



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY VPUSTI

THE PRODUCTION OF A GULLY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Václav Králíček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Václav Králíček**
Studijní program: Strojírenská technologie
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Eva Peterková, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

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

Návrh výroby vpusti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vysokokapacitní vpust vyráběná firmou ACO Industries slouží k odvodu procesních kapalin z vnitřních objektů. Vpust se vyrábí z korozi-vzdorné oceli a nachází uplatnění především v potravinářském průmyslu. Diplomová práce se bude zabývat inovací stávající výroby těla vpusti a následným návrhem vhodného nástroje pro výrobu.

Cíle diplomové práce:

Návrh možných způsobů výroby součásti.
Provedení aktuální literární studie se zaměřením na zvolenou technologii výroby.
Návrh postupu výroby součásti a provedení technologických a kontrolních výpočtů.
Volba vhodného stroje.
Návrh tvářecího nástroje pro výrobu zadané součásti.

Seznam doporučené literatury:

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.

SCHULER GmbH. Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design: processes - machines - tools. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

BIRZER, Franz. Forming and fineblanking: cost effective manufacture of accurate sheetmetal parts. Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie, c1997. ISBN 34-789-3161-4.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.

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

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

V rámci diplomové práce je řešena možná inovace výroby těla podlahové vpusti, která patří do portfolia firmy ACO Industries k.s. Materiálem vpusti je austenitická Cr-Ni korozivzdorná ocel 1.4301 (X5CrNi18-10). Současná svařovaná varianta byla nahrazena kombinací konvenčního tažení bez ztenčení stěny a lemování. Geometrie dna vpusti byla navržena v souladu s požadavky normy ČSN EN ISO 14159 a dokumenty EHEDG na hygieničnost zařízení pro použití v potravinářském průmyslu. Pro navrženou geometrii byly provedeny technologické výpočty, dno vpusti bude zhotoveno v jedné tažné operaci společně s lemováním předzhotoveného otvoru. Navržená technologie byla ověřena pomocí numerické simulace. Součástí řešení byla výroba prototypu pro testování průtoku nově navrženého těla vpusti. Při zkoušce průtoku byly splněny požadavky dané normou. Následně byl navržen sdružený nástroj pro výrobu na hydraulickém lisu Dieffenbacher PO250 II s magnetickým upínáním nástroje. Finanční úspora na součásti oproti současnému řešení podlahové vpusti činí 243,43 Kč. Při zadané výrobní sérii 700 kusů ročně s předpokládaným nárůstem o 15 % v následujících letech byla vypočtena návratnost investice na pořízení nástroje na 2,65 roku.

Klíčová slova

plošné tváření, nástroj, hluboké tažení, tabule plechu, korozivzdorná ocel, zkouška průtoku

ABSTRACT

Aim of the thesis is possible innovation in production of a body of floor gully. Material of the gully is an austenitic stainless steel 1.4301 (X5CrNi18-10). This particular gully belongs to floor drainage portfolio of ACO Industries k.s., which is a world leading company in drainage systems. The current welded variant has been replaced by a combination of conventional drawing and dimpling. The geometry of the drain bottom was designed in accordance with the requirements of the ČSN EN ISO 14159 standard and EHEDG documents on the hygiene of equipment for use in the food industry. Technological calculations were made for the new designed geometry, the bottom of the inlet will be made in one drawing operation together with the dimpling of the pre-made hole. The production process was verified using numerical simulation. Part of the solution was the production of a prototype for testing of the flow rate. During the flow rate test, the requirements given by the standard were fulfilled. Combined tool for drawing and dimpling was designed. The tool is designed for use in hydraulic press Dieffenbacher PO250 II with magnetic tool clamping. The financial savings compared to the current floor drain design are about 243,43 CZK. With a specified production series of 700 pieces per year with an expected increase of 15 % in the following years, the return on investment for the purchase of the tool was calculated to be 2,65 years.

Keywords

sheet metal forming, tools for deep drawing, deep drawing, sheet metal, stainless steel, flow rate test

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRÁLÍČEK, Václav. *Návrh výroby vpusti* [online]. Brno, 2024. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157736>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.

PROHLÁŠENÍ

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

Brno, 24.5.2024

místo, datum

Václav Králíček

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování diplomové práce. Dále děkuji rodině, přítelkyni a přátelům za podporu během studia. V neposlední řadě bych rád poděkoval firmě ACO Industries k.s. za možnost realizace praktické části diplomové práce.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI	10
1.1 Varianty výroby.....	12
2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ A LEMOVÁNÍ	15
2.1 Rozbor stavu napjatosti při tažení	15
2.2 Deformační odpor a tažná síla.....	17
2.3 Technologické parametry tažení	21
2.4 Nástroje pro hluboké tažení.....	24
2.5 Lemování.....	26
2.6 Nástroje pro lemování	27
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	28
3.1 Technologické parametry	30
3.2 Deformační odpor a tažná síla.....	32
3.3 Výpočet lemování.....	34
3.4 Materiálový model oceli 1.4301.....	36
3.5 Numerická simulace	40
3.6 Zkouška průtoku vpusti	43
3.6.1 Zkouška průtoku dle ČSN EN 1253-1.....	44
3.6.2 Modifikovaná zkouška průtoku	46
3.6.3 Zkouška průtoku dle metodiky ACO.....	48
3.7 Volba stroje	50
3.8 Návrh nástroje	51
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	55
ZÁVĚR.....	60

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD

Technologie má a měla historicky obrovský vliv na vývoj naší společnosti. Ještě v 19. století byly pojmy řemeslo a technologie prakticky synonyma, až teprve s příchodem mechanizace pomocí strojů získalo slovo technologie zcela nový význam. Technologie je dnes základem našeho moderního životního stylu a prosperity, kde má svou nezastupitelnou roli technologie tváření kovů. Vedle výroby polotovarů, tažení drátů nebo protlačování může technologie tváření vyrábět hotové výrobky komplexních tvarů (obr. 1) s vynikajícími mechanickými vlastnostmi. Oblasti použití sahají od automobilového průmyslu, přes výrobu nádrží, stavební průmysl, výrobu domácích spotřebičů až po obalovou techniku. Tváření spolu s technologií obrábění umožňují vyrábět komplexní součásti s vysokou přesností, jakostí povrchu a vysokou opakovatelností výroby. V minulosti typicky výrobní procesy probíhaly v sérii za sebou jdoucích jednoduchých operacích obvykle prováděných na ručně ovládaných strojích. Dnešním trendem je spojování strojů do výrobních buněk a jejich propojení do kompaktních výrobních linek s automatizovaným podáváním, dopravou a monitorováním. Vývoj v této oblasti techniky je základem pro ekonomickou a produktivní výrobu tvářených a obráběných součástí s optimálními pevnostními charakteristikami, nízkou spotřebou materiálu a energií v kombinaci s vysokou rozměrovou přesností a kvalitou povrchu. [1; 2; 3; 4]



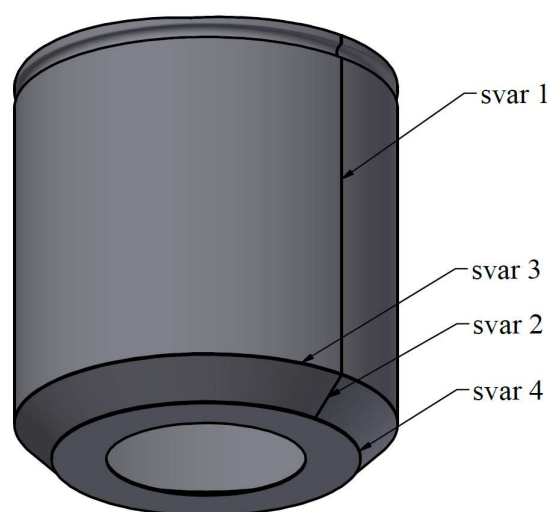
Obr. 1 Díly zhotovené plošným tvářením [11].

1 ROZBOR SOUČÁSTI

Řešenou součástí je vysokokapacitní vpust pro odvod procesních kapalin v průmyslu, obchodně označená jako Gully 315. Předmětem diplomové práce bude možnost inovace výroby těla vpusti. Využití nachází především v potravinářském a chemickém průmyslu nebo závodních kuchyních. Samotná vpust se v současnosti vyrábí jako svařenec z roštové nástavby, těla vpusti a odtokové trubky (obr. 2). Roštová nástavba se skládá ze dvou lisovaných čel, která jsou přivařena na tělo nástavby. Tělo vpusti je v podstatě válcová nádoba s otvorem ve dně. Tělo je svařeno ze zakrouženého plechu, kuželového přechodu a dna s otvorem pro navaření odtokové trubky (obr. 3). Tělo s odtokem je svařeno v jeden celek s roštovou nástavbou čtvercového půdorysu a doplněno o stavěcí nohy, které slouží k instalaci na stavbě. Celková výška podlahové vpusti je 630 mm, strana čtvercové roštové nástavby měří 400 mm. Průměr řešeného těla vpusti činí 315 mm a výška 332 mm.

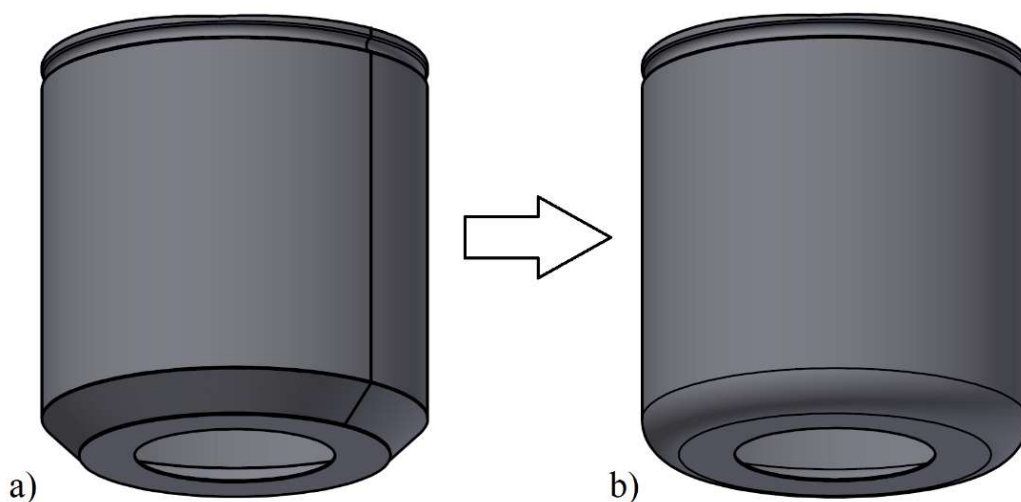


Obr. 2 Vysokokapacitní vpust „Gully 315“.



Obr. 3 Svařenec těla vpusti.

V rámci řešení diplomové práce bude prověřena možnost nahrazení svařované varianty (obr. 4a) jiným konstrukčním řešením jako například na obr. 4b. Nahrazením technologie svařování při výrobě vpusti by došlo k finanční úspoře. Dalším kritériem, na které bude brán ohled, je hygieničnost a čistitelnost vpusti, čehož lze dosáhnout eliminací ostrých rohů a koutů.



Obr. 4 Tělo vysokokapacitní vpusti.

Vysokokapacitní vpust Gully 315 patří do portfolia firmy ACO Industries k.s., která je součástí nadnárodní skupiny ACO Group. Jedná se o jednu z předních firem zabývajících se technologií odvodnění pro potravinářský a lodní průmysl a odvodnění venkovních zpevněných ploch (obr. 5). Systémy z korozivzdorné oceli pro použití v potravinářském průmyslu jsou navrhovány v souladu se standardy organizace EHEDG (European Hygienic Engineering and Design Group) a splňují požadavky potravinářského průmyslu na hygienu a bezpečnost potravin, zároveň zaručují dlouhou životnost a maximální spolehlivost. Pobočka ACO Příbryslav je největším výrobním závodem celé skupiny založená v roce 1993. V současnosti má pobočka bezmála 750 zaměstnanců. V Příbryslavském závodě se vyrábí odvodňovací systémy především z korozivzdorné oceli a polymerbetonu. Závod disponuje vlastní linkou povrchových úprav pro žárové zinkování ocelí pro tváření, moření a elektrolytické leštění výrobků z korozivzdorných ocelí. Součástí je vlastní vývojové a konstrukční oddělení zabývající se sériovou i zakázkovou výrobou. [21; 22]



Obr. 5 Příklad aplikace výrobků firmy ACO v potravinářském průmyslu [14].

Na zařízení v potravinářském průmyslu jsou obecně kladeny vysoké požadavky na zdravotní nezávadnost použitých materiálů, jejich snadnou čistitelnost a odolnost proti agresivním látkám a prostředí (např. působení čistících prostředků, změny teplot). Z těchto důvodů jsou ideálním materiálem korozivzdorné oceli. Nejrozšířenější je ocel 1.4301, ze které se vyrábí i řešená vysokokapacitní vpust. Konkrétně se jedná o Cr-Ni austenitickou korozivzdornou ocel, též značenou X5CrNi18-10, její chemické složení a mechanické vlastnosti udává norma ČSN EN 10088-3 (tab. 1). Výčet základních mechanických vlastností udává tabulka 2, pro účely výpočtů a numerické simulace bude použit materiálový model zjištěný na základě tahové zkoušky.

Tab. 1 Chemické složení oceli 1.4301 (X5CrNi18-10) [27].

prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
[hm. %]	≤ 0,07	≤ 1,00	≤ 2,00	≤ 0,045	≤ 0,030	17,5/19,5	8,5/10,5	≤ 0,10

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 1.4301 (X5CrNi18-10) [27].

$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	tvrdost HB
≥ 190	500-700	45,0	≤ 225

1.1 Varianty výroby

Výrobní technologie by měla být ekonomicky i časově výhodná s minimem potřebných investic do strojního vybavení. Dalším kritériem je schopnost vyrábět dílce v požadované přesnosti a s dobrou kvalitou povrchu. Pro inovovanou část vpusti přichází v úvahu několik variant:

- Kovotlačení – spočívá v nabalování polotovaru na formu, pomocí speciálních nástrojů a kladek, čímž v jednom nebo více krocích získává konečný tvar odpovídající geometrii formy (obr. 6). Proces výroby může být plně automatizovaný, nebo u malých součástí z dobře tvařitelných kovů lze materiál tvářet s využitím lidské síly. Samotné výrobky jsou poměrně málo přesné a nástroje zanechávají na povrchu součástí typické stopy, taktéž produktivita není vysoká a předurčuje rotační tlačení spíše pro kusovou a malosériovou výrobu. [2; 24]



Obr. 6 Kovotlačení [17].

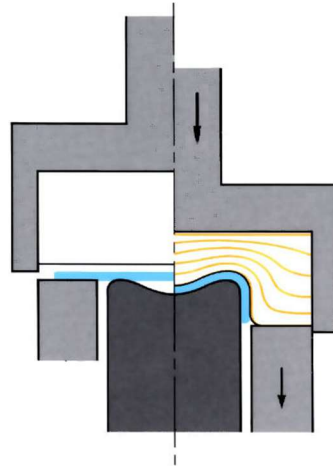
- Protlačování – je metoda objemového tváření, pomocí které lze vyrábět plně i duté součásti za studena, či za tepla. Rozlišuje se protlačování dopředné, zpětné, stranové a sdružené, z nichž pro výrobu dutých součástí typu nádob se hodí nejvíce protlačování zpětné. Nástroj pro zpětné protlačování sestává z průtlačníku a uzavřené průtlačnice, ve které je umístěn polotovar. Zpětné protlačování je v podstatě dvojité pýchování, kdy polotovar je pýchován pod čelem průtlačníku a materiál teče mezerou mezi průtlačníkem a průtlačnicí proti směru pohybu průtlačníku. Obzvláště protlačky zhotovené metodou protlačování za studena vynikají vysokou rozměrovou přesností a nevyžadují často žádné dokončovací operace (obr. 7). Síly potřebné pro protlačování za studena jsou podstatně vyšší než ty potřebné pro tváření plechů. S tím souvisí nutnost používat relativně tuhé stroje, a především dostatečně pevné a tuhé matrice, které musí vydržet vysoké tlaky při pýchování. [1; 3; 4]



Obr. 7 Zpětné protlačování dutých nádob [18].

- Tváření elastomerem – spočívá v nahrazení jedné části tvářecího nástroje pružným materiálem jako je pryž, nebo polyuretan. Typická sestava nástroje pro metodu Marform

je zobrazena na obr. 8. Nástroj se skládá z kontejneru s polyuretanovým blokem, který zastává funkci tažnice. Na spodní opěrné desce je upevněn tažník. Polotovár se pokládá na tažník a pohybem kontejneru s elastomerem směrem dolů dochází ke tváření polotovaru podle tažníku. Nahrazení tažnice, či tažníku nepevným nástrojem s sebou přináší úspory při výrobě samotného nástroje. Výhodou oproti konvenčnímu tažení je také vysoká jakost povrchu při tažení pomocí elastomeru, kdy nevznikají povrchové škrábance a nedochází ke znehodnocení polotovaru s povrchovou úpravou. Negativem tažení s využitím nepevného nástroje je nárůst potřebné síly lisu související s potřebou přemístit objem elastomeru při procesu tažení a omezení maximální tloušťky tvářeného plechu. [2; 19]



Obr. 8 Schéma tažení nepevným nástrojem [19].

- Hydroform – je metoda tváření využívající nepevného nástroje. Tažnice je nahrazena komorou s hydraulickou kapalinou uzavřenou pomocí pryžové membrány. Díky všestrannému tlaku kapaliny na tvářený polotovár lze při použití hydroformu dosáhnout větších redukcí oproti konvenčnímu tažení s pevným nástrojem, kuželové a parabolické součásti lze táhnout v jedné operaci (obr. 9). Ztenčení stěny je menší než při konvenčním tažení a celková dosažená rozměrová a geometrická přesnost výtažků je vysoká. Další výhodou je možnost použít stejnou konfiguraci nástroje pro různé tloušťky taženého plechu. S nahrazením tažnice komorou s hydraulickou kapalinou souvisí i nižší náklady na výrobu nástroje. Oproti tomu nevýhodou hydroformu je potřeba hydraulického obvodu pro regulaci tlaku v tažné komoře a zajištění dostatečného utěsnění komory. Negativem je také značný nárůst tření mezi tažníkem a výtažkem, výsledná tažná síla tak je větší než v případě konvenčního tažení s pevným nástrojem. [1; 3; 23]



Obr. 9 Metoda hydroform [25].

- Hluboké tažení – je přetvoření rovinného polotovaru v dutou součást válcového, kónického, nebo krabicovitého tvaru (obr. 10). Pomocí technologie tažení lze vyrobit finální součást s minimálním počtem operací a generováním minimálního odpadu. Zároveň nachází široké uplatnění od výroby výtažků malých rozměrů až po rozměrné dílce, například pro automobilový průmysl. Tažení plechu pevným nástrojem se děje pomocí tažníku, tažnice a přidržovače. Během vlastního procesu tažník táhne polotovar skrz tažnou mezeru vzniklou mezi tažníkem a otvorem v tažnici a vytváří tak dutou součást. Na základě změny tloušťky stěny lze rozlišit hluboké tažení bez ztenčení stěny, kdy tloušťka stěny a dna výtažku zůstává stejná jako tloušťka výchozího polotovaru a tažení se zeslabením stěny. [1; 2; 3; 4]

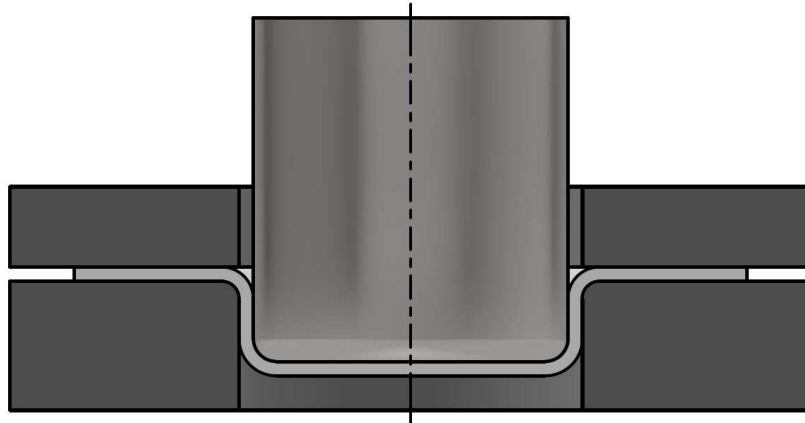


Obr. 10 Hluboké tažení na postupovém automatu [20].

Konvenční hluboké tažení je nejlepší výrobní variantou pro danou součást. Dosahuje dobré přesnosti a jakosti povrchu. Problematice hlubokého tažení s využitím pevného nástroje se bude věnovat teoretická a praktická část diplomové práce.

2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ A LEMOVÁNÍ

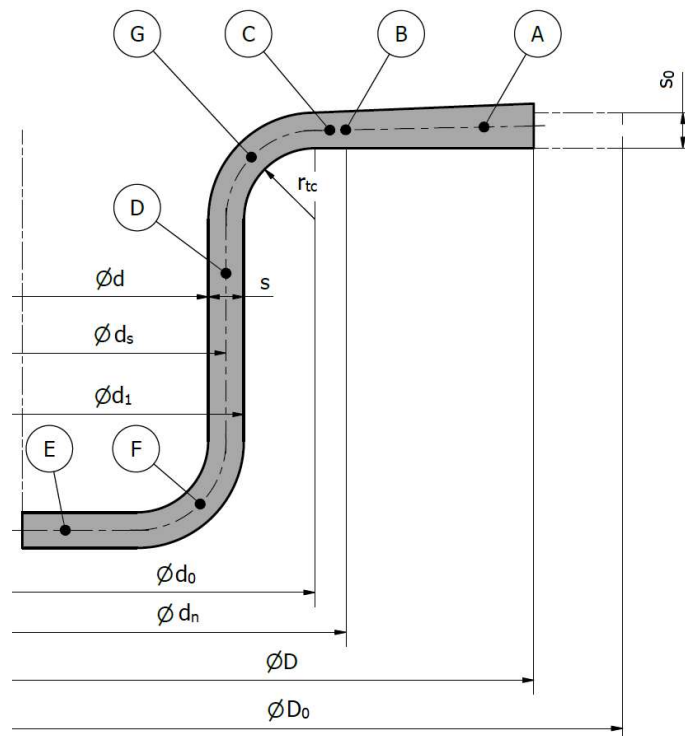
Hluboké tažení je přetvoření rovinného polotovaru v dutou součást válcového, kónického, nebo krabicovitého tvaru. Tažení plechu pevným nástrojem se děje pomocí tažného nástroje, kde hlavními funkčními částmi jsou tažník, tažnice a přídržovač. Během vlastního procesu tažník táhne polotovaru skrz tažnou mezeru vzniklou mezi tažníkem a otvorem v tažnici a vytváří tak dutou součást (obr. 11). Přídržovač zamezuje vzniku zvlnění v oblasti příruby. Během tažení dochází k výraznému prodloužení ve směru tahu. Dle stupně tažení se může tloušťka stěny v přírubě zvětšit o 20 až 30 %. Opačně u dna výtažku dochází k zeslabení stěny vlivem prostorové napjatosti. [1; 2; 3; 4]



Obr. 11 Schéma hlubokého tažení [1].

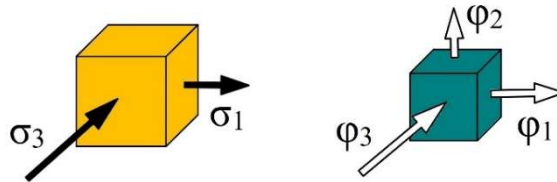
2.1 Rozbor stavu napjatosti při tažení

V průběhu procesu hlubokého tažení se vyskytuje obecně prostorový stav napjatosti a přetvoření, avšak složky napětí a deformace nabývají různých směrů a velikostí v různých místech výtažku, viz obr. 12. [5; 15]



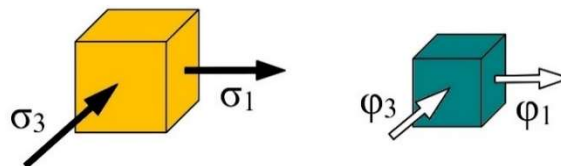
Obr. 12 Napjatosti při tažení v 1. operaci [4].

- V přírubě pod přidržovačem (A) – je stav rovinné napjatosti (obr. 13). Působí zde radiální tahové napětí σ_1 a tečné tlakové napětí σ_3 . Pokud se při tažení použije přidržovače, bude zde působit tlakové napětí σ_2 ve směru tloušťky plechu, jeho velikost je však vzhledem k ostatním složkám zanedbatelná. Oproti tomu stav deformace je vždy prostorový, tvořený tahovou deformací φ_1 v radiálním směru, tlakovou deformací φ_3 v tečném směru a složkou φ_2 působící ve směru tloušťky. Právě složka deformace φ_2 způsobuje nárůst tloušťky plechu v přírubě. [5; 15]



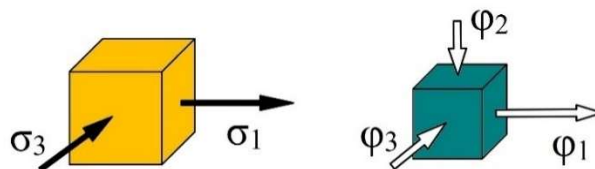
Obr. 13 Stav rovinné napjatosti a přetvoření v místě A [5].

- V místě B – nastává rovnost radiálního napětí σ_1 a tečného napětí σ_3 . Obdobně se rovnají i deformace v radiálním (φ_1) a tečném směru (φ_3). Deformace ve směru tloušťky plechu φ_2 je v tomto místě rovna nule (obr. 14). Tento stav nastává v místě, kde $\ln \frac{D}{d_n} = 0,5 \Rightarrow \varphi_{d_n} \cong 0,607 \cdot D$. Průměr D představuje aktuální průměr příruby. [5]



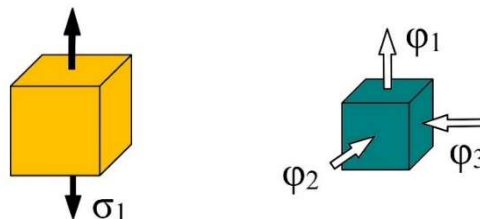
Obr. 14 Rovinná napjatost a přetvoření v místě B [5].

- V místě příruby C – převládá tahové napětí (obr. 15), tj. σ_1 je větší než σ_3 . Napětí σ_2 ve směru tloušťky plechu je rovno nule. Působí zde prostorová napjatost, přičemž obdobně jako u napětí platí, že tahová deformace φ_1 je větší než deformace tlaková φ_3 . [5]



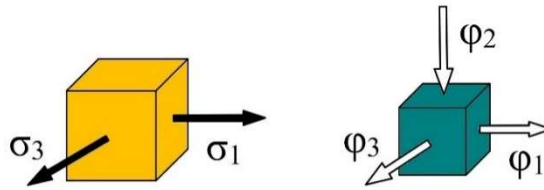
Obr. 15 Rovinná napjatost a prostorové přetvoření v místě C [5].

- Ve stěně výtažku (D) – je stav jednoosé napjatosti (obr. 16), působí zde pouze tahové napětí σ_1 ve směru tažení od tahové síly. Stav deformace je v tomto místě prostorový, kdy platí $\varphi_1 \cong |\varphi_3|$. [5; 15]



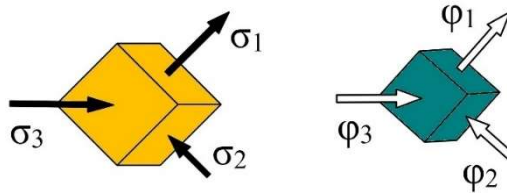
Obr. 16 Jednoosá napjatost a prostorové přetvoření v místě D [5].

- Ve dně výtažku (E) – působí rovinný stav napjatosti, kdy $\sigma_2=0$ (obr. 17). Stav přetvoření je prostorový, složka φ_2 může způsobit ztenčení stěny výtažku. [5; 15]



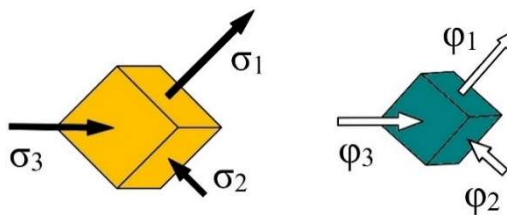
Obr. 17 Rovinná napjatost a prostorové přetvoření v místě E [5].

- V místě F – tj. přechodu dna do stěny výtažku je stav prostorové napjatosti i přetvoření (obr. 18). V tomto místě dochází ke značnému ztenčení stěny, a proto zde nejčastěji dochází k porušení utržením dna výtažku. [5; 15]



Obr. 18 Prostorový stav napjatosti a přetvoření v místě F [5].

- Na zaoblení tažné hrany (G) – vzniká prostorový ohyb za působení největšího radiálního napětí σ_1 a nejmenšího tečného napětí σ_3 . Stav napjatosti i přetvoření je prostorový (obr. 19). Složka napjatosti σ_2 ve směru tloušťky může způsobit ztenčení plechu. [5; 15]



Obr. 19 Prostorový stav napjatosti a přetvoření v místě G [5].

2.2 Deformační odpor a tažná síla

Přestože při hlubokém tažení dochází ke změně tloušťky stěn výtažku především v oblasti příruby a přechodu stěny do dna výtažku, pro účely výpočtu se tloušťka považuje za konstantní. Rovněž zákon stálosti objemu lze zjednodušit na zákon stálosti ploch. [4; 5]

Pro velikosti a průběhy hlavních přetvoření platí zákon konstantního objemu [5]:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0, \quad (2.1)$$

- kde: φ_1 – logaritmické přetvoření v radiálním směru [-],
 φ_2 – logaritmické přetvoření ve směru tloušťky [-],
 φ_3 – logaritmické přetvoření v tečném směru [-].

Velikost tažné síly ovlivňuje radiální tahové napětí σ_p měnící se v závislosti na aktuálním poloměru ρ a přirozený přetvárný odpor σ_p . Materiál při tažení překonává odpor proti pohybu pod přidržovačem reprezentovaný napětím σ_f a odpor proti ohybu přes tažnou hranu σ_o . Do výpočtu vstupuje také součinitel vyjadřující vliv tření při opásání tažné hrany $e^{f \cdot \bar{\alpha}}$. [4; 5]

Deformační odpor σ_d v první tažné operaci je dán vztahem [4]:

$$\sigma_d = \sigma_z = (\sigma_p + \sigma_f + 2 \cdot \sigma_o) \cdot e^{f \cdot \bar{\alpha}}, \quad (2.2)$$

- kde: σ_z – tažné napětí [MPa],
 σ_p – radiální tahové napětí [MPa],
 σ_f – napětí od tření pod přidržovačem [MPa],
 σ_o – napětí od ohybu na tažné hraně [MPa],

- e – Eulerovo číslo [-],
 f – součinitel tření [-],
 $\bar{\alpha}$ – úhel opásání tažné hrany [rad].

Pro úhel opásání tažné hrany $\bar{\alpha} = \frac{\pi}{2}$ lze zjednodušit člen $e^{f \cdot \bar{\alpha}} \approx \left(1 + f \frac{\pi}{2}\right) \approx 1 + 1,6f$. [5]

Základním předpokladem pro určení deformačního odporu při tažení je znalost radiálních a tangenciálních napětí v přírubě výtažku. Tato napětí se mění v závislosti na aktuálním poloměru příruby výtažku. Při řešení silové rovnováhy na vytknutém rovinném elementu s uvážením podmínky plasticity je výsledkem po zjednodušení a úpravách diferenciální rovnice rovnováhy v polárních souřadnicích. Jejím řešením pro okrajové podmínky na vnitřním okraji příruby je základní rovnice pro radiální napětí. [4; 5]

Radiální napětí bez vlivu přidržovače σ_ρ je vyjádřeno vztahem podle Sachse [4]:

$$\sigma_\rho = \xi \cdot \sigma_{ps} \cdot \ln \frac{R}{\rho}, \quad (2.3)$$

- kde: ξ – Lodeho součinitel (pro tažení $\xi = 1,1$),
 σ_{ps} – střední hodnota přirozeného přetvárného odporu [MPa],
 R – největší poloměr příruby [mm],
 ρ – aktuální poloměr příruby [mm].

Výpočet třecí síly pod přidržovačem řeší Sachs pro okraj příruby, kde dochází k nárůstu tloušťky, viz obr. 20. Velikost třecí síly mezi přidržovačem a přírubou a mezi přírubou a tažnicí je dána součinitelem tření a tlakovou silou od přidržovače, podle vztahu [4; 5]:

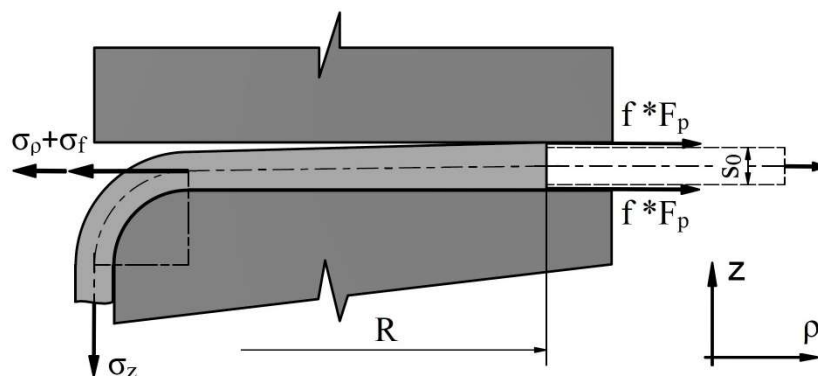
$$F_f = f \cdot F_p, \quad (2.4)$$

- kde: F_f – třecí síla [N],
 F_p – tlaková síla od přidržovače [N].

Výsledné napětí od tření pod přidržovačem při uvažování rovnoměrného rozložení napětí po celé tloušťce příruby je dáno rovnicí [5]:

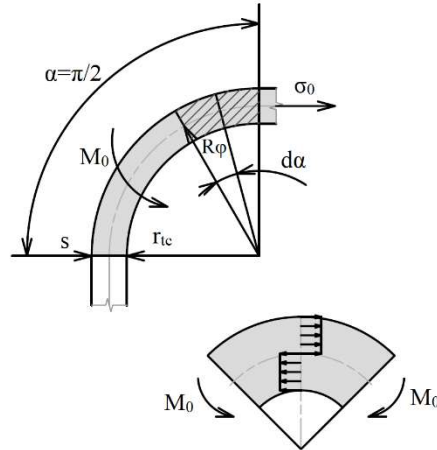
$$\sigma_f = \frac{f \cdot F_p}{\pi \cdot R \cdot s_0}, \quad (2.5)$$

- kde: π – Ludolfovo číslo [-],
 s_0 – počáteční tloušťka plechu [mm].



Obr. 20 Vliv tření na napjatost ve výtažku [4].

Při řešení napětí na tažné hraně je nutné uvažovat dvojitý ohyb, tj. ohyb plechu přes tažnou hranu a jeho následné narovnání. Výpočet napětí vychází z podmínky rovnováhy prací při posunu o úhel pootočení (obr. 21). [4; 5]



Obr. 21 Vliv ohybu na tažné hraně [4].

Při uvážení dvojího ohybu má výsledný vztah pro napětí tvar [5]:

$$2 \cdot \sigma_0 = \sigma_p \cdot \frac{s_0}{2 \cdot r_{tc} + s_0}, \quad (2.6)$$

kde: σ_p – přirozený přetvárný odpor [MPa],
 r_{tc} – poloměr zaoblení tažné hrany [mm].

Dosazením za složky napětí σ_p , σ_f a složku napětí od ohybu σ_0 do rovnice 2.2 se získá výsledný vztah pro tažné napětí dle Sachse [4]:

$$\sigma_z = \sigma_{ps} \left(\xi \cdot \ln \frac{R}{\rho} + \frac{f \cdot F_p}{\pi \cdot \sigma_{ps} \cdot R \cdot s_0} + \frac{s_0}{2 \cdot r_{tc} + s_0} \right) (1 + 1,6 \cdot f). \quad (2.7)$$

Tažná síla roste a dosahuje maxima, když se tažník nachází v hloubce [5]:

$$h_m = r_{tu} + r_{tc} + s_0, \quad (2.8)$$

kde: h_m – hloubka zasunutí tažníku [mm],
 r_{tu} – poloměr zaoblení tažníku [mm].

V této poloze tažníku je největší opásání tažné hrany a vliv prostorového ohybu, tření a zpevnění materiálu. [4; 5] Tažnou sílu v první operaci pak lze vypočítat ze vztahu [4]:

$$F_{t1} = 2 \cdot \pi \cdot r_{sv} \cdot s_0 \cdot \sigma_{zmax}, \quad (2.9)$$

kde: F_{t1} – tažná síla v první operaci [N],
 r_{sv} – střední poloměr výtažku [mm].

Ve výpočtu tažného napětí figuruje zpevnění materiálu. Jeho hodnotu lze dle Šofmana určit ze vztahu [5]:

$$\sigma_{ps} = \frac{R_m}{1 - \Psi} \left(\frac{\varepsilon_{ts}}{\Psi} \right)^{\frac{\Psi}{1 - \Psi}}, \quad (2.10)$$

kde: R_m – mez pevnosti [MPa],
 Ψ – poměrné zúžení na počátku tvorby krčku [-],
 ε_{ts} – střední poměrné přetvoření [-].

Při znalosti základní geometrie výtažku a součinitele tažení lze střední poměrné přetvoření vyjádřit jako [5]:

$$\varepsilon_{ts} = \frac{1}{2} \cdot \left[1 - \bar{\rho} + \left(1 - \frac{m_1}{\sqrt{1 - \bar{\rho}^2 + m_1^2}} \right) \right] = 1 - 0,5 \left(\bar{\rho} + \frac{m_1}{\sqrt{1 - \bar{\rho}^2 + m_1^2}} \right), \quad (2.11)$$

kde: $\bar{\rho}$ – poměrné zmenšení vnějšího průměru [-],
 m_1 – součinitel tažení v první operaci [-].

Po dosažení středního poměrného přetvoření do rovnice (2.10) lze střední hodnotu přirozeného přetvárného odporu vypočítat dle vzorce [5]:

$$\sigma_{ps} = \frac{R_m}{1-\Psi} \left(\frac{1-0,5 \left(\bar{\rho} + \frac{m_1}{\sqrt{1-\bar{\rho}^2+m_1^2}} \right)}{\Psi} \right)^{\frac{\Psi}{1-\Psi}} \quad (2.12)$$

Vhodně zvolená síla přidržovače má významný podíl na tom, zda bude proces tažení úspěšný. Nevhodně zvolená velikost přidržovací síly má za následek vznik defektů ve výtažku. Pokud bude přidržovací síla příliš malá, může docházet ke zvlnění příruby výtažku, naopak při použití příliš velké přidržovací síly hrozí utržení dna výtažku. Výpočet síly přidržovače vychází ze znalosti plochy příruby tažené součásti a volby tlaku přidržovače, viz tabulka 3. [2; 4; 5]

Sílu přidržovače lze určit ze vztahu [3]:

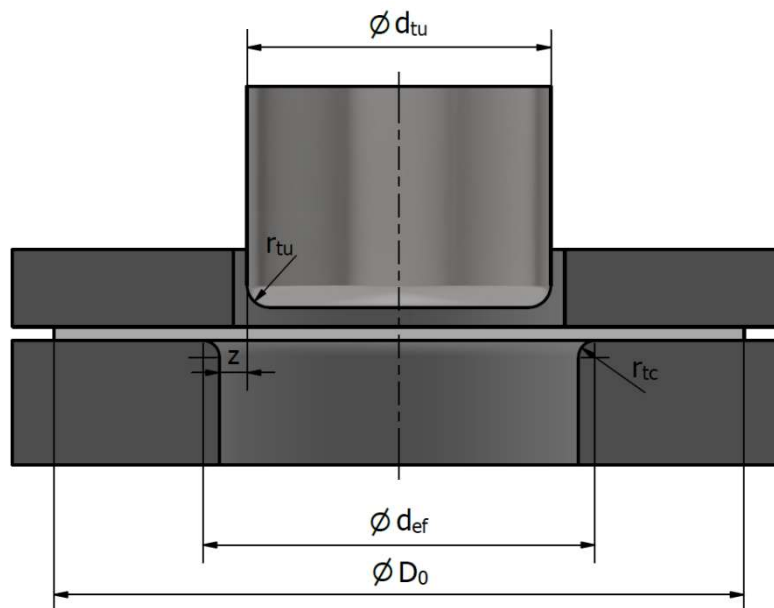
$$F_p = p \cdot (D^2 - d_{ef}^2) \frac{\pi}{4}, \quad (2.13)$$

kde: p – měrný tlak přidržovače [MPa],
 D – aktuální průměr příruby [mm],
 d_{ef} – efektivní průměr pod přidržovačem [mm].

Efektivní průměr přidržovače (obr. 22) se určí ze vztahu [3]:

$$d_{ef} = d_{tu} + 2 \cdot r_{tc} + 2 \cdot z, \quad (2.14)$$

kde: d_{tu} – průměr tažníku [mm],
 z – tažná mezera [mm].



Obr. 22 Rozměry tažného nástroje a efektivní průměr [3].

Tab. 3 Doporučené měrné tlaky přidržovače [4; 6].

materiál	ocel hlubokotažná	ocel korozivzdorná	mosaz	měď	hliník
měrný tlak [MPa]	2,0-3,0	2,0-5,0	1,5-2,0	1,0-1,5	0,8-1,2

Měrný tlak přidržovače lze určit také počtetně, například ze vztahu [3]:

$$p = \left[(\beta - 1)^2 + \frac{d_1}{200 \cdot s_0} \right] \cdot \frac{R_m}{400}, \quad (2.15)$$

kde: β – stupeň tažení [-],

d_1 – vnitřní průměr výtažku [mm],

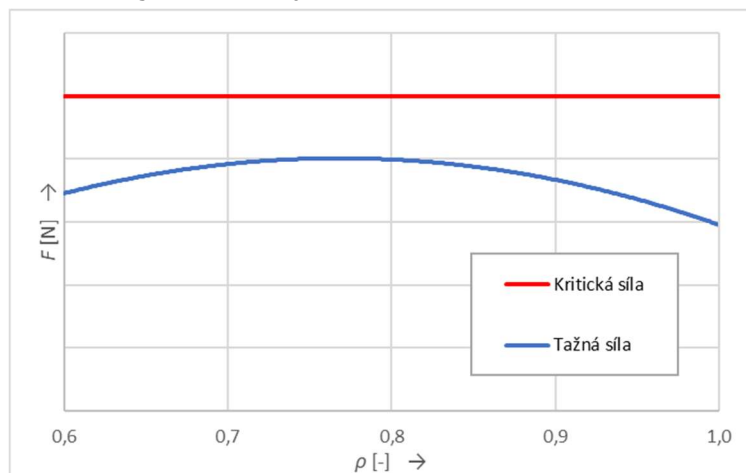
R_m – mez pevnosti taženého plechu [MPa].

Tažná síla musí být nižší než kritická síla na utržení dna výtažku, jejich typický průběh je na obrázku 23. Velikost kritické síly se stanoví ze vzorce [5]:

$$F_{krit1} = \pi \cdot d_{s1} \cdot s_0 \cdot R_m, \quad (2.16)$$

kde: d_{s1} – střední průměr výtažku [mm],

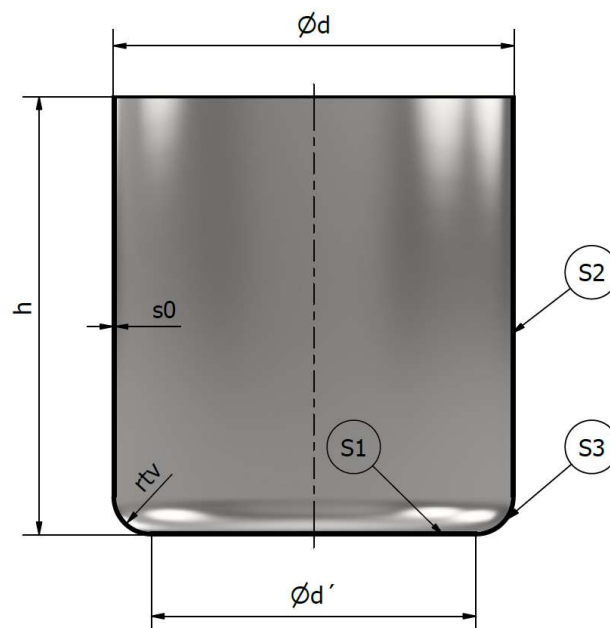
$$d_{s1} = d_1 + s_0. \quad (2.17)$$



Obr. 23 Průběh tažné a kritické síly [4].

2.3 Technologické parametry tažení

Při návrhu technologie hlubokého tažení se vychází ze znalosti geometrie konečného výtažku. Z něj lze určit celkovou plochu a průměr polotovaru (rondele). Za tímto účelem je vhodné rozdělit výtažek na jednoduše popsatelné plochy (obr. 24).



Obr. 24 Schéma pro výpočet plochy výtažku [26].

Průměr výchozího polotovaru lze při znalosti plochy výtažku určit dle vzorce [26]:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}}, \quad (2.18)$$

kde: S_c – celková plocha výtažku:

$$S_c = S_1 + S_2 + S_3, \quad (2.19)$$

kde: S_1 – plocha dna výtažku:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d'^2}{4}, \quad (2.20)$$

kde: d' – průměr dna výtažku [mm],

S_2 – plocha válcové stěny výtažku:

$$S_2 = \pi \cdot d \cdot [h - (r_{tv} + s_0) + w], \quad (2.21)$$

kde: d – vnější průměr výtažku [mm],

h – výška výtažku [mm],

r_{tv} – poloměr zaoblení dna [mm],

w – přírůstek na ostříhnutí [mm],

S_3 – obsah přechodu pláště do dna výtažku:

$$S_3 = \pi^2 \cdot (r_{tv} + s_0) \cdot \frac{d'}{2}. \quad (2.22)$$

Předešlé vztahy vycházejí z předpokladu, že plocha výtažku je shodná s plochou výchozího polotovaru. Tato podmínka je však splněna pouze za předpokladu, že během tažení je tloušťka stěny konstantní a nedochází k přesunu materiálu. Ve skutečnosti při tažení vždy dochází k určité změně tloušťky stěny, proto lze výpočet výchozího polotovaru založit na základě rovnosti objemů výtažku a polotovaru, jelikož objem zůstává konstantní. [2]

Při rovnosti objemů pak lze vyjádřit průměr polotovaru jako [2]:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_v}{\pi \cdot s_0}}, \quad (2.23)$$

kde: V_v – objem výtažku:

$$V_v = V_p = \frac{\pi \cdot D_0^2 \cdot s_0}{4}, \quad (2.24)$$

kde: V_p – objem polotovaru [mm³].

V závislosti na rozměrech výtažku se určí počet tažných operací, ve kterých bude výtažek zhotoven. Za tímto účelem se zavádí tzv. součinitel tažení, což je poměr středního průměru výtažku ku průměru výchozího polotovaru, respektive střednímu průměru v předešlé operaci. Při tažení v první operaci se součinitel tažení obvykle pohybuje v rozmezí 0,5 až 0,9. [2; 4; 5]

Pro výpočet součinitele tažení v první operaci lze použít vztah [2]:

$$m_1 = \frac{d_{s1}}{D_0}. \quad (2.25)$$

Obdobně se určí součinitele tažení pro další operace [2]:

$$m_2 = \frac{d_{s2}}{d_{s1}}; m_3 = \frac{d_{s3}}{d_{s2}}; \dots; m_n = \frac{d_{sn}}{d_{s{n-1}}}. \quad (2.26)$$

Celkový součinitel tažení lze vypočítat ze vztahu [26]:

$$m_c = \frac{d_s}{D_0}. \quad (2.27)$$

Počet operací potřebných k vyrobení výtažku s požadovanou geometrií se určí z následující nerovnosti, kdy součin jednotlivých součinitelů musí být menší než součinitel celkový [26]:

$$m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_n < m_c. \quad (2.28)$$

Při návrhu součinitelů tažení lze vyjít z tzv. relativní tloušťky materiálu. Čím vyšší je hodnota relativní tloušťky materiálu, tím větších hodnot redukce lze dosáhnout v jednotlivých tazích. Rozmezí optimálních hodnot součinitele tažení pro výtažky bez příruby uvádí tabulka 4. [2]

K výpočtu relativní tloušťky materiálu lze využít vztahu [2]:

$$s_r = \frac{s_0}{D_0} \cdot 100. \quad (2.29)$$

Tab. 4 Součinitel tažení pro válcové výtažky bez příruby [2].

součinitel tažení m	relativní tloušťka materiálu s_r					
	2,0-1,5	1,5-1,0	1,0-0,6	0,6-0,3	0,3-0,15	0,15-0,08
m_1	0,48-0,50	0,50-0,53	0,53-0,55	0,55-0,58	0,58-0,60	0,60-0,63
m_2	0,73-0,75	0,75-0,76	0,76-0,78	0,78-0,79	0,79-0,80	0,80-0,82
m_3	0,76-0,78	0,78-0,79	0,79-0,80	0,81-0,82	0,81-0,82	0,80-0,84
m_4	0,78-0,80	0,80-0,81	0,81-0,82	0,80-0,83	0,83-0,85	0,85-0,86
m_5	0,80-0,82	0,82-0,84	0,84-0,85	0,85-0,86	0,86-0,87	0,87-0,88

Důležitým faktorem při tažení je volba poloměru zaoblení tažných hran a zaoblení tažníku. Volba zaoblení hran tažnice a tažníku ovlivňuje [2; 3]:

- velikost tažné síly,
- riziko přetržení výtažku,
- tvorbu zvlnění.

Hodnoty optimálního zaoblení tažných hran a tažníku vycházejí z experimentálních měření a závisí na druhu taženého materiálu a jeho tloušťce. Při volbě zaoblení je nutné brát v potaz, zda se jedná o první, nebo další tahy. Obecně příliš malé hodnoty zaoblení vedou k nárůstu napětí a tažné síly a porušení výtažku. Při volbě malého zaoblení tažníku může dojít k utržení dna výtažku. Při malém zaoblení tažné hrany dochází k porušení výtažku v přechodu příruby do pláště výtažku. Naopak velký poloměr tažné hrany vede ke zmenšení plochy pod přídržovačem a v důsledku k tvorbě zvlnění příruby výtažku. [2; 3; 30]

Velikost zaoblení tažné hrany v první operaci lze určit ze vztahu [2]:

$$r_{tc1} = 0,8\sqrt{s_0 \cdot (D_0 - d_{i1})}, \quad (2.30)$$

kde: d_i – vnitřní průměr výtažku v první operaci [mm].

Pro výpočet zaoblení hrany tažnice pro další tahy lze vyjít z normy ČSN 22 7301 [28]:

$$r_{tc2} = (6 \div 8) \cdot s_0. \quad (2.31)$$

Obdobně lze určit poloměr zaoblení hrany tažníku. Při jeho návrhu lze vyjít z předpokladu, že velikost zaoblení by měla být stejná nebo větší, než je poloměr zaoblení tažnice. Minimální hodnoty v závislosti na tloušťce materiálu a průměru výtažku uvádí tabulka 5. [7; 28] V poslední operaci je zaoblení tažníku dáno vnitřním rádiusem výtažku požadovaným ve výkresové dokumentaci [28]:

$$r_{tun} = r_{tv}. \quad (2.32)$$

Tab. 5 Minimální poloměry zaoblení tažníku v poslední operaci [29].

průměr výtažku [mm]	10-100	100-200	>200
poloměr zaoblení r_{tu} [mm]	$(3 \div 4) \cdot s_0$	$(4 \div 5) \cdot s_0$	$(5 \div 7) \cdot s_0$

Tažná mezera je důležitým parametrem při tažení. Jedná se o mezeru mezi tažníkem a tažnicí, do které je při procesu tažení vtahován polotovár. Při tažení bez redukce tloušťky stěny by měla být velikost tažné mezer vždy větší, než je tloušťka výchozího polotovaru. Její velikost má vliv

na tření mezi tažnicí a výtažkem a tím i na velikost tažné síly. Malé hodnoty tažné mezery mohou vést k zadírání materiálu nebo jeho porušení. Naopak příliš velké hodnoty způsobují vznik vlnění a otřepů na horním okraji výtažku. [2; 26]

Pro výpočet tažné mezery lze použít vztah [2]:

$$z = s_0 + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_0}, \quad (2.33)$$

kde: k – koeficient zohledňující druh materiálu (dle tabulky 6) [$\text{mm}^{0.5}$].

Při určování tažné mezery v prvním tahu lze vyjít z normy ČSN 22 7301 [30]:

$$z = (1,2 \div 1,3) \cdot s_0. \quad (2.34)$$

Obdobě lze určit velikost tažné mezery v posledním tahu [30]:

$$z = (1,1 \div 1,2) \cdot s_0. \quad (2.35)$$

Tab. 6 Koeficient zohledňující druh materiálu výtažku [2; 3].

materiál výtažku	ocel	hliník	neželezné kovy
koeficient k [$\text{mm}^{0.5}$]	0,07	0,02	0,04

Nutnost použití přídržovače lze určit na základě empirických vztahů, například pomocí porovnání součinitelů u a v . Pokud je hodnota součinitele u větší, nebo rovna součiniteli v , pak je nutné pro tažení použít přídržovače. V opačném případě se jedná o tažení bez přídržovače. Matematicky je při použití přídržovače splněna podmínka [4]:

$$u \geq v, \quad (2.36)$$

kde: u – porovnávací součinitel; vypočítá se ze vztahu:

$$u = 50 \cdot \left(k_1 - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) \quad (2.37)$$

kde: k_1 – materiálová konstanta [-]; lze zvolit z tab. 7,

v – součinitel vyjadřující poměr průměru tažníku vůči průměru výchozího polotovaru [6]:

$$v = \frac{100 \cdot d_{tu}}{D_0}. \quad (2.38)$$

Rozhodnout o nutnosti použití přídržovače lze také na základě dalších kritérií. Přídržovač nemusí být použit, pokud platí tato podmínka [4]:

$$D_0 - d_i \leq 18 \cdot s_0. \quad (2.39)$$

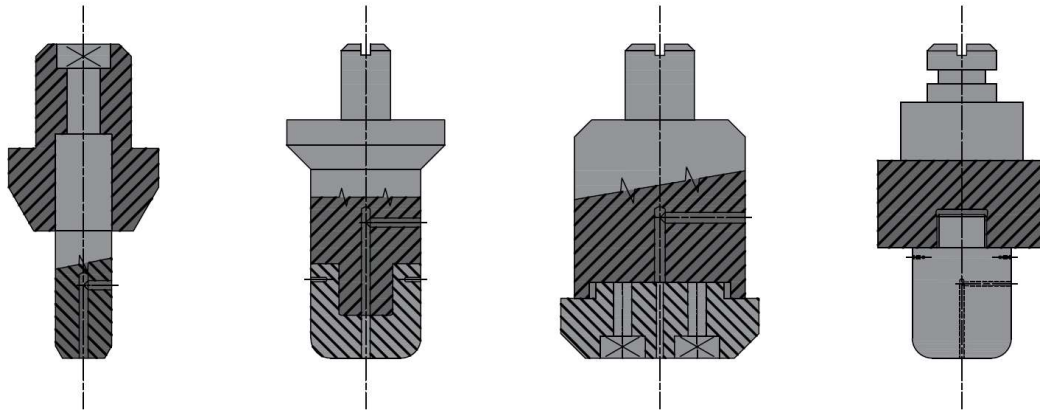
Tab. 7 Materiálová konstanta [6].

	ocel	mosaz	hliník	zinek
k_1	1,90	1,95	2,0	2,0

2.4 Nástroje pro hluboké tažení

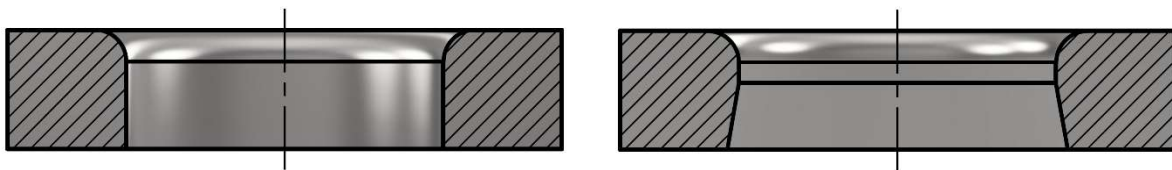
Aktivním nástrojem při procesu tažení je tažník. Jeho vnější průměr je shodný s vnitřním průměrem výtažku. Dle konstrukce lze tažníky rozdělit na celistvé a dělené (obr. 25). Celistvý tažník vyrobený z jednoho kusu se používá pro výtažky menších rozměrů. V případě rozměrných výtažků se za účelem finanční úspory používá tažníků dělených, kdy z nástrojové oceli je zhotovena pouze funkční část. Velikost zaoblení tažné hrany se volí s ohledem na velikost zaoblení tažnice, v posledním tahu je poloměr zaoblení shodný se zaoblením ve dně výtažku. Pro mezitahy se obvykle volí tažníky s hranami zkosenými pod úhlem 35° až 45° .

Důležitým prvkem při konstrukci tažníků je zavzdušnění prostoru výtažku, u klasických tažných nástrojů se řeší podélným otvorem. [4; 6]



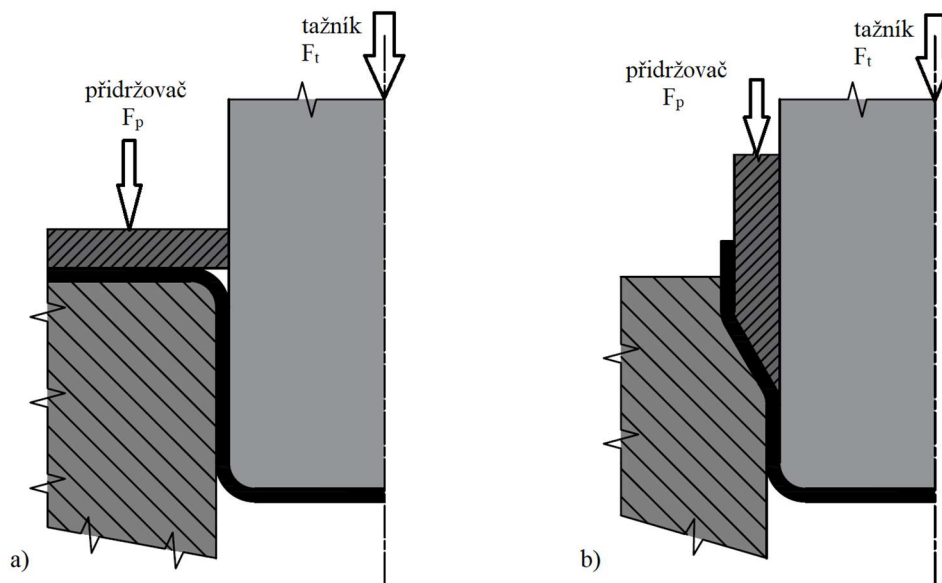
Obr. 25 Konstrukční provedení tažníků [4].

Obdobně jako tažníky i tažnice se zhotovují jako celistvé, nebo vložkované. Nejčastěji se vložkuje tažná hrana, jelikož zde dochází k největšímu opotřebení. Jako materiál tažnic a tažných vložek se používají nástrojové oceli, slinuté karbidy nebo keramiky. Vložkované tažnice ze slinutého karbidu, nebo keramiky se konstruují s předpětím, jelikož tyto materiály nejsou vhodné pro tahové namáhání. Tažnice mohou být konstruovány s ostrou spodní hranou, která slouží k setřetí výtažku, nebo jako odlehčené (obr. 26). [4; 6]



Obr. 26 konstrukční provedení tažnic [4].

Přidržovač zamezuje tvorbě zvlnění v přírubě výtažku. Jeho tvar je shodný s tvarem tažnice, nebo výtažku. Pro první tah se používá jednoduchých rovinných přidržovačů (obr. 27a). Pro další tahy se využívají trubkové přidržovače (obr. 27b). Na přidržovač nejsou kladeny vysoké nároky na zatížení. Často se zhotovují z šedé litiny, nástrojových nebo cementačních ocelí a dalších materiálů s nízkým koeficientem tření. [6]

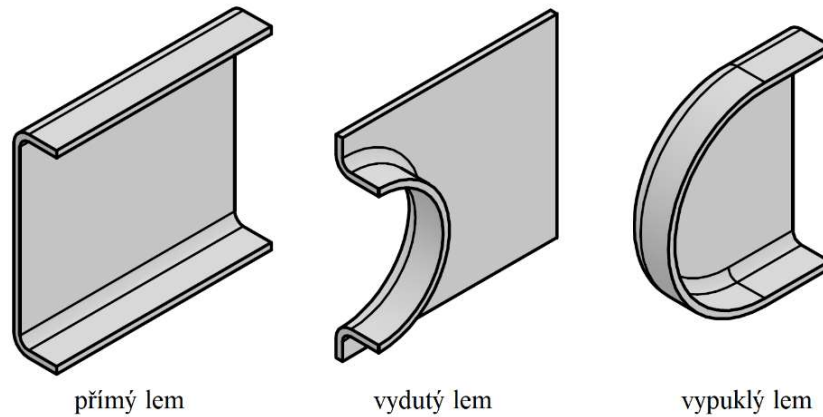


Obr. 27 Provedení přidržovačů pro hluboké tažení [40].

2.5 Lemování

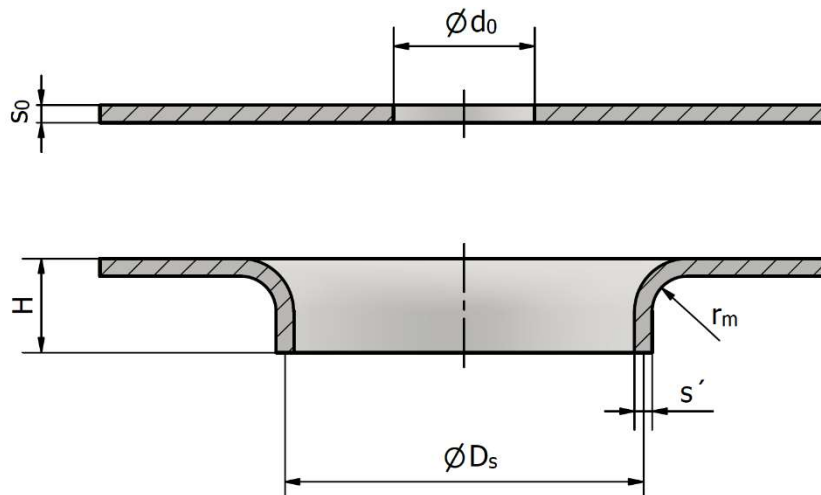
Technologie lemování představuje kombinaci ohýbání a vypínání trubek nebo plechových dílců. U dílců z plechu lze rozlišit tři základní typy lemů, viz obr 28 [2; 31]:

- přímý,
- vypuklý,
- vydutý.



Obr. 28 Příklady lemování plechu [31].

V plošném tváření lze lemy využít například k vyztužení a zvýšení vzpěrné stability. Lemy v plošných dílech se mohou využít také pro montážní spojování nýtováním nebo je lze opatřit tvářenými závitmi. Schéma tváření válcového lemu pomocí pevného nástroje uvádí obr. 29. Otvor pro lemování může být připraven technologií stříhání, vrtání, nebo řezání. Nevýhodou stříhaných otvorů je jejich zpevnění materiálu a nižší kvalita povrchu, avšak při použití sduženého nástroje lze proces stříhání a lemování otvoru sloučit do jedné operace. [31]



Obr. 29 Geometrie válcového lemu [2].

Pro výpočet průměru předstříženého otvoru lze použít vztah dle Boljanovice [2]:

$$d_0 = D_s - (2 \cdot H - 0,86 \cdot r_m - 1,43 \cdot s_0), \quad (2.40)$$

kde: d_0 – průměr výchozího otvoru [mm],

D_s – střední průměr hotového lemu [mm],

H – výška lemu [mm],

r_m – poloměr zaoblání matrice [mm]; lze zvolit dle doporučení v tabulce 8.

Výšku lemu lze určit ze vztahu [2]:

$$H = \frac{D_s - d_0}{2} + 0,43 \cdot r_m + 0,715 \cdot s_0. \quad (2.41)$$

Minimální tloušťka materiálu na konci lemu se vypočítá dle vzorce [2]:

$$s' = s_0 \cdot \sqrt{\frac{d_0}{D_s}}. \quad (2.42)$$

Síla potřebná pro tváření lemu se podle Boljanovice určí ze vztahu [2]:

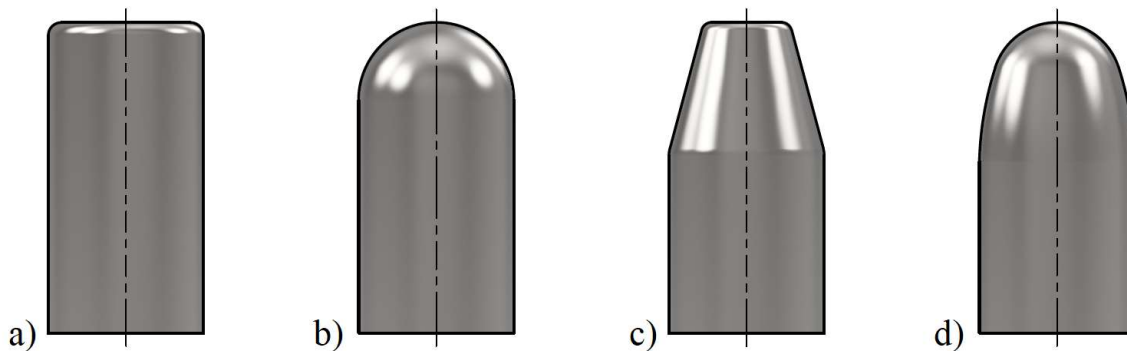
$$F_{LB} = 1,1 \cdot \pi \cdot s_0 \cdot R_m \cdot (D_s - d_0). \quad (2.43)$$

Tab. 8 Doporučené hodnoty zaoblení matrice pro lemování [2].

tloušťka materiálu [mm]	poloměr zaoblení matrice r_m [mm]
$s_0 < 2$	$(4 \div 5) \cdot s_0$
$s_0 \geq 2$	$(2 \div 3) \cdot s_0$

2.6 Nástroje pro lemování

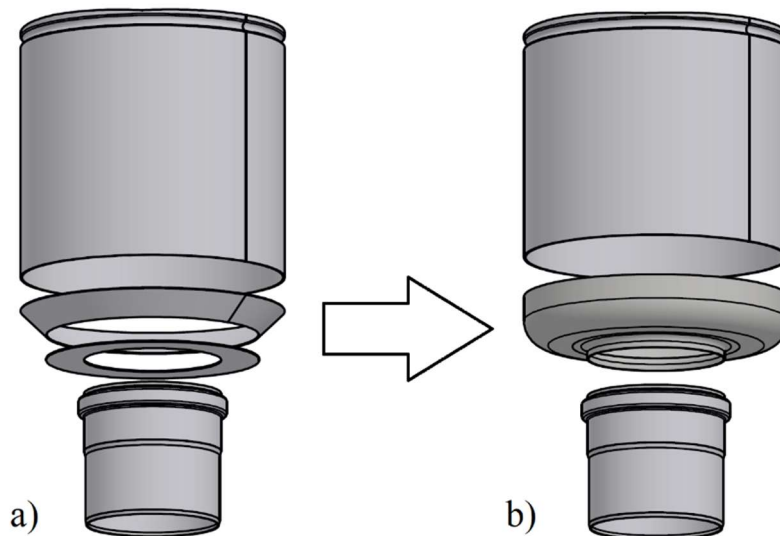
Pro lemování otvorů se používají různé geometrie lisovníků. Zvolená geometrie ovlivňuje zejména velikost a průběh lemovací síly, vliv geometrie je nejvíce znatelný u válcových lemů. Často používaný je jednoduchý lisovník s plochým čelem a zaoblenou hranou (obr. 30a), který je konstrukčně velmi jednoduchý, avšak lemovací síla je zde nejvyšší. Nižší lemovací síly lze dosáhnout použitím lisovníku s kulovým (obr. 30b) nebo kuželovým zakončením (obr. 30c). Nejnižších hodnot lemovací síly se dosahuje při použití lisovníku s traktrixovým zakončením (obr. 30d). Oproti traktrixovému zakončení je lemovací síla u kuželového tvaru vyšší přibližně 1,2krát, u plochého čela přibližně dvakrát. U lisovníků s jiným než plochým čelem je zapotřebí počítat s delší dráhou lisovníku a větším zdvihem nástroje. [2; 31]



Obr. 30 Geometrie lemovacích nástrojů [31].

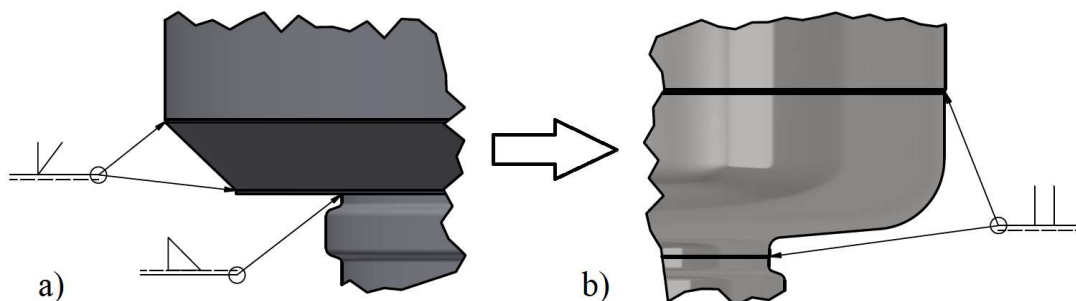
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Předmětem práce je inovace designu vpusti s ohledem na zásady hygienického designu, které jsou důležité při aplikacích v potravinářském průmyslu. Jednou z možností bylo nahrazení těla vpusti hlubokým výtažkem, avšak z důvodu omezení technickými možnostmi lisu byla tato varianta zamítnuta. Pro výrobu vpusti proto byla zvolena kombinace technologií tažení a lemování. Původní svařovaná varianta (obr. 31a) bude částečně nahrazena výtažkem dna vpusti v kombinaci s lem pro navaření odtokové trubky (obr. 31b). Nový tvar dva vpusti bude navržen v souladu s doporučením normy a dokumenty organizace EHEDG, zabývajících se designem zařízení a technologií pro potravinářský průmysl a s tím spojenou bezpečností potravin.



Obr. 31 Inovace těla vpusti.

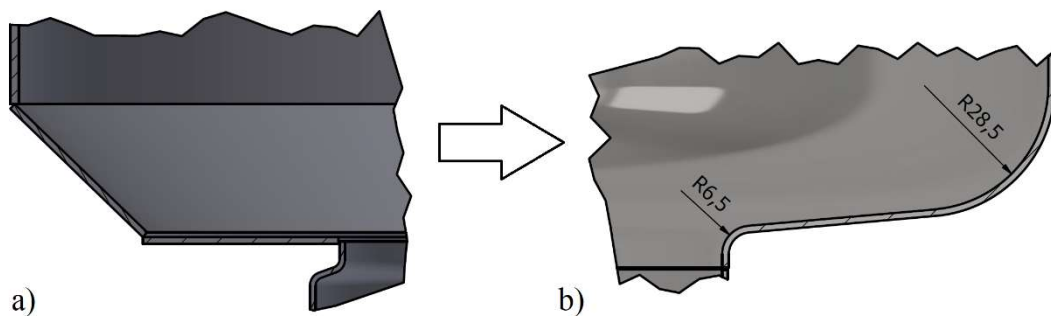
Podle normy ČSN EN ISO 14159 a dokumentu EHEDG č. 13 jsou pro zařízení v potravinářském průmyslu preferované nerozebíratelné spoje, tedy spoje svařové, respektive lepené. Při konstrukci není vhodné používat přepřátovaných spojů a přerušovaných svarů. Vzhledem k požadavku na vodotěsnost podlahových vpustí bude tělo vpusti svařeno plným vodotěsným svarem. Norma a organizace EHEDG taktéž nedoporučuje použití koutových svarů, které jsou obtížně čistitelné a mohou být zdrojem kontaminace. Preferovány jsou spojitě svařené tupé spoje, kterých bude použito při návrhu těla vpusti. [35; 37; 38] Současný stav ilustruje obrázek 32a, ve srovnání s novým designem, viz obr. 32b.



Obr. 32 Umístění svařových spojů ve dně vpusti.

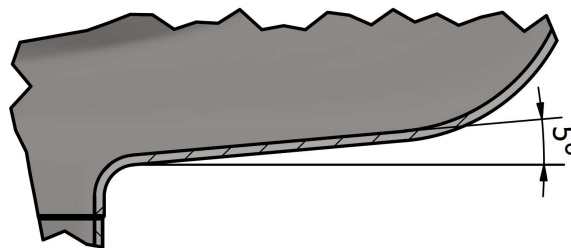
Dalším kritériem konstrukce, které upravuje norma ČSN EN 1672-2 a dokument EHEDG č. 13, je spojování ploch, které spolu svírají úhel menší než 135° . V případě řešené vpusti se jedná o napojení válcové stěny na dno vpusti a odtokovou trubku (obr. 33a). Norma a organizace EHEDG doporučují použít minimální přechodový rádius o poloměru 3 mm. [34; 37] Při návrhu

nového provedení vpusti bude použit rádius přechodu dna do stěny 28,5 mm vycházející z geometrie stávajícího řešení. Poloměr lemu pro navaření je roven 6,5 mm a vychází z doporučení v literatuře a praktických zkoušek lemování (obr. 33b).



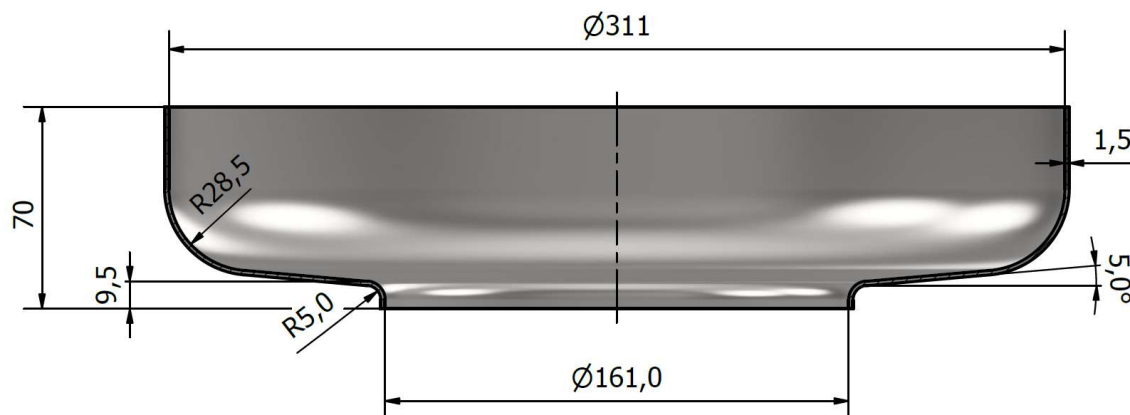
Obr. 33 Porovnání geometrie dna vpusti.

Podle normy ČSN EN ISO 14159 a dokumentu EHEDG č. 13 a č. 44 by měly být podlahové vpusti a další zařízení pro potravinářský průmysl dobře čistitelné a plně vypustitelné. V praxi by měly být všechny plochy spádované směrem k odtoku, aby nedocházelo ke vznikům lokálních prohlubní se stojatou vodou. Dokument EHEDG č. 13 konkrétně uvádí minimální spádování k odtoku alespoň 3°. [35; 37; 38] Při návrhu výtažku dna podlahové vpusti je zvolen spád 5°, viz obr. 34.



Obr. 34 Spádování dna podlahové vpusti.

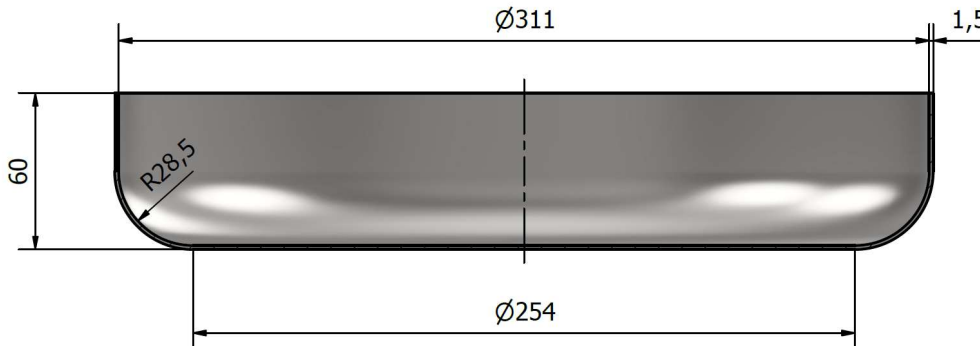
Výsledná geometrie nově navrženého dna vysokokapacitní podlahové vpusti je uvedena na obrázku 35. Jedná se o rotačně symetrický výtažek bez příruby o vnitřním průměru 311 mm, přechodovém rádiu u dna 28,5 mm a tloušťce stěny 1,5 mm. Součástí je lem sloužící pro navaření odtokové trubky o vnitřním průměru 161 mm. Výška lemu je 9,5 mm a zaoblení lemovací matrice 5 mm. Celková výška činí 70 mm. Materiálem výtažku je korozivzdorná austenitická ocel 1.4301 (X5CrNi18-10) často používaná v potravinářském průmyslu. [36]



Obr. 35 Geometrie dna vpusti s lemem.

3.1 Technologické parametry

Při návrhu technologie hlubokého tažení se vychází ze znalosti geometrie konečného výtažku. Z něj lze určit celkovou plochu a průměr polotovaru (rondele). Za tímto účelem je vhodné rozdělit výtažek na dílčí plochy (obr. 36).



Obr. 36 Zjednodušená geometrie výtažku.

Průměr výchozího polotovaru lze při znalosti plochy výtažku určit ze vzorce (2.18):

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 122\,800}{\pi}} = 397 \text{ mm},$$

kde: S_c – celková plocha výtažku, vypočtena dle rovnice (2.19):

$$S_c = S_1 + S_2 + S_3 = 51\,071 + 35\,513 + 37\,603 = 122\,800 \text{ mm}^2$$

kde: S_1 – plocha dna výtažku, vypočten dle vztahu (2.20):

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 254^2}{4} = 50\,671 \text{ mm}^2$$

S_2 – plocha válcové stěny, dle rovnice (2.21):

$$S_2 = \pi \cdot d \cdot [h - (r_{tv} + s_0) + w] = \pi \cdot 314 \cdot [60 - (28,5 + 1,5) + 6] = 35\,513 \text{ mm}^2$$

kde: w – přídavek na ostřížení; dle tab. 9:

$$w = 6 \text{ mm}$$

S_3 – obsah přechodu pláště do dna výtažku dle (2.22):

$$S_3 = \pi^2 \cdot (r_{tv} + s_0) \cdot \frac{d}{2} = \pi^2 \cdot (28,5 + 1,5) \cdot \frac{254}{2} = 37\,603 \text{ mm}^2.$$

Při určování velikosti výchozího polotovaru lze také vyjít z rovnosti objemů před a po tažení. Z rovnice (2.23) pak lze vypočítat průměr výchozího polotovaru:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_v}{\pi \cdot s_0}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 178\,133}{\pi \cdot 1,5}} = 388,85 \text{ mm},$$

kde: V_v – objem výtažku, dle programu Autodesk Inventor 2023.4.2:

$$V_v = 178\,133 \text{ mm}^3,$$

$$D_0 = 1,03 \cdot 388,85 = 401 \text{ mm}.$$

Pro válcové výtažky se uvažuje navýšení průměru polotovaru o 3 % pro první tah a o 1 % pro každý další tah z důvodu vzniku cípovitosti. [30] V tomto konkrétním případě se vypočtený průměr rondle navýší o 3 %.

Při návrhu polotovaru bude uvažován průměr určený ze zákona zachování objemu, jelikož tato metoda dává přesnější výsledky.

Tab. 9 Doporučené přídavky na ostřížení válcových výtažků bez příruby [6].

přídavek na ostřížení w [mm]				
výška výtažku h [mm]	poměrná výška výtažku h/d			
	0,5 ÷ 0,8	0,8 ÷ 1,6	1,6 ÷ 2,5	2,5 ÷ 4,0
10	1,0	1,2	1,5	2,0
20	1,2	1,6	2,0	2,5
50	2,0	2,5	3,3	4,0
100	3,0	3,8	5,0	6,0
150	4,0	5,0	6,5	8,0
200	5,0	6,3	8,0	10,0
250	5,0	7,5	9,0	11,0
300	7,0	8,5	10,0	12,0

Důležitým parametrem ovlivňujícím proces tažení je tloušťka, respektive relativní tloušťka materiálu, která se určí ze vztahu (2.29):

$$s_r = \frac{s_0}{D_0} \cdot 100 = \frac{1,5}{401} \cdot 100 = 0,374.$$

Podle relativní tloušťky materiálu se následně řídí výběr součinitelů tažení podle tabulky 3. Pro návrh tažení byly zvoleny střední hodnoty z daného intervalu, jak je vidět z tabulky 10.

Tab. 10 Zvolené součinitele tažení pro návrh tažení.

součinitel tažení	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
střední hodnota	0,59	0,795	0,815	0,84	0,865

Při návrhu počtu tažných operací je zapotřebí znát celkový součinitel tažení m_c , který je poměrem konečného průměru výtažku a výchozího polotovaru. Podle vztahu (2.28) se provede návrh počtu tažných operací:

$$m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_n < m_c$$

$$0,59 < 0,78$$

kde: m_c – celkový součinitel tažení určený dle vzorce (2.27):

$$m_c = \frac{d_s}{D_0} = \frac{312,5}{401} = 0,78,$$

kde: d_s – střední průměr výtažku dle vztahu (2.17):

$$d_s = d_1 + s_0 = 311 + 1,5 = 312,5 \text{ mm}.$$

Z návrhu pomocí vztahu (2.28) vyplývá, že k vyrobení výtažku by měla stačit jedna operace. Součinitel tažení v první operaci je menší než celkový součinitel tažení. Následně lze přistoupit k návrhu průměrů výtažku v jednotlivých operacích. Pro první tažnou operaci se vyjde ze vztahu (2.25), kde se určí střední průměr výtažku, vypočtená hodnota se vhodně zaokrouhlí na hodnotu vyšší, než je vypočtená:

$$d'_s = m_1 \cdot D_0 = 0,59 \cdot 401 = 226,6 \text{ mm}.$$

Z předchozího výpočtu je zřejmé, že střední průměr výtažku, který lze vytáhnout v první operaci, je menší než navržený střední průměr hotového výtažku. Výtažek lze zhotovit na jednu tažnou operaci, kde $d_s = 312,5 \text{ mm}$.

Dalším krokem je určení funkčních rozměrů nástroje, tj. velikost zaoblení tažných hran, tažníku a návrh tažné mezery. Pro určení velikosti zaoblení tažné hrany v první operaci lze využít vztahu (2.30):

$$r_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{s_0 \cdot (D_0 - d_1)} = 0,8 \cdot \sqrt{1,5 \cdot (401 - 311)} = 8,6 \text{ mm.}$$

Při návrhu zaoblení tažníku by se mělo vycházet z doporučení, že velikost zaoblení by měla být stejná nebo větší, než je poloměr zaoblení tažnice. Při výpočtu zaoblení tažníku by se při víceoperačním tažení použil vzorec (2.38). Vzhledem k tomu, že výtažek bude vyroben na jednu tažnou operaci, je poloměr tažníku shodný s rádiusem ve dně výtažku (2.32):

$$r_{tu} = r_{tv} = 28,5 \text{ mm.}$$

Zároveň je tedy splněna podmínka dle ČSN 22 7301, že zaoblení tažníku v poslední operaci pro průměr větší než 200 mm by mělo být stejné nebo větší než $(5 \div 7) \cdot s_0$. [30]

Při návrhu tažné mezery bude použit přístup dle ČSN 22 7301, kdy se velikost tažné mezery v první operaci vypočítá ze vztahu (2.34). Ve výpočtu bude uvažována střední hodnota z doporučeného intervalu:

$$z_1 = 1,25 \cdot s_0 = 1,25 \cdot 1,5 = 1,875 \text{ mm.}$$

O nutnosti použití přidržovače lze rozhodnout na základě empirických vztahů. Jednou z možností je ověření platnosti nerovnice (2.36):

$$u \geq v, \\ 86,72 \geq 76,79,$$

kde: u – porovnávací součinitel určený dle vztahu (2.37):

$$u = 50 \cdot \left(k_1 - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) = 50 \cdot \left(1,90 - \frac{\sqrt{1,5}}{\sqrt[3]{401}} \right) = 86,72,$$

kde: k_1 – materiálová konstanta; z tabulky 6:

$$k_1 = 1,90 \text{ pro ocel,}$$

v – součinitel vyjadřující poměr průměru tažníku vůči průměru výchozího polotovaru vypočítaný z rovnice (2.38):

$$v = \frac{100 \cdot d_{tu}}{D_0} = \frac{100 \cdot 311}{401} = 76,79.$$

Z hodnot součinitelů u a v je patrné, že platí nerovnice (2.36), při tažení bude zapotřebí použít přidržovače.

Rozhodnout o nutnosti použití přidržovače lze také na základě dalších kritérií. Přidržovač nemusí být použit, pokud platí nerovnice (2.39):

$$D_0 - d_1 \leq 18 \cdot s_0, \\ 401 - 311 \leq 18 \cdot 1,5, \\ 90 \not\leq 27.$$

Na základě vyhodnocení obou přístupů dle nerovnice (2.36) a (2.39) lze říci, že při tažení dané geometrie výtažku bude zapotřebí použít přidržovač.

3.2 Deformační odpor a tažná síla

Tažná síla v první operaci se vyhodnocuje pro řadu zvolených $\bar{\rho} \in (0,6; 0,99)$. Výpočet bude proveden pro jednu zvolenou hodnotu z intervalu, pro zbytek intervalu bude vytvořen program v aplikaci MS Excel. Následující výpočet je platný pro $\bar{\rho} = 0,90$, což odpovídá aktuálnímu průměru příruby 360,9 mm.

Střední hodnotu přirozeného přetvárného odporu σ_{ps} lze určit ze vzorce (2.12):

$$\sigma_{ps} = \frac{R_m}{1-\Psi} \left(\frac{1-0,5 \left(\bar{\rho} + \frac{m_1}{\sqrt{1-\bar{\rho}^2+m_1^2}} \right)}{\Psi} \right)^{\frac{\Psi}{1-\Psi}} = \frac{651,8}{1-0,136} \left(\frac{1-0,5 \left(0,90 \frac{0,7793}{\sqrt{1-0,90^2+0,7793^2}} \right)}{0,136} \right)^{\frac{0,136}{1-0,136}} =$$

$$= 733,350 \text{ MPa},$$

kde: R_m – mez pevnosti materiálu; získaná z tahové zkoušky:

$$R_m = 651,8 \text{ MPa},$$

Ψ – poměrné zúžení na počátku tvorby krčku; příloha 1:

$$\Psi = 0,136,$$

$\bar{\rho}$ – poměrné zmenšení vnějšího poloměru:

$$\bar{\rho} = 0,90, \text{ odpovídá aktuálnímu průměru příruby } 360,9 \text{ mm},$$

m'_1 – skutečný součinitel tažení v první operaci [26]:

$$m'_1 = \frac{d_s}{D_0}, \quad (3.1)$$

$$m'_1 = \frac{312,5}{401} = 0,7793.$$

Při znalosti aktuálního poloměru příruby a efektivního průměru pod přidržovačem a zvoleného tlaku přidržovače lze vypočítat sílu od přidržovače dle vztahu (2.13):

$$F_p = p \cdot (D^2 - d_{ef}^2) \frac{\pi}{4} = 2,5 \cdot (360,9^2 - 331,95^2) \frac{\pi}{4} = 39\,383,806 \text{ N} = 39,384 \text{ kN},$$

kde: p – tlak přidržovače; zvolen dle tab. 2:

$$p = 2,5 \text{ MPa},$$

D – aktuální průměr příruby:

$$D = \bar{\rho} \cdot D_0, \quad (3.2)$$

$$D = 0,90 \cdot 401 = 360,9 \text{ mm},$$

d_{ef} – efektivní průměr pod přidržovačem; ze vzorce (2.14):

$$d_{ef} = d_{tu} + 2 \cdot r_{tc1} + 2 \cdot z_1 = 311 + 2 \cdot 8,6 + 2 \cdot 1,875 =$$

$$= 331,95 \text{ mm}.$$

Tažné napětí v první tažné operaci pak se určí dosazením do vztahu (2.7):

$$\sigma_z = \sigma_{ps} \left(\xi \cdot \ln \frac{2 \cdot R}{d_s} + \frac{f \cdot F_p}{\pi \cdot \sigma_{ps} \cdot R \cdot s_0} + \frac{s_0}{2 \cdot r_{tc1} + s_0} \right) (1 + 1,6 \cdot f)$$

$$= 733,350 \left(1,1 \cdot \ln \frac{2 \cdot 180,45}{312,5} + \frac{0,12 \cdot 39\,383,806}{\pi \cdot 733,564 \cdot 180,45 \cdot 1,5} + \frac{1,5}{2 \cdot 8,6 + 1,5} \right)$$

$$\cdot (1 + 1,6 \cdot 0,12) = 215,207 \text{ MPa}$$

kde: ξ – Lodeho součinitel pro tažení [4]:

$$\xi = 1,1,$$

R – aktuální poloměr příruby:

$$R = \frac{\bar{\rho} \cdot D_0}{2}, \quad (3.3)$$

$$R = \frac{0,90 \cdot 401}{2} = 180,45 \text{ mm},$$

f – součinitel tření:

$$f = 0,12.$$

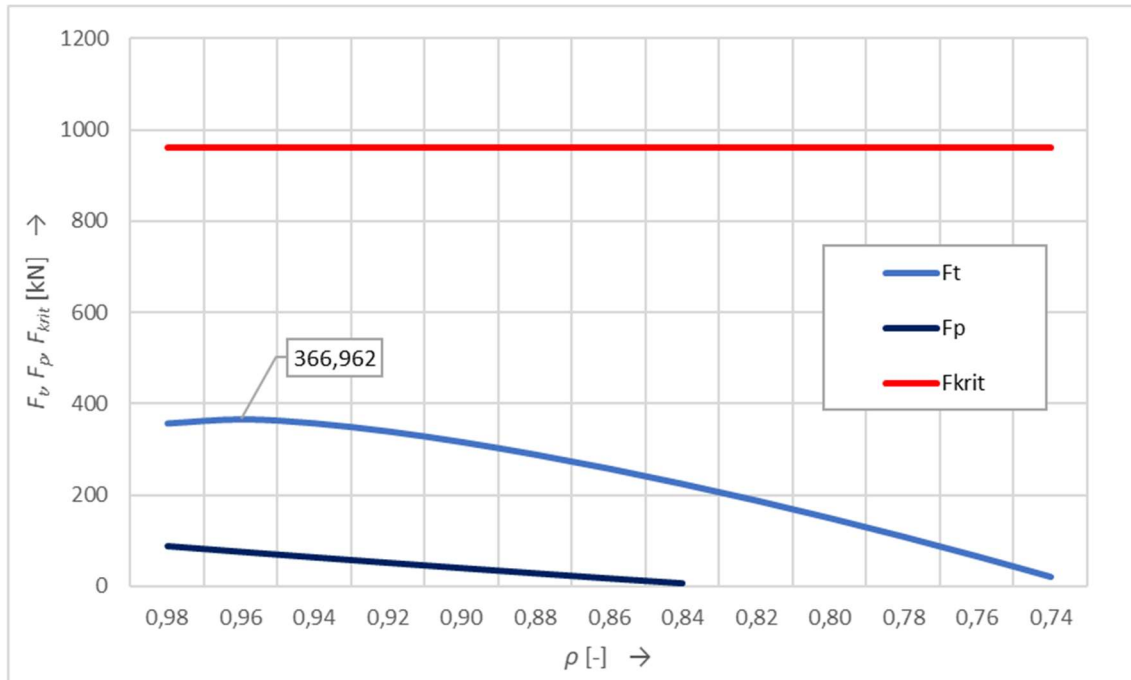
Tažnou sílu pak lze vypočítat po dosazení do vztahu (2.9) za σ_z :

$$F_t = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot \sigma_{zmax} = \pi \cdot 312,5 \cdot 1,5 \cdot 215,207 = 316\,917,940 \text{ N} = 316,918 \text{ kN}.$$

Kontrola na utržení dna výtažku se provede podle rovnice (2.16):

$$F_{krit} = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot R_m = \pi \cdot 312,5 \cdot 1,5 \cdot 651,8 = 959\,854,730\,N = 959,855\,kN.$$

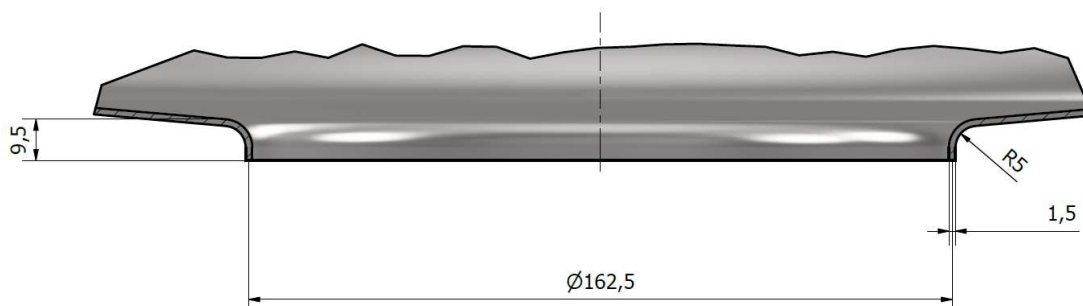
Na obrázku 37 je znázorněn průběh tažné a přidržovací síly v závislosti na aktuálním poměru zmenšení příruby. Nejvyšší hodnota tažné síly $F_{t1max} \cong 366,952\,kN$, což je méně než hodnota kritické síly na utržení dna výtažku. Během tažení nedojde k porušení výtažku.



Obr. 37 Závislost tažné a přidržovací síly v 1. operaci na poměrném zmenšení příruby.

3.3 Výpočet lemování

Pro navrženou geometrii lemu je zapotřebí určit velikost tvářecí síly potřebné k olemování otvoru. K výpočtu je využit vztah dle Boljanovice, který pro výpočet uvažuje střední průměr lemu, výšku lemu, velikost zaoblení a tloušťku výchozího materiálu. Rozměry lemu jsou uvedeny na obrázku 38.



Obr. 38 Geometrie lemu.

Pro výpočet průměru předzhotoveného otvoru lze použít vztah dle Boljanovice (2.40):

$$\begin{aligned} d_0 &= D_s - (2 \cdot H - 0,86 \cdot r_m - 1,43 \cdot s_0) = \\ &= 162,5 - (2 \cdot 9,5 - 0,86 \cdot 5 - 1,43 \cdot 1,5) = 149,9\,mm, \end{aligned}$$

kde: d_0 – průměr výchozího otvoru [mm],

D_s – střední průměr hotového lemu:

$$D_s = 162,5 \text{ mm},$$

H – výška lemu:

$$H = 9,5 \text{ mm},$$

r_m – poloměr zaoblení matrice:

$$r_m = 5 \text{ mm},$$

Poloměr zaoblení matrice byl zvolen na základě zkoušek lemování provedených ve firmě ACO Industries k.s.

Při uvážení přídatku na zarovnání okraje lemu pro následné svařování bude uvažován předzhotovený otvor pro lemování $d_0 = 148 \text{ mm}$.

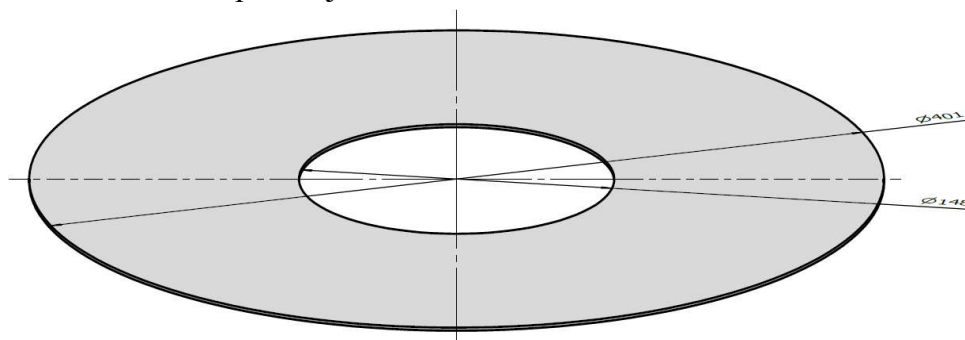
Minimální tloušťka materiálu na konci lemu se vypočítá dle vzorce (2.42):

$$s' = s_0 \cdot \sqrt{\frac{d_0}{D_s}} = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{148}{162,5}} = 1,43 \text{ mm}.$$

Síla potřebná pro tváření lemu se podle Boljanovice určí ze vztahu (2.43):

$$\begin{aligned} F_{LB} &= 1,1 \cdot \pi \cdot s_0 \cdot R_m \cdot (D_s - d_0) = 1,1 \cdot \pi \cdot 1,5 \cdot 652,0 \cdot (162,5 - 148) = \\ &= 49\,006 \text{ N}. \end{aligned}$$

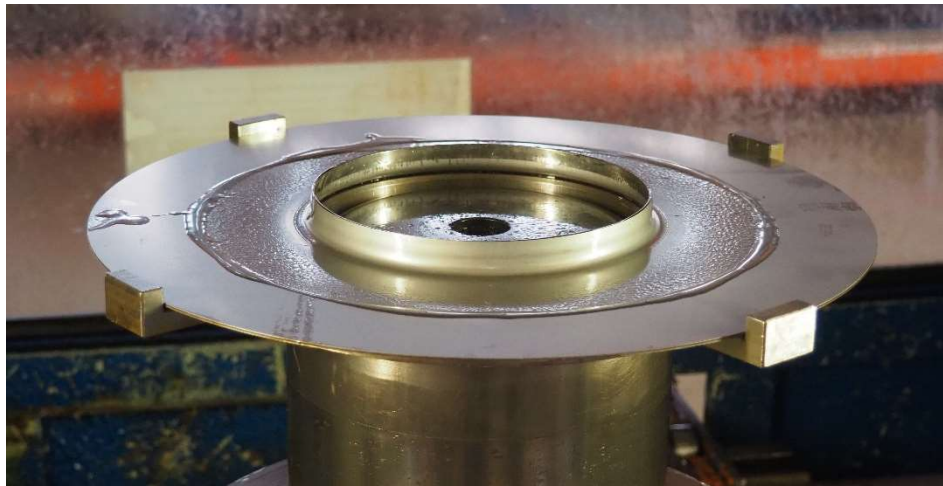
Na obrázku 39 je výsledný polotovár pro tažení dna vysokokapacitní vpusti. Polotovár bude vyráběn technologií laserového řezání, která je velmi produktivní při zpracování plechů. Vnější průměr polotovaru s uvážením přídatků na ostrížení činí 401 mm. Vnitřní otvor pro lemování má průměr 148 mm, tloušťka plechu je 1,5 mm.



Obr. 39 Výsledný polotovár pro výrobu dna vpusti.

Za účelem ověření geometrie a kvality lemu byly provedeny zkoušky lemování v dílnách firmy ACO Industries k.s. K lemování byl použit hydraulický lis Dieffenbacher PO250 vybavený magnetickým upínáním nástroje. Pro zkoušku lemování byl zvolen nástroj o průměru 157 mm, který se nejvíce blíží navržené geometrii (příloha 2). Matrice nástroje má vnitřní průměr 157 mm a rádius zaoblení 5 mm.

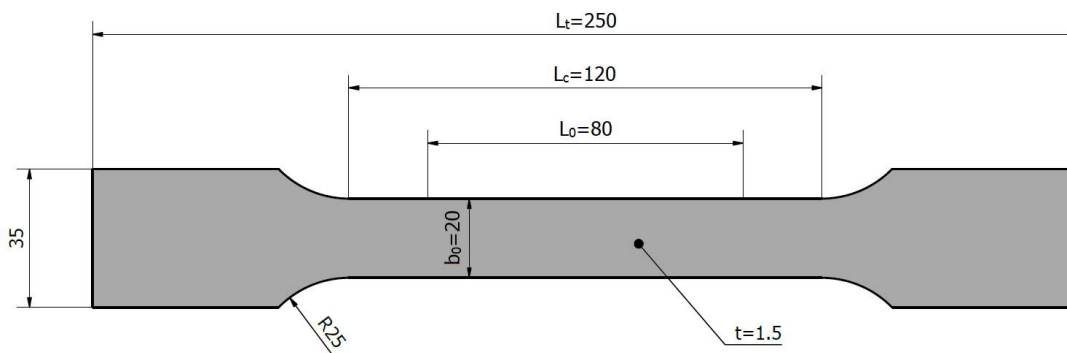
Vzorky pro lemování byly zhotoveny z korozivzdorné oceli 1.4301 tloušťky 1,5 mm. Vnější průměr, který slouží k zakládání do nástroje, má velikost 358 mm. Dále byly navrženy různé průměry otvorů předpálených na laseru, za účelem ověření výšky a kvality výsledného lemu. Pro řadu zvolených předzhotovených otvorů bylo dosaženo výšky lemů od 15 do 22 mm, přičemž při nižších výškách lemu je jeho kvalita značná, viz obr. 40. Zkouškou bylo také ověřeno, že při návrhu lemu lze použít menší poloměr zaoblení, než doporučuje literatura. V tomto případě činí poloměr zaoblení matrice 5 mm, tento poloměr je zvolen pro výpočet i návrh nástroje.



Obr. 40 Vzorek lemování otvoru o průměru 157 mm.

3.4 Materiálový model oceli 1.4301

Za účelem zjištění materiálových vlastností austenitické korozivzdorné oceli 1.4301 byla provedena tahová zkouška vzorků z plechu o tloušťce 1,5 mm. Cílem tahové zkoušky je určení meze kluzu, meze pevnosti a tažnosti pro konkrétní plech. Zkouška byla provedena pro 6 vzorků ve směru válcování plechu. Geometrie vzorku pro tahovou zkoušku je znázorněna na obr. 41. Materiálové hodnoty zjištěné pomocí tahové zkoušky budou použity pro následující výpočty i numerickou simulaci procesu tažení.



Obr. 41 Geometrie vzorku pro tahovou zkoušku.

Tahová zkouška byla provedena v souladu s normou ČSN EN 10002-1 na hydraulickém zkušebním stroji ZD40 za kvazistatických podmínek, základní technické parametry jsou uvedeny v tabulce 11. Zkušební stroj je vybaven inkrementálním snímačem polohy příčnicku, zároveň umožňuje řízení rychlosti zatěžování a provádění tahových, tlakových a ohybových zkoušek materiálů až do 400 kN. Řízení zajišťuje elektronická řídicí jednotka EDC 60, speciálně navržená pro řízení servo-hydraulických zkušebních strojů. Součástí zařízení pro tahovou zkoušku je počítač vybavený softwarem TIRAtest v2.1, který umožňuje vyhodnocení výsledků a grafické zpracování tahových, tlakových a ohybových zkoušek materiálů. [41]

Tab. 11 Základní technické parametry zkušebního stroje ZD40 [41].

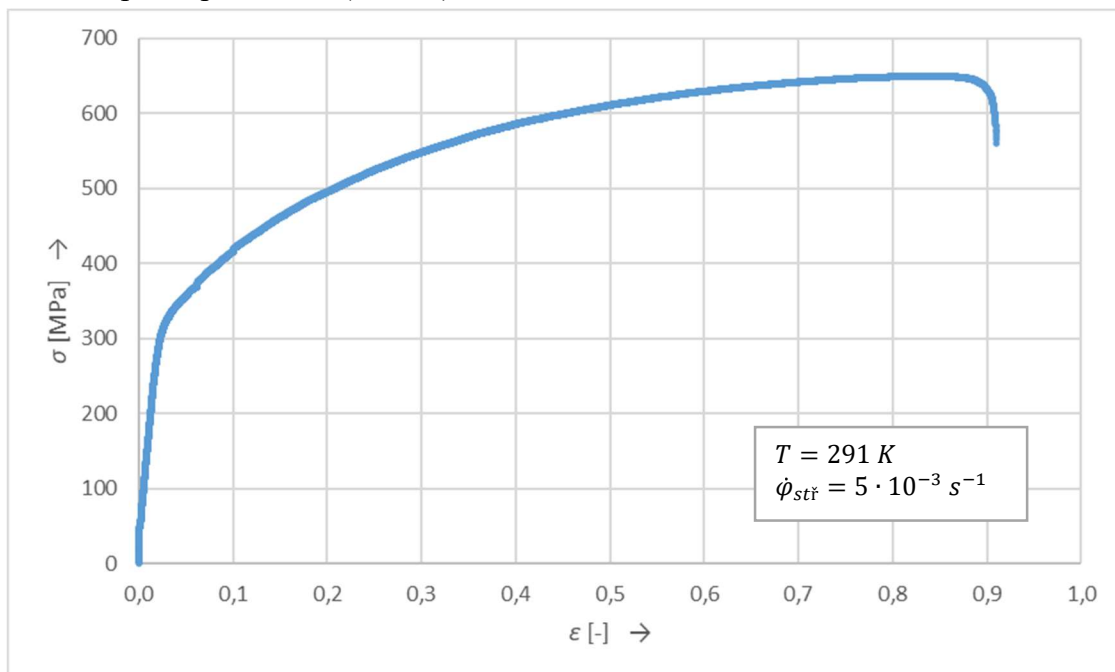
parametr	hodnota
rozsah měření síly	8 ÷ 400 kN
chyba měření síly	0,01 jmenovitého rozsahu síly
rozsah měření dráhy	0 ÷ 280 mm
chyba měření dráhy	±0,01 mm

Přehled základních mechanických vlastností oceli 1.4301 získaných tahovou zkouškou je uveden v tabulce. 12. Zprůměrované hodnoty z pěti měření budou použity pro další výpočty.

Tab. 12 Mechanické vlastnosti oceli 1.4301 získané tahovou zkouškou.

č. vzorku	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	L_0 [mm]	L_U [mm]	A_{80} [%]
1	293,5	653,8	80	124,5	55,6
2	304,2	647,9	80	124,0	55,0
3	311,2	653,9	80	124,0	55,0
4	295,0	644,7	80	125,0	56,3
5	309,2	658,5	80	125,0	56,3
průměr	302,6	651,8	80	124,5	55,6

Materiálový model pro numerickou simulaci byl získán z tahové zkoušky vzorků z plechu. V první fázi byla provedena tahová zkouška pěti vzorků ve směru válcování za účelem zjištění závislosti napětí – přetvoření (obr. 42).



Obr. 42 Závislost σ - ϵ oceli 1.4301, $t = 1.5$ mm (průměr z 5 měření).

Systém smluvní napětí – poměrná deformace je využitelný pouze pro malé deformace v elastické oblasti, proto byl proveden přepočít smluvního tahového diagramu na skutečný (obr. 43). Pro přepočít poměrného přetvoření na logaritmické se používá vzorce [5]:

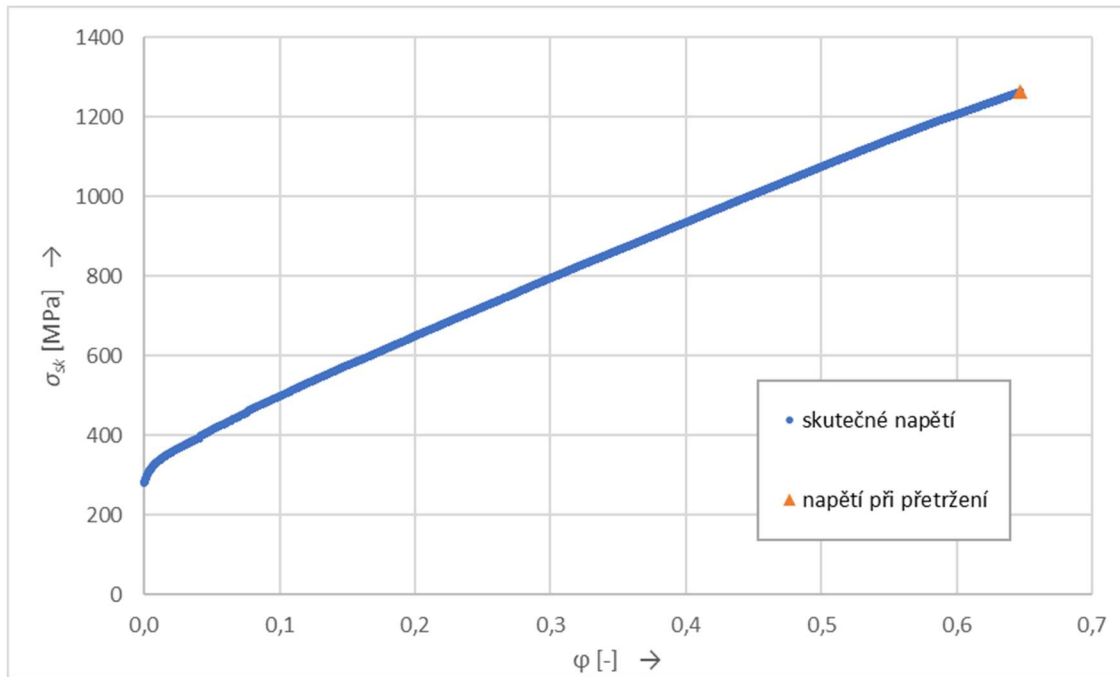
$$\varphi = \ln(1 + \epsilon) \rightarrow, \quad (3.4)$$

kde: φ – logaritmické přetvoření [-],
 ϵ – poměrná deformace [-].

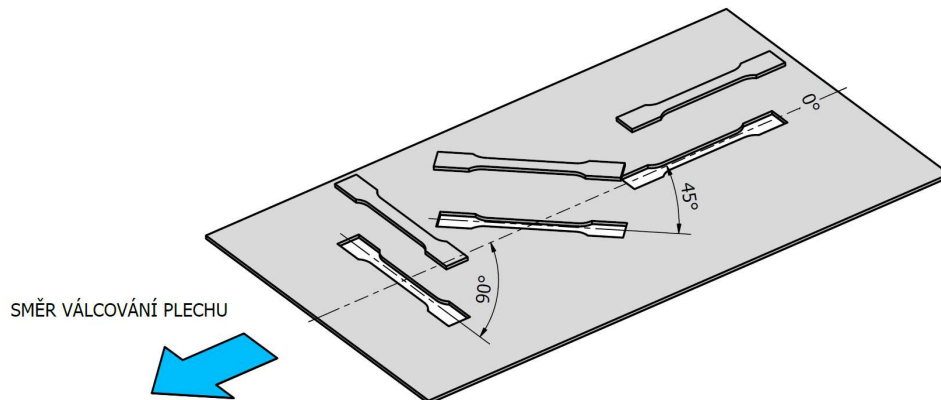
Obdobně se provede přepočít smluvního napětí na skutečné podle vztahu [15]:

$$\sigma_{sk} = \sigma \cdot (1 + \epsilon), \quad (3.5)$$

kde: σ_{sk} – skutečné napětí [MPa],
 σ – smluvní napětí [MPa].


 Obr. 43 Závislost σ_{sk} - ϕ oceli 1.4301, $t=1.5$ mm.

Další součástí korektního materiálového modelu je vyhodnocení plastické anizotropie, tj. plastického chování materiálů v závislosti na orientaci vůči směru válcování plechu. Směry odběru vzorků z tabule plechu jsou znázorněny na obr. 44. [4; 5]



Obr. 44 Orientace odebíraných vzorků při zkoušce plošné anizotropie [43].

Vzorky z plechu odebrané pod úhly 0° , 45° a 90° se na zkušebním stroji natáhnou na 20 % plastické deformace. V každém směru byly zkoušeny čtyři vzorky, jejichž měrné délky byly rozděleny na pět měřených oblastí. Na každém vzorku tedy bylo provedeno 5 měření. Součinitelé plastické anizotropie byly určeny dle vztahu (3.6). Pro měření bylo využito digitálního mikrometrického měřidla Mitutoyo, specifikace měřidla je uvedena v tab. 13. Výsledky měření byly následně zprůměrovány. Tabelované hodnoty součinitele plastické anizotropie uvádí tabulka 14. Kompletní tabulky měření jsou uvedeny v příloze 3.

Tab. 13 Parametry třmenového mikrometru Mitutoyo [42].

vlastnost	hodnota
měřicí rozsah [mm]	0 ÷ 25
rozlišení [mm]	0,001
průměr doteků [mm]	6,35

Tab. 14 Vyhodnocení součinitele plastické anizotropie.

		směr 0°	směr 45°	směr 90°
tloušťka	s [mm]	1,45	1,45	1,45
šířka	b [mm]	19,99	19,94	19,96
přetvoření ve směru tloušťky	φ_s [-]	-0,108	-0,095	-0,097
přetvoření ve směru šířky	φ_b [-]	-0,089	-0,105	-0,096
součinitel plastické anizotropie	r_α [-]	0,823	1,112	0,995
střední hodnota součinitele plastické anizotropie		r_s [-]		
		1,010		

Hodnota plastické anizotropie v jednotlivých směrech byla určena z následujícího vztahu (uveden vzorový výpočet pro vzorek č. 8, měření 1 z přílohy 3) [5]:

$$r_\alpha = \frac{\varphi_b}{\varphi_s} = \frac{-0,0865}{-0,1046} = 0,8271, \quad (3.6)$$

kde: r_α – součinitel plastické anizotropie ve směru α [-],
 φ_b – logaritmické přetvoření ve směru šířky vzorku:

$$\varphi_b = \ln \frac{b_0}{b} \quad (3.7)$$

$$\varphi_b = \ln \frac{b_0}{b} = \ln \frac{19,97}{18,315} = -0,0865,$$

kde: b_0 – výchozí šířka zkušební vzorku:

$$b_0 = 19,97 \text{ mm},$$

b – šířka vzorku při 20 % plastické deformace:

$$b = 18,315 \text{ mm},$$

φ_s – logaritmické přetvoření ve směru tloušťky vzorku:

$$\varphi_s = \ln \frac{s_0}{s} \quad (3.8)$$

$$\varphi_s = \ln \frac{s_0}{s} = \ln \frac{1,45}{1,306} = -0,1046,$$

kde: s_0 – výchozí tloušťka zkušební vzorku:

$$s_0 = 1,45 \text{ mm},$$

s – tloušťka vzorku při 20 % plastické deformace:

$$s = 1,306 \text{ mm}.$$

Jelikož se hodnota součinitele plastické anizotropie mění v závislosti na směru odebíraného vzorků, zavádí se tzv. střední hodnota plastické anizotropie označována také jako součinitel normálové anizotropie (hodnoty r_α , viz příloha 3) [5]:

$$r_s = \frac{r_0 + 2 \cdot r_{45} + r_{90}}{4} = \frac{0,823 + 2 \cdot 1,112 + 0,995}{4} = 1,010, \quad (3.9)$$

kde: r_s – střední hodnota součinitele normálové anizotropie [-],

r_0 – součinitel plastické anizotropie ve směru 0° ke směru válcování:

$$r_0 = 0,823,$$

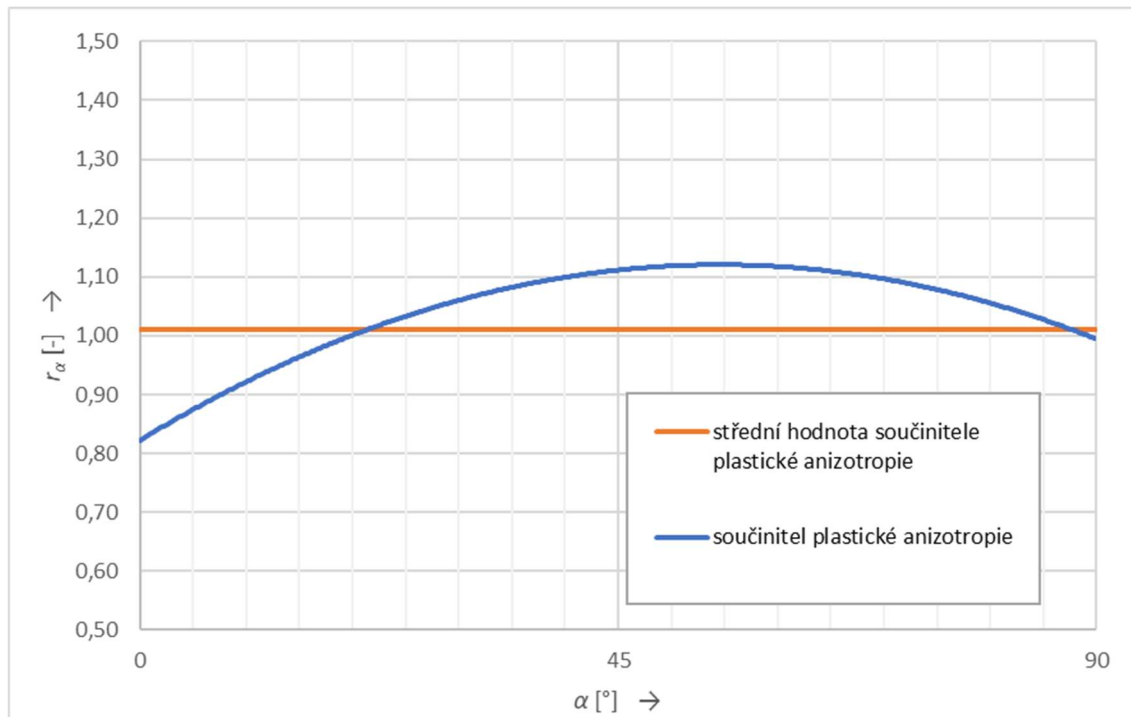
r_{45} – součinitel plastické anizotropie ve směru 45° ke směru válcování:

$$r_{45} = 1,112,$$

r_{90} – součinitel plastické anizotropie ve směru 90° ke směru válcování:

$$r_{90} = 0,995.$$

Grafické vyjádření součinitele plastické anizotropie v závislosti na směru odběru vzorků vůči směru válcování je na obr. 45. Střední hodnota součinitele plastické anizotropie určená podle vztahu (3.9) $r_s = 1,010$.

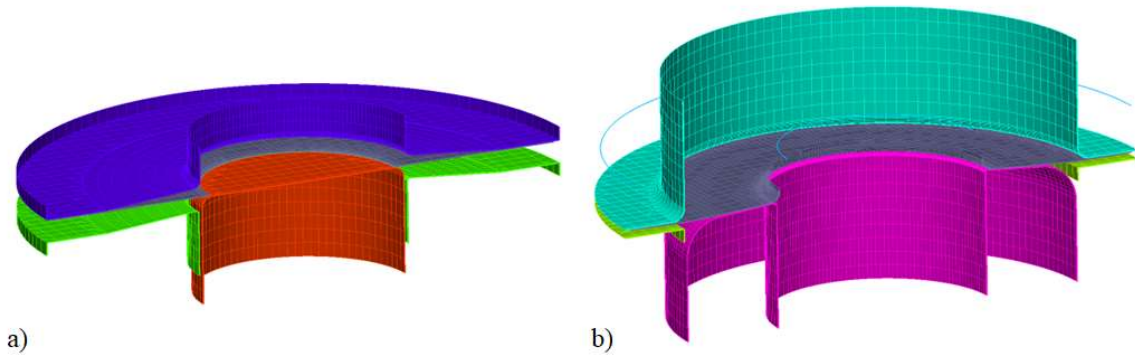


Obr. 45 Závislost součinitele plastické anizotropie na směru odběru vzorků.

3.5 Numerická simulace

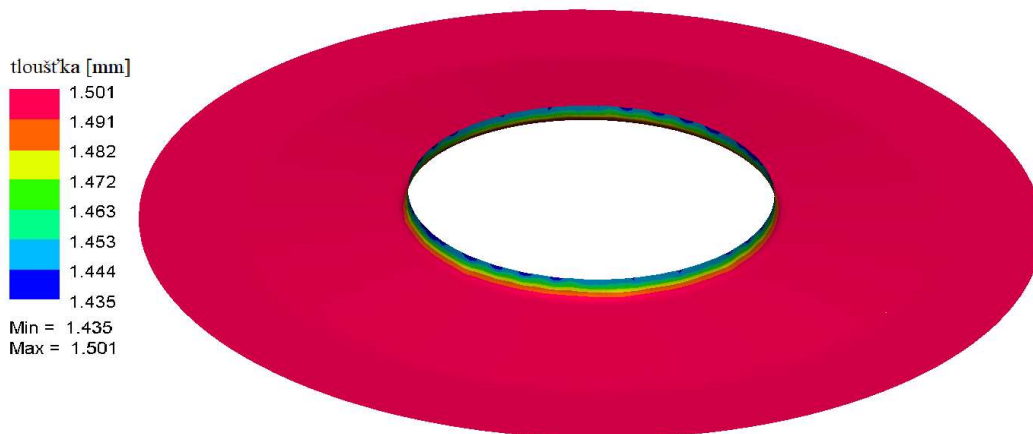
V současnosti lze většinu problémů technické praxe s úspěchem řešit pomocí numerických simulací. Ve strojírenské technologii je nejpoužívanější numerickou metodou metoda konečných prvků (MKP). S jejím využitím lze simulovat chování materiálů při plošném i objemovém tváření, predikovat vznik vad a optimalizovat nástroje pro tváření. Podstatou metody konečných prvků je diskretizace řešeného kontinua, tj. rozdělení na konečný počet podoblastí, které lze jednoduše matematicky popsat. [16]

Pro ověření procesu hlubokého tažení byl použit software PAM-STAMP zaměřený na simulace plošného a objemového tváření. V simulacích plošného tváření software pracuje se skořepinovými prvky, což usnadňuje výpočet sítě MKP. Nástroje byly v simulaci uvažovány jako ideálně tuhé, proto bylo možné zjednodušit je na plošné modely a importovat pouze funkční plochy nástrojů. Import geometrií nástrojů se provádí ve formátu IGES, stejně jako import výchozího polotovaru. Pro účely výpočtu bylo zapotřebí rozdělit simulaci na dva samostatné kroky, čemuž byla uzpůsobena i geometrie nástrojů. V prvním kroku dojde k sevření polotovaru mezi dolní přídržovač a matici pro lemování. Matrice s přídržovačem konají pohyb směrem dolů a dochází k olemování otvoru přes pevný lisovník (obr. 46a). Následně je již olemovaný plech přenesen do druhého kroku simulace, kde dojde ke zhotovení výtazku. Plech je sevřen mezi tažnicí a přídržovačem, které konají pohyb dolů a plech je tažen přes pevný tažník (obr. 46b).



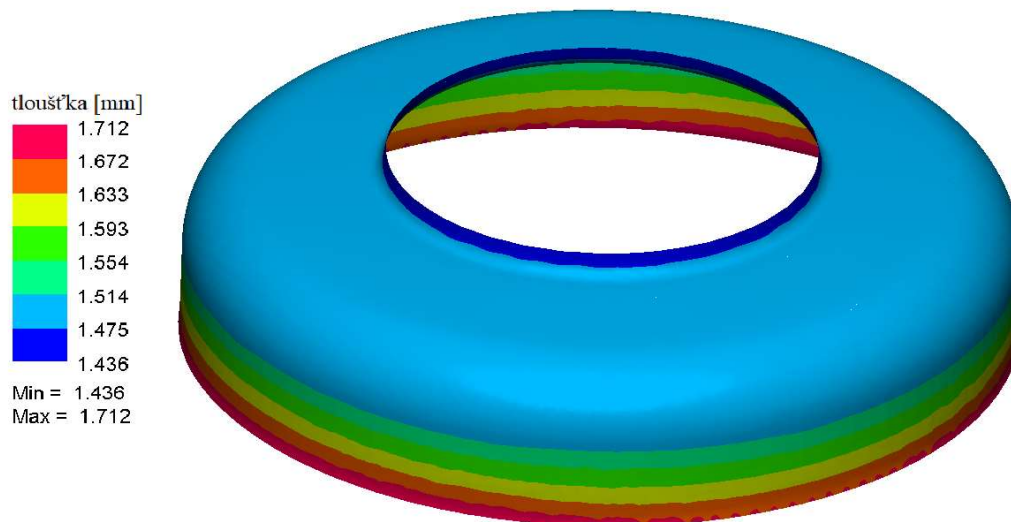
Obr. 46 Plošné geometrie nástrojů pro numerickou simulaci.

Na obrázku 47 je výsledná geometrie výlisku po prvním kroku simulace, kdy dojde k olemování otvoru. Z numerické simulace lemování vyplývá, že k největšímu ztenčení stěny v souladu s předpoklady dojde na konci lemu. Tloušťka stěny na konci lemu se zmenší z původní hodnoty 1,5 mm na 1,435 mm. Zároveň bylo i numerickou simulací ověřeno, že lem s daným rádiusem zaoblení je vyrobitelný a nedochází k porušení materiálu vlivem tahových napětí při lemování.



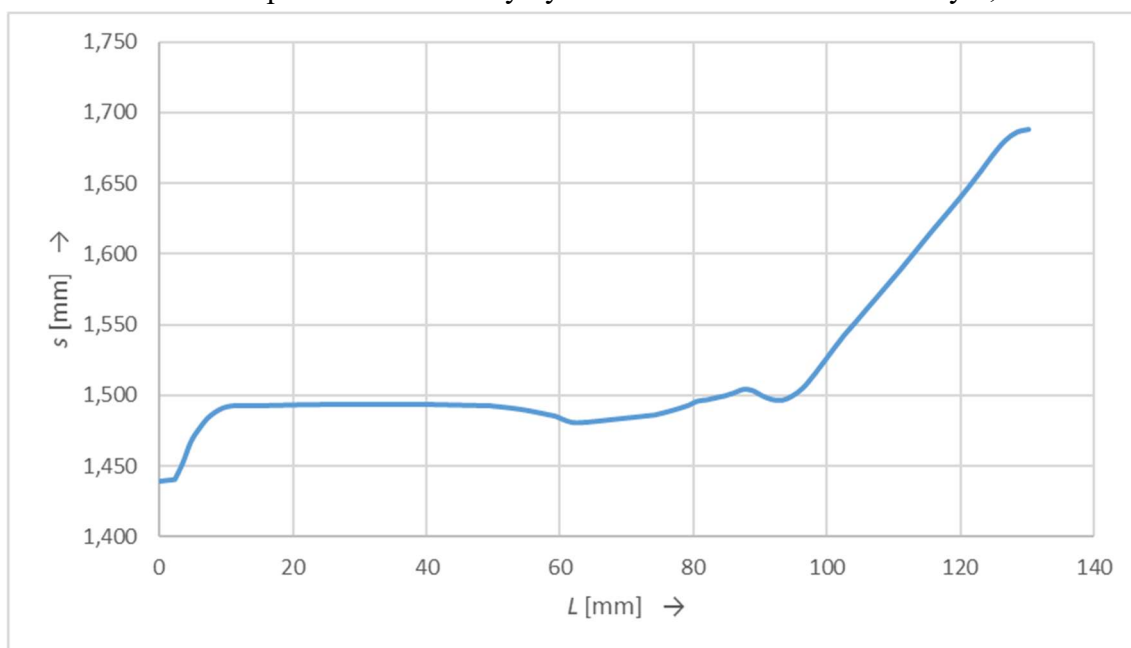
Obr. 47 Zeslabení stěny lemu v 1. operaci.

Ve druhém kroku výpočtu je již olemovaný plech tažen (obr. 48). Během tažení je dno výtažku spolu s lemem přidržováno pomocí horního přidržovače, který zabraňuje zborcení lemu. Tloušťka stěny lemu se v tomto kroku nemění. Taktéž tloušťka ve dně výtažku a v přechodovém rádiu mezi stěnou a dnem výtažku se výrazně nemění a pohybuje se v rozmezí od 1,514 do 1,475 mm. Při procesu tažení se vždy určitý objem kovu přesouvá do stěny výtažku, v tomto případě dojde k nárůstu tloušťky stěny z původních 1,5 mm na hodnotu 1,712 mm u horního okraje výtažku. FLD diagram je uveden v příloze č. 4.



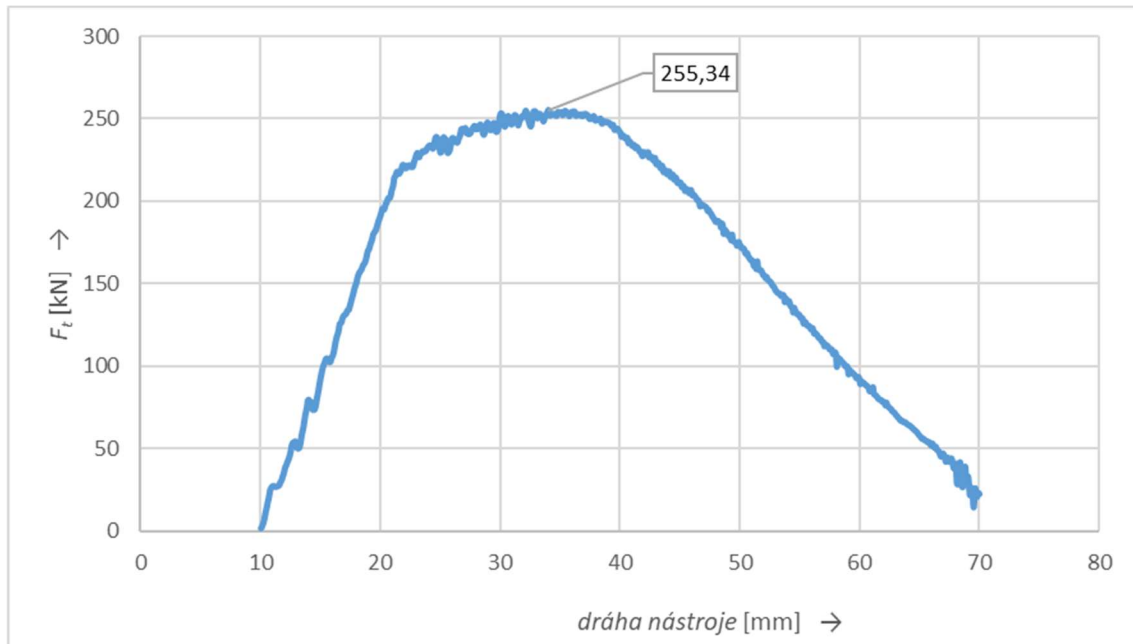
Obr. 48 Zeslabení stěny výtažku ve 2. operaci.

Průběh tloušťky materiálu podél rozvinuté stěny výtažku je graficky znázorněn na obr. 49. Počátek grafu představuje okraj lemu, jak je patrné, dochází zde ke ztenčení materiálu z původní hodnoty na asi 1,44 mm. Dále je z grafu patrná oblast, kde zůstává tloušťka stěny výlisku téměř beze změny, jedná se o dno výtažku. Následuje přechodový rádius, kde tloušťka kolísá a následně roste podél válcové stěny výtažku až do maximální hodnoty 1,69 mm.



Obr. 49 Průběh tloušťky podél stěny výtažku.

Z numerické simulace procesu lemování a tažení byly získány také průběhy sil. Při lemování otvoru byla maximální tvářecí síla určená programem PAM-STAMP rovna 37,39 kN. Ze srovnání se silou potřebnou k lemování vypočtenou pomocí vztahu dle Boljanovice vyplývá, že síla určená numerickou simulací je o necelých 25 % nižší. Obdobně tažná síla z numerické simulace je nižší než síla spočtená analyticky. Konkrétně maximální hodnota tažné síly z programu PAM-STAMP činí 255,34 kN, což je přibližně o 30 % méně než výpočet. Na obrázku 50 je zobrazena závislost tažné síly na dráze nástroje získaná z numerické simulace.

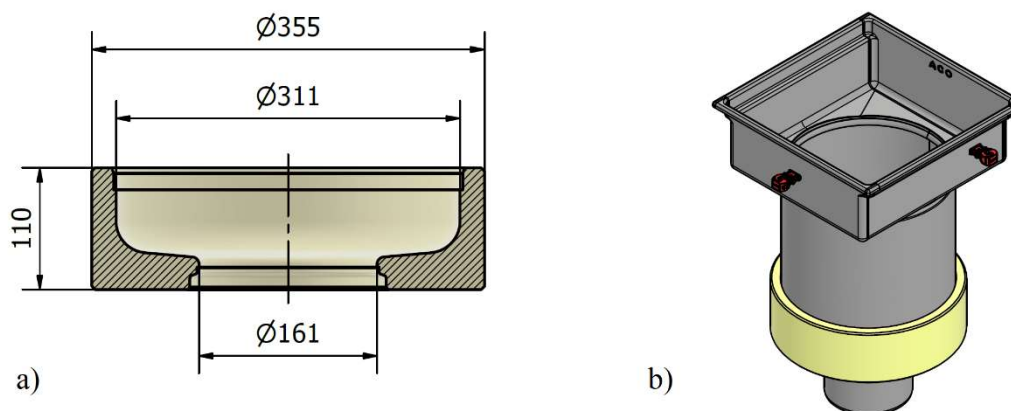


Obr. 50 Průběh tažné síly z programu PAM-STAMP.

3.6 Zkouška průtoku vpusti

Součástí zavádění nových výrobků nebo modernizace těch stávajících jsou rozličné zkoušky. Jednou z nich je i zkouška průtoku, kdy se měří objem vody, který proteče vpustí za jednotku času. Údaje o průtocích podlahových vpustí jsou důležité při dimenzování odvodnění s ohledem na jejich efektivitu. Správně navržené odvodnění především v potravinářském průmyslu zvyšuje hygieničnost a čistotu provozu, a v neposlední řadě také bezpečnost pracovišť. [33]

Za účelem ověření průtoku nového designu podlahové vpusti Gully 315 byl navržen zkušební prototyp. Při zkouškách průtoku je důležitý pouze vnitřní tvar vpusti, proto řešený díl může být pro účely zkoušek vyroben i jinou technologií než je plošné tváření. Pro výrobu prototypu dna vpusti byla zvolena technologie obrábění, jelikož je velmi přesná a rychlá oproti technologii 3D tisku. Dno je obrobeno z polypropylenové desky tloušťky 110 mm a napojení na tělo vpusti a odtokovou trubku zajištěno lepením do připraveného osazení v obrobené desce (obr. 51a). Prototyp nové vpusti je vyroben z části za použití standardních dílů jako je roštová nástavba s odtokovou trubkou a z nově navrženého dna (obr. 51b).



Obr. 51 Návrh prototypu vpusti pro testování průtoku.

Na obrázku 52 je reálný prototyp vpusti pro testování průtoku. Uchycení vpusti v testovací nádrži je řešeno drážky, které jsou na rozdíl od sériového výrobku přivařeny na roštovou

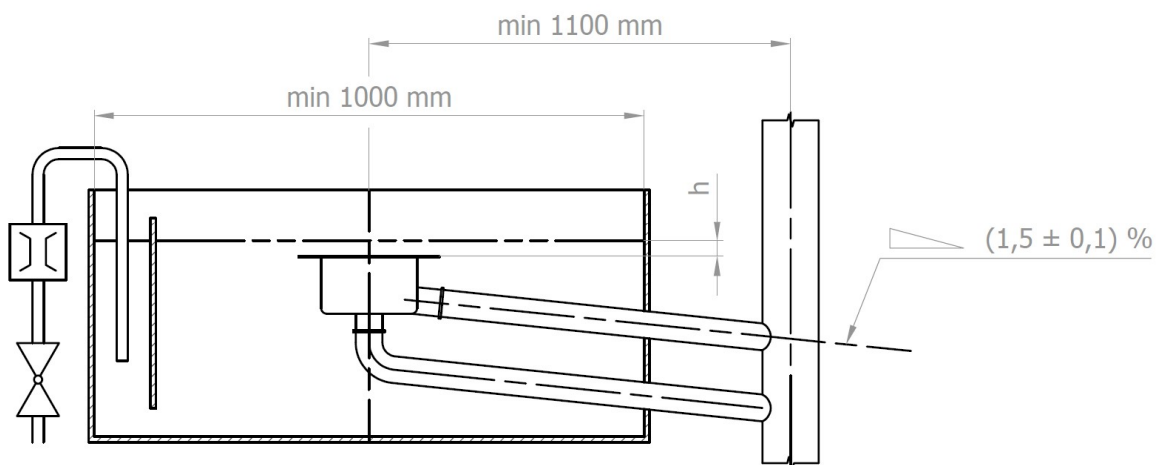
nástavbu. Cílem zkoušky bude ověřit, zda nový design splní nároky kladené normou a zda dojde ke změně hodnot průtoku oproti současnému řešení.



Obr. 52 Prototyp vpusti Gully 315.

3.6.1 Zkouška průtoku dle ČSN EN 1253-1

Na podlahové vpusti jsou kladeny požadavky dle normy ČSN EN 1253-1 ve smyslu zajištění minimálních průtoků, které tato norma stanovuje na základě jmenovité světlosti odtoku. Měřící zařízení sestává z čerpadla s regulací průtoku, testovací nádrže předepsaných minimálních rozměrů, odtoku a zařízení pro měření výšky hladiny v nádrži, viz obr. 53. Nádrž je vybavena přepážkou zabráňující víření vody, jenž by mohlo zkreslovat měření. Otok z nádrže je pro vpusti s vodorovným i svislým odtokem instalován se sklonem 1,5 %. [32]



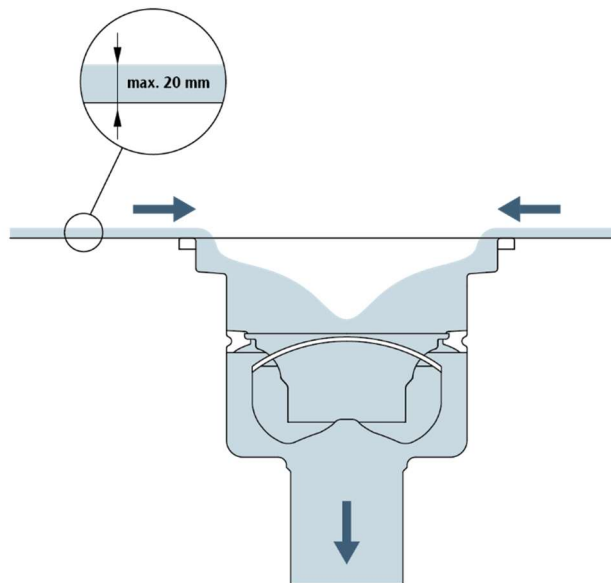
Obr. 53 Zkušební zařízení pro měření průtoků podlahových vpustí [32].

Při zkoušce je vpust vodotěsně napojena na odtokové potrubí, jehož průměr je shodný s průměrem odtoku vpusti. Nádrž je zaplněna vodou, hladina je zároveň s horní hranou vpusti, která představuje nulový bod pro měření. Postupně se zvyšuje průtok na čerpadle a měří se tzv. vzduť hladiny vody, což představuje výšku, jenž nastoupá nad horní okraj vpusti. Průtok se pak stanoví jako přítok při maximální výšce vzduť hladiny a musí být udržen po dobu 10 minut. Zkouška standardně probíhá s instalovanou zápachovou uzávěrou. Při zkoušce se pomocí

snímače měří výška hladiny od nulového bodu (hrany vpusti) a postupně se zvyšuje přítok čerpadlem do zkušební nádrže. Maximální vzdutí hladiny stanovené normou je 20 mm (obr. 54). [32; 44]

Během zkoušky tak mohou nastat dva případy [44]:

- a) Dojde k úplnému zaplavení vpusti předtím, než je dosaženo maximálního přípustného vzdutí. Následuje rychlé zvednutí hladiny v nádrži, což znamená, že bylo dosaženo maximálního průtoku vpusti.
- b) I při maximálním vzdutí hladiny dle normy nedojde k úplnému zaplavení vpusti. Je změřena hodnota průtoku při daném vzdutí. Měření může teoreticky pokračovat dále, avšak měření při vzdutí hladiny vyšším než 20 mm není normou definováno. I tyto údaje však mohou být pro firmu přínosné.



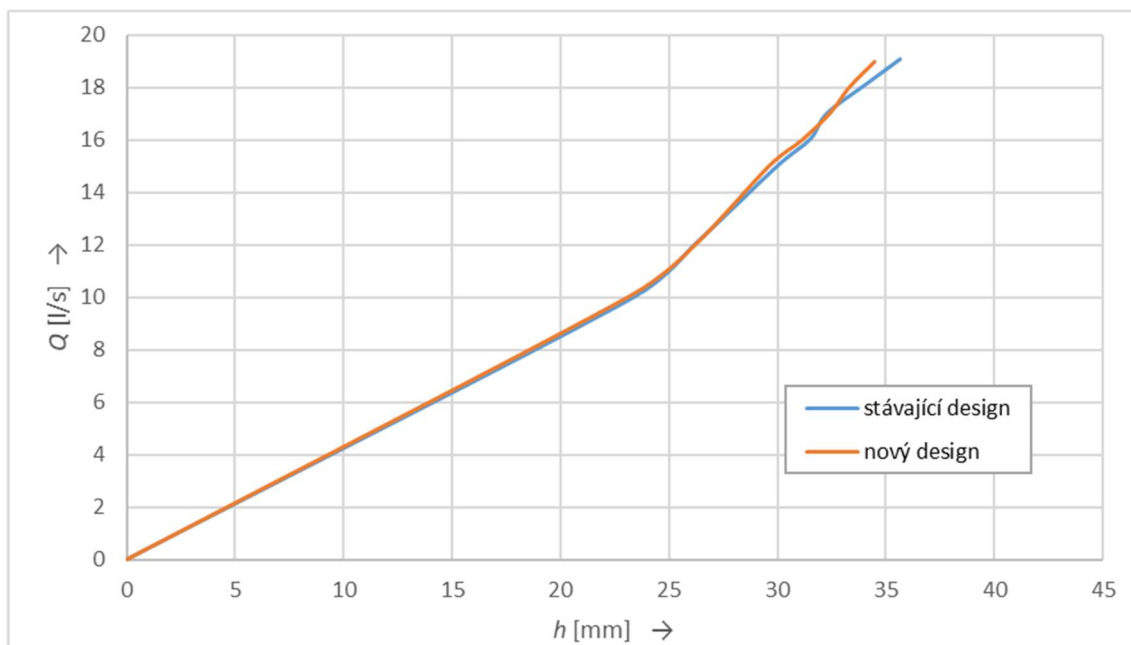
Obr. 54 Princip měření průtoku dle ČSN EN 1253-1 [33].

Pro řešenou vpust s odtokovou trubicou o průměru 160 mm stanovuje norma ČSN EN 1253-1 minimální průtok $4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ při vzdutí hladiny vody 20 mm. [32] Cílem průtokové zkoušky nově navrženého designu bude ověřit, zda bude dosaženo minimálního průtoku stanoveného normou.



Obr. 55 Zkouška průtoku vpusti dle ČSN EN 1253-1.

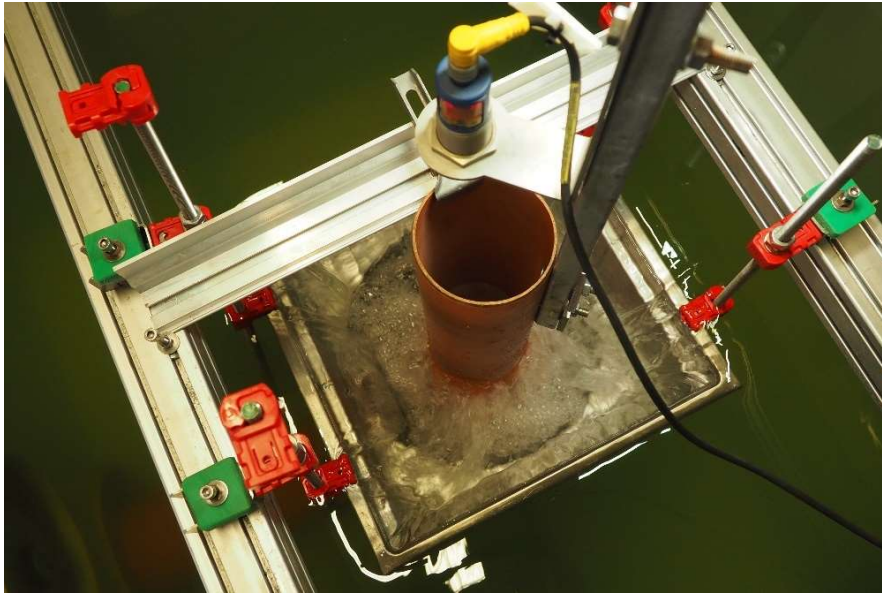
Obrázek 55 zachycuje měření průtoku na vpusti „Gully 315“. Zkouška proběhla podle metodiky stanovené normou ČSN EN 1253-1. Pro zkoušku průtoku byl sestaven program, který ovládá čerpadlo, a po krocích zvyšuje průtok. Maximální průtok čerpadla činí $20 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, zkouška průtoku i s ohledem na technické možnosti zkušební nádrže bude ukončena při průtoku na čerpadle $19 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Průběh průtoku v závislosti na výšce vzduť hladiny u stávajícího a nově navrženého designu ilustruje obrázek 56. Z průběhu křivky průtoku je patrné, že obě vpusti vykazují téměř identické hodnoty průtoku při měření dle normy ČSN EN 1253-1. Při výšce vzduť hladiny 20 mm definovaného v normě činil průtok stávající vpusti $8,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, u nového designu pak $8,6 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Zkouška pokračovala až do hodnoty průtoku $19 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, kdy vzduť hladiny činilo zhruba 35 mm, ani při této hodnotě průtoku nebyla vpust plně zaplavena. Tyto hodnoty jsou mimo maximální vzduť definované normou, proto při vyhodnocení nebudou uvažovány. Z hlediska vyhodnocení zkoušky je důležitá hodnota průtoku při výšce vzduť hladiny 20 mm, kdy lze říci, že obě vpusti jsou srovnatelné a splnily minimální průtok stanovený normou. Důvodem, proč obě vpusti vykazují téměř identické chování při měření, je právě metodika měření, kdy voda natéká do vpusti přes pohledovou hranu roštové nástavby představující rovinu podlahy. Z principu metody je zjevné, že objem vody, který přiteče, je dán obvodem roštové nástavby, proto změna geometrie těla vpusti neovlivňuje hodnotu průtoku.



Obr. 56 Závislost průtoku na výšce vzduť hladiny dle ČSN EN 1253-1.

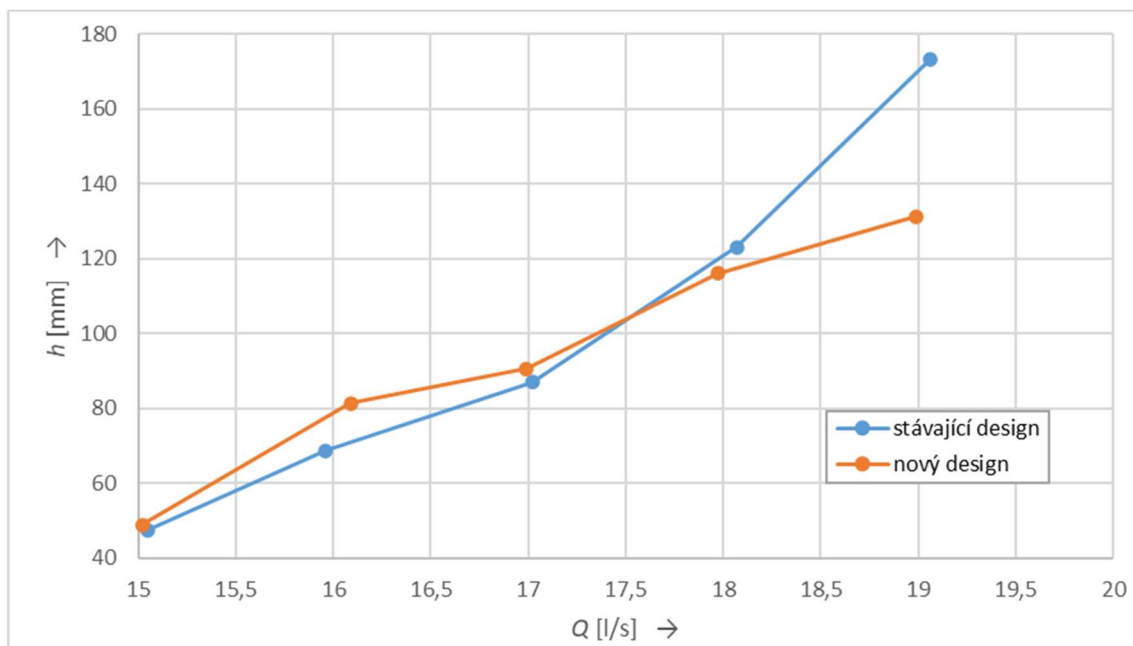
3.6.2 Modifikovaná zkouška průtoku

Vzhledem k povaze zkoušky průtoku dle ČSN EN 1253-1 nebyl při měření stávajícího a nového designu vpusti zaznamenán výraznější rozdíl v dosažených průtocích. Za účelem posouzení kapacity nově navržené vpusti proto byl navržen modifikovaný test průtoku. Nově navržený test průtoku vychází z normy ČSN EN 1253-1, vpust je umístěna ve zkušební nádrži a kapalina přitéká přes pohledovou hranu roštové nástavby. Narozdíl od měření výšky vzduť dle normy bude měřena výška hladiny přímo ve vpusti, která v tomto případě poskytuje lepší srovnání mezi dvěma testovanými vpustmi.



Obr. 57 Modifikovaná zkouška průtoku.

Průběh zkoušky a měření je patrný z obrázku 57. Uvnitř testované vpusti je uchycena perforovaná trubka, která zajišťuje zklidnění hladiny tak, aby byla měřitelná pomocí čidla výšky hladiny umístěného nad středem vpusti. Během zkoušky je po krocích zvyšován přítok do nádrže a tím pádem i do vpusti přes její horní hranu. V průběhu měření jsou čidlem zaznamenány hodnoty výšky hladiny při aktuálním průtoku, které lze následně vynést do grafu, viz obr. 58.



Obr. 58 Průběh měření průtoku modifikovanou metodou.

Rozdíly mezi oběma vpustmi se projevily až při vyšších průtocích. Z grafu je patrné, že při průtoku vyšším než $18 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ výška hladiny u nově navrženého designu roste pomaleji než u stávajícího řešení. Při maximálním průtoku $19 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ daného technickými parametry zkušebního zařízení činil rozdíl mezi oběma vpustmi asi 40 mm. Z tohoto měření lze usuzovat, že u nově navrženého designu by došlo k zaplavení vpusti později a maximální dosažený průtok by byl vyšší než v případě stávajícího řešení.

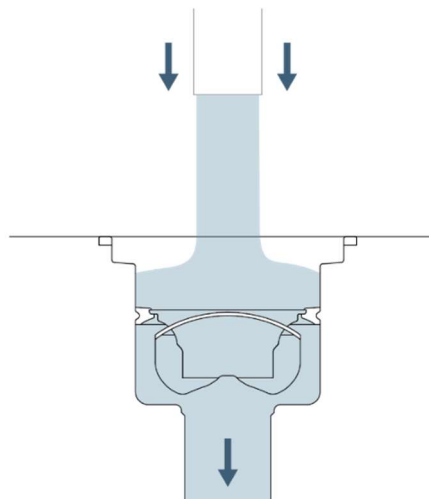
3.6.3 Zkouška průtoku dle metodiky ACO

V reálných podmínkách potravinářského průmyslu však není metoda měření průtoku dle normy optimální, jelikož vývody strojů a čisticích stanic jsou často umístěny přímo nad podlahové vpusti. Odvodnění zde není navrženo tak, aby odvádělo vodu z podlahových ploch, ale jako prodloužení odtoku odpadní vody, která je vypouštěna přímo ze zařízení (obr. 59). [33]



Obr. 59 Příklad aplikace podlahové vpusti [33].

Za účelem dimenzování vpustí proto firma ACO Industries navrhla vlastní metodiku měření průtoků, která vychází z praktické aplikace v potravinářském průmyslu. Jedná se o metodu tzv. přímého nátoky (obr. 60). Podobně jako při měření dle normy ČSN EN 1253-1 je vpust umístěna v testovací nádrži zaplněné vodou, kde hladina je zároveň s horní hranou vpusti. Odpadní voda je přivedena potrubím o specifikovaném průměru přímo nad vpust. Vzdálenost mezi ústím potrubí a horní hranou vpusti by měla být rovna jednomu až dvou násobku průměru přívodního potrubí. Průměr přívodního potrubí a minimální požadovaný průtok, který má vpust splňovat vychází z kapacit CIP čisticích stanic používaných v potravinářském průmyslu, viz tabulka 15. Voda je do vpusti přiváděna pomocí čerpadla s regulovatelným průtokem. Během zkoušky je postupně zvyšován průtok až do okamžiku, kdy je vpust kompletně zaplavena. Při dalším zvýšení průtoku čerpadla dojde k přelití kapaliny přes hranu vpusti do testovací nádrže, zvýšení hladiny je zaznamenáno čidlem výšky hladiny a test je ukončen. Následně je odečtena maximální hodnota průtoku, která byla dosažena na vpusti v okamžiku jejího kompletního zaplavení. [33; 44]



Obr. 60 Princip měření průtoku metodou přímého nátoky [33].

Tab. 15 Dimenzování CIP stanic a požadované průtoky vpustí [33].

kapacita CIP [m ³ /h]	5	10	15	20	30	40	50	60
přívodní trubka DN	25	50	50	65	80	100	100	100
požadovaný průtok [l/s]	1,8	3,6	5,5	7,3	11	14,3	18,2	21,7
doporučená vpust	gully 157		gully 218		gully 315			gully 440

Z tabulky 15 vyplývá, že pro CIP čisticí stanice s průtokem 30 metrů krychlových za hodinu je přívodní potrubí o průměru DN 80. Pro čisticí stanice s průtokem 40 až 50 metrů krychlových za hodinu se používá přívodní trubka DN 100. Z kapacit čisticích stanic se určuje průtok v litrech za vteřinu, který musí být vpust schopna odvést. Hodnoty požadovaných průtoků jsou ještě navýšeny o 30 %. Řešená vpust „Gully 315“ je doporučena pro odvod procesních kapalin z čisticích stanic o kapacitách 30 až 50 metrů krychlových za hodinu, kde maximální požadovaný průtok činí 18,2 l·s⁻¹. Cílem zkoušky průtoku nově navrženého designu vpustí s využitím metody přímého nátoky bude ověřit, zda bude dosaženo požadovaného průtoku. [33]

Na obrázku 61 je zachycena zkouška průtoku nového designu vpustí „Gully 315“ metodou přímého nátoky. Při zkoušce bylo použito excentrického nátoky o průměru DN 80. Stejně jako v předchozích měřeních i zde měření probíhá s instalovanou zápachovou uzávěrou. Při měření metodou přímého nátoky bylo použito trubky pro zklidnění hladiny ve vpustí a čidla výšky hladiny umístěného nad středem vpustí. Tabulka 15 pro CIP stanice o kapacitě 30 m³·h⁻¹ uvádí požadovaný průtok 11 l·s⁻¹. Maximální dosažený průtok na obou vpustích činil 16,5 l·s⁻¹, při dalším navýšení průtoku došlo k přelítí vody přes hranu do zkušební nádrže. Celkové srovnání se stávajícím designem uvádí tabulka 16.



Obr. 61 Zkouška průtoku vpustí metodou přímého nátoky.

Tab. 16 Srovnání výsledků měření průtoků.

	stávající řešení	nový design
průtok dle ČSN EN 1253-1 [l/s]	8,5	8,6
hladina při modifikované zkoušce [mm] (průtok 19 l/s)	173	131
průtok dle metody přímého nátoky [l/s]	16,5	16,5

Z výsledků uvedených v tabulce 16 vyplývá, že při průtokových zkouškách stávající vpust i nový design dosahují srovnatelných výsledků a byl splněn požadavek na minimální průtok dle ČSN EN 1253-1. Zlepšení oproti stávajícímu řešení bylo detekováno při modifikované zkoušce průtoku, kdy se nově navržená vpust při vyšších průtocích plnila výrazně pomaleji. Celkově při zkouškách průtoku nový design dosáhl stejných hodnot průtoku jako stávající řešení za současného zlepšení čistitelnosti a zvýšení hygieničnosti podlahové vpusti.

3.7 Volba stroje

Při výrobě součástí vyžadující konstantní výkon lisu během celého zdvihu se nejčastěji uplatňují hydraulické lisy. Jedná se zejména o technologie protlačování, ražení, tažení a tažení se ztenčením stěny. Hydraulické lisy pracují na fyzikálním principu hydrostatického tlaku, kdy je tlak v kapalině ve všech směrech stejný. Tlak působící na plochu pístu vytváří sílu na beranu lisu. Pracovní tlak hydraulických lisů se pohybuje mezi 200 až 300 bary. Mezi jejich výhody patří konstantní výkon podél celého zdvihu a přesné nastavení požadované síly. Negativem je omezená pracovní rychlost a tím způsobená nižší produktivita v porovnání s klikovými lisy. Hydraulické lisy obecně také potřebují vyšší příkon v porovnání s mechanickými lisy se srovnatelnou silovou kapacitou. [1; 3]

Pro výrobu navrženého výtažku byl zvolen hydraulický lis Dieffenbacher PO250 II ze strojového parku firmy (obr. 62). Jedná se o poměrně kompaktní lis s maximální tvářecí silou beranu 2 500 kN. Nejvyšší přibližovací rychlost, kterou se beran může pohybovat činí $340 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Pracovní rychlost je maximálně $37 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ a při maximální síle pouze $17 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Největší otevření lisu činí 900 mm při zdvihu nástroje 650 mm. Sevřená výška s magnetickými deskami je pak 250 mm. Lis disponuje horním přidržovačem, který může konat pohyb nezávisle na beranu, o síle nastavitelné v rozsahu 8 až 200 kN a maximálním zdvihu 200 mm. Ve stole lisu se nachází vnitřní a vnější okruh přidržovačů. Vnitřní okruh přidržovače disponuje silou nastavitelnou v rozsahu 20 až 500 kN, zdvih činí 300 mm. Vnější okruh má zdvih shodný s okruhem vnitřním, avšak přidržovací síla je nastavitelná v rozsahu 35 až 1000 kN. Dále lis umožňuje připojení nástroje na rozvod vzduchu a hydrauliky, oba okruhy jsou ovládány řídicím systémem stroje. Tabelované parametry lisu uvádí tabulka 17. [39]



Obr. 62 Lis Dieffenbacher PO250 II [39].

Tab. 17 Parametry lisu Dieffenbacher PO250 II [39].

beran	
lisovací síla maximální [kN]	2 500
zpečtná síla maximální [kN]	300
zdvih [mm]	650
otevření [mm]	900
sevřená výška s magnetickými deskami [mm]	250
rozměry pracovního prostoru	
upínací plocha stolu [mm]	1 500 x 1 200
upínací plocha beranu [mm]	1 500 x 1 200
horní vyhazovač/přidrřovač	
přidrřovací síla [kN]	8 ÷ 200
zdvih [mm]	200
spodní vyhazovač/přidrřovač – vnitřní	
přidrřovací síla [kN]	20 ÷ 500
zdvih [mm]	300
spodní vyhazovač/přidrřovač – vnější	
přidrřovací síla [kN]	35 ÷ 1000
zdvih [mm]	300

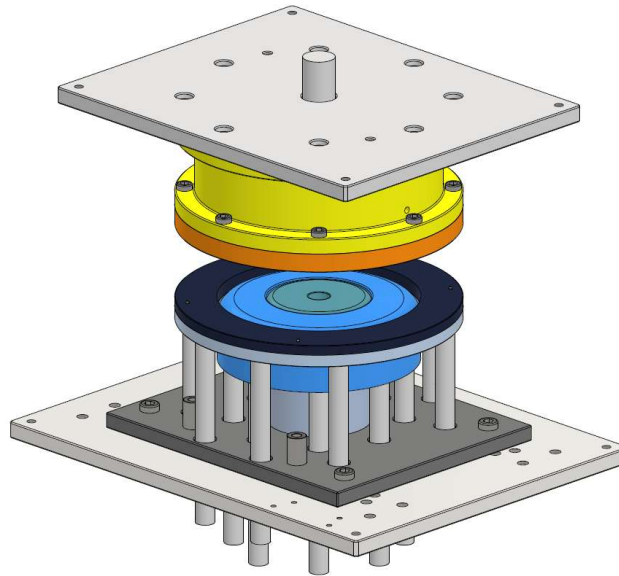
Specifikem hydraulického lisu PO250 II je magnetické upínání nástroje, čemuž musí být uzpůsobena konstrukce nástroje. Spodní upínací deska standartně používaná firmou má rozměr 750 x 590 mm a tloušťku 26 mm zajišťující bezpečné upnutí pomocí magnetických dipólů. Pro horní upínací desku je minimální dovolený rozměr 350 x 210 mm, kdy je upínací síla rovna 51 kN. Největší upínací síly 231 kN je dosaženo při rozměrech horní desky 625 x 510 mm a minimální tloušťce desky 26 mm. Upínací síly beranu lisu uvedené v tabulce 18 jsou platné pro desky minimální tloušťky 26 mm. [39]

Tab. 18 Upínací síly beranu lisu PO 250 II v závislosti na rozměru upínací desky [39].

a/b [mm]	180	350	510
210	-	51 kN	77 kN
380	51 kN	103 kN	154 kN
625	77 kN	154 kN	231 kN

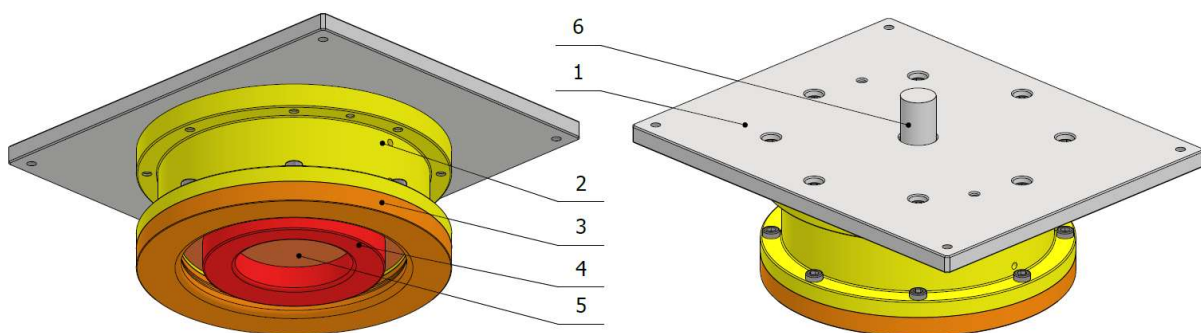
3.8 Návrh nástroje

Na základě navržené technologie výroby dna vpusti byl navržen sdružený nástroj pro lemování a tažení, viz obr. 63. Nástroj je konstruován pro hydraulický lis Dieffenbacher PO 250 II s magnetickým upínáním nástroje. Skládá se z horní a spodní části, kdy vyráběná součást je tažena dnem vzhůru.



Obr. 63 Sdružený nástroj pro lemování a tažení.

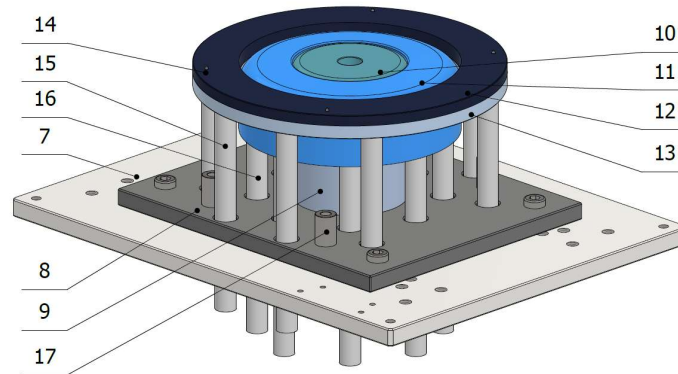
Horní část nástroje na obrázku 64 je upnuta za upínací desku (1) k beranu hydraulického lisu. Horní upínací deska je navržena s ohledem na magnetické upínání, kterým je lis vybaven, její rozměry jsou 625 x 510 mm při tloušťce 26 mm. V jejím středu je průchozí otvor pro horní vyhazovač (6) umístěný v beranu lisu. Vyhazovač ovládá opěrnou desku (5) sloužící jako oporu pro lemovací matrici (4). Matrice pro lemování (4) je spolu s opěrnou deskou (5) sešroubována a středěna pomocí dvojice válcových kolíků. K upínací desce (1) je přes osm šroubů M16 připevněno těleso tažnice (2). Jeho středění je zajištěno pomocí dvojice kolíků. Na těleso tažnice (2) je upevněna funkční část tažnice, tj. vložka tažnice (3). Spojení je opět zajištěno šrouby. Vystředění tělesa tažnice a funkční části je provedeno pomocí tvarového osazení. Vložka tažnice (3) je opatřena tažnou hranou o dříve stanoveném rádiusu zaoblení a je konstruována jako odlehčená.



Obr. 64 Horní část nástroje.

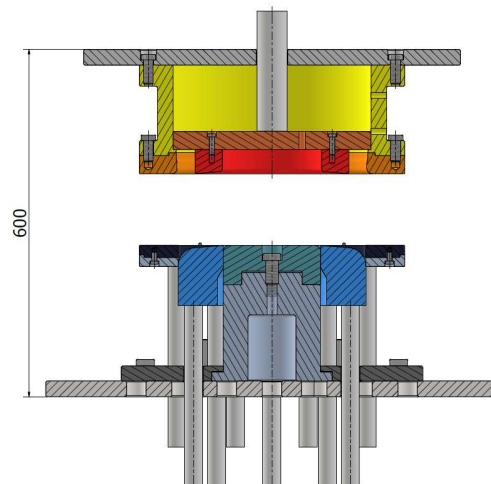
Spodní část nástroje (obr. 65) je upnuta ke stolu lisu skrze upínací desku (7). Rozměry dolní upínací desky (7) jsou 750 x 590 mm a tloušťka činí 26 mm. Deska je opatřena otvory pro tyče vnitřního a vnějšího okruhu přidržovače. Na upínací desku dosedá těleso lisovníku (9), které je provedeno jako duté z důvodu snížení hmotnosti nástroje. Těleso lisovníku (9) je středěno na upínací desce (7) pomocí dvojice kolíků. K upínací desce (1) je přišroubována pomocná deska (8), mezi nimi je skrze osazení sevřeno těleso lisovníku (9). Vložka lisovníku (10) je ustavena na těleso lisovníku (9) přes válcové osazení a uchycena centrálním šroubem velikosti M20. Tažník (11) je volně nasazen na lemovací vložku (10) a těleso lisovníku (9) pomocí smykového uložení s vůlí zajišťující jeho snadný pohyb a zároveň středění. Tažník je ovládán tyčemi vnitřního přidržovacího okruhu (16). Součástí spodní poloviny nástroje je přidržovač (12), ve kterém jsou umístěny kolíkové dorazy (14) sloužící ke správnému založení polotovaru.

Přidržovač (12) je zespodu sešroubován s prstencovou podložkou (13), aby zahloubení pro šrouby nezasahovaly do funkční části přidržovače. Přidržovač je volně nasazen na tažník a ovládán tyčemi vnějšího přidržovacího okruhu (15). Ke spodní upínací desce (7) jsou dále přišroubovány čtyři válcové dorazy (17) vymezující spodní polohu přidržovače. Zároveň zajišťují, že přidržovač zůstane nasazen na tažníku i při manipulaci s nástrojem mimo lis.



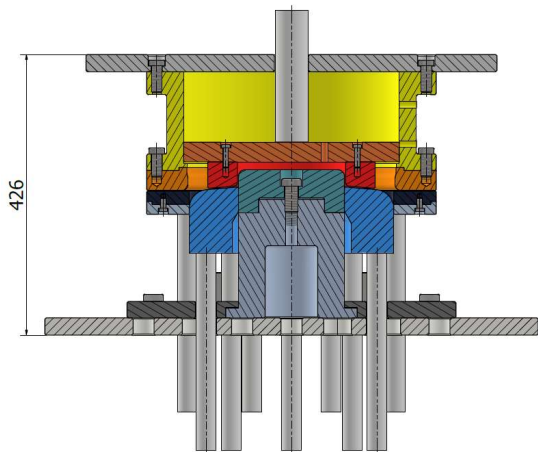
Obr. 65 Spodní část nástroje.

Výchozí stav nástroje je na obrázku 66. Matrice pro lemování v horní polovině nástroje je zároveň s hranou tažnice, horní vyhazovač v beranu lisu je vysunut o 141 mm. Přidržovač spolu s tažníkem jsou v jedné rovině s čelem lisovníku. V této fázi je založen polotovar mezi kolíkové dorazy v přidržovači. Rozevřená výška nástroje činí 600 mm.

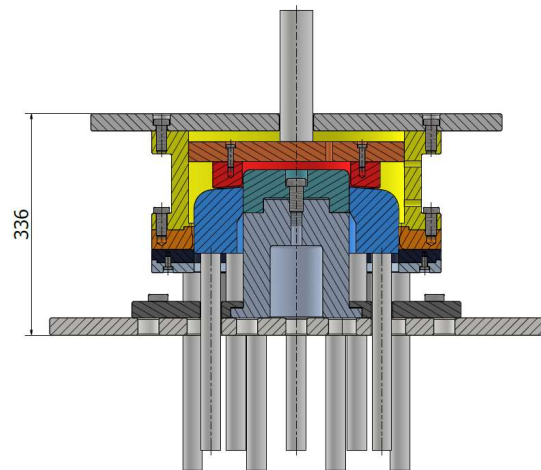


Obr. 66 Nástroj v otevřeném stavu.

Obrázek 67 ukazuje stav, kdy je polotovar sevřen mezi lemovací maticí a tažník, která v této fázi slouží jako přidržovač při lemování otvoru. Během sevření dojde k vylisování kuželového dna výtažku, následně při dalším posuvu beranu lisu dojde k olemování. Tažník sloužící nyní jako přidržovač spolu s beranem sjíždí dolů a skrze tyče vnitřního vyhazovače působí přidržovací silou během celého procesu lemování. Spolu s tažníkem se pohybuje dolů také přidržovač, který udržuje rovinnost plechu. Sevřená výška nástroje na konci lemování činí 426 mm. Další fází je vlastní tažení (obr. 68), tažník zůstává stát na místě a pohybem beranu lisu směrem dolů dojde k tažení přes hranu tažnice. Během tažení se horní vyražec spolu s lemovací maticí zasouvá zpět do beranu lisu, avšak po celou dobu působí silou na dno výtažku, plní tak funkci vnitřního přidržovače zabráňující zborcení lemu. Přidržovač se pomocí tyčí vnějšího přidržovacího okruhu pohybuje spolu s beranem lisu směrem dolů za současného působení přidržovací silou na přírubu výtažku. Celý proces tváření končí vtažením celého polotovaru do otvoru tažnice. Sevřená výška nástroje činí 336 mm. Následně dojde k rozevření nástroje a setření výtažku z tažníku o hranu přidržovače. Nyní lze vyjmout hotový výtažek.

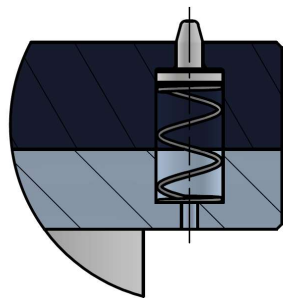


Obr. 67 Lemování.

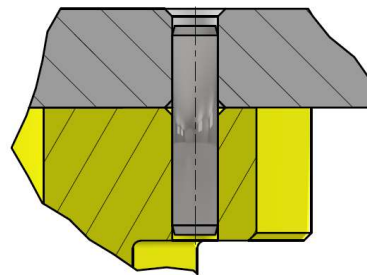


Obr. 68 Tažení.

Správné založení polotovaru na přídržovač zajišťují čtyři kolíkové dorazy po jeho obvodu. Polotovar se umístí mezi dorazy, při sevření nástroje dojde k zatlačení pružiny umístěné v otvoru v přídržovači (12) a prstencové podložce (13), viz obr. 69. Otvor je průchozí, což umožňuje odvod vzduchu při stlačení pružiny a zatlačení kolíku. Po rozevření nástroje dojde k návratu kolíku do původní polohy. Při návrhu je středění tělesa tažnice vůči horní upínací desce a středění tělesa lisovníku vůči dolní upínací desce řešeno kolíkovými spoji (obr. 70).

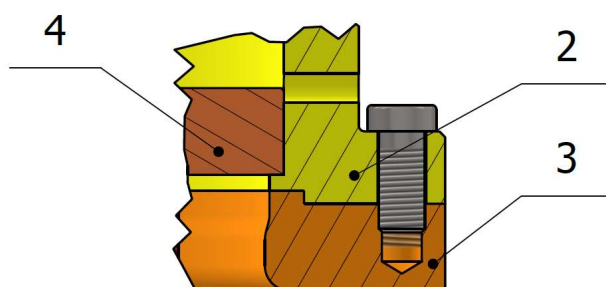


Obr. 69 Pružinový kolíkový doraz.

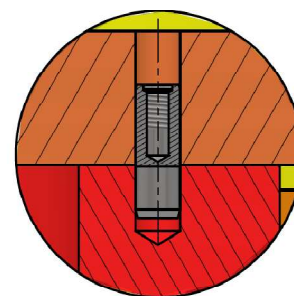


Obr. 70 Středění kolíkovým spojem.

Při návrhu nástroje bylo použito vedení funkčních částí nástroje skrze smykové uložení, které dovoluje pohyb dvou částí nástroje vůči sobě a zároveň zajišťuje jejich středění. Na obrázku 71 je uveden příklad smykového vedení opěrné desky (4) v tělese tažnice (2). Opěrná deska je vedena skrze osazení v tělese tažnice vymezující jeho spodní polohu. Potřebná síla pro přídržování a lemování je vyvozena prostřednictvím horního vyhazovače lisu. Spojení matrice pro lemování s opěrnou deskou je provedeno pomocí šroubového spoje. Ke středění bylo využito kolíků. Vzhledem k tomu, že v matrici nelze vrtat průchozí otvory pro kolíky, bylo v návrhu využito kolíků s vnitřním závitem, které je možné instalovat a opětovně demontovat i z neprůchozích otvorů (obr. 72).



Obr. 71 Smykové vedení.



Obr. 72 Kolíkový spoj v neprůchozím otvoru.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Součástí návrhu inovace výroby podlahové vpusti bude výpočet výrobních nákladů a jejich porovnání se stávající výrobou. Pro výrobu výtažku dna podlahové vpusti bude použito stávajícího strojního vybavení firmy. Firma ACO Industries k.s. si nepřála zveřejnění konkrétních sazeb za jednotlivé výrobní operace, pro účely práce jsou proto všechny sazby vynásobeny neznámým koeficientem. Níže uvedené sazby v sobě již zahrnují odpisy strojů a mzdy zaměstnanců.

Prvním krokem je určení ceny řešeného výtažku, od kterého se následně odvíjí výpočet ceny hotové vpusti. Při výpočtu bude vždy uvažována určitá výrobní dávka daných dílů. U výtažku dna se předpokládá využití nejen při výrobě inovované podlahové vpusti, ale i možnost jeho navařování na žlaby. Velikost dávky, pro kterou budou vypočteny náklady, činí 50 kusů. V tabulce 19 je uveden přehled vstupů do výpočtu ceny výtažku. Polotovár bude zhotoven laserovým řezáním, následně bude v lisu zhotoven výtažek. Po tažení následuje odmaštění a soustružení. kdy bude zarovnan horní okraj výtažku a lem. Cena dané operace se skládá z času potřebného na seřízení, či přípravu operace a z časů vlastního zpracování vynásobeného příslušnou sazbou.

Tab. 19 Přehled vstupů do výpočtu ceny výtažku.

popis	t_B [min]	t_A [min]	celkový čas [min]	sazba [Kč/min]	cena [Kč]
řezání laser	2,3	0,17	10,8	34,41	371,62
tažení	11,2	0,56	39,2	14,92	585,02
odmaštění	3,21	0,21	13,71	17,59	241,15
soustružení	8,8	1,32	74,8	15,87	1 186,85
		hmotnost [kg]	celk. hm. [kg]	cena [Kč/kg]	
plech 1,5 mm	-	1,95	97,5	64,04	6 244,10

Vzorový výpočet ceny laserového řezání:

$$C_{laser} = c_{laser} \cdot t_{claser} = 34,41 \cdot 10,8 = 371,62 \text{ Kč}, \quad (4.1)$$

kde: C_{laser} – cena laserového řezání [Kč],

c_{laser} – sazba laserového řezání:

$$c_{laser} = 34,41 \text{ Kč} \cdot \text{min}^{-1},$$

t_{claser} – celkový čas laserového řezání:

$$t_{claser} = t_B + t_A \cdot n_1 = 2,3 + 0,17 \cdot 50 = 10,8 \text{ min}, \quad (4.2)$$

kde: t_B – čas seřízení:

$$t_B = 2,3 \text{ min},$$

t_A – čas zpracování:

$$t_A = 0,17 \text{ min},$$

n_1 – výrobní dávka výtažku:

$$n_1 = 50 \text{ ks}.$$

Výsledná cena výtažku je pak součtem materiálových vstupů a práce:

$$C_{výtažek} = C_{práce} + C_{materiál} = 47,69 + 124,88 = 172,57 \text{ Kč}, \quad (4.3)$$

kde: $C_{práce}$ – cena práce [Kč],

$$C_{práce} = \frac{C_{laser} + C_{tažení} + C_{odmaštění} + C_{soustružení}}{n_1} = \quad (4.4)$$

$$= \frac{371,62+585,02+241,15+1\,186,85}{50} = 47,69 \text{ Kč},$$

$C_{\text{materiál}}$ – cena materiálu:

$$C_{\text{materiál}} = \frac{C_{\text{mat}}}{n_1} = \frac{6\,244,10}{50} = 124,88 \text{ Kč}. \quad (4.5)$$

Cena jednoho výtažku při uvažování dokončování třískovým obráběním činí 172,57 Kč. Tato hodnota byla vypočtena při uvažované výrobní dávce 50 ks.

Dalším krokem je porovnání ceny těla vpusti. Tabulka 20 uvádí přehled svařovacích operací při současné výrobě těla vpusti. Prvním krokem při výrobě těla vpusti je svaření kuželového přechodu ze zakrouženého plechu. Následuje stehování a svařování válcového pláště. Poté je sestava pláště, kuželového přechodu a kruhového dna vpusti stehována dohromady. Sestava je svařena plným vodotěsným svarem na automatu, jeden svar se nachází mezi pláštěm a kuželovým přechodem, druhý mezi kuželovým přechodem a dnem. Vypočtené časy a ceny jsou platné pro výrobní dávku 10 ks. Čas potřebný na svaření jednoho těla činí přibližně 20 minut, cena svařování vychází necelých 310 Kč.

Tab. 20 Přehled svařovacích operací při současné výrobě těla vpusti.

popis	t_B [min]	t_A [min]	celkový čas [min]	sazba [Kč/min]	cena [Kč]
svařování kužele	5,55	1,78	23,35	15,21	355,18
stehování dílců	5,55	1,55	21,05	15,21	320,19
podélné svařování automatem	5,45	1,09	16,35	16,94	277,02
stehování sestavy	5,55	6,44	69,95	15,21	1 064,01
2x rotační svařování automatem	12,64	5,66	103,86	15,64	1 083,02
čas na 1 ks		19,99 min		cena na 1 ks	309,94 Kč

Nově navržené řešení s použitím výtažku dna eliminuje některé svařovací operace, viz tab. 21. Prvním krokem při výrobě těla vpusti je stehování válcového pláště a následné svaření pomocí svařovacího automatu. V časech svařování je zohledněno snížení válcového pláště. Následuje stehování pláště s výtažkem a jejich svaření plným vodotěsným svarem na svařovacím automatu. Celkem nahrazením dna vpusti výtažkem dojde k eliminaci dvou svařovacích operací a s tím spojené úspore. Cena za svařování jednoho těla činí 164,41 Kč, což představuje úsporu oproti stávajícímu řešení asi 47 %. Úspora času svařování dosahuje přibližně 9,5 minuty. Cena a výsledný čas svařování byly vypočteny pro výrobní dávku čítající 10 ks.

Tab. 21 Přehled svařovacích operací při výrobě inovovaného těla vpusti.

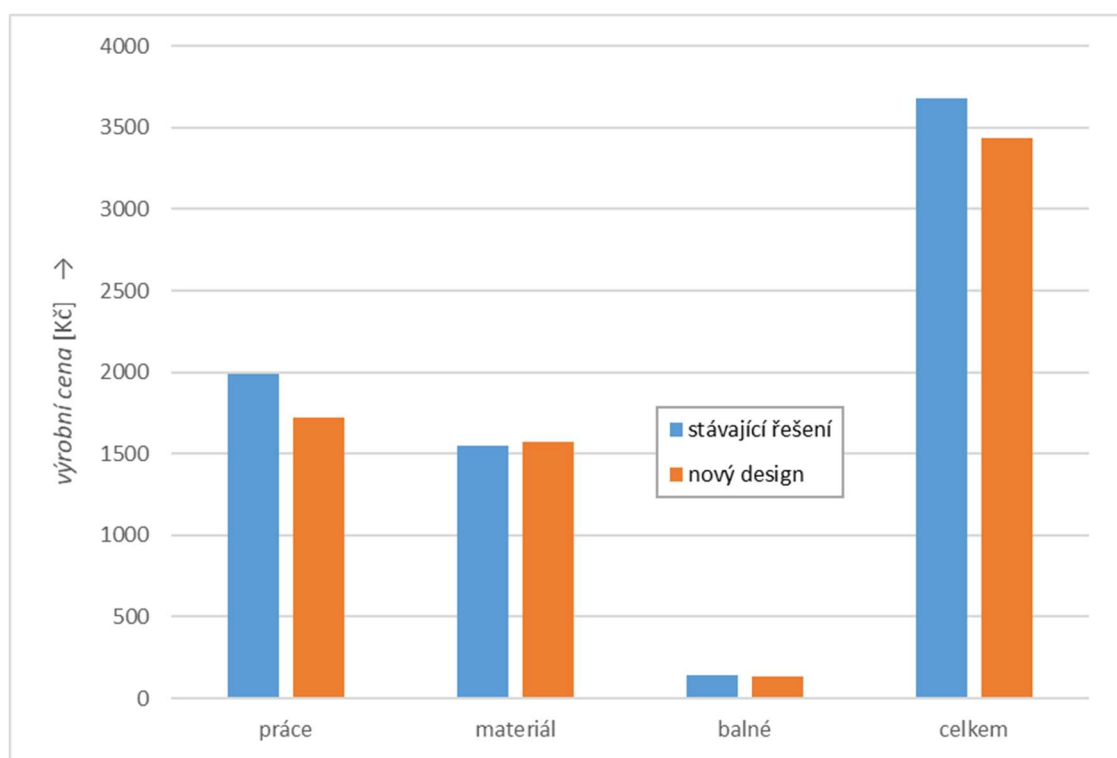
popis	t_B [min]	t_A [min]	celkový čas [min]	sazba [Kč/min]	cena [Kč]
stehování dílců	5,55	1,55	21,05	15,21	320,19
podélné svařování automatem	5,55	0,98	15,25	16,94	258,38
stehování sestavy	5,45	2,89	34,45	15,21	524,02
1x rotační svařování automatem	6,32	2,83	34,62	15,64	541,51
čas na 1 ks		10,54 min		cena na 1 ks	164,41 Kč

Srovnání jednotlivých složek, ze kterých se skládá výrobní cena kompletní podlahové vpusti uvádí tabulka 22. Do celkové výrobní ceny vstupuje ještě složka nazvaná souhrnně jako „balné“, která zahrnuje balení vpusti spolu s instalačním manuálem a plastovým krytem, je vypočtena jako čtyři procenta ze součtu ceny práce a materiálu. Celková úspora nově navrženého řešení oproti stávajícímu stavu činí 243,43 Kč.

Tab. 22 Srovnání výrobní ceny podlahové vpusti.

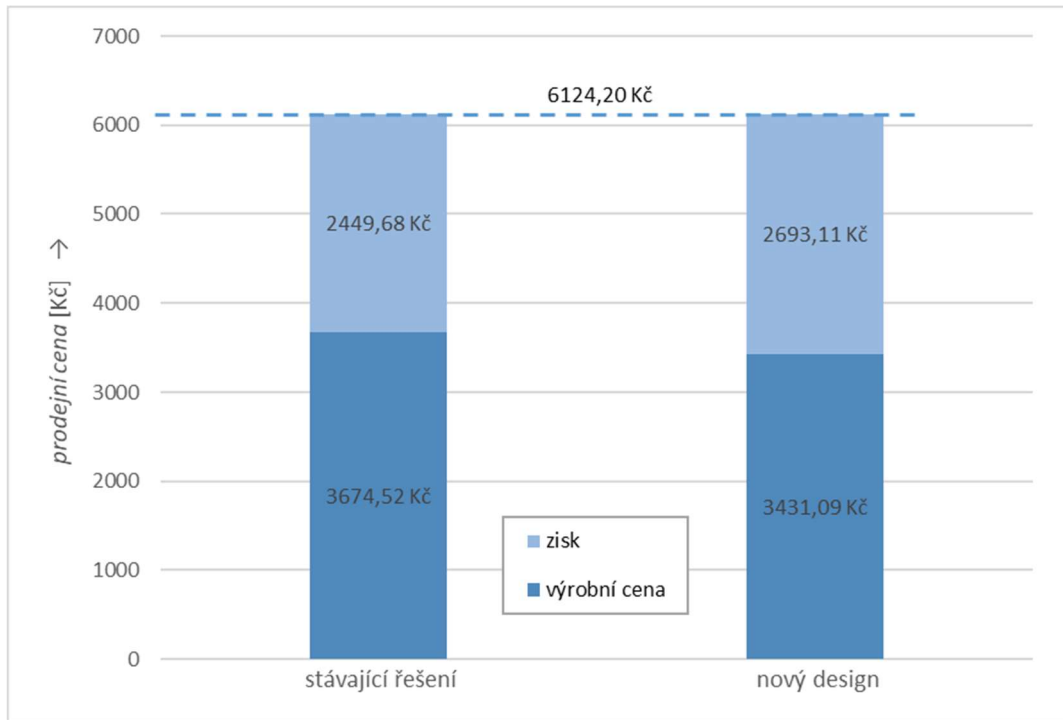
	stávající řešení	nový design
práce [Kč]	1987,19	1725,45
materiál [Kč]	1546,00	1573,68
balné [Kč]	141,33	131,97
výrobní cena [Kč]	3674,52	3431,09
rozdíl [Kč]	243,43	

Na obr. 73 je graficky znázorněna výrobní cena podlahové vpusti a její složení. Z grafu je patrné, že hlavní rozdíl mezi stávajícím a nově navrženým řešením je především v nižších nákladech na práci. Zde se nejvíce projevuje úspora svařovacích operací a výroby kuželového přechodu pálením a zakružováním plechu, zde úspora dosahuje asi 261 Kč. Oproti tomu materiálové náklady jsou u nové varianty o necelých 30 korun vyšší.



Obr. 73 Srovnání výrobní ceny a jejích složek.

S úsporou vzniklou inovací výroby lze pracovat více způsoby. Jednou z možností je promítnout úsporu do prodejní ceny pro koncové zákazníky při zachování marže. Druhou variantou je zvýšit zisk a marži při zachování současné prodejní ceny. Poslední možností je navýšení ceny pro koncového zákazníka, což se pozitivně odrazí v zisku a výši marže. Obrázek 74 znázorňuje složení prodejní ceny podlahové vpusti při variantě zachování současné ceny. Prodejní cena v současnosti prodávané vpusti je 6 124,20 Kč, kdy marže činí 40 %. Zisk z prodeje jednoho kusu se pak rovná 2 449,68 Kč. U nově navržené varianty výroby při zachování prodejní ceny činí marže asi 43,98 %. Zisk pak vzroste na 2 693,11 Kč.



Obr. 74 Složení prodejní ceny.

Klíčovým parametrem, podle kterého se firma rozhodne, zda využije nového návrhu podlahové vpusti je návratnost investice do inovace výroby. Z tohoto důvodu je zapotřebí určit, při jaké velikosti výrobní série se počáteční investice vrátí. Výhodou je, že firma již disponuje vhodným hydraulickým lisem, proto jedinou investicí bude výroba sdruženého nástroje. Cena navrženého nástroje byla podle zkušeností pracovníků firmy odhadnuta na 500 000 Kč. Při výpočtu návratnosti bude uvažován rozdíl zisku stávající a nově navržené varianty, který činí 243,43 Kč. Při znalosti potřebné investice na zakoupení nástroje je možné vypočítat, při jakém počtu vyrobených kusů dojde k jejímu navrácení:

$$Q_z = \frac{C_{\text{nástroj}}}{Z_{\text{nový}} - Z_{\text{starý}}} = \frac{500\,000}{2\,693,11 - 2\,449,68} = 2\,054 \text{ ks}, \quad (4.6)$$

kde: Q_z – bod zvratu,

$C_{\text{nástroj}}$ – cena nástroje:

$$C_{\text{nástroj}} = 500\,000 \text{ Kč},$$

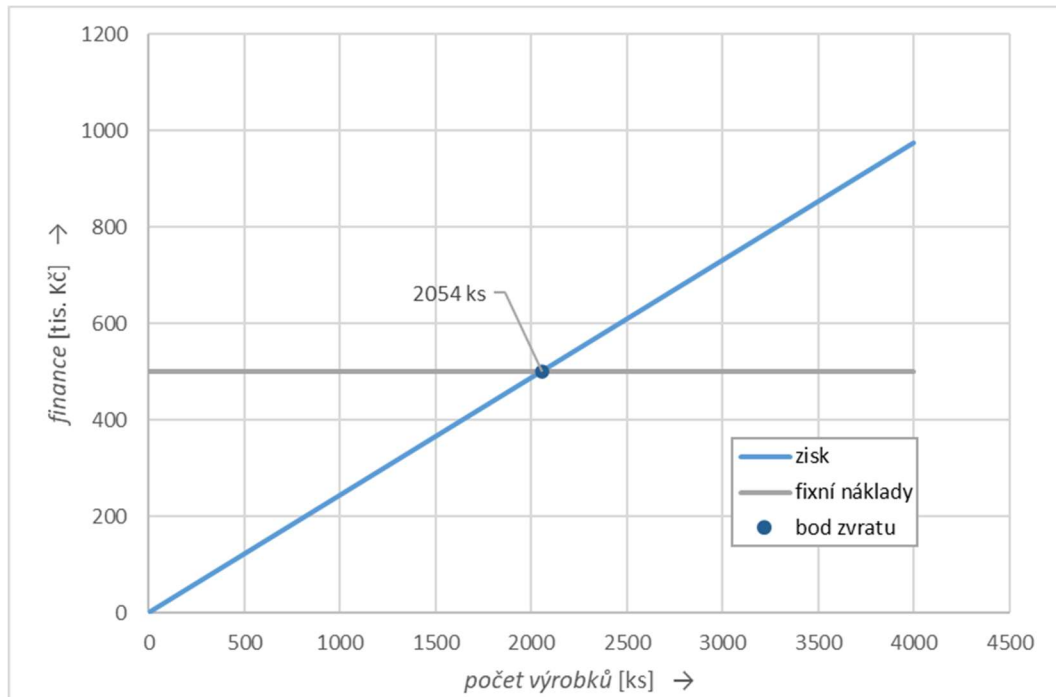
$Z_{\text{nový}}$ – zisk nové varianty:

$$Z_{\text{nový}} = 2\,693,11 \text{ Kč},$$

$Z_{\text{starý}}$ – zisk stávající varianty:

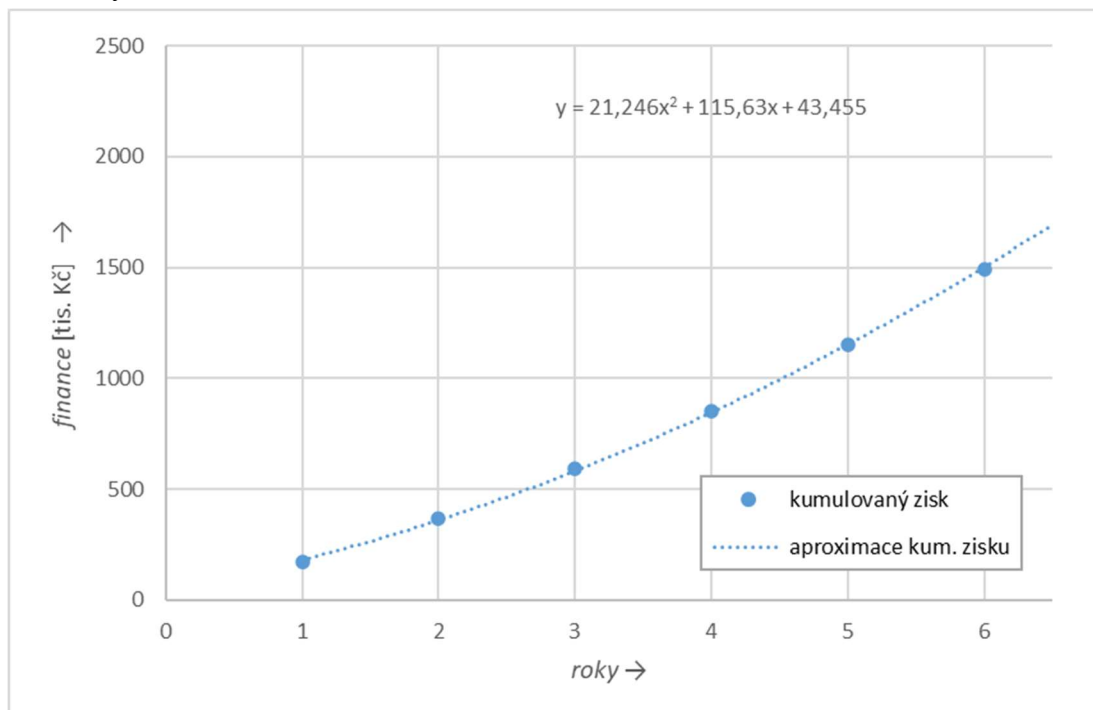
$$Z_{\text{starý}} = 2\,449,68 \text{ Kč}.$$

K navrácení počáteční investice do pořízení sdruženého nástroje dojde po vyrobení 2 054 kusů. Na obrázku 75 je vidět průběh vývoje čistého zisku v závislosti na počtu vyrobených kusů.



Obr. 75 Návratnost výroby podlahové vpusti.

Z hlediska plánování je důležitá také znalost času, za jaký se firmě investice vrátí. Výrobní série podlahové vpusti činí 700 kusů ročně s předpokládaným nárůstem prodeje o 15 % každý následující rok. Obrázek 76 ilustruje nárůst kumulovaného zisku během šesti let produkce podlahové vpusti. Hodnoty byly aproximovány kvadratickou funkcí, ze které byla dosažením objemu počáteční investice dopočítána její návratnost. Investice do nového nástroje se při uvažované výrobní sérii firmě vrátí za 2,65 roku.



Obr. 76 Kumulovaný zisk a doba návratnosti.

ZÁVĚR

Řešenou součástí je podlahová vpust vyráběná z korozivzdorné oceli. Cílem práce byla inovace stávající výroby těla vpusti, která se v současnosti vyrábí jako svařenec z několika dílů. Materiálem vpusti je austenitická Cr-Ni ocel 1.4301 (X5CrNi18-10) často používaná v potravinářském průmyslu.

V rámci řešení byla současná svařovaná varianta nahrazena kombinací konvenčního tažení bez ztenčení stěny a lemování. Geometrie dna vpusti byla navržena v souladu s požadavky normy ČSN EN ISO 14159 a dokumenty EHEDG na hygieničnost zařízení pro použití v potravinářském průmyslu.

Pro navrženou geometrii výtažku byly navrženy rozměry polotovaru a určeny technologické parametry tažení a lemování. Dno vpusti bude zhotoveno v jedné tažné operaci, kdy maximální tažná síla dosahuje 366,962 kN. Kritická síla na utržení dna činí 955,856 kN, rezerva při tažení je tedy více než dostatečná a nehrozí poškození výtažku. Síla potřebná pro lemování otvoru ve dně je dle výpočtu rovna 46,009 kN. Pomocí numerické simulace byla ověřena navržená geometrie a možnost sloučení lemování a tažení do jedné operace ve sdruženém nástroji. Materiálový model oceli 1.4301 pro účely numerické simulace procesu byl vytvořen na základě tahové zkoušky vzorků z plechu.

Součástí řešení bylo ověření nově navrženého designu zkouškou průtoku dle ČSN EN 1253-1 a dle metodiky přímého nátoku. Pro účely průtokových zkoušek byl vyroben prototyp, kde dno vpusti bylo vyrobeno technologií obrábění plastu a následně prototyp vpusti zkompletován lepením. Při zkouškách průtoku byly překonány hodnoty stanovené normou, zároveň bylo dosaženo srovnatelných hodnot průtoků se stávajícím designem vpusti při současném zlepšení čistitelnosti a hygieničnosti designu.

Pro výrobu dna podlahové vpusti byl navržen sdružený nástroj, kdy na jeden zdvih dojde k olemování otvoru a tažení dna vpusti. Nástroj je uzpůsoben pro použití v hydraulickém lisu Dieffenbacher PO250 II, který disponuje magnetickým upínáním nástrojů. Zvolený hydraulický lis ze strojního parku firmy disponuje dostatečnou rezervou tvářecí síly a zároveň umožňuje nezávisle řídit jednotlivé části sdruženého nástroje.

Pro inovované řešení podlahové vpusti bylo vyhotoveno ekonomické zhodnocení, kde byla porovnána stávající a nově navržená varianta výroby. Při nahrazení stávající varianty nově navrženým výtažkem dojde při výrobě jedné podlahové vpusti k úspoře 243,43 Kč. Zároveň došlo k významné úspoře času svařování při výrobě těla vpusti. Při zadané výrobní sérii 700 kusů ročně s předpokládaným nárůstem prodeje o 15 % každý následující rok byla vypočtena návratnost investice na pořízení nástroje na 2,65 roku.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SCHULER GmbH, 1998. *Metal forming handbook*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 3-540-61185-1.
2. BOLJANOVIC, Vukota, 2004. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press Inc. ISBN 978-0-8311-3182-1.
3. TSCHAETSCH, Heinz, 2006. *Metal Forming Practise*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-33216-9.
4. FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav, 2006. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 80-214-2374-9.
5. FOREJT, Milan, 1992. *Teorie tváření*. Brno: Nakladatelství VUT Brno. ISBN 80-214-0415-9.
6. KOTOUČ, Jiří; ŠANOVEC, Jan; ČERMÁK, Jan a MÁDLE, Luděk, 1993. *Tvářecí nástroje*. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-01-01003-1.
7. LANGE, Kurt, 1985. *Handbook of metal forming*. Michigan: Society of Manufacturing Engineers. ISBN 0-87263-457-4.
8. ČERNOCH, Svatopluk, 1968. *Strojně technická příručka 2*. 12. přepracované vydání. Praha: SNTL.
9. HLUCHÝ, Miroslav; BENEŠ, Josef; DESORT, František; HASIL, Zdeněk a SAHULKA, Jiří, 1969. *Strojírenská technologie. 2*. Praha: SNTL. ISBN 04-201-69.
10. ČÍHAL, Vladimír, 1999. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. Praha: Academia, nakladatelství AV ČR. ISBN 80-200-0671-0.
11. THE ENTIRE WORLD OF METAL FORMING, 2018. Online. In: SCHULER AG. Göppingen. Dostupné z: https://www.schulergroup.com/major/download_center/broschueren_uebersichten/download_uebersichten/uebersicht_broschuere_produkte_blechumformung_e.pdf?shortcut=sheet_forming. [cit. 2024-02-05].
12. *Korozivzdorné oceli - vlastnosti*, 2002. Online. Lucembursko: Euro Inox. ISBN 2-87997-082-2. Dostupné z: https://www.cedinox.es/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/StainlessSteelProperties_CZ.pdf. [cit. 2024-02-06].
13. *Nerezová ocel: praktická příručka*, 2012. Online. Praha: ASTRALPOOL. Dostupné z: www.astralpool.cz/podpora/Abynereznekorodovala.pdf. [cit. 2024-02-06].
14. ACO INDUSTRIES K.S. *Cleaning effectiveness*. Online. Dostupné z: <https://www.buildingdrainage.aco/solutions/industrial/cleaning-effectiveness>. [cit. 2024-02-08].
15. HRUBÝ, Jiří; RUSZ, Stanislav a ČADA, Radek, 1993. *Strojírenské tváření*. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě. ISBN 80-7078-201-3.
16. MACHÁLEK, Jakub; ČADA, Radek a FRODLOVÁ, Barbora, 2012. *Simulace procesů plošného tváření v softwaru PAM-STAMP 2G*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-2715-5.
17. *Metal spinning*, 2024. Online. ABACUS MASCHINENBAU GMBH. Dostupné z: <https://www.abacus-maschinenbau.de/en/metal-spinning.html>. [cit. 2024-02-25].
18. ALUMINUM IMPACT EXTRUSION CO., LTD., 2020. *Non-lethal Cartridge*. Online. Aluminum Impact Extrusion. Dostupné z: <https://www.aluimpact.com/product/defense/non-lethal-cartridge/>. [cit. 2024-02-25].

19. THE OPEN UNIVERSITY, 2017. *Fluid and Rubber Die Forming (Guerin and Hydroform)*. Online. Dostupné z: <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/fluid-and-rubber-die-forming-guerin-and-hydroform>. [cit. 2024-02-25].
20. BÍAS Makina: *Bias Multi Servo Transfer Press , Filter Press, deep drawing, expansion tank, vessel, filter, servo*. Online. In: . Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=3oZLMYK_KUM. [cit. 2024-02-25].
21. ACO INDUSTRIES K.S., 2024. *ACO. we care for water*. Online. Dostupné z: <https://www.buildingdrainage.aco/general-storage/about-aco>. [cit. 2024-02-27].
22. ACO INDUSTRIES K.S., 2024. *ACO Přebyslav*. Online. Dostupné z: <https://www.aco-industries.cz/aco-pribyslav>. [cit. 2024-02-27].
23. HELANDER METAL SPINNING COMPANY, 2024. *Hydroforming Services*. Online. Dostupné z: <https://www.helandermetal.com/services/hydroforming-services/>. [cit. 2024-03-04].
24. HELANDER METAL SPINNING COMPANY, 2024. *Metal Spinning Services*. Online. Dostupné z: <https://www.helandermetal.com/services/metal-spinning-services/>. [cit. 2024-03-04].
25. *Quintus Technologies Deep Draw Hydroforming Press QFM 0.8-800*. Online. In: GOOGLE INC. YouTube. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=vMwi5UBCCM0>. [cit. 2024-03-02].
26. BENEŠ, M.; DVOŘÁKOVÁ, J.; FOREJT, Milan; GAJDOŠ, František a ROUPEC, J., 1989. *Teorie tváření. Návodů do cvičení*. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně. ISBN 80-214-1032-9.
27. AGST DRAHT & BIEGETECHNIK GMBH. *Nerezová ocel 1.4301 / AISI 304*. Online. Dostupné z: <https://www.agst.de/4301?lang=cs>. [cit. 2024-03-05].
28. ČSN 22 7301, *Lisovací nástroje. Tažení dutých válcových výtazků. Směrnice pro konstrukci: Směrnice pro konstrukci*, 1969. Praha: Český normalizační institut. Třídící znak 227301.
29. ŠPAČEK, Jindřich a ŽÁK, Ladislav, 1991. *Speciální technologie I a II - návody do cvičení - část: plošné tváření*. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně. ISBN 80-214-0259-8.
30. ČADA, Radek, 2013. *Technologie tváření a slévání - teoretický základ*. Online. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/vy_01_004/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/6.%20TA%C5%BDEN%C3%8D%20PLECHU.pdf. [cit. 2024-03-08].
31. SAMEK, Radko; LIDMILA, Zdeněk a ŠMEHLÍKOVÁ, Eva, 2011. *Speciální technologie tváření část II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-214-4406-5.
32. ČSN EN 1253-1, *Podlahové vpusti a střešní vtoky: Část I: Podlahové vpusti se zápchovou uzávěrou s výškou vodního uzávěru nejméně 50 mm*, 2016. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Třídící znak 13 6366.
33. ACO INDUSTRIES K.S., 2024. *Sufficient drainage flow capacity*. Online. Dostupné z: <https://www.buildingdrainage.aco/solutions/industrial/sufficient-drainage-flow-capacity>. [cit. 2024-04-01].

34. ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ, 2022. ČSN EN 1672-2, *Potravinářské stroje - základní pojmy: Část 2: Hygienické požadavky a požadavky na čistitelnost*. Praha: Česká agentura pro standardizaci. Třídící znak 51 2000.
35. ČSN EN ISO 14159, *Bezpečnost strojních zařízení - Hygienické požadavky pro konstrukci strojních zařízení*, 2008. Praha: Český normalizační institut. Třídící znak 83 3270.
36. EHEDG, 2004. *Doc 8: Hygienic equipment design criteria*. Second edition. Frankfurt. Dostupné také z: <https://www.ehedg.org/>.
37. EHEDG, 2004. *Doc 13: Hygienic design of open equipment for processing of food*. Second edition. Frankfurt. Dostupné také z: <https://www.ehedg.org/>.
38. EHEDG, 2014. *Doc 44: Hygienic design principles for food factories*. Amsterdam. Dostupné také z: <https://www.ehedg.org/>.
39. ACO INDUSTRIES K.S., 2014. *Pokyny pro konstrukci nástroje pro lis Dieffenbacher PO250 II*. Příbrav.
40. KOCMAN, Karel a NĚMEČEK, Petr, 1996. *Aktuální příručka pro technický úsek*. Praha: Dashöfer. ISBN 80-902247-2-5.
41. PODANÝ, Kamil, 2022. *Příloha 1: Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/*.
42. MITUTOYO ČESKO S.R.O. *DIGIMATIC Třmenový mikrometr IP65 0-25*. Online. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.02.01.0/DIGIMATIC%20T%C5%99menov%C3%BD%20mikrometr%20IP65%200-25/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/293-240-30/index.xhtml](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.02.01.0/DIGIMATIC%20T%C5%99menov%C3%BD%20mikrometr%20IP65%200-25/$catalogue/mitutoyoData/PR/293-240-30/index.xhtml). [cit. 2024-04-24].
43. PETRUŽELKA, Jiří a SONNEK, Pavel, 2007. *Tvařitelnost kovových materiálů*. Třetí vydání. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
44. MACOUN, Petr, 2024. *Metody měření průtoků podlahových vpustí*. Prezentace PPT.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbols

Označení	Legenda	Jednotka
A_{80}	tažnost	[%]
b	šířka vzorku při 20 % plastické deformace	[mm]
b_0	výchozí šířka zkušební vzorku	[mm]
C_{laser}	cena laserového řezání	[Kč]
$C_{\text{materiál}}$	cena materiálu	[Kč]
$C_{\text{nástroj}}$	cena nástroje	[Kč]
$C_{\text{práce}}$	cena práce	[Kč]
$C_{\text{výtažek}}$	cena výtažku	[Kč]
c_{laser}	sazba laserového řezání	[Kč·min ⁻¹]
D	aktuální průměr příruby	[mm]
D_0	průměr výchozího polotovaru	[mm]
D_s	střední průměr hotového lemu	[mm]
d	vnější průměr výtažku	[mm]
d_0	průměr výchozího otvoru	[mm]
d'	průměr dna výtažku	[mm]
d_{ef}	efektivní průměr pod přidržovačem	[mm]
d_1	vnitřní průměr výtažku	[mm]
d_n	průměr kdy nastává rovnost tečného a rad. napětí	[mm]
d_s	střední průměr výtažku	[mm]
d_{tu}	průměr tažníku	[mm]
e	Eulerovo číslo	[-]
F_f	třecí síla	[N]
F_{krit1}	kritická síla na utržení dna výtažku	[N]
F_{LB}	lemovací síla dle Boljanovice	[N]
F_p	tlaková síla od přidržovače	[N]
F_{t1}	tažná síla v první operaci	[N]
f	součinitel tření	[-]
H	výška lemu	[mm]
h	výška výtažku	[mm]
h_m	hloubka zasunutí tažníku	[mm]
k	koeficient zohledňující druh materiálu	[mm ^{0,5}]
k_1	materiálová konstanta	[-]
L_0	měrná délka	[mm]
L_u	konečná délka	[mm]
m_i	součinitel tažení v i-té operaci	[-]
m'_i	skutečný součinitel tažení v i-té operaci	[-]
m_c	celkový součinitel tažení	[-]
n_1	výrobní dávka	[ks]
p	měrný tlak přidržovače	[MPa]
Q_z	bod zvratu	[ks]
R	aktuální poloměr příruby	[mm]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	[MPa]
r_{sv}	střední poloměr výtažku	[mm]
r_s	střední hodnota součinitele normálové anizotropie	[-]
r_{tc}	poloměr zaoblení tažné hrany	[mm]
r_{tu}	poloměr zaoblení tažníku	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
r_{tv}	poloměr zaoblení dna	[mm]
r_{α}	součinitel plastické anizotropie ve směru α	[-]
S_1	plocha dna výtažku	[mm ²]
S_2	plocha válcové stěny výtažku	[mm ²]
S_3	obsah přechodu pláště do dna výtažku	[mm ²]
S_c	celková plocha výtažku	[mm ²]
s	tloušťka vzorku při 20 % plastické deformace	[mm]
s'	minimální tloušťka materiálu na konci lemu	[mm]
s_0	počáteční tloušťka plechu	[mm]
s_r	relativní tloušťka materiálu	[mm]
t_A	čas zpracování	[min]
t_B	čas seřízení	[min]
t_{laser}	celkový čas laserového řezání	[min]
u	porovnávací součinitel	[-]
V_p	objem polotovaru	[mm ³]
V_v	objem výtažku	[mm ³]
v	součinitel vyjadřující poměr tažníku vůči výchozímu polotovaru	[-]
w	přídavek na ostříhnutí	[mm]
$Z_{nový}$	zisk nové varianty	[Kč]
$Z_{starý}$	zisk stávající varianty	[Kč]
Z	tažná mezera	[mm]
$\bar{\alpha}$	úhel opásání tažné hrany	[rad]
β	stupeň tažení	[-]
ε	poměrná deformace	[-]
ε_{ts}	střední poměrné přetvoření	[-]
ξ	Lodeho součinitel	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ	aktuální poloměr příruby	[mm]
$\bar{\rho}$	poměrné zmenšení vnějšího průměru	[-]
σ	smluvní napětí	[MPa]
σ_1	radiální napětí	[MPa]
σ_2	napětí ve směru tloušťky	[MPa]
σ_3	tečné napětí	[MPa]
σ_d	deformační odpor	[MPa]
σ_f	napětí od tření pod přidržovačem	[MPa]
σ_o	napětí od ohybu na tažné hraně	[MPa]
σ_p	přirozený přetvárný odpor	[MPa]
σ_{ps}	střední hodnota přirozeného přetvárného odporu	[MPa]
σ_{sk}	skutečné napětí	[MPa]
σ_z	tažné napětí	[MPa]
σ_p	radiální tahové napětí	[MPa]
φ	logaritmické přetvoření	[-]
φ_1	logaritmické přetvoření v radiálním směru	[-]
φ_2	logaritmické přetvoření ve směru tloušťky	[-]
φ_3	logaritmické přetvoření v tečném směru	[-]
φ_b	logaritmické přetvoření ve směru šířky vzorku	[-]
φ_s	logaritmické přetvoření ve směru tloušťky vzorku	[-]
Ψ	poměrné zúžení na počátku tvorby krčku	[-]

Zkratky

Označení	Legenda
CIP	Clean-In-Place
EHEDG	European Hygienic Engineering & Design Group
FLD	Forming limit diagram
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
MKP	metoda konečných prvků

SEZNAM PŘÍLOH

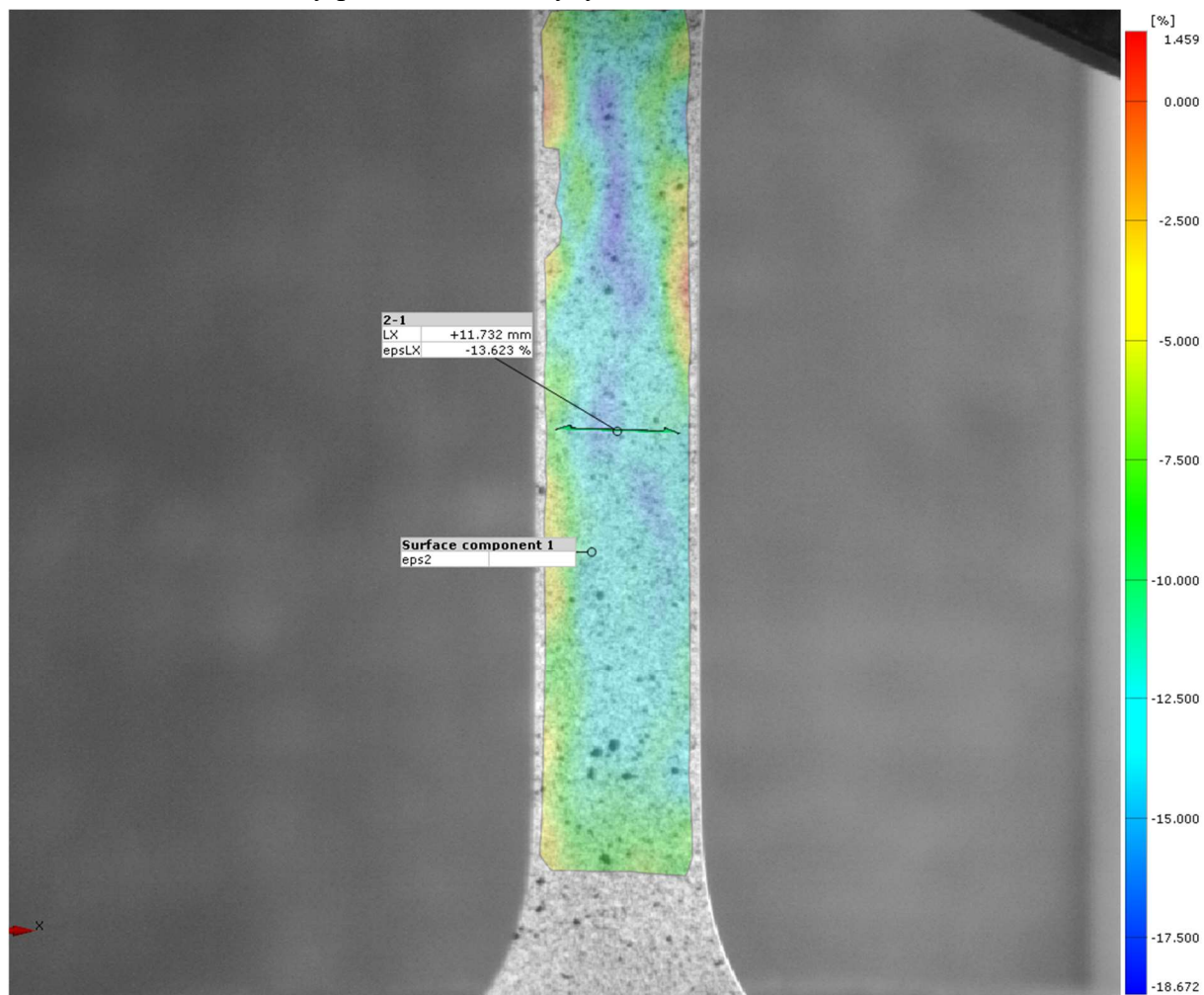
Příloha 1	Ψ – poměrné zúžení na počátku tvorby krčku
Příloha 2	Nástroj pro lemování
Příloha 3	Hodnoty součinitelů plastické anizotropie
Příloha 4	Výsledky numerické simulace – FLD diagram

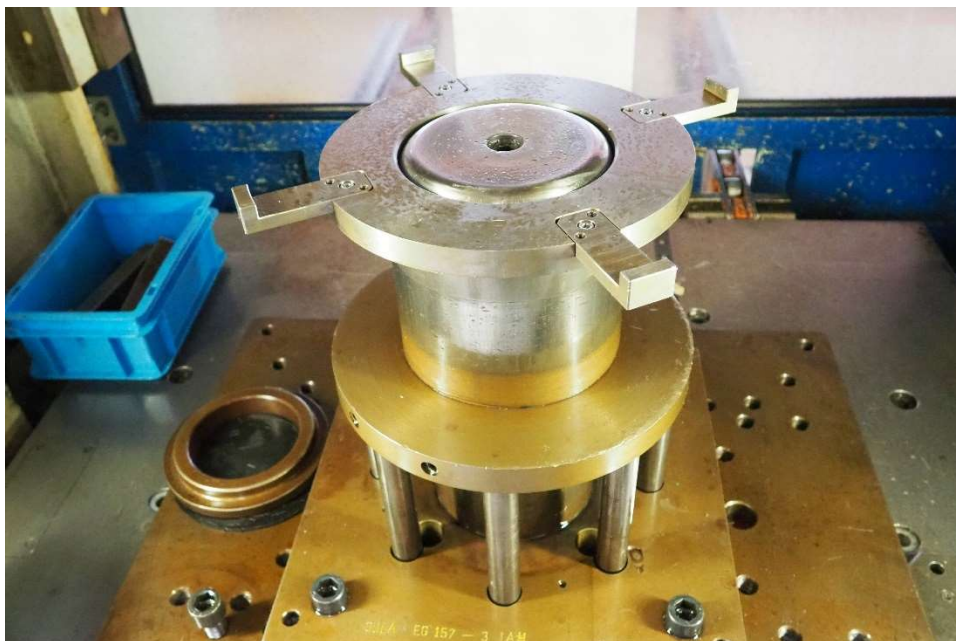
SEZNAM VÝKRESŮ

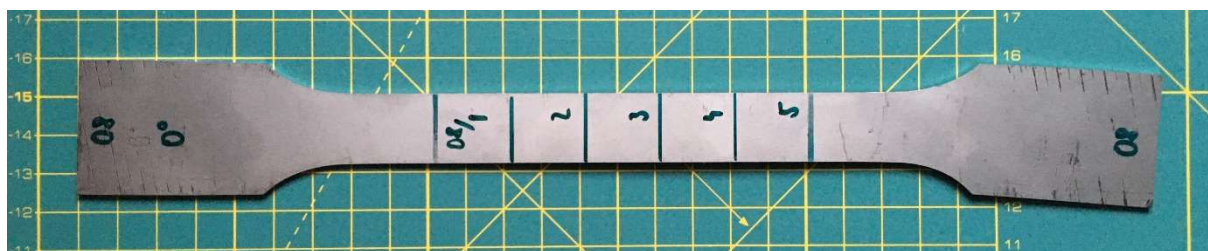
Název výkresu	označení výkresu
Sdružený nástroj	2024_DP_208793_S01
Kusovník	2024_DP_208793_K01
Vložka lisovníku	2024_DP_208793_05
Tažník	2024_DP_208793_08
Vložka tažnice	2024_DP_208793_10
Matrice	2024_DP_208793_12

Ψ – poměrné zúžení na počátku tvorby krčku

Určeno z tahové zkoušky pomocí DIC analýzy: $\Psi = 13,623 \%$

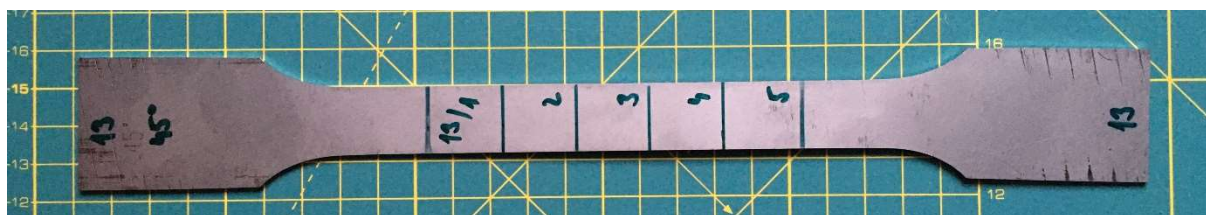






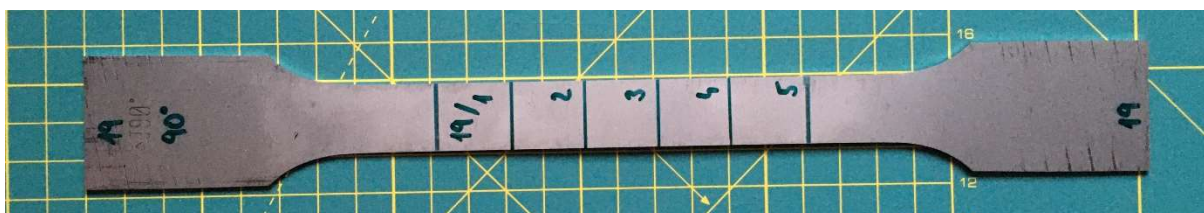
Počáteční tloušťka vzorků $s_0 = 1,45$ mm, délka měrné části $L_0 = 80$ mm, protažení vzorku $\Delta L = 17,5$ mm

směr	vzorek	měření	šířka	tloušťka	šířka	přetvoření ve směru tloušťky	přetvoření ve směru šířky	průměrné hodnoty přetvoření		součinitel plastické anizotropie	průměr
			b0 [mm]	s [mm]	b [mm]	φ_s [-]	φ_b [-]	φ_{ss} [-]	φ_{bs} [-]	r0 [-]	r0s [-]
0°	8	1	19,97	1,306	18,315	-0,1046	-0,0865	-0,1066	-0,0870	0,816	0,823
		2		1,302	18,310	-0,1077	-0,0868				
		3		1,303	18,302	-0,1069	-0,0872				
		4		1,305	18,311	-0,1069	-0,0867				
		5		1,303	18,293	-0,1069	-0,0877				
	9	1	19,98	1,298	18,254	-0,1107	-0,0903	-0,1118	-0,0915	0,819	
		2		1,296	18,239	-0,1123	-0,0912				
		3		1,295	18,228	-0,1131	-0,0918				
		4		1,296	18,220	-0,1123	-0,0922				
		5		1,298	18,221	-0,1107	-0,0922				
	10	1	19,98	1,304	18,304	-0,1061	-0,0876	-0,1084	-0,0890	0,821	
		2		1,302	18,295	-0,1077	-0,0881				
		3		1,300	18,268	-0,1092	-0,0896				
		4		1,299	18,255	-0,1100	-0,0903				
		5		1,300	18,274	-0,1092	-0,0893				
	11	1	20,02	1,306	18,342	-0,1046	-0,0875	-0,1049	-0,0877	0,836	
		2		1,306	18,343	-0,1046	-0,0875				
		3		1,304	18,343	-0,1061	-0,0875				
		4		1,305	18,337	-0,1054	-0,0878				
		5		1,307	18,333	-0,1038	-0,0880				



Počáteční tloušťka vzorků $s_0 = 1,45$ mm, délka měrné části $L_0 = 80$ mm, protažení vzorku $\Delta L = 18$ mm

směr	vzorek	měření	šířka	tloušťka	šířka	přetvoření ve směru tloušťky	přetvoření ve směru šířky	průměrné hodnoty přetvoření		součinitel plastické anizotropie	průměr
			b0 [mm]	s [mm]	b [mm]	φ_s [-]	φ_b [-]	φ_{ss} [-]	φ_{bs} [-]	r45 [-]	r45s [-]
45°	13	1	19,94	1,319	17,936	-0,0947	-0,1059	-0,0945	-0,1063	1,125	1,112
		2		1,318	17,910	-0,0954	-0,1074				
		3		1,317	17,906	-0,0962	-0,1076				
		4		1,319	17,934	-0,0947	-0,1060				
		5		1,323	17,958	-0,0917	-0,1047				
	14	1	19,94	1,315	17,939	-0,0977	-0,1058	-0,0988	-0,1073	1,086	
		2		1,313	17,903	-0,0992	-0,1078				
		3		1,314	17,894	-0,0985	-0,1083				
		4		1,313	17,898	-0,0992	-0,1080				
		5		1,313	17,922	-0,0992	-0,1067				
	15	1	19,93	1,321	17,928	-0,0932	-0,1059	-0,0932	-0,1051	1,128	
		2		1,320	17,921	-0,0939	-0,1063				
		3		1,319	17,938	-0,0947	-0,1053				
		4		1,322	17,936	-0,0924	-0,1054				
		5		1,323	17,984	-0,0917	-0,1027				
	16	1	19,93	1,321	17,966	-0,0932	-0,1037	-0,0929	-0,1028	1,107	
		2		1,320	17,963	-0,0939	-0,1039				
		3		1,321	17,970	-0,0932	-0,1035				
		4		1,322	17,999	-0,0924	-0,1019				
		5		1,323	18,013	-0,0917	-0,1011				



Počáteční tloušťka vzorků $s_0 = 1,45$ mm, délka měrné části $L_0 = 80$ mm, protažení vzorku $\Delta L = 17,4$ mm

směr	vzorek	měření	šířka	tloušťka	šířka	přetvoření ve směru tloušťky	přetvoření ve směru šířky	průměrné hodnoty přetvoření		součinitel plastické anizotropie	průměr
			b0 [mm]	s [mm]	b [mm]	φ_s [-]	φ_b [-]	φ_{ss} [-]	φ_{bs} [-]	r90 [-]	r90s [-]
90°	19	1	19,94	1,309	18,035	-0,1023	-0,1004	-0,1023	-0,1007	0,984	0,995
		2		1,308	18,026	-0,1031	-0,1009				
		3		1,308	18,026	-0,1031	-0,1009				
		4		1,309	18,024	-0,1023	-0,1010				
		5		1,311	18,040	-0,1008	-0,1001				
	20	1	19,95	1,318	18,148	-0,0954	-0,0947	-0,0954	-0,0950	0,995	
		2		1,316	18,135	-0,0970	-0,0954				
		3		1,318	18,136	-0,0954	-0,0953				
		4		1,318	18,143	-0,0954	-0,0949				
		5		1,320	18,150	-0,0939	-0,0946				
	21	1	19,96	1,318	18,179	-0,0954	-0,0935	-0,0958	-0,0945	0,987	
		2		1,316	18,155	-0,0970	-0,0948				
		3		1,317	18,151	-0,0962	-0,0950				
		4		1,318	18,151	-0,0954	-0,0950				
		5		1,319	18,165	-0,0947	-0,0942				
	22	1	19,99	1,322	18,194	-0,0924	-0,0941	-0,0945	-0,0957	1,012	
		2		1,315	18,154	-0,0977	-0,0963				
		3		1,322	18,152	-0,0924	-0,0965				
		4		1,318	18,154	-0,0954	-0,0963				
		5		1,319	18,173	-0,0947	-0,0953				

FLD diagram

