



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 VPUSTI

PRODUCTION OF GULLY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Švejda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Jakub Švejda
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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

Návrh výroby vpusti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby tělesa kanalizační vpusti. Součástka je válcového tvaru a bude vyráběna technologií tažení bez ztenčení stěny. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit technologičnost vpusti,
- 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,
- zhotovit výkres nástroje, kusovník a výkresy vybraných pozic.

Seznam doporučené literatury:

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

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

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

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

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

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

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

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

ŠVEJDA Jakub: Návrh výroby vpusti.

Práce předkládá návrh technologie výroby vpusti – rotačního výtažku s přírubou z hlubokotažného korozivzdorného ocelového plechu jakosti 1.4301. Na základě literární studie a výpočtů bylo navrženo tažení bez ztenčení stěny ve dvou operacích a to v jednom nástroji se dvěma spodními přídržovači, umožňující jejich sloučení do jednoho zdvihu. Tažidlo využívá jak normalizovaných komponent, tak konstrukčních prvků zjištěných za pomoci výpočtů a skládá se ze tří částí. Spodní a horní jsou magneticky upnuty na hydraulickém tažném lisu Dieffenbacher PO 250, s nominální tažnou silou 2500 kN. Oba tažníky i tažnice jsou vyrobeny ze slitinové nástrojové oceli 19 436.9 tepelně zpracované podle výkresové dokumentace.

Klíčová slova: korozivzdorná ocel, tváření, tažení, výtažek, tažidlo, hydraulický lis

ABSTRACT

ŠVEJDA Jakub: Production of gully.

The project elaborated design of technology production of the gully – the rotational extract with flange from the deep drawing corrosion resistant sheet iron 1.4301. Pursuant to of the literary pursuit and calculation was designed drawing without thinning the wall in two operation and that in one instrument with two bottom holders enabling their combination into one stroke. The drawing instrument makes use of as standardised components as construction elements calculated using calculations and consist of three parts. The bottom and upper are magnetically clamped on the hydraulic drawing press Dieffenbacher PO 250, with nominal tensile force 2500 kN. Both drawing punches and drawing dies are produced from alloyed instrumental steel 19 436.9 heat-worked according to drawing documentation.

Keywords: corrosion resistant steel, forming, deep drawing, the extract, the drawing instrument, hydraulic press

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠVEJDA, Jakub. *Návrh výroby vpusti* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124936>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

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 Brně dne 18.06.2020

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Rád bych poděkoval i rodině a svým blízkým za poskytnutou podporu.

OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	10
1.1 Možnosti výroby	11
2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ	14
2.1 Velikost přístřihu a počet tažných operací	16
2.2 Mezera a rychlost	18
2.3 Síla a práce	19
2.4 Nástroje	21
2.4.1 Tažník a tažnice	21
2.4.2 Přidržovač	23
2.5 Stroje	24
2.6 Maziva	25
2.7 Technologičnost	25
3 NÁVRH ŘEŠENÍ	27
3.1 Velikost přístřihu a počet tažných operací	27
3.2 Rozmístění výstřižků na pásu/plechu	30
3.3 Mezera a poloměry zaoblení	33
3.4 Použití přidržovače	35
3.5 Síla a práce	35
3.6 Volba lisu	37
3.7 Návrh tažidla	38
4 ZÁVĚRY	42
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]

Strojírenství lze zařadit do významné kategorie průmyslového odvětví se snahou o neustálé modernizování stávajících výrobních možností a implementování nových technologií, kterých existuje celá řada. Mezi nejběžnější je řazeno svařování, odlévání, obrábění a tváření.

Právě tváření disponuje značnými výhodami ve srovnání s ostatními technologiemi a to hlavně v oblasti spotřeby odpadu, která je zde výrazně nižší. Kromě úspory materiálu se dosahuje i vysoké produktivity práce, velmi dobré jakosti povrchu a zvýšených hodnot mechanických vlastností. Slouží především k zajištění výroby polotovarů nebo součástí a to za pomoci objemových, či plošných technologických metod, kterými lze zhotovit většinu geometrických tvarů. Plošné slouží pouze k rovinnému přetvoření a patří sem např. stříhání, ohýbání, kalibrování, ale hlavně tažení.

Technologie tažení patří mezi jednu z nejdůležitějších lisovacích operací a zároveň se jedná i o nejsložitější technologii tváření, která našla uplatnění hlavně při zpracování plechových polotovarů. Výrobky mají nízkou hmotnost a dobré mechanické vlastnosti. Příklady výrobků zhotovených za pomoci tažení jsou znázorněny na obrázku 1.



Obr. 1 Příklady produktů zhotovených technologií tažení [5], [6], [7], [8]

1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU [1], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15]

Řešenou součástí je kanalizační těleso, viz obr. 2, které je využíváno v systémech sloužících k odvodňování. Jedná se hlavně o hygienické podlahové vpusti, které se skládají ze dvou základních konstrukcí (obr. 3):

- vpusť s pevnou výškou – jednodílná (1),
- vpusť teleskopická – dvoudílná (2).

Tyto konstrukce se dále rozdělují do více variant dle potřebných požadavků. Využití lze také nalézt v hygienických (obr. 3), štěrbinových nebo krabicových žlebech. Výroba produktů tohoto typu se řadí mezi velkosériovou.

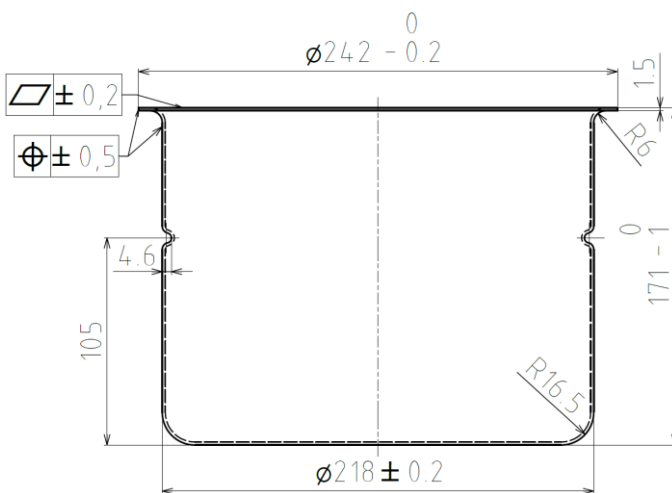


Obr. 2 Kanalizační těleso



Obr. 3 Základní konstrukce hygienických vpustí se znázorněným využitím ve žlabu [9]

Tvar kanalizačního tělesa s požadovanými rozměry a tolerancemi lze vidět na obrázku 4. Tloušťka stěny je 1,5 mm, což je vzhledem k požadovaným účelům optimální rozměr. U součástí tohoto typu totiž není vyžadována velká pevnost, snaha je hlavně o funkčnost a nízkou hmotnost. Výška je 171 mm, největší průměr u hrdla činí 242 mm a průměr pláště je 218 mm. Poloměr mezi pláštěm a hrdlem je 6 mm a mezi dnem a pláštěm 16,5 mm. V plášti, ve vzdálenosti 105 mm od dna, je navíc prolis sloužící ke zvýšení tuhosti, ale hlavně k lepšímu ustavení držáku sifonu a dalších součástí. Rozměrová tolerance u hrdla je od 0 do -0,2 mm, výška je tolerována od 0 do -1 mm a průměr pláště může být v rozmezí $\pm 0,2$ mm. U hrdla je také požadavek na geometrickou toleranci rovinnosti $\pm 0,2$ mm a souososti hrdla a pláště v rozmezí $\pm 0,5$ mm.



Obr. 4 Rozměry kanalizačního tělesa

Hygienické podlahové vpusti slouží k odvodu odpadních vod a zabraňují kontaminaci okolí škodlivými bakteriemi. V této oblasti se klade vysoký důraz na hygienu a jelikož je funkční část v neustálém kontaktu s vodou, je nezbytné zabránit jejímu vzlínání a především koroznímu opotřebení. Proto musí být kanalizační těleso tvořeno z materiálu, který je odolný vůči korozi. Mezi další požadované vlastnosti je nutné zařadit dostatečnou tvařitelnost, případně i svařitelnost k bezchybnému spojení dalších dílů a tím zabránění vzlínání vody do součásti.

Vzhledem ke zmíněným požadavkům jsou rozlišovány dva způsoby provedení korozní ochrany. Použitý materiál, v případě kanalizačního tělesa ocel, lze povrchově upravit. Tento typ ochrany se získá např. žárovým zinkováním, což znamená namáčení plechu v tekutém zinku o teplotě 450 °C. Ochranný povlak se vytvoří díky reakci mezi zinkem a materiálem. Další možností je využití alkalického černění oceli, tzv. brynýrování. Jedná se o povrchovou úpravu, která kromě zlepšení vzhledu slouží také v kombinaci s konzervačními prostředky ke zvýšení korozní ochrany. Výsledkem je pak získání konverzní oxidové vrstvy. Druhým způsobem je přidání legujícího prvku do materiálu v průběhu tavby. Mezi prvky ovlivňující korozní odolnost lze zařadit např. molybden, díky kterému lze dosáhnout mimořádně velké korozní ochrany nebo chrom a nikl, což se vzhledem k požadavkům jeví jako nejvýhodnější varianta.

Jako materiál kanalizačního tělesa bude zvolena chrom – niklová austenitická nestabilizovaná ocel s označením 1.4301. Zvýšená odolnost proti korozi je dosažena přidáním chromu okolo 18 % a niklu okolo 9 %. Přesnější hodnoty chemického složení a mechanických vlastností oceli lze nalézt v tabulce 1.

Tab. 1 Chemické složení a základní mechanické vlastnosti oceli 1.4301 [12], [13].

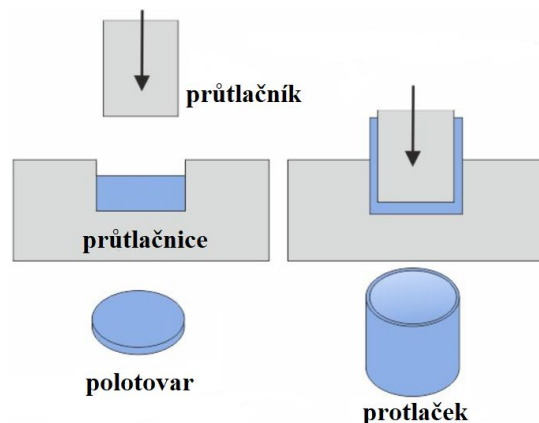
Chemické složení	Prvek	C	Cr	Ni	Mn
	Hm. [%]	<0,07	17,5 až 19,5	8,0 až 10,5	<2,0
Mechanické vlastnosti	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A ₅ [%]	Žíhací teplota [°C]	
	720	min. 210	min. 45	1000 až 1100	

Jedná se o nejpoužívanější ocel odolnou vůči korozi, která se využívá především v gastronomickém, farmaceutickém a chemickém průmyslu, kde je vyžadována čistota prostředí, ale využití nalezne i v designově náročných aplikacích. A to díky snadnému čištění a esteticky příjemnému vzhledu. Nevýhodou je špatná odolnost vůči chlorované a slané vodě.

1.1 Možnosti výroby [1], [2], [4], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24]

Na počátku návrhu je nutné zvolit optimální technologii, kterou se bude požadovaná součást vyrábět. Je potřeba zohlednit prolis nacházející se v plášti. Tento konstrukční prvek nelze zhotovit společně se zbytkem tělesa, bude se vyrábět dodatečně, a proto nebude dále zohledňován. K dosažení předepsaných rozměrových požadavků na přírubu tělesa bude na závěr výroby využito třískového obrábění. Základní tvar je možné zhotovit celou řadou technologií, mezi které patří např.:

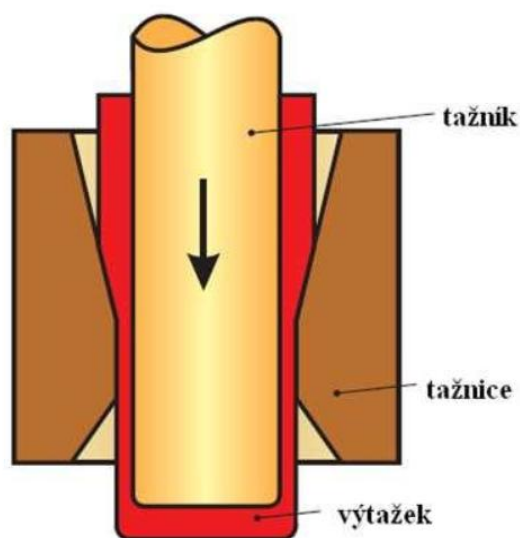
- Zpětné protlačování – k přeměně polotovaru na protlaček dochází vlivem působení tlaku průtlačníku na polotovar, který je ustaven v uzavřené průtlačnici (obr. 5). Materiál se tlakem stává plastickým a dochází k přemístění jeho částic mezerou mezi průtlačníkem a průtlačnicí. Výhodou je hospodárnost v podobě levnějšího polotovaru – špalíku, ve srovnání s ostatními druhy, jako jsou plechy nebo tyče. Dále vysoká přesnost, kvalita povrchu a vzhledem k tvářecí technologii také úspora materiálu. Proces lze automatizovat, je tedy vhodný k velkosériové výrobě. Nevýhodou je specifický výběr materiálu, kde je



Obr. 5 Princip zpětného protlačování [25]

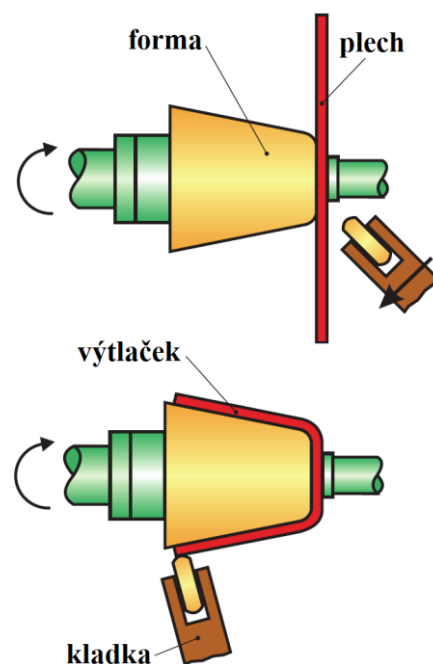
požadavek na vysokou tvařitelnost. Vzhledem ke zvolenému materiálu s vysokou pevností by tvářecí síly k získání požadovaného tvaru museli být nadměrně vysoké. Dále nelze zaručit hlavní požadavek na konstantní tloušťku 1,5 mm v celém protlačku, jelikož se u dna a pláště liší.

- Tažení se ztenčením stěny – princip tvorby výtažku je založen na vtahování polotovaru tažníkem do otvoru tažnice mezi nimiž je mezera menší, než tloušťka polotovaru a díky tomu dochází ke ztenčení stěny (obr. 6). Výhodou je tažení s vyšším stupněm deformace díky třecím silám v mezeře, které odlehčují nebezpečný průřez, takže lze dosáhnout požadované výšky 171 mm na menší počet tahů, než při konvenčním tažení. Další výhodou je, že při redukci stěny dochází k výraznému zpevňování materiálu a tím získání kvalitní tuhosti i bez případného prolisu. Metoda je vysoce přesná, tudíž umožňuje i získání většiny požadovaných mezních úchylek a lze ji zařadit i do velkosériové výroby. Nevýhodou zpevňování je ale nutnost zařadit operaci tepelného zpracování po každém procesu tažení. Dále vzhledem k vysoké pevnosti materiálu a ztenčování stěny budou potřeba vyšší tažné síly, což zvyšuje riziko utržení dna. Nevýhodou je i nutnost po dvou až třech tazích zarovnávat okraje výtažku, kvůli jeho snazšímu setření z tažníku. Dále náročnost tvorby požadované příruby, ale hlavně nemožnost získat výtažek s konstantní tloušťkou stěny 1,5 mm.



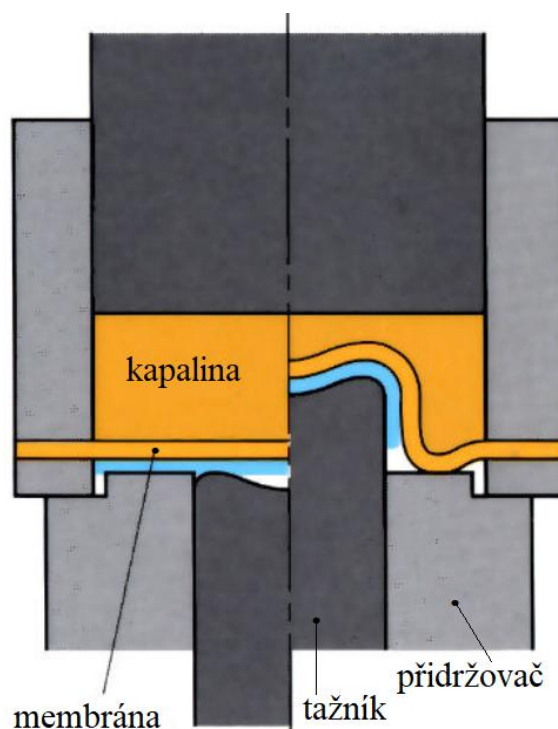
Obr. 6 Schéma tažení se ztenčením stěny [26]

- Kovotlačení – princip výroby výtlačku (obr. 7) spočívá v umístění rotační formy odpovídajícího tvaru na stroj společně s ustavením plechového přístříhu. Stroj se uvede do pohybu a přístříh se následně přitlačuje na formu za pomoci kladky. Plech se přetváří dle tvaru formy do výtlačku. Výhodou je levný, jednoduchý a částečně univerzální nástroj, u kterého jsou nízké pořizovací náklady na výrobu. Dále lze splnit požadavek velkosériové výroby kanalizačního tělesa, jelikož je možné proces automatizovat. Díky postupnému tváření lze dosáhnout velkých přetvoření, metoda je tedy vhodná pro hluboké a rozměrné dílce, jako je kanalizační těleso. Navíc je možné zhotovit výrobky s konstantní tloušťkou stěny 1,5 mm i z korozivzdorné oceli, které budou mít vysokou přesnost, zaručující získání mezních úchylek, tolerancí a díky tvářecímu procesu také zpevněnou povrchovou vrstvu. Nevýhodou jsou delší výrobní časy, technologie má tedy nízkou produktivitu práce a ve srovnání s ostatními tažnými metodami je k výrobě kanalizačního tělesa méně vhodná.



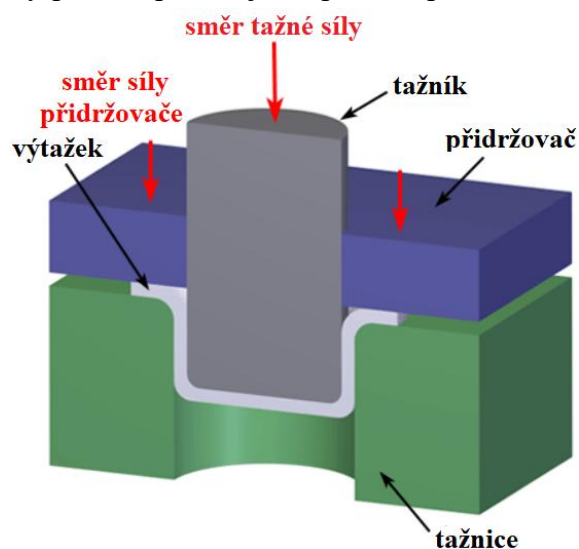
Obr. 7 Princip kovotlačení [26]

- Hydroform – kontejner s kapalinou, který nahrazuje tažnici, je utěsněn pryžovou membránou, sestoupí na plech, který je ustaven na přidržovači a začne působit tlakem. Následně se tažník vtlačuje do kontejneru, kde tváří přístřih, viz obr. 8. Ke konci procesu se v komoře zvýší tlak a proběhne kalibrace. Metoda je vhodná pro výrobu kanalizačního tělesa díky možnosti výroby hlubokých dílců s konstantní tloušťkou 1,5 mm na jednu operaci, jelikož kapalina výrazně snižuje tření. Umožňuje zpracování korozivzdorných materiálů s vysokou přesností, takže splňuje požadavek na rozměrové a geometrické tolerance a proces lze aplikovat i při velkosériové výrobě. Výhodou je možnost regulace tlaku a nestlačitelnost kapaliny. Nevýhodou jsou vysoké požadavky na těsnost tažnice a celého hydraulického systému. S tím jsou spojené vyšší pořizovací náklady celého kompletu a je nezbytné zohlednit i nižší produktivitu práce z důvodů delších výrobních časů, které jsou způsobené závěrečnou kalibrací výrobku.



Obr. 8 Princip tažení kapalinou [27]

- Hluboké tažení bez ztenčení stěny – rovinný přístřih plechu je za pomoci přidržovače ustaven na tažnici a následně vtahován tažníkem do otvoru tažnice (obr. 9). Výhodou je poměrně dlouhá trvanlivost nástrojů a rychlost zhotovení produktů, s čímž je spojená vysoká produktivita práce a tedy vhodnost k velkosériové výrobě kanalizačního tělesa. Dále dosažení požadovaných rozměrů s konstantní tloušťkou stěny i veškerými tolerancemi a mezními úchytkami. Nevýhoda je vysoká pořizovací cena nástrojů, zvětšování tloušťky příruby a ztenčení v místě zaoblení dna výtažku. Navíc nutnost použití víceoperačního tažení k dosažení hlubokých výtažků.

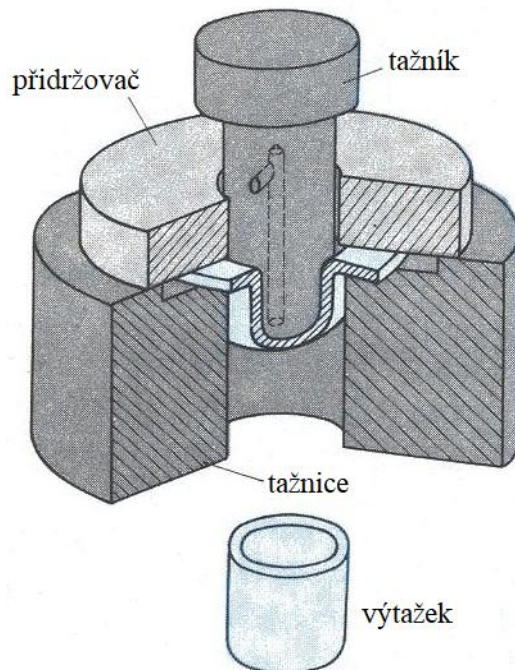


Obr. 9 Princip tažení bez ztenčení stěny [28]

Na základě představených možností výroby se vzhledem k rozměrovým a dalším požadavkům na navrhované kanalizační těleso, jako je např. příruba, jeví jako nejvýhodnější technologie hlubokého tažení bez ztenčení stěny. Na tuto technologii bude zaměřena teoretická a praktická část práce.

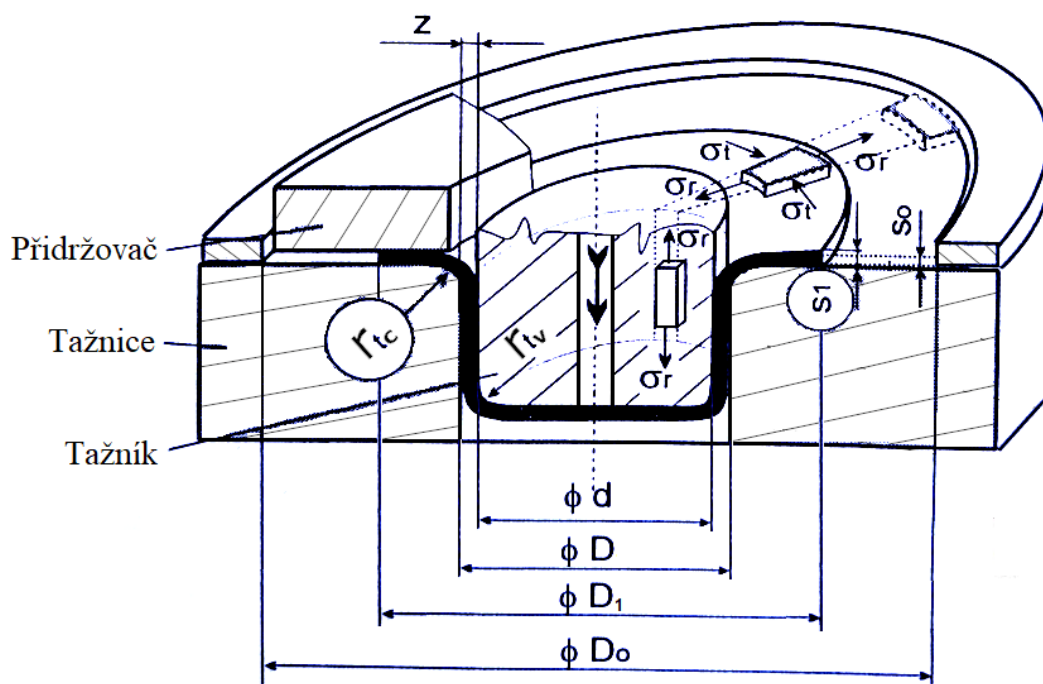
2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [1], [2], [16], [17], [18], [19], [24], [29]

Hluboké tažení je metoda tváření, kterou se v lisovací technice rozumí trvalé přetváření výchozího plechového polotovaru, tzv. přístříhu do dutého, prostorového tělesa, nazývaného výtažek, viz obr. 10. Celý proces je prováděn v jedné, či více tažných operacích, na lise za pomoci tážného nástroje, tzv. tažidla, jehož hlavní části jsou tažník a tažnice, případně přidržovač (obr. 10). Výtažky, které ke svému zhotovení vyžadují dvou či více operací, bývají hlubší se složitějšími tvary a jsou přesnější, než výtažky vyrobené na jeden zdvih. Podrobnější princip je znázorněn v řezu tažidla na plochem přístříhu a to v první operaci tažení, viz obr. 11. Na počátku je nezbytné vystředít přístřih na tažnici. Dále přidržovač silou ' F_p ' přístřih přidrží a následně tažník průměru ' d ' po kontaktu s přístřihem o průměru ' D_0 ' započne svým dalším pohybem vtahování do otvoru tažnice průměru ' D '. Vtahování je způsobeno tažnou silou ' F_t ' a probíhá směrem tečného napětí ' σ_1 ' přes zaoblení tažnice ' r_{tc} '.



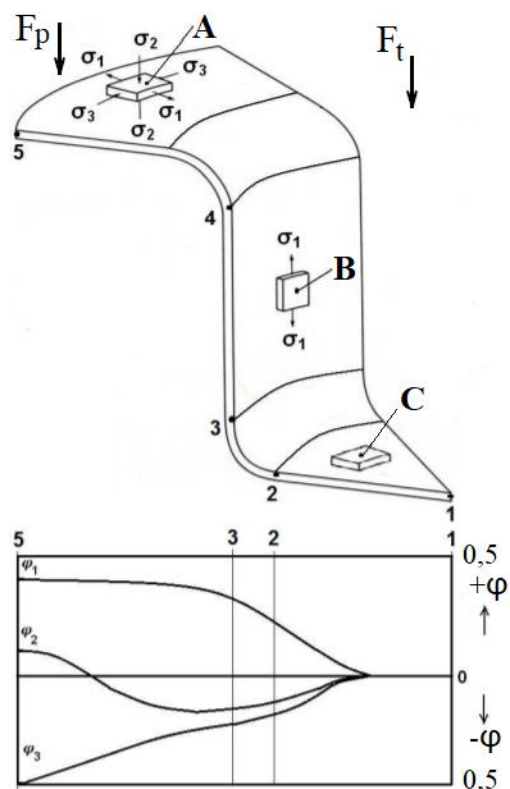
Obr. 10 Princip tažení znázorněný v řezu tažného nástroje [19]

Průměr přístříhu se v průběhu tažení stále zmenšuje, tak jak přechází přes zaoblení tažnice do válcového tvaru výtažku a zároveň dochází k jeho prodlužování ve směru působící síly. Dle stupně tažení se může tloušťka okrajů výtažku zvětšit až o 30 % a také musí být věnována pozornost zaoblení dna výtažku ' r_{tv} ', kde dochází k zeslabení stěny až o 25 %. V případě výpočtů se změna tloušťky stěny ve většině případů zanedbává a to i u víceoperačního tažení, kde dochází k intenzivnějšímu zeslabování, než u tažení jednooperačního.



Obr. 11 Schéma tažení válcového výtažku s přidržovačem [16]

Napjatost ‘ σ ’ a přetvoření ‘ φ ’ se v jednotlivých úsecích výtažku během tažného procesu mění, a to jak do orientace, tak do velikosti, viz obr. 12. Na počátku vzniká vlivem síly přidržovače v okraji výtažku, element A, prostorová napjatost, ze které je patrné, že při vtahování přístříhu působí v okraji tlakové tangenciální napětí ‘ σ_3 ’ a tahové radiální napětí ‘ σ_1 ’. Právě tangenciální napětí způsobuje značné zvětšování této oblasti, kdy dochází ke změně původní tloušťky ‘ s_0 ’ na tloušťku ‘ s_1 ’. Zvětšování okraje pokračuje se zmenšujícím se průměrem a může mít za následek jeho zvlnění, které by mohlo způsobit znemožnění dalšího úspěšného tažení. Průměr příruby mezi tažnicí a přidržovačem se bude postupně zmenšovat a po ukončení procesu nebývá její plocha ani za použití přidržovače zcela rovná. Přes hranu je materiál vtahován a ve válcové části, element B, působí pouze jednoosá tahová napjatost ‘ σ_1 ’ a prostorový stav přetvoření, který působil v oblasti A se zde mění v rovinný. V zaoblení u dna se tloušťka stěny vlivem prodloužení ztenčuje, a proto v této oblasti může docházet k porušení soudržnosti dna. Ve dně působí na element C rovinná napjatost společně s prostorovým stavem přetvoření, takže zde výtažek není výrazně ovlivňován.



Obr. 12 Napjatost a přetvoření válcového výtažku [29]

Hlavní přetvoření φ_1 , φ_2 , φ_3 vznikající v prvním tahu tažného procesu, mají určitou velikost a průběh (obr. 12):

- Přetvoření φ_1 zapříčiňuje prodlužování plechu, je kladné a platí pro něj vztah:

$$\varphi_1 = \ln \frac{\frac{d}{2} + h}{\frac{D_0}{2}} = \ln \frac{r + h}{R_0} [-], \quad (2.1)$$

kde: h – výška výtažku [mm]

- Přetvoření φ_2 působí ve směru tloušťky výtažku a v průběhu tažení se mění ze záporné na kladnou. Lze ho popsat:

$$\varphi_2 = \ln \frac{s_1}{s_0} [-] \quad (2.2)$$

- Největší je přetvoření φ_3 způsobující zvětšování příruby, je záporné a společně s přetvořením φ_1 dosahují svého maxima na okraji výtažku, platí pro něj:

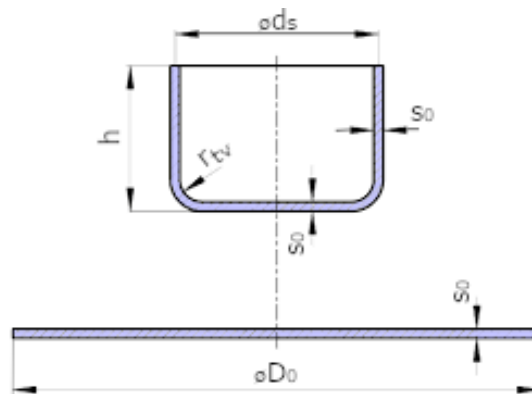
$$\varphi_3 = \ln \frac{d}{D_0} [-] \quad (2.3)$$

Platí zde zákon o zachování objemu, který říká, že v každém místě výtažku musí platit:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \quad (2.4)$$

2.1 Velikost přístřihu a počet tažných operací [1], [2], [16], [17], [18], [30]

Při stanovení velikosti výchozího polotovaru – přístřihu (obr. 13) se využívá několik metod, zejména se uplatňuje zákon zachování objemu, který říká, že přístřih musí mít stejný objem jako konečný výtažek. Dále lze po zjednodušení a úpravě vztahu vycházet z rovnosti ploch, kdy plocha výtažku musí být totožná s plochou přístřihu, přičemž je nezbytné, aby platila podmínka, kdy tloušťka plechu zůstává během tažného procesu konstantní, kromě zanedbaných změn v přírubě a v zaoblení u dna.



Obr. 13 Přístřih a výtažek [1]

Vlivem plošné anizotropie plechu vzniká v průběhu tažení nerovnoměrný okraj výtažku, tzv. cípatost, která se po dosažení požadovaných rozměrů odstraňuje. Velikost cípu závisí na poměrné výšce a tloušťce výtažku. Pohybuje se od 5 až 20 % čisté výšky. Vypočtená velikost výchozího polotovaru se následně zvětšuje o přídavek na ostřížení, který závisí na počtu tahů potřebných k dosažení požadovaného výtažku. U jednooperačního tažení je přídavek na ostřížení 3 % a při každé další operaci se zvyšuje o 1 %.

Stanovení velikosti přístřihu pro výtažek tvaru řešeného kanalizačního tělesa lze provést následujícími metodami:

- Z diagramů – průměr přístřihu ‘ D_0 ’ se stanoví ze základních parametrů jako je např. výška ‘ h ’ a střední průměr výtažku ‘ d_s ’,
- Počítačovým programem (simulací) – využívají se různé CAD softwary např. Autodesk Inventor Professional, Solid Edge, SolidWorks, Catia a další,
- Ze zákona zachování ploch – podmínka kdy poloměr ‘ r_{tv} ’ je menší než osminásobek tloušťky ‘ s_0 ’ není splněna, tudíž je nezbytné využít přesnější výpočet, než v případě splnění podmínky, kde nejsou kladeny vysoké požadavky na přesnost a zpravidla se neuvažují ani zaoblené části. Výpočet se provede rozdělením výtažku na jednotlivé, jednoduché části, skládající se ze dna o průměru ‘ d_s ’ a tloušťce ‘ s_0 ’, zaoblení ze dna do pláště, pláště o válcovém mezikruží průměru ‘ d_s ’ a výšce ‘ h ’, zaoblení z pláště do příruby a oblasti příruby. Následně se výpočtem určí velikosti jednotlivých ploch. Jejich součet se dle zákona zachování rovnosti ploch musí rovnat ploše přístřihu. Platí – li tato podmínka, pak se průměr přístřihu D_0 vypočte podle:

$$S_p = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \rightarrow D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = 1,13 \cdot \sqrt{S} \text{ [mm]}, \quad (2.5)$$

kde: S – součet jednotlivých ploch [mm²]

- Z předem stanovených vzorců – ty jsou již přichystané pro různé tvary jednotlivých jednoduchých částí a při výpočtu bývají zvoleny části odpovídající výslednému výtažku. V případě kdy je součástí rotačního výtažku příruba, platí:

$$D_0 = \sqrt{D_1^2 + 4 \cdot d_s \cdot h - 3,44 \cdot d_s \cdot r_s} \text{ [mm]}, \quad (2.6)$$

kde: r_s – poloměr zaoblení přechodu stěny do dna výtažku a do příruby [mm]

D_1 – průměr příruby výtažku [mm]

- Ze znalosti hmotnosti výtažku – ke zjištění velikosti přístřihu lze využít vztah:

$$D_0 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{m_v}{\rho \cdot s_0}} \text{ [mm]}, \quad (2.7)$$

kde: m_v – hmotnost vzorku, zvětšená o přídavek na ostřížení [g]
 ρ – hustota materiálu [$\text{g} \cdot \text{mm}^{-3}$]

Při porovnání výše uvedených možností a výpočtů ke zjištění velikosti přístřihu se jako nejvýhodnější jeví využití počítačového programu, kde není potřeba využívat výpočet ani odečítání z diagramu. Dále výpočet ze znalosti vzorku výtažku, pak výpočet za využití předem stanoveného vzorce. Komplikovanější, ale velice přesný je výpočet všech jednotlivých ploch a nakonec odečtení z diagramu.

Pokud k dosažení výsledného výtažku nevystačí jediná tažná operace, zavádí se jich více. Jejich počet se určí dle přetvárných vlastností materiálu, tzv. stupně přetvoření. Jeho velikost je tedy v jednotlivých operacích omezena a z toho vyplývá, že z přístřihu o určitém průměru ' D_0 ' lze zhotovit na jeden tah pouze výtažek o určitém minimálním průměru a hloubce. Pokud by došlo k překročení těchto hodnot, nastalo by porušení. Aby se zabránilo tomuto nežádoucímu jevu, když je potřeba zhotovit výtažek o průměru menším, než jakého je možné dosáhnout v první operaci, zavádí se postupné tažení ve více operacích, viz obr. 14.

Velikost přetvoření lze určit na základě několika ukazatelů, jedním z nich je poměrná tloušťka plechu:

$$\frac{s_0}{D_0} \cdot 100 \quad (2.8)$$

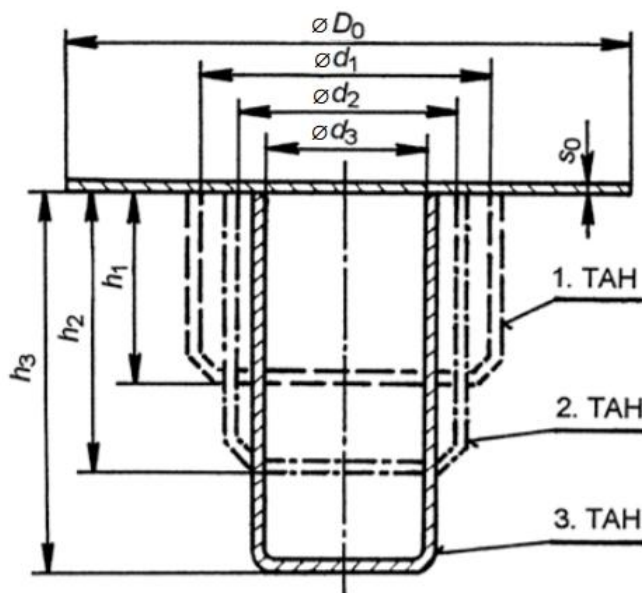
Ta má největší vliv na velikost součinitele tažení ' m ', který je právě jedním ze způsobů určení stupně přetvoření. Součinitel tažení vyjadřuje zmenšení výchozího průměru přístřihu a klesá s růstem tažné síly. Vyjadřuje tedy míru tvařitelnosti a platí pro něj:

$$m = \frac{d}{D_0} [-] \quad (2.9)$$

Stupeň přetvoření lze určit i jeho převrácenou hodnotou tzv. stupněm tažením K, který je dán:

$$K = \frac{1}{m} = \frac{D_0}{d} [-] \quad (2.10)$$

Další ovlivňující faktory součinitele tažení jsou např. materiál, jakost plechu a jeho tloušťka. Dále geometrie funkčních částí tažníku a tažnice, podmínky tažení a zvolená technologie. Minimální dosažitelné hodnoty součinitelů tažení jsou uváděny v příloze 1. Potřebný počet operací se určí s využitím těchto tabulek. Pro druhé a další tahy hodnota součinitele tažení roste. Menší hodnoty se využívají především pro hlubokotažné materiály a při větším zaoblení tažných hran tažníků a tažnic.



Obr. 14 Schéma postupného tažení ve třech tazích [30]

Mezi další způsob určení maximální dosažitelné deformace v jednom tahu lze zařadit např. využití diagramů mezních stupňů přetvoření.

Celkový součinitel tažení ' m_c ' musí být větší než součin dosažitelných hodnot součinitelů tažení v jednotlivých tazích. Pokud je tato podmínka splněna, lze výtažek zhotovit v jedné operaci, když podmínka splněna není, je potřeba využít operací více a musí platit:

$$m_c \geq m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_n = \frac{d_1}{D_0} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{d_3}{d_2} \cdot \dots \cdot \frac{d_n}{d_{n-1}} = \frac{d_n}{D_0} [-], \quad (2.11)$$

kde: m_1, m_2, m_3 – hodnoty součinitele tažení v jednotlivých tazích [-]

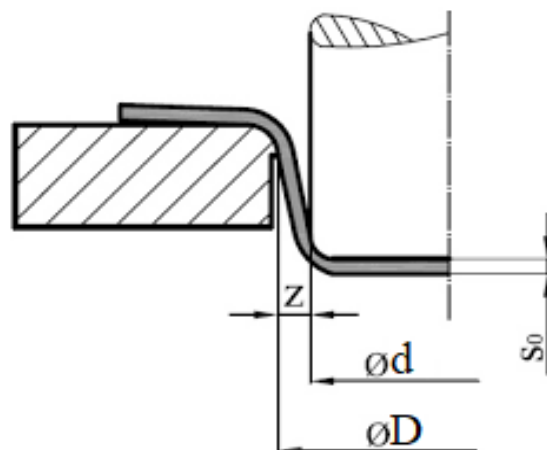
d_1, d_2, d_3 – vnitřní průměry výtažku [mm]

d_{n-1} – průměr výtažku předešlého tahu [mm]

d_n – průměr výtažku počítaného tahu [mm]

2.2 Mezera a rychlost [1], [2], [3], [16], [18], [30], [31]

V procesu tažení není tloušťka výtažku konstantní, protože při zmenšování průměru přístřihu dochází vlivem pětchování materiálu ke zvětšování tloušťky v oblasti příruby. Na změnu tloušťky má vliv celá řada faktorů, počínaje druhem a stavem materiálu až po rychlost tažení a další. Změna tloušťky stěny se určuje dle velikosti tažné mezery. Tažná mezera ' z ' (obr. 15), která se nachází mezi tažníkem a tažnicí, tzv. poloviční tažná vůle, se volí větší, než je tloušťka přístřihu. Zvětšená tažná mezera by měla mít takový rozměr, aby se vykompenzoval zesílený okraj výtažku vznikající v průběhu tažení, který je navíc zvětšený o rozměrové tolerance tloušťky daného přístřihu a ještě by měla umožnit bezproblémový průchod materiálu. Na mezeru má především vliv tloušťka přístřihu. Z výše uvedených informací vyplývá, že mezera bude odstupňována dle počtu tahů a bude rozdílná pro první a další i pro kalibrační zdvih. Velikost mezery se u druhých a dalších tahů postupně zmenšuje až k minimální hodnotě, která odpovídá závěrečnému tahu, tzv. kalibračnímu.



Obr. 15 Tažná mezera [31]

Velikost mezery lze stanovit více způsoby:

- Určení podle norem – jedná se o jednu z metod, kdy se doporučené hodnoty tažné mezery v závislosti na tloušťce přístřihu a pořadí tahu vyhledají v normách. Jedná se o metodu nevyužívající výpočet.
- Metoda dle ČSN 22 7301 – stanovuje doporučené hodnoty mezery v první operaci z_1 dle vztahu:

$$z_1 = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot s_0 [mm] \quad (2.12)$$

Pro další tažné operace z_{2-n} platí:

$$z_{2-n} = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot s_0 [mm] \quad (2.13)$$

Vyžaduje-li se kalibrace výtažku, volí se tažná mezera z_k :

$$z_k = (1,0 \text{ až } 1,1) \cdot s_0 [mm] \quad (2.14)$$

- Metoda dle Oehlera – využívá jednotnou mezeru 'z' a výpočet zahrnuje kromě tloušťky přístřihu i koeficient 'k', který se stanovuje dle použitého materiálu, potom platí vztah:

$$z = s_0 + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_0} \text{ [mm]} \quad (2.15)$$

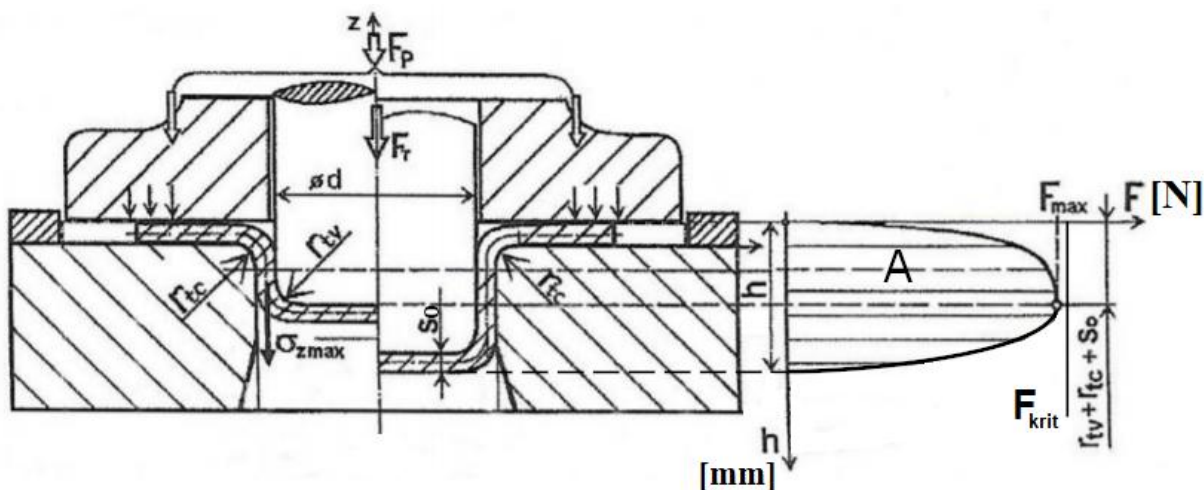
Další ovlivňující faktor tažného procesu je jeho rychlost. Rychlost přetvoření není během tažení vždy shodná s rychlostí pohybu nástroje, ale právě tato rychlost na ní má vliv. Dále ji ovlivňuje tvařitelnost, přetvárný odpor materiálu i stabilita plastického toku. Je popsána jako dosažená velikost přetvoření za jednotku času. Neměla by překročit určitou hranici, jelikož vysoká rychlost zhoršuje dovolený stupeň tažení a mohlo by nastat porušení výtažku. Volí se dle použitého materiálu, čím tvrdší materiál tím menší rychlost. Konkrétní doporučená hodnota rychlosti tažení pro korozivzdornou ocel činí $7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

2.3 Síla a práce [1], [2], [16], [17], [18], [19], [20], [30], [32]

Tažná síla se v průběhu procesu mění, viz obr. 16. S dráhou tažníku roste až do okamžiku, kdy dosáhne svého maxima, které nastává přibližně v hloubce odpovídající součtu původní tloušťky výtažku, poloměru zaoblení tažnice ' r_{tc} ' a tažníku ' r_{tv} '. Vztah hloubky maximální tažné síly $h_{F_{max}}$ je tedy:

$$h_{F_{max}} = s_0 + r_{tc} + r_{tv} \text{ [mm]} \quad (2.16)$$

Příčinou dosažení maximální tažné síly ' F_{max} ' je intenzivní zpevňování materiálu. Největší vliv vychází z podílu tření a prostorového ohybu. Po dosažení nastává zlom a tažná síla začne klesat až na nulovou hodnotu, která signalizuje konec tahu. Stanovuje se v závislosti na hloubce výtažku ' h ' a bývá vyhodnocena z důvodů stanovení vhodnosti lisu.



Obr. 16 Průběh tažné síly v závislosti na hloubce v procesu tažení prvního tahu [18]

Tažná síla se skládá ze tří hlavních složek. Síly k překonání tření ve stykových plochách, pro ohyb na tažné hraně a potřebné k plastické deformaci příruby. Její výpočet vychází tedy ze znalosti jednotlivých složek, anebo ze znalosti výsledného napětí v plášti výtažku. Po jejím zjištění je potřeba vypočítat hodnotu síly přidržovače ' F_p ' působící rovnoběžně s osou nástroje, která se stanoví na základě měrných tlaků přidržovače, kde závisí na tloušťce a mezi pevnosti taženého materiálu. Pro hodnotu F_p pak platí:

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

kde: p – měrný tlak přidržovače [MPa], pro ocelové plechy se volí 2,0 až 3,0
 S_p – účinná plocha přidržovače [mm^2]

Následným součtem vzniká hodnota celkové tažné síly 'F_c'. V případě víceoperačního tažení závisí na druhu stroje a přidržovače, ovšem teoreticky se sčítají jednotlivé složky tažných a přidržovacích sil. Celková síla je tedy dána:

$$F_c = F_{t_i} + F_{p_i} [N] \quad (2.18)$$

V praxi se počítá síla potřebná k porušení kritického místa výtažku 'F_{krit}' v oblasti dna. Tažná síla 'F_t' nesmí překročit kritickou F_{krit}, proto platí vztah:

$$F_t < F_{krit} = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot R_m \cdot c [N], \quad (2.19)$$

kde: R_m – mez pevnosti v tahu materiálu výtažku [MPa]

c – koeficient zohledňující součinitel tažení m, hodnota c < 1 a klesá s růstem m

Průběhy tažné síly při různých hodnotách součinitele tažení 'm', kterého při výpočtu zohledňuje koeficient 'c' jsou znázorněny na obrázku 17.

Na tažnou sílu má vliv i tažná mezera, kdy příliš velká způsobuje snížení síly, zvýšení životnosti nástroje a tvorbu sekundárních vln ve stěně výtažku. V případě malé mezery je síla větší a při dosažení kritické hodnoty může dojít k porušení dna. Dále hrozí zadírání plechu v tažném nástroji, což se projeví svíslými rýhami na plášti výtažku.

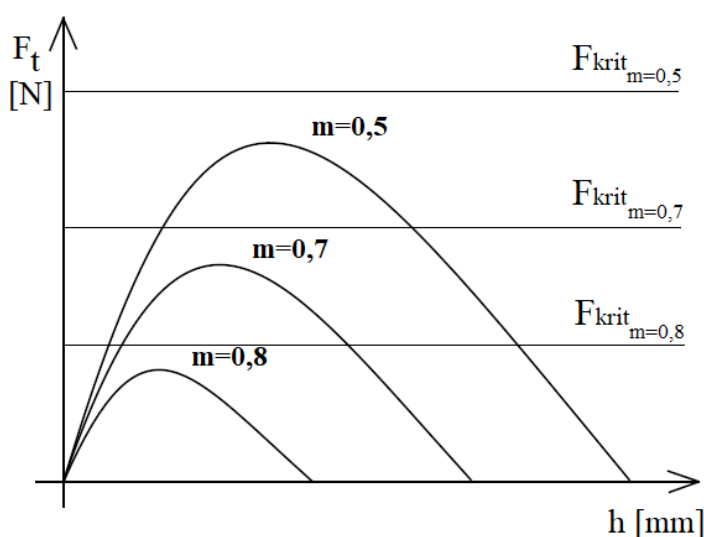
Korozivzdorná ocel, ze které bude kanalizační těleso vyrobeno, vyžaduje vyšší tažné síly a tvářením za studena se rychle zpevňuje. Je tedy nutné ji častěji žíhat.

Velikost tážné práce lze zjistit dvěma způsoby:

- Experimentální metoda – jedná se o méně používaný způsob, ve kterém se využívá znalosti přetvárných odporů pro zvolený materiál a geometrii nástroje v závislosti na logaritmických přetvořeních (obr. 12), která jsou třeba vypočítat. Tento způsob je sice vysoce přesný, ale poměrně složitý a proto se hlavně využívá numerické integrace,
- Numerická integrace – velikost tažné práce A odpovídá ploše pod křivkou tažné síly, viz obr. 16. Pro zjednodušení integračního výpočtu a tím zrychlení práce se používá upravený vztah, pro který platí:

$$A = \frac{F_c \cdot C \cdot h}{1000} [J], \quad (2.20)$$

kde: C – koeficient zaplnění plochy (C = 0,6 až 0,8 [-])



Obr. 17 Vliv součinitele tažení na tažnou sílu v závislosti na hloubce [20]

2.4 Nástroje [1], [17], [18], [19], [32]

Tažný nástroj, tzv. tažidlo, viz obr. 18, je lisovací nástroj sloužící ke zhotovení požadovaného výtažku z plechového přístříhu. Funkční části jsou tažník, tažnice a přídržovač. Ten je využit podmíněně, ale vzhledem k požadované přírubě a korozivzdornému materiálu bude pravděpodobně součástí tažidla. Ostatní prvky jsou konstrukčního typu.

Konstrukci tažných nástrojů lze rozdělit dle počtu operací na tažidla pro první tahy a pro druhé a další tahy. Závisí také na druhu lisu a přítomnosti přídržovače. Geometrii a funkci výtažku i na technologických parametrech tažení. Nezbytná je znalost mechanických vlastností materiálu, jeho kvalita a tloušťka. Zvažuje se i druh tažidla, který může být:

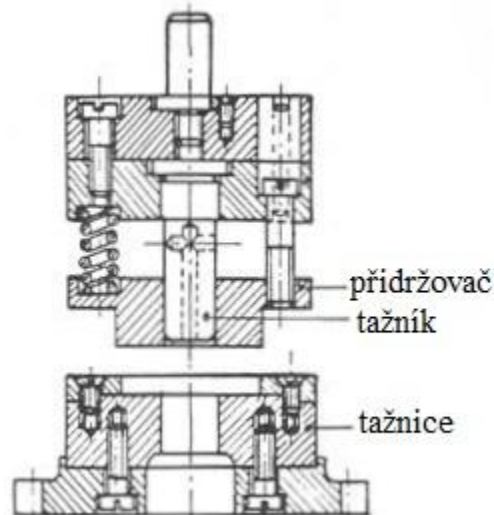
- jednoduchý – součást tažena v jednom tahu,
- postupový – výtažek zhotoven ve více krocích za sebou,
- sloučený – během jednoho zdvihu proběhne více tažných operací,
- sdružený – nástroj umožňuje na jeden tah provést současně s tažením i další technologickou operaci.

Při tažení korozivzdorné oceli je zapotřebí, aby funkční části nástroje byly vyrobeny ze speciálních materiálů. V případě využití běžných ocelí by totiž docházelo k nežádoucímu jevu, jako je zadíráání výtažku na funkčních plochách nástrojů.

Jedním z vhodných materiálů, které se dříve využívaly, byl tvrdý bronz, jelikož se společně s korozivzdornou ocelí vzájemně nezadírají. Disponuje vysokou tvrdostí a houževnatostí, je tedy křehký a těžko obrobitelný. Z ekonomického hlediska se v určitých situacích využívaly pouze bronzové vložky na funkčních plochách a zbytek tažidla byl z levnější kalené nástrojové oceli. Při vyšších sériích se využíval materiál ze slinutého karbidu. Ten má vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení. Výhodou je možnost zvýšení tažných rychlostí bez negativních účinků na dosahovanou přesnost. Aktuálně se využívají nástrojové oceli třídy 19, které jsou zušlechťeny. Vykazují vysokou tvrdost a vysokou pevnost v tahu při dostatečné houževnatosti. Tyto vlastnosti jsou pro tažné nástroje, které pracují pod tlakem stěžejní.

2.4.1 Tažník a tažnice [1], [2], [16], [18], [30], [32], [33], [34]

Tažník je aktivní celek nástroje skládající se ze tří funkčních částí, které mají přímý vliv na vznikající součást. Mezi ně patří čelo, poloměr zaoblení a válcová část. Vnější průměr odpovídá vnitřním rozměrům součásti. Důležitý konstrukční prvek je odvzdušňovací otvor, který způsobí zavzdušnění prostoru výtažku, což umožní jeho snadnější stažení z tažníku, jelikož pod čelem nevznikne podtlak. Další prvky usnadňující stažení jsou nízká drsnost povrchu tažníku nebo užití stírače. Během procesu je mechanicky namáhán na vzpěr a po obvodu válcové části působícími radiálními silami. Existuje několik konstrukcí rozdělených dle velikosti požadovaného výrobku, příklady jsou znázorněny na obrázku 19, kde tažník a) je využit pro průměry menší jak 30 mm a b) je vhodný pro výrobu výtažků s průměrem větším jak 100 mm. V případě malých rozměrů se jeho konstrukce vyrábí jako celistvá, v opačném případě je dělená.



Obr. 18 Řez tažidlem pro jednočinný lis [19]

Velikost poloměru zaoblení tažníku r_{tv} může být větší, ale ve většině případů je totožné s poloměrem zaoblení tažnice r_{tc} , kromě posledního tahu, kde závisí na velikosti předepsaného zaoblení součásti. Tomu by měl odpovídat poloměr r_{tv} , jeho doporučená hodnota v posledním tahu je pro průměr výtažku 200 mm a více dána:

$$r_{tv} = (5 \text{ až } 7) \cdot s_0 [mm] \quad (2.21)$$

Další funkční částí tažidla je tažnice. Jedná se o pevnou část, která společně s pohyblivým tažníkem tvoří hlavní prvky nástroje. Při požadavku na kruhový výtažek bývají celistvé s prstencovým tvarem, ale mohou být i dělené. Obsahují funkční otvor, který je tvarově totožný s výtažkem a má potřebnou geometrii tažné hrany. Přes hranu je přístřih vtahován do tažnice a jedná se o nejvíce namáhanou část nástroje. Konstrukcí tažnic je opět celá řada (obr. 20). Tvar funkčních otvorů a úprava jejich tažných hran závisí na druhu výtažku a jeho odstraňování z tažnice, kterému pomáhá i velice nízká drsnost povrchu, dosažená leštěním. Geometrie, ale hlavně poloměr zaoblení tažné hrany tažnice a tažníku mají společně s mezerou největší vliv na výsledek procesu. Poloměr r_{tc} závisí na tloušťce a druhu taženého materiálu i na rozměrech tažné plochy. Zaoblení tažnice ovlivňuje více faktorů, jako je napětí v přístřihu, tažnou sílu, velikost součinitelů tažení a vznik nežádoucích prvků v průběhu procesu. Při zvětšování poloměru r_{tc} dochází k usnadnění procesu, díky dosažení výhodnějšího součinitele tažení a tím umožnění navýšit hloubku tahu v operaci, ovšem na úkor zvyšování rizika ztráty stability, kvůli zmenšování plochy přístřihu pod přidržovačem. Mohlo by tedy dojít, zvláště u plechů malé tloušťky, ke komplikacím v podobě sekundárního zvlnění na nepřidržené ploše přístřihu. Při zmenšování poloměru r_{tc} dochází v tažném procesu ke značnému namáhání přístřihu a vzniku trhlin.

Velikost poloměru r_{tc} závisí na pořadí tahu a dá se stanovit více způsoby:

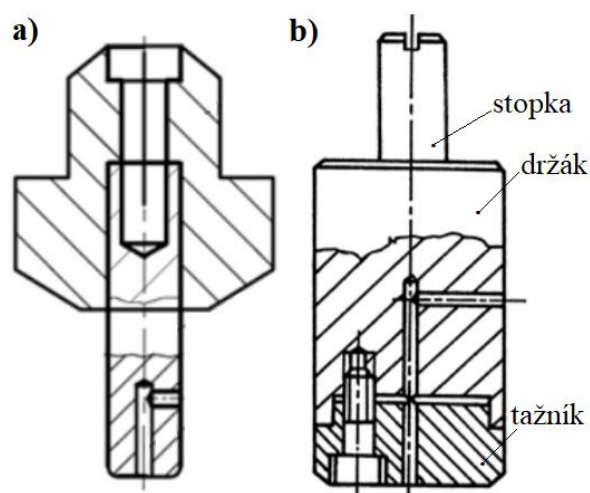
- Z diagramu – je stanovený pro různé typy výtažku, při závislosti poměrného poloměru tažné hrany na poměrné tloušťce plechu a požadovaný poloměr r_{tc} z něho lze odečíst,
- Dle ČSN 22 7301 – jedná se o početní metodu:

- Pro jednooperační tažení platí přibližný výpočet poloměru r_{tc} podle:

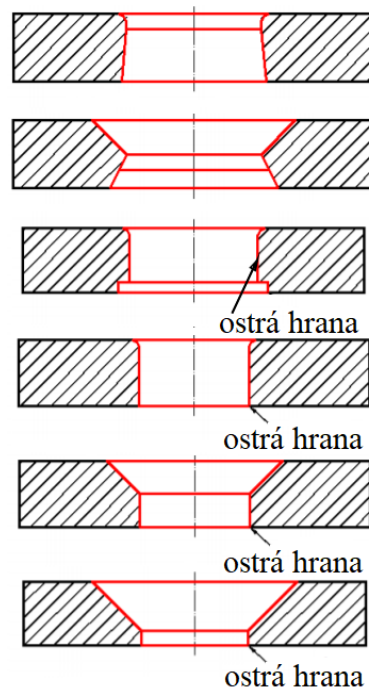
$$r_{tc} = (8 \text{ až } 10) \cdot s_0 [mm] \quad (2.22)$$

- Pro víceoperační tažení pak:

$$r_{tc} = (6 \text{ až } 8) \cdot s_0 [mm] \quad (2.23)$$



Obr. 19 Dělený tažník s odvodušením pro menší a větší průměry [18,30]



Obr. 20 Schéma tažnic [34]

- Další typ početní metody – měla by být přesnější a stanovuje:
 - Poloměr r_{tc} pro první tah:

$$r_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d) \cdot s_0} \text{ [mm]} \quad (2.24)$$

- Pro další tahy se poloměr r_{tc} určí:

$$r_{tc} = \frac{d_{n-1} - d_n}{2} - s_0 \text{ [mm]} \quad (2.25)$$

2.4.2 Přidržovač [1], [2], [3], [16], [18], [30], [32]

Jedná se o funkční část nástroje s podmíněným využitím. Aplikuje se v případě nebezpečí vzniku zvlnění v přírubě součásti, ke kterému by mohlo dojít vlivem převládajících tangenciálních tlakových napětí. Když se toto tzv. prvotní zvlnění dostane při postupu tažníku přes tažnou hranu tažnice, navýší se tažná síla až do okamžiku utržení dna výtažku. Princip proti vzniku spočívá v přitlačení funkční plochy přidržovače na plochu přístříhu dostatečně velkou silou, která současně s eliminací zvlnění umožní i vtahování přístříhu bez vzniku trhlin nebo kritického difuzního ztenčení a také zapříčiní snížení rychlosti toku materiálu v průběhu procesu. Síla může být vyvozena za pomoci pružiny, pneumaticky nebo nejčastěji hydraulicky.

Při tažení tenkého plechu s nižším součinitelem tažení je nebezpečí vzniku zvlnění větší než při vtahování tlustostěnných výtažku, kde se zpravidla přidržovače nevyužívá, jelikož stabilita příruby je dostačující. Přidržovač navíc reguluje přísun materiálu do ohniska deformace a zvyšuje třecí odpory, které vedou opět k navýšení tažné síly.

Ke zjištění nutnosti použití přidržovače existuje celá řada doporučení, které lze nalézt v odborné literatuře. Využívají se v praxi ověřené empirické vztahy a jedním z častějších způsobů je výpočet dle ČSN 22 7301. Součinitel k_p určující nezbytnost použití přidržovače se vypočte dle vztahu:

$$k_p = 50 \cdot \left(x - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) [-], \quad (2.26)$$

kde: x – materiálová konstanta [-], 1,9 pro ocelové hlubokotažné plechy

Táhnout s přidržovačem je nezbytné, je-li v prvním tahu splněna podmínka:

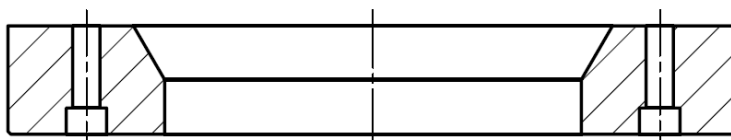
$$k_p \geq 100 \cdot \frac{d_1}{D_0}, \quad (2.27)$$

kde: d_1 – vnitřní průměr výtažku po první operaci [mm]

V dalších tazích je nutné využít přidržovač, platí-li vztah:

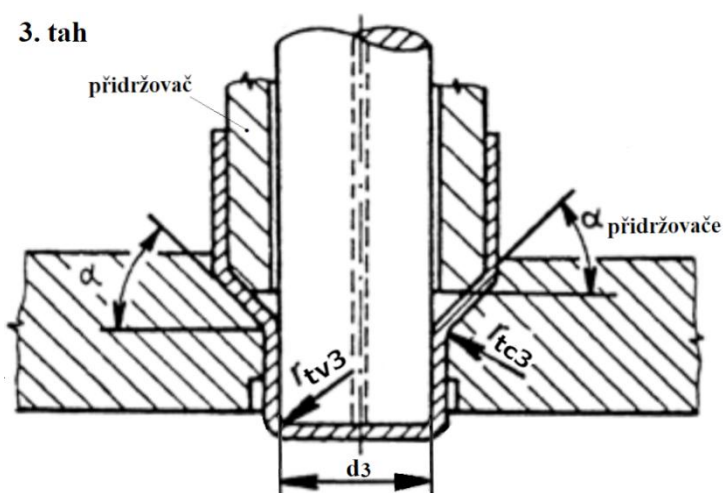
$$\frac{d_n}{d_{n-1}} < 0,9 \quad (2.28)$$

Existuje i podmínka, kdy je potřeba využití přidržovače nezbytná a to v případě, že tloušťka taženého plechu ' s_0 ' je menší jak 0,5 mm. Přítomnost přidržovače má vliv na konstrukci tažidla, s ohledem na výběr vhodného lisu.



Obr. 21 Rovinný přidržovač prstencového tvaru

Tvar přídržovače závisí na pořadí tahu. V prvním se využívá přídržovač rovinný, kde úhel $\alpha = 0$, který má prstencový tvar (obr. 21). V dalších se využívá přídržovač s účinnou plochou kuželovou, kde úhel $\alpha = 30$ až 45° , viz obr. 22. Tento sklon slouží mimo jiné ke snížení odporu plechu proti vtahování do tažnice. Účinnou plochou přídržovače se nazývá plocha, která je v kontaktu s přístřihem.



Obr. 22 Úhel přídržovače v procesu 3. tahu [30]

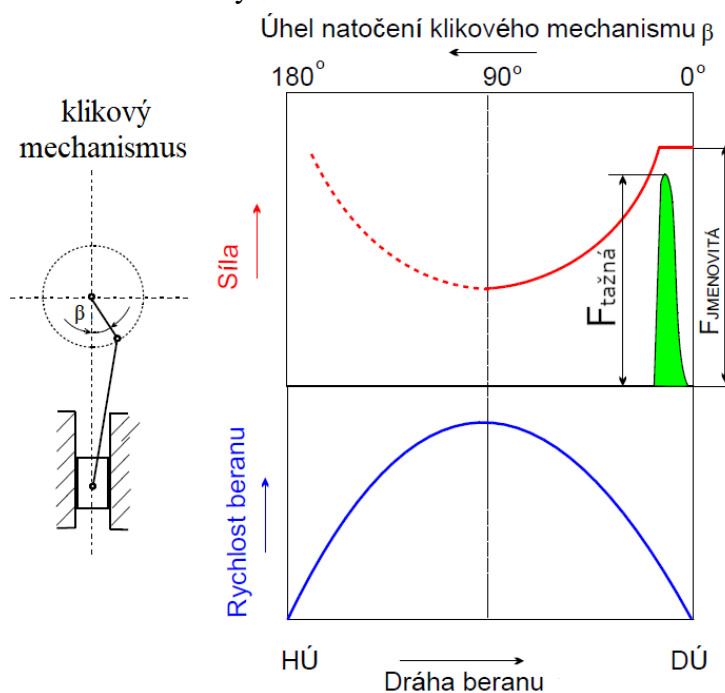
2.5 Stroje [1], [2], [17], [35], [36]

Tvářecí stroje využívající se ke zpracovávání technologií jsou nazývány tažné lis. Rozlišují se dle pohonu a konstrukce. V závislosti na pohonu jsou mechanické nebo hydraulické. Podle konstrukce jsou lisy:

- jednočinné – lis disponuje pouze vnitřním beranem, což je hlavní pracovní mechanismus
- dvojčinné – kromě vnitřního beranu obsahuje navíc beran vnější, který slouží k vyvození síly na přídržovači. Pohyb vnitřního beranu s tažníkem je časově zpožděn za pohybem vnějšího beranu, tzv. smykadla s přídržovačem,
- trojčinné – jsou vybaveny mimo výše zmíněné berany i vnitřním smykadlem, což umožňuje provedení více operací na jeden zdvih, přičemž smykadla lze ovládat nezávisle na sobě,

Pracovní zdvih u mechanických tažných lisů je poměrně vysoký a koná ho klikový mechanismus. Jmenovitá síla je vyvinuta těsně před dolní úvratí smykadla, viz obr. 23. Jedná se o nevýhodu, ale zároveň i o charakteristický znak. Z obrázku 23 lze navíc vidět, že nejvyšší rychlost beranu je mezi horní a dolní úvratí. Lisy disponují vysokou výrobností a jednoduchostí konstrukce, ale hrozí zde nebezpečí přetížení, proto může být zatížen pouze silou nepřevyšující tu jmenovitou (obr. 23). Nevýhodou je také průběh rychlosti a síly.

Mezi nejběžnější typy patří lisy výstředníkové a klikové. Využívají se spíše v malosériové výrobě, kvůli složitějšímu ustavování polotovaru. Výstředníkové slouží ke zhotovování mělkých výtažků a klikové lze využít i pro hluboké tažení, ale spíše plechů malých tloušťek.



Obr. 23 Pracovní diagram klikového lisu [36]

Pro hluboké tažení tenkých plechů se využívá převážně hydraulických lisů. Zdrojem je tlaková energie kapaliny – hydraulického oleje. Jsou nejvhodnější variantou pro hluboké tažení, jelikož v porovnání s mechanickými lisy umožňují plynulou regulovatelnost tažné a přidržovací síly i rychlosti beranu. Tyto parametry lze navíc v průběhu procesu udržovat v konstantních hodnotách. Dále je možné vyvodit výrazně vyšší síly a libovolné nastavení velikosti pracovního zdvihu z celkového zdvihu beranu. Nevýhodou je menší výrobnost, kvůli pomalejšímu chodu beranu. Složitější konstrukce pohonu a údržba, vyšší pořizovací náklady a horší účinnost.

2.6 Maziva [1], [16], [17], [19], [30]

V procesu tažení vznikají mezi tažným nástrojem a taženým materiálem třecí síly. Mazivo tyto nežádoucí třecí účinky snižuje. Správná volba by měla splňovat hlavní požadované faktory jako je snížení tření na hodnoty sil, při kterých by nedocházelo k porušení taženého materiálu, jelikož ztráty třením představují jejich zvýšení o 20 až 30 %. Dále zlepšení kvality povrchu v podobě odstranění zadírávání přístřihu na styčných plochách nástroje a nakonec s tím spojené celkové zvýšení životnosti tažidla.

Nemusel by se mazat celý přístřih, jelikož je výhodné, aby ze strany tažníku bylo tření co nejvyšší a naopak ze strany tažnice zase co nejnižší. Proto by se měla mazat pouze kontaktní plocha mezi přístřihem a přidržovačem a přístřihem a tažnicí, ale aplikace v praxi je těžko proveditelná, takže se maže vše. Mazivo by při tažení korozivzdorných materiálů mělo na taženém přístřihu optimálně přilnout a vytvořit rovnoměrnou, nepřerušovanou a jemnou vrstvu. Zvláště při tažení těchto materiálů, kde musí být vyšší tlaky, než při tažení běžných ocelí, je nezbytné, aby nedošlo k porušení soudržnosti nanesené vrstvy. Mělo by být chemicky odolné, ekologicky nezávadné a nemělo by docházet k poškozování nástroje ani výtažku. Při požadavku na přilnavost je potřeba brát v úvahu náročnost odstranění nanesené vrstvy z hotového výtažku, které je složitější se vzrůstající přilnavostí.

Používaná maziva lze rozdělit na kapalná a tuhá. Volba se provádí s ohledem jak na požadavky výroby, tak dle nákladů, ale hlavně dle taženého materiálu. Pro korozivzdorné materiály se nevyužívá běžných kapalných maziv, jako jsou lehké oleje a mýdlové směsi. Využívají se různé organické směsi, např. směs řepkového oleje a běloby olovnaté s přídavkem siričného květu.

2.7 Technologičnost [1], [17], [19], [20], [36], [37], [38], [39], [40]

Technologičnost je souhrn vlastností technicko – ekonomického charakteru, která stanovuje nezbytné požadavky k výrobě a konstrukci požadovaného výtažku s dosažením funkčnosti a předepsané kvality v co nejkratším čase za minimální náklady. Má na ní velký vliv velikost výrobní série i samotný materiál výtažku, kde se zohledňují jeho mechanické vlastnosti a vhodnost k tvářecímu procesu. Mezi doporučené požadavky k optimální technologii konstrukce lze zařadit:

- tvarovou jednoduchost výtažku – se snahou o minimální dovolenou výšku, jelikož se složitostí a výškou vzrůstá počet operací, s čímž je spojeno zvyšování tažných sil a snižování životnosti nástroje,
- rotační tvar – nejvhodnějšího jsou tělesa tohoto tvaru se dnem kolmým k jejich ose (obr. 24),



Obr. 24 Nejvhodnější typ výtažku [39]

- příruby – používat jen v nezbytných případech a se snahou o její minimalizaci, znázorněna na součástech, viz obr. 25,
- zaoblení – nežádoucí jsou ostré přechody u hranatých výtažků (obr. 26), které je potřeba v přechodu z pláště do dna a do příruby dostatečně zaoblit, zaoblení je dáno dle konstrukce tažných nástrojů a v průběhu procesu se dá pozměnit jedine následnou kalibrací,
- tolerance – rozměrů tak, aby se již nemusely kalibrovat,
- netolerovat tloušťku stěny – pokud to není zcela nezbytné, raději zvolit přístřih s větší tloušťkou, případně volit co největší toleranci, což platí i pro příčné rozměry,
- nepředepisovat nadbytečné tolerance – jak rozměrové, tak geometrické, pokud to není vyžadováno pro správnou funkčnost součástí,
- minimální tloušťky – zvolit co nejmenší dovolenou tloušťku výtažku,
- drsnost povrchu – snaha o snížení požadavků, jelikož vlivem velkých přetvoření dochází k jejímu zvyšování,
- přebytečný materiál – nutnost počítat s ostřížením nerovnoměrného okraje.

Přesnost výtažku závisí na několika faktorech, jako je jeho konstrukce, anizotropie plechu, opotřebení a přesnost nástroje. Pohybuje se v tolerančním stupni od IT 11 až IT 12, v případě potřeby lze získat kalibrací nižší hodnoty.



Obr. 25 Součásti s přírubou [39]



Obr. 26 Nerotační výtažek [40]

3 NÁVRH ŘEŠENÍ

Vyráběná součást je kanalizační těleso (obr. 27), patřící do sestavy hygienické podlahové vpusti. Výška činí 171 mm, průměr pláště je 218 mm a příruby 242 mm, přičemž tolerance výšky je od 0 do -1 mm, příruby od 0 do -2 mm a pláště ± 2 mm. Tloušťka tělesa je 1,5 mm a použitý materiál k výrobě bude chrom – niklová austenitická ocel s označením 1.4301, která je zvolena na základě požadavku odolnosti tělesa vůči korozi. Počet kusů za rok je přibližně 25 000.

Z hlediska technologičnosti splňuje těleso většinu doporučených požadavků. Je tvarově jednoduché, má válcový tvar se dnem kolmým k jeho ose. Sice obsahuje přírubu, ale ta je nezbytná z hlediska funkčnosti. Nemá ostré přechody, tloušťka je zvolena minimální a bez předepsané tolerance. Celkově nejsou předepsány žádné zbytečné požadavky kromě nezbytných pro správnou funkčnost. Není vyžadována ani nízká drsnost a výtažek nebude třeba kalibrovat.

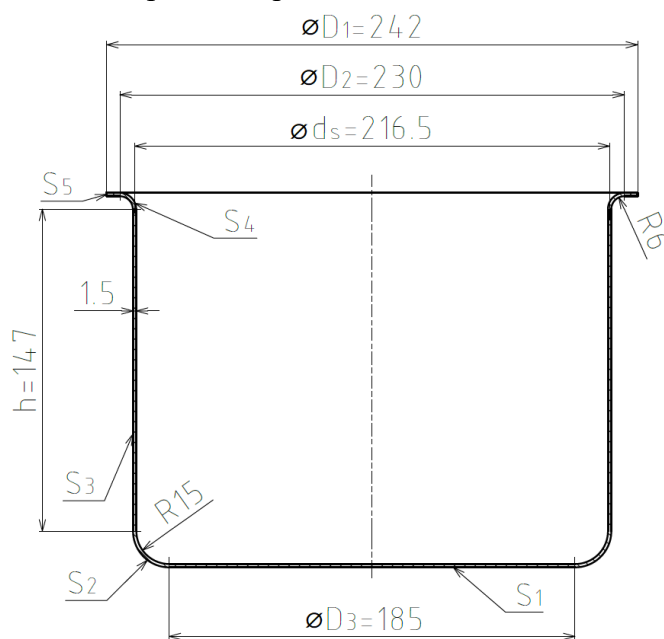


Obr. 27 Vyráběné těleso

3.1 Velikost přístřihu a počet tažných operací [41]

Na počátku řešení je nezbytné určit velikost přístřihu plechu. Při určování velikosti bude zanedbán prolis v plášti výtažku, jelikož bude zhotoven odlišnou technologií, a také změna tloušťky, ke které dochází v průběhu procesu. Vzhledem k tloušťce stěny se bude vycházet ze středního průměru. Ke zjištění velikosti budou využity různé metody, ke zvolené se po stanovení počtu operací přičte přírůstek na ostřížení a zjistí se celková velikost přístřihu:

- Výpočet využívající zákona rovnosti ploch – výtažek se rozdělí na jednotlivé jednoduché části (obr. 28) u kterých se vypočte plocha:



Obr. 28 Jednotlivé plochy se základními rozměry

- Plocha dna S_1 :

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} = \frac{\pi \cdot 185^2}{4} = 26\,880,25 \text{ mm}^2 \quad (3.1)$$

- Plocha zaoblení ze dna do pláště S_2 :

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot D_3 \cdot R_{s_1} + 4 \cdot R_{s_1}^2) \\ &= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 185 \cdot 15,75 + 4 \cdot 15,75^2) = 15\,937,4 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (3.2)$$

- Plocha pláště S_3 :

$$S_3 = \pi \cdot d_s \cdot h = \pi \cdot 216,5 \cdot 147 = 99\,982,76 \text{ mm}^2 \quad (3.3)$$

- Plocha zaoblení z pláště do příruby S_4 :

$$\begin{aligned} S_4 &= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot D_2 \cdot R_{s_2} - 4 \cdot R_{s_2}^2) \\ &= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 230 \cdot 6,75 - 4 \cdot 6,75^2) = 7\,375 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (3.4)$$

- Plocha příruby S_5 :

$$S_5 = \frac{\pi \cdot (D_1^2 - D_2^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (242^2 - 230^2)}{4} = 4\,448,5 \text{ mm}^2 \quad (3.5)$$

- Jednotlivé plochy se následně sečtou, celková plocha výtažku 'S' je pak:

$$\begin{aligned} S &= S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 \\ &= 26\,880,25 + 15\,937,4 + 99\,982,76 + 7\,375 + 4\,448,5 \\ &= 154\,623,91 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

- Celková plocha se následně dosadí do vzorce (2.5), ze kterého se zjistí průměr přístříhu D_0 :

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 154\,623,91}{\pi}} = 443,7 \text{ mm}$$

Z výše uvedených výpočtů lze vidět, že se jedná sice o velmi přesný, ale komplikovaný výpočet s možným sčítáním zaokrouhlovacích chyb. Hodnota průměru přístříhu D_0 vypočtena dle této metody činí 443,7 mm.

- Výpočet podle předem stanovených vztahů – využije se vztah (2.6):

$$\begin{aligned} D_0 &= \sqrt{D_1^2 + 4 \cdot d_s \cdot h - 3,44 \cdot d_s \cdot r_s} \\ &= \sqrt{242^2 + 4 \cdot 216,5 \cdot 147 - 3,44 \cdot 216,5 \cdot \left(\frac{6,75 + 15,75}{2}\right)} = 421,29 \text{ mm} \end{aligned}$$

Výsledek 421,29 mm se v tomto případě ve srovnání s první metodou využívající zákona rovnosti ploch výrazně odlišuje, je to způsobeno především zjednodušením výpočtu a také odlišností velikosti poloměrů v zaoblení z pláště do příruby a do dna.

- Výpočet ze vzorku výtažku – při znalosti tloušťky, materiálu a hmotnosti zjištěné z počítačového programu platí (2.7):

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot m_v}{\pi \cdot \rho \cdot s_0}} = \sqrt{\frac{0,004 \cdot 1,832}{\pi \cdot 7\,900\,000 \cdot 0,0015}} = 4,4367 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 443,67 \text{ mm}$$

Průměr přístříhu činí 443,67 mm a výpočet je ve srovnání s první metodou výrazně jednodušší, avšak ne každý vzorek je totožný, hmotnost zjištěná z počítačového programu se s reálně vyrobeným vzorkem v takové míře přesnosti slučovat nemusí.

- Výpočet využívající zákona rovnosti ploch – plocha bude v tomto případě zjištěna z celkového povrchu za pomoci programu Autodesk Inventor Professional:

- Plocha S vztahující se ke středním rozměrům kanalizačního tělesa:

$$S = 154\,623,91 \text{ mm}^2$$

- Velikost průměru přístřihu D_0 dle (2.5):

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 154\,623,91}{\pi}} = 443,7 \text{ mm}$$

Hodnota 443,7 mm je totožná s prvním výpočtem dle zákona rovnosti ploch, akorát byla získána výrazně rychlejším a snadnějším způsobem. Shoda ověřuje správnost výpočtu.

Z výše uvedených výsledků lze vidět, že neefektivnější je výpočet dle zákona rovnosti ploch s využitím počítačového programu, kdy hodnota činí 443,7 mm. Průměr přístřihu bude zaokrouhlen na 444 mm, jelikož je stejně potřeba, aby byl zvětšen o přírůstek na ostřížení.

Celkový přírůstek na ostřížení je závislý na počtu tahů. K jejich zjištění budou využity součinitele tažení m . Na počátku bude stanovena poměrná tloušťka plechu dle (2.8):

$$\frac{s_0}{D_0} \cdot 100 = \frac{1,5}{444} \cdot 100 = 0,338$$

Hodnota 0,338 spadá dle přílohy 1 do intervalu 0,6 až 0,3. Hodnoty součinitelů tažení pro zvolený interval jsou v tab. 2.

Tab. 2 Hodnoty mezních součinitelů tažení pro interval 0,6 až 0,3 [41].

Tažná operace	1	2	3	4	5
Součinitel tažení	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
Velikost součinitele tažení	0,58	0,79	0,81	0,83	0,86

Počet tažných operací společně s rozměry výtažku pro jednotlivé operace budou stanoveny dle vztahu (2.11):

- Operace 1:

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} \rightarrow d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,58 \cdot 444 = 257,52 \rightarrow \text{je zvoleno } 258 \text{ mm}$$

V případě, kdy je vypočtený průměr d_i menší nebo shodný než výsledný vnitřní průměr výtažku d nastává ukončení výpočtu:

$$d_1 \leq d \rightarrow 258 \leq 215 \rightarrow \text{podmínka není splněna, výpočet pokračuje}$$

- Operace 2:

$$m_2 = \frac{d_2}{d_1} \rightarrow d_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,79 \cdot 258 = 203,82 \rightarrow \text{je zvoleno } 204 \text{ mm}$$

$$d_2 \leq d \rightarrow 204 \leq 215 \rightarrow \text{podmínka je splněna, konec výpočtu}$$

Celkový přídavek na ostřížení činí vzhledem k počtu tažných operací 4 %, konečná velikost průměru přístřihu D_0 je tedy:

$$D_0 = 444 \cdot 1,04 = 461,76 \text{ mm} \quad (3.7)$$

Výsledný průměr přístřihu výtažku s přídavkem na ostřížení je zvolen 462 mm.

Vzhledem ke změně průměru přístřihu je nezbytné zkontrolovat počet tažných operací a zároveň přepočítat velikosti průměrů:

- Operace 1:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,58 \cdot 462 = 267,96 \rightarrow \text{je zvoleno } 268 \text{ mm}$$

$$d_1 \leq d \rightarrow 268 \leq 215 \rightarrow \text{podmínka není splněna, výpočet pokračuje}$$

- Operace 2:

$$d_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,79 \cdot 268 = 211,72 \rightarrow \text{je zvoleno } 212 \text{ mm}$$

$$d_2 \leq d \rightarrow 212 \leq 215 \rightarrow \text{podmínka je splněna, konec výpočtu}$$

- Celkový součinitel tažení m_c :

$$m_c = m_1 \cdot m_2 = 0,58 \cdot 0,79 = 0,46 [-]$$

Úprava jednotlivých součinitelů tažení tak, aby hodnota vnitřního průměru výtažku ve druhé, konečné operaci d_2 odpovídala vnitřnímu průměru výtažku d , to vše za podmínky dle vztahu (2.11):

- Upravený součinitel tažení m_c :

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \rightarrow 0,47 = 0,58 \cdot 0,80 [-]$$

- Úprava jednotlivých průměrů tažných operací:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,58 \cdot 462 = 267,96 \rightarrow \text{je zvoleno } 268 \text{ mm}$$

$$d_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,8 \cdot 268 = 214,4 \rightarrow \text{je dáno } 215 \text{ mm}$$

Počet tažných operací zůstal neměnný i po úpravě průměru přístřihu. Výtažek bude zhotoven na dvě operace s tím, že vnitřní průměr výtažku d_2 po druhé operaci bude 215 mm.

3.2 Rozmístění výstřížků na pásu/plechu [42], [43]

Snahou je zajistit výhodné umístění požadovaných přístřihů na vhodném polotovaru, ze kterého budou vystřihovány. Vzhledem k velkosériové výrobě kanalizačního tělesa, která činí přibližně 25 000 kusů za rok, lze dle správné volby uspořádání přístřihů ušetřit značné množství kapitálu a to díky výpočtu využití materiálu. Podle toho bude zvoleno uspořádání s minimální odpadovou plochou. Vhodný polotovar může mít dvě podoby, a to jako tabule plechu nebo svitek.

Svitek je využíván při velkých výrobních sériích, jelikož je zde možnost objednat si požadované rozměry šířky a délky, kterými běžné tabule nedisponují. Cena za ušetřené množství odpadu poté částečně vyrovná vysoké náklady, které jsou vyžadovány pro správné zpracování sviteků. Mezi ně je řazena především nástřihová linka, využívající ke správnému chodu dalších přídatných zařízení. Z ekonomického hlediska bude tedy jako polotovar zvolena tabule plechu, která má nižší náklady na zpracování.

Tabule plechu z materiálu 1.4301 s tloušťkou 1,5 mm lze dodávat ve třech variantách:

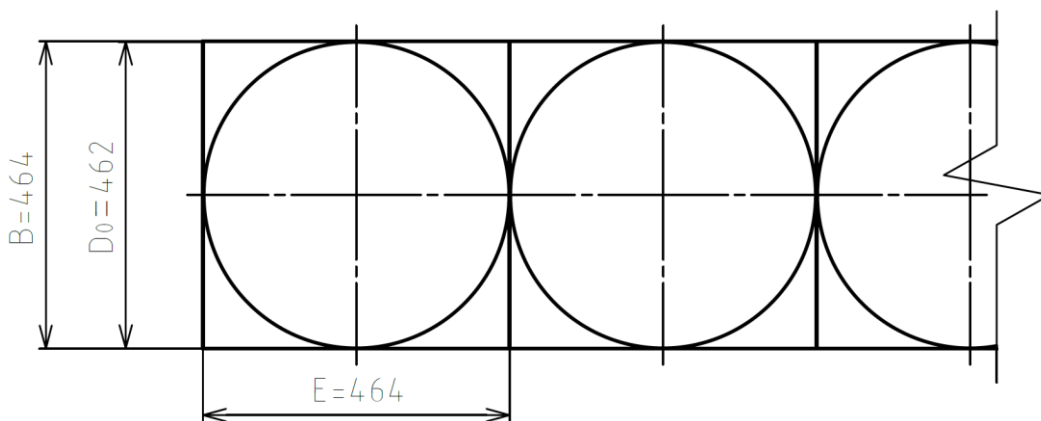
- varianta I. – 1000 x 2000
- varianta II. – 1250 x 2500
- varianta III. – 1500 x 3000

Na každé tabuli je buď podélné (a) nebo příčné (b) uspořádání. Vzhledem ke kruhovému tvaru přístříhu více způsobů nebude.

Průměr 462 mm je pro běžná konvenční stříhadla příliš velký, tudíž bude potřeba využít jinou technologii dělení, jako je např. laser a vodní paprsek, které ovšem nejsou vhodné z hlediska vysokých pořizovacích nákladů. Dále lze uvažovat o plazmatu, řezání kyslíkem nebo odlišnou technologií stříhání, využívající jako nástroj kotoučové nůžky (obr. 29). Pro vystřížení požadovaného přístříhu bude zvolen tento levný způsob na základě jednoduchosti a rychlosti provedení. Před ustavením do nástroje se tabule nastříhá na tabulových nůžkách na čtverce (obr. 30) požadovaných rozměrů, ze kterých se následně zhotoví předepsaný přístříh.



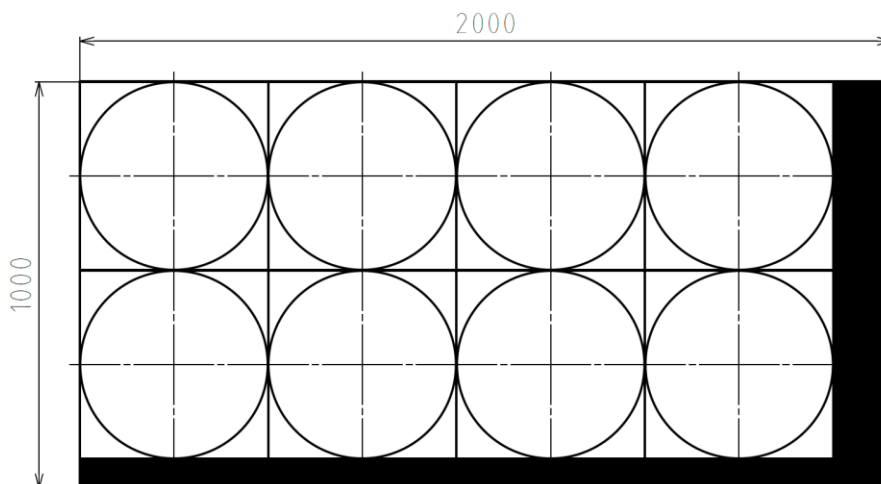
Obr. 29 Kotoučové nůžky [43]



Obr. 30 Umístění čtvercových výstřížků s požadovanými přístříhy na pásu plechu

Vzhledem k šesti variantám bude proveden pouze jeden vzorový výpočet k vybrané a zbytek budou s výslednými hodnotami zobrazeny v tab. 3:

- Varianta I. a) – tabule plechu o rozměrech 1000 x 2000 (obr. 31):



Obr. 31 Umístění čtvercových výstřížků na tabuli plechu – varianta I. a)

- Počet pásů n_p :

$$n_p = \frac{b}{B} = \frac{1000}{464} = 2,16 \text{ ks}, \quad (3.8)$$

kde: b – šířka tabule
 B – šířka pásu

Budou zvoleny 2 pásy z tabule, jelikož na další kus nezůstal potřebný prostor.

- Počet čtverců z pásu n_{vp} :

$$n_{vp} = \frac{a}{E} = \frac{2000}{464} = 4,31 \text{ ks}, \quad (3.9)$$

kde: a – délka tabule
 E – šířka čtverce

Počet čtverců z jednoho pásu bude z omezení prostoru stanoven na 4 kusy.

- Počet čtverců z tabule n_v :

$$n_v = n_p \cdot n_{vp} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ ks} \quad (3.10)$$

- Počet tabulí pro sérii n_t :

$$n_t = \frac{n_s}{n_v} = \frac{25\,000}{8} = 3\,125 \text{ ks}, \quad (3.11)$$

kde: n_s – velikost série [$\text{ks} \cdot \text{rok}^{-1}$]

- Využití materiálu η :

$$\eta = \frac{S_v \cdot n_v}{S_t} \cdot 100 = \frac{167\,638,53 \cdot 8}{2\,000\,000} \cdot 100 = 67,06 \%, \quad (3.12)$$

kde: S_v – plocha výstřižku:

$$S_v = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot 462^2}{4} = 167\,638,53 \text{ mm}^2 \quad (3.13)$$

S_t – plocha tabule:

$$S_t = 1000 \cdot 2000 = 2\,000\,000 \text{ mm}^2 \quad (3.14)$$

Využití materiálu ve variantě I. a) činí 67,06 % a počet tabulí potřebných pro sérii je 3125 ks.

Tab. 3 Souhrn výsledných parametrů všech zpracovávaných variant.

Varianta	I. a)	I. b)	II. a)	II. b)	III. a)	III. b)
Rozměr tabule [mm]	1000 x 2000	2000 x 1000	1250 x 2500	2500 x 1250	1500 x 3000	3000 x 1500
Počet pásů [ks]	2	4	2	5	3	6
Počet čtverců z pásu [ks]	4	2	5	2	6	3
Počet čtverců z tabule [ks]	8	8	10	10	18	18
Počet tabulí pro sérii [ks]	3125	3125	2500	2500	1389	1389
Využití materiálu [%]	67,06	67,06	53,64	53,64	67,06	67,06

Ekonomicky nejvýhodnější umístění čtvercových přístřihů na tabuli plechu je dle výpočtů využití materiálu u varianty I. a III. s hodnotou 67,06 %. Cena za kilogram je u obou stejná, bude tedy rozhodovat počet tabulí potřebných pro sérii, kde varianta III. k vyhotovení požadovaného počtu přístřihů zpracovává pouze 1389 tabulí, což sníží celkový manipulační a ustavovací čas. Bude tedy zvolena varianta III. a) nebo b.) Tabule bude nastříhána na 18 čtverců, ze kterých se následně na kotoučových nůžkách zhotoví přístřih D_0 o průměru 462 mm.

3.3 Mezera a poloměry zaoblení

Při stanovení tažné mezery záleží především na tloušťce přístřihu a pořadí tažné operace. Velikost bude určena za pomoci dvou metod:

- Dle ČSN 22 7301 (2.12):
 - Pro první operaci z_1 platí:

$$z_1 = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot s_0 = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot 1,5 = 1,8 \text{ až } 1,95 \text{ mm}$$
 - Vzhledem k víceoperačnímu tažení bude využit i vztah (2.13), kde je druhá operace z_2 určena podle:

$$z_2 = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot s_0 = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot 1,5 = 1,65 \text{ až } 1,8 \text{ mm}$$

Výsledné hodnoty tažné mezery jsou zvoleny dle první metody pro první operaci $z_1 = 1,8 \text{ mm}$ a pro druhou operaci $z_2 = 1,65 \text{ mm}$.

- Metoda dle Oehlera (2.15) – je zde využito jednotné mezery ‘ z ’, a při využití přístřihu z ocelového materiálu je dle odborné literatury [2] volen koeficient k v hodnotě 0,07:

$$z = s_0 + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_0} = 1,5 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot 1,5} = 1,77 \text{ mm}$$

Hodnota jednotné mezery je 1,77 mm, což je přibližně mezi výsledky z_1 a z_2 .

Z hlediska jednoduchosti provedení tažného nástroje a provozu by bylo vhodné zvolit jednotnou tažnou mezeru s velikostí 1,77 mm, ale je zde možné riziko nesrovnalostí v podobě ztíženého průchodu materiálu nebo nedodržení požadovaných tolerancí výtažku. To se zjistí např. při zkouškách nástroje, kdy následně bude potřeba velikost upravit. Proto je vhodné zvolit zvlášť mezeru pro první a druhou operaci v hodnotách 1,8 mm a 1,65 mm, kde je riziko snižené.

Poloměry zaoblení tažných hran jsou opět rozlišeny dle počtu tahů. Ke zjištění velikosti zaoblení tažnice lze využít dva způsoby:

- Dle ČSN 22 7301 je stanoveno:
 - Poloměr zaoblení tažnice r_{tc} pro první tah je dán vztahem (2.22):

$$r_{tc1} = (8 \text{ až } 10) \cdot s_0 = (8 \text{ až } 10) \cdot 1,5 = 12 \text{ až } 15 \text{ mm}$$

- Pro druhý tah platí dle (2.23):

$$r_{tc2} = (6 \text{ až } 8) \cdot s_0 = (6 \text{ až } 8) \cdot 1,5 = 9 \text{ až } 12 \text{ mm}$$

Hodnota zaoblení tažnice pro první tah dle ČSN 22 7301 je od 12 mm až do 15 mm a pro druhý od 9 mm až do 12 mm.

- Dalším způsobem by měly být získány přesnější hodnoty:

- Poloměr r_{tc} pro první operaci je dán podle (2.24):

$$r_{tc_1} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d) \cdot s_0} = 0,8 \cdot \sqrt{(462 - 215) \cdot 1,5} = 15,4 \text{ mm}$$

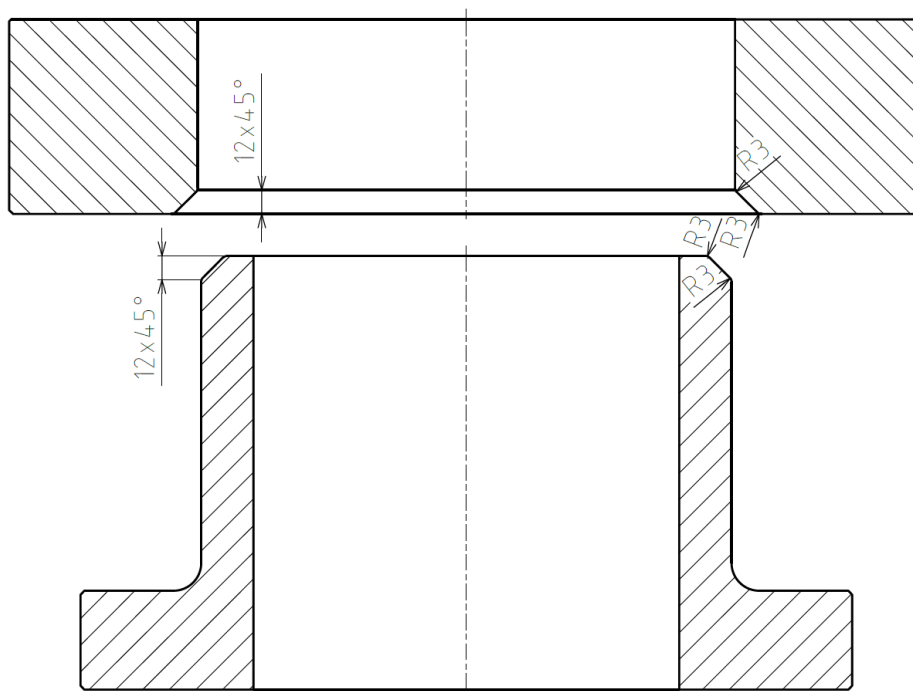
- Pro druhou operaci dle (2.25) platí:

$$r_{tc_2} = \frac{d_{n-1} - d_n}{2} - s_0 = \frac{268 - 215}{2} - 1,5 = 25 \text{ mm}$$

Hodnoty zaoblení tažnice získány tímto způsobem činí pro první operaci 15,4 mm a pro druhou 25 mm.

Velikost poloměru zaoblení tažnice je vzhledem k výsledkům z obou metod podobný, až na druhou operaci vypočtenou dle vztahu (2.25), kde je výsledek ve srovnání s prvním výpočtem výrazně odlišný, což nakonec není rozhodující, jelikož nebude využito ani jedné hodnoty. U druhého tahu totiž kvůli požadavku zaoblení příruby bude zvoleno r_{tc_2} v hodnotě 6 mm. Pro první tah nebude také využito ani jedno z vypočtených zaoblení, ale vzhledem ke konstrukci nástroje bude volena zkosená hrana v hodnotě $12 \times 45^\circ$ (obr. 32).

Velikost zaoblení tažníku r_{tv} by v první operaci mělo být totožné se zaoblením tažnice r_{tc} , takže i zde bude volena zkosená hrana s hodnotou $12 \times 45^\circ$ (obr. 32).



Obr. 32 Znárodněné zkosení hran u tažníku a tažnice pro první operaci

Ve druhé operaci je doporučeno stanovit velikost ze vztahu (2.21), kde poloměr zaoblení tažníku r_{tv} pro závěrečný tah je stanoven:

$$r_{tv_2} = (5 \text{ až } 7) \cdot s_0 = (5 \text{ až } 7) \cdot 1,5 = 7,5 \text{ až } 10,5 \text{ mm}$$

Zaoblení výtažku u dna činí 16,5 mm, proto pro druhou, závěrečnou operaci nebude využita ani jedna z doporučeně vypočtených hodnot 7,5 mm až 10,5 mm, ale jako poloměr r_{tv_2} bude zvolena právě hodnota 16,5 mm. Je to víc, než je spočteno, ale to není problémové. Náročnější by to bylo v opačném případě, kdyby poloměr zaoblení výtažku byl menší, než zaoblení dna, jelikož by byla potřeba kalibrační tah.

3.4 Použití přidržovače

Podmínka použití bude ověřována dvěma způsoby:

- Výpočet dle ČSN 22 7301:
 - Použití přidržovače v prvním tahu při splnění podmínky (2.27):

$$k_p \geq 100 \cdot \frac{d_1}{D_0}$$

$$87,08 \geq 100 \cdot \frac{268}{462} \rightarrow 87,08 \geq 58,01 \rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

kde: k_p – součinitel (2.26):

$$k_p = 50 \cdot \left(x - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{1,5}}{\sqrt[3]{462}} \right) = 87,08 [-]$$

Vzhledem ke splnění podmínky bude přidržovač využit v prvním tahu.

- Přítomnost přidržovače v nástroji i v dalším tahu je stanoveno dle (2.28):

$$\frac{d_n}{d_{n-1}} < 0,9$$

$$\frac{215}{268} < 0,9 \rightarrow 0,8 < 0,9 \rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

Přidržovač bude v nástroji přítomen i ve druhém tahu.

- Další způsob je podmínka nezbytného použití přidržovače ve všech tazích [16]:

$$s_0 < 0,5 \rightarrow 1,5 < 0,5 \rightarrow \text{podmínka není nesplněna} \quad (3.15)$$

I když podmínka nezbytného použití přidržovače splněna nebyla, bude vzhledem ke zjištěným výsledkům z metody ČSN 22 7301 využit přidržovač v první i druhé operaci.

3.5 Síla a práce [41]

Určení velikosti celkové tažné síly je nutné nejen pro volbu lisu, ale i pro stanovení rozměrových parametrů nástroje. Koeficient zohledňující součinitel tažení 'm' potřebný k jejímu výpočtu bude pro obě operace zvolen dle tab. 4.

Tab. 4 Hodnoty koeficientu c pro výpočet kritické tažné síly [41].

1. tah	Součinitel tažení m_1	0,50	0,52	0,55	0,57	0,60	0,62	0,65	
	c_I	1,14	1,08	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	
2. tah	Součinitel tažení m_2	0,70	0,72	0,75	0,77	0,80	0,85	0,90	0,95
	c_{II}	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70	0,60	0,50

Tažná síla bude počítána jako kritická dle vztahu (2.19) a stanovuje se pro oba tahy zvlášť. Při výpočtu bude volena hodnota meze pevnosti z tabulky 1:

- Kritická tažná síla pro 1. tah 'F_{kritI}':

$$F_{kritI} = \pi \cdot d_{sI} \cdot s_0 \cdot R_m \cdot c_I = \pi \cdot (268 + 1,5) \cdot 1,5 \cdot 720 \cdot 0,86$$

$$= 786\,377,08\,N = 786,38\,kN$$

kde: součinitel tažení m₁ pro 1. operaci (2.9):

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} = \frac{268}{462} = 0,58 \rightarrow \text{je zvoleno } 0,60 \rightarrow c_I = 0,86$$

- Kritická tažná síla pro 2. tah 'F_{kritII}':

$$F_{kritII} = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot R_m \cdot c_{II} = \pi \cdot (215 + 1,5) \cdot 1,5 \cdot 720 \cdot 0,80$$

$$= 587\,653,76\,N = 587,65\,kN$$

kde: součinitel tažení m₂ pro 2. operaci (2.9):

$$m_2 = \frac{d_2}{d_1} = \frac{215}{268} = 0,80 \rightarrow c_{II} = 0,80$$

Kritická tažná síla pro první tah má hodnotu 786,38 kN a pro druhý 587,65 kN.

Tlak přídržovače je, vzhledem k vysoké mezi pevnosti 720 MPa, kterou disponuje materiál, zvolen 2,5 MPa, jelikož vyžaduje vyšší tažné síly. Přídržovací síla se stanoví podle vztahu (2.17) a opět pro oba tahy zvlášť:

- Síla přídržovače pro 1. tah 'F_{pI}':

$$F_{pI} = S_{pI} \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d_1^2) \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot (462^2 - 268^2) \cdot 2,5 = 278\,070,22\,N$$

$$= 278,07\,kN$$

- Síla přídržovače pro 2. tah 'F_{pII}':

$$F_{pII} = S_{pII} \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_1^2 - d_2^2}{\cos 45} \right) \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{268^2 - 215^2}{\cos 45} \right) \cdot 2,5 = 71\,083,35\,N$$

$$= 71,08\,kN$$

Síla přídržovače pro první tah činí 278,07 kN a pro druhý 71,08 kN.

Celková tažná síla 'F_c' bude stanovena jako součet jednotlivých sil dle (2.18):

$$F_c = F_{kritI} + F_{kritII} + F_{pI} + F_{pII}$$

$$= 786,38 + 587,65 + 278,07 + 71,08 = 1\,723,18\,kN$$

Velikost celkové tažné síly je 1 723,18 kN

Celková síla bude před volbou lisu kvůli zamezení jeho přetěžování navýšena o 30 %:

$$F_{clis} = F_c \cdot 1,3 = 1\,723,18 \cdot 1,3 = 2\,240,14\,kN \quad (3.16)$$

Navýšená síla pro lis činí 2 240,14 kN. Jmenovitá síla lisu musí být tedy vyšší než 2 241 kN.

Velikost tažné práce 'A' se vypočte z celkové síly a hloubky prvního 'h_I' i druhého 'h_{II}' tahu podle (2.20). Koeficient zaplnění plochy 'C' bude zvolen v hodnotě 0,7:

$$A = \frac{F_c \cdot C \cdot (h_I + h_{II})}{1000} = \frac{1\,723,18 \cdot 0,7 \cdot (100 + 171)}{1000} = 326,89 \text{ kJ}$$

Celková velikost tažné práce je 326,89 kJ.

3.6 Volba lisu [44]

Firma disponuje hydraulickými lisy od firmy Dieffenbacher s označením PO 250. Tento obsahuje pouze jeden spodní přidržovač a lze ho využít v kombinaci s tažným nástrojem pouze pro jednu tažnou operaci. Pro výrobu zpracovávaného návrhu kanalizačního tělesa bude zvolen stejný typ lisu (obr. 33), ale vybaven spodním přidržovačem jak vnitřním, tak vnějším, díky čemuž dojde ke sloučení dvou operací do jedné v jednom tažném nástroji. Tento lis disponuje mimo jiné vybavením:

- magnetická upínací deska – sloužící k ustavení nástrojů s automatickou kontrolou,
- vyvážecí konzoly,
- hydraulické nebo pneumatické rozvody – využity pro pomocné funkce,
- snímače vynaložené síly – umístěny na beranu a spodních přidržovačích opět s automatickou kontrolou i evidencí.

Základní parametry jsou uvedeny v tabulce 5.

Vzhledem k výpočtům tažné síly lisu, je nezbytné, aby jeho jmenovitá síla byla vyšší, než 2241 kN. Z tab. 5 lze vidět, že tvářecí činí 2500 kN a jelikož vyhovují i přidržovací síly bylo ověřeno, že lze aplikovat výrobu na toto zařízení.

Tab. 5 Základní parametry lisu PO 250 [44].

Beran		
Tvářecí síla		2500 [kN]
Zdvih		900 [mm]
Sevřená výška		200 [mm]
Tvářecí rychlost při max. síle		17 [mm/s]
Přidržovač		
Spodní - vnitřní	přidržovací síla	500 [kN]
Spodní - vnější	přidržovací síla	1000 [kN]
Horní - vyhazovač	přidrž./vyhaz. síla	100 [kN]
Pracovní prostor		
Velikost stolu		1500 x 1200 [mm]

Protože lis využívá magnetické upínání, je potřeba přizpůsobit rozměry upínacích desek i jejich materiál. Aby byla splněna podmínka magnetického upnutí má spodní deska nástroje, nacházející se na pracovním stole lisu, rozměry 750 x 590 mm a horní deska, umístěna na beranu, minimální rozměry 360 x 200 mm, přičemž jejich minimální tloušťka činí 26 mm. Lis navíc umožňuje plynulou regulaci tvářecí rychlosti i sil přidržovačů v závislosti na zdvihu beranu.



Obr. 33 Hydraulický lis Dieffenbacher PO 250 [44]

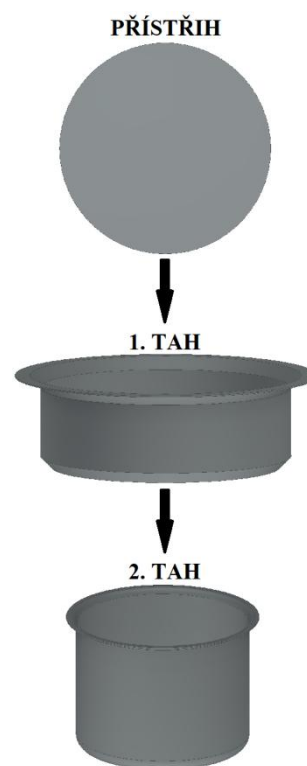
3.7 Návrh tažidla [45]

Připravený přístřih bude zpracováván dvěma tažnými operacemi (obr. 34). Požadovaného výtažku bude dosaženo za pomoci jednoho tažného nástroje a vzhledem k volbě lisu je díky dvěma spodním přídržovačům možná realizace v jednom pracovním zdvihu.

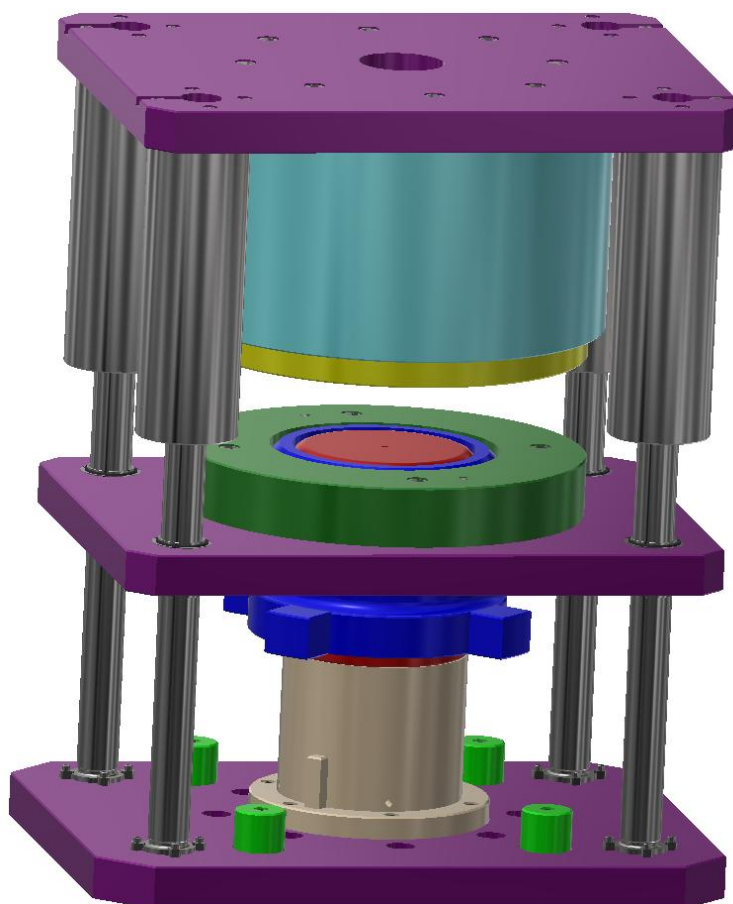
Zjednodušený princip udává, že tažník pro první tah je ovládán vnitřním vedením spodního přídržovače a přídržovač prvního tahu vnějším vedením. Tažník pro druhý tah je dán pevnou konstrukcí a přídržovačem je v tomto případě tažník prvního tahu. Obě polohy tažnic jsou ustaveny za pomoci beranu lisu.

Návrh předkládá konstrukci tažidla. Byla dodržena základní konstrukční pravidla. Většina součástí je nenormalizovaná, ale splňují požadavek na funkčnost celku a to s vybranými prvky zjištěnými za pomoci výpočtů. Mezi normalizované části lze zařadit všechny spojovací a ustavovací díly, jako jsou šrouby nebo kolíky, případně vodící prvky, mezi které patří vodící pouzdra, kuličkové klece a všechny další součásti potřebné pro správný chod kuličkového vedení. 3D model tažného nástroje je zobrazen v základacím stavu na obrázku 35 a skládá se ze tří částí:

- spodní – základová deska
- střední – deska pro upnutí **přídržovače 1. tahu**
- horní – upínací deska beranu

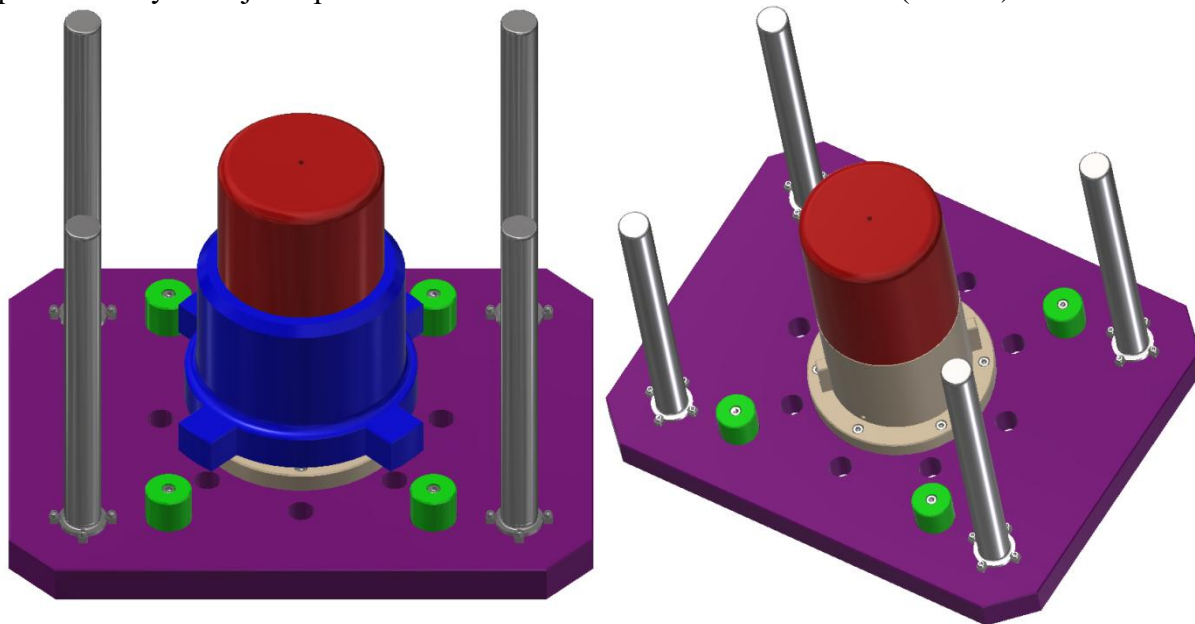


Obr. 34 Výrobní proces

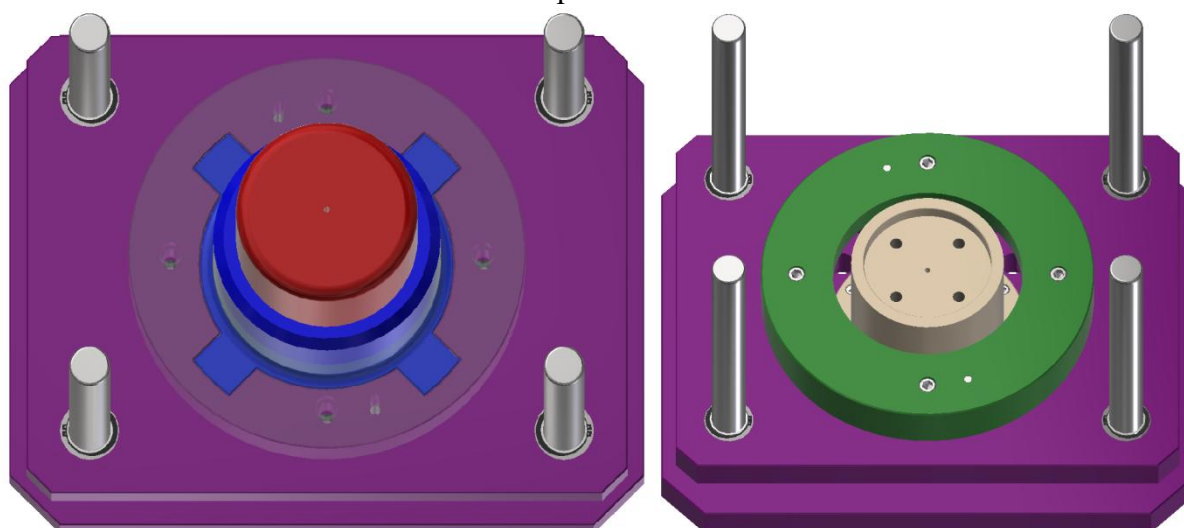


Obr. 35 Model tažidla v otevřeném – základacím stavu

Spodní část (obr. 36) se skládá ze **základové desky** o rozměrech potřebných pro splnění podmínky na magnetické upnutí – 750 x 590 x 50 mm, vodících sloupků s osazením, díky kterému jsou dle normalizovaných předpisů uchyceny, viz příloha 2, bezpečnostních **montážních dorazů** upnutých jedním šroubem M10 x 80 mm a funkčních částí. Mezi ně patří **tažník pro 1 tah**, který je ovládán čtyřmi tyčemi vnitřního přidržovače vedených otvory v základové desce. Tyto otvory se nachází pod tlačnými výstupky tohoto tažníku, který je veden přes **pevný tažník 2. tahu**. Ten má z ekonomického hlediska dělenou konstrukci. **Spodní upínací část**, vyrobená z levnějšího materiálu, je přišroubována k základové desce šesti šrouby M10 x 50 mm a disponuje dvěma ustavovacími pery, která v kombinaci s drážkami uvnitř tažníku pro 1. tah zamezují jeho pootočení. Horní funkční část je k upínací přišroubována čtyřmi šrouby M20 x 200 mm a je vyrobena ze zušlechtěného nástrojového materiálu třídy 19. Obě konstrukce obsahují odvodušňovací otvory a odvodušnění u tažníku pro první tah je zajištěno i vůlí o velikosti 0,2 mm od vedení pevného tažníku. Všechny upínané součásti jsou ustaveny částečným vybráním do příslušného dílu a z hlediska funkčnosti, bezpečnosti a úspory materiálu byly provedeny potřebná sražení nebo zaoblení hran. Otvory v základové desce nacházející se mezi tlačnými výstupky tažníku 1. tahu slouží pro vedení tyčí vnějšího přidržovače tlačící na střední část konstrukce (obr. 37).



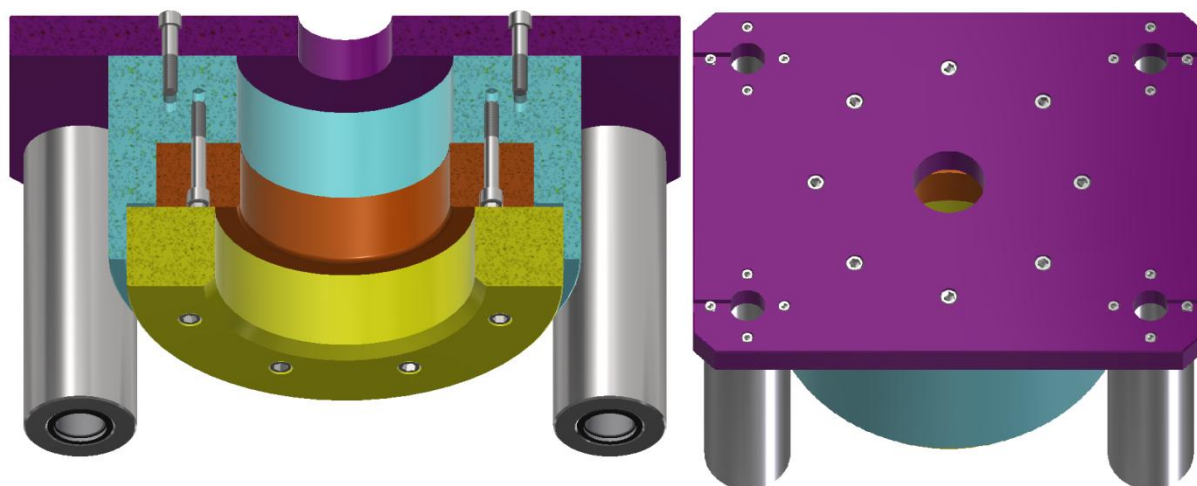
Obr. 36 Spodní část tažidla



Obr. 37 Střední část tažidla

Střední část (obr. 37) je složena z **desky**, ke které je upnut **přidržovač 1. tahu**. Její rozměry jsou menší než jaké má základová deska a obsahuje otvor odpovídající vnějšímu tvaru **tažníku pro první 1. tah**, aby se jím mohl pohybovat. **Přidržovač** je ustaven dvěma kolíky průměru 12 mm a délce 110 mm, přichycen je čtyřmi šrouby M16 x 100 mm. Vedení je zajištěno vodícími pouzdry obsahující kuličkové klece, které jsou zajištěné pojistnými kroužky, rozměry a další prvky jsou zobrazeny v příloze 3.

Horní část (obr. 38) zahrnuje **desku**, která je upnuta v beranu lisu, a její rozměry jsou totožné se středovou deskou. Obsahuje středový otvor pro vedení horního přidržovače (vyhazovače) a otvory pro vodící sloupky i jejich odvětrání. Upínače vodících pouzder mají delší vzdálenost a to z důvodu prodloužení délky vedení. K desce jsou přichyceny čtyřmi šrouby M10 x 80 mm a obsahují vodící pouzdra, která zde jsou stejně jako ve středové desce přilepena. Konstrukce a upnutí kuličkové klece se v tomto případě liší, viz příloha 4. Do horní části patří i **upínač tažnic**, který je k **desce** přišroubován osmi šrouby M16 x 80 mm. Je v něm ustavena a upnuta **tažnice pro 2. operaci** pomocí osmi šroubů M16 x 110 mm. K ní je ustavena a přišroubována **tažnice pro 1. tah** opět osmi šrouby M16 x 140 mm. Byla zde jako v předchozích částech provedena potřebná sražení, či zaoblení hran.

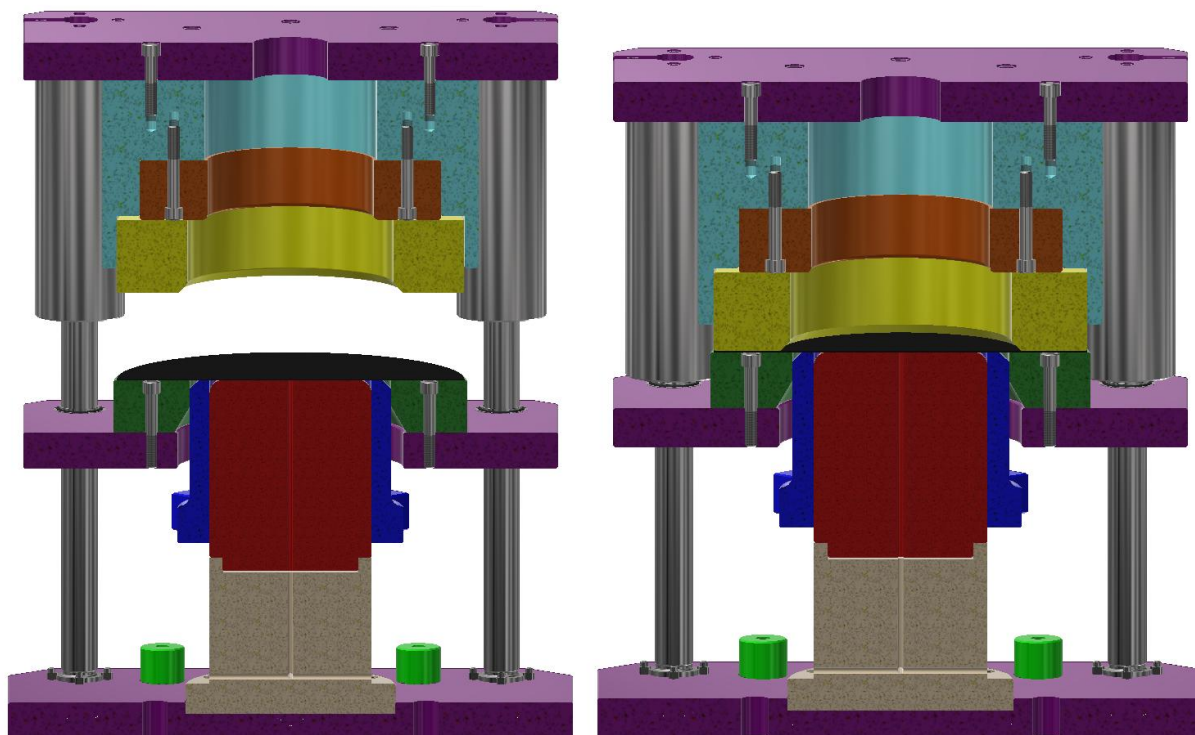


Obr. 38 Horní část tažného nástroje

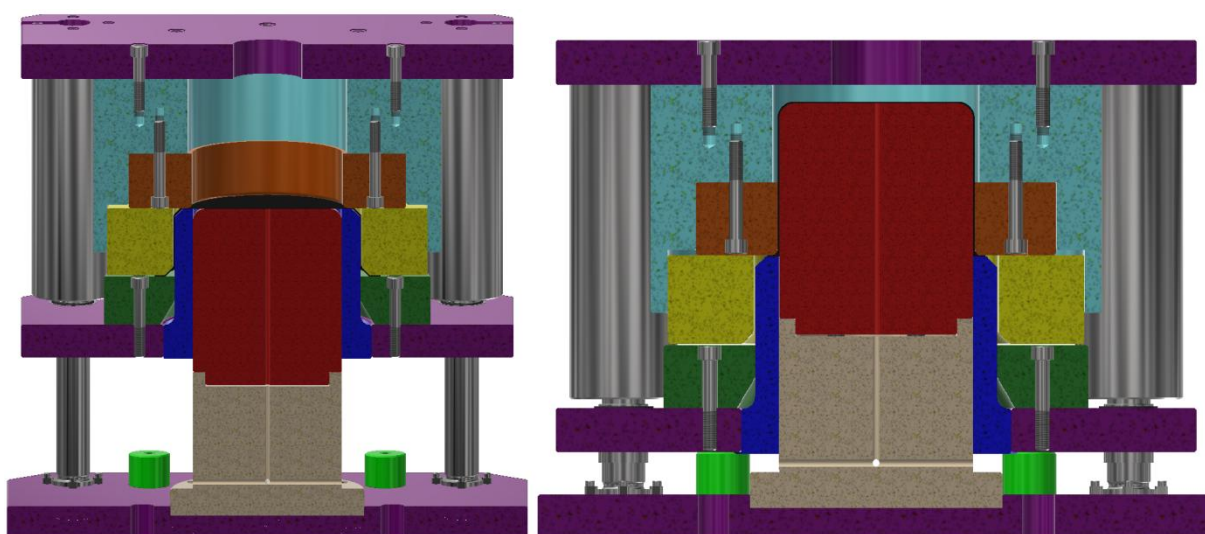
Na obrázku 39 lze vidět řez tažným nástrojem v otevřeném stavu, tzv. zakládacím. Čelo **tažníku 1. tahu** je vnitřním vedením ustaveno ve stejné výšce jako čelo pevného **tažníku 2. tahu**. V totožné úrovni je za pomoci vnějšího vedení spodního přidržovače připravena i funkční plocha **přidržovače pro 1. tah**, která zároveň slouží k založení přístřihu. Na tuto plochu se tedy položí a vystředí vhodně namazaný **přístřih**, na který dosedne za pomoci beranu a kuličkového vedení nástroje **tažnice 1. tahu**, viz obr. 39. Nástroj je v této fázi připraven k první operaci.

Průběh první operace (obr. 40) započne pohybem beranu, v němž je upnuta **horní základová deska**, ke které je přišroubován **upínač tažnic**. Díky němu dojde k vtahování **přístřihu** do otvoru **tažnice pro 1. tah**. S horní částí nástroje klesá současně **středová upínací deska**, k níž je uchycen **přidržovač prvního tahu** a to až do okamžiku dosednutí čela výtažku na **tažnici 2. tahu**, kterému odpovídá hloubka **výtažku pro 1. tah**. Ta byla za pomoci programu Inventor a zákona zachování objemu stanovena na 100 mm. Nynější fáze udává ukončení první operace a zároveň přípravu k operaci druhé.

Ve druhé operaci (obr. 40) způsobuje vtahování výtažku do otvoru **tažnice pro 2. tah** opět současný pohyb beranu, středové desky a tentokrát i **tažníku pro 1. tah**, který nyní plní funkci přidržovače. Jeho délka odpovídá výšce kanalizačního tělesa – 171 mm. Z hlediska bezpečnosti je další pohyb omezen **montážními dorazy**. Po ukončení pohybu stanovené délky se zdvihne beran, vyhodí se výtažek a nástroj se vrátí do zakládacím stavu.



Obr. 39 Řez tažidlem v zakládacím a ustavovacím stavu



Obr. 40 Řez tažidlem po první a druhé tažné operaci

4 ZÁVĚRY

Navrhovanou součástí je kanalizační vpust', patřící do sestavy hygienických mechanismů sloužících k odvodňování. Z hlediska technologičnosti se jedná o jednoduchý válcový výtažek s přírubou a konstantní tloušťkou stěny 1,5 mm. Výrobní série byla stanovena na 25 000 kusů za rok a kvůli prostředí, ve kterém se těleso vyskytuje, byla jako materiál zvolena chrom – niklová austenitická nestabilizovaná ocel s označením 1.4301.

Bylo navrženo více možností výroby z oblasti tváření, přičemž jako nejvýhodnější byla vybrána technologie hlubokého tažení bez ztenčení stěny a to především na základě požadavku a strojního vybavení firmy i vhodnosti k dané výrobě v podobě dosažení rozměrových a dalších kritérií, či příruby.

V návrhu byl vypočten průměr přístřihu, který byl vzhledem ke dvěma tažným operacím navýšen o přídavek na ostřížení a to na hodnotu 462 mm. Přístřih bude vyráběn z tabule plechu o rozměrech 1500 x 3000 mm kotoučovými nůžkami, přičemž na pokrytí výrobní série jich bude potřeba 1389. Dle dalších technologických a kontrolních výpočtů byly stanoveny potřebné technologické parametry výroby, jako jsou mezery a poloměry zaoblení, či sražení v daných operacích. Dále použití přidržovače v obou tazích, potřebné kritické síly a práce. Se zohledněním koeficientu u celkové tažné síly byla stanovena potřebná jmenovitá síla lisu vyšší než 2241 kN.

Výrobek bude zhotoven na hydraulickém lisu od firmy Dieffenbacher s označením PO 250 se dvěma spodními přidržovači, ke kterému byl navržen tažný nástroj umožňující výrobu kanalizačního tělesa ve dvou operacích za pomoci jednoho pracovního zdvihu lisu.

Díky navrženému nástroji by měl výrobní proces vést k zefektivnění výroby, ovšem nesmí se zapomenout provést kontrolu návrhu simulací, či ověřovací sérií.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [46]

1. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990, 200 s. Knížnice technických aktualit. ISBN 80-03-00221-4.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7
3. Akademie tváření: Hluboké tažení. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni.html>
4. SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. *Speciální technologie tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4220-7.
5. Kitchenware: Cooking Pots. *Connox* [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://www.connox.com/categories/kitchenware/saucepans-cooking-pots/eva-trio-stainless-steel-pot-set.html>
6. Cuba jp mondiale redonda. *PS Distribuidora* [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://distribuidoraps.com.br/cuba-jp-mondiale-35cm.html>
7. Ice Bucket Wine Cooler. *Catering Equipment & Furniture Hire* [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://cmahire.com/wine-cooler-ice-bucket>
8. Dog Bowls. *Petco* [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://www.petco.com/shop/en/petcostore/product/harmony-non-skid-brushed-stainless-steel-dog-bowl>
9. Hygienické vpusti. *ACO* [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://www.aco.cz/produkty/odvodneni-podlah/hygienicke-vpusti/>
10. *ACO Profesionální odvodnění budov: Nerez* [online]. 2018 [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: https://www.aco.cz/fileadmin/standard/aco-at/04_Downloads/Prospekty-Katalogy/Odvodneni_budov/ACO_NEREZ_-_odvodneni_budov.pdf
11. *ACO Profesionální odvodnění budov: Hygienické nerezové vpusti 2* [online]. 2018 [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: https://www.aco.cz/fileadmin/standard/aco-at/04_Downloads/Prospekty-Katalogy/Odvodneni_budov/ACO_Odvodneni_budov_-_Kap_2_-_nerezove_hygienicke_vpusti.pdf
12. Nerezová ocel 1.4301: Chrom niklová austenitická nestabilizovaná. *INOX, spol. s r. o. – Nerezový hutní materiál* [online]. [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>
13. Korozivzdorná ocel - nerez. *ALFUN* [online]. [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/korozivzdorna-ocel-nerez>
14. Žárové zinkování. *Kondor hutní materiály* [online]. [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/zarove-zinkovani/t-159/>
15. Alkalické černění ocelí. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008 [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/alkalicke-cerneni-oceli.html>
16. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
17. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
18. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

19. Technologie plošného tváření - tažení. *Technologie II* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm
20. Podaný, Kamil. *Technologie tváření* [přednáška]. Brno: VUT v Brně, 3.11.2018
21. Technologické způsoby výroby dutých těles. *Technologie II* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/10.htm
22. *Technologie tváření a slévání – teoretický základ* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2020-03-29]. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tv%C3%A1%20%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad.pdf
23. Rotační tlačené plechu s povrchovou úpravou. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001 [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rotacni-tlaceni-plechu-s-povrchovou-upravou.html>
24. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics a metallurgy*. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-00452-8.
25. Fliesspressverfahren. *Coldex ALU - Fliesspresstechnik* [online]. [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <https://www.coldex.ch/technologie/fliesspressverfahren.html>
26. SCHULER. *Metal forming handbook*. New York: Springer-Verlag, 1998. ISBN 3-540-61185-1.
27. Fluid a Rubber Die Forming. *OpenLearn* [online]. 2017 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/fluid-and-rubber-die-forming-guerin-and-hydroform>
28. Deep Drawing. *Mold Technology* [online]. [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <http://mold-technology4all.blogspot.com/2011/08/deep-drawing.html>
29. Prokop, Karel. *Výroba tělesa olejového filtru*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
30. *Technologie tváření a slévání - teoretický základ: Tažení plechu* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2020-02-15]. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie tváření a slévání - Teoretický základ/02 Text pro e-learning/publikovat/kapitoly/6. tažení plechu.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tv%C3%A1%20%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/6.%20ta%C5%97en%C3%AD%20plechu.pdf)
31. *Výroba krytu ložiska*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
32. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
33. KUBÍČEK, Miroslav. *Tváření: Konstrukce tažných nástrojů* [online]. Brno [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_20-16.pdf
34. ČADA, Radek. *Postup údržby I* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008] [cit. 2020-03-29]. ISBN 978-80-248-1506-0. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PU1/Postupy-udrzby-I.pdf>
35. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje. Část I. - Tváření*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1987, 112 s.

36. Lidmila, Zdeněk. *Technologické procesy* [přednáška]. Brno: VUT v Brně, 12.12.2019
37. Zemčík, Oskar. *Technologické procesy* [přednáška]. Brno: VUT v Brně, 3.10.2019
38. Žák, Ladislav. *Speciální technologie výroby* [přednáška]. Brno: VUT v Brně, 8.10.2019
39. Deep drawing stainless steel parts. *Powerwinx* [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <http://m.powerwinxcnc.com/sheet-metal-fabrication-service/stamping-process-service/deep-drawing-stainless-steel-parts.html>
40. Kochgeschirr Sets. *Made in China* [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: https://de.made-in-china.com/co_luichuenkee/image_Stainless-Steel-Deep-Drawing-R3202-_houhneueg_SjzTmQfdHakD.html
41. Lidmila, Zdeněk. *Technologické procesy* [cvičení]. Brno: VUT v Brně, 16.12.2019
42. Nerezové plechy - válcované za studena (ZSV). *Ferona* [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: https://online.ferona.cz/vyhledavani/43?text=&rozmer1=&rozmer2=&rozmer3=&rozmer4=&norma=&exact_norm=0&typ_normy=0&material=0&druh=0&only_name=0
43. Kotoučové nůžky na plech RS 090 SPA. *Univer* [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://www.univer.cz/kotoucove-nuzky-na-plech-rs-090-spa-id1886>
44. *Dieffenbacher: Tvářecí stroje* [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: https://dieffenbacher.cz/upload/Downloads/dieffenbacher_plosne_tvareni_plechu.pdf
45. *Fibro: Normálie* [online]. 2017 [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/HTML5/
46. Citace Pro. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažná práce	[J]
A ₅	Tažnost materiálu	[%]
a	Délka tabule	[mm]
B	Šířka pásu	[mm]
b	Šířka tabule	[mm]
C	Koeficient zaplnění plochy	[-]
c	Koeficient zohledňující součinitel tažení 'm'	[-]
c _I	Koeficient zohledňující součinitel tažení v 1. operaci	[-]
c _{II}	Koeficient zohledňující součinitel tažení ve 2. operaci	[-]
D	Průměr tažnice	[mm]
D ₀	Průměr přístříhu	[mm]
D ₁	Průměr příruby výtažku po 1. tahu	[mm]
d	Průměr tažníku	[mm]
d ₁	Vnitřní průměr výtažku po 1. tahu	[mm]
d ₂	Vnitřní průměr výtažku po 2. tahu	[mm]
d ₃	Vnitřní průměr výtažku po 3. tahu	[mm]
d _n	Průměr výtažku počítaného tahu	[mm]
d _{n-1}	Průměr výtažku předešlého tahu	[mm]
d _s	Střední průměr výtažku	[mm]
d _{sI}	Střední průměr výtažku po 1. operaci	[mm]
E	Šířka čtverce	[mm]
F _c	Celková tažná síla	[N]
F _{clis}	Navýšená celková tažná síla pro volbu lisu	[N]
F _{krit}	Síla potřebná k porušení kritického místa výtažku	[N]
F _{kritI}	Kritická tažná síla pro 1. tah	[N]
F _{kritII}	Kritická tažná síla pro 2. tah	[N]
F _p	Síla přidržovače	[N]
F _{pi}	Síla přidržovače v dílčích tazích	[N]
F _{pI}	Síla přidržovače pro 1. tah	[N]
F _{pII}	Síla přidržovače pro 2. tah	[N]
F _t	Tažná síla	[N]
F _{ti}	Tažná síla v dílčích operacích	[N]
h	Výška výtažku	[mm]
H _{Fmax}	Hloubka maximální tažné síly	[mm]
h _i	Výšky výtažku v jednotlivých tazích	[mm]
K	Stupeň tažení	[-]
k	Koeficient zohledňující materiál při výpočtu tažné mezery	[-]
k _p	Součinitel určující nezbytnost použití přidržovače	[-]
m	Součinitel tažení	[-]
m ₁	Součinitel tažení 1. tahu	[-]
m ₂	Součinitel tažení 2. tahu	[-]
m ₃	Součinitel tažení 3. tahu	[-]
m _c	Celkový součinitel tažení	[-]
m _v	Hmotnost vzorku	[g]
n _p	Počet pásů	[ks]
n _s	Velikost série	[ks.rok ⁻¹]
n _t	Počet tabulí pro sérii	[ks]
n _v	Počet čtverců z tabule	[ks]
n _{vp}	Počet čtverců z pásu	[ks]
p	Měrný tlak přidržovače	[MPa]
r	Poloměr tažníku	[mm]
R ₀	Poloměr přístříhu	[mm]

R_m	Mez pevnosti materiálu v tahu	[MPa]
$R_{p0,2}$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
R_{s1}	Střední poloměr zaoblení ze dna do pláště	[mm]
R_{s2}	Střední poloměr zaoblení z pláště do příruby	[mm]
r_s	Střední poloměr zaoblení přechodu stěny do dna výtažku a do příruby	[mm]
r_{tc}	Zaoblení tažnice	[mm]
r_{tc1}	Poloměr zaoblení tažnice v 1. operaci	[mm]
r_{tc2}	Poloměr zaoblení tažnice ve 2. operaci	[mm]
r_{tv}	Zaoblení tažníku	[mm]
r_{tv2}	Poloměr zaoblení tažníku ve 2. operaci	[mm]
S	Součet jednotlivých ploch výtažku	[mm ²]
s_0	Původní tloušťka	[mm]
s_1	Spěchovaná tloušťka okraje výtažku	[mm]
S_i	Dílčí plochy výtažku	[mm ²]
S_p	Účinná plocha přidržovače	[mm ²]
S_{pI}	Účinná plocha přidržovače v 1. operaci	[mm ²]
S_{pII}	Účinná plocha přidržovače ve 2. operaci	[mm ²]
S_t	Plocha tabule	[mm ²]
S_v	Plocha výstřižku	[mm ²]
x	Materiálová konstanta využitá při výpočtu součinitele 'k _p '	[-]
z	Tažná mezera	[mm]
z_1	Tažná mezera v 1. operaci	[mm]
z_{2-n}	Tažná mezera pro 2. a další operace	[mm]
z_k	Tažná mezera pro kalibrační tah	[mm]
α	Úhel zkosení přidržovače	[°]
β	Úhel natočení klikového mechanismu	[°]
η	Využití materiálu	[%]
ρ	Hustota materiálu	[g.mm ⁻³]
σ	Napjatost	[MPa]
σ_1	Tahové radiální napětí	[MPa]
σ_3	Tlakové tangenciální napětí	[MPa]
φ	Přetvoření	[-]
φ_1	Přetvoření v radiálním směru	[-]
φ_2	Normálové přetvoření tloušťky stěny	[-]
φ_3	Přetvoření v tangenciálním směru	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady produktů zhotovených technologií tažení	9
Obr. 2 Kanalizační těleso	10
Obr. 3 Základní konstrukce hygienických vpustí se znázorněným využitím ve žlabu.....	10
Obr. 4 Rozměry kanalizačního tělesa	10
Obr. 5 Princip zpětného protlačování	11
Obr. 6 Schéma tažení se ztenčením stěny	12
Obr. 7 Princip kovotlačení	12
Obr. 8 Princip tažení kapalinou	13
Obr. 9 Princip tažení bez ztenčení stěny	13
Obr. 10 Princip tažení znázorněný v řezu tažného nástroje.....	14
Obr. 11 Schéma tažení válcového výtažku s přídržovačem	14
Obr. 12 Napjatost a přetvoření válcového výtažku.....	15
Obr. 13 Přístříh a výtažek	16
Obr. 14 Schéma postupného tažení ve třech tazích	17
Obr. 15 Tažná mezera	18
Obr. 16 Průběh tažné síly v závislosti na hloubce v procesu tažení prvního tahu.....	19
Obr. 17 Vliv součinitele tažení na tažnou sílu v závislosti na hloubce	20
Obr. 18 Řez tažidlem pro jednočinný lis	21
Obr. 19 Dělený tažník s odvzdušněním pro menší a větší průměry	22
Obr. 20 Schéma tažnic	22
Obr. 21 Rovinný přídržovač prstencového tvaru.....	23
Obr. 22 Úhel přídržovače v procesu 3. tahu	24
Obr. 23 Pracovní diagram klikového lisu	24
Obr. 24 Nejvhodnější typ výtažku	25
Obr. 25 Součásti s přírubou	26
Obr. 26 Nerotační výtažek	26
Obr. 27 Vyráběné těleso	27
Obr. 28 Jednotlivé plochy se základními rozměry	27
Obr. 29 Kotoučové nůžky	31
Obr. 30 Umístění čtvercových výstřížků s požadovanými přístříhy na pásu plechu.....	31
Obr. 31 Umístění čtvercových výstřížků na tabuli plechu – varianta I. a)	31
Obr. 32 Znázornění zkosení hran u tažníku a tažnice pro první operaci.....	34
Obr. 33 Hydraulický lis Dieffenbacher PO 250	37
Obr. 34 Výrobní proces	38
Obr. 35 Model tažidla v otevřeném – základním stavu.....	38
Obr. 36 Spodní část tažidla	39
Obr. 37 Střední část tažidla.....	39
Obr. 38 Horní část tažného nástroje.....	40
Obr. 39 Řez tažidlem v základním a nastavovacím stavu.....	41
Obr. 40 Řez tažidlem po první a druhé tažné operaci.....	41

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení a základní mechanické vlastnosti oceli 1.4301	11
Tab. 2 Hodnoty mezních součinitelů tažení pro interval 0,6 až 0,3	29
Tab. 3 Souhrn výsledných parametrů všech zpracovávaných variant	32
Tab. 4 Hodnoty koeficientu c pro výpočet kritické tažné síly	35
Tab. 5 Základní parametry lisu PO 250	37

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Hodnoty mezních součinitelů tažení
Příloha 2	Rozměrové a další parametry vodících sloupků
Příloha 3	Střední část – rozměrové a další parametry vodících pouzder a kuličkových klecí
Příloha 4	Horní část – rozměrové a další parametry vodících pouzder a kuličkových klecí

SEZNAM VÝKRESŮ

Tažidlo	BP-00-2020
Tažník 1. tahu	BP-10-2020
Tažnice 1. tahu	BP-05-2020

Příloha 1**1/1****Hodnoty mezních součinitelů tažení [41]**

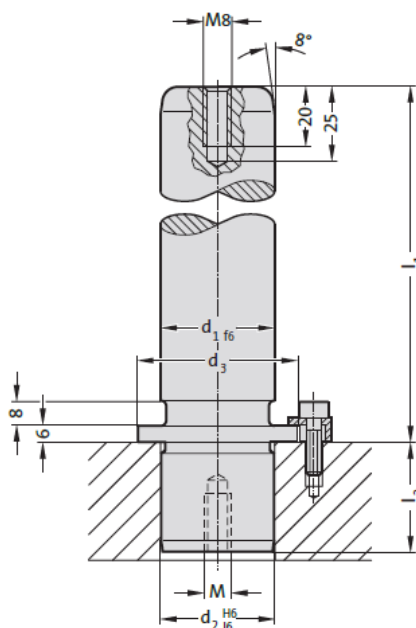
Tažná operace	Součinitel tažení	Poměrná tloušťka polotovaru s/D.100					
		2,0 až 1,5	1,5 až 1,0	1,0 až 0,6	0,6 až 0,3	0,3 až 0,15	0,15 až 0,08
1	$m_1=d_1/D_0$	0,50	0,53	0,55	0,58	0,60	0,63
2	$m_2=d_2/d_1$	0,75	0,76	0,78	0,79	0,80	0,82
3	$m_3=d_3/d_2$	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,84
4	$m_4=d_4/d_3$	0,80	0,81	0,82	0,83	0,85	0,86
5	$m_5=d_5/d_4$	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88

Rozměrové a další parametry vodících sloupků [45]

VODÍCÍ SLOUPEK S OSAZENÍM



2021.28.



Materiál:

ocel, povrchově kaleno
Tvrdość povrchu: 60 + 4 HRC, Hloubka zaka-
lení: 1,5 + 1 mm

Provedení:

broušené
Středicí dříčky nejsou souosé s vnějším
průměrem.

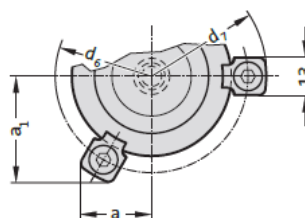
Upozornění:

Vodící sloupky jsou určeny pouze pro použití
se samomaznými pouzdry!
Na zajištění se používají 3 držáčky, od $\varnothing d_1 =$
38 mm 4 držáčky, které jsou obsaženy v
dodávce (Objednací číslo: 207.45 - držáčky
včetně šroubků s válcovou hlavou dle DIN
6912, M6x20, hlavy $\varnothing 13$).

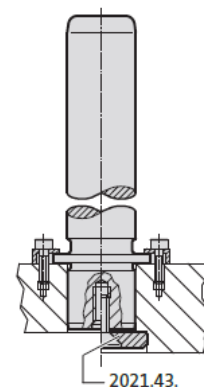
Lze zvolit upevnění také se středovým šroubo-
váním 2021.43. nebo pojistným kroužkem
2021.45. (lze objednat samostatně).

☞ Výběr vhodného vedení viz. výběrová
tabulka na začátku kapitoly D.

☞ Směrnice pro vestavbu / Tabulky rozměrů
na konci kapitoly D.



Příklad montáže



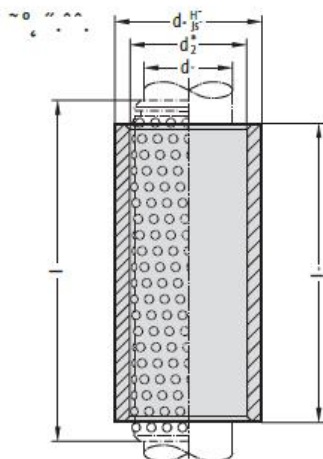
2021.28. Vodící sloupek s osazením

d ₁	15 16	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60 63	80
d ₂	15 16	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60 63	80
d ₃	22	25	32	40	50	63	80	95
d ₅	33	36	43	51	61	74	91	106
d ₇	45,7	48,7	55,7	63,7	73,7	86,7	103,7	118,7
a	15,9	16,6	18,4	20,4	29,2	33,8	39,8	46,2
a ₁	21,7	23	26	29,5	29,2	33,8	39,8	46,2
m	M8	M8	M8	M8	M8	M8	M8	M12
l ₂	20	23	30	37	37	47	47	60
l ₁								
100	•	•	•					
112	•	•	•	•				
125	•	•	•	•	•			
140	•	•	•	•	•	•		
160	•	•	•	•	•	•	•	
180	•	•	•	•	•	•	•	•
200	•	•	•	•	•	•	•	•
224			•	•	•	•	•	•
250			•	•	•	•	•	•
280				•	•	•	•	•
315				•	•	•	•	•
355					•	•	•	•
400						•	•	•

Střední část – rozměrové a další parametry vodících pouzder [45]



Pouzdra kuličkových vedení, ISO 9448-3



Materiál:

Nástrojová ocel, kalená 62 ± 2 HRC

Provedení:

Vodící plochy honované.
Upínací průměr jemně broušený.

Lepení:

Polohové přesnosti pouzdra se dosáhne lícovaným otvorem posuvného uložení H5. Vhodné lepidlo (obj. č. 281.648) slouží výhradně k zajištění polohy.

Přesnosti lícovaného lepení:

- vysoká přesnost a stabilita
- bezproblémová vyměnitelnost

Vodící pouzdro není vhodné k nalisování, došlo by k deformaci geometrie.

Upozornění:

Popis kuličkového vedení na začátku kapitoly D.
*Předpětí vedení viz. Klasifikace párování na začátku kapitoly D.
Výběr vhodného vedení viz. výběrová tabulka na začátku kapitoly D.
Směrnice pro vestavbu / Tabulky rozměrů na konci kapitoly D.
Ø 8 - Ø 12 nedodává se v červeném tolerančním poli = .30
Toleranční pole:
žluté = .10
zelené = .20
červené = .30

2061.44. Pouzdra kuličkových vedení, ISO 9448-3

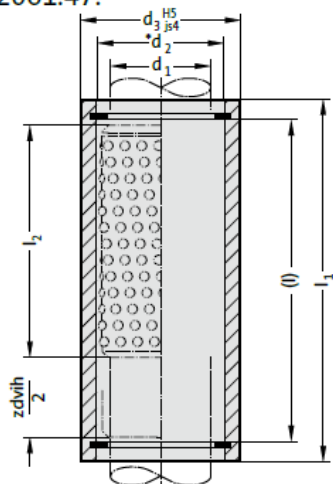
d ₁	8	10	11	12	15	16	19	20	24	25	30	32	38	40	48	50	60	63	80
d ₂	11	14	15	16	21	22	25	26	30	31	38	40	46	48	56	58	68	71	92
d ₃	18	22	22	22	28	28	32	32	40	40	48	48	58	58	70	70	85	85	105
l, l [*]																			
30 / 40	•	•	•	•															
23 / 40		•	•	•															
37 / 40		•	•	•															
23 / 45					•	•	•	•	•	•									
30 / 45					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
37 / 45					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
47 / 56					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
60 / 71					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
77 / 95							•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
37 / 50											•	•	•	•	•	•	•	•	•
95 / 120											•	•	•	•	•	•	•	•	•
47 / 63											•	•	•	•	•	•	•	•	•
60 / 80											•	•	•	•	•	•	•	•	•
120 / 140											•	•	•	•	•	•	•	•	•
60 / 95																	•	•	•

*l = Objednaná délka Kuličková klec - doporučená délka

Horní část – rozměrové a další parametry vodičích pouzder [45]

POUZDRA KULIČKOVÝCH VEDENÍ, S OMEZENÍM ZDVIHU

2061.47.

**Materiál:**Nástrojová ocel, kalená 62 ± 2 HRC**Provedení:**

Vodič plochy honované.

Upínací průměr jemně broušený.

Lepení:

Polohové přesnosti pouzdra se dosáhne lícováním otvorem posuvného uložení H5. Vhodné lepidlo (obj. č. 281.648) slouží výhradně k zajištění polohy.

Přednosti lícovaného lepení:

- vysoká přesnost a stabilita
- bezproblémová vyměnitelnost

Vodič pouzdro není vhodné k nalisování, došlo by k deformaci geometrie.

Upozornění:

- ☞ Popls kuličkového vedení na začátku kapitoly D.
- *☞ Předpětí vedení viz. Klasifikace párování na začátku kapitoly D.
- ☞ Výběr vhodného vedení viz. výběrová tabulka na začátku kapitoly D.
- ☞ Směrnice pro vestavbu / Tabulky rozměrů na konci kapitoly D.

Toleranční pole:

Žluté = .10

zelené = .20

červené = .30

2061.47. Pouzdra kuličkových vedení, s omezením zdvíhu

d_1	15 16	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60	63
d_2	21	25	30	38	46	56	68	71
d_3	28	32	40	48	58	70	85	85
(l)	55.6	72	70.8	88.2	113.2	112.2	112.2	107.2
l_1 / l_2^*								
60 / 44	•							
77 / 44		•						
95 / 50			•					
120 / 65				•				
120 / 80					•			
120 / 95						•		•

* l_2 = Vyrobená délka Kuličková klec

