



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE PROCESU VÝROBY VPUSTI

OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESS OF DRAIN

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VOJTĚCH STANĚK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Vojtěch Staněk

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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

Optimalizace procesu výroby vpusti

v anglickém jazyce:

Optimization of production process of drain

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o optimalizaci výroby kanalizační vpusti ve firmě ACO. Součástka je válcového tvaru s přírubou a otvorem z oceli 1.4301 (17 240; AISI 304). Je vyráběna technologií tažení bez ztenčení stěny s využitím konvenčního nástroje. Na tuto problematiku bude také zaměřena aktuální literární studie.

Cíle diplomové práce:

Práce bude obsahovat rozbor současného stavu, analýzu procesu tažení získaných ze záznamů lisu a varianty optimalizace procesu výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti. Pro zvolenou variantu bude provedena aktuální literární studie, výpočtová simulace optimalizovaného i stávajícího procesu a bude následovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty. Součástí řešení bude i technicko-ekonomické hodnocení a závěr.

Seznam odborné literatury:

1. HELLWIG, W. und E. SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.
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.
3. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
4. 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.
5. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. Příručka pro lisování za studena. 2. vyd. Praha: SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
6. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
7. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 8.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

STANĚK Vojtěch: Optimalizace procesu výroby vpusti

Projekt řeší optimalizaci výroby rotačního výtažku s přírubou. Jedná se o kanalizační vpust' vyráběnou technologií tažení konvenčním nástrojem na dvě operace. Použitý materiál je korozivzdorná austenitická Cr-Ni ocel 1.4301 (ČSN 17 240, AISI 304). Pomocí tahové a Erichsenovy zkoušky byla posouzena vhodnost tohoto materiálu pro hlubokotažné operace. Na základě jejich výstupů, sériovosti výroby a teoretických vztahů pro určování počtu tažných operací bylo rozhodnuto o jednooperační sériové výrobě opět konvenčním nástrojem bez ztenčení stěny. Byl zvolen hydraulický lis Dieffenbacher PO250 s magnetickým upínáním nástrojů a navržen a zkonstruován nástroj. Pro sérii 2 000 ks ročně byla vypočítána návratnost po 4,7 letech, při využití tažníku ze stávající druhé tažné operace po 3,4 letech.

Klíčová slova: tažení, výtažek, tažný nástroj, korozivzdorná ocel, hydraulický lis.

Abstract

STANĚK Vojtěch: Optimization of production process of drain

The project looks for a solution to optimalization of rotational deep drawn part with flange production. It deals with sewerage drain, which is produced by conventional tool to two deep drawing operations. The used material is austenitic Cr-Ni stainless steel 1.4301. Suitability of this material for deep drawing operations was considered by means of the tensile test and the Erichsen test. On the bases of these results, serializability of production and theoretic relationships for determination of number of deep drawing operations, it was decided upon one operation serial production, by conventional tool without attenuation thickness of sheet. Production will take place on hydraulic press Dieffenbacher PO250 with magnetic tool fastening. The deep drawing tool was designed and constructed. For series of 2 000 units per year the rate of return was calculated after 4,7 years, while using the punch from the current second deep drawing operation it was calculated after 3,4 years.

Keywords: deep drawing, deep drawn part, deep drawing tool, stainless steel, hydraulic press

Bibliografická citace

STANĚK, Vojtěch. *Optimalizace procesu výroby vpusti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 62 s. 5 výkresů. 5 příloh. CD. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Prohlášení

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

V Brně dne 17.5.2012

Poděkování

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D., panu Ing. Miloslavu Kopřivovi a panu Bc. Ondřeji Hrenicovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

Obsah

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	10
1 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU	11
1.1 Výrobní možnosti	12
2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ	14
2.1 Průběh tažení, stav napjatosti a deformace	14
2.2 Velikost rondelu	16
2.3 Tažná síla	18
2.4 Práce	23
2.5 Počet tažných operací, součinitel tažení	24
2.6 Tažná mezera	27
2.7 Tažná rychlost	28
2.8 Zásady návrhu výtažku	29
2.9 Tažné nástroje	29
2.9.1 Tažnice	30
2.9.2 Tažník	31
2.9.3 Přidržovač, přidržovací síla	32
2.9.4 Brzdící lišty	34
2.9.5 Požadavky na nástroje a nástrojové oceli	34
2.10 Stroje pro tažení	35
2.11 Maziva pro tažné operace	36
3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI	37
3.1 Zhodnocení taženého materiálu	37
3.1.1 Tahová zkouška	37
3.1.2 Erichsenova zkouška hlubokotažnosti	39
3.2 Ztenčení stěn výtažků	40
3.3 Vyhodnocení dat ze záznamů z lisu	42
3.3.1 Vyhodnocení první tažné operace	42
3.3.2 Vyhodnocení druhé tažné operace	45
3.4 Simulace stávajícího prvního tahu	46
3.5 Výpočet výchozího polotovaru	48
3.6 Počet tažných operací	54
3.7 Tvářecí stroj	55
3.8 Volba funkčních částí tažného nástroje a tažné mezery	56
3.9 Použití přidržovače, přidržovací síla, tažná síla	57
3.10 Konstrukce tažného nástroje	59
3.10.1 Montáž nástroje a popis tažného procesu	59
4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	61
5 ZÁVĚR	62

Seznam použité literatury

Seznam použitých symbolů

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [19], [20], [22], [26]

V současné době je snahou vyrábět součásti co nej kvalitněji, ale při co nejmenších nákladech na výrobu. Tomuto požadavku nejlépe vyhovují jak objemové, tak zejména plošné technologie tváření.

Plošné tváření za studena patří k nejčastějším a nejefektivnějším technologiím výroby součástí ve strojírenské praxi. Výrobky rozmanitých velikostí a tvarů jsou zhotovovány pomocí působení vnějších sil bez porušení materiálu, jde tudíž o beztržkové výrobní technologie. Samotné procesy jsou velmi efektivní a zároveň hospodárné, vylisky jsou lehké, přesné i velmi pevné. V porovnání s obráběcími operacemi lze ušetřit až 80 % materiálu. Ten je v případě tržkových technologií přeměněn na odpad. Lisují se jak polotovary pro další technologické zpracování, tak přímo hotové součásti. Protože dnes již lze tvářet prakticky jakýkoli kov či slitinu (a vezmou-li se výše zmíněné kladky plošného tváření za studena) není divu, že ze současného stavu výroby se až 90 % součástí zhotovuje nějakou tvářecí operací (údaj je souhrnný pro výrobu plošným i objemovým tvářením).

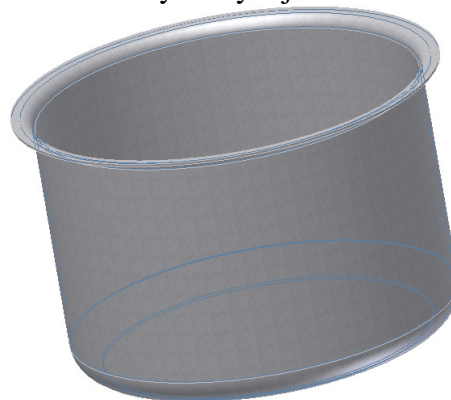
Na obrázku 1 jsou uvedeny některé příklady součástí vyrobených plošným tvářením za studena, zejména potom technologií tažení.



Obr. 1 Příklady součástí vyrobených technologií tažení [22], [19], [26], [20]

1 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU [14], [15], [16], [32], [35]

Řešená součást slouží jako kanalizační vpust' pro různé odvodňovací systémy a je znázorněna na obr. 2. Interní firemní název v přibyslavské firmě, resp. v celé společnosti ACO, je „gula“, katalogové označení pro tyto výrobky zní „Industrial Gullies“. Již z tohoto názvu je patrné, že většina těchto výrobků nachází své uplatnění zejména v zahraničí. Roční produkce této součásti je asi 2 000 ks.

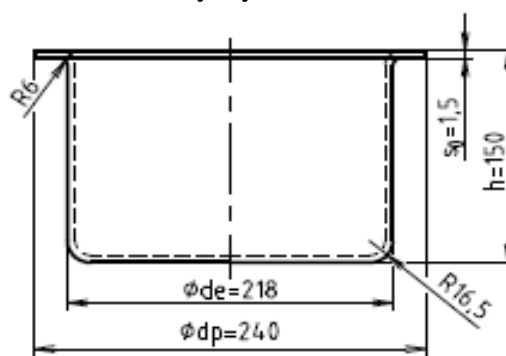


Obr. 2 Řešená součást

Firma ACO je nadnárodní společnost rozprostírající se na čtyřech kontinentech ve 40ti zemích, založená již v roce 1946. Celkově zde pracuje 3 800 zaměstnanců, z toho 570 v přibyslavské pobočce (stav v prosinci 2011). Přibyslav rovněž patří mezi šest hlavních výrobních základem, z dalších pěti sídlí dvě v Německu a po jedné v Anglii, Austrálii a USA. Obrat kompletní společnosti ACO byl v roce 2011 přibližně 700 milionů Euro, z toho na Přibyslav připadá asi jedna miliarda Kč (přes 40 milionů Euro).

V současné době je daná součást vyráběna technologií hlubokého tažení. Z tabule plechu se laserem vypálí kruhové přístřihy. V průběhu dvou tažných operací dojde ke zhotovení výtažku, který lze klasifikovat jako rotačně symetrický s přírubou. Na obr. 3 je znázorněn náčrt součásti a její základní rozměry, tolerance průměrů i rozměrů výšky $\pm 0,5$ mm.

Výtažek se zhotovuje z austenitické Cr-Ni korozivzdorné oceli 1.4301 (podle dalších norem 17 240 a AISI 304). Tato ocel je dle ČSN 41 7240 vhodná pro svařování, odolná proti chemikáliím o nízké koncentraci a při normálních teplotách. Rovněž ji lze použít i v prostředích vyžadujících vysokou čistotu produktu, jako je potravinářský nebo farmaceutický průmysl. Dodává se v pleších ve vyžíhaném stavu. Pro daný výtažek je volba tohoto materiálu vhodná zejména z důvodu korozivzdornosti a poměrně dobré tvařitelnosti. Základní mechanické vlastnosti a chemické složení jsou uvedeny v následující tabulce. Uvedené hodnoty odpovídají přímo materiálu z dodávky, tj. tab. 1 je výňatkem z atestu pro danou dodávku materiálu.



Obr. 3 Základní rozměry součásti

Tab. 1 Vlastnosti taženého materiálu [15]

Tažený materiál korozivzdorná austenitická ocel 1.4301								
Mechanické	Žiháno [°C]		Rp _{0,2} [MPa]		Rm [MPa]		A ₈₀ [%]	
hodnoty	1040 - 1100		295		640		51	
Chemické složení	Prvek	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
	[hm. %]	0,02	1,44	0,48	18,12	8,00	0,03	0,003

Kompletní atest materiálu a materiálový list ČSN 41 7240 jsou uvedeny v přílohách 1 a 2.

Rondel je před samotnou tažnou operací namazán speciálním hlubokotažným olejem. Ten vyrábí firma TRIGA, označení PROLONG 50-12. Klasifikace dle bezpečnostního listu říká, že jde o nebezpečnou vysoce hořlavou směs. Mazivo je dráždivé pro lidský organismus a nebezpečné pro životní prostředí. Obsah chloru je menší než 39 % z celkového objemu oleje. Po tažení je nutné zbylé mazivo ekologicky zlikvidovat, což provádí speciální firma.

1.1 Výrobní možnosti [17], [21], [23], [31], [33], [34]

Zpočátku je nutné zvolit vhodnou technologii, kterou daná součást bude vyráběna. Je třeba najít optimální variantu, vzít v úvahu velikost série i strojní vybavení firmy, aby náklady byly co nejmenší a současně bylo vyhověno požadavkům zákazníka.

- Výroba kombinací více technologií, tzn. pomocí linky pro výrobu švových trubek, technologií svařování a stříhání či řezání na laseru. Plášť součásti by byl vyroben a svařen na výše zmíněné lince znázorněné na obr. 4. Následně by došlo k vystřížení (nebo vypálení

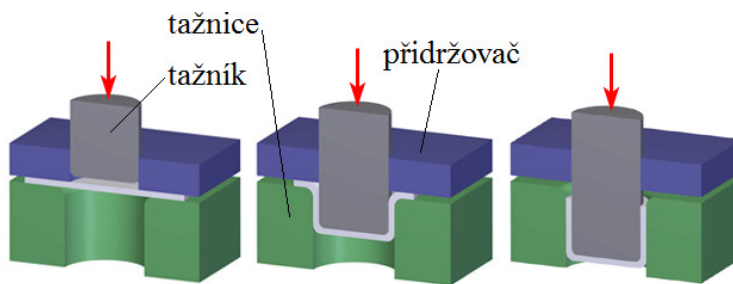


Obr. 4 Linka pro výrobu švových trubek [34]

na laseru) dna i přírubby součásti a k přivaření těchto částí k plášti. Tento postup by byl časově i materiálově poměrně náročný, přestože má firma všechny zmíněné technologie k dispozici (s výjimkou zakružování pláště součásti o průměru 218 mm, největší momentálně sestavená zakružovací linka je pro průměr 200 mm). Kvůli velkému objemu svařování (2x svar po celém obvodu pláště) v tomto návrhu by výroba trvala velmi dlouho. Mezi přechody z pláště do dna a přírubby by musely být ostré rohy. Při používání součásti by tak mohlo docházet, zejména v oblasti u dna, k usazování různých nečistot, což je kvůli hygienickým předpisům naprosto nevyhovující.

- Výroba součásti technologií tažení. Použitím tohoto způsobu dojde ke značnému zkrácení výrobních časů, výsledkem bude celistvá tuhá součást vyrobená s požadovanými zaobleními u dna i přírubby. Součást lze pomocí technologie tažení vyrobit různými způsoby. V závislosti na tloušťce dna a pláště výtažku lze tažení rozdělit na
 - tažení bez zeslabení stěny
 - tažení se zeslabením stěny pláště výtažku.

Při tažení bez zeslabení stěny zůstává tloušťka plechu neměnná. U způsobu se ztenčením je ve dně stejná tloušťka jako má výchozí polotovár, ale v plášti je menší. Tím dojde ke zpevnění materiálu, a také ke zvýšení jakosti jeho povrchu (větší lesk). Pro řešenou součást je z výkresu patrná konstantní tloušťka stěny, takže tažení bude probíhat bez ztenčení stěny. Na obr. 5 je znázorněno tažení výtažku bez ztenčení stěny konvenčním nástrojem.



Obr. 5 Tažení konvenčním nástrojem bez zeslabení stěny [21]

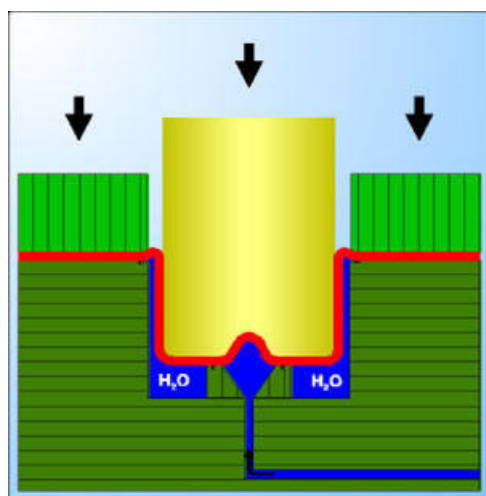
Podle geometrie součásti a materiálových charakteristik taženého plechu vyplývá počet nutných tažných operací pro zhotovení dané součásti. Dle různých empiricky stanovených vzorců, diagramů a tabulek podle jednotlivých autorů lze rozeznat

- jednooperační tažení
- víceoperační tažení.

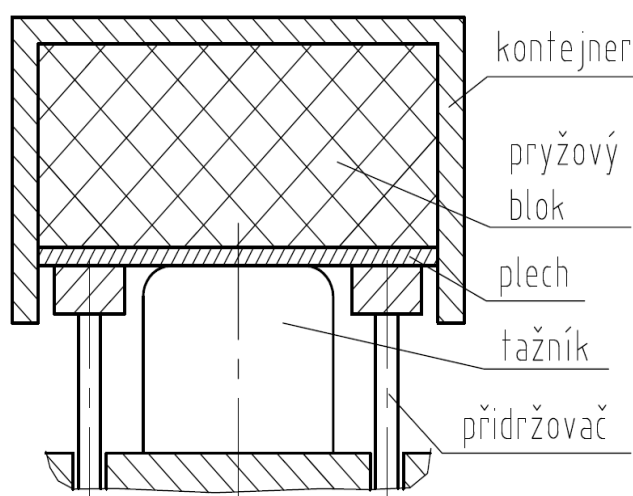
Tak jako u všech technologií, i v případě tažení je snahou vyrobit součást v co nejkratším čase, tzn. na co nejmenší počet tahů. V současné době je řešená kanalizační vpust' tažena na dvě operace. Cílem bude zjistit, zdali by tuto součást nešlo vytáhnout pouze na jeden tah.

Tažný proces může probíhat buď při použití konvenčních nástrojů, kdy tažník i tažnice jsou vyrobeny z oceli, nebo lze plech táhnout tzv. „nepevným nástrojem“. V tomto případě je jedna část nástroje nahrazena jistým médiem, jako je pryž nebo kapalina.

Použití kapaliny, kdy místo tažnice je nádržka s vodou a čerpadlo, lze vidět na obr. 7. Nazývá se hydromechanické tažení (HYDRO-MEC, HMT). Tato metoda je vhodná zejména pro velké výrobní série a proti konvenčnímu tažení má velkou výhodu z důvodu téměř neznamenného zeslabení stěny. Nehrozí proto tolik utržení dna výtažku a kompletní součást lze zhotovit na mnohem méně tahů. Použitím této metody by bylo zaručeno vytážení dané součásti na jeden tah. Protože pořizovací cena kompletního zařízení včetně čerpadla je vysoká a firma ACO by pokud možno ráda vycházela ze stávajícího strojního zařízení, nelze navrhnout tažení dané součásti hydromechanickým tažením.



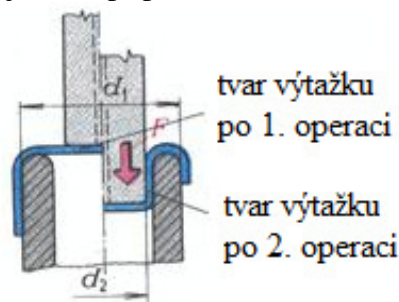
Obr. 7 Metoda HMT [33]



Obr. 6 Metoda MARFORM [31]

Tažení pomocí pryže se nazývá MARFORM a je znázorněno na obr. 6. Nástroj je poměrně levný, ale hodí se spíše pro mělké výtažky, protože vrstva pryže musí být alespoň trojnásobná než je výška výtažku. Nevýhodou jsou také značně velké síly a vhodnost zejména pro malé série. Z těchto důvodů nebude tato metoda pro řešení výtažek taktéž použita.

Zpětné (obrácené) tažení patrné na obr. 8 je další možný způsob výroby daného výtažku. V prvním tahu dochází ke klasickému vytážení z rondelu jako v případě konvenčního nástroje. Ve druhé tažné operaci se aktuální výtažek nasadí do nástroje dnem vzhůru a dojde k tažení v obráceném směru. Tímto lze dosáhnout až o 25 % větších přetvoření než v případě prostého tažení. Dochází i k menšímu zeslabení tloušťky stěny a zpravidla nevzniká zvlnění okrajů výtažků. Tato metoda se vyznačuje mnoha výhodami, ale výtažek nejde zhotovit na méně než dvě operace. Tím pádem by nebyla možnost ke zefektivnění výroby, tudíž tato metoda také není vhodná náhrada za současný stav výroby.



Obr. 8 Zpětné tažení [17]

Pro sériovou výrobu dané součásti je vybrána technologie tažení bez zeslabení stěny pomocí konvenčního nástroje. Je tak zvoleno na základě strojních možností firmy, hygienických požadavků zákazníků (zaoblení rohů u dna vpusti, aby zde nedocházelo k usazování nečistot) a dané produkce tohoto typu kanalizační vpusti. Produkce je již řadu let neměnná a lze ji očekávat i v dalších letech bez výraznějších změn. Vybranou technologií navíc není problém v případě potřeby danou produkci navýšit. Na tuto metodu bude zaměřena aktuální literární studie i návrh výroby této součásti.

2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [4], [5], [19], [23], [24], [25]

Technologie hlubokého tažení patří mezi nejefektivnější, ale zároveň také nejnáročnější technologické operace plošného tváření plechu. Pod pojmem tažení si lze představit trvalé přetvoření plechu do různě tvarovaných dutých součástí. Tento proces se uskutečňuje pomocí tažných nástrojů – tažidel (ve starších literaturách často označovány jako protahovadla).

Tažení patří ve strojírenském odvětví mezi nejdůležitější operace plošného tváření. Produkty této výroby – výtažky představují 30 % veškeré výroby zpracování plechů. Navíc i tvarově jednoduché výtažky lze jinými technologiemi vyrábět jen stěží, a pokud ano, je třeba kombinovat více technologií (např. zakroužení pláště a přivaření dna). Tím se výroba značně prodlouží a prodraží. Jako prakticky u všech výrobních technologií tváření (obzvláště plošných), i při tažných operacích dochází ke značnému ekonomickému přínosu, zde i v malosériové výrobě.

Výchozí polotovár je (nejčastěji vystřížením nebo vypálením na laseru) vytvořen z plechu a nazývá se přístřih nebo rondel.

V samotném postupu tažných operací je nutná velmi přesná volba a dodržení optimálních technologicko - konstrukčních parametrů, při jejichž návrhu se vychází z výkresu součásti určené k tažení. Jedná se zejména o volbu taženého materiálu, tloušťku plechu, druh používaného maziva a v neposlední řadě volbu typu lisu. Po tažení většinou následuje technologická operace ostřížení, ale nemusí to být pravidlem. Záleží na dalším využití výtažku.



Obr. 9 Kuchyňský dřez [25]

Touto metodou lze zhotovit (vytáhnout) různé prostorové součásti z plechu, od jednoduchých rotačních válcových výtažků až po hranaté výtažky složitých nesymetrických tvarů. Jedná se např. o výtažky s širokou přírubou, odstupňované výtažky, nádoby s parabolickým, kuželovým či sférickým tvarem pláště aj. Výroba těchto výtažků je zpravidla daleko náročnější než tažení geometricky jednoduchých kalíšků, každá tato skupina má své specifické výrobní požadavky.

Výtažky lze zhotovit ve velmi širokém rozsahu velikostí. Od téměř miniaturních součástí pro elektrotechnický průmysl až po velmi rozměrné výtažky pro automobilový průmysl. Vhodné je to rovněž pro výrobu např. kuchyňských dřezů, viz obr. 9.

V průmyslové praxi se tímto způsobem vyrábí široký sortiment mělkých i hlubokých nádob, krytů, vík, palivových nádrží atd. Součásti zhotovené hlubokotažnými operacemi jsou hojně využívány nejen ve strojírenství. Například výroba hrnců, plechovek, jednotlivých částí jídelnosičů nebo pánví na vaření z potravinářské nerezové oceli je také velmi rozšířená. Na obr. 10 je znázorněn hrnec z nerezové oceli.



Obr. 10 Nerezový hrnec [24]

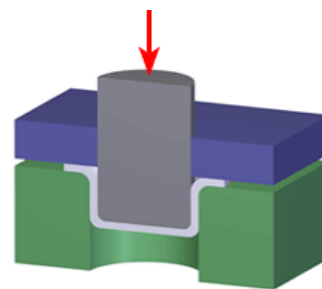
Technologie hlubokého tažení je nejefektivnější při použití tvárných materiálů, jako je hliník, mosaz, měď a měkké hlubokotažné oceli.

2.1 Průběh tažení, stav napjatosti a deformace [3], [4], [5], [9], [10], [17], [21]

Nejprve se přístřih vystředí, nejčastěji do vyfrézované drážky nebo zakládacího kroužku, které velikostně odpovídají ploše rondelu. Poté je plech chycen přidržovačem, následně se dá do pohybu tažník a po dosednutí na plech jej začne vtahovat do tažnice. Na obr. 11 je zachycen průběh tažného procesu, kdy část rovinného přístřihu je již přeměněna na plášť výtažku, ale zbylá část (prstencový zbytek přístřihu) se ještě nachází mezi přidržovačem a tažnicí.

V průběhu tažení dochází v jednotlivých místech výtažku ke složitým tvárným deformacím. Danou situaci vystihuje obr. 12. Při tažení z rovinného výchozího polotovaru dochází k jeho kontinuálnímu prodlužování v radiálním směru a zkracování v tangenciálním směru.

Na obrázku 12 jsou vyznačeny druhy napětí a deformací pro jednotlivá místa výtažku při použití přidržovače. Napjatost i deformace se v každém místě výtažku mění, z tohoto pohledu jde tedy o velmi složitý proces. Při tažení bez přidržovače by došlo pouze ke změně druhů napětí a deformací v přírubě, v plášti by zůstaly totožné.

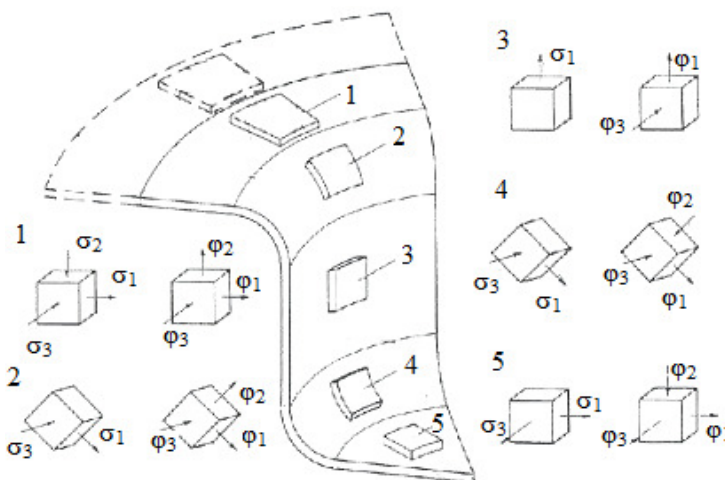


Obr. 11 Princip tažení [21]

Pokud by se výtažek myšleně rozdělil na jednotlivé podoblasti (viz obr. 12, podoblasti 1 až 5), je možné detailně vidět změnu napětí i deformací pro každý úsek odděleně.

V přírubě výtažku (podoblast 1) se kvůli použití přidržovače vyskytuje prostorová napjatost. Zpočátku tažení se v oblasti poblíž vnějšího okraje příruby nejvíce projevuje tlaková tangenciální deformace. Nižších hodnot dosahuje radiální deformace, resp. deformace v radiálním směru. Deformace, která zapříčiňuje zvětšení tloušťky plechu v přírubě, je zde nejmenší. Dochází-li k tažení tenkého plechu, vlivem působení tlakové tangenciální deformace dochází k tvorbě zvlnění v oblasti příruby. Použije-li se silnější plech, při stejném průměru rondelu i hotového výtažku se vlny netvoří.

Při přesunutí částic materiálu do oblasti rondelu před změnou příruby na plášť výtažku dochází i ke změně velikosti jednotlivých deformací. V tomto místě dosahuje nejvyšších hodnot deformace prodloužení v radiálním směru, dochází k postupnému zmenšování tangenciálního stlačení.



Obr. 12 Napjatost a deformace ve výtažku [17]

V oblasti poloměru " r_{te} " (2) dochází k prostorovému ohybu a vyjádření deformace je složité. Vzniká prostorová napjatost, největších hodnot zde dosahuje radiální tahové napětí " σ_1 ", menších potom tangenciální tlaková napětí " σ_3 ".

Následně částice přechází do pláště výtažku (3). Ten lze obecně prezentovat jako zakřivenou svislou stěnu. Působí zde jednoosá tahová napjatost, prostorová deformace probíhající v přírubě přechází v rovinný stav. Dochází zde k nepatrnému ztenčování tloušťky stěny výtažku. Ke značnému protažení a ztenčení pláště dojde až poblíž dna, a to v zaoblení mezi dnem a pláštěm výtažku (4). Opět dochází k prostorovému ohybu a vzniká prostorová nestejnorodá napjatost.

Ve dně (5) lze v průběhu tažení očekávat rovinnou tahovou napjatost a prostorový stav deformace. Materiál je zde nepatrně prodloužen, tím pádem dochází k jeho ztenčení, přibližně o 2 - 3 %. Pro praxi lze tyto deformace zanedbat.

Největších hodnot napětí i deformace je dosahováno na aktuálním okraji (v přírubě) výtažku. I přes tento fakt je nejnebezpečnějším místem na výtažku přechodové pásmo mezi pláštěm zaoblením u dna. Tahová napětí zde dosahují vysokých hodnot. Kvůli tomuto a kvůli ztenčení tloušťky stěny zde může dojít ke vzniku trhlinek nebo i k utržení dna.

Podle experimentů z [10] vyplývá, že deformace pláště výtažku a zaoblení mezi pláštěm a dnem probíhá po celou dobu tažné operace. Tím pádem dochází ke kontinuálnímu zmenšování tloušťky v těchto částech v celém průběhu pracovního zdvihu. Dle experimentu je patrné, že při tažení výtažku s přírubou při použití přidržovače došlo k napěchování materiálu na konci příruby o 10 %. V zaoblení mezi dnem a pláštěm došlo dokonce k maximálnímu ztenčení až 27,5 %.

Při jednooperačním tažení není zpravidla zeslabení stěny nijak významné. Pokud je ovšem nezbytné tažení na několik operací, může docházet k podstatným změnám tloušťky, zejména v choulostivém místě v přechodovém poloměru mezi pláštěm a dnem, jak je patrné z uvedeného příkladu.

Pokud by se výtažek zhotovil bez použití přidržovače, ztenčení v zaoblení u dna bude znatelně menší. Jestliže jde ale o napěchovanou tloušťku v přírubě výtažku, dosáhne se mnohem větších hodnot zesílení, a to až o 30 % proti původní tloušťce materiálu. U rotačních válcových výtažků bez příruby lze taktéž očekávat značné zesílení tloušťky u okraje výtažku, a to 20 – 30 %. Ztenčení v kritickém místě se zpravidla pohybuje mezi 10 až 18 %.

Tloušťka plechu v místě zaoblení mezi dnem a pláštěm výtažku je tím menší, čím menší jsou poloměry zaoblení tažnice i tažníku a čím větší jsou následující faktory

- stupeň deformace “ ε_D ”
- poměrná tloušťka plechu “ s_0/D_0 ”
- počet tažných operací “ n_0 ”
- tvárnost taženého materiálu, což je zřejmě nejdůležitější údaj.

Pokud je dosaženo velké ztenčení u zaoblení dna, lze říci, že došlo ke značné deformaci při výrobě výtažku. Vezme-li se v úvahu velikost zesílení tloušťky u okraje výtažku, mají na ni vliv stejné faktory jako výše uvedené s výjimkou zaoblení tažnice. Napěchovaná tloušťka okraje výtažku “ s_1 ” pro výtažky s přírubou lze přibližně určit podle vztahu

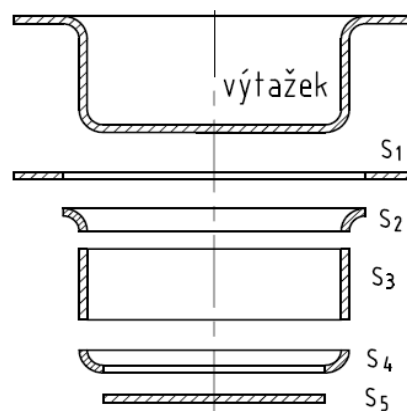
$$s_1 = s_0 \cdot \sqrt{\frac{D_0}{d_p}}, \quad (2.1)$$

kde D_0 je průměr rondelu [mm]
 d_p je průměr příruby výtažku [mm].

2.2 Velikost rondelu [4], [9], [10]

Z důvodu stálosti objemu kovu při tvárné deformaci lze velikost výchozího polotovaru stanovit z rovnosti objemů materiálu před a po tažení. Pokud jde o tažení bez ztenčení stěny, stačí vycházet pouze z rovnosti ploch polotovaru a vytažené součásti. Uvedený fakt platí pouze za předpokladu, že tloušťka materiálu zůstává během tažení konstantní a neměnná. Toto v reálné praxi není pravda, ale lze to zanedbat, resp. pro praktické výpočty k tomuto zanedbání dochází. V případě tažení se ztenčením stěny je nutné logicky vycházet přímo z rovnosti objemů rondelu a hotové součásti.

Pro jednoduché rotační výtažky pro tažení bez ztenčení stěny lze celková plocha celkem snadno rozdělit na jednotlivé geometrické části. Toto je naznačeno na obr. 13, kde je rotační výtažek s přírubou rozdělen na pět jednoduchých geometrických oblastí. Po sečtení dílčích ploch “ S_i ” se dostane celková plocha součásti “ S_c ”.



Obr. 13 Rozdělení výtažku na jednoduché tvarové oblasti

Výpočet průměru rondelu probíhá ze známého vzorce pro výpočet obsahu kruhu, po vyjádření průměru rondelu je patrný vztah

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} \quad (2.2)$$

Pro složitější rotační výtažky, pro které by bylo rozdělení na dílčí plochy a následný výpočet obtížné, se ke zjištění výchozího polotovaru používá Guldinova věta. Řešení této metody je zřejmé při použití pólové metody (metoda vláknového obrazce), kompletní řešení pro danou součást je uvedeno v přílohách. Matematicky platí vztah

$$R_0^2 = L_c \cdot Dt, \quad (2.3)$$

kde R_0 je poloměr rondelu [mm]

L_c je polovina délky obrysu podélně osově rozříznutého výtažku [mm]

$Dt = 2Rt$, kdy Rt je poloměr těžiště poloviny obrysu výtažku [mm].

Také je možné odečíst poloměr přístřihu přímo z grafického řešení.

Při určení velikosti výchozího polotovaru u tenkých plechů stačí vycházet z vnějších rozměrů hotového výtažku. Pro tlusté plechy je ale kvůli korektnosti výpočtu třeba uvažovat střední rozměry výtažku. Pro jednotlivé tvary (zejména rotačních výtažků) jsou v literaturách uvedeny tabulky s výčtem různých vzorců. Tyto vzorce nejsou zcela přesné, protože zpravidla nezahrnují zaoblení výtažků např. mezi pláštěm a dnem či pláštěm a přírubou. Pro rychlou kontrolu předběžného návrhu průměru rondelu jsou plně dostačující. Pokud je navíc zaoblení poměrně malé (asi do osminásobku tloušťky použitého materiálu; $R < 8 \cdot s_0$) a po vytažení dochází ještě k ostřížení, lze tyto vzorce brát zcela za dostačující. Až reálným vytažením se zjistí, jak velký výchozí polotovar je opravdu třeba použít. Pro případ řešeného rotačního výtažku s přírubou lze použít vztah

$$D_0 = \sqrt{d_p^2 + 4d_i \cdot h_s}, \quad (2.4)$$

kde d_i je vnitřní průměr pláště výtažku [mm]

h_s je střední výška výtažku [mm].

Užití tohoto vzorce je rychlé a snadné. Pokud by byla požadována větší přesnost, je třeba brát v úvahu zaoblení mezi dnem a pláštěm a pláštěm a přírubou. Tomuto vyhovuje vztah

$$D_0 = \sqrt{d_p^2 + 4d_i \cdot h_s - 3,44 \cdot d_i \cdot r}, \quad (2.5)$$

kde r je poloměr zaoblení přechodu pláště do příruby a dna výtažku [mm].

Pokud je poloměr zaoblení mezi pláštěm a přírubou a pláštěm a dnem rozdílný, lze použít do daného vzorce jejich aritmetický průměr, aniž by došlo k výraznému zkreslení vypočtené hodnoty. To samé platí i pro následující vzorec podle [10], při jehož použití lze kvůli větší početní náročnosti očekávat přesnější výsledek než v předchozím případě.

$$D_0 = \sqrt{d_d^2 + 4d_s \cdot h_p + 2\pi \cdot r(d_d + d_s) + 4\pi r^2 + d_p^2 - d_{pi}^2}, \quad (2.6)$$

kde d_d je průměr dna výtažku [mm]

h_p je výška pláště mezi zaobleními u dna a příruby [mm]

d_{pi} je průměr na přechodu příruby do zaoblení [mm].

K vypočtenému průměru se obvykle přidává ještě jistý materiálový přídavek. Podle literárních zdrojů je zvykem ho volit buď jako 5 a 10 % z výše vypočtené plochy přístřihu, nebo připočítat 3 % k výchozímu průměru pro první tah a pro další tahy vždy ještě 1 %.

Další možnost jak určit tento potřebný přídavek je pomocí tabulek z literatury. Záleží, je-li výtažek zhotoven s přírubou či nikoli. V tab. 2 jsou znázorněny přídavky na ostřížení v [mm] pro součásti s malou přírubou. Tyto přídavky slouží k odstřížení nerovných okrajů, které vznikají v průběhu tažných operací kvůli cípatosti. Kvůli zanedbání zvětšení povrchu součásti

z důvodu působení tahových napětí na výtažek se plocha na ostřížení ještě značně zvýší, s čímž se ale v praxi nepočítá.

Tab. 2 Velikosti přídavek na ostřížení pro výtažky s přírubou [10]

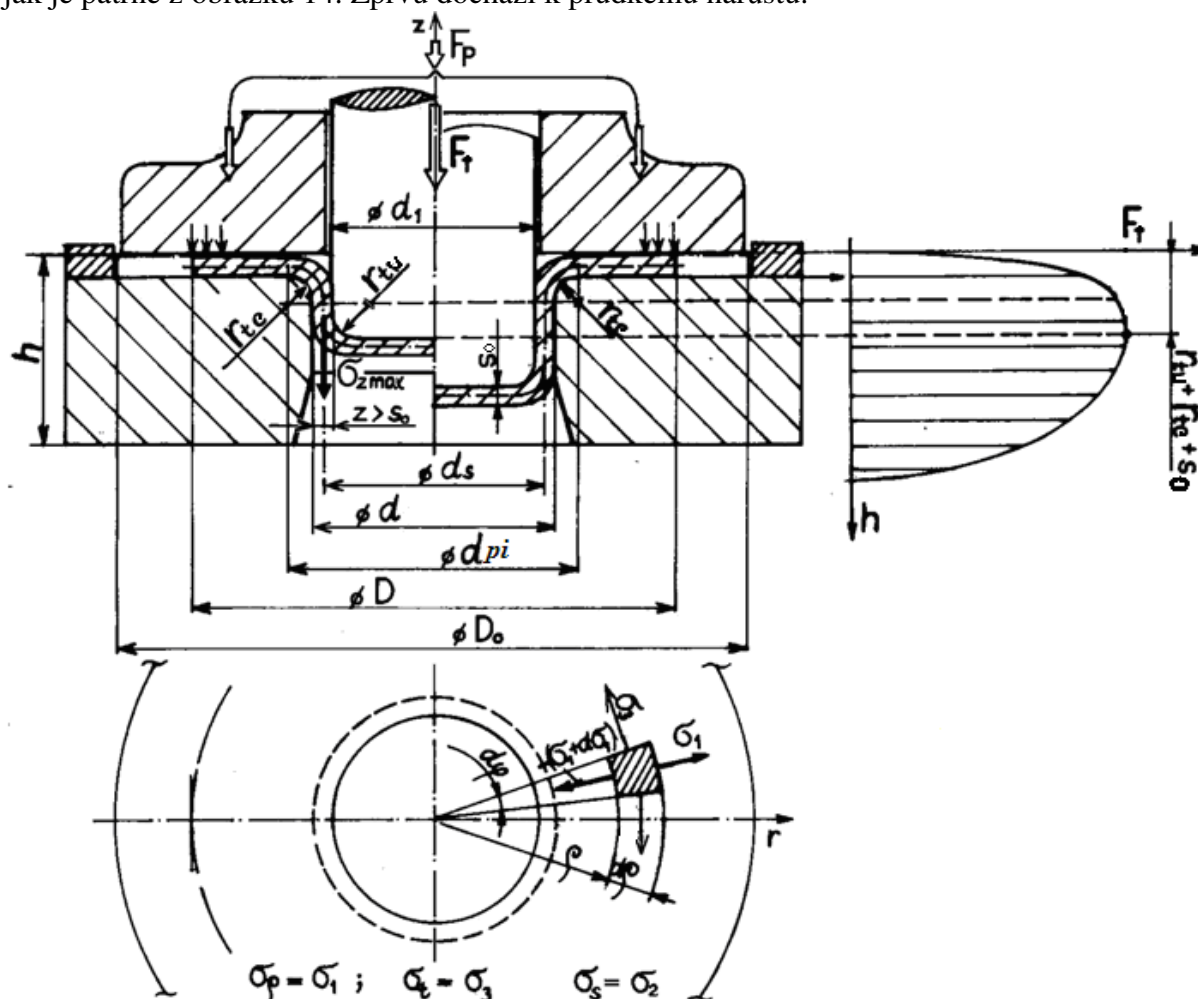
dp/ds	Průměr příruby dp [mm]					
do 1,5	25	50	...	200	250	300
	1,6	2,5	...	5,0	5,5	6,3

Zejména pro rychlý původní návrh velikosti rondelu, případně pro kontrolu výpočtu lze použít různé nomogramy. Pro každý geometrický tvar výtažku je nutné použít jiný nomogram, jak je uvedeno např. v literaturách [9] nebo [10].

2.3 Tažná síla [5], [9], [10], [12], [13]

Znalost maximální hodnoty tažné síly pro danou tažnou operaci je velmi důležitá. Vychází se z ní při volbě lisu pro zhotovení požadovaného výtažku. Rovněž je třeba ji porovnat s hodnotou síly na přetržení výtažku " F_t ". Tažná síla " F_t " musí být vždy menší.

Tažná síla nezůstává na konstantní hodnotě, ale v průběhu tažení se velmi výrazně mění, jak je patrné z obrázku 14. Zprvu dochází k prudkému nárůstu.



Obr. 14 Schéma první operace tažení s přírubou, průběh tažné síly [12]

Maximální hodnoty tažné síly se dosáhne přibližně v okamžiku, kdy se tažník dostane do hloubky odpovídající součtu hodnot zaoblení tažníku, zaoblení tažnice a tloušťky plechu. Matematicky je toto vyjádřeno vzorcem (2.7).

$$h_{F_{\max}} = r_{tu} + r_{te} + s_0 \quad (2.7)$$

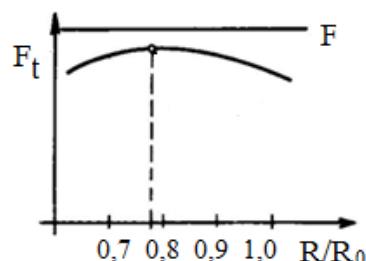
kde $h_{F_{\max}}$ je hloubka výtažku, které odpovídá maximální tažná síla [mm]

r_{tu} je poloměr zaoblení hrany tažníku [mm]

r_{te} je poloměr zaoblení hrany tažnice (tažná hrana) [mm].

K působení maximální tažné síly zde dochází z důvodu největšího opásání zaoblené tažné hrany (úhel 90°), dochází k intenzivnímu tření a také k velkému zpevňování materiálu. Znalost přesného místa působení maximální tažné síly je velmi důležitá z důvodu určení vhodnosti užití daného tažného lisu pro aktuální tah.

V dalším přístupu řešení maximální síly se vychází z parabolické aproximace skutečného diagramu, jak je vidět na obr. 15. Maximální tažné síly se dosáhne v určitém poměru aktuálního poloměru příruby v průběhu tažné operace ku poloměru rondelu.



Obr. 15 Parabolický průběh tažné síly [12]

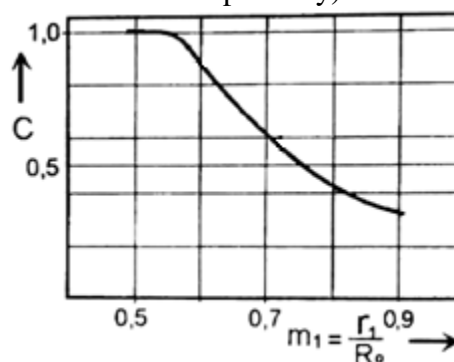
V praxi se při výpočtu maximální tažné síly vychází s výhodou z faktu, že nejvyšší dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být vždy menší než mez pevnosti materiálu v tahu. Pokud se toto dodrží, tažná síla bude menší jak síla " F_i " potřebná na utržení dna, resp. bočních stěn u dna výtažku. Tato síla je znázorněna ve vzorci (2.8). Teoreticky je to maximální síla, kterou mohou přenést stěny výtažku.

$$F_i = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot R_m, \quad (2.8)$$

kde R_m je mez pevnosti materiálu v tahu [MPa].

Užití tohoto vzorce je velmi výhodné pro rychlý odhad volby tažného lisu pro tažení určité součásti. V některých literaturách se uvedený vztah pro sílu na utržení dna (2.8) přenásobuje ještě součinitelem " c ", viz obr. 16. Ten je závislý na součiniteli tažení, číselně má své opodstatnění pouze v mezích od asi 0,55 do 0,9. Pokud se součinitel tažení nachází v tomto intervalu, je patrný nutný pokles síly. Čím menší bude redukce rondelu v prvním tahu, (tzn. vyšší součinitel tažení), tím nižší bude síla na utržení dna.

Reálně není celková tažná síla přenášena pouze stěnami výtažku, určitý podíl tažné síly je přenesen i z důvodu tření mezi tažníkem a výtažkem. Jak již bylo zmíněno, vlivem tváření za studena dochází ke zpevňování materiálu, proto je nutné do vzorce správně dosadit mez pevnosti " R_m " (v literatuře jsou často uváděny meze pevnosti v určitém rozsahu hodnot, nižší platí pro materiál ve vyžíhaném stavu, vyšší pro materiál deformačně zpevněný). Velikost reálné tažné síly, resp. skutečná velikost napětí v nebezpečném průřezu, je závislá na mnoha faktorech. Zejména na deformačním odporu taženého materiálu, součiniteli tažení, poloměrech zaoblení tažníku i tažnice, poměrné tloušťce plechu a na použitém mazivu.



Obr. 16 Závislost součinitele c na součiniteli tažení m_1 [3]

Další možný způsob jak určit tažnou sílu vychází ze znalostí a předpokladů teorie tváření. Prakticky se vychází ze známého vzorce, kdy tažná síla je rovna součinu deformačního odporu a průřezové plochy výtažku. Výpočet této plochy je stejný jako u ostatních zmíněných vzorců, ale určení deformačního odporu je velmi náročné a závisí na mnoha faktorech. Jde zejména o přirozený přetvárný odpor taženého materiálu, geometrii nástrojů i výtažku a vliv přidržovače a tření. Velikost deformačního odporu " σ_d " je v absolutní hodnotě rovna hodnotě tažného napětí " σ_z ", jak je patrné ze vzorce (2.9).

$$\sigma_d = -\sigma_z = (\sigma_p + \sigma_f + 2\sigma_o) \cdot e^{\alpha_f}, \quad (2.9)$$

kde σ_p je radiální tahové napětí [MPa]
 σ_f je napětí s vlivem tření od přidržovače [MPa]
 σ_o je napětí s vlivem ohybu na tažné hraně [MPa]
 e^{α_f} je vliv tření opásání tažné hrany [-].

V některých literaturách je napětí s vlivem ohybu na tažné hraně tažnice vyčleněno z uvedené závorky, tudíž není přenásobeno členem " e^{α_f} ". Tito autoři uvádějí, že účinek tření od opásání tažné hrany nemá vliv na velikost napětí s vlivem ohybu na tažné hraně. Reálně však rozhodnutí, zda tato složka bude ponechána v závorce či nikoli, nemá podstatný vliv na celkovou velikost napětí.

Jednotlivé složky deformačního napětí se dále počítají dle příslušných geometrických modelů. Výpočet radiálního tahového napětí, ale i tečného napětí " σ_t ", které však nemá vliv na výpočet napětí " σ_d ", vychází z teorie dle Sachse. Vychází se z vytknutého elementu v přírubě tažnice, jak je patrné z obr. 14. Poté dochází k sestavení rovnice z platnosti podmínky rovnováhy sil $\sum F_p = 0$ na daný rovinný element

$$\sum F_p = -\sigma_p s_0 \rho d\alpha + (\sigma_p + d\sigma_p)(\rho + d\rho) s_0 d\alpha - 2\sigma_t s_0 d\rho \sin \frac{d\alpha}{2} = 0, \quad (2.10)$$

kde ρ je poloměr výtažku v řešeném místě [mm].

Po roznásobení závorek a jistých zjednodušeníh (sinus hodnoty nekonečně malého úhlu $d\alpha/2$ lze považovat přímo za hodnotu tohoto nekonečně malého úhlu $d\alpha/2$, dále dochází k zanedbání součinů těchto nekonečně malých veličin) se dostane diferenciální rovnice rovnováhy v polárních souřadnicích

$$\frac{d\sigma_p}{d\rho} + \frac{\sigma_p - \sigma_t}{\rho} = 0. \quad (2.11)$$

Pomocí podmínky plasticity z rovnice (2.12) a jistých okrajových podmínek se nakonec dostane finální tvar pro ideální radiální tahové napětí (2.13) bez vlivu přidržovače s uvažováním střední hodnoty přirozeného přetvárného odporu " σ_{ps} ".

$$\sigma_p - \sigma_t = \xi \cdot \sigma_{ps}, \quad (2.12)$$

kde ξ je Lodeho součinitel [-].

$$\sigma_p = \xi \cdot \sigma_{ps} \cdot \ln \frac{R}{\rho}, \quad (2.13)$$

kde R je aktuální poloměr příruby v průběhu tažné operace [mm].

Jak již bylo řečeno, tečné napětí nemá na výpočet deformačního odporu žádný vliv, přesto je jeho znalost také velmi důležitá a spočítá se dle vzorce

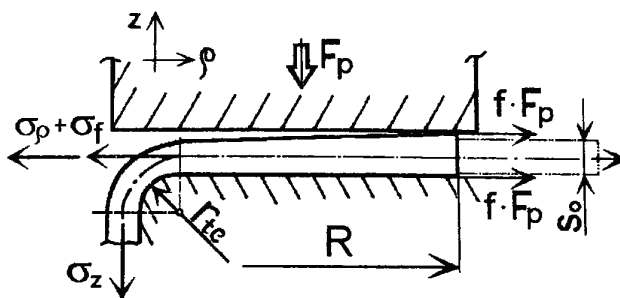
$$\sigma_t = -\xi \cdot \sigma_{ps} \cdot \left(1 - \ln \frac{R}{\rho}\right). \quad (2.14)$$

Další složkou pro výpočet deformačního odporu je výpočet napětí s vlivem tření od přidržovače " σ_f ". Tomuto stavu odpovídá geometrický model na obr. 17. Jak je z obrázku patrné, pohyb příruby v průběhu tažení je brzděn třecími silami. Ty jsou zde znázorněny pomocí Coulombova vztahu, podle kterého je třecí síla rovna součinu normálové síly a součiniteli tření " f ". V tomto případě figuruje jako normálová síla od přidržovače " F_p ", proto se třecí síla " F_f " vypočítá podle vztahu

$$F_f = F_p \cdot f. \quad (2.15)$$

Podle Popova a Stoževa vychází působení třecích sil z aktuálního vnějšího okraje příruby (vzdálenostně toto odpovídá poloměru " R "). Je tomu tak z důvodu největší tloušťky, která vzniká napěchováním materiálu v průběhu tažení, a proto teoreticky dochází k dotyku

přidržovače a příruby pouze v tomto místě. Zde je navíc radiální tahové napětí “ σ_p ” rovno nule. V každém okamžiku tažení zde dochází k rovnosti poloměrů “ ρ ” a “ R ”, jejich podíl je tedy roven jedné. Jak je patrné ze vzorce (2.13), z tohoto podílu se počítá přirozený logaritmus, který pro tento stav odpovídá nule, proto je tedy radiální tahové napětí v tomto místě nulové. Při předpokladu rovnoměrného rozložení napětí po tloušťce příruby lze napsat silovou rovnováhu pro místo na poloměru “ R ”



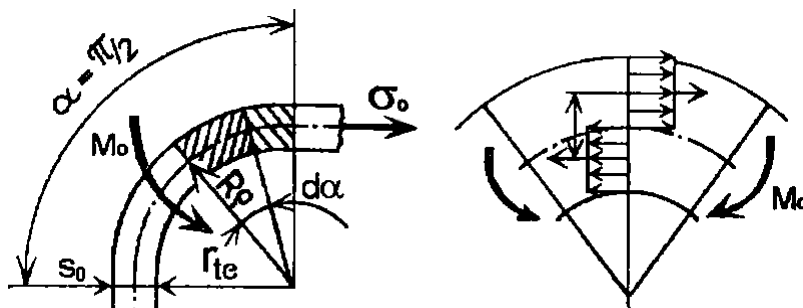
Obr. 17 Vliv tření na napjatost ve výtažku [3]

$$2 \cdot \pi \cdot R \cdot s_0 \cdot \sigma_f = 2 \cdot f \cdot F_p. \quad (2.16)$$

Součinitel tření zde zpravidla dosahuje hodnot v rozmezí 0,10 až 0,12. Následně již není problém vyjádřit z uvedené silové rovnováhy hledané napětí

$$\sigma_f = \frac{f \cdot F_p}{\pi \cdot R \cdot s_0}. \quad (2.17)$$

Předposlední složkou pro zjištění deformačního odporu je napětí zahrnující vliv ohybu materiálu na tažné hraně tažnice “ σ_o ”. Jak je patrné ze vzorce pro výpočet deformačního odporu, toto napětí od ohybu je ve vzorci uvedeno v dvojnásobném zastoupení. Je tomu tak proto, že reálně dochází k dvojímu ohybu. Zprvu dochází k ohybu přes tažnou hranu, ale toto zaoblení je



Obr. 18 Vliv ohybu na tažné hraně tažnice [3]

ihned vyrovnáváno. Tyto změny křivosti jsou spojeny s deformační prací. Odvození hledaného ohybového napětí proto vychází z rovnice rovnováhy nikoli sil jako v předchozích případech, ale z rovnováhy prací při přesunu materiálu v průběhu tažení o úhel “ $d\alpha$ ”, jak je vidět na obr. 18. Proto lze napsat rovnici rovnováhy prací ve tvaru

$$\sigma_o \cdot R_p \cdot s_0 \cdot b \cdot d\alpha = M_o \cdot d\alpha, \quad (2.18)$$

kde R_p je střední poloměr zaoblení plechu na tažnici, $R_p = r_{te} + s_0/2$ [mm]

b je jednotková šířka, $b=1$ [mm]

M_o je ohybový moment na hraně tažnice [N.mm].

Protože je uvažován plastický model zpevnění materiálu, jak lze vidět v pravé části obr. 18, lze ohybový moment počítat jako

$$M_o = \sigma_{ps} \cdot \frac{s_0^2}{4}. \quad (2.19)$$

Po jistých matematických úpravách rovnice rovnováhy prací ve vzorci (2.18), vyloučení jednotkové šířky a dosazení středního poloměru zaoblení plechu na tažnici $R_p = r_{te} + s_0/2$ lze vzorec pro napětí od ohybu vyjádřit rovnou ve dvojnásobné hodnotě kvůli dosazení dále

$$2\sigma_o = \sigma_{ps} \left(\frac{s_0}{2r_{te} + s_0} \right). \quad (2.20)$$

Poslední ovlivnění výpočtu deformačního odporu určuje vliv tření při opásání tažné hrany taženým materiálem. Pokud bude úhel opásání $\alpha=\pi/2$, lze použít jisté zjednodušení

$$e^{f\alpha} = e^{f \frac{\pi}{2}} \cong \left(1 + f \frac{\pi}{2}\right) \cong (1 + 1,6f)$$

Následně již není problém dosadit všechny tyto vzorce do původního (2.9) pro výpočet deformačního odporu, navíc je zde vytknuta střední hodnota přirozeného přetvárného odporu

$$\sigma_d = -\sigma_z = \sigma_{ps} \left[\xi \cdot \ln \frac{R}{\rho} + \frac{f \cdot F_p}{\pi \cdot \sigma_{ps} \cdot R \cdot s_0} + \frac{s_0}{2r_{te} + s_0} \right] (1 + 1,6f). \quad (2.21)$$

Největší hodnota deformačního odporu " σ_{dmax} " (tedy i tažné síly) je dosažena v okamžiku maxima opásání tažné hrany, tj. při dosažení hloubky tažení " h_{fmax} ", viz vzorec (2.7) a obr. 14. Lodeho součinitel " ξ " je vhodné volit asi 1,1 pro tažné operace, velikost maximální tažné síly při použití přidržovače pro 1. tah vychází

$$F_t = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot \sigma_{dmax}. \quad (2.22)$$

Jediný rozdíl oproti síle na utržení dna je dosazená hodnota napětí, ovšem jeho správné určení bývá zpravidla poměrně obtížné. Největší hodnoty tažného napětí, neboli deformačního odporu se dosáhne rovněž při maximálním úhlu opásání tažné hrany.

Pro výpočet tažné síly v praxi jsou tyto teoretické vzorce téměř nepoužitelné. Zpravidla jejich výpočet bývá velmi obtížný a zdoluhavý, navíc i při těchto nevýhodách u nich častokrát dochází k mnoha zjednodušujícím předpokladům.

V dalším z přístupů určení tažné síly " F_t " se vychází z redukování průměru přístřihu a síly na přetržení. Tažná síla lze poté vypočítat snadno dle vzorce (2.23), ale odchylka od skutečné tažné síly může být značně velká. Čím menší bude poměr D_0/d_s , tím menší tažná síla na zhotovení výtažku bude třeba.

$$F_t = F_i \cdot \left(\frac{D_0}{d_s} - 0,7\right) \quad (2.23)$$

Je-li pro tažení používán mechanický tažný lis, je třeba brát v úvahu i délku výtažku, protože konstrukční řešení tohoto lisu nedovoluje působit maximální silou po celé délce výtažku. Potřebnou tažnou sílu lisu " F_L " potom lze určit součinem skutečné tažné síly " F_t " a součinitele zohledňující délku výtažku " A_L ", viz tabulka 3.

$$F_L = F_t \cdot A_L. \quad (2.24)$$

Pokud dojde v dané technologické operaci i k použití přidržovače, je nutné znát i potřebnou přidržovací sílu F_p (viz dále, kapitola 2.9.3), kterou lze v tomto případě určit ze vztahu

$$F_p = F_L \cdot B. \quad (2.25)$$

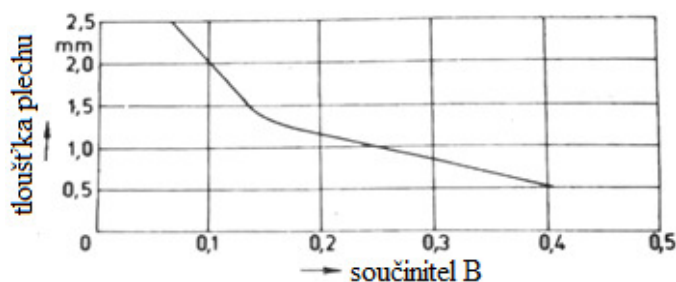
kde B je součinitel zohledňující tloušťku taženého plechu.

Součinitel B je možné odečíst z diagramu na obrázku 19. K tažné síle je navíc potřebné ještě připočíst sílu přidržovače " F_p ", celková síla při tažení potom odpovídá vztahu

$$F_c = F_L + F_p = F_t \cdot (A_L + B). \quad (2.26)$$

Tab. 3 Součinitel A_L [9]

Délka výtažku [mm]	A_L
do 25	1
25 až 50	1,5
50 až 75	1,75
75 až 100	2
100 až 150	2,5
150 až 200	2,75



Obr. 19 Diagram pro určení součinitele B [9]

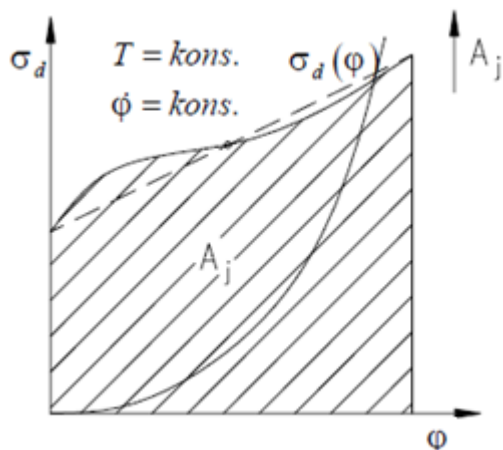
2.4 Práce [9], [10], [12], [13]

Znalost hodnoty spotřebované práce během tažné operace je velmi důležitá, zejména z důvodu zjišťování vhodnosti mechanických lisů (dobíjení setrvačnicku mechanických lisů). Při výpočtu práce při tažné operaci lze vycházet ze dvou přístupů.

V případě prvního přístupu je třeba spočítat logaritmickou deformaci, ale hlavně znát křivku závislosti deformačního odporu na logaritmické deformaci (křivka napětí – deformace II. druhu) pro daný materiál. Maximální logaritmickou deformaci lze vypočítat jako logaritmický podíl průměru rondelu ku vnitřnímu průměru výtažku “ d_1 ”

$$\varphi_{\max} = \ln \frac{D_0}{d_1}. \quad (2.27)$$

Deformační přetvárný odpor “ σ_d ” (v literatuře též nazývaný technologický přetvárný odpor) je vlastně přirozený přetvárný odpor navýšený o další pasivní odpory spojené se změnami tvaru tvářeného tělesa. Zejména jde o tření, změnu tvaru tělesa, změnu teplotních podmínek, napjatost a změny nerovnoměrné napjatosti a lokální změny rychlosti deformace při pohybu kovu v průběhu tváření. Hodnota navýšení oproti přirozenému přetvárnému odporu je asi o 10 až 12 %. Křivka deformačního přetvárného odporu na obrázku 20 je charakteristická tím, že pro každou technologickou operaci, materiál, teplotu a střední rychlost deformace dosahuje jiných hodnot. Pro korektní určení je navíc vyžadována konstantní hodnota teploty a střední rychlosti deformace.



Obr. 20 Závislost deformačního odporu a měrné přetvárné práce na logaritmické deformaci [12]

Výpočet celkové práce vychází z určení jednotlivých dílů měrných přetvárných prací na intervalu logaritmické deformace $\langle 0; \varphi_{\max} \rangle$ a následným posčítáním těchto jednotlivých dílčích měrných prací. Tohoto se docílí vzorcem

$$A_j = \int_0^{\varphi_{\max}} \sigma_d \cdot d\varphi, \quad (2.28)$$

kde A_j je měrná přetvárná práce $[J \cdot mm^{-3}]$.

Křivka deformačního odporu, $\sigma_d = f(\varphi)$, je zpravidla aproximována polynomem 3. nebo 5. stupně. Pro polynom 3. stupně lze uvedenou závislost rozvést do vzorce

$$\sigma_d = f(\varphi) = a_3 \cdot \varphi^3 + a_2 \cdot \varphi^2 + a_1 \cdot \varphi + a_0, \quad (2.29)$$

kde $a_0 - a_3$ jsou konstanty charakterizující velikost deformačního odporu [-].

Reálně je výhodné pro výpočet měrné přetvárné práce využít numerické integrace pro získání jednotlivých dílčích elementů měrných přetvárných prací. Interval $\langle 0; \varphi_{\max} \rangle$ se rozdělí na určitý počet úseků, čím menší budou, tím přesnější bude výpočet. Jejich sumací (sečtením) lze dostat celkovou hodnotu měrné přetvárné práce, jak je patrné ze vzorce

$$A_j = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (\sigma_{di} + \sigma_{di+1}) \cdot (\varphi_{i+1} - \varphi_i), \quad (2.30)$$

kde σ_{di} je okamžitá hodnota deformačního odporu pro určitou φ_i [MPa]

φ_i je okamžitá hodnota logaritmické deformace [-].

Aby došlo k vyjádření celkové přetvárné práce, je nutné měrnou přetvárnou práci přenásobit objemem součásti “V” (prakticky objemem polotovaru bez přídavek), viz vzorec

$$A = A_j \cdot V. \quad (2.31)$$

V praxi je výpočet práce podle tohoto způsobu složitý, protože pro každý typ výtazku (různé geometrie, materiály,...) by bylo nutné znát jednotlivé křivky deformačních přetvárných odporů.

Ve druhém přístupu lze vycházet přímo z průběhu tažné síly v dané tažné operaci. Prakticky jde o známý vztah, kdy práce je rovna součinu síly a vzdálenosti (aktuální hloubce výtazku “h”), na které síla na daný materiál působila. Jak již bylo napsáno, tažná síla nabývá v průběhu tažení velmi rozdílných hodnot. Reálně práce odpovídá ploše pod křivkou průběhu síly. K tomu slouží numerická integrace

$$A = \sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i + F_{i+1}}{2} \cdot (h_{i+1} - h_i) \right). \quad (2.32)$$

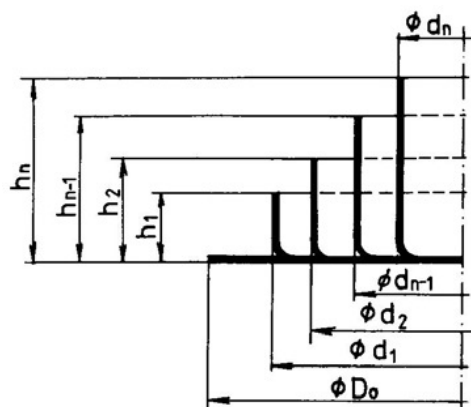
Kvůli usnadnění náročnosti výpočtu pomocí numerické integrace lze pro výpočet použít maximální hodnotu tažné síly a součinitele plnosti grafu “e”. Výpočet je daleko jednodušší a rychlejší, ovšem za cenu nepřesnosti určení skutečné hodnoty práce, viz vztah

$$A = \frac{F_t \cdot h}{1000} \cdot e. \quad (2.33)$$

Součinitel “e” podle praktických měření nabývá hodnot v rozsahu 0,6 až 0,8. Literatura [7] udává hodnoty pro běžné tažné operace 0,66, pro kalibraci 0,8.

2.5 Počet tažných operací, součinitel tažení [3], [4], [5], [6], [9], [10], [12]

V praxi je kvůli ekonomičnosti výroby třeba dosáhnout co nejmenšího počtu potřebných tažných operací. Na druhou stranu je ale třeba dbát na to, aby nedocházelo k poškození výtazků během výroby kvůli nepřiměřeně velkým deformacím v jednotlivých tazích. Nelze-li vytáhnout hotovou součást na jednu operaci (není-li dosaženo požadované redukce), je nutné následně redukovat aktuální průměr výtazku z prvního tahu ve druhém a případně v dalších tazích. Postupná výroba výtazku ve více tazích je znázorněna na obr. 21.



Obr. 21 Víceoperační tažení [12]

Počet tažných operací je závislý na tvaru a velikosti výtazku a na tloušťce a vlastnostech taženého materiálu. Jako při kterékoli jiné technologii tváření za studena, i zde dochází během operace k deformačnímu zpevnění. Mez kluzu však narůstá rychleji než mez pevnosti v tahu, čímž dochází ke zmenšování důležitého technologického faktoru, poměru meze kluzu ku mezi pevnosti v tahu Re/R_m . Dochází ke snižování plasticity daného materiálu. Z tohoto důvodu se ve druhém a dalších tazích snižuje vhodnost daného materiálu ke tváření za studena a maximální možná deformace se od druhého tahu podstatně snižuje.

Pokud je do technologického postupu výroby součásti zařazeno mezioperační žíhání, dojde k odstranění vzniklého deformačního zpevnění. Deformace lze volit opět maximální pro různé materiály a tloušťky plechů. Literatura uvádí, že je-li třeba výtazek zhotovit na více jak tři tažné operace, právě po 3. tahu je mezioperační rekrytalizační žíhání velmi doporučováno.

V mnoha literaturách a hlavně v praxi se při výpočtu tažných operací počítá se součinitelem tažení “m”. Tento faktor stanovuje nejmenší možný poměr průměru tažníku “d₁” ku průměru přístříhu “D₀” v první operaci tažení, resp. průměru tažníku v řešeném tahu “d₂” ku průměru tažníku z předchozí operace “d₁”. Součinitelem tažení je vyjádřena míra tvařitelnosti a pro jednotlivé kroky tažení je dán vztahy souhrnně označenými (2.34).

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0}; m_2 = \frac{d_2}{d_1}, \text{ atd.} \quad (2.34)$$

Celkový součinitel tažení je dosažen vzájemným vynásobením jednotlivých součinitelů tažení z dílčích operací technologického postupu. Rovněž jej lze získat podílem průměru tažníku v poslední operaci “ d_n ” ku průměru rondelu “ D_0 ”, jak je patrné ze vzorce

$$m = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n \text{ nebo } m = \frac{d_n}{D_0}. \quad (2.35)$$

Hodnota celkového součinitele tažení je ovlivňována celou řadou faktorů. Mezi nejvýznamnější patří druh a kvalita (homogenní materiál) plechu, tloušťka plechu “ s_0 ” a poměrná tloušťka s_0/D_0 . Dále jde o geometrii funkčních částí tažných nástrojů, mazání, rychlost beranu lisu či přidržovací sílu.

Důležitá je také znalost minimálních hodnot součinitelů tažení, kterých je možno dosáhnout při jednotlivých tazích. V jistých případech lze použít i nižší hodnoty součinitele tažení, ale podmínkou je zvětšení poloměrů tažníku “ r_{tu} ” a tažnice “ r_{te} ” a nutnost hlubokotažného materiálu.

V praxi se zpravidla počítá pouze s přibližnými hodnotami součinitelů tažení, protože není respektován požadavek na zohlednění faktorů ovlivňujících součinitel tažení uvedených v předchozím odstavci. Ke značnému zkreslení těchto hodnot dochází také v důsledku nerespektování geometrické podobnosti výtažků. Jedná se zejména o podobnost dle tvaru, tzn. výtažky s přírubou a bez příruby. Dále je to podobnost na tvaru dna a podobnost podle tloušťky vztažené na průměr rondelu S_0/D_0 .

Na obr. 22 je vidět závislost mezní hodnoty součinitele tažení v prvním tahu na taženém materiálu a na poměrné tloušťce D_0/s_0 . Určení součinitele tažení podle uvedeného diagramu je snadné a rychlé. Vychází se z geometrického (podíl D_0/s_0) i materiálového faktoru. Při porovnání např. oceli a hliníku je již zřejmá jistá odchylka ve velikosti součinitele tažení. To potvrzuje teoretický podklad o důležitosti zohlednění taženého materiálu pro výpočet součinitele tažení.

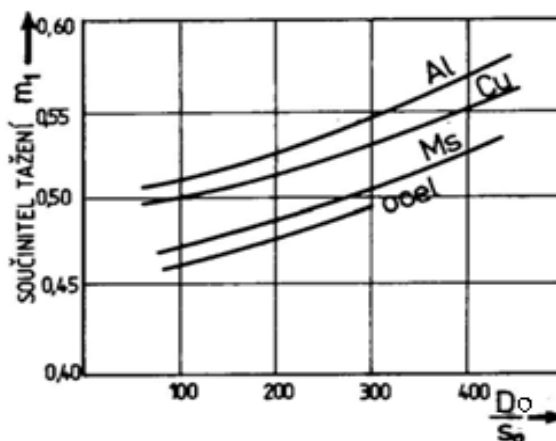
Reálně lze při zjišťování počtu tažných operací postupovat následovně. Po určení součinitele tažení pro 1. tah např. dle obr. 22 se vypočítá maximálně dosažitelný průměr tažníku (vnitřní průměr výtažku) v první operaci

$$d_1 = m_1 \cdot D_0. \quad (2.36)$$

Pokud je tento průměr větší než požadovaný vnitřní průměr hotového výtažku, je třeba táhnout na více operací. Obdobně lze vyjádřit vztah pro “ d_2 ”, přičemž součinitel tažení pro druhý a všechny další tahy se zpravidla uvažuje 0,75 a nazývá se střední součinitel tažení “ m ”. Z tohoto řešení vychází vztah pro výpočet potřebného počtu tažných operací “ n_o ”

$$n_o = 1 + \frac{\ln d_1 - \ln(m_1 \cdot D_0)}{\ln m}. \quad (2.37)$$

Vhodné je rovněž použití tabulky 4 podle literatury [10], kde je součinitel tažení vyjádřen v závislosti na poměrné tloušťce materiálu S_0/D_0 a poměrném průměru příruby d_p/d_s . Tím je zajištěna volba korektních součinitelů tažení pro geometricky podobná tělesa.



Obr. 22 Diagram pro určení mezní hodnoty součinitele tažení pro 1. tah [12]

Tab. 4 Hodnoty součinitelů tažení pro součásti s přírubou [10]

Hodnoty součinitelů tažení pro součásti s přírubou - 1. tah (m_1)						Součinitele tažení pro další tahy		
		Poměrný průměr příruby d_p/d_s				m_2	m_3	m_4
		do 1,1	1,1 - 1,3	1,3 - 1,5	1,5 - 1,8			
Poměrná tloušťka polotovaru $s_0/D_0 \cdot 100$	2 až 1,5	0,51	0,49	0,47	0,45	0,73	0,75	0,78
	1,5 až 1	0,53	0,51	0,49	0,46	0,75	0,78	0,80
	1 až 0,6	0,55	0,53	0,50	0,47	0,76	0,79	0,82
	0,6 až 0,3	0,57	0,54	0,51	0,48	0,78	0,80	0,83
	0,3 až 0,15	0,59	0,55	0,52	0,48	0,80	0,82	0,84

Podobný přístup pro rychlé zjištění počtu tažných operací vychází také z následující tabulky 5. Porovnávací hodnota, která rozhoduje o případné nutnosti více tažných operací, je tzv. největší poměrná hloubka tažení h/d_s . Pokud je uvedený poměr tažené součásti větší než je uvedený v tabulce, nelze výtažek zhotovit na jednu tažnou operaci.

Tab. 5 Poměrná hloubka prvního tažení h/d_s pro válcové výtažky s přírubou [10]

Hodnoty h/d_s		Poměrný průměr příruby d_p/d_s			
		do 1,1	1,1 - 1,3	1,3 - 1,5	1,5 - 1,8
Poměrná tloušťka polotovaru $s_0/D_0 \cdot 100$	2 až 1,5	0,90-0,75	0,80-0,65	0,70-0,58	0,58-0,48
	1,5 až 1	0,82-0,65	0,72-0,56	0,63-0,50	0,53-0,42
	1 až 0,6	0,70-0,57	0,60-0,50	0,53-0,45	0,44-0,37
	0,6 až 0,3	0,62-0,50	0,53-0,45	0,48-0,40	0,39-0,34
	0,3 až 0,15	0,52-0,45	0,47-0,40	0,43-0,35	0,35-0,29

Při detailnějším řešení velikosti součinitele tažení je vhodné spočítat jej dle více přístupů a na základě toho rozhodnout, jaký součinitel tažení bude reálně navrhnout pro konkrétní taženou součást. Z tohoto lze následně určit i rozměry tažidel pro jednotlivé tahy.

Míra deformace válcových součástí aktuální tažné operace lze určit i pomocí několika dalších podílů, viz následující vzorce souhrnně označené (2.38)

$$\varphi = \ln \frac{D_0}{d_1}; k = \frac{D_0}{d_1} = \frac{1}{m}, \quad (2.38)$$

kde φ je logaritmická deformace [-]

k je stupeň tažení [-].

Reálně nemá smysl počítat jak součinitel tažení, tak stupeň tažení, protože prakticky jde o tytéž hodnoty. U nás je častěji používán součinitel tažení, ale v západních státech (zejména v Německu) se lze setkat spíše se stupněm tažení. Navíc platnost těchto vzorců je správně definována jen při úplném přetažení příruby do pláště. Výhodnější je použít vyjádření přetvoření podle logaritmické deformace. Přehled mezních stupňů deformace, které lze použít v 1. operaci, je znázorněn v tabulce 6.

Nutnost více tažných operací lze určit také ze stupně deformace " ε_D ", který je určen poměrem přesunutého objemu materiálu " V_p " ku objemu deformovanému " V_d "

$$\varepsilon_D = \frac{V_p}{V_d} = \frac{s_0 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_0 - d_1)^2}{s_0 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d_1^2)} = \frac{D_0 - d_1}{D_0 + d_1}. \quad (2.39)$$

Tab. 6 Mezní stupně deformace při tažení v první operaci [5]

Ukazatel stupně deformace	Teoretický	Praktický
m	0,368	0,45-0,40
$\ln(D_0/d_1)$	1	0,80-0,90

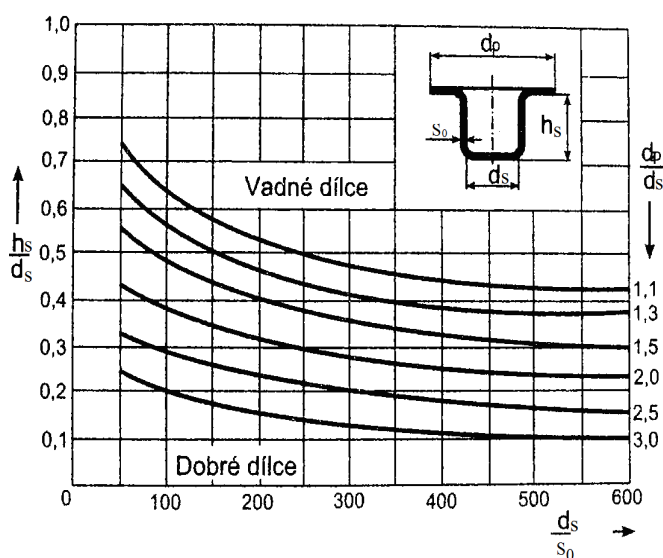
Jak je ze vzorce (2.39) patrné, se snižujícím se průměrem výtažku “ d_1 ” se zvětšuje stupeň deformace. Pokud je stupeň deformace příliš velký, lze při výrobě výtažku očekávat vznik vln a přeloženin. K tomuto často dochází při tažení hlubokých výtažků. Limitní hodnoty stupňů deformace pro tažení s přídržovačem nebo bez přídržovače a pro 1. a 2. tah jsou uvedeny v tabulce 7.

Tab. 7 Mezní hodnoty stupně deformace ε_D při tažení s přídržovačem nebo bez přídržovače [5]

Způsoby tažení	Hodnoty pro 1. tah		Hodnoty pro 2. tah	
	s_0/D_0	ε_D	s_0/D_0	ε_D
s přídržovačem	$< 0,015$	$\leq 0,6$	$< 0,01$	$\leq 0,8$
bez přídržovače	$> 0,02$	$> 0,6$	$> 0,05$	$> 0,8$

Rozhodujícími faktory, zda-li je třeba použít přídržovač či nikoli, je dle tabulky poměrná tloušťka materiálu s_0/D_0 a poměrná velikost přemístěného objemu V_p/V_d (o kritériích a nutnosti přídržovače viz dále, kap. 2.9.3). Z přístřihu o určitém průměru “ D_0 ” je během jedné operace možné zhotovit pouze výtažek o daném minimálním průměru a tomuto ze zákona zachování objemu odpovídající hloubce. Pokud nebudou tyto mezní hodnoty respektovány, lze očekávat porušení výtažku. V případě požadavku menšího průměru výtažku než je průměr vyplývající z tabulky je třeba zařadit druhou, případně další tažné operace (mezní hodnoty stupňů deformace pro druhý tah uvedeny rovněž v tabulce 7).

Velmi výhodné a rychlé je určení počtu tažných operací dle různých diagramů, jak je patrné z obr. 23. Jde o limitní diagram technologické tvařitelnosti (LDTT) pro výtažky s přírubou. Po spočítání poměrů dle obrázku a jejich následném vynesení do diagramu lze zjistit, zdali je možné daný výtažek zhotovit v jedné operaci. V opačném případě je třeba očekávat defekty při jistých hraničních situacích během jednooperačního tažení.



Obr. 23 LDTT pro součást s přírubou [6]

2.6 Tažná mezera [4], [7], [9], [10], [13]

Je třeba rozlišovat, zdali má při tažení docházet k výraznému (úmyslnému) ztenčení stěny výtažku, nebo je-li změna neznatelná (nechtěná). V prvním případě jde o tažení se ztenčením stěny, mezera mezi tažníkem a tažnicí má požadovanou velikost dle tloušťky stěny výtažku. Tloušťka dna nádoby přitom zůstává stejná jako výchozí tloušťka rondelu plechu.

Pro druhý případ, tažení bez ztenčení stěny, je nutné tuto mezeru správně navrhnout. Tloušťka plechu přitom nezůstává konstantní. Z tohoto je třeba vycházet při volbě tažné mezery, což je velikost mezery mezi tažníkem a tažnicí. Tažná mezera se vždy volí větší než je tloušťka plechu. Tím dojde ke snížení tažné síly “ F_t ”, ale také je to reakce na toleranci tloušťky plechu, aby nechtěně nedocházelo k tažení se ztenčením stěny. Velikost změny tloušťky plechu závisí na mnoha parametrech, především na taženém materiálu (na jeho druhu i stavu) a na tvaru a velikosti zaoblení nástroje. Dále potom na rychlosti tažení, přídržovacím tlaku a mazání. Protože řešený výtažek je zhotoven tažením bez ztenčení stěny, je nutné tažnou mezeru vhodně zvolit.

Dle normy ČSN je doporučená hodnota tažné mezery pro první tažnou operaci vypočítána

$$z = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot s_0 . \quad (2.40)$$

Při dalších tažných operacích je tažná mezera volena v rozsahu

$$z = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot s_0 . \quad (2.41)$$

Podle některých literatur lze tažnou mezeru zvolit i přímo z tabulky v závislosti na materiálu taženého plechu. Hodnoty pro ocelové plechy při tažení s přidržovačem jsou uvedeny v tabulce 8. Pokud tažení probíhá na více tažných operacích, je výhodné použít následující tabulku 9. Dle počtu potřebných tažných operací a tloušťky plechu lze z tabulky odečíst součinitel “n“, který se následně dosadí do vzorce pro tažnou mezeru

$$z = s_{0\max} + n \cdot s_0 , \quad (2.42)$$

kde $s_{0\max}$ je maximální tloušťka plechu dle tolerance [mm].

Tab. 8 Volba tažné mezery pro ocelové plechy [10]

Velikost mezery z [mm] pro tažení ocelových plechů	
pro první tah	$(1,3 - 1,5) \cdot s_0$
pro další tahy	$(1,2 - 1,3) \cdot s_0$
pro kalibraci	$1,1 \cdot s_0$

Tab. 9 Hodnoty součinitele “n” pro výpočet velikosti tažné vůle pro jednotlivé tahy [10]

Součinitel n		Tloušťka materiálu [mm]	
Počet tahů		0,5 - 2,0	2,0 - 4,0
1	1. operace	0,2	0,1
2	1. operace	0,3	0,25
	2. operace	0,1	0,1

Na určení potřebné velikosti tažné mezery má tedy vliv jak tažený materiál, tak počet tažných operací. Z tohoto důvodu je výhodné použít Oehlerův vztah, který zahrnuje oba vlivy. Dle Oehlera lze tažnou mezeru vypočítat dle vzorce

$$z = s_{0\max} + j \cdot \sqrt{10 \cdot s_0} , \quad (2.43)$$

kde j = součinitel zohledňující vliv taženého materiálu (0,07 pro ocel, pro neželezné kovy je tato hodnota ještě menší).

Volba tažné mezery má podstatný vliv na celý proces tažné operace. Pokud je příliš malá, dojde k výraznému nárůstu tažné síly a hrozí možnost utržení dna výtažku. Je-li naopak velká, ve stěně vznikajícího výtažku se začnou tvořit sekundární vlny.

2.7 Tažná rychlost [7], [9], [13]

Přestože tažná rychlost není tak důležitým technologickým parametrem jako například síla od přidržovače, jsou i zde jistá pravidla, která je třeba respektovat. Při běžném tažení je požadováno, aby tažná rychlost nepřesáhla určitou mez, která má pro každý materiál rozdílné hodnoty. Maximální tažné rychlosti pro určité materiály jsou uvedeny v tab. 10. Například mosaz lze táhnout téměř desetkrát rychleji než austenitickou korozivzdornou ocel, vliv materiálu na rychlost tažení je tedy markantní. U starších lisů nelze měnit tažnou rychlost dle potřeby, pro modernější stroje to již není problém (hydraulické lisy). Pokud rychlost tažení přesáhne tabulkové hodnoty, hrozí porušení výtažku.

Tab. 10 Tažná rychlost v závislosti na materiálu [9]

Tažený materiál	Tažná rychlost [m/min]
austenitická ocel	7
nelegovaná ocel	17
Al + Al slitiny	25
Cu + Cu slitiny	66

Této volbě maximálních rychlostí se vymyká tažení explozí pro těžkotvařitelné materiály, např. titanové slitiny. Dochází zde k několikanásobně vyšším tažným rychlostem než jsou uvedené v tabulce, přesto jsou výsledky velmi dobré.

2.8 Zásady návrhu výtažku [4], [9], [10]

Aby bylo možné vyrábět výtažky bez defektů, je třeba věnovat pozornost jistým zásadám prověřeným praxí. Požadovaná výška výtažku by měla být pokud možno co nejmenší. Navrhovat je třeba výtažky jednoduchého rotačního tvaru s rovným dnem kolmým na osu výtažku. V případě hranatých součástí je nutné dostatečné zaoblení přechodů dna v plášť a případně pláště v přírubu. Příruby navrhovat pouze v nezbytných případech. Pokud jsou nutné, je vhodné, aby byly co nejmenší. Široké a zejména tvarově složité příruby je lepší vyrábět samostatně a následně je k výtažku přivařit.

Nesymetrické a polootevřené výtažky navrhovat tak, aby šly vytáhnout jako dvojité, a potom je rozřezat. Podle možností požadavku vytažené součásti volit největší tolerance, zvláště na tloušťku stěny a příčné rozměry. V opačném případě je nutné výtažek v další operaci kalibrovat. Tažený materiál je nutné samozřejmě navrhovat podle funkce výtažku, ale velmi důležité jsou jeho tažné vlastnosti. Vhodné tažné materiály jsou například nízkouhliková ocel (např. 11 301, 11 311, 11 331), měď, mosaz, hliník či tombak.

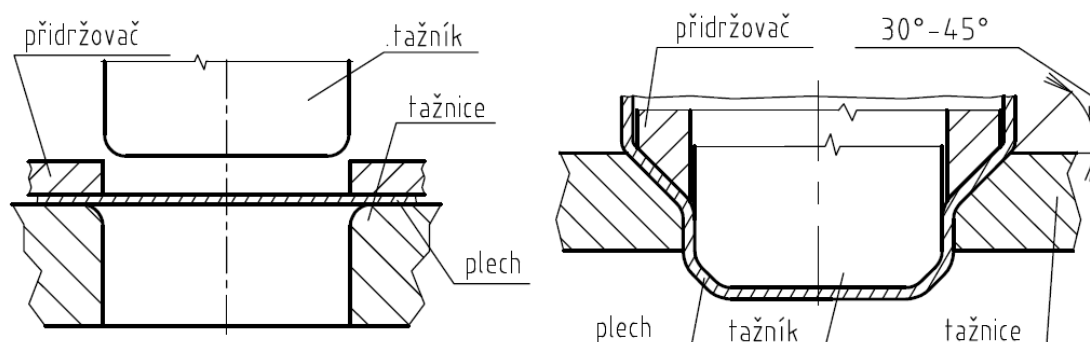
Řešená součást je tažena z austenitické Cr-Ni korozivzdorné oceli. Její vhodnost pro hlubokotažné operace bude ověřena mechanickými a technologickými zkouškami, viz kapitola 3.1.

2.9 Tažné nástroje [3], [4], [7], [9], [10]

Výroba tažného nástroje není z ekonomického hlediska extrémně náročná, ovšem pouze za předpokladu, že nástroj je navržen a vyroben správně dle požadavků. Často i zdánlivě nevýznamná odchylka při výrobě nástroje může negativně ovlivnit počet nutných tažných operací, zvýšit zmetkovitost nebo dokonce zcela znemožnit úspěšnou výrobu výtažku.

Dříve se při navrhování nástrojů muselo spoléhat pouze na jisté poznatky z literatury a zkušenosti konstruktéra nástrojů, dnes již ale není problém ještě před samotnou výrobou nástrojů tažný proces odsimulovat v nějakém z mnoha softwarů. Při simulaci plošného tváření se dosahuje shody výsledku simulačního software s reálným tažným procesem až v 99,5 %. Někdy však může být problém zahrnout do simulace všechny okolní vlivy působící na proces (mazání, ohřev plechu při přetvoření, proměnná tažná i přidržovací rychlost,...). To je nutné, aby došlo ke shodným podmínkám simulace a reálného procesu a korektním výstupům.

Tažidla se rozdělují na nástroje pro první tah a další tahy. Zásadní rozdíl je v konstrukci přidržovače, tomu odpovídá úprava tažnice. Uvedené rozdíly jsou patrné z následujícího obrázku 24, vlevo je tažidlo pro první tah, vpravo pro další tahy se zkosenými funkčními částmi tažného nástroje.



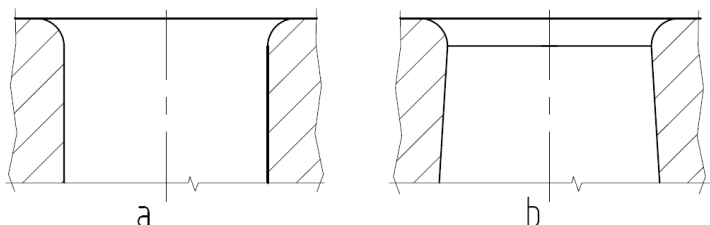
Obr. 24 Tažné nástroje pro první a další tahy [10]

Pokud se v druhé a dalších operacích táhne válcový výtažek středních a velkých rozměrů (nad průměr výtažku 60 mm), doporučuje se zkosení všech funkčních částí nástroje. Zaoblené hrany tažníku i tažnice jsou používány pro výtažky malých rozměrů. Je-li na výtažku navrhována příruba, je nutné ho táhnout nástroji jako do průměru 60 mm.

Volba tažnice a jejího poloměru zaoblení “ r_{te} “, tažníku (“ r_{tu} “), velikosti tažné mezery “ z “, přidržovací síly “ F_p “ a tažné rychlosti “ v_t “ má značný vliv na celkový úspěch při tažných procesech. V určitých případech je vhodné i použití brzdících lišt.

2.9.1 Tažnice [4], [7], [10], [12]

Tažnice pro výrobu rotačních výtažků bývají zpravidla celistvé, rotačního prstencového tvaru. Funkční otvor, do něhož je plech během operace vtahován, může mít různé tvary. Záleží na tvaru výtažku a způsobu vyjímání hotových výtažků z tažnice. Pro jednoduchý rotační výtažek jsou základní tvary tažnice znázorněny na obr. 25. Na obrázku 25a) hotový výtažek propadá pod nástroj, ad 25b) se vrací nad tažnici.



Obr. 25 Funkční otvory tažnice [7]

Zaoblení hrany tažnice, přes kterou je tvářený materiál přetahován, se nazývá tažné zaoblení, resp. tažný poloměr. Na velikosti zaoblení tažné hrany závisí mnoho faktorů, které podstatným způsobem ovlivňují tažný proces. Jde zejména o napětí v taženém materiálu a tudíž tažnou sílu, dále o velikost maximálně přípustného součinitele tažení a také o vznik přeloženin a vln.

Je-li tažný poloměr malý, může při tažení dojít k porušení soudržnosti taženého materiálu. V opačném případě dojde k usnadnění tažné operace, lze volit větší hloubku výtažku i výhodnější součinitel tažení na jednu operaci. Dojde ke zmenšení tažné síly a menšímu ztenčení v zaoblení u dna výtažku. Oproti této výhodě je však třeba vzít v úvahu zmenšení styčné plochy plechu s přidržovačem, čímž může dojít k porušení podmínky stability a mohou vznikat defekty v podobě zvlnění v důsledku malé přidržovací síly.

Pokud má tažená součást přírubu, ke tvorbě zvlnění ke konci tažení zde zpravidla nedochází, protože příruba je až do konce tažného procesu pod přidržovačem. Z tohoto důvodu lze volit větší poloměry zaoblení než v případě výtažků bez příruby. To by hodnoty zaoblení musely být přibližně poloviční. Také záleží na poměrné tloušťce plechu. Čím je tento poměr menší, tím větší je třeba volit poloměr tažné hrany. Uvedené faktory jsou patrné z tabulky 11.

Tab. 11 Poloměry zaoblení tažné hrany tažnice pro výtažky s přírubou [10]

Poloměr zaoblení r_{te} [mm], výtažek s přírubou	Poměrná tloušťka plechu $s_0/D_0 \cdot 100$		
	2,0 - 1,0	1,0 - 0,3	0,3 - 0,1
	$(10 - 15) \cdot s_0$	$(15 - 20) \cdot s_0$	$(20 - 30) \cdot s_0$

Pro správné stanovení zaoblení tažnice se podle normy ČSN používá vzorec

$$r_{te} = (6 \text{ až } 10) \cdot s_0. \quad (2.44)$$

V některých literaturách je uváděn i rozsah $(4 \text{ až } 10) \cdot s_0$. Nižší hodnoty se volí v případě malé deformace a zejména v případech, kde je požadován okraj výtažku zcela bez vln a nebude se upravovat dodatečným ostřížením. Větší hodnoty zaoblení se volí pro větší deformace, aby se minimalizovalo namáhání taženého materiálu. Dochází však k větší cípatosti na okraji výtažku, proto je zpravidla nutné tyto okraje dodatečně odstříhnout. Toto však nejsou jediná kritéria pro určení velikosti tažného poloměru, značně také záleží na materiálu výtažku. Výpočet podle vzorce (2.45) dle literatury platí zejména pro tažné materiály z oceli a mosazi.

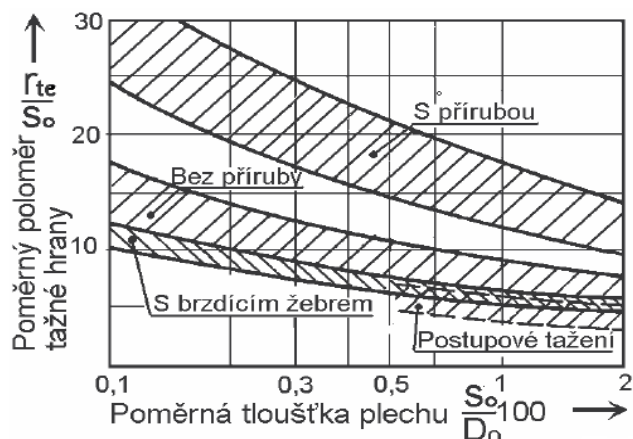
$$r_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d_s) \cdot s_0}. \quad (2.45)$$

Pokud jsou taženy hliníkové slitiny, nebo jiné lehké slitiny, vypočtenou hodnotu zaoblení je třeba zpravidla ještě zvýšit asi o 10 %.

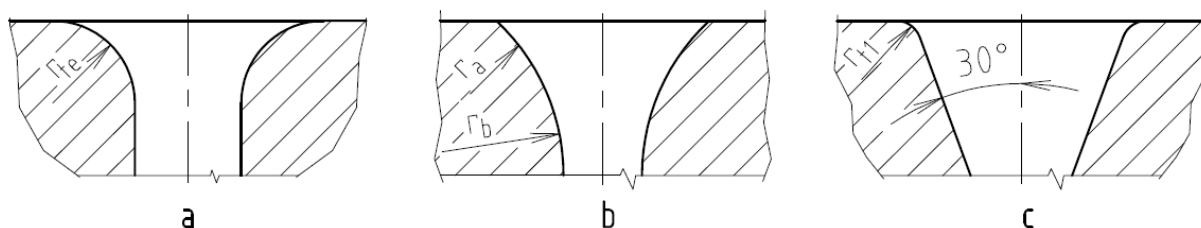
Další možnost jak získat správné toto zaoblení je vyhledat ho v diagramu na obrázku 26. Vychází se z geometrie a typu výtažku. Pro určitý poměr $s_0/D_0 \cdot 100$ a v řešeném případě výtažku s přírubou se dostane rozsah hodnot r_{te}/s_0 . Z něho lze potom vypočítat hledaný poloměr zaoblení tažné hrany tažnice.

Pokud dochází k tažení zejména tlustých plechů, není zpravidla zapotřebí použití přidržovače. Na místo toho je ovšem nutná úprava funkční plochy tažnice. Možné úpravy jsou patrné z obr. 27. Jejich důvodem je požadavek dosažení větší hodnoty deformace, z čehož vyplývá snížení hodnot součinitele tažení při zajištění stability tažení.

V případě úpravy funkční části tažnice na profil tratrix křivky (obr. 27b) je možné dosáhnout součinitele tažení "m" až 0,35. Další možnosti úpravy tažnice jsou patrné z téhož obrázku, ad 27a) je znázorněna tažnice s velmi velkým poloměrem zaoblení "r_{te}", ad 27c) jde o kuželovou plochu.



Obr. 26 Diagram pro určení zaoblení tažné hrany tažnice [12]



Obr. 27 Možné úpravy tažnice [4]

Hodnoty v tabulce 11 jsou platné pro běžně dosažitelné součinitele tažení pro jednotlivé tahy. Jde-li o mělké výtažky nebo dochází-li k malým deformacím (velká hodnota součinitele tažení), je třeba navrhovat menší zaoblení tažnice. Pokud jsou bez potřeby přidržovače taženy velmi mělké, ale rozměrné výtažky, volí se zaoblení tažné hrany zpravidla v rozsahu

$$(2 \text{ až } 4) \cdot s_0.$$

Pro mělké a malé výtažky se doporučuje používat tažnice s kuželovým nebo i evolventním profilem, jejich výroba je však ekonomicky náročná. Pokud je výtažek zhotoven na více operací, zpravidla se zaoblení tažné hrany neustále zmenšuje, jak je patrné ze vzorce

$$r_{ten} = (0,6 \text{ až } 0,8) \cdot r_{ten-1}, \quad (2.46)$$

kde r_{ten} je zaoblení tažné hrany pro aktuální tažnou operaci [mm]

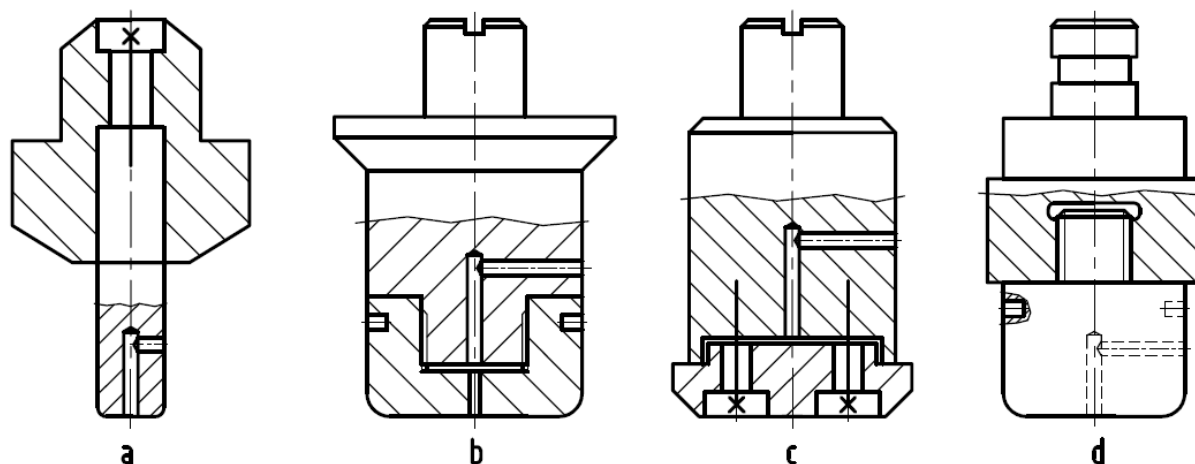
r_{ten-1} je zaoblení tažné hrany pro předchozí tažnou operaci [mm].

2.9.2 Tažník [3], [4], [5], [7]

Tažník je část tažného nástroje, která tvarově odpovídá vnitřku výtažku. Pro jednoduché rotační výtažky je tedy průměr tažníku shodný jako vnitřní průměr výtažku. Tažník se skládá ze tří funkčních částí. Jde o čelo tažníku, poloměr zaoblení a válcovou část. Tažník je zpravidla připevněn k držáku tažníku. Držák bývá z běžné konstrukční oceli. Funkční části tažníku mohou být z šedé litiny, ale zejména z nástrojové oceli (19 191.3, 19 436.3), dochází ke kalení a popuštění na 60 až 62 HRC.

Jednotlivé způsoby spojování tažníku s držákem jsou patrné z následujícího obr. 28. Při průměru tažníku do 30 mm dochází přímo k přišroubování tažníku ke stopce pomocí

šroubu, jehož hlava je opřena o tvarovou dutinu ve stopce, viz situace 28a). Je-li průměr menší než 80 mm, dojde k našroubování tažníku do držáku, 28b). K přišroubování pomocí několika šroubů dochází při velikosti tažníku nad 100 mm, 28c). V případě většího tažníku je možné ho přímo našroubovat do držáku, 28d), případně přilepit či připájet.



Obr. 28 Jednotlivé konstrukce tažníků [3]

Během tažné operace dochází k namáhání tažníku na vzpěr. Na obvod válcové části působí radiální síly. Pro všechny tažníky je na čele nutné vyvrtat odvětrávací otvor kvůli snadnějšímu vyjímání výtažků. Tažníky, které se k držáku šroubují, mají ve válcové části vyfrézované otvory pro klíč.

Poloměr zaoblení funkční hrany tažníku " r_{tu} " nemá tak podstatný vliv na tažnou operaci jako poloměr zaoblení tažnice. Při první operaci víceoperačního tažení je shodný se zaoblením tažnice " r_{te} ". Některé literatury uvádí tuto shodu také pro předposlední tažnou operaci. Pro ostatní tažné operace, tzn. mezi prvním a posledním (předposledním) tahem lze uplatnit dvě řešení. Buď je poloměr zaoblení tažníku roven polovině rozdílu průměrů výtažků v aktuální a předchozí operaci, nebo lze zkosit jeho hrany. To je patrné z obr. 24.

V poslední tažné operaci je nutné zvolit poloměr zaoblení tažníku stejný jako je poloměr u dna na reálné součásti. V praxi se často vyskytují požadavky na výrobu výtažků s menším poloměrem u dna výtažku než udává tab. 12. V tomto případě je nutné do technologického postupu výroby daného výtažku zařadit navíc ještě kalibrační operaci. V tomto kroku již nedochází ke změně průměru výtažku, mění se (redukuje) pouze poloměr u dna výtažku.

Tab. 12 Minimální hodnoty poloměrů zaoblení tažníku [4]

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

2.9.3 Přidržovač, přidržovací síla [4], [5], [7], [9], [10], [13], [17]

Přidržovač je součástí tažného nástroje tehdy, hrozí-li během tažení vznik zvlnění. O nutnosti použití přidržovače lze rozhodnout na základě mnoha vzorců a podmínek podle jednotlivých autorů. V případě tažení tenkého plechu je vznik zvlnění pravděpodobnější. Rozdíl ve zvlnění plechu při tažení s a bez přidržovače je patrný z obr. 29.

Jde-li o tažení mělkých výtažků z poměrně tlustého plechu, zpravidla užití přidržovače není ani požadováno. Tažné nástroje bez přidržovače mají jednoduchou konstrukci, z tohoto důvod jsou poměrně levné a provozně spolehlivé. Na druhou stranu je však třeba počítat pouze s malou deformací při tažení, jinak dojde ke zmíněnému zvlnění okrajů taženého přístřihu. Vznik uvedeného defektu závisí na tloušťce taženého materiálu " s_0 ", tažné mezeře " z " a zaoblení tažných hran " r_{te} " a " r_{tu} ".

Čím větší je tloušťka plechu (a menší velikost rondelu), tím větší lze volit deformaci pro tažení bez použití přidržovače, aniž by hrozilo zmíněné zvlnění plechu na okrajích.

Podstatně větších deformací lze docílit při použití přidržovače. Přidržovač má prstencový tvar (plocha přidržovače se počítá jako plocha mezikruží), zpravidla je vyroben z nástrojové oceli a je zakalený. Výpočet přidržovací síly “ F_p ” je závislý na použitém tažném materiálu, jeho tloušťce a také na deformaci. Volba velikosti přidržovací síly má značný vliv na celkový úspěch tažné operace, proto je třeba všechna tato hlediska brát v úvahu, důležitá je také praxe a zkušenost technologa.

$$F_p = S_p \cdot p_p, \quad (2.47)$$

kde S_p je styková plocha přidržovače a přístřihu $[\text{mm}^2]$

p_p je specifický tlak přidržovače (měrný přidržovací tlak) $[\text{MPa}]$.

Vhodný přidržovací tlak lze podle tloušťky plechu a taženého materiálu zvolit dle tab. 13, která je výňatkem z tabulky uvedené v literatuře [10].

Tab. 13 Tlak přidržovače v závislosti na druhu a tloušťce taženého materiálu [10]

Tlak přidržovače [MPa]		Tloušťka taženého plechu [mm]							
		0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	...	8,0
Ocelový plech	tvrdý	2,8	2,8	2,7	2,7	2,6	2,5	...	2,0
	hlubokotažný	2 - 2,4	1,9 - 2,3	1,8 - 2,3	1,8 - 2,2	1,8 - 2,1	1,8 - 2,1	...	1,6

Pro hlubokotažný plech se volí nižší hodnoty než v případě tvrdého plechu. V případě tažení hliníkových nebo mosazných plechů by byly přidržovací tlaky v porovnání s ocelí nižší. Při použití korozivzdorných ocelí, což je případ řešeného výtažku, může potřebná hodnota přidržovacího tlaku dosáhnout podle literatury až 5 MPa.

S přibývajícím tloušťkou plechu potřebný přidržovací tlak klesá. Čím je výtažek v průběhu operace hlubší, tím se zároveň zmenšuje styková plocha mezi přístřihem a přidržovačem. Pokud je uvažován konstantní tlak v celém průběhu tažení, s přibývajícím vytaženou hloubkou výtažku se teoreticky zároveň zmenšuje přidržovací síla.

Zda-li je třeba využít pro danou tažnou operaci přidržovač je patrné z následujících empirických vztahů, jejichž důvěryhodnost je ověřena praxí, např.

- Freidling vychází z poměrné tloušťky $\Delta s = \frac{s_0}{D_0} \cdot 100$. (2.48)

Je-li $\Delta s < 1,5$, je nezbytné použití přidržovače, naopak při hodnotě $\Delta s > 2$ lze danou součást vytáhnout bez nutnosti přidržovače.

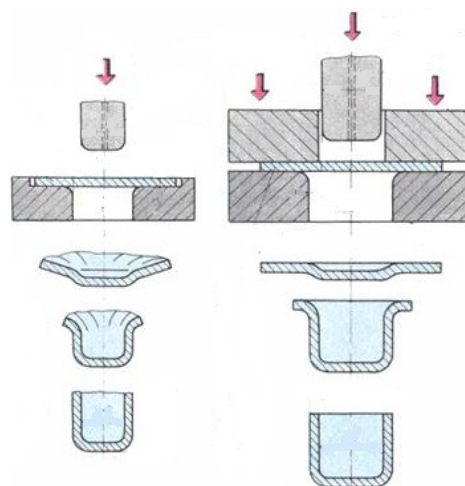
Nastane-li situace, kdy se Δs nachází mezi těmito hodnotami, nelze na základě číselné hodnoty rozhodnout o použití, je třeba to vyzkoušet až v praxi.

- Šofmanův přístup je založen na vztahu $D_0 - d_s \leq 18 \cdot s_0$. (2.49)

Platí-li tato podmínka, není použití přidržovače vyžadováno.

- norma ČSN 22 7301 zahrnuje rovnici $\alpha = 50 \cdot \left(g - \frac{\sqrt{s_0}}{3\sqrt{D_0}} \right)$, (2.50)

kde g je materiálová konstanta, pro ocel platí $g = 1,9$.



Obr. 29 Tažení s přidržovačem a bez přidržovače [17]

Je-li $\alpha \geq 100 \cdot d_s/Do$, je třeba využít při tažení přidržovač. Pro další tažné operace je využití přidržovače požadováno pouze tehdy, platí-li rovnice $d_n/d_{n-1} < 0,9$.

Vychází-li naopak $\alpha < 100 \cdot d_s/Do$, lze výtažek zhotovit bez použití přidržovače (jedná se o tzv. mělké tažení).

Pokud je tloušťka rondelu menší jak 0,5 mm, táhne se s přidržovačem vždy, při jakémkoli tvaru hotového výtažku.

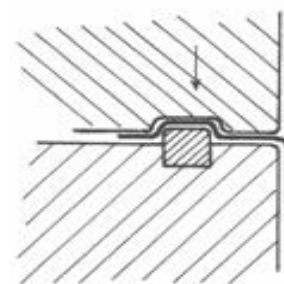
V praxi je důležité, aby se dařilo vyrobit co nejvíce výtažků bez defektů (zvlnění či trhliny na výtažku), s čímž souvisí správná volba velikosti přidržovacího tlaku. Při použití hydraulických dvojčinných lisů s přidržovačem lze efektivně nastavit ideální přítlak mezi plechem a přidržovačem. Je-li tato síla přidržovače nedostatečná (tzn. malý přidržovací tlak " p_p "), dochází ke zvlnění výtažku. Pokud naopak přidržovací tlak " p_p " dosahuje větších hodnot než je uvedeno v tab. 11, dochází k nadměrnému zeslabování tloušťky plechu. Zejména v kritickém místě na přechodu výtažku z pláště do zaoblení u dna vznikají trhliny, případně nastane utržení celého dna výtažku.

2.9.4 Brzdící lišty [7], [9], [13], [17]

V určitých procesech výroby pomocí tažení je nutné přidržovat rondel velmi pevně, aby se docílilo tažení, případně i částečné zeslabení tloušťky taženého plechu. Uvedeného lze docílit použitím brzdících lišt v přidržovači a tažnici. Toto je vhodné zejména pro výrobu mělkých výtažků s vypouklým dnem, nebo výtažky složitějších geometrií, např. nerotačních tvarů. Brzdícími lištami pro výše zmíněné typy výtažků lze zabránit zvlnění plechu, aniž by bylo třeba vyvozovat přehnaně velkou přidržovací sílu. Naopak jejich použití při tažení hlubokých výtažků je nežádoucí, protože mohou způsobovat trhání materiálu.

Jde-li o rotační výtažky, jsou lišty zpravidla po celém obvodu. Mohou být vyrobeny přímo na přidržovači a tažnici (v jedné části nástroje je vyrobena lišta, v druhé je negativ lišty). Pro větší a nerotační výtažky se zpravidla usazují již dříve vyrobené brzdící lišty, a to jen k zaobleným částem výtažku. Většinou se vsadí do přidržovače a v tažnici je vyroben negativ tvaru brzdící lišty. Protože jsou vystavovány velkému otěru, je výhodné je vyrobit z nástrojové oceli a následně je zakalit.

Zpravidla postačí tažidlo osadit pouze jednou brzdící lištou, jak je znázorněno na obr. 30. V případě velmi složitých výtažků je nutné použít i dvě, případně tři lišty za sebou. Výška lišt však nesmí být příliš velká, aby nedocházelo k nadměrnému zpevňování materiálu. Navíc při použití velmi vysokých lišt může docházet ke zvlnění materiálu již od samotné lišty při vtláčování do plochého přístřihu, toto zvlnění nelze dále odstranit. Z tohoto důvodu je výhodnější v případě potřeby využít raději více nižších lišt než jedno vysokou. Při tažení plechu s jejich pomocí dochází ke značnému zpevňování materiálu. Zpravidla je vhodné ukončit tažnou operaci ještě než tažený materiál opustí brzdící lišty, z tohoto důvodu je třeba volit větší přídavek na ostřížení.



Obr. 30 Brzdící lišta [17]

Řešený výtažek je jednoduchého rotačního tvaru, navíc je poměrně hluboký. Z těchto důvodů nebudou brzdící lišty v tažném nástroji navrženy.

2.9.5 Požadavky na nástroje a nástrojové oceli [7], [9], [11]

Aby při technologii hlubokého tažení docházelo k výrobě přesných výtažků s čistým povrchem, je nutné správně navrhnout materiály, ze kterých budou tažné nástroje vyráběny. Vhodné tyto nástrojové oceli jsou v literatuře označeny NCS 2. NCS znamená oceli na nástroje pro tváření za studena, hodnota 2 symbolizuje právě tažení.

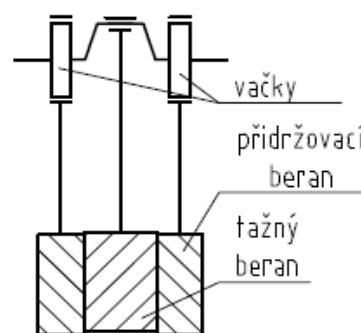
Pro tyto technologie je od materiálu nástrojů vyžadována především vysoká odolnost proti abrazivnímu i adhezivnímu opotřebení z důvodu vzájemného pohybu plechu a nástroje. Pokud to chemické složení dovoluje, lze tuto vlastnost zvýšit pomocí nitridace, tj. sycení povrchu součásti dusíkem. Chemickou reakcí vzniká tenká vrstva nitridu, která je velmi tvrdá, kdežto vnitřek zůstává v neovlivněném stavu dosaženém po původním tepelném zpracování. U tažných nástrojů je také důležitá pevnost v tlaku.

Životnost nástrojů je také značně závislá na rychlosti tažení, s čímž úzce souvisí teplota povrchu nástroje. Při vysokých tažných rychlostech může docházet k zahřátí povrchu až na 300 °C. Pro tyto případy se doporučuje volit vysokolegované chromové ledeburitické oceli. Mají-li nástroje tloušťku stěny menší než 20 mm a nejsou-li vystavovány vysokým tažným rychlostem, lze je vyrábět z nelegovaných nástrojových ocelí. V případě větší tloušťky se využívají nízkolegované nástrojové oceli, které se vyznačují větší pokalitelností.

2.10 Stroje pro tažení [5], [8], [9]

Tvářecí stroje pro tažné operace se nazývají tažné lisy. Podle poháněcího mechanismu jsou mechanické nebo hydraulické. Podle konstrukce lze rozeznávat jednočinné, dvojčinné, trojčinné a postupové lisy.

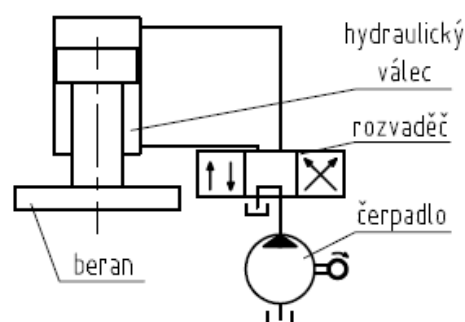
Mechanické tažné lisy se používají pro tažení mělkých i hlubokých výtažků z tenkého plechu. Jednočinné mechanické tažné lisy se v porovnání s běžnými výstředníkovými a klikovými vyznačují podobnou konstrukcí. Mají však větší zdvihy při stejném tlaku, větší setrvačnický a silnější motor. Slouží pro tažení malých a středně velkých výtažků, jsou-li tyto výtažky mělké, tak i bez přidržovače. V opačném případě lze použít jednoduchých pružinových nebo mechanických přidržovačů. Toto se využívá zejména v malosériové výrobě. V jistých těchto případech lze dosáhnout i stejných výsledků tažení jako při použití dvojčinného lisu. Z důvodu složitosti a časově náročného zakládání a středění rondelů v tažnici se hodí pouze pro výše zmíněnou malosériovou výrobu.



Obr. 31 Schéma dvojčinného lisu [8]

Dvojčinné lisy mají dva berany, viz schéma na obr. 31. Vnitřní beran zhotovuje výtažek, vnější přidržuje okraj rondelu, aby nedocházelo ke zvlnění. V okamžiku dosednutí tažného beranu na materiál dojde k zastavení pohybu přidržovacího beranu. Toho je výhodné dosáhnout pomocí vhodně tvarovaných váček, nevýhodou je jejich značné opotřebení.

Trojčinné mechanické lisy jsou používány zejména pro velmi složité výtažky. Jejich hlavní uplatnění je v automobilovém průmyslu (tažení střech osobních automobilů). Jsou to vlastně dvojčinné lisy doplněné o třetí beran, který působí proti běžným beranům. Tímto lze složité výtažky zhotovovat na méně tažných operací. Pohyb všech beranů je nutné synchronizovat.



Obr. 32 Schéma pohonu pro hydraulický lis [8]

Hydraulické tažné lisy jsou pro tažení plechu nejlepší, jejich využití se nachází zejména ve velkých lisovnách. Energie potřebná pro tvářecí operaci se získává přeměnou z tlakové energie kapaliny, schéma hydraulického pohonu je znázorněno na obr. 32. Tažnice je zpravidla umístěna na beranu, přidržovač působí zespodu proti tažnici. Tažník je pevně upnutý. To je i případ výroby řešeného výtažku. V porovnání s mechanickými lisy mají hydraulické mnoho výhod. Lze je zkonstruovat až na síly řádově 10^3 MN, maximální sílu lze odebrat v kterémkoli místě zdvihu. Plynule lze řídit velikost rychlosti beranu a tažné

i přidržovací síly, nebo tlak beranu či rychlost držet v konstantních hodnotách. Na druhou stranu jsou zde větší pořizovací náklady a horší účinnost.

2.11 Maziva pro tažné operace [4], [9], [10], [17], [18]

Mazivo hraje důležitou roli jak pro správné zhotovení součástí, tak pro ochranu samotného tažného nástroje. Musí na materiál lehce přilnout a vytvořit rovnoměrnou vrstvu, která bude pevná a vyhoví tlakům při tažení. Dále je požadováno, aby použitím daného maziva nedošlo k mechanickému nebo chemickému poškození povrchu nástroje nebo výtažku. Po operaci je důležité snadné odstranění maziva z povrchu výtažku.

Při použití správného maziva dojde ke značnému snížení tření, a tedy i tažné síly, a ke zlepšení kvality povrchu výtažků. Rovněž se takto velmi výrazně zvyšuje trvanlivost tažných nástrojů. Nedostatečně nebo nevhodně mazaný povrch může vykazovat škrábance, rýhy či další nežádoucí jevy. V krajním případě lze očekávat i vznik mikrosvarů mezi taženým materiálem a nástrojem.

Zpravidla se však nemaže celá plocha přístřihu. Ve styku taženého materiálu s tažníkem je výhodné mít tření co nejvyšší, aby v počáteční fázi tažení nemohlo dojít k nežádoucímu skluzu materiálu podél tažníku. Tím by docházelo k nežádoucímu ztenčování materiálu. Naopak při styku plechu s tažnicí je nutné mít tření co nejmenší. Rondel by tedy neměl být mazán ponorem, nýbrž je mazivo vhodné nanést pouze z jedné strany, a to ve styku rondelu s tažnicí.

Zhotovují-li se výtažky z tenkého plechu, resp. platí-li nerovnost uvedená vztahem

$$\frac{s_0}{D_0} \cdot 100 < 0,3, \quad (2.51)$$

pro první tah se doporučuje tažený materiál nemazat vůbec. Docházelo by tak ke zmenšení hodnoty povrchového tření mezi aktuální přírubou výtažku a nástrojem, u tenkých plechů hrozí vznik zvlnění. Zpravidla se tak mažou pouze hrany tažnice, aby nedocházelo k jejich opotřebením. Pro další tahy je vhodné mazivo nanést pouze na vnější povrch pláště (a případně příruby) nebo na pracovní prostor tažnice.

Důležitost mazání je patrná také z faktu, že tažné nástroje jsou většinou vyřazeny z provozu z důvodu tvorby záďer, škrábanců nebo jiných povrchových poškození na výtažcích. Vliv plošného opotřebením nástrojů, kvůli kterému by výtažky nesplňovaly tolerance rozměrů, zde není tak markantní.

Přesné složení maziv je velmi různorodé, záleží na výrobcích, kteří přesné složení maziva zpravidla tají. Většinou jde o maziva na bázi živočišných či rostlinných tuků, nebo produkty na vodní nebo ropné bázi.

V zásadě se maziva dělí na s plnidly (s aditivy) a bez plnidel. Čistá kapalná maziva se používají do tlaků maximálně 600 MPa. V opačném případě se do čistého maziva přidá jemně rozptýlená tuhá složka, plnidlo. Docílí se tak dokonalého přilnutí maziva s povrchem taženého plechu, navíc toto mazivo není tolik náchylné na teplo vznikající třením při procesu. Jako plnidla jsou užívány např. křída, mastek nebo tuha. Při spojení siřníku molybdeničitého MoS₂ a grafitu vznikají maziva známá pod názvem Molyka.

Dle literatury při použití maziv s plnidly lze dosáhnout 2 až 5 krát větší trvanlivosti nástrojů než v případě maziv bez plnidel. Také lze rozeznávat maziva ekologicky nezávadné, které však při velkých silách a tlacích zpravidla nedokáží obstát v tažném procesu. V těchto případech lze výhodně užít maziva obsahující chlor, zde je ale následně problém s ekologickou likvidací.

V praxi je nejlepší způsob výběru maziva na základě samotného ověření chování maziva při určitém tlaku a teplotě pro dané tažné operace.

3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Řešená součást slouží jako kanalizační vpust' pro různé odlučovací systémy. Po jejím zhotovení dochází k prostřížení otvoru pro odvod kapalin. Tento otvor se nachází buď ve dně nebo ve spodní části pláště vpusti, podle požadavku na směr odvodu kapalného média. Po prostřížení dochází k vyhrdlení otvoru, poté je výtažek zbaven zbylého maziva v myčce. Následně dochází ke kompletaci vpusti (přivařování) s ostatními díly odlučovacího systému. Po moření jde kompletní sestava vpusti na export, jak je znázorněno na obr. 33.



Obr. 33 Možné způsoby kompletace vpusti

V současné době je řešená vpust' vyráběna hlubokým tažením bez ztenčení stěny na dvě operace. Úkolem této práce bude zjistit, zdali by šel daný výtažek kompletně zhotovit pouze v jedné operaci. K tomuto rozhodnutí poslouží i vyhodnocení dat ze současné dvouoperační výroby výtažku. Jde o zhodnocení současného taženého materiálu, proměření tloušťek plechu pro jednotlivá místa výtažku v obou tazích, dále o vyhodnocení dat z lisu a počítačovou simulaci stávající první tažné operace.

3.1 Zhodnocení taženého materiálu

Daná součást je vyráběna z korozi-vzdorné Cr – Ni austenitické oceli 1.4301 (ČSN 17 240, AISI 304). Tento materiál je zvolen z důvodu požadavku dlouhodobého uchování vlastností v silně korozním prostředí, kterému je daná vpust' vystavena. Také je velmi výhodná z důvodu nízkého obsahu uhlíku kvůli nezbytnému svařování s dalšími komponentami pro odvodnění. Vhodnost daného materiálu pro tváření lze posoudit podle mnoha faktorů a zkoušek. Rovněž i zde je nutný nízký obsah uhlíku, nevýhodné pro tažení je vysoký obsah legur, který je u dané oceli v případě chromu a niklu vysoký.

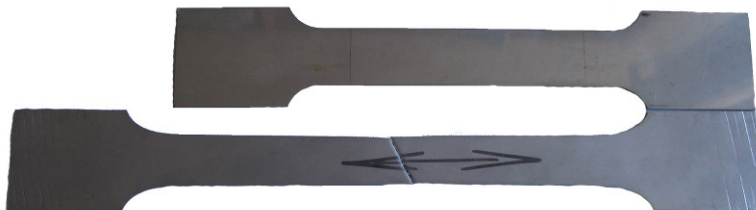
Aby došlo ke skutečnému posouzení vhodnosti daného materiálu pro hlubokotažné operace, provádí se mechanické a technologické zkoušky. Z nich lze získat technologické parametry, jako mez pevnosti “Rm“, mez kluzu “Re“ (“Rp_{0,2}“), poměr meze kluzu ku mezi pevnosti Re/Rm, tažnost (prodloužení) např. “A₈₀“, kontrakci (zúžení) “Z“, tvrdost “HV“, hloubka vtisku z Erichsenovy zkoušky “IE“, aj. Pro daný materiál byla provedena tahová zkouška a Erichsenova zkouška hlubokotažnosti.

3.1.1 Tahová zkouška [28]

Tahová zkouška patří mezi velmi často používané technologické zkoušky, protože z ní lze poměrně snadno zjistit mez kluzu, mez pevnosti (a tudíž jejich poměr), tažnost a kontrakci. Princip zkoušky spočívá v natahování zkušebního tělíska, jehož tvar i rozměry jsou dány normou, obvykle až do úplného porušení materiálu. Výchozí a přetržená tyč jsou znázorněny na obrázku 34. Norma zná dva druhy zkušebních tyčí, poměrné a nepoměrné. Zkoušená délka se pro poměrné tyče spočítá z průřezu měřené části tyče. Zde však byla použita nepoměrná

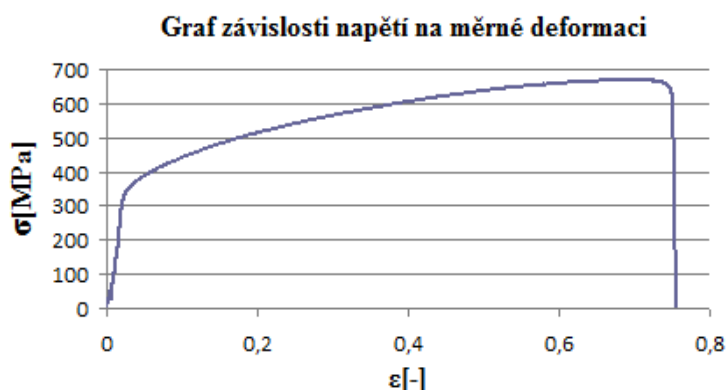
zkušební tyč o hodnotě zkoušené délky 80 mm. Další rozměry jsou zvoleny podle normy a upínacích možností trhačního stroje.

Došlo k vyhodnocení celkem šesti zkušebních tyčí, které byly vypáleny na laseru ve firmě. Tři tyče byly zhotoveny kolmo na směr vláken (válcování), tři rovnoběžně. Před přetrhnutím každé tyče bylo nutné změřit její šířku v měřené části, aby byla zaručena korektnost výsledků. Rychlost zkoušení byla 8 MPa/s. Po přetržení tyče došlo k určení tažnosti daného materiálu. V tomto případě nepoměrné zkušební tyče o délce měřené části 80 mm je třeba uvádět označení tažnosti “A₈₀”.



Obr. 34 Zkušební tyč před a po tahové zkoušce

Během zkoušky byla zaznamenávána závislost síly působící na materiál “F” na prodloužení “Δl”. Ze známých vzorců pro výpočet napětí a měrné deformace “ε” není problém tuto závislost předělat na křivku, kdy napětí je funkcí měrné deformace, viz obr. 35. Z tohoto grafu lze odečíst mez pevnosti i mez kluzu. Ta je buď přímo patrná z diagramu, nebo při nevýrazné mezi kluzu lze zavést smluvní mez kluzu “Rp_{0,2}”. Ta se zjišťuje vynesemím rovnoběžky s částí diagramu charakterizující Hookův zákon ve vzdálenosti 0,2 % z původní měřené délky



Obr. 35 Grafický výstup tahové zkoušky

zkušebního tělíska “L₀”. Tento případ platí pro vyhodnocení této tahové zkoušky. Trhačí stroj je propojen s počítačem a výstupní hodnoty meze kluzu, meze pevnosti a tažnosti lze získat přímo pomocí programu. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tab. 14.

Tab. 14 Vyhodnocená data z tahové zkoušky

Příčně	Rp _{0,2} [MPa]	Rm [MPa]	A ₈₀ [%]	Podélně	Rp _{0,2} [MPa]	Rm [MPa]	A ₈₀ [%]
	352	658	51,88		339	687	50,00
	346	668	52,50		335	684	51,88
	345	665	50,00		339	688	50,00
Průměr	348	664	51,5	Průměr	338	686	50,6

Pokud dojde k vypočítání poměru meze kluzu ku mezi pevnosti Rp_{0,2}/Rm, v příčném směru je výsledek 0,52, v podélném dokonce 0,49. Při porovnání průměrných hodnot v podélném i příčném směru na vlákna nebyla ani v jednom případě zjištěna větší odchylka než 5 %. Vliv podélného a příčného směru tedy není průkazný. Materiály vhodné pro hluboký tah by měly podle literatury dosahovat tažnosti A₈₀ ≥ 36 % a poměru Re/Rm ≤ 0,7. Hodnoty tažnosti i řešených poměrů Rp_{0,2}/Rm daného materiálu jsou pro hluboký tah velmi příznivé.

Z důvodu poměrně vysokých naměřených hodnot napětí, která jsou pro hluboký tah požadována značně nižší (mez kluzu Re ≤ 190 MPa, mez pevnosti Rm ≥ 270 MPa), je třeba počítat s velkými hodnotami tažných sil. Důležitější jsou však hodnoty tažnosti a poměr meze kluzu a pevnosti. Na základě tahové zkoušky lze tudíž tento materiál označit jako zvláště vhodný pro hluboký tah.

3.1.2 Erichsenova zkouška hlubokotažnosti [27]

Jedná se o nejrozšířenější zkoušku hlubokotažnosti plechů. V Laboratoři tváření plechu a mechanických zkoušek byly zkoušeny plechy tloušťky $s_0 = 1,5$ mm, ze které je daný výtažek zhotoven, a 1,0 mm jako možná alternativa pro použití na daný výtažek. Zkušební vzorek je plech o šířce 90 mm, který nesmí být zdeformován.

Plech se upne do Erichsenova přístroje na obrázku 36. Následně je do pohybu uveden tažník (pomocí otáčení utahovacího kola) zakončený polokoulí, která vyhlubuje zkoušený plech. Tento pohyb ustává v momentě vzniku trhliny na měřeném materiálu. Toto je třeba sledovat v zrcátku, které je nastaveno přímo na vznikající prohloubení zkoušeného plechu. V momentě vzniku trhliny se odečte



Obr. 36 Přístroj pro zkoušku hlubokotažnosti



Obr. 37 Plech po Erichsenově zkoušce hlubokotažnosti

hloubka vniknutí tažníku do materiálu. Z tohoto údaje se vychází při vyhodnocování měřicího protokolu. Důležitý údaj o vhodnosti použití daného plechu pro hlubokotažné operace je i tvar trhliny vzniklé při hloubení. Pokud jde trhlina po vrstevnici vytaženého materiálu, lze konstatovat, že zkoušený materiál je vhodný pro hlubokotažné operace. Tato situace nastala i v případě hloubení plechu z řešeného materiálu, jak je vidět

na obrázku 37. V opačném případě, kdy trhlina vzniká napříč vytaženou kulovou plochou, plech pro hluboký tah vhodný není. Dosažené výsledky jsou uvedeny v tabulce 15, včetně průměrné hodnoty pro každou tloušťku plechu.

Tab. 15 Vyhodnocení Erichsenovy zkoušky hlubokotažnosti

Tl. plechu [mm]	1,5			1		
Hodnota IE [mm]	12,58	12,2	12,4	12,2	12,33	12,45
Průměrné hodnoty	12,39			12,33		

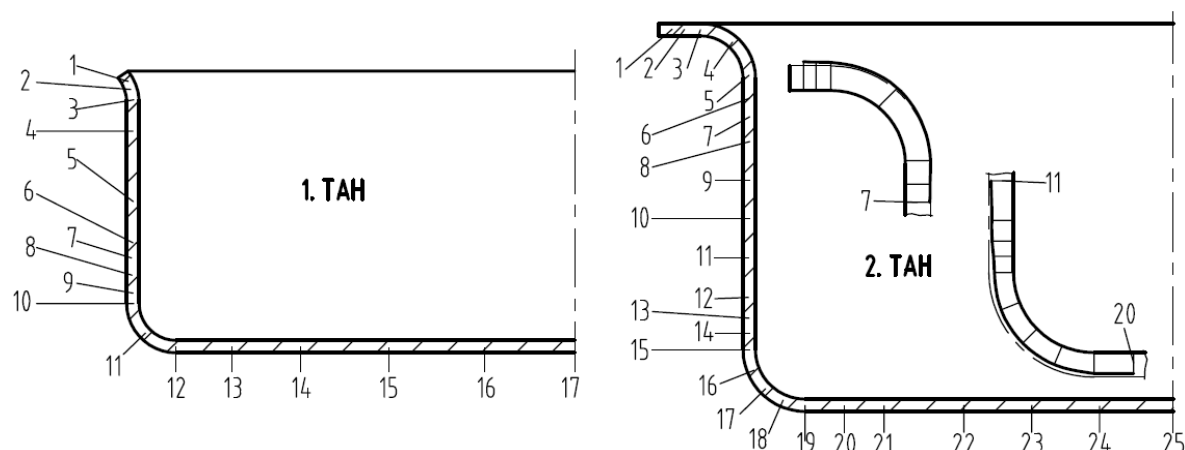
Z výsledků je zřejmé, že průměrné hodnoty prohloubení IE jsou pro obě tloušťky prakticky totožné. Řešená ocel 1.4301 byla porovnána s hlubokotažnými ocelmi dle ČSN 11 305.21, 11 304.21 nebo se slitinou AlMn1. Jejich hodnoty IE vychází kolem 9 mm. Z tohoto porovnání lze říci, že ocel 1.4301 dosahuje zvláště hlubokotažných hodnot, přestože to není přímo materiál primárně určený k hlubokému tažení. Na základě Erichsenovy zkoušky lze daný materiál rovněž označit jako vhodný pro hluboké tažení.

Tloušťku plechu 1,5 mm lze dle výsledků Erichsenovy zkoušky bez problémů (ohledně porušování výtažků během tažení) nahradit tloušťkou 1,0 mm, aniž by muselo dojít ke zvýšení počtu tahů. Výtažek by byl lehčí, a výchozí polotovár tudíž levnější. Bylo by však třeba znovu vyrobit jeden z nástrojů (zvětšit průměr tažníku nebo zmenšit průměr tažnice). V tomto případě je na výkresu součásti zadán vnější průměr pláště, proto by hodnota tažnice zůstala nezměněna a tažník by se vyrobil asi o 1 mm větší (v závislosti na volbě tažné mezery) než je v současném stavu. Rovněž přidržovač pro druhý tah by musel být nový v případě, že by výpočty v další části práce neprokázaly možnost zhotovení výtažku jednooperačně. Touto změnou by také došlo ke snížení tažné síly o 1/3 z původní hodnoty, tím pádem i ke snížení potřebné energie nutné pro výrobu daného výtažku. Na druhou stranu však nejde opomenout snížení únosnosti hotového výtažku. Protože daná součást nezastává funkci nosného členu, nebyl by v tomto ohledu problém.

Z hlediska technologie tažení by tedy ve změně tloušťky výtažku nebyl problém. Při kompletaci odvodňovacích systémů ale dochází ke spojování (svařování) výtažku s dalšími komponentami. Z toho by vyplynula nutnost úpravy, nebo nové výroby přípravků. Rovněž svařování dvou částí o různých tloušťkách by bylo problematické. Z těchto důvodů je patrná nutnost zachování stávající tloušťky výtažku $s_0 = 1,5 \text{ mm}$.

3.2 Ztenčení stěn výtažků

Pro rozhodnutí, zdali je možné požadovaný výtažek táhnout na jeden tah, může posloužit i proměření a vyhodnocení tlouštěk materiálu v různých místech výtažku. Toto bude řešeno pro oba tahy řešeného výtažku. Reálně dojde k proměření jedné poloviny pro každý z obou rozřízlých výtažků. Poloha těchto bodů je znázorněna na následujícím obrázku 38. Pro druhý tah je změna tloušťky v místech zaoblení výtažku znázorněna pro názornost i graficky.



Obr. 38 Schematicky znázorněné měřené body, pro druhý tah graficky znázorněné tloušťky

Pro každý bod budou udělána tři měření, aby se eliminovaly možné nepřesnosti. Zvláště v místech zaoblení je třeba měřit co nejpečlivěji, osa hrotů mikrometru by měla procházet normálou daného zaoblení.

Kompletní řešení včetně tří naměřených hodnot pro každý bod je uvedeno v příloze 3. V následujících tabulkách je uveden pouze jejich aritmetický průměr. Každá tato průměrná tloušťka je procentuálně srovnána s výchozí hodnotou tloušťky plechu (tloušťka rondelu). Ta je zvolena přímo podle jmenovité tloušťky $s_0 = 1,5 \text{ mm}$, protože přibližně této tloušťky je dosaženo ve dně výtažku z prvního tahu. Zde nejsou podle literatury předpokládány velké změny v porovnání s tloušťkou plechu rondelu.

Podle předpokladů z literatury lze očekávat, že ztenčení tloušťky materiálu v zaoblení u dna po prvním tahu nebude nijak markantní. Z tohoto důvodu je na výtažku po prvním tahu voleno méně bodů k proměření než na finálním výtažku. Vyhodnocené výsledky po první tažné operaci jsou uvedeny v následující tabulce 16.

Tab. 16 Průměrné tloušťky materiálu v různých bodech výtažku po prvním tahu

Měřený bod	Průměrná hodnota [mm]	Odchylka v [%] od s_0	Měřený bod	Průměrná hodnota [mm]	Odchylka v [%] od s_0	Měřený bod	Průměrná hodnota [mm]	Odchylka v [%] od s_0
1	1,79	19,6	7	1,47	-2,2	13	1,50	0,0
2	1,74	15,8	8	1,46	-2,9	14	1,50	0,0
3	1,71	14,0	9	1,45	-3,3	15	1,50	0,0
4	1,66	10,7	10	1,44	-4,0	16	1,51	0,4
5	1,54	2,9	11	1,44	-4,0	17	1,51	0,4
6	1,50	-0,2	12	1,46	-2,4			

Kvůli lepší orientaci v tabulce jsou barevně odlišeny body z jednotlivých oblastí výtažku. První tři body náleží mírnému zaoblení výtažku z prvního tahu (tzn. výtažek v okamžiku ukončení tažné operace zůstává částečně na zaoblení na tažnici). Zde je patrné napěchování tloušťky na okraji o téměř 20 %.

Hodnoty napěchování materiálu lze získat i početně. Pro 1.tah platí vzorec podle (2.1)

$$s_1 = s_0 \cdot \sqrt{\frac{D_0}{d_1}} = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{422}{271,5}} = 1,87 \text{ mm},$$

kde d_1 je střední průměr výtažku po prvním tahu = 271,5 mm.

Při porovnání teoretického výpočtu a vlastního měření lze říci, že hodnoty jsou prakticky totožné. Jejich vzájemná odchylka je menší než 5 %.

V plášti výtažku (body 4 až 9) dochází k postupnému ztenčování tloušťky z napěchovaného okraje (4 a 5) na výchozí hodnotu. Následně z důvodu působícího tahového napětí dochází k dalšímu kontinuálnímu ztenčování až pod tloušťku rondelu. To pokračuje až do kritické oblasti zaoblení mezi přírubou a dnem (10 až 12).

Největších hodnot zeslabení je dosaženo v oblasti přechodu z pláště do zaoblení a v samotném zaoblení, což odpovídá experimentu podle literatury [10]. Ztenčení je velmi malé, největší hodnota odpovídá 4 %. Ve dně výtažku (13 až 17) prakticky nedochází ke změně tloušťky materiálu, což je korektní výstup. Odchylka bodů 16 a 17 je zřejmě způsobena chybou měření, nebo vzniká již při výrobě plechu. V žádném případě zde však nelze předpokládat napěchování materiálu.

Pro další tah lze předpokládat větší hodnoty ztenčení. Tabulka 17 pro konečný výtažek je opět barevně rozdělena. Uvedené měření probíhalo na výtažku s neostříženými okraji příruby, ke kterému dochází v těsné blízkosti měřeného bodu 2.

V přírubě výtažku (1 a 2) dochází k napěchování materiálu, které je přibližně velké jako v případě prvního tahu. Rovněž jej lze porovnat s vypočítanou hodnotou podle vzorce (2.1).

$$s_1 = s_0 \cdot \sqrt{\frac{D_0}{d_p}} = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{422}{240}} = 1,99 \text{ mm}.$$

V tomto případě již dochází k odchylce mezi reálným měřením a výpočtovým vztahem. To může být způsobeno velkými hodnotami přidržovací síly na konci tažné operace. Na materiál mezi tažnicí a přidržovačem je vyvíjen velký tlak, proto nedochází k výraznému napěchování materiálu. Na druhou stranu teoretický výpočet probíhá na základě empirického vzorce, jehož výstupy nemusí být zcela přesné.

Tab. 17 Průměrné tloušťky materiálu v různých bodech hotového výtažku

Měřený bod	Průměrná hodnota [mm]	Odchylka v [%] od s_0	Měřený bod	Průměrná hodnota [mm]	Odchylka v [%] od s_0	Měřený bod	Průměrná hodnota [mm]	Odchylka v [%] od s_0
1	1,77	18,2	10	1,38	-8,0	18	1,23	-18,2
2	1,73	15,1	11	1,38	-8,0	19	1,27	-15,6
3	1,71	13,8	12	1,32	-11,8	20	1,28	-14,9
4	1,64	9,3	13	1,31	-12,9	21	1,27	-15,3
5	1,53	2,2	14	1,22	-18,9	22	1,28	-14,9
6	1,50	0,0	15	1,17	-22,2	23	1,27	-15,3
7	1,46	-2,4	16	1,20	-19,8	24	1,27	-15,3
8	1,43	-4,4	17	1,22	-18,9	25	1,27	-15,3
9	1,39	-7,1						

V oblasti zaoblení mezi přírubou a pláštěm (3 až 5) dochází ke kontinuálnímu ztenčování napěchovaného materiálu. Hodnota však neklesne pod výchozí tloušťku rondelu $s_0 = 1,5$ mm, z tohoto důvodu zde nedochází k porušení výtažku.

V plášti výtažku (6 až 14) již dochází kvůli tahovým napětím ke značnému ztenčení, které se neustále zvětšuje. To je značný rozdíl oproti výtažku z prvního tahu, což může být také zapříčiněno zmenšením tažného poloměru tažnice podle požadavku výkresu. Největšího ztenčení bylo dosaženo na přechodu výtažku z pláště do zaoblení u dna (15). Průměrná naměřená hodnota je 1,17 mm, což je o 22,2 % méně než je výchozí hodnota. V tomto místě je tedy největší hrozba utržení dna, což potvrzuje shodu s praktickým měřením dle literatury [10]. Zde bylo naměřené ztenčení dokonce přes 27 %, ale značně záleží na tvárnosti taženého materiálu. Poté již dochází ke zmenšování ztenčení v průběhu zaoblení.

V oblasti dna (20 až 25) je tloušťka stěny, stejně jako v případě výtažku po prvním tahu, prakticky konstantní. Nepatrné odchylky v měřených bodech 20 a 22 jsou způsobeny ze stejných důvodů jako na prvním výtažku. Proti prvnímu tahu je zde však tloušťka značně nižší. Literatura uvádí ztenčení pouze 2 – 3 %, na řešeném výtažku je však přes 15 %. To je zřejmě způsobeno mazáním polotovaru před první tažnou operací. Literatura uvádí mazat pouze stranu rondelu ve styku s tažnicí, reálný přístřih daného výtažku je mazán z obou stran. Mezi tažníkem a rondelem tak může dojít k nežádoucím prokluzům, které vedou ke ztenčení materiálu i ve dně.

Uvedené výsledky potvrzují (až na ztenčení ve dně po druhé tažné operaci) teoretické předpoklady i praktické výstupy z různých literárních zdrojů. Po prvním tahu nedochází k výraznému ztenčení v kritickém místě na přechodu z pláště výtažku do zaoblení mezi pláštěm a dnem. To odpovídá datům z firmy, kdy v případě použití korektního materiálu prakticky nedochází k poškození výtažků v průběhu prvního tahu.

Rovněž ztenčení v tomto kritickém místě při druhém tahu odpovídá literárním předpokladům, kdy změna tloušťky má být značně markantnější. V reálné sériové výrobě přibyslavské firmy dochází při druhém tahu ke zmetkovitosti do 1 %. Na změnu tloušťky materiálu má také vliv zaoblení tažné hrany “ r_{te} “. Kvůli montážním důvodům hotového výtažku by však musel být volen menší poloměr zaoblení tažnice než v případě reálného prvního tahu, kdy je tento poloměr 10 mm. To by mělo negativní vliv na ztenčení plechu v kritickém místě. Přesto lze očekávat, že v případě jednooperačního tažení daného výtažku by došlo ke značnému omezení tohoto ztenčení. Zhotovení daného výtažku v jedné operaci posouzením podle tohoto faktoru by tedy bylo možné.

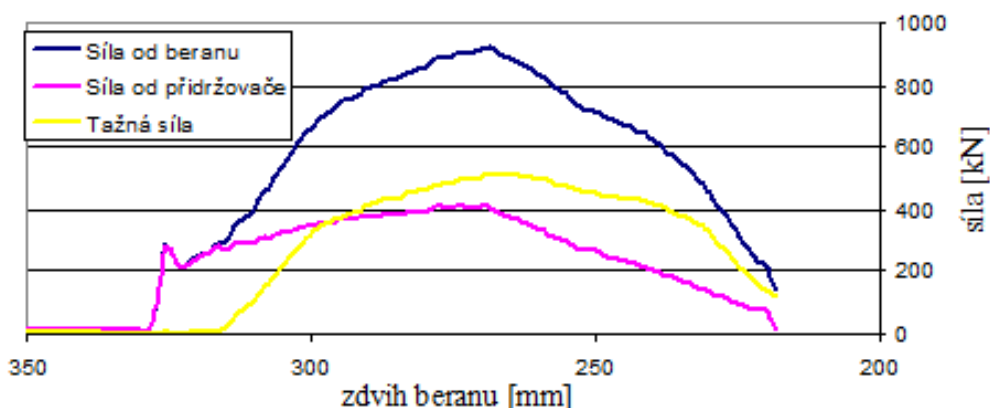
Uvedených výsledků pro ztenčení materiálu v kritickém místě lze také využít pro výpočet reálných sil (tzn. s uvažováním skutečné tloušťky stěny, ne $s_0 = 1,5 \text{ mm} = \text{konst.}$) pro utržení dna výtažku. K tomu je třeba provést analýzu procesů obou tahů ze záznamů z lisu.

3.3 Vyhodnocení dat ze záznamů z lisu

Tažení obou operací v současné době probíhá na moderním hydraulickém lisu Dieffenbacher, více viz kapitola 3.7. Tažnice je připevněna na beranu, během tažného procesu jede směrem dolů. Síla přidržovače působí zespodu proti pohybu beranu, během tažné operace jede přidržovač dolů společně s tažnicí. Výtažek vzniká nabalováním na tažník, který je napevno připevněn ke stolu lisu. Řídící program lisu umožňuje po určitém časovém úseku (přibližně 0,25 s) zaznamenávat sílu a polohu beranu a sílu spodního přidržovače. Odečtením síly přidržovače od síly beranu se získá průběh tažné síly. Z vyhodnocených dat lze vykreslit křivky jednotlivých sil, zjistit polohu a hodnotu maximální tažné síly, vypočítat tažnou rychlost a práci. To platí pro obě tažné operace.

3.3.1 Vyhodnocení první tažné operace

Prvnímu tahu odpovídají křivky uvedené na obr. 39. Na začátku tažné operace dochází k vyrovnání tlaků v hydraulickém systému. Poté je patrný nárůst síly od beranu, jehož zprvu kopíruje i síla od přidržovače. Její přesná hodnota v různých polohách beranu se nastavuje v řídicím systému stroje, což je obrovský klad pro úspěšné zvládnutí tažných operací.



Obr. 39 Graf závislosti uvedených sil na zdvihu beranu pro 1. tah

V momentě, kdy síla beranu překročí velikost síly přidržovače, začíná na rondel působit tažná síla. Zprvu dochází k jejímu prudkému nárůstu. Toto se děje z důvodu nastávající změny tvaru plochého rondelu ve válcový výtažek. Při určité délce zdvihu dochází ke změně a tažná síla začne klesat. Literatura uvádí, že maximální tažné síly v prvním tahu se přibližně dosahuje při aktuální hloubce výtažku podle vzorce (2.7)

$$h_{Fmax} = R_{tu} + R_{te} + s_0 = 10 + 10 + 1,5 = 21,5 \text{ mm},$$

kde R_{tu} je poloměr zaoblení tažníku v prvním tahu = 10 mm

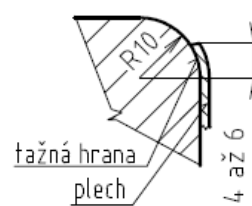
R_{te} je poloměr zaoblení tažnice v prvním tahu = 10 mm.

Největší tažnou sílu lze podle literatury očekávat při hloubce výtažku asi 21,5 mm.

Pokud ovšem dojde k odečtení polohy beranu při maximální tažné síle podle uvedeného grafu (reálně podle maximální hodnoty tažné síly ve zpracovaných datech v programu Excel), výsledkem je přibližně hloubka výtažku 47 mm. To vykazuje značnou neshodu teoretického předpokladu a výstupu z lisu.

Pokud dojde k překonání tohoto bodu určujícího maximální tažnou sílu, poškození výtažku se v tomto tahu již nepředpokládá. Výtažek už má takovou hloubku, že původní odpor materiálu proti tvarovému přetvoření není tak velký a přesun materiálu přes tažnou hranu probíhá příznivěji. Jak se hloubka výtažku zvětšuje, dochází kontinuálně k poklesu tažné síly.

Hloubka výtažku po prvním tahu je asi $h_1 = 99$ mm. Tato hodnota odpovídá stavu, kdy okraj výtažku je od středu zaoblení tažné hrany tažnice vertikálně vzdálen o 4 až 6 mm (viz obr. 40), podle cípatosti okraje. Přesná hodnota zdvihu se nastaví dle potřeby na hydraulickém lisu až při samotném tažení. Cílem je, aby se horní hrana výtažku nedostala pod tažný poloměr tažnice. Pokud by k tomuto docházelo, při vyhazování výtažku z tažnice by v místě styku okraje výtažku a tažnice docházelo k abrazivnímu opotřebení, což je samozřejmě velmi nežádoucí.



Obr. 40 Ukončení první tažné operace

Další využití těchto dat získaných z lisu spočívá ve výpočtu skutečné tažné rychlosti. Tu je nutné následně použít jako korektní vstup pro počítačovou simulaci prvního tahu. Protože jde o tažení na hydraulickém lisu, rychlost je v celém průběhu zdvihu konstantní. Spočítá se jako podíl dráhy beranu, na které působí tažná síla, a času odpovídajícímu této dráze " t_1 "

$$v_{u1} = \frac{h_1}{t_1} = \frac{99}{14,25} = 6,9 \text{ mm.s}^{-1}. \quad (3.1)$$

Rychlost tažení při první tažné operaci je $6,9 \text{ mm.s}^{-1}$.

Největší hodnota tažné síly je dosažena v průběhu tažení při hloubce výtažku 47 mm, jak již bylo napsáno. Tato hodnota je podle dat z lisu přibližně

$$F_{t1} = 513\,000 \text{ N}.$$

Maximální hodnota tažné síly musí být menší než síla na utržení dna, aby k tomuto defektu nemohlo dojít. Pro výpočet síly na utržení bude použito výsledku z naměřené tloušťky výtažku, tím se dostane zcela korektní hodnota.

Podle literatury probíhá ztenčování stěny v průběhu celé tažné operace, největšího ztenčení je tedy teoreticky dosaženo až v samotném závěru tažení. V případě prvního tahu, kdy největší síla je dosažena zhruba v polovině činného zdvihu, by tedy bylo třeba znát tloušťku materiálu v přechodu mezi pláštěm a zaoblením u dna výtažku přesně v okamžiku dosažení hloubky výtažku 47 mm. To by znamenalo při této hodnotě zdvihu ukončit tažný proces, výtažek rozříznout a změřit tloušťku plechu v kritickém místě. Protože je však ztenčení prakticky minimální, lze dosadit hodnotu tloušťky materiálu naměřenou až po konci kompletního tahu (tab. 16, řádek 10, hodnota tloušťky v kritickém místě $s_{KR1} = 1,44$ mm). Před výpočtem síly na utržení dna je nutné vypočítat součinitel tažení pro první tažnou operaci podle vzorce (2.34)

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} = \frac{270}{422} = 0,64.$$

Součinitel tažení pro první operaci je 0,64. Z tohoto se vychází při určení součinitele “c“, který je určen z grafu na obr. 16 (str. 19). Jeho hodnota je 0,73 a je nutné ji dosadit do následujícího vztahu pro sílu na přetržení podle vzorce (2.8)

$$F_1 = \pi \cdot D_s \cdot s_{KR1} \cdot R_m \cdot c = \pi \cdot 271,5 \cdot 1,44 \cdot 664 \cdot 0,73 = 595\,351 \text{ N},$$

kde za mez pevnosti v tahu je dosažena hodnota získaná z tahové zkoušky, viz tab. 14. Uvedená hodnota $R_m = 664$ MPa odpovídá vzorkům vyrobeným kolmo na směr válcování výchozí tabule plechu. Jejich hodnota meze pevnosti je menší než v případě vzorků zhotovených souhlasně se směrem válcování. Během tažné operace navíc dochází ke zpevňování materiálu. I s uvážením dosazení ztenčené tloušťky plechu naměřené až po konci tažné operace lze konstatovat že výpočet síly na utržení je proveden pro nejméně příznivé podmínky a reálná hodnota bude větší.

Pro úspěšnou tažnou operaci musí být skutečná tažná síla menší než síla na utržení dna. Daná nerovnost je v tomto případě splněna,

$$513\,000 \text{ N} < 595\,351 \text{ N}.$$

V případě vyhodnocení možnosti výroby na jednu operaci lze konstatovat následující fakta.

Z důvodu menšího průměru výtažku ($D_s = 271,5$ mm $\Rightarrow d_s = 216,5$ mm) by došlo ke zmenšení obou těchto řešených sil, v prakticky stejném poměru. Kvůli hlubšímu výtažku ($h_1 = 99$ mm $\Rightarrow h_s = 148,5$ mm) a menšímu zaoblení tažnice ($R_{te} = 10$ mm $\Rightarrow r_{te} = 8$ mm, viz kapitola 3.8) by patrně došlo k výraznějšímu ztenčení stěny, čímž by se zmenšila hodnota síly na utržení dna. Rozdíl mezi oběma vyčíslenými silami v tomto tahu vychází přes 82 kN, tudíž je zde jistá rezerva. To je potvrzení faktu, že při výrobě v prvním tahu k defektům prakticky nedochází. Na základě těchto výsledků lze očekávat, že jednooperační výroba řešeného výtažku by mohla být reálná.

Z uvedených dat z lisu lze rovněž vypočítat spotřebovanou práci. Protože její hodnota odpovídá ploše pod křivkou tažné síly, je vhodné k jejímu výpočtu využít numerickou integraci a program Excel. Plocha pod křivkou je aproximována v tomto tahu 60ti obdélníčky. Jejich souřadnice v ose “x“ odpovídající pohybu beranu jsou rozděleny podle zápisu dat po přibližně 0,25 s, což odpovídá velikosti strany obdélníčku přes 1,5 mm. Souřadnice v ose “y“ znázorňují aktuální hodnoty tažných sil pro dané polohy beranu. Část vztahu $(F_{ti} + F_{ti+1})/2$ odpovídá střední hodnotě tažné síly pro daný obdélníček. Sečtení těchto obdélníčků odpovídá hledané práci. Tomuto odpovídá vzorec podle (2.32)

$$A_1 = \sum_{i=1}^{60} \left(\frac{F_{ti} + F_{ti+1}}{2} \cdot (h_{i+1} - h_i) \right) = 36\,084 \text{ J}.$$

Protože byla dosazena síla v [kN] a aktuální výška výtažku v [mm], práce vychází v základních jednotkách [J]. V praxi se častěji používají [kJ]. Spotřebovaná práce pro první tah tedy vyšla přibližně 36,1 kJ.

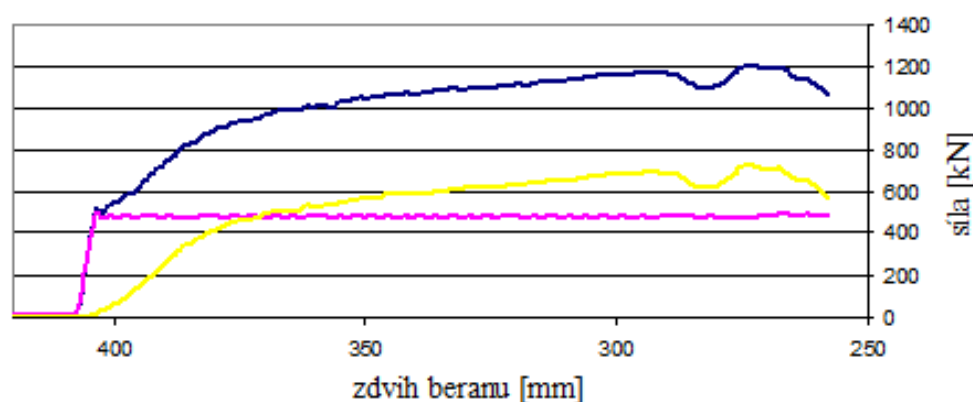
V literatuře lze pro výpočet práce nalézt i zjednodušený výpočet pomocí maximální tažné síly a součinitele “e“. Jeho hodnota je podle [7] 0,66, což odpovídá tažení bez kalibrace. Vychází se ze vzorce (2.33)

$$A_1 = \frac{F_{t1} \cdot h_1}{1000} \cdot e = \frac{513000 \cdot 99}{1000} \cdot 0,66 = 33\,520 \text{ J.}$$

Výpočet pomocí tohoto vzorce je snadný a rychlý. Podle očekávání dochází k odchylce oproti prakticky přesné numerické integraci. Pro orientační výpočet je tento vzorec dostatečný.

3.3.2 Vyhodnocení druhé tažné operace

Pro druhý tah jsou křivky jednotlivých sil patrné z následujícího obrázku 41. Síly jsou barevně odlišené stejným způsobem jako v předchozím případě.



Obr. 41 Graf závislosti uvedených sil na zdvihu beranu pro 2. tah

Ve druhé tažné operaci tažná síla zprvu opět výrazně narůstá, což je rovněž důsledkem tvarové změny. Tentokrát se jedná o redukci průměru výtažku po prvním tahu na konečný průměr výtažku. V určitém místě, kdy dojde k poklesu odporu proti změně tvaru výtažku, přestane být nárůst tak prudký, ale stále dochází k nárůstu tažné síly. Před závěrem tažné operace dochází k několika změnám hodnot tažné síly. Toto nastává kvůli tvarování příruby hotového výtažku. Pokud dojde k poškození výtažku v této operaci, bude to právě v tomto místě těsně před koncem operace, kdy je tažná síla největší.

Tažná rychlost se vypočítá podle obdobného vztahu jako v případě prvního tahu. Dojde k podílu střední výšky výtažku “ h_s “ a času “ t_2 “, za který beran urazí tuto vzdálenost.

$$v_{t2} = \frac{h_s}{t_2} = \frac{148,5}{25,5} = 5,8 \text{ mm.s}^{-1}. \quad (3.2)$$

Rychlost pohybu beranu ve druhém tahu je 5,8 mm.s⁻¹. V porovnání s první tažnou operací je o více jak 1 mm.s⁻¹ nižší. V této tažné operaci je maxima tažné síly dosaženo až před koncem tahu (při tvarování příruby), hodnota je

$$F_{t2} = 727\,000 \text{ N.}$$

Ztenčení tloušťky taženého materiálu je zde značné. Lze předpokládat, že největší hodnoty ztenčení bude dosaženo právě při formování příruby. Proto lze hodnotu síly na utržení dna (s dosazením minimální tloušťky stěny získané po konci tažení, tab. 17, měřený bod 15, hodnota tloušťky v kritickém místě $s_{KR2} = 1,17 \text{ mm}$) porovnat s maximální tažnou silou. Podle měření firmy dochází po druhé tažné operaci ke značnému nárůstu meze pevnosti až na hodnotu 970 MPa. Protože maxima tažné síly je dosaženo před koncem tažné operace a předpokládá se kontinuální nárůst meze pevnosti, bude volena 940 MPa. Síla na utržení dna

v tomto tahu se spočítá opět podle vzorce (2.8). Součinitel “c” zde již výsledek neovlivňuje, protože poměr $d_2/D_0 = 215/422 = 0,51$ je menší než 0,55, tudíž $c = 1$.

$$F_2 = \pi \cdot d_s \cdot s_{KR2} \cdot R_m \cdot c = \pi \cdot 216,5 \cdot 1,17 \cdot 940 \cdot 1 = 748\,034 \text{ N.}$$

Síla na utržení dna ve druhém tahu má hodnotu 748 034 N. Rovněž zde musí být tažná síla menší než síla na utržení dna. Tato podmínka ($F_{t2} < F_2$) je opět splněna,

$$727\,000 \text{ N} < 748\,034 \text{ N.}$$

Rozdíl mezi oběma silami je přibližně 21 kN, což je značně menší než v případě prvního tahu. To odpovídá reálnému stavu, kdy výtažek na konci operace může prasknout. Stává se tak maximálně do 1 % při výrobě těchto výtažků.

Při výpočtu práce pomocí numerické integrace se vychází taktéž ze stejného vzorce jako v případě prvního tahu. Plocha pod křivkou je zde aproximována 103 obdélníčky. Čas zapisování dat je opět 0,25 s. Tento nárůst obdélníčků proti prvnímu tahu je způsoben snížením tažné rychlosti a zvětšením hloubky výtažku. Výpočet podle (2.32)

$$A_2 = \sum_{i=1}^{103} \left(\frac{F_{ti} + F_{ti+1}}{2} \cdot (h_{i+1} - h_i) \right) = 79\,740 \text{ J.}$$

Práce pro druhou tažnou operaci vychází 79,74 kJ. Z uvedeného je patrný více jak dvojnásobný nárůst v porovnání s prvním tahem. To je způsobeno značným zpevněním materiálu a tedy zvětšením tažných sil, rovněž hloubka výtažku je větší.

Při využití druhého přístupu, tj. zjednodušeného vzorce podle (2.33), vychází hodnota

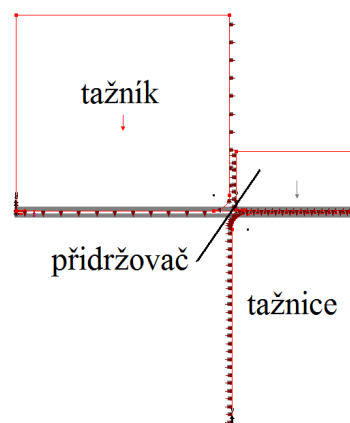
$$A_2 = \frac{F_{t2} \cdot h_s}{1000} \cdot e = \frac{727000 \cdot 148,5}{1000} \cdot 0,66 = 71\,253 \text{ J.}$$

Tímto vzorcem při stejném $e = 0,66$ vzniká procentuálně podobná odchylka od numerické integrace jako u prvního tahu. Z těchto zjednodušených vzorců je zřejmé, že jejich shoda s reálným stavem závisí na volbě součinitele “e”, resp. na zkušenostech. Ale i v případě dosazení hodnoty 0,66 pro oba řešené tahy lze o velikosti prací získat dobrou představu.

3.4 Simulace stávajícího prvního tahu

Pomocí simulačního software FormFEM byla provedena simulace první tažné operace stávající výroby řešeného výtažku. Aby byla simulace korektní a její výstup šel porovnat s reálným stavem, bylo nutné dosadit odpovídající vstupní hodnoty. K tomuto bylo využito výsledků z tahové zkoušky, výpočtu tažné rychlosti pro tento tah a průběhu přidržovací síly v závislosti na zdvihu lisu. Přesné složení ani součinitel tření používaného maziva PROLONG 50-12 se zjistit nepodařilo, resp. výrobce se rozhodl veřejně tyto údaje neposkytnout. Jediná dostupná věc pro tento olej je obsah chloru. Z bezpečnostního listu lze vyčíst, že je menší než 39 % z celkového objemu maziva. V simulaci je počítáno s ideálním mazivem.

Maximální tažná síla odečtená z programu je 512 210 N. Při porovnání s tažnou silou vyhodnocenou pomocí dat z lisu, ($F_{t1} = 513\,000 \text{ N}$) lze konstatovat, že jsou prakticky totožné. Korektnost výpočtu je doložena i odchylkou ze změny objemu, která činí 1,36 %. Podmínkou korektnosti výpočtu je maximální hodnota 1,5 %. Na obr. 42 je vidět výchozí stav včetně ploch s naneseným mazivem a přestupem tepla. Simulace je provedena pro situaci, kdy přidržovač se pohybuje shora dolů, až dosedne na plech položený na tažnici. Poté dojde k pohybu tažníku, který zajíždí do tažnice a zhotovuje výtažek. Reálně je tomu opačně, nehybný tažník je připevněn ke stolu a tažnice k beranu. Simulaci to neovlivňuje, jde o relativní pohyb plechu a nástrojů.



Obr. 42 Výchozí stav

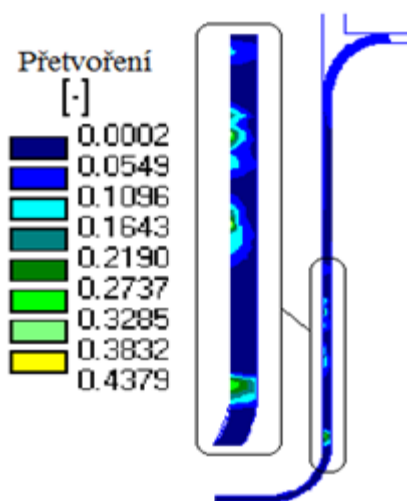
Obrázek 43 ukazuje stav deformace ve výtažku v posledním kroku simulace. Největších hodnot je dosahováno ve spodní části pláště výtažku ve styku plechu s tažníkem. V přírubě, v zaoblení u dna i u příruby a ve dně je dosahováno minimálních hodnot deformace.

Největších kontaktních tlaků je dosahováno ve styku taženého materiálu a spodní části taženého zaoblení tažnice. To platí v celém průběhu simulace, největší hodnoty přes 330 MPa jsou potom až v posledním kroku simulace. Největší zatížení tažníku je do 180 MPa a dochází k němu zhruba v polovině zdvihu. Ostatní hodnoty kontaktních tlaků nejsou významné, vychází max. v desítkách MPa.

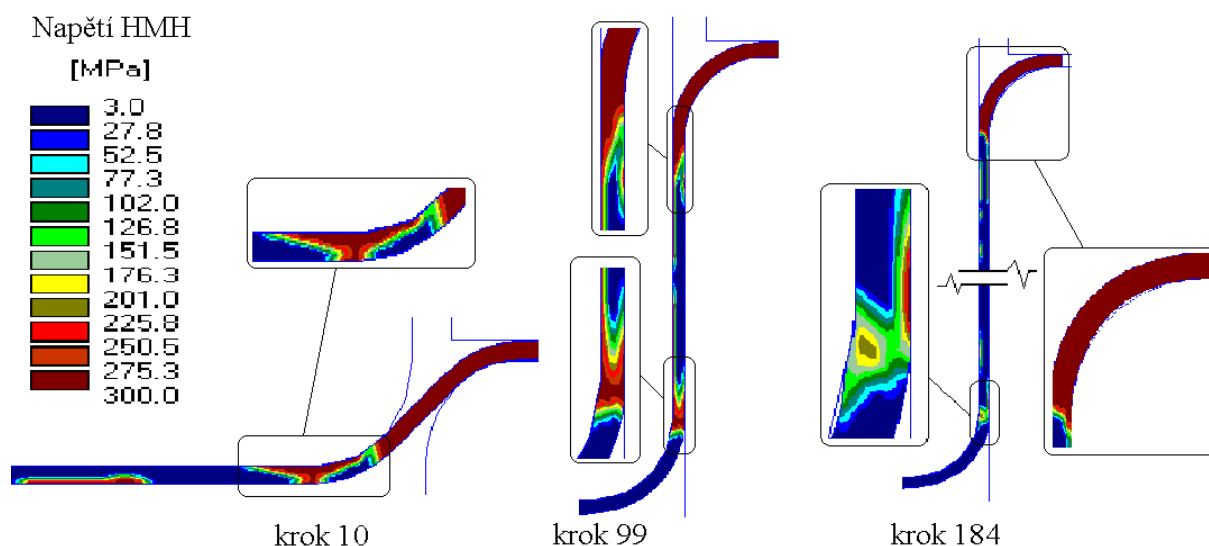
Na obr. 44 jsou uvedena napětí HMH pro jednotlivé kroky simulace. Ve všech krocích je největší hodnota napětí pod přidržovačem, což je potvrzení teoretického předpokladu, a na tažném poloměru tažnice. Protože zde dochází k napěchování materiálu, porušení v tomto místě výtažku nehrozí. V kroku 10 je výskyt největšího napětí rovněž i pod tažníkem a přímo ve dně. To poukazuje na velký nárůst tažné síly při počátku tažení. Reálně však tento stav plastickou deformaci ve dně nezpůsobí, což je zřejmé z proměřené tloušťky dna výtažku po 1. tahu, viz tab. 16.

V kroku 99, což je přibližně stav v polovině zdvihu, je patrné největší napětí i v kritickém místě na přechodu pláště do zaoblení u dna výtažku. To rovněž dokazuje shodu simulace s teorií i praktickým proměřením tloušťky stěny výtažku. V tomto místě může nastat defekt při výrobě výtažku kvůli ztenčení stěny. V řešeném výtažku k tomuto nedochází, což potvrdila i simulace.

Poslední obrázek (krok 184) prezentuje konečný krok simulace. Dále ji už nelze provádět, protože není dostatečný kontakt mezi plechem a tažnicí. Z důvodu nízké hodnoty tažné síly ke konci tahu již maximální napětí v kritickém místě není. Pouze na vnější straně výtažku před vstupem do zaoblení je patrná malá oblast s maximální hodnotou napětí. To reálně odpovídá místu největšího ztenčování plechu.



Obr. 43 Deformace na konci simulace



Obr. 44 Napětí HMH pro uvedené kroky simulace

Simulace neproběhla do konce podle reálného stavu (ten by nastal po dalších asi 5 mm zdvihu, jak je patrné z obr. 40), ale toto nastalo z důvodu numerické chyby. Proto lze simulaci považovat za úspěšnou.

3.5 Výpočet výchozího polotovaru

Při tvorbě technologického postupu výroby dané součásti je zpočátku nutné navrhnout tvar a rozměry výtažku dle jeho funkce. V úvahu je třeba brát následné spojování (svařování) této vpusti s ostatními částmi odvodňovacího kompletu, které jsou ve firmě rovněž vyráběny. V případě razantních rozměrových změn by bylo nutné upravit výrobu i všech dílů navazujících na řešenou vpust' a přípravků sestavených pro jejich kompletaci. Toto by z ekonomického hlediska bylo s ohledem na roční produkci přibližně 2000 ks značně nevýhodné. Proto je nutné vycházet zejména z aktuálních rozměrů výtažku.

Pro výpočet průměru rondelu jednoduchého rotačního výtažku s přírubou existuje v literaturách mnoho vzorců. Zpravidla jejich použitím dochází při výpočtu k různým zjednodušením, pro původní odhad velikosti rondelu jsou však plně dostačující. Pro tenké plechy stačí zpravidla brát vnější rozměry výtažku. V řešeném případě se vychází ze středních hodnot průměrů a zaoblení, aby mohlo dojít ke korektnímu porovnání jednotlivých výpočtových vztahů a metod. Dosazované hodnoty jsou zřejmé z obrázku 45 na následující straně, jejich slovní vysvětlení lze vyčíst v kap. 2.2. Uvedené výpočty budou vyčísleny a porovnány bez přídavků na ostřížení (zarovnání) příruby. Základní a nejjednodušší vzorec je patrný z rovnice (2.4)

$$D_0 = \sqrt{d_p^2 + 4d_i \cdot h_s} = \sqrt{240^2 + 4 \cdot 215 \cdot 148,5} = 430,48 \text{ mm.}$$

Daným výpočtem nedochází ke zohlednění zaoblení na výtažku. Proto lze očekávat, že reálný potřebný průměr rondelu bude menší. Uvedený nedostatek řeší vzorec (2.5)

$$D_0 = \sqrt{d_p^2 + 4d_i \cdot h_s - 3,44 \cdot d_i \cdot r} = \sqrt{240^2 + 4 \cdot 215 \cdot 148,5 - 3,44 \cdot 215 \cdot 11,25} = 420,70 \text{ mm.}$$

V tomto vzorci je předpoklad stejného zaoblení u dna i příruby. Řešený výtažek toto nesplňuje, proto je za poloměr "r" dosazen aritmetický průměr středních hodnot zaoblení výtažku u dna a u příruby.

$$r = \frac{r_{pr} + r_{dn}}{2} = \frac{6,75 + 15,75}{2} = 11,25 \text{ mm.}$$

Uvedeným zjednodušením však nedojde ke znatelnému zkreslení výpočtu. Platí i v dalším vzorci (2.6), dle kterého lze očekávat přesnější výsledek kvůli větší početní náročnosti

$$D_0 = \sqrt{d_d^2 + 4d_s \cdot h_p + 2\pi \cdot r(d_d + d_s) + 4\pi r^2 + d_p^2 - d_{pi}^2} = \sqrt{185^2 + 4 \cdot 216,5 \cdot 126 + 2\pi \cdot 11,25 \cdot (185 + 216,5) + 4\pi \cdot 11,25^2 + 240^2 - 230^2} = 421,91 \text{ mm.}$$

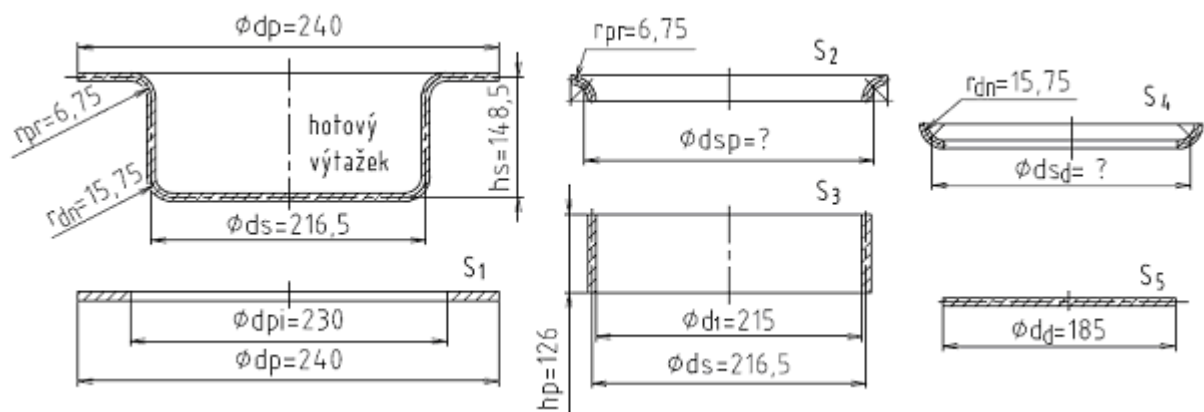
Při porovnání tohoto výsledku s dalšími níže uvedenými, které lze považovat za absolutně přesné, lze říci, že výpočet dle tohoto vzorce je rovněž velmi přesný. Výpočet hodnoty "h_p" je uvedený na následující straně při výpočtu plochy pláště výtažku "S₃".

Další možný výpočet je rozdělením daného výtažku na více geometricky jednoduchých částí. Pro ně lze následně vypočítat jejich plochy dle zaručeně platných matematických vztahů. Po jejich sečtení lze snadno vypočítat potřebný průměr přístřihu, který lze považovat za přesný, ale početní a časová náročnost je zde značně větší. Řešený rotační válcový výtažek s přírubou je vhodné rozdělení na pět podčástí. Toto rozdělení včetně potřebných hodnot pro výpočet jednotlivých ploch je uvedeno v následujícím obrázku 45.

Plocha S₁ odpovídá ploše příruby výtažku. Jde o výpočet obsahu mezikruží, dle vzorce

$$S_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_p^2 - d_{pi}^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (240^2 - 230^2) = 3691,37 \text{ mm}^2. \quad (3.3)$$

Příruba řešeného výtažku o šířce 5 mm má plochu S₁ = 3691,37 mm².



Obr. 45 Rozdělení výtažku na pět geometricky jednodušších částí

Při výpočtu plochy zaoblení S_2 mezi přírubou a pláštěm výtažku bylo nutné použít vzorec pro zjištění polohy těžiště čtvrtkružnice. Následným využitím goniometrických funkcí došlo ke spočítání průměru d_{sp} . Po myšlené rotaci střední délky zaoblení po tomto průměru došlo k vyčíslení řešené plochy S_2 . Těžiště čtvrtkružnice lze spočítat dle vzorce

$$z_T = r_{pr} \cdot \left(1 - \frac{\sin \omega}{\omega}\right) = 6,75 \cdot \left(1 - \frac{\sin 45^\circ}{0,785398}\right) = 0,6729 \text{ mm}, \quad (3.4)$$

kde z_T je osová souřadnice těžiště čtvrtkružnice [mm]

ω je poloviční úhel vrcholového úhlu čtvrtkružnice [rad].

Pro další výpočty vedoucí ke zjištění průměru " d_{sp} " je nutné vycházet z obrázku 46 na následující straně. Z něj je patrná osová souřadnice " z_T " a rovněž výpočet hledaného průměru " d_{sp} ". Jako první je spočítána hodnota " v ". Jde o promítnutí osově hodnoty těžiště do vodorovného směru. Z pomocného nakresleného pravoúhlého trojúhelníčku je zřejmé užití goniometrické funkce cosinus. Hodnota " v " se následně vypočítá

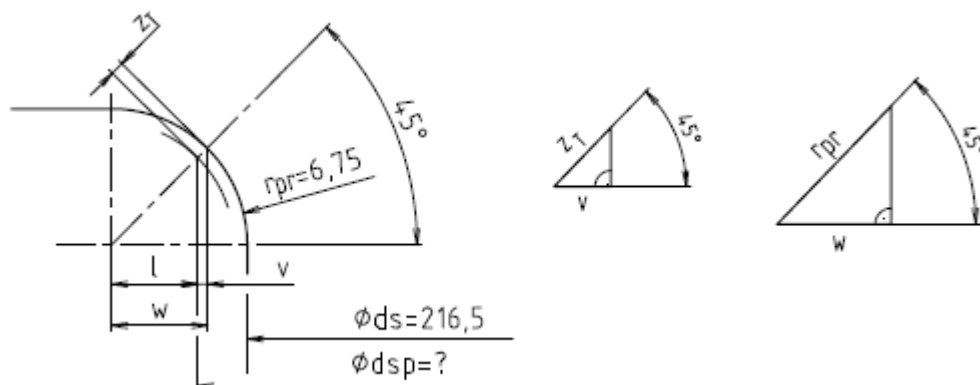
$$v = z_T \cdot \cos 45^\circ = 0,6729 \cdot \cos 45^\circ = 0,48 \text{ mm}.$$

Dále se počítá hodnota " w ". Geometricky jde o stejný výpočet jako v případě " v ", schematicky je to znázorněno v pravé části obrázku.

$$w = r_{pr} \cdot \cos 45^\circ = 6,75 \cdot \cos 45^\circ = 4,77 \text{ mm}.$$

Následně se odečtením " w " a " v " dostane hodnota " l ".

$$l = w - v = 4,77 - 0,48 = 4,29 \text{ mm}.$$



Obr. 46 Schematicky znázorněný výpočet průměru d_{sp}

Pro výpočet průměru " d_{sp} " platí následující vzorec, rovněž platný podle uvedeného obr. 46

$$d_{sp} = d_s + 2 \cdot (r_{pr} - l) = 216,5 + 2 \cdot (6,75 - 4,29) = 221,42 \text{ mm}.$$

Nyní je již možné vypočítat hledaný obsah příruby výtažku "S₂". Prakticky dojde k orotování střední délky čtvrtkružnice po průměru "d_{sp}", viz vzorec

$$S_2 = \frac{2\pi \cdot r_{pr}}{4} \cdot \pi \cdot d_{sp} = \frac{2\pi \cdot 6,75}{4} \cdot \pi \cdot 221,42 = 7375,48 \text{ mm}^2. \quad (3.5)$$

Plocha zaoblení u příruby označována "S₂" má hodnotu 7375,48 mm².

Podle literatury [10] lze zjednodušeně tuto plochu zaoblení vypočítat podle (3.6 a 3.7)

$$S_2 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_s \cdot r_{pr} + 2,28r_{pr}^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 216,5 \cdot 6,75 + 2,28 \cdot 6,75^2) = 7374,78 \text{ mm}^2. \quad (3.6)$$

$$S_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (2\pi d_{pi} r_{pr} - 8r_{pr}^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (2\pi \cdot 230 \cdot 6,75 - 8 \cdot 6,75^2) = 7375 \text{ mm}^2. \quad (3.7)$$

Oba tyto výpočty vykazují vynikající shodu s teoreticky přesně vypočtenou hodnotou dle vzorce (3.5) a v praxi lze tedy bez problému použít. V tomto řešení případě bude kvůli korektnosti výpočtu dále počítáno s původní hodnotou podle vzorce (3.5) 7375,48 mm².

Výpočet pláště výtažku "S₃" lze vnímat jako součin výšky pláště "h_p" a střední délky obvodu pláště. Výška pláště je patrná ze vzorce

$$h_p = h_s - r_{pr} - r_{dn} = 148,5 - 6,75 - 15,75 = 126 \text{ mm}. \quad (3.8)$$

Samotná plocha pláště se následně vypočítá

$$S_3 = h_p \cdot \pi \cdot d_s = 126 \cdot \pi \cdot 216,5 = 85699,51 \text{ mm}^2. \quad (3.9)$$

Plocha pláště je největší plochou na celém výtažku, její hodnota je 85699,51 mm².

Další v pořadí je výpočet obsahu zaoblení mezi pláštěm a dnem, "S₄". V principu jde o ten samý postup výpočtu jako v případě plochy zaoblení mezi pláštěm a přírubou "S₂". Jisté odlišnosti jsou znázorněny na obrázku 47. Hodnoty "Z_T", "V", "W" a "L" jsou spočítány úplně stejným způsobem jako v případě výpočtu plochy zaoblení u příruby "S₂". Jediný rozdíl je v dosazování hodnoty poloměru zaoblení.

Osová souřadnice pro těžiště čtvrtkružnice "Z_T" v zaoblení u dna má hodnotu dle vzorce

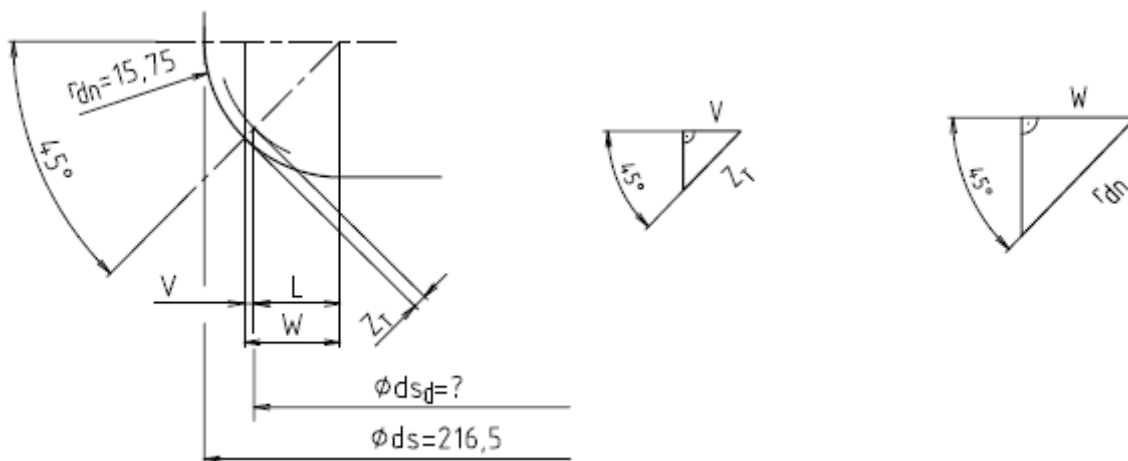
$$Z_T = r_{dn} \cdot \left(1 - \frac{\sin \omega}{\omega}\right) = 15,75 \cdot \left(1 - \frac{\sin 45^\circ}{0,785398}\right) = 1,57 \text{ mm}. \quad (3.10)$$

Výpočet dalších tří hodnot je naprosto stejný jako v případě plochy zaoblení "S₂".

$$V = Z_T \cdot \cos 45^\circ = 1,57 \cdot \cos 45^\circ = 1,11 \text{ mm}.$$

$$W = r_{dn} \cdot \cos 45^\circ = 15,75 \cdot \cos 45^\circ = 11,14 \text{ mm}.$$

$$L = W - V = 11,14 - 1,11 = 10,03 \text{ mm}.$$



Obr. 47 Schematicky znázorněný výpočet průměru d_{sp}

Pro výpočet průměru “ d_{sd} “, na kterém leží těžiště zaoblení příruby, je použito vzorce

$$d_{sd} = d_s - 2 \cdot (r_{dn} - L) = 216,5 - 2 \cdot (15,75 - 10,03) = 205,06 \text{ mm}.$$

V dalším kroku, stejně jako v případě výpočtu plochy zaoblení u příruby “ S_2 “, dojde k výpočtu plochy zaoblení, zde mezi pláštěm a dnem výtažku

$$S_4 = \frac{2\pi \cdot r_{dn}}{4} \cdot \pi \cdot d_{sd} = \frac{2\pi \cdot 15,75}{4} \cdot \pi \cdot 205,06 = 15937,91 \text{ mm}^2. \quad (3.11)$$

Plocha zaoblení u dna “ S_4 “ dosahuje hodnoty $15937,91 \text{ mm}^2$.

Rovněž i zde lze tuto plochu spočítat dle vzorce z literatury [10]. V tomto případě jde o vydutou čtvrtinu kulovitého kroužku

$$S_4 = \frac{\pi}{4} \cdot (2\pi \cdot d_d \cdot r_{dn} + 8r_{dn}^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (2\pi \cdot 185 \cdot 15,75 + 8 \cdot 15,75^2) = 15937,4 \text{ mm}^2. \quad (3.12)$$

Při porovnání obou těchto výpočtů pro plochu zaoblení u dna je zřejmé, že výsledky jsou opět téměř totožné. Lze říci, že užití vzorců z literatury je i pro přesný výpočet absolutně dostačující a lze jimi nahradit zdlouhavý výpočet přes těžiště čtvrtkružnice a goniometrické funkce. Pro řešený případ je však dále počítáno s přesnou hodnotou ze vzorce (3.11).

Poslední část výtažku pro vypočítání plochy je dno kruhového tvaru, označení “ S_5 “.

$$S_5 = \frac{\pi \cdot d_d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 185^2}{4} = 26880,25 \text{ mm}^2. \quad (3.13)$$

Obsah dna řešeného výtažku je $26\,880,25 \text{ mm}^2$.

Po vyčíslení všech pěti dílčích ploch výtažku dojde k jejich sečtení

$$S_c = \sum_{i=1}^5 S_i = 3691,37 + 7375,48 + 85699,51 + 15937,91 + 26880,25 = 139584,52 \text{ mm}^2. \quad (3.14)$$

Celková plocha výtažku je $139\,584,52 \text{ mm}^2$.

Následně dojde k vypočítání potřebného průměru rondelu vyjádřením hodnoty “ D_0 “ ze známého vzorce pro výpočet obsahu kruhu, viz vzorec (2.2)

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 139584,52}{\pi}} = 421,57 \text{ mm}.$$

Potřebná velikost rondelu bez přídavků na ostřížení dle metody rozdělení výtažku na pět geometricky jednodušších částí je $421,57 \text{ mm}$. Všechny výpočty dílčích ploch byly vypočítány pro střední hodnoty výtažku, přestože literatura pro tenké plechy považuje za dostačující výpočet z vnějších rozměrů výtažku. Z tohoto důvodu lze říci, že pokud by v průběhu tažného procesu reálně nedocházelo ke ztenčení plochy a cípatosti okrajů výtažku, uvedená hodnota průměru rondelu by naprosto přesně odpovídala ploše zhotoveného výtažku.

Další možností zjištění potřebné velikosti průměru rondelu je pomocí grafické metody, tzv. pólovou metodou (metoda vláknového obrazce). Protože se rovněž vychází ze středních rozměrů výtažku, mělo by dojít ke značné shodě s početním určením průměru rondelu z předchozího případu. Tato hodnota by měla být absolutně přesná, protože při grafickém řešení nehrozí ovlivnění hodnot z důvodu přenášení zaokrouhlovacích chyb během výpočtu.

Samotné grafické řešení je uvedeno v příloze 4. Vstupní parametry je ovšem i v tomto případě nutné určit početně. Na počátku je nakreslena jedna polovina průřezu výtažku, resp. čára, která reprezentuje střední rozměr výtažku. Následuje analogické rozdělení na pět geometricky jednoduchých částí, přesně jako v předchozím případě. Pro každou část je vypočítána délka její střední hodnoty a zakresleno její těžiště.

Jednostranná šířka příruby “ L_1 “ je jednoduše vypočítána na základě obr. 45. Rovněž určení těžiště není vůbec složité.

$$L1 = \frac{d_p - d_{pi}}{2} = \frac{240 - 230}{2} = 5 \text{ mm.}$$

Délka příruby s označením "L1" je 5 mm, těžiště je v polovině této vzdálenosti.

Hodnota zaoblení mezi přírubou a pláštěm "L2" se spočítá jako délka čtvrtiny kružnice

$$L2 = \frac{2\pi \cdot r_{pr}}{4} = \frac{2\pi \cdot 6,75}{4} = 10,6 \text{ mm.}$$

Délka zaoblení u příruby výtažku "L2" je 10,6 mm. Pro určení těžiště se vychází z dříve vypočítané hodnoty (vzorec (3.4)) osové souřadnice $z_T = 0,6729 \text{ mm}$. Tato hodnota je vynesena na ose čtvrtkružnice.

Pro plášť výtažku je jeho délka "L3" totožná s dříve vypočítanou hodnotou (vzorec (3.8)) čisté výšky výtažku bez zaoblení " h_p ".

$$L3 = h_p = 126 \text{ mm.}$$

Délce pláště výtažku "L3" odpovídá úsečka o hodnotě 126 mm, těžiště je v její polovině.

Následuje zaoblení mezi pláštěm a dnem výtažku. Tato délka "L4" odpovídá čtvrtině délky kružnice o poloměru " r_{dn} "

$$L4 = \frac{2\pi \cdot r_{dn}}{4} = \frac{2\pi \cdot 15,75}{4} = 24,74 \text{ mm.}$$

Hodnota délky zaoblení u dna výtažku "L4" je 24,74 mm. Pro určení těžiště tohoto zaoblení se rovněž vychází z osové souřadnice dle vzorce (3.10), $Z_T = 1,57 \text{ mm}$.

Na závěr je řešeno dno výtažku a jemu odpovídající hodnota "L5". Ta reálně odpovídá poloměru dna, tudíž polovině průměru dna " d_d "

$$L5 = \frac{d_d}{2} = \frac{185}{2} = 92,5 \text{ mm.}$$

Hodnota popisující dno výtažku "L5" odpovídá hodnotě 92,5 mm. Těžiště leží opět v polovině úsečky o dané hodnotě.

Po nalezení těžišť všech dílčích částí výtažku dojde ke spuštění svislice z každého těžištního bodu. Jednotlivé délky řešených částí výtažku se vynesou mimo tyto svislice jako úsečky za sebou na jednu svislou přímku. Včetně počátku a konce se dostane šest bodů, ze kterých jsou vyneseny přímky (označeny I až VI) protínající se v jednom bodě.

Poté dojde k přenesení těchto přímek na svislice. Na první svislici se vynesou a protnou přímky "I" a "II", na druhé svislici přímky "II" a "III", ..., viz obrázek v příloze. Nakonec je třeba označit bod protnutí první a poslední přímky. Tento bod odpovídá těžišti poloviny výtažku v průřezu. Po spojení tohoto bodu s osou výtažku se dostane hodnota $R_t = 85,83 \text{ mm}$.

Nyní lze pro výpočet průměru rondelu použít Guldinovu větu. Nejprve je nutné vypočítat součet všech dílčích délek " L_c "

$$L_c = \sum_{i=1}^5 L_i = 5 + 10,6 + 126 + 24,74 + 92,5 = 258,84 \text{ mm.} \quad (3.15)$$

Délka poloviny výtažku v řezu " L_c " je 258,84 mm.

Výpočet průměru rondelu podle Guldinovy věty vychází ze vzorce (2.3). Po jeho lehké úpravě lze rovnou napsat vztah

$$D_0 = 2 \cdot \sqrt{2R_t \cdot L_c} = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot 85,83 \cdot 258,84} = 421,58 \text{ mm.}$$

Hodnota průměru rondelu pomocí Guldinovy věty je 421,58 mm. V porovnání s vypočtenou hodnotou přesného řešení je patrné, že oba výsledky jsou naprosto stejné (odchylka 0,01 mm je naprosto nevýznamná).

Průměr rondelu z tohoto řešení lze zjistit i bez použití Guldinovy věty. Hodnotu “Rt” je třeba dvakrát za sebou nanést na svislici ze které se dostaly přímky “I” až “IV”. Tím vzniklá úsečka o hodnotě “L” se následně rozdělí napůl a v tomto bodě je střed kružnice, která prochází krajními body této úsečky. V místě, kde se přidaly hodnoty “Rt”, je třeba vynést horizontální přímku. Po zakótování bodu průsečíku této přímky a kružnice se svislicí se dostane hodnota poloměru přístřihu “R₀“, viz obr. v příloze 4. Průměr rondelu je potom

$$D_0 = 2 \cdot R_0 = 2 \cdot 210,79 = 421,58 \text{ mm.} \quad (3.16)$$

Průměr rondelu pomocí odměření z grafického řešení vychází 421,58 mm. Tím je prokázána shodnost grafického výstupu této metody s Guldinovou větou.

Rychlé a přesné zjištění velikosti přístřihu lze dostat pomocí některého software. Vychází se z předpokladů konstantního objemu před a po tvářecí operaci a z neměnné tloušťky výtažku. Většina modelovacích programů dokáže zobrazit objem vymodelované součásti. Program Inventor pro řešení výtažek vypíše objem $V = 209\,375,302 \text{ mm}^3$. Pokud dojde k jeho vydělení tloušťkou plechu $s_0 = 1,5 \text{ mm}$, výsledkem je plocha součásti “S_c“

$$S_c = \frac{V}{s_0} = \frac{209375,302}{1,5} = 139583,53 \text{ mm}^2. \quad (3.17)$$

Nyní lze velikost rondelu opět spočítat pomocí vzorce (2.2), jako v případě metody výpočtu rozdělení výtažku na pět jednoduchých geometrických částí

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 139583,53}{\pi}} = 421,57 \text{ mm.}$$

Průměr rondelu při použití počítačového programu vychází 421,57 mm.

Výpočet průměru přístřihu daného výtažku byl proveden pomocí mnoha metod. Při jejich vyhodnocení bylo zjištěno, že metoda početní při rozdělení výtažku na 5 podčástí, metoda grafická včetně Guldinovy věty a metoda výpočtu pomocí programu Inventor dávají totožné výsledky (naprosto nevýznamná odchylka 0,01 mm). Průměr rondelu bez přídavků na ostřížení tudíž vychází 421,57 mm.

Pro určení velikosti přídavků na ostřížení nerovných okrajů vlivem cípatosti je podle literatury více možností. Nejčastěji je uváděno k vypočítané ploše rondelu (= plocha hotového výtažku “S_c“) přidat navíc 5 až 10 %. Kvůli ztenčení tloušťky výtažku (reálné zvětšení plochy plechu) zejména v oblasti zaoblení u dna je volena spodní hranice přídavku na ostřížení, 5 %. Tato hodnota je reprezentována číslem 1,05 v čitateli následujícího vztahu. Výpočet průměru rondelu vychází opět ze vzorce (2.2)

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,05 \cdot S_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,05 \cdot 139584,52}{\pi}} = 431,98 \text{ mm.} \quad (3.18)$$

Průměr přístřihu se započítaným přídavkem na ostřížení 5 % vychází 431,98 mm.

Podle literatury [10] lze přídavek na ostřížení určit přímo z tabulky. Dojde tak ke zohlednění tvaru a velikosti výtažků, pro výtažky s přírubou je možné použít tabulku 2 (str. 18). Vyčíslený poměr průměru příruby “d_p“ ku střednímu průměru výtažku “d_s“ je

$$\frac{d_p}{d_s} = \frac{240}{216,5} = 1,11.$$

Uvedený poměr je menší jak 1,5, tudíž připadají v úvahu hodnoty z prvního sloupce tabulky. Průměr příruby řešeného výtažku se nejvíce blíží hodnotě 250. Hodnota přídavku vychází 5,5 mm navíc k přesně vypočtenému průměru rondelu

$$D_0 = 421,57 + 5,5 = 427,07 \text{ mm.} \quad (3.19)$$

Průměr rondelu včetně přídavku na ostřížení vypočítaného z tabulky je 427,07 mm.

Reálně je velikost potřebného průměru zvolena až přímo samotným testováním u stroje. Zpravidla se volí jako celé číslo. Lze očekávat, že ideální průměr rondelu bude ležet v intervalu přesně vypočítaného průměru bez přídavků a průměru s přídavky, tj. mezi 422 mm a 432 mm. Je však možné, že pro správné zhotovení výtažku bude stačit i hodnota menší než je přesně spočítaný průměr bez přídavků. K tomuto dochází zejména u hlubokých výtažků, tj. může to být případ i tohoto řešeného výtažku s výškou 150 mm.

Pokud by se vyšlo ze zkušeností firmy s určováním velikosti průměru podobných výtažků, na laseru by se dala vypálit určitá řada různých velikostí rondelů. Většinou jde přibližně o 10 kusů. Vyjde se z přesně vypočítaného průměru bez přídavků, tj. 422 mm (pro názornost zelené podbarvení). Další průměry budou o 1 mm menší a větší než přesně vypočítaná hodnota (bílé pozadí). Takto vznikne dalších šest rondelů. Další dva průměry budou vypáleny podle zaokrouhlených vypočítaných přídavků na ostřížení dle vzorců (3.18) a (3.19), žluté pozadí. Souhrn všech velikostí rondelů pro testování ideálního průměru rondelu pro sériovou výrobu je uveden v následující tabulce.

Tab. 18 Jednotlivé průměry rondelů pro praktické zjištění ideálního průměru

Hodnoty rondelů pro praktické zjištění ideálního průměru rondelu [mm]								
419	420	421	422	423	424	425	427	432

3.6 Počet tažných operací

V této kapitole dojde k posouzení vhodnosti jednooperačního tažení řešeného výtažku zejména z geometrického hlediska. Bude proveden rozbor pomocí součinitele tažení i různých pomocných tabulek a diagramů. Na základě tohoto a výstupů z kapitoly 3.2 Vyhodnocení taženého materiálu bude následně rozhodnuto o počtu tažných operací, na který bude navržena sériová výroba.

V praxi se počet tažných operací nejčastěji určuje pomocí součinitele tažení. Pro řešenou součást ho lze pro jednooperační výrobu vypočítat podle vzorce (2.34)

$$m_1 = \frac{d_i}{D_0} = \frac{215}{422} = 0,51.$$

Součinitel tažení pro výrobu výtažku v jedné operaci je 0,51. Nyní je třeba tuto hodnotu porovnat podle určitých kritérií.

Po vyčíslení součinitele tažení je vhodná a rychlá kontrola dosazením do vzorce (2.37) pro počet tažných operací “ n_o ”

$$n_o = 1 + \frac{\ln d_i - \ln(m_1 \cdot D_0)}{\ln m'} = 1 + \frac{\ln 215 - \ln(0,51 \cdot 422)}{\ln 0,75} = 1,004.$$

Pomocí vzorce pro počet tažných operací vychází hodnota 1,004. Podle tohoto kritéria lze říci, že výroba na jednu tažnou operaci je možná.

Další možnost je porovnání vypočítaného součinitele tažení s mezním součinitelem odečteným z diagramu na obr. 22 (str. 25). Pro poměr

$$D_0/s_0 = 422/1,5 = 281$$

vychází pro ocelový plech mezní součinitel tažení pod 0,49. Protože je tato hodnota menší než vypočtená $m_1 = 0,51$, lze opět doporučit jednooperační výrobu.

V tabulce 4 (str. 26) jsou uvedeny doporučené hodnoty součinitelů tažení pro výtažky s přírubou. Po vyčíslení vztahů

$$d_p/d_s = 240/216,5 = 1,11 \quad s_0/D_0 \cdot 100 = 1,5/422 \cdot 100 = 0,36$$

je patrná velikost doporučeného součinitele tažení 0,54.

Ten je větší než vypočítaná hodnota $m_1 = 0,51$. Zde se jednooperační výroba nedoporučuje.

V tabulce 5 (str. 26) od stejného autora se vychází ze stejných poměrů jako v předchozím případě. Lze tedy očekávat i podobný výsledek. Posuzovaným kritériem je poměr h/d_s . Hodnoty v tabulce vychází v rozsahu 0,53 až 0,45. Tomuto odpovídá maximální doporučená hloubka výtažku pro první tah

$$h = 0,53 \cdot 216,5 = 115 \text{ mm.}$$

Řešený výtažek má hodnotu $h_s = 148,5 \text{ mm}$. Jednooperační výroba se zde tedy nedoporučuje.

Poslední řešené kritérium je grafický výstup na základě již řešených geometrických poměrů. Jde o limitní diagram technologické tvařitelnosti (LDTT) pro výtažky s přírubou z obr. 23 (str. 27). Polohy jednotlivých křivek odpovídají poměru $d_p/d_s = 1,11$, tzn. pro řešený výtažek jde o horní křivku. Na ose ve směru “x” je vynesena hodnota

$$d_s/s_0 = 216,5/1,5 = 144.$$

Po vyhodnocení těchto výsledků lze z osy ve směru “y” odečíst hodnotu $h_s/d_s = 0,59$. Stejným přístupem jako u vzorce () se vypočítá maximální hloubka výtažku 128 mm. V porovnání s řešenou $h_s = 148,5 \text{ mm}$ docházíme ke stejnému závěru jako u předchozích dvou řešení.

Pro rozhodnutí o počtu tažných operací bylo provedeno mnoho kritérií. Podle některých lze jednooperační výrobu schválit, podle jiných lze při této výrobě očekávat problémy. Jednu věc mají všechny uvedené vzorce společnou, a to neuvažování taženého materiálu a jeho charakteristik. Podle kapitoly 3.2 Vyhodnocení taženého materiálu je zřejmé, že řešená korozivzdorná ocel 1.4301 má výrazně lepší materiálové charakteristiky než hlubokotažné oceli podle ČSN, na kterých byla kritéria posouzení počtu operací prováděna.

S uvážením využití moderního hydraulického lisu (např. přesné nastavení přidržovací síly podle polohy tažníku) a všech pomocných faktorů z kapitol 3.1, 3.2 a 3.3 bude proveden návrh jednooperační sériové výroby daného výtažku.

3.7 Tvářecí stroj

Stávající výroba probíhá na moderním hydraulickém lisu Dieffenbacher PO250. Upínání nástrojů je magnetické. Příbyslavská firma ACO byla první v republice, která si tento způsob upínání pořídila. Od toho se odvíjí návrh materiálu i rozměrů upínacích desek. Firma standardně používá materiál podle ČSN 41 1500. Upínací deska na stole lisu má rozměry 750 x 590 mm. Minimální hodnoty upínací desky na beranu jsou 360 x 200 mm. Tloušťka desek musí být alespoň 25 mm, aby bylo zaručené bezpečné magnetické uchycení nástrojů.

Na lisu lze snadno regulovat proměnnou velikost přidržovací síly v závislosti na zdvihu beranu. Rovněž hodnotu tažné rychlosti lze nastavit. Základní údaje jsou uvedeny v tab. 19. Uvedené sevření je ve skutečnosti menší než udává tab. 19 (o 109 mm, viz příloha 5), kvůli upnutí magnetických desek. Další informace uvedeny též v příloze 5. Lis je vybaven snímači vynaložené síly (jeden snímač pro sílu na beranu a druhý pro sílu spodního přidržovače).

Navržená jednooperační výroba bude taktéž probíhat na tomto lisu.

Tab. 19 Základní parametry použitého lisu PO250

Beran	
Maximální lisovací síla	2 500 kN
Zdvih	650 mm
Sevřená výška	350 mm
Rozměry pracovního prostoru	
Upínací plocha stolu a rozměry beranu	1200 x 1200 mm
Spodní přidržovač	
Maximální přidržovací síla	1 500 kN



3.8 Volba funkčních částí tažného nástroje a tažné mezery

Návrh poloměru zaoblení tažnice “ r_{te} “, zaoblení tažníku “ r_{tu} “ a tažné mezery “ z “ mají značný vliv na úspěšné zvládnutí tažné operace. Proto je pro jejich určení v literaturách mnoho předpokladů a vzorců. Při návrhu zaoblení tažníku a tažnice je také nutné respektovat funkční požadavky hotového výtažku. To je případ řešené součásti, kdy se hotová vpusť kompletuje s dalšími komponentami odlučovacího systému a žádné výrazné změny v rozměrech výtažku nejsou přípustné.

Hodnotu poloměru zaoblení tažnice lze určit podle několika následujících možností. Podle tabulky 11 (str. 30) pro výrobu výtažku s přírubou se vychází z již dříve vypočítané hodnoty

$$s_0/D_0 \cdot 100 = 0,36. \text{ Poloměr zaoblení potom vychází}$$

$$(15 \text{ až } 20) \cdot s_0 \Rightarrow (15 \text{ až } 20) \cdot 1,5 \Rightarrow r_{te} = 22,5 \text{ až } 35 \text{ mm.}$$

Podle tabulky dle [10] vychází korektní hodnota zaoblení mezi 22,5 až 35 mm.

Norma ČNS vychází pro hodnotu zaoblení přímo z rozsahu podle (2.44)

$$r_{te} = (6 \text{ až } 10) \cdot s_0 \Rightarrow (6 \text{ až } 10) \cdot 1,5 \Rightarrow r_{te} = 9 \text{ až } 15 \text{ mm.}$$

Podle normy ČSN je “ r_{te} “ vhodné volit 9 až 15 mm. Další přístup lze uplatnit pomocí (2.45)

$$r_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d_s) \cdot s_0} = 0,8 \cdot \sqrt{(422 - 216,5) \cdot 1,5} = 14 \text{ mm.}$$

Výpočet pomocí tohoto vzorce odpovídá horní hodnotě podle ČSN. Poslední přístup vychází z grafického určení řešeného poloměru z obr. 26 (str. 31). Vychází se zde znovu z $s_0/D_0 \cdot 100 = 0,36$. Po vynesení této hodnoty na “ x “ souřadnici dojde pro výtažky s přírubou k určení rozsahu $r_{te}/s_0 = 16$ až 23. Vyjádření poloměru tažnice odpovídá hodnotám

$$r_{te} = (16 \text{ až } 23) \cdot s_0 \Rightarrow (16 \text{ až } 23) \cdot 1,5 \Rightarrow 24 \text{ až } 34,5 \text{ mm.}$$

Tento rozsah odpovídá hodnotám z tabulky 11. Pomocí jednotlivých přístupů se dostávají odlišné výsledky. Tab. 11 a diagram z obr. 26 jsou přednostně určeny pro výtažky s přírubou, zbylé dva přístupy toto zřejmě nerozlišují.

V řešeném případě je však nutné vycházet z aktuální podoby výtažku. Vnější zaoblení u příruby (což odpovídá zaoblení tažnice) je momentálně 6 mm, šířka příruby po ostřížení je 5 mm. V další fázi kompletace odvodňovací soustavy je na přírubu přivařena další komponenta (rošt), a to tupým svarem. Po poradě ve firmě bylo dohodnuto, že je možné zvětšit tento poloměr na $r_{te} = 8$ mm. Výkres výtažku přiložen ve složce výkresů na konci této práce (společně s ostatními výkresy), DP-5061-2012-VV. Podle vypočítaných doporučených zaoblení pro výtažky s přírubou je toto značně menší, ale konstrukce výtažku větší zaoblení neumožňuje. Tímto lze předpokládat větší tažnou sílu, nemělo by však hrozit zvlnění příruby.

Tímto zásahem do konstrukce také dochází ke změně plochy výtažku, resp. výchozího přístřihu. Průměr rondelu pro aktuální stav vychází podle programu Inventor 420,71 mm. Tímto dojde ke snížení vypočítaného průměru rondelu proti stávajícímu řešení asi o 0,8 mm. Reálně však bude potřebný rondel vybrán až při optimalizaci u lisu. Návrhy průměrů rondelů z tab. 16 tedy není třeba upravovat a nadále se bude počítat s $D_0 = 422$ mm.

Poloměr zaoblení tažníku “ r_{tu} “ je v praxi omezen pouze minimální hodnotou. Pokud by podle tab. 12 (str. 32) vyšel větší poloměr zaoblení než je požadovaný, je nutné zařadit kalibrační operaci. Podle zmíněné tabulky je pro průměr výtažku nad 200 mm uveden rozsah

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

Při zaoblení větším než 10,5 mm není třeba dodatečně zařadit kalibrační operaci. Řešený výtažek má momentálně vnitřní zaoblení u dna (zaoblení tažníku) 15 mm, což vyhovuje danému požadavku. Toto zaoblení zůstane nezměněné, protože stávající tažník pro druhý tah by šel využít rovněž i pro jednooperační výrobu.

Volbu tažné mezery “ z “ lze taktéž provést dle více přístupů. Pokud bude malá, hrozí utržení dna. V opačném případě se mohou tvořit sekundární vlny. Podle ČSN se pro první tažnou operaci vychází ze vzorce (2.40)

$$z = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot s_0 \Rightarrow (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot 1,5 \Rightarrow 1,8 \text{ až } 1,95 \text{ mm.}$$

Podle ČSN by tažná mezera měla být volena nejlépe v rozsahu 1,8 až 1,95 mm. Oehlerův přístup ukazuje vztah (2.43), kde je zohledněn i tažený materiál

$$z = s_{0\max} + j \cdot \sqrt{10 \cdot s_0} = 1,5 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot 1,5} = 1,77 \text{ mm.}$$

$s_{0\max}$, což je maximální hodnota plechu s tolerancí, je v tomto případě volena rovněž 1,5 mm. Bylo proměřeno mnoho plechů (pro tahovou zkoušku, Erichsenovu zkoušku, proměřené dno po první tažné operaci), pro všechny vycházela odchylka od jmenovitého rozměru max. 0,01 mm. Podle Oehlera je hodnota tažné mezery 1,77 mm.

Při uvážení obou těchto výpočtů je volena tažná mezera $z = 1,8 \text{ mm}$.

3.9 Použití přidržovače, přidržovací síla, tažná síla

Přidržovač bývá součástí tažných nástrojů, hrozí-li zvlnění okrajů výtažků, v tomto řešeném případě zvlnění příruby. K tomuto dochází zejména při tažení tenkého plechu a při velkých deformacích (malých součinitelích tažení). Z těchto předpokladů lze očekávat nutnost použití přidržovače pro danou jednooperační výrobu.

Reálně lze o potřebě přidržovače rozhodnout na základě několika podmínek podle různých autorů. Freidlingův přístup vychází ze vztahu podle vzorce (2.48)

$$\Delta s = \frac{s_0}{D_0} \cdot 100 = \frac{1,5}{422} \cdot 100 = 0,36.$$

Přidržovač je nutné použít v případech, kdy $\Delta s < 1,5$. Protože vypočítaná hodnota této podmínky vyhovuje, $0,36 < 1,5$, podle Friedlinga je přidržovač pro danou operaci nutný.

Šofman posuzuje nutnost přidržovače pomocí podmínky dle vztahu (2.49)

$$D_0 - d_s \leq 18 \cdot s_0 \Rightarrow 422 - 216,5 \leq 18 \cdot 1,5 \Rightarrow 205,5 \leq 27.$$

Protože daná nerovnost není splněna, Šofman rovněž doporučuje použití přidržovače.

Norma ČSN 22 7301 se opírá o vzorec (2.50)

$$\alpha = 50 \cdot \left(g - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{1,5}}{\sqrt[3]{422}} \right) = 86,8.$$

Tento výsledek je nutné porovnat s následující podmínkou. Pokud platí, je přidržovač nutný.

$$\alpha \geq 100 \cdot d_s / D_0 \Rightarrow 86,8 \geq 100 \cdot 216,6 / 422 \Rightarrow 86,8 \geq 51,3.$$

Protože je podmínka splněna, i tento vztah volbu přidržovače schvaluje.

Na základě výsledků všech tří přístupů lze potvrdit očekávaný verdikt, tedy použití přidržovače pro danou tažnou operaci. S tímto rozhodnutím je spojena nutnost volby přidržovacího tlaku “ p_p “, resp. přidržovací síly “ F_p “.

Ze zkušeností firmy ACO je pro první (zde jediný) tah vhodné, aby průběh přidržovací síly odpovídal stavu na obr. 39. To znamená nárůst přidržovací síly až do bodu zlomu tažné síly a následný pokles. Jak již bylo napsáno, řídicí systém hydraulického lisu dovoluje nastavovat velikost tažné síly pro kterýkoli místo zdvihu.

Velikost přidržovací síly bude spočítána pro aktuální hloubku výtažku v průběhu tažení, kdy se podle teorie předpokládá největší hodnota tažné síly. Tohoto se následně využije pro výpočet maximální tažné síly pro danou tažnou operaci. Hledaná hloubka odpovídá (2.7)

$$h_{F\max} = r_{tu} + r_{te} + s_0 = 8 + 15 + 1,5 = 24,5 \text{ mm.}$$

Pro výpočet přidržovací síly je nutné znát plochu styku přidržovače a taženého materiálu “ S_p “ pro uvedenou hloubku (viz obr. 14). K tomu je třeba znát aktuální průměr příruby “ D “. Došlo k sečtení dílčích ploch výtažku (zaoblení u příruby, u dna a plocha pláště výtažku o výšce 1,5 mm), které jsou při teoreticky největší tažné síly již přetvořené. Tato sečtená hodnota se

odečetla od plochy výchozího rondelu, následně lze vyčíslit hledanou hodnotu $D = 379$ mm. Plocha “ S_p ” pro řešený stav se vypočítá podle vztahu (3.20).

$$S_p = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_{\text{mpi}}^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (379^2 - 234^2) = 69\,810 \text{ mm}^2, \quad (3.20)$$

kde d_{mpi} je vnitřní průměr příruby pro nový stav = 234 mm.

Činná plocha styku přidržovače a plechu pro uvedenou hloubku výtažku je $69\,810 \text{ mm}^2$.

Z tab. 13 (str. 33) je volen přidržovací tlak pro $s_0 = 1,5$ mm $p_p = 2,7$ MPa, což odpovídá tvrdému ocelovému plechu. Přestože tažený materiál vykazuje hlubokotažné chování, díky velkým hodnotám mechanických vlastností je nutné ho klasifikovat jako tvrdý materiál.

Přidržovací síla se potom vypočítá podle vzorce (2.47)

$$F_p = S_p \cdot p_p = 69\,810 \cdot 2,7 = 188\,487 \text{ N}.$$

Přidržovací síla při teoreticky maximální hodnotě tažné síly vychází 188 487 N. Z této hodnoty se vyjde při výpočtu maximální tažné síly. Jaká bude skutečně potřebná přidržovací síla se zjistí až při testování výroby.

Důležitost správného nastavení přidržovací síly je patrná z obr. 48. Uvedené stavy výtažků jsou zachyceny po druhé tažné operaci. Na obrázku vlevo probíhalo tažení při příliš velké přidržovací síle. Tím



Obr. 48 Příklady nevhodně zvolené přidržovací síly

z důvodu působení vysokých tahových napětí došlo k výraznému zeslabení stěny a následnému utržení dna v kritickém místě. Na obrázku vpravo je nastavena malá přidržovací síla při tvorbě příruby, proto vzniká zvlnění. Při jednooperačním tažení kvůli vhodnějšímu tvaru přidržovače pro tvorbu příruby nevzniká takto výrazné zvlnění.

Pro navrženou jednooperační výrobu je důležité znát maximální tažnou sílu. Následně dojde k porovnání se silou na utržení dna. Zprvu je nutné vyčíslit hodnotu maximálního deformačního odporu podle vzorce (2.21)

$$\sigma_{d\max} = \sigma_{ps} \left[\xi \cdot \ln \frac{R}{\rho} + \frac{f \cdot F_p}{\pi \cdot \sigma_{ps} \cdot R \cdot s_0} + \frac{s_0}{2r_{te} + s_0} \right] (1 + 1,6f)$$

$$664 \cdot \left[1,1 \cdot \ln \frac{189,5}{108,25} + \frac{0,12 \cdot 188487}{\pi \cdot 664 \cdot 189,5 \cdot 1,5} + \frac{1,5}{2 \cdot 8 + 1,5} \right] \cdot (1 + 1,6 \cdot 0,12) = 585 \text{ MPa},$$

kde ρ je poloměr v řešeném místě výtažku $= d_s/2 = 108,25$ mm

f je součinitel tření = 0,12.

Maximální deformační odpor vychází 585 MPa. To odpovídá nejméně příznivému stavu, který může během tažení nastat. Za střední hodnotu přirozeného přetvárného odporu je dosazena nižší hodnota meze pevnosti z tahové zkoušky.

Maximální tažná síla potom vychází podle vzorce (2.22)

$$F_t = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot \sigma_{d\max} = \pi \cdot 216,5 \cdot 1,5 \cdot 585 = 596\,836 \text{ N}.$$

Maximální tažná síla pro jednooperační tažení vychází 596 836 N. Tu lze nyní porovnat se silou na utržení dna podle (2.8). Součinitel “ c ” tento výpočet opět neovlivňuje, $c = 1$.

$$F = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot R_m \cdot c = \pi \cdot 216,5 \cdot 1,5 \cdot 664 \cdot 1 = 677\,434 \text{ N}.$$

Síla na utržení dna je 677 434 N. Po ověření podmínky $F_t < F \Rightarrow 596\,836 \text{ N} < 677\,434 \text{ N}$

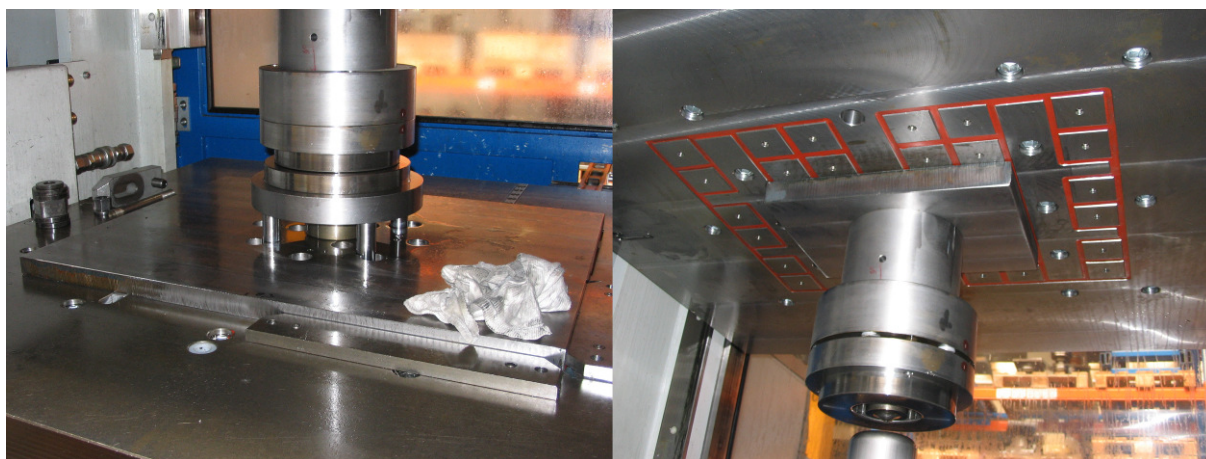
Lze konstatovat, že v dané jednooperační výrobě by utržení dna hrozit nemělo. Je uvažována neměnná tloušťka plechu $s_0 = 1,5$ mm, protože není možné určit skutečné ztenčení plechu.

V této kapitole došlo k potvrzení nutnosti tažení s přidržovačem. Byla spočítána přidržovací síla a předpokládaná maximální tažná síla. Po výpočtu této síly došlo k jejímu porovnání se silou na utržení dna. Ta vyšla o více jak 80 kN větší než tažná, proto lze předpokládat úspěšný průběh tažné operace.

3.10 Konstrukce tažného nástroje [29], [30]

Při návrhu nástroje je třeba vycházet z obvyklých konstrukcí tažných nástrojů ve firmě ACO. Firma nemá vlastní nástrojárnu, pro všech přibližně deset vyráběných typů výtažků vyrábí nástroje stále stejná firma. Je tedy třeba respektovat určité předpoklady a zvyky.

Od toho se odvíjí volba materiálů. Funkční části nástroje jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19 573 (výchozí materiál ve stavu 19 573.3), jsou zakaleny a popuštěny na 60 – 62 HRC. Ostatní části jsou vyrobeny z materiálu 11 500. Ten vyhovuje i konstrukci upínacích desek, které jsou ke stroji připevňovány magneticky. Způsob upínání je zobrazen na obrázku 49. Vlevo je znázorněna základová deska na stole, v pravé části je beran s nástrojem. Kvůli bezpečnému upnutí (dostatečné síle) je nutné dodržet minimální požadované rozměry desek, viz kap. 3.7 a příloha 5. Pro obě desky je zvolena tloušťka 35 mm a požadované zkosení dosedacích hran $2 \times 45^\circ$.



Obr. 49 Magnetické upínání nástroje na stůl a beran lisu

Navržený nástroj je třeba zkontrolovat proti hrozícím mezním stavům. V případě tažníku jde zpravidla o kontrolu vzpěrné stability a otláčení. Pro navržený tažník je poměr otevřené délky (220 mm) ku průměru ($d_1 = 215$ mm) přibližně roven jedné. Mezní stav vzpěrné stability tedy v tomto případě nehrozí. Kontrole na otláčení odpovídá vzorec

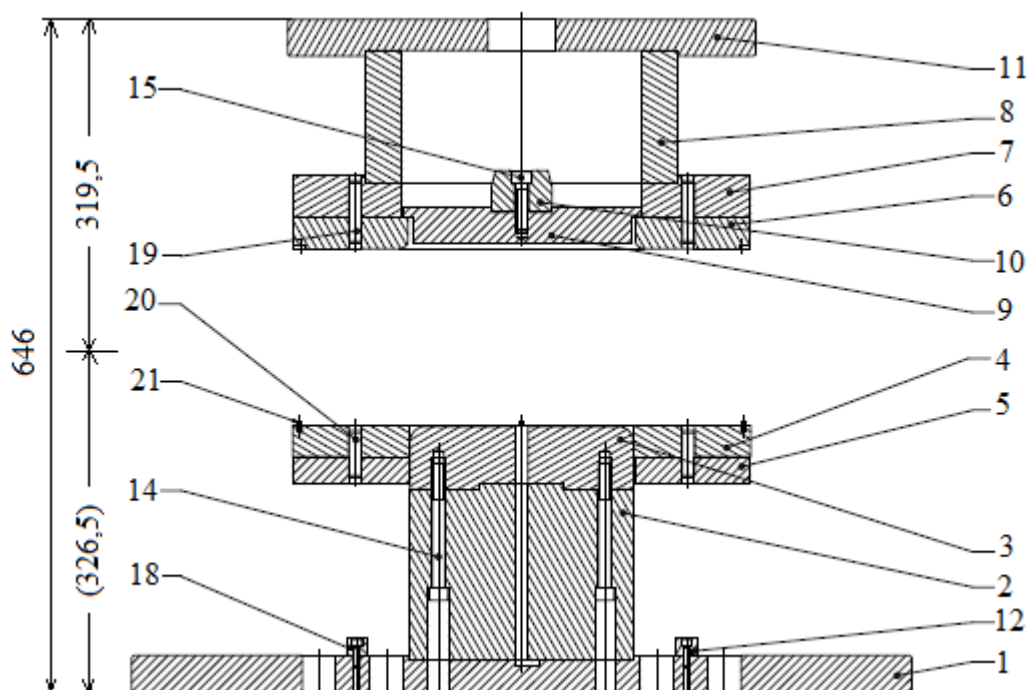
$$p_{otl} = \frac{4 \cdot F_t}{\pi \cdot d_1^2} = \frac{4 \cdot 596836}{\pi \cdot 215^2} = 16,4 \text{ MPa.} \quad (3.21)$$

Tlak na otláčení “ p_{otl} ” musí být menší než dvojnásobná hodnota dovoleného napětí v tahu (meze kluzu). Tu není třeba ani vyčíslit, protože uvedená podmínka je určitě splněna. K degradaci nástroje vzpěrnou stabilitou ani otláčením tedy nedojde.

3.10.1 Montáž nástroje a popis tažného procesu

Tažný nástroj lze rozdělit na horní a dolní část. Horní část se skládá z horní desky (poz. 11), tažnice (sestavená z pozic 6, 7 a 8) a vyhazovače (9 a 10). Dolní část prezentuje základová deska (1), tažník (2 a 3) a přidržovač (4 a 5). Při montáži spodního nástroje je tažník (2 a 3) usazen do vybrání v základové desce (1) a sešroubován. Přesné spojení obou částí tažníku je zaručeno vyrobeným osazením v nástavci tažníku (2) a tomuto tvarově

Nástroj ve výchozí poloze je znázorněn na obr. 50. Po uložení rondelu na přidržovač (4) nastane pohyb beranu s tažnicí. Asi 10 mm před dotykem tažnice s plechem dojde ke zpomalení beranu na požadovanou tažnou rychlost. Horní hrana přidržovače je ve výchozí poloze 1 mm nad čelem tažníku. Pohyb a požadovanou sílu přidržovače zajišťují tyče vedoucí od spodního hydraulického systému stroje. V základové desce (1) jsou pro ně zhotoveny otvory na dvou roztečných průměrech 260 a 390 mm (8 a 10 děr). Potřebný počet použitých tyčí se nastaví až při samotném tažném procesu. Během tažné operace přidržovač klesá společně s tažnicí. Až dosedne na dorazy (12), dojde k ukončení tahu. Poté se beran vrací zpět nahoru. Tyč horního vyhazovače se opře o čep vyhazovače (10) a setře výtažek z tažnice. Následně zajíždí zpět do beranu. Až je beran s tažnicí dostatečně vysoko, setře přidržovač výtažek z tažníku. Nástroje jsou tak ve výchozích pozicích, hotová součást je vyměněna za nový rondel a celý cyklus se opakuje.



Obr. 50 Tažný nástroj ve výchozím stavu

4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Navrženou jednooperační výrobou pro řešený výtažek dojde k eliminaci jedné tažné operace, a tedy k žádané finanční úspoře. Firma ACO si nepřeje, aby v této veřejné práci byly uvedeny výrobní náklady na výtažek, ani cena za hotový dílec kanalizační vpusti. Tyto součásti nemají pevně danou katalogovou cenu, s každým zákazníkem se řeší prodejní cena individuálně. Počet výtažků vyrobených za rok “VR” se pohybuje kolem 2 000 kusů již několik let. Současná výroba se předpokládá i v následujících letech.

Ekonomický přínos navržené jednooperační výroby lze vyčíslit pomocí ceny za hodinu provozu lisu a práce obsluhy “LH” (sazba za pracoviště), která činí 600 Kč. Prakticky dojde k vyčíslení úspory kvůli odstranění jedné tažné operace. Čas tažného cyklu “ t_c ” (čas pohybu beranu z výchozí polohy do potřebné polohy k vytvoření výtažku a zpět) je pro aktuální první tah podle záznamů lisu 26 s. Včetně obsluhy stroje a výměny rondelu za vytažený kus bude počítáno s celkovým časem na zhotovení výtažku v první operaci $t_c = 40$ s. Oproti stávající výrobě tudíž dojde ke zkrácení výrobního času jednoho výtažku o 40 s. Finanční úspora “ u_1 ” z tohoto důvodu na zhotovení jednoho výtažku se vypočítá

$$u_1 = \frac{LH}{\frac{3600}{t_c}} = \frac{600}{\frac{3600}{40}} = 6,7 \text{ Kč/ks.}$$

Eliminací jedné tažné operace při výrobě dojde k úspoře na jednom výtažku 6,7 Kč.

Firemní politikou je nevyrábět „na sklad“. K tažení dochází až na základě poptávky, tj. není vytaženo všech 2 000 kusů na jedno upnutí nástrojů. Lze předpokládat průměrně pět výměn nástrojů ročně ($n_v = 5$). Při uvažování doby jedné výměny a správného nastavení nástrojů asi 30 minut ($t_v = 1\,800$ s) dojde k dalšímu ekonomickému přínosu z důvodu jednooperační výroby. Zde se úspora na kus “ u_2 ” počítá rovněž ze sazby za pracoviště “LH”

$$u_2 = \frac{n_v \cdot \frac{t_v}{3600} \cdot LH}{VR} = \frac{5 \cdot \frac{1800}{3600} \cdot 600}{2000} = 0,75 \text{ Kč/ks.}$$

Odstraněním jedné výměny nástrojů při tažení každé z pěti dávek ročně dojde k úspoře 0,75 Kč za kus. Sečtením obou těchto úspor se dostane celková úspora jednooperační výroby

$$u = u_1 + u_2 = 6,7 + 0,75 = 7,45 \text{ Kč/ks.}$$

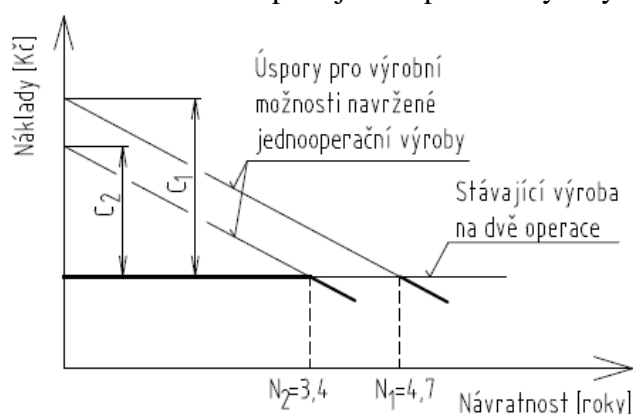
Navrženou výrobou by došlo k finanční úspoře 7,45 Kč pro jeden výtažek.

Výrobní cena nových částí tažného nástroje pro novou jednooperační výrobu (tažník, tažnice a přidržovač) je přibližně $C_1 = 70\,000$ Kč. K další úspoře by došlo, pokud by se pro novou výrobu použil tažník ze stávající druhé tažné operace. Pořizovací cena za nástroj by tímto klesla na hodnotu kolem $C_2 = 50\,000$ Kč.

Návrstnosti pro obě možnosti výroby nástrojů jsou znázorněny na obrázku 51.

Stávající dvouoperační výrobu prezentuje vodorovná čára. Od této hodnoty jsou vyneseny obě možné pořizovací ceny “ C_1 ” a “ C_2 ”. Jednooperační výrobou dochází ke snižování výrobních nákladů na základě předchozích výpočtů, tomu odpovídá pokles přímek. Při využití tažníku ze stávající druhé tažné operace dojde k bodu zlomu za necelých 3,4 roků. V případě kompletní nové výroby všech funkčních částí tažného nástroje dojde k finanční návratnosti za 4,7 roků.

Přestože jsou čísla uvedených návratností poměrně vysoká, z důvodu předpokládané výroby pro mnoho dalších let je navržená změna výroby efektivní i z ekonomického hlediska.



Obr. 51 Návrstnost investice do výroby nástrojů

5 ZÁVĚR

Řešená součást slouží jako kanalizační vpust' odvodňovacích systémů. V současné době je vyráběna technologií tažení bez ztenčení stěny na dvě tažné operace s využitím konvenčních nástrojů. Výrobek lze klasifikovat jako jednoduchý válcový výtažek s přírubou. Použitý materiál je korozivzdorná Cr – Ni austenitická ocel 1.4301 (ČSN 17 240, AISI 304).

Po uvážení možných technologií vhodných pro výrobu dané součásti bylo rozhodnuto, že optimální výrobní technologií bude opět tažení konvenčním nástrojem bez ztenčení stěny. K tomuto rozhodnutí se dospělo na základě vhodnosti pro danou výrobu, strojního vybavení firmy a hygienických požadavků zákazníků.

Tahovou a Erichsenovou zkouškou hlubokotažnosti byla ověřena vhodnost stávajícího materiálu pro tažení. Po zhotovení vpusti dochází ke spojování s dalšími díly odvodňovací soustavy svařováním, díky nízkému obsahu uhlíku je k tomuto materiál rovněž vhodný. Proto není třeba jej měnit. Došlo k proměření měnících se tloušťek po stávající první i druhé tažné operaci. Byla provedena simulace pro první tažnou operaci stávající výroby. Po vyhodnocení dat z hydraulického lisu Dieffenbacher PO250 byly určeny tažné síly pro obě operace. Následně byly porovnány s přesně vypočítanými silami na utržení dna, ve kterých bylo zohledněno ztenčování stěn.

Došlo k výpočtu tažné síly a síly na utržení dna pro možnou jednooperační výrobu. Síla na utržení dna je přibližně o 80 kN větší než tažná, z čehož je patrná jistá rezerva a k defektu by nemělo dojít. Pomocí všech praktických výstupů a teoretických vztahů pro určování počtu tažných operací byla navržena jednooperační sériová výroba daného výtažku. Bude probíhat opět na uvedeném hydraulickém lisu Dieffenbacher PO250.

Pro novou jednooperační výrobu byl navržen a zkonstruován potřebný tažný nástroj. Při výrobě všech funkčních částí nástroje (tažník, tažnice, přidržovač) dojde při zachování současné produkce 2 000 ks ročně k návratnosti investice do nástroje za 4,7 roku. Je možnost vycházet v novém návrhu výroby ze stávajícího tažníku z druhé tažné operace. Tím by investiční náklady klesly a k návratnosti by došlo již za 3,4 roku.

Uvedenou výrobní změnou dojde ke zefektivnění výroby včetně ekonomického přínosu. Výroba těchto vpustí se předpokládá i v horizontu dalších mnoha let, tudíž poměrně dlouhá doba návratnosti není překážkou pro zavedení nové sériové výroby.

Seznam použité literatury [2]

1. STANĚK, Vojtěch. *Perspektivy objemového tváření za tepla* [online]. Brno, 2010 [cit. 2012-02-11]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=29276. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
2. *Citace* [online]. 2012 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/>
3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tvaření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
5. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
6. SAMEK, Radko a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 134 s. ISBN 978-80-214-4220-7.
7. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
8. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje. Část I.-Tváření*. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1987, 112 s.
9. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 196 s.
10. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: SNTL, 1959, 537 s.
11. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994, 229 s.
12. FOREJT, Milan. *Teorie tváření: Návod do cvičení*. [online]. 2004, s. 84 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/teorie_tvareni_navody_do_cviceni_forejt.pdf.
13. Akademie tváření: Hluboké tažení. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, č. 11 [cit. 2012-01-23]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni.html>
14. *Prezentace firmy ACO Industries*. 2012.
15. *Atest tažené oceli 1.4301*. Isbergues, Francie, 2012-03-07.
16. ČSN 41 7240. *Korozivzdorná austenitická ocel: ocel 17 240*. 2012.
17. *Technologie II: Technologie plošného tváření - tažení* [online]. Liberec, 2008 [cit. 2012-02-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp_sekce/09.htm
18. *Gleit: Maziva pro hluboké tažení* [online]. 2011 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://www.wessely.co.at/joomla/index.php/cs/specialni-maziva/maziva-pro-hluboke-taeni?fb4c5723cb7e7b16ea2fb043e8d549d1=52e0de8863c791e7b9d7bd373c20c658>
19. *Deep Drawing: Benefits and Industrial Applications* [online]. 2012 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: <http://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/deep-drawing>
20. *MORA* [online]. 2012 [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: <http://www.mora.cz/hluboky-pekac-smaltovany/>
21. *Sheet Metal Forming* [online]. 2009 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-forming>

22. *Lighting Resources INDIA PVT. LTD.* [online]. 2012 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://ecdsin.tradeindia.com/deep-drawn-sheet-metal-parts-296053.html>
23. *Plošné tváření* [online]. 2007 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/kapitola_4.htm
24. *Tefal* [online]. 2012 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.tefal.cz/All+Products/Cookware/Stainless+steel+cookware/Products/Pro+Series/Pro+Series.htm>
25. *Industrial Uses of Deep Drawn Brass* [online]. 2012 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: <http://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/deep-drawn-benefits>
26. *Vany: proč je stále milujeme?* [online]. 2012 [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: <http://www.prozeny.cz/magazin/bydleni-a-zahrada/koupelna/330-vany-proc-je-stale-milujeme?start=1>
27. DVOŘÁK, Milan a Jaromír KADLEC. Vlastnosti tenkých ocelových plechů s povlakem Sn ve vztahu k jejich chování v procesu tažení. In: *ShowPublikaceC.aspx* [online]. [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <https://appl.vojenskaskola.cz/Guarantee/Pages/PDF/ShowPublikaceC.aspx?ID=355da1c0-6ac4-4606-9301-81bcc717ed3d>
28. MOLLIKOVÁ. *Nauka o materiálu - distanční výuka* [online]. 2012 [cit. 2011-11-16]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/nomd/Index.html>
29. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. vyd. 2. Brno: CERM, 2007, 223 s. ISBN 978-80-7204-534-1.
30. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Základy konstruování*. 1. vyd. Brno: CERM, 2007, 203 s. ISBN 978-80-7204-535-8.
31. PETRUŽELKA, Jiří. *Tvařitelnost a nekonvenční metody ve tváření*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2000. ISBN 80-707-8727-9.
32. *304 Stainless Steel* [online]. 2012 [cit. 2011-11-20]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=abc4415b0f8b490387e3c922237098da&ckck=1>
33. *Invest tým* [online]. 2012 [cit. 2012-02-08]. Dostupné z: <http://kit-invest.tym.cz/ahf.html>
34. *The HF straight-seam weled pipe production line* [online]. 2012 [cit. 2012-02-13]. Dostupné z: <http://img.diytrade.com/cdimg/874827/12508312/0/1271388916.jpg>
35. *Triga oil s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: <http://www.triga-oil.cz/main.php?modul=katalog&table=12&tablename=&cache=1336080118&PHPSESSID=6o54149fg6pr8r8n9untbdutt7>

Seznam použitých symbolů

A	[J]	celková přetvárná práce
A ₈₀	[%]	tažnost (prodloužení)
A _j	[J.mm ⁻³]	měrná přetvárná práce
A _L	[-]	součinitel zohledňující délku výtažku
b	[mm]	jednotková šířka, b=1
B	[-]	součinitel zohledňující tloušťku taženého plechu
c	[-]	součinitel upravující sílu na utržení dna
C ₁	[Kč]	pořizovací cena funkčních částí nástroje
C ₂	[Kč]	pořizovací cena funkčních částí nástroje bez tažníku
D ₀	[mm]	průměr rondelu
d ₁	[mm]	průměr tažníku v 1. operaci
d ₂	[mm]	průměr tažníku v 2. operaci
d _d	[mm]	průměr dna výtažku
d _i	[mm]	vnitřní průměr řešeného výtažku
d _{npi}	[mm]	vnitřní průměr příruby pro nový stav
d _p	[mm]	průměr příruby výtažku
d _{pi}	[mm]	průměr na přechodu příruby do zaoblení
e	[-]	součinitele plnosti grafu tažení
F _i	[N]	i=1, 2, síla potřebná na utržení dna jednotlivých tahů
f	[-]	součinitel tření
F _f	[N]	třecí síla
F _L	[N]	tažná síla pro mechanický lis
F _p	[N]	síla přidržovače
F _t	[N]	tažná síla
g	[-]	materiálová konstanta
h	[mm]	aktuální výška výtažku
h ₁	[mm]	střední výška výtažku ve stávající první tažné operaci
h _{Fmax}	[mm]	výška výtažku, které odpovídá maximální tažná síla
h _p	[mm]	výška pláště mezi zaobleními u dna a příruby
h _s	[mm]	střední výška výtažku
HRC	[-]	tvrdost podle Rockwella
HV	[-]	tvrdost podle Vickerse
IE	[mm]	hloubka vtisku kuličky z Erichsenovy zkoušky

j	[-]	součinitel zohledňující vliv taženého materiálu
k	[-]	stupeň tažení
L_0	[mm]	původní měřená délka zkušebního tělíška
L_c	[mm]	polovina délky obrysu osově rozříznutého výtažku
LH	[Kč]	cena za hodinu provozu lisu a práce obsluhy
m	[-]	součinitel tažení
m'	[-]	střední součinitel tažení
M_0	[N.mm]	ohybový moment na hraně tažnice
n	[-]	součinitel pro výpočet velikosti tažné vůle
n_o	[-]	počet tažných operací
n_v	[-]	počet výměn nástrojů za rok
p_{otl}	[MPa]	tlak na otlačení
p_p	[MPa]	specifický tlak přidržovače (měrný přidržovací tlak)
r	[mm]	střední poloměr zaoblení na výtažku
R	[mm]	aktuální poloměr příruby v průběhu tažné operace
R_0	[mm]	poloměr rondelu
r_{dn}	[mm]	poloměr zaoblení u dna výtažku
Re	[MPa]	skutečná mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti materiálu v tahu
$R_{p0,2}$	[MPa]	smluvní mez kluzu
r_{pr}	[mm]	poloměr zaoblení u příruby výtažku
R_t	[mm]	poloměr těžiště poloviny obrysu výtažku
r_{te}	[mm]	poloměr zaoblení hrany tažnice (tažná hrana)
r_{tu}	[mm]	poloměr zaoblení hrany tažníku
R_p	[mm]	střední poloměr zaoblení plechu na tažnici
s_{0max}	[mm]	maximální tloušťka plechu dle tolerance
s_1	[mm]	napěchovaná tloušťka okraje výtažku
S_c	[mm ²]	celková plocha součásti
S_i	[mm ²]	dílčí plochy výtažku
s_{KR}	[mm]	tloušťka plechu v kritickém místě
S_p	[mm ²]	styková plocha přidržovače a přístřihu
t_c	[s]	čas tažného cyklu včetně výměny kusů
t_v	[s]	čas jedné výměny nástroje
u_1	[Kč/ks]	finanční úspora kvůli ušetření tažné operace

u_2	[Kč/ks]	finanční úspora kvůli ušetření výměny nástroje
V	[mm ³]	objem tažené součásti
V_d	[mm ³]	deformovaný objem materiálu
V_p	[mm ³]	přesunutý objem materiálu
VR	[ks]	počet výtažků vyrobených za rok
v_t	[mm/s]	tažná rychlost
z	[mm]	tažná mezera
Z	[%]	kontrakce (zúžení)
z_T	[mm]	osová souřadnice těžiště čtvrtkružnice

Δl	[mm]	prodloužení zkušebního tělíska při tahové zkoušce
ε	[-]	měrná deformace
ε_D	[-]	stupeň deformace
ζ	[-]	Lodeho součinitel
ρ	[mm]	poloměr výtažku v řešeném místě
σ_1	[MPa]	schematické radiální tahové napětí
σ_2	[MPa]	napětí ve směru tloušťky plechu
σ_3	[MPa]	schematické tangenciální tlakové napětí
σ_d	[MPa]	deformační odpor materiálu
σ_f	[MPa]	napětí s vlivem tření od přidržovače
σ_o	[MPa]	napětí s vlivem ohybu na tažné hraně
σ_p	[MPa]	přirozený přetvárný odpor
σ_{ps}	[MPa]	střední hodnota přirozeného přetvárného odporu
σ_t	[MPa]	tečné napětí (tangenciální tlakové napětí)
σ_z	[MPa]	tahová napětí ve výtažku
σ_ρ	[MPa]	radiální tahové napětí
φ	[-]	logaritmická deformace
φ_1	[-]	deformace v radiálním směru
φ_2	[-]	deformace tloušťky stěny (normálová)
φ_3	[-]	deformace v tangenciálním směru
φ_{max}	[-]	maximální logaritmická deformace
ω	[rad]	poloviční úhel vrcholového úhlu čtvrtkružnice

Seznam příloh

Příloha 1	Atest taženého materiálu 1.4301
Příloha 2	Materiálový list oceli podle ČSN 41 7240
Příloha 3	Kompletní tabulky proměřených tloušťek výtažků pro oba tahy
Příloha 4	Grafický výstup určení průměru rondelu pólovou metodou
Příloha 5	Parametry tvářecího stroje

Příloha 1 Atest taženého materiálu 1.4301

 aperam Aperam - Stainless France Aperam Industries 62330 Isbergues FRANCE		MILL CERTIFICATE BS EN 10204/3.1 CERTIFICAT DE RECEPTION NF EN 10204/3.1 ABNAHMEPRUEFZEUGNIS DIN EN 10204/3.1		N-Nr-N 1210181816-01 V01																																																																																	
		Ausgestellt im Einvernehmen mit dem TÜV SÜD - Auf Gegenzeichnung wird verzichtet Issued in accordance with TÜV SÜD - Verification is not required Établi en accord avec le TÜV SÜD - Dispense de contresignature A.D.2000 Merkblatt W0 - W2 - W10 - P83 V7/23 EC																																																																																			
ISO 9001 V2008 - ISO TS 16949 V2009 - ISO 14001 V 2004																																																																																					
Manufacturer's work order number N° de la commande usine productrice Werkauftragsnummer 80071877 /01-61202/1		Supplier's mark Cachet de l'expert Stempel des Werkzeugherstellers 		Purchaser and/or consignee Client et/ou destinataire Besteller und/oder Empfänger ITALINOX S.R.L. ZDEBRADSKA 58/59 251 01 RÍCANÝ JAZLOVICE RIP. TCIEQUE																																																																																	
Product - Produit - Erzeugnis COLD-ROLLED COIL BOBBIN LAMINÉ A FROID KALTGEWALZTES BAND				Purchaser's order number N° de commande client Kundenbestellnummer OUP 68/2011																																																																																	
				Customer article number N° article client Artikelnummer des Kunden																																																																																	
Steel designation Désignation de l'acier Stahlbezeichnung EN 10028-7 /08 - 1.4307 - 1.4301 ASTM A 340 / 10 - TYPE 304L - TYPE 304 ASME SA 340 / 10 - TYPE 304L - TYPE 304 EN 10088-2 /03 - 1.4307 - 1.4301		Finish Présentation Anlieferung 2B 2B 2B		Product delivery condition Etat de livraison du produit - Lieferzustand Solution treated Hypertempe : 1040-1100 C Locustungsgelagertgeschreckt Forced Air Air forcé - Gebläse Luft																																																																																	
Identification of the product Identification du produit - Identifizierung des Erzeugnisses MELTED IN BELGIUM, MADE IN FRANCE		Dimensions Dimensions - Abmessungen Thickness Epaisseur - Dicke 1,500 mm		Number of pieces No de pièces - Stückzahl 1																																																																																	
Coil n. N.Bobine - Band Nr. 63367		Heat n. N.Coulée - Schmelz Nr. 202087		Width Largeur - Breite 1500,00 mm																																																																																	
		Length Longueur - Länge		Net weight Poids net - netto Gewicht 9960 KGS																																																																																	
CHEMICAL ANALYSIS - ANALYSE CHIMIQUE - CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>Ni</th> <th>Cr</th> <th>Mo</th> <th>Ti</th> <th>N</th> <th>S</th> <th>P</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Required /Dgté %mini</td> <td>0,030</td> <td>0,75</td> <td>1,00</td> <td>8,00</td> <td>18,00</td> <td></td> <td></td> <td>0,100</td> <td>0,0150</td> <td>0,045</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cast Analysis</td> <td>0,120</td> <td>0,48</td> <td>1,44</td> <td>8,00</td> <td>18,12</td> <td></td> <td></td> <td>0,070</td> <td>0,0130</td> <td>0,030</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Analysis coulée</td> <td>C71</td> <td>C72</td> <td>C73</td> <td>C74</td> <td>C75</td> <td>C76</td> <td>C77</td> <td>C78</td> <td>C79</td> <td>C80</td> <td>C81</td> <td>C82</td> <td>C83</td> <td>C84</td> <td>C85</td> </tr> <tr> <td>Analysis Schmelz</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Ti	N	S	P						Required /Dgté %mini	0,030	0,75	1,00	8,00	18,00			0,100	0,0150	0,045						Cast Analysis	0,120	0,48	1,44	8,00	18,12			0,070	0,0130	0,030						Analysis coulée	C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C79	C80	C81	C82	C83	C84	C85	Analysis Schmelz															
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Ti	N	S	P																																																																											
Required /Dgté %mini	0,030	0,75	1,00	8,00	18,00			0,100	0,0150	0,045																																																																											
Cast Analysis	0,120	0,48	1,44	8,00	18,12			0,070	0,0130	0,030																																																																											
Analysis coulée	C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C79	C80	C81	C82	C83	C84	C85																																																																						
Analysis Schmelz																																																																																					
Test to verify batch and quality have been carried out : OK Tous de vérification de la conformité de la nuance fusible : OK Verwechslungsprüfung wurde durchgeführt : OK																																																																																					
Location (1) Room temperature - Température ambiante - Raumtemperatur Test temperature (°C) :																																																																																					
Direction (2) Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehngrenze MPa R _{p0.2} % R _{p1} % R _m Elongation after fracture Allongement après rupt. Bruchdehnung % 80mm 50mm HRB C30 Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehngrenze MPa R _{p0.2} % R _{p1} % R _m Tensile str. Résist. MPa Zugfestigkeit Allongement Bruchdehnung % C11 C14 C12 C13 C15 C21 C16 C17 C18 C19																																																																																					
Impact strength test Essai de résilience Kerbschlagzähigkeitstest C40 C44 C42																																																																																					
Corrosion test Test de corrosion Korrosionstest EN ISO 3651-2 :OK C50 C51 C52 C53 C54 C55 C56 C57																																																																																					
Location of the sample (1) Emplacement de l'échantillon Lage des Probenabschnitte 1. First - Début - Anfang 2. Back - Fin - Ende 3. Middle - Milieu - Mitte C21																																																																																					
The delivery is in accordance with the order La fourniture est conforme aux exigences de la commande Die Lieferung entspricht den Bestellbedingungen Packing list Avis d'expédition Lieferscheinnummer 120207101007-15255 C21																																																																																					
Organisation inspection Organisme et/ou service contrôleur Überwachungsabteilung Service Métallurgique 07/02/2012 M. THOMAS The inspector Le responsable Der Werkstoffbeauftragte C22																																																																																					

Příloha 2 Materiálový list oceli podle ČSN 41 7240

Část 1

ČSN 41 7240

Korozivzdorná austenická ocel

OCEL

17 240

Chemické složení [hm. %]

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
max 0,07	max 2,0	max 1,0	17,0–20,0	9,0–11,5	max 0,045	max 0,030

Polotovary

[1] tyče

[2] plechy

[3] trubky bezešvé

[4] tlusté plechy

Mechanické vlastnosti

Polotovary	[1]			[2]		
Rozměr t, d [mm]	< 60	60–100	100–150	< 10	10–30	
Stav	.4			.4		
Mez kluzu R _p 0,2 [MPa] min	186			186		
Mez pevnosti R _m [MPa]	490–686			490–686		
Tažnost A ₅ [%] min	50	45	40	37	34	
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²] min	podél 196	podél 137 napříč 98	podél 98 napříč 68	–	podél 137 napříč 98	

Polotovary	[3]			[4]			
Rozměr t, d [mm]	do 89			30–80			
Stav	.4			.4			
Mez kluzu R _p 0,2 [MPa]	186			181			
Mez pevnosti R _m [MPa]	490–735			481–672			
Tažnost A ₅ [%]	40			37			
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²] min	–			podél 132 napříč 98			

Modul pružnosti E [GPa] za zvýšených teplot	20 °C	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C
	199	194	186	179	172	164	–

Nejnižší mez kluzu R _p 0,2 [MPa] za zvýšených teplot	20 °C	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	400 °C
	186	177	157	142	127	118	109	98

Fyzikální vlastnosti

Hustota ρ [kg.m ⁻³] . 10 ³ při 20 °C	Měrná tepelná kapacita c _p [J.kg ⁻¹ . K ⁻¹]	Tepelná vodivost λ _t [W.m ⁻¹ . K ⁻¹]	Rezistivita ρ [Ω.m]
7,9	500	14,7	730.10 ⁻⁹

Teplotní součinitel roztažnosti α [K ⁻¹] . 10 ⁻⁶	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C
	16	17	17	18	18

Příloha 2 Materiálový list oceli podle ČSN 41 7240

Část 2

Odolnost proti degradačním procesům								
ODOLNOST PROTI KOROZI odolnost proti plošné korozi – odolává kyselině dusičné, slabým roztokům organických kyselin; odolnost proti korozi lze zvýšit leštěním; tvářením zastudena se korozivzdornost mírně snižuje odolnost proti mezikrystalové korozi – ve srovnání s ocelí 17 241 odolává lépe; při aplikaci svaru v silném korozivním prostředí, nutno přezíhat celou součást s následujícím ochlazením na vzduchu								
ODOLNOST PROTI ŽÁRU na vzduchu do 850°C v oxidačním sirmém prostředí (obsahujícím SO ₂) do 750°C v redukčním sirmém prostředí (obsahujícím H ₂ S) do 600°C v páře do 750°C ve směsných plynech do 550°C								
ODOLNOST PROTI TEČENÍ Mez pevnosti při tečení v tahu [MPa] (střední hodnoty)								
Teplota [°C]	560	580	600	620	640	660	680	700
R _m /10 ⁴	163,8	142,2	121,6	104	87,3	72,6	60,8	48,1
R _m /3.10 ⁴	135,3	114,7	96,1	80,4	66,7	54,9	44,1	(35,3)
R _m /5.10 ⁴	122,6	103,0	85,3	71,6	57,9	47,1	(36,3)	(27,5)
R _m /10 ⁵	104,9	89,2	73,5	60,8	50,0	(40,2)	(30,4)	(22,6)
Technologické údaje								
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ rozpouštěcí žihání 1 020–1 080 °C ochlazovat podle tloušťky na vzduchu nebo ve vodě žihání ke snížení prnutí 850–950°C ochlazovat na vzduchu								
TVARITELNOST teploty tváření 1 150–850 °C ochlazovat na vzduchu								
SVAŘITELNOST zaručená doporučené přídavné materiály – elektroda VÚS-A3F								
OBROBITELNOST [1] [2] .4 soustružení, hoblování frézování, vrtání 9b 9b								
TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY zkouška hloubením podle Erichsena na 1 mm plechu 13								
Použití								
Austenitická, svařitelná, nestabilizovaná, korozivzdorná ocel vhodná pro chemické zařízení včetně tlakových nádob. Vhodná pro prostředí oxidační povahy pro silné anorganické kyseliny jen při velmi nízkých koncentracích a v oblasti normálních teplot. Lze ji použít též pro prostředí vyžadující vysokou čistotu produktu (farmaceutický a potravinářský průmysl).								
Ostatní vlastnosti								
Druh oceli podle způsobu výroby		Barevné značení podle ČSN 42 0010			Třída odpadu podle ČSN 42 0030			
elektroocel		červená–černá–želená			026			

Příloha 2 Materiálový list oceli podle ČSN 41 7240

Část 3

Porovnání se zahraničními materiály					
ISO		EURO		Německo	
Type 11	ISO 683/10-86	X5CrNi18-10	EN 10088/1-3,-95	X5CrNi18-10 X5CrNi18-10 X5CrNi18-10 X5CrNi18-10 X5CrNi18-10	DIN 17456-85 DIN 17440-85 DIN 17441-85 DIN 17458-85 DIN EN 10088 1-3-95
Francie		Velká Británie		Rusko	
Z6CNT18-09 X5CrNi18-10	NF A35-559-93 NF EN 10088/1-3-95	X5CrNi18-10 304S31 304S15	BS EN 10088/1-3-95 BS 1501/3-90 BS 1554-90	08Ch18N10	GOST 5632-72
USA		Japonsko		Kanada	
Type 304 Type 304F Type 304	ASTM A276-90 ASTM A182 ASTM A167	SUS304 SUSF304 SUS 304TKA	JIS G3448-88 JIS G3214-91 JIS G3446-91	–	–
Itálie		Rakousko		Švédsko	
X5CrNi 18-10 X5CrNi18-10 X5CrNi18-10KT X5CrNi18-10KG X5CrNi18-10 KW	UNI 6904-71 UNI EN 10088/1-3-95 UNI 7660-77 UNI 7660-77 UNI 7660-77	X5CrNi1810S X5CrNi1810KKW	ÖNORM M3210-86 ÖNORM M3121-91	2333-02 2332	SS142333 SS142332
Polsko		Maďarsko		Norsko	
OH18N9	PN H86020-71	K033	MSZ 4360-87	14350 14355 14360	NS 14350 NS 14355 NS 14360
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
X4CrNi189 X4CrNi189	SFS 725 SFS 725	–	–	X5CrNi1810 X5CrNi1810	UNE 36-087-89 UNE EN 10088/1-3-95
Austrálie		Čína		Rumunsko	
304 304	AS 1449-94 AS 2837-86	OCr18Ni9	GB 4239-91	5NiCr180	STAS 3583-87
Bulharsko		Brazílie		–	
OCh18N10	BDS 6738-72	E 304 V-304	Br. 400 Br. 800	–	

Příloha 3 Kompletní tabulky proměřených tloušťek výtažků pro oba tahy

Tabulka pro výtažek stávajícího prvního tahu

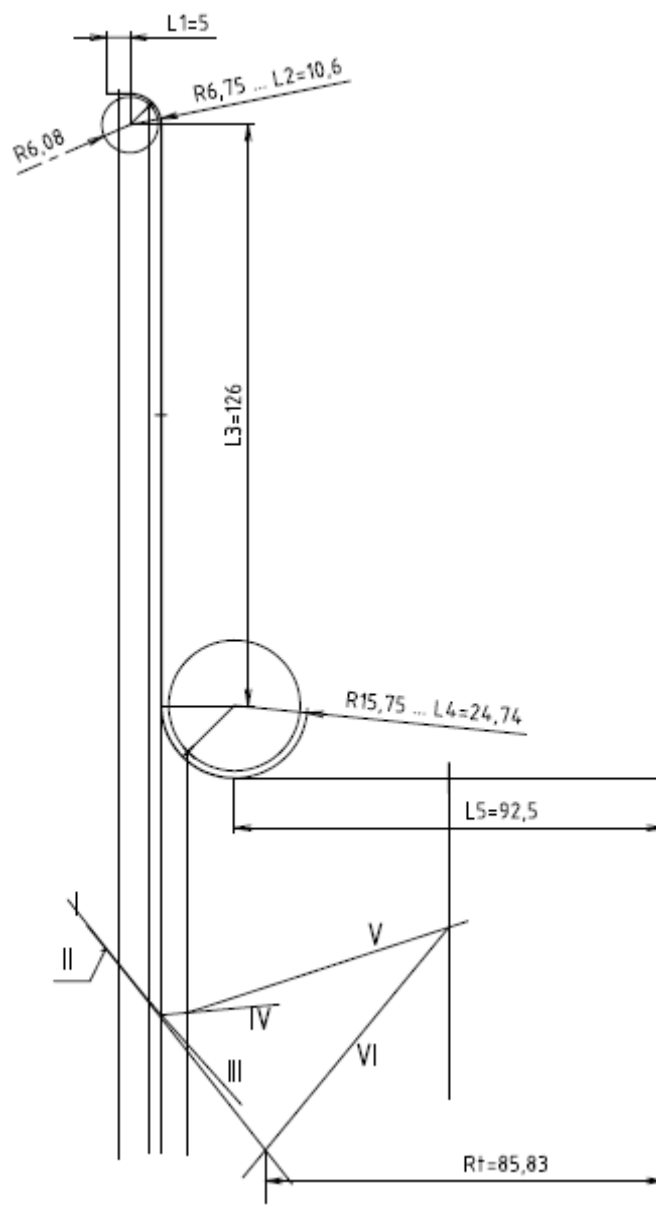
Měřený bod	Měření č. 1 [mm]	Měření č. 2 [mm]	Měření č. 3 [mm]	Průměrná hodnota [mm]	Odchylka v [%] od s_0
1	1,80	1,79	1,79	1,79	19,6
2	1,75	1,74	1,72	1,74	15,8
3	1,70	1,72	1,71	1,71	14,0
4	1,66	1,66	1,66	1,66	10,7
5	1,55	1,54	1,54	1,54	2,9
6	1,49	1,50	1,50	1,50	-0,2
7	1,47	1,46	1,47	1,47	-2,2
8	1,45	1,46	1,46	1,46	-2,9
9	1,44	1,46	1,45	1,45	-3,3
10	1,44	1,44	1,44	1,44	-4,0
11	1,43	1,44	1,44	1,44	-4,0
12	1,47	1,46	1,46	1,46	-2,4
13	1,49	1,50	1,50	1,50	0,0
14	1,49	1,50	1,50	1,50	0,0
15	1,50	1,50	1,49	1,50	0,0
16	1,50	1,51	1,51	1,51	0,4
17	1,50	1,52	1,50	1,51	0,4

Tabulka pro výtažek stávajícího druhého tahu

Měřený bod	Měření č. 1 [mm]	Měření č. 2 [mm]	Měření č. 3 [mm]	Průměrná hodnota [mm]	Odchylka v [%] od s_0
1	1,76	1,78	1,78	1,77	18,2
2	1,73	1,72	1,73	1,73	15,1
3	1,7	1,71	1,71	1,71	13,8
4	1,63	1,65	1,64	1,64	9,3
5	1,53	1,53	1,54	1,53	2,2
6	1,5	1,49	1,5	1,50	0,0
7	1,47	1,46	1,46	1,46	-2,4
8	1,43	1,44	1,43	1,43	-4,4
9	1,39	1,4	1,39	1,39	-7,1
10	1,38	1,38	1,38	1,38	-8,0
11	1,39	1,38	1,38	1,38	-8,0
12	1,32	1,33	1,32	1,32	-11,8
13	1,31	1,3	1,31	1,31	-12,9
14	1,22	1,2	1,23	1,22	-18,9
15	1,16	1,17	1,17	1,17	-22,2
16	1,2	1,21	1,2	1,20	-19,8
17	1,22	1,22	1,21	1,22	-18,9
18	1,23	1,22	1,23	1,23	-18,2
19	1,27	1,27	1,26	1,27	-15,6
20	1,28	1,28	1,27	1,28	-14,9
21	1,28	1,27	1,27	1,27	-15,3
22	1,28	1,28	1,27	1,28	-14,9
23	1,28	1,27	1,27	1,27	-15,3
24	1,27	1,27	1,27	1,27	-15,3
25	1,27	1,27	1,27	1,27	-15,3

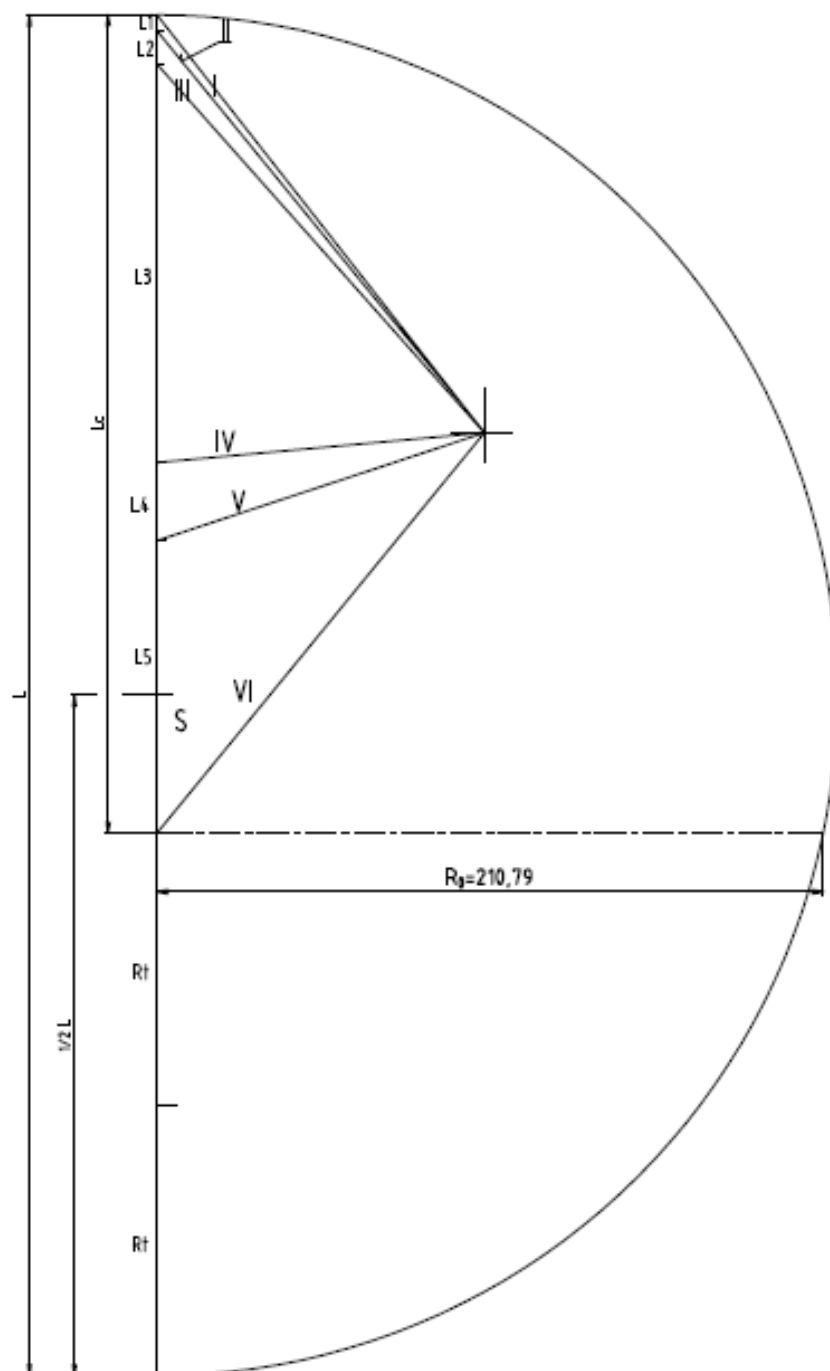
Příloha 4 Grafický výstup určení průměru rondelu pólovou metodou

Část 1



Příloha 4 Grafický výstup určení průměru rondelu pólovou metodou

Část 2



Příloha 5 Parametry tvářecího stroje

Část 1



Příloha 5 Parametry tvářecího stroje

Část 2 Parametry lisu, graficky viz obr. č. 1

Beran	
Lisovací síla maximální	2 500 kN
Zpětná síla maximální	300 kN
Zdvih	650 mm
Sevřená výška	350 mm
Rozměry pracovního prostoru	
Upínací plocha stolu	1 200 x 1 200 mm
Upínací rozměry beranu	1 200 x 1 200 mm
Spodní přidržovač (vyhazovač)	
Přidržovací síla max.	1 500 kN
Vyhazovací síla max.	150 kN
Zdvih	300 mm
Horní přidržovač – vyhazovač	
Přidržovací síla max.	100 kN
Vyhazovací síla max.	100 kN
Zdvih	200 mm

Upínání nástrojů

Lis je vybaven upínacími magnetickými deskami. Konstrukce nástroje musí být přizpůsobena podmínkám pro magnetické upínání.

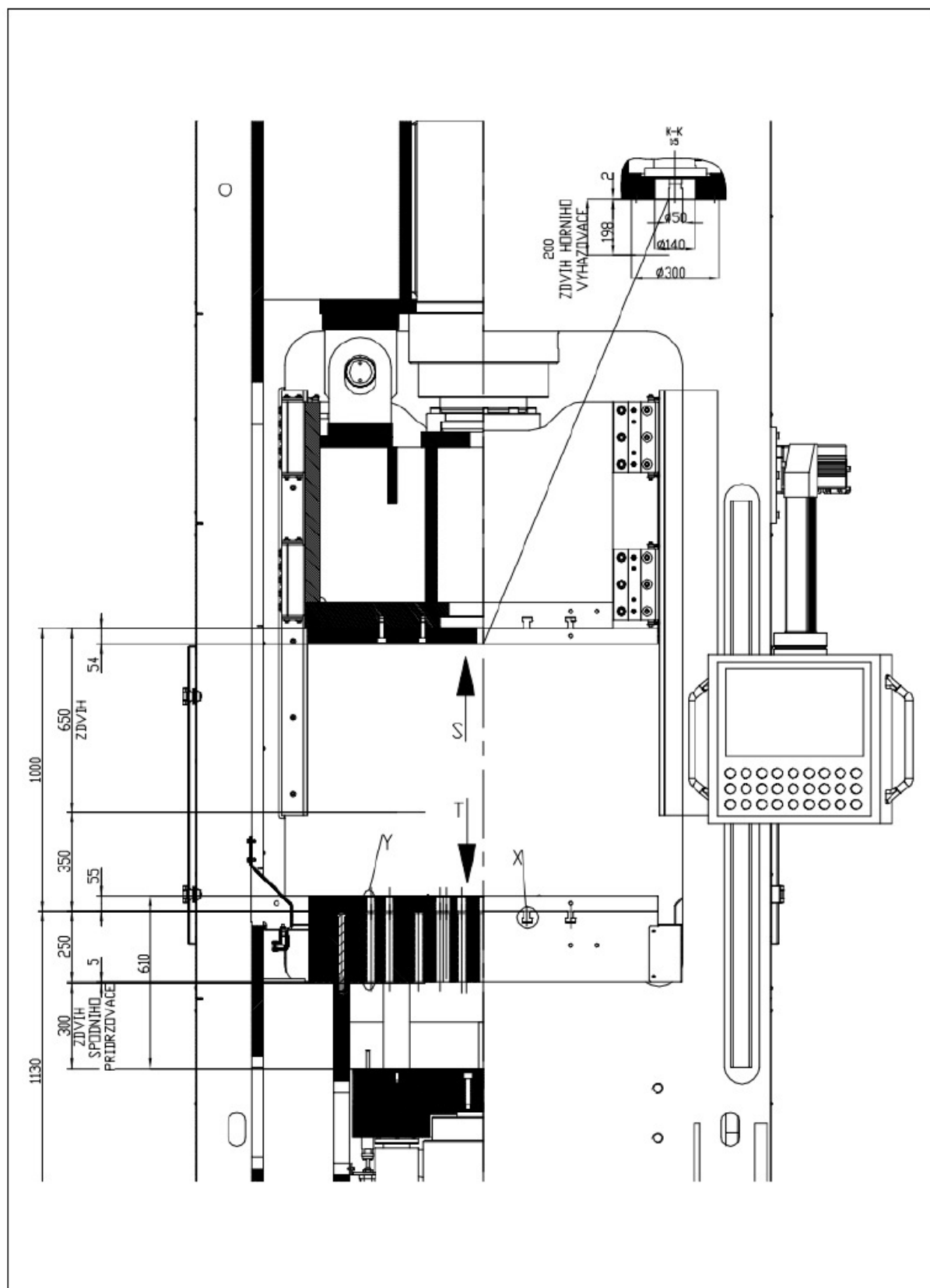
Spodní upínací deska nástroje – obr. č. 2	
rozměr	750x590x26 (mm)
Pozor na umístění čidla viz. obr.2	

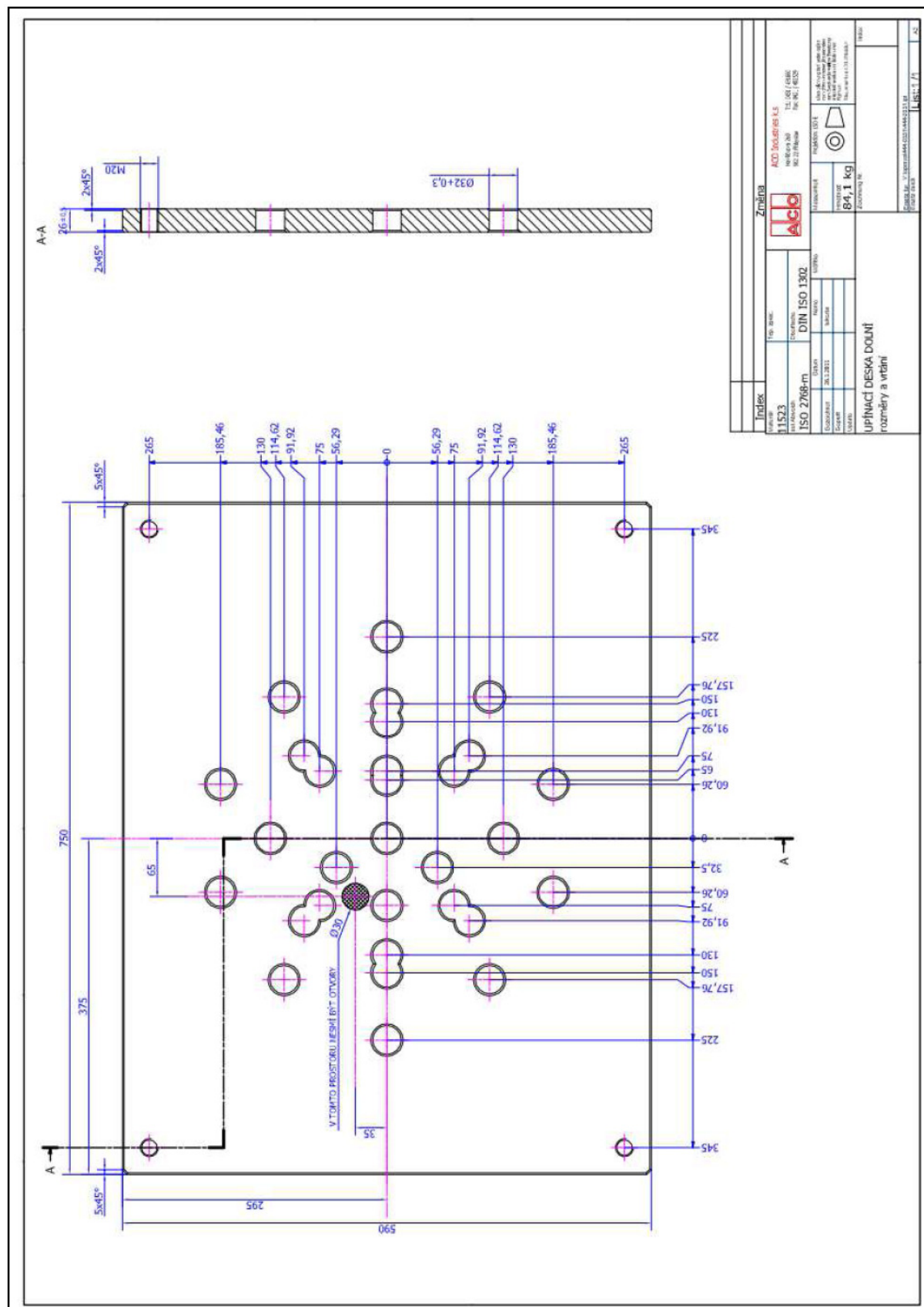
Horní upínací deska nástroje – obr. č. 3	
rozměr	Min. 360x200 (mm)
Pozor na umístění čidla viz. obr.3	
Pozn.: Při rozměrech desky 360x200 mm, bude upínací síla 48 kN. Maximální upínací síla 217 kN, je při rozměrech desky 640x500mm.	

Hrany u dosedacích ploch upínacích desek srazit 2x45°

Příloha 5 Parametry tvářecího stroje

Část 3 Obrázek č. 1



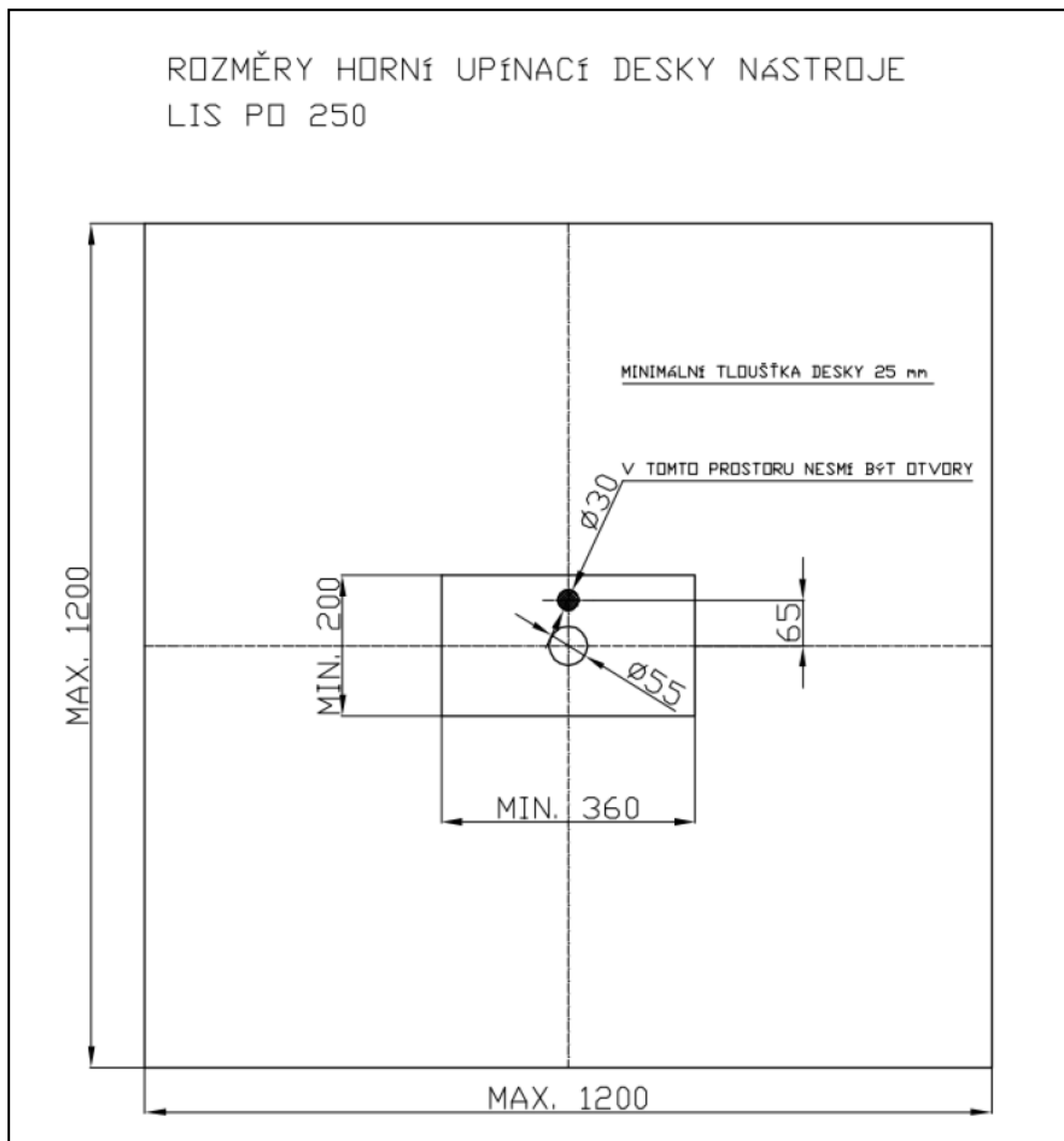


Příloha 5 Parametry tvářecího stroje

Část 5 Obrázek č. 3

Při rozměrech desky 360x200 mm, bude upínací síla 48 kN.

Maximální upínací síla 217 kN, je při rozměrech desky 640x500 mm.



Seznam výkresů

Výkres sestavení tažného nástroje	DP-5O61-2012-00
Výkres součásti nástavce tažníku	DP-5O61-2012-02
Výkres součásti tažníku	DP-5O61-2012-03
Výkres součásti tažnice	DP-5O61-2012-06
Výkres součásti výtažku	DP-5O61-2012-VV