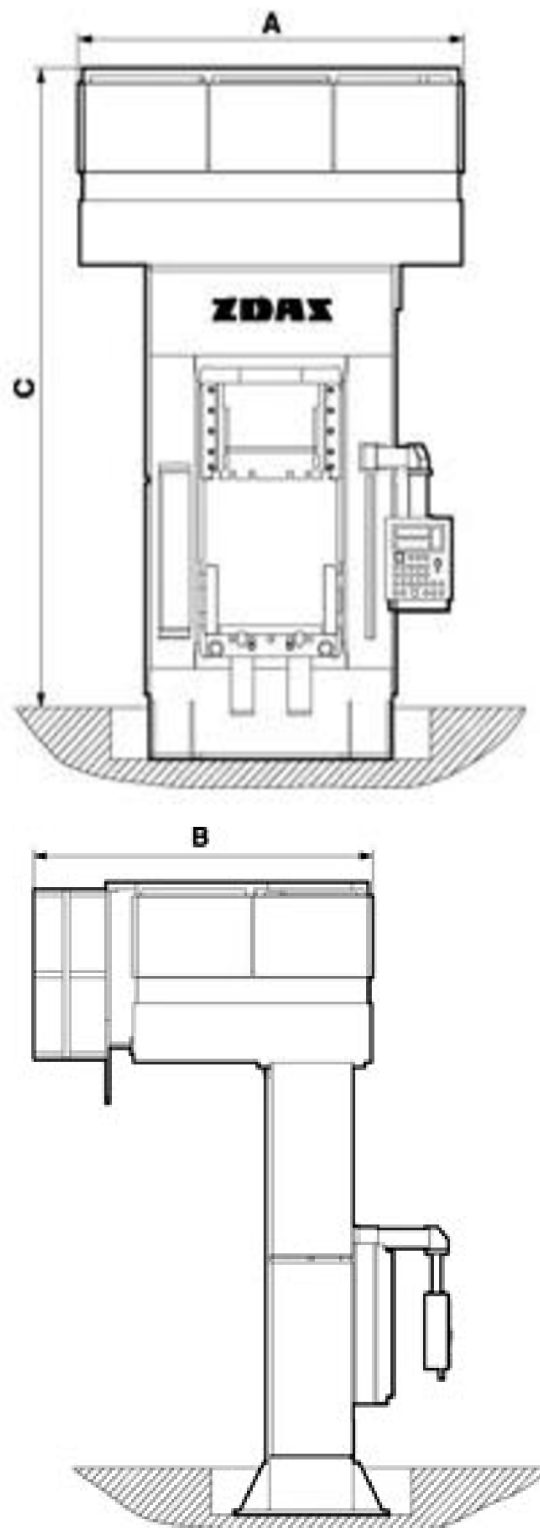
3.6 Volba stroje [10]

Nejdůležitějším parametrem při volbě stroje je velikost síly. Stroj musí tuto hodnotu převyšovat, aby bylo zaručeně možné tvářecí proces vykonat. Doporučuje se vybírat stroj, který má alespoň o 1,3 násobek větší sílu, než je třeba, aby nedocházelo k jeho přílišnému zatěžování a s tím spojené vyšší opotřebování.

Stroj, který byl vybrán je hydraulický universální lis ŽDAS CTH 250. Má dostatečně velkou sílu hlavního i přidržovacího beranu, což přináší jeho širší využití i pro jiné účely, než je výroba krytu filtru. Hodí se pro objemové i plošné tváření. Jeho hlavní předností je, že lze dovybavit různými zařízeními dle konkrétních potřeb, jako horní a spodní vyhazovač, zařízeními pro automatickou výměnu nástrojů a dalšími. Především spodní vyhazovač a automatická výměna nástrojů bude užitečná, jelikož jednotlivé tahy budou prováděny v samostatných nástrojích. Výhodou je konstantní rychlost beranu, ale tvářecí stroj ji také dokáže měnit v závislosti na dráze během procesu. Pohon lisu je umístěn na stojanu lisu nebo mimo zařízení. Jeho technické parametry a rozměry lze vidět v tabulce 8 a na obrázku 33.

Tab. 8 Parametry stroje [10]

Jmenovitá síla	kN	2 500
Zpětná síla	kN	300
Sevřená výška	mm	800
Zdvih	mm	800
Rychlost přibližování	mm·s ⁻¹	400
Rychlost pracovní max.	mm·s ⁻¹	70
Rychlost pracovní min.	mm·s ⁻¹	20
Zpětná rychlost	mm·s ⁻¹	426
Upínací plocha stolu	mm	1000x1250
Upínací plocha beranu	mm	1000x1250
Síla přidržovače	kN	1 000
Zdvih přidržovače	mm	320
Zdvih přidržovače	mm	320
Výkon hlavního motoru	kW	55
Šířka lisu A	mm	3920
Hloubka lisu B	mm	3000
Výška lisu	mm	5600



Obr. 33 Stroj [10]

4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [23]

V ekonomickém zhodnocení bude uvažovat předpokládanou sérii 20 000 kusů ročně. Do nákladu na výrobu součásti bude zahrnuta cena za materiál, jak nákup plechu, tak prodej odstřížků a neshodných kusů do kovošrotu. Dále bude počítáno s cenou nástroje a spotřebou elektrické energie lisu. Z důvodu neznalosti nejsou v kalkulaci zahrnuty náklady na pracovníky, výrobní režie, ceny strojů a výrobních prostor. Jedná se tedy pouze o orientační výpočty bez DPH.

- Náklady na materiál – cena tabule plechu 1 x 1000 x 2000 mm činí asi 25 Kč / kg. Jedná se o přibližnou cenu, její velikost se odvíjí především od zvoleného dodavatele, odebíraného množství a vývoje cen oceli na burze. Obdobně to je s výkupní cenou šrotu, pro výpočty se uvažuje cena 2,5 Kč / kg

Hmotnost tabule plechu

$$m_{\text{tab}} = 0,001 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 7850 = 15,7 \text{ kg}$$

kde: 7850 – hustota oceli [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Hmotnost tabulí na sérii 20 000 ks

$$m_s = 15,7 \cdot 1112 = 17\,458,4 \text{ kg}$$

kde: 1112 – počet tabulí na sérii

Cena jedné tabule

$$C_t = 25 \cdot 15,7 = 392,5 \text{ Kč}$$

Cena 1 112 tabulí

$$C_s = 1112 \cdot 392,5 = 436\,460 \text{ Kč}$$

Hmotnost odstřížků z 1 tabule

$$m_o = 15,7 \cdot 0,3681 = 5,78 \text{ kg}$$

kde: 0,3681 – nevyužitelnost materiálu

Hmotnost odstřížků na sérii

$$m_{os} = 5,78 \cdot 1112 = 6\,427,36 \text{ kg}$$

Hmotnost neshodných kusů – uvažuje se zmetkovitost 2 %

$$m_z = 0,02 \cdot (17458,4 - 6427,36) = 220,62 \text{ kg}$$

Hmotnost celkového odpadu

$$m_{co} = 220,62 + 6427,36 = 6\,647,98 \text{ kg}$$

Cena odpadu

$$C_c = 6647,98 \cdot 2,5 = 16\,619,95 \text{ Kč}$$

Náklady na materiál pro sérii

$$C_{ms} = 436460 - 16619,95 = 419\,840,05 \text{ Kč}$$

Náklady na materiál pro 1 kus

$$C_{mk} = 419\,840,05 \div 10000 = 41,98 \text{ Kč}$$

- Náklady na nástroj pro druhy tah byly odhadnuty na 260 000 Kč

5 ZÁVĚRY

Práce popisuje výrobu krytu vzduchového filtru používaného u zahradní techniky. Má rotační tvar se dnem, v kterém je prolis a díra, tloušťka stěny je 1 mm. Po uvážení všech požadavků na materiál byla pro výrobu zvolena ocel 11 320. Velikost série je 20 000 kusů ročně. Z několika možných technologií výroby byla vybrána jako nejvhodnější tažení konvenčním nástrojem.

Pro výrobu byl zhotoven přístřih rotačního tvaru o průměru 299 mm. Bude stříhán z tabule plechu o rozměru 1 x 1 000 x 2 000, protože pro něj vyšlo nejlepší materiálové využití 63,19 %. Z jedné tabule bude naděláno 6 pásů o délce 1 000 mm a z každého pásu se vystřihnou 3 přístřihy.

Výrobek bude tažen ve dvou operacích, nástroj pro každou z nich bude samostatný. V obou nástrojích je nutné použít přídržovač, ten bude ovládán prostřednictvím přídržovacího beranu lisu. Obě tažidla jsou určeny pro hydraulický lis ŽĐAS CTH 250. Práce se podrobněji zabývá návrhem nástroje pro druhý tah. Vzhledem k úspoře materiálu byl nástroj konstruován s děleným tažníkem. Pomocí vyhazovače se dělá prolis dna. Je ovládaný přidavným hydraulickým zařízením.

Z důvodu neznalosti jiných údajů byly v ekonomickém zhodnocení posouzeny pouze náklady na materiál a odhadnutá cena nástroje, která činí 260 000 Kč. Cena materiálu pro výrobu jednoho dílu je přibližně 42 Kč, v této částce je započítán i prodej odstřížků a neshodných kusů do sběrných surovin.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. *Konstrukce tvářecích strojů* [online]. Plzeň: Fakulta strojní ZČU v Plzni, 2015 [cit. 2017-03-24]. ISBN 978-80-261-0513-8. Dostupné z: <http://www.zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/Konstrukce-tvarecich-stroju.pdf>
2. ČSN 11320 – ocel k tažení a tváření za studena. *Cz Ferro-steel* [online]. Cz Ferro-steel, 2011 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/profily5-11320.pdf>
3. Deep Drawing. *Mold technology* [online]. Mold technology, 2009 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://mold-technology4all.blogspot.cz/2011/08/deep-drawing.html>
4. Deep drawing technology. *SFS intec* [online]. SFS intec, 2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://www.sfsintec.biz/en/web/technologies___products/production_technologies/deep_drawing/prozess/prozess_1.html
5. Die Casting 101: Hot Chamber vs. Cold Chamber. *Chicago White Metal* [online]. Chicago White Metal, 2016 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.cwmdiecast.com/blog/2016/05/24/die-casting-101-hot-chamber-vs-cold-chamber/>
6. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7
7. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
8. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
9. Hydraulic And Mechanical Presses. *The library of manufacturing* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://thelibraryofmanufacturing.com/presses.html>
10. Hydraulické univerzální lisy CTH. *ŽĎAS* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=45>
11. Chapter 5 Deep Drawing. *Slideplayer* [online]. Slideplayer, 2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://slideplayer.com/slide/7363224/>
12. Jakosti oceli. *Feromat: HUTNÍ A SPOJOVACÍ MATERIÁL* [online]. Feromat, 2010 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.feromat.cz/jakosti_oceli
13. Kuchyňský dřez Franke Polar PXN 611-78. *FRANKE* [online]. FRANKE, 2016 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://eshop-franke.cz/drezy-s-odkapem/25604-kuchynsky-drez-franke-polar-pxn-611-78-1010286080-7612981056810.html>

14. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
15. Metal Spinning Lathe. *Homemade Metal Spinning Lathe* [online]. Homemade Metal Spinning Lathe, 2009 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://abuffataristorante.it/gallery/photos/index.php?p=50>
16. MINI 070, 075. *Nasetraktory* [online]. Nasetraktory, 2000 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.nasetraktory.eu/forum/viewtopic.php?f=95&t=1085&start=1305>
17. MOLYDUVAL- speciální maziva. *DECKENBACH CZ* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.fina-oleje.cz/files/produkty/molyduval/spec_maziva_pro_tvareni_kovu.pdf
18. Nábojnice 9mm. *Depositphotos* [online]. 2011 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://cz.depositphotos.com/7709883/stock-photo-9mm-shell-casings.html>
19. NÁVRH A VÝROBA SVÍTIDLA TAŽENÍM ZA STUDENA. *Slide Serve* [online]. 2008 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.slideserve.com/onan/st-edn-prmyslov-kola-fr-dek-m-stek-p-sp-vkov-organizace>
20. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: VUT, 1992. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0404-3.
21. NOVOTNÝ, Karel. VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ: TVÁŘECÍ STROJE [online]. 2002 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/vyrobnni_stroje_a_zarizeni__novotny.pdf
22. Olejová vana. *Škoda díly* [online]. 2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.skoda-dily.cz/katalog/fabia/nahradni-dily/motor/blok-motoru-olejova-vana/olejova-vana-18.html>
23. PLECHY. *Kondor* [online]. 2013 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.kondor.cz/plechy/c-1424/>
24. PRODÁM MALOTRAKTOR MT8-070-MINI HYDRAULIKA. *MY bazar* [online]. MY bazar, 2012 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://dum.mybazar.cz/inz/prodam-malotraktor-mt8-070-mini-hydraulika-215310.html>
25. Průmyslová maziva. *Hazmioil* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.hazmioil.cz/CS_line_oil/CS_LINE_prumyslova_maziva.pdf
26. Schéma klikového lisu. *ÚST* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/obr08.htm
27. Svařování MIG/MAG. *BV Group* [online]. BV Group, 2009 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.bvgroup.cz/svarovani-mig-mag.php>
28. Tažení: Tažení rotačního výtažku. *UST* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/priklady_tazeni.htm

29. Technologie plošného tváření - tažení. *Technologie II* [online]. 2004 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm
30. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-030-0221-4.
31. Tomgast, Hrnec nerezový 10 l. *Kuchařské potřeby* [online]. Kuchařské potřeby, 2011 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.kucharskepotreby.cz/kucharskepotreby/eshop/69-1-KUCHYNE/286-3-HRNCE-Tomgast/5/5120-Hrnec-stredni-Tomgast-10l>
32. ZBROJOVKA BRNO. *LISOVACÍ NÁSROJE: Konstrukční směrnice, rozměrové tabulky dílů. ČÁST I*. Brno, 1981.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
C	Součinitel jednotlivých tahů	[-]
A_{pi}	Práce jednotlivých tahů	[J]
c	Koeficient pro tažení	[-]
Cc	Cena za odpad	[Kč]
C_{mk}	Náklady na materiál pro 1 kus	[Kč]
C_{ms}	Náklady na materiál pro sérii	[Kč]
C_s	Cena tabulí pro sérii	[Kč]
C_t	Cena jedné tabule	[Kč]
d	Vnitřní průměr výtažku	[mm]
D_0	Průměr přístříhu	[mm]
d_1	Průměr po prvním tahu	[mm]
d_2	Průměr po druhém tahu	[mm]
d_i	Průměr jednotlivých výtažku	[mm]
e	Můstek	[mm]
f	Velikost okraje	[mm]
F_{ci}	Celková síla jednotlivých tahů	[N]
F_{pi}	Síla přidržovače jednotlivých tahů	[N]
F_{ti}	Tažná síla jednotlivých tahů	[N]
h	Hloubka tažení	[mm]
K	Krok	[mm]
m_{tab}	Hmotnost tabule	[kg]
m_c	Celkový součinitel tažení	[-]
m_{co}	Hmotnost celkového odpadu	[kg]
m_i	Součinitel jednotlivých tahů	[-]
m_o	Hmotnost odstřížků	[kg]
m_{os}	Hmotnost odstřížků na sérii	[kg]
m_s	Hmotnost tabuli celé série	[kg]
m_z	Hmotnost neshodných kusů	[kg]
n_{pd}	Počet dílu na jednotlivých pásů	[-]
n_{pdi}	Počet dílu z jednotlivých tabulí	[-]
n_{pi}	Počet pásu z jednotlivé tabule	[-]
P	Šířka pásu	[mm]
p	Tlak přidržovače	[Mpa]
R	Poloměr opsané kružnice	[mm]
Re	Mez kluzu	[Mpa]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
R_{tc}	Poloměr zaoblení tažnice	[mm]
R_{tv}	Poloměr zaoblení tažníku	[mm]
s	Tloušťka plechu	[mm]
S	Styková plocha přidržovače	[mm ²]
s_0	Výchozí tloušťka plechu	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
S_p	Plocha přístřihu	[mm ²]
S_v	Plocha výtažku	[mm ²]
V_{ti}	Využití jednotlivých tabulí	[%]
z	Tažná mezera	[mm]
α	Použití přidržovače	[-]
Δs	použití přidržovače dle Freidlinga	[-]
ε_i	Deformace	[-]
σ_i	Napětí	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Tažené součásti	9
Obr. 2 Malotraktor	10
Obr. 3 Kryt vzduchového filtru.....	10
Obr. 4 Tlakové lití.....	11
Obr. 5 Svařování	12
Obr. 6 Kovotlačení.....	12
Obr. 7 Metoda Marform a Hydroform.....	13
Obr. 8 Konvenční tažení	13
Obr. 9 Postup tažení	14
Obr. 10 Schéma napětí a deformací	14
Obr. 11 Rozdělení výtazku	15
Obr. 12 Výtažek pro výpočet.....	15
Obr. 13 Grafické řešení	16
Obr. 14 Tažné operace	16
Obr. 15 Tažná mezera	17
Obr. 16 Tažná síla a práce	19
Obr. 17 Tažný nástroj	20
Obr. 18 Typy tažnice	21
Obr. 19 Graf ke stanovení R_{tc}	21
Obr. 20 Konstrukce tažníku	22
Obr. 21 Přidržovače	22
Obr. 22 Mechanický lis.....	23
Obr. 23 Hydraulický lis	23
Obr. 24 3D kryt.....	25
Obr. 25 Rozdělení na plochy	25
Obr. 26 Grafická metoda	26
Obr. 27 Velikost kroku, můstku a okrajů.....	27
Obr. 28 Varianty rozřezání tabule plechu	28
Obr. 29 Nástroj	32
Obr. 30 Spodní část nástroje.....	33
Obr. 31 Zaoblení tažnic	33
Obr. 32 Zaoblení tažníku	33
Obr. 33 Stroj	34

SEZNAM TABULEK

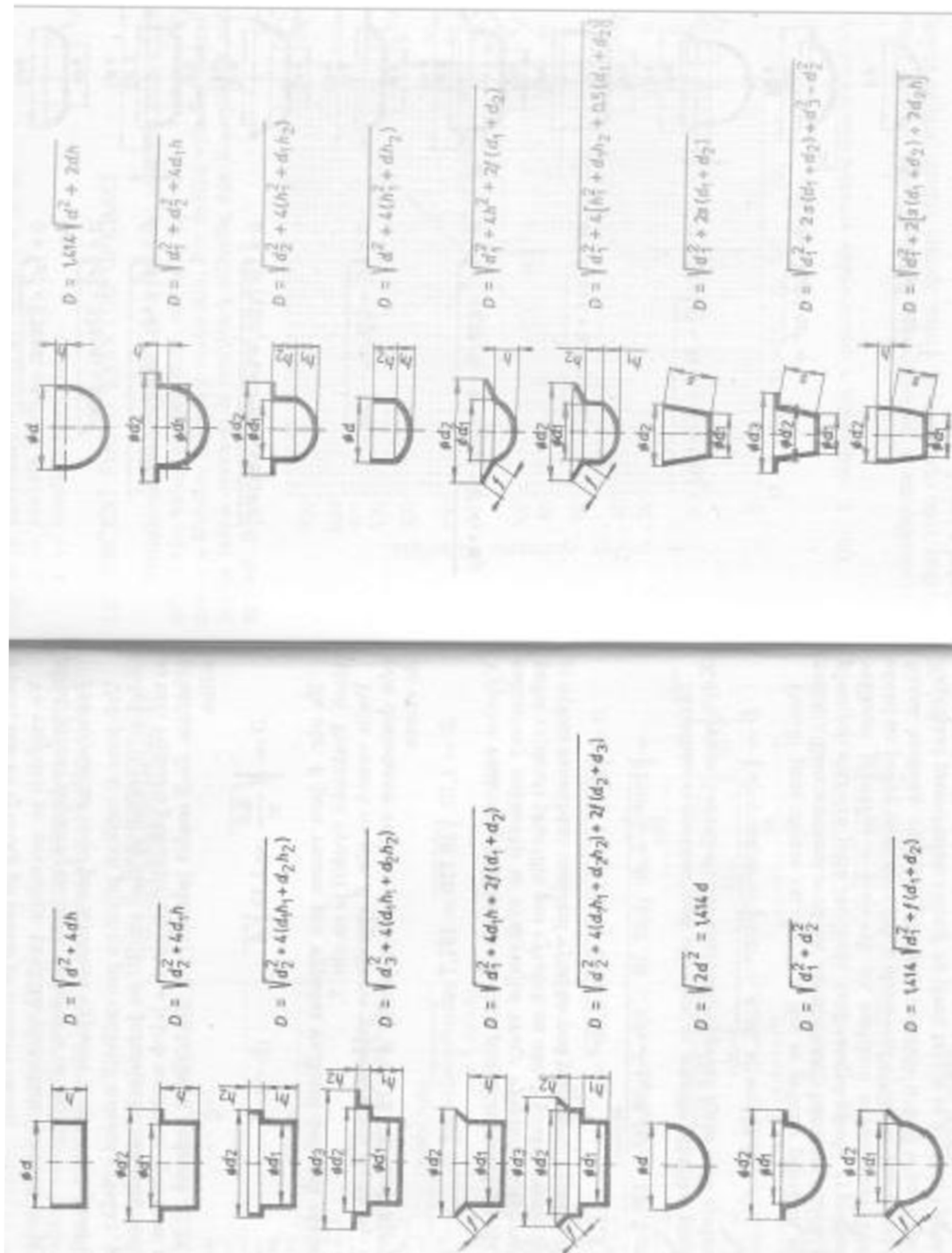
Tab. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli 11 320	11
Tab. 2 Součinitele tažení.....	17
Tab. 3 Tažná vůle.....	17
Tab. 4 Hodnoty součinitele C	19
Tab. 5 Vybrané velikosti doporučených tlaků	19
Tab. 6 Doporučené materiály jednotlivých částí	20
Tab. 7 Souhrnné využití materiálu.....	29
Tab. 8 Parametry stroje	34

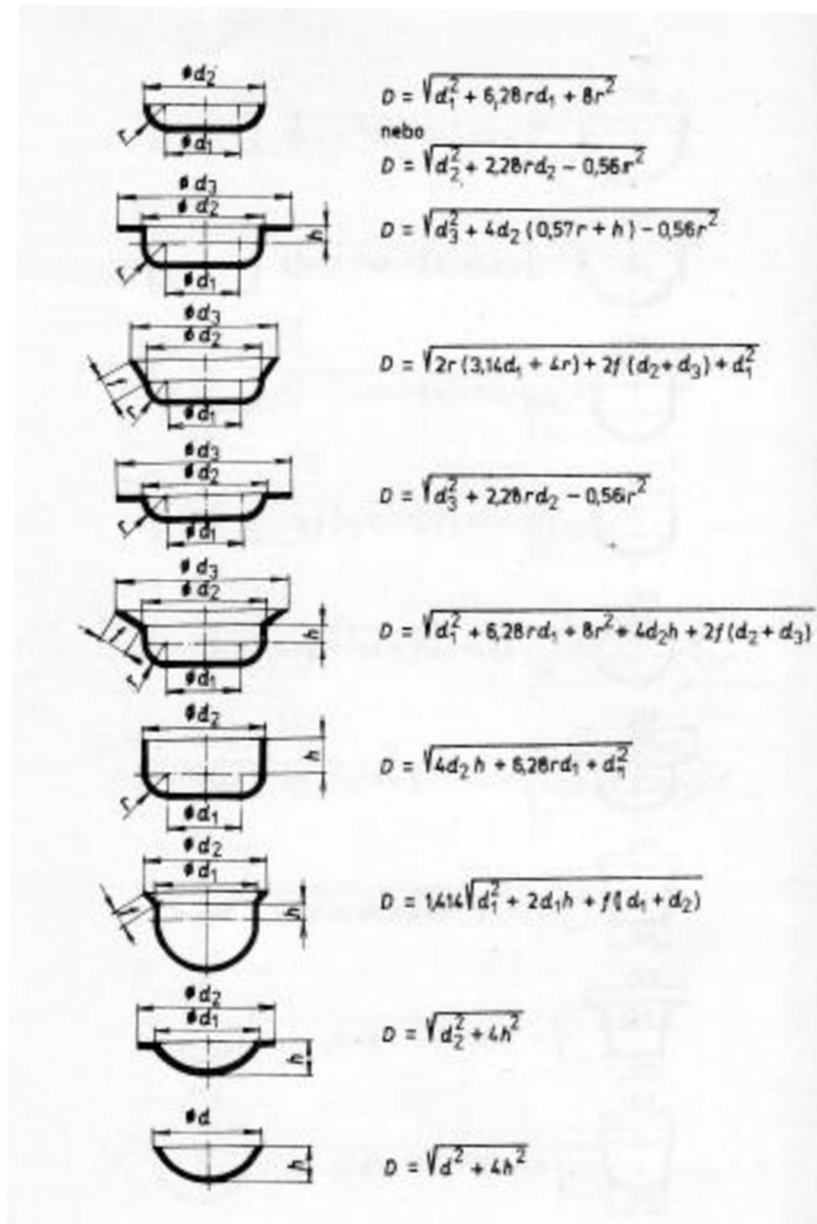
SEZNAM PŘÍLOH


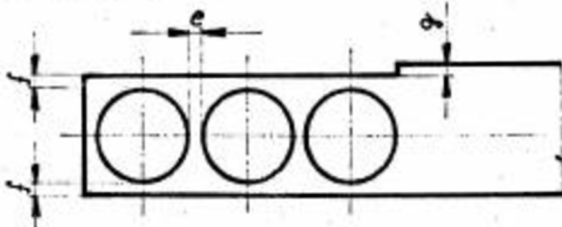
- Příloha 1 Vzorce pro výpočet průměru přístřihu [30]
Příloha 2 Směrnice pro stanovení šířky odpadu [32]

SEZNAM VÝKRESŮ

Kryt	BP-17041-01
Tažník	BP-170341-02
Tažnice	BP-170341-03
Tažidlo	BP-170341-04





 MĚŘ KOH-KL		SMĚRNICE PRO STANOVENÍ ŠÍŘKY ODPADU		415 - 06 - 205								
		Výpis z ON 22 6032		Počet stran 3								
												
tl. mat.	Šířka pásu											
	do 15		15+50		50+100		100+200		200+300		300+400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1+0,9	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5				
1	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	3,8	2,5	5,2	3	6,6
1,3	1,1	1,4	1,6	2	2,1	2,5	3,1	3,8	4	5,3	5	6,7
1,5	1,2	1,5	1,7	2,2	2,2	2,7	3,2	4	4,3	5,4	5,4	6,8
1,8	1,4	1,8	1,8	2,2	2,3	2,8	3,3	4,2	4,4	5,6	5,5	7
2	1,5	2	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,5	4,5	5,8	5,7	7,2
2,2	1,6	2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,6	4,5	4,6	6	5,8	7,3
2,5	1,7	2,2	2,3	2,8	2,7	3,4	3,7	4,7	4,7	6	5,8	7,4
2,8	1,8	2,2	2,4	3	2,8	3,5	3,8	4,7	5	6,2	6	7,5
3	2	2,5	2,5	3	3	3,7	4	5	5	6,3	6,2	7,7
3,5			2,7	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,5	6,3	8
4			3	3,8	3,5	4,3	4,5	5,6	5,6	6,8	6,5	8,2
4,5			3,2	4	3,7	4,6	4,7	5,8	5,7	7,2	6,8	8,7
5			3,5	4,2	4	5	5	6,2	6	7,7	7	9,2
tloušťka mat.		do 1	1,1-1,3	1,4+1,5	1,6+1,8	1,9+2						
g		1,5	1,8	2	2,2	2,5						
rozměry uvedené v tabulkách platí pro kovy. Pro hmoty měkké (chrom. kůže, textil, azbest) použít dvojnásobné hodnoty e; f. Rozměr g zvětšit 1,5 krát.												
Kreslil	Prozkoušel	Schválil		Platí od								
<i>Smek</i>	<i>ky Pankr</i>	<i>Štef</i>		1.4.1981								