



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE VÝROBY SOUČÁSTI NA HLUBOKOTAŽNÉM LISU

OPTIMIZATION OF COMPONENTS PRODUCTION ON DRAW PRESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavel Rérych

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Pavel Rérych
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
Akademický rok:	2018/19

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

Optimalizace výroby součásti na hlubokotažném lisu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o zpracování úpravy technologického postupu výroby dílu – Gully – na hlubokotažném lisu ve firmě ACO Industries k.s. sloučením tažných operací za účelem úspory výrobních nákladů a zkrácení výrobních časů. Součástka bude vyráběna technologií tažení bez ztenčení stěny s využitím konvenčního nástroje. Na tuto problematiku bude také zaměřena aktuální literární studie.

Cíle diplomové práce:

- zhodnotit technologičnost Gully,
- popsat současný postup výroby,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí sdružený nástroj,
- zhotovit výkres nástroje, kusovník a výkresy vybraných pozic,
- provést technicko–ekonomické hodnocení.

Seznam doporučené literatury:

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

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

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

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

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

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

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

RÉRYCH Pavel: Optimalizace výroby součásti na hlubokotažném lisu.

Práce předkládá návrh technologie výroby odtokové vpusti. Jedná se o obdélníkový výtažek, kde její základní tvar je v současnosti tvořen na dvě tažné operace. Použitý materiál je korozivzdorná austenitická ocel 17 240 o tloušťce 1 mm. S ohledem na zadávací dokumentaci byla pro výrobu jako nejvhodnější ponechána technologie tažení bez ztenčení stěny. Na základě technologických a kontrolních výpočtů byla stanovena dvou operační výroba, která bude probíhat ve sloučeném konvenčním nástroji. Zde budou provedeny obě operace na jeden zdvih lisu s označením Dieffenbacher PO250, který má magnetické upínání nástrojů. Pro roční produkci 50 000 ks byla vypočítána návratnost po 0,8 letech. Navrženou výrobou dojde k zefektivnění současné výroby včetně ekonomického přínosu.

Klíčová slova: tažení, výtažek, tažný nástroj, tažník, tažnice

ABSTRACT

RÉRYCH Pavel: Optimization of components production on draw press

The diploma thesis present technology production of draining outlet. This is a rectangular deep drawn part, where basic shape is formed in two towing operations now. The used material is an austenitic stainless steel 17 240 with thickness 1 mm. According to the entry documentation the production technology was not change – current technology (it means drawing without thinning the wall) is most suitable. Based on technological and control calculations two-operations production was determined, which will take place in the united conventional instrument. The hydraulic press with marking Dieffenbacher PO250, which has a magnetic tool clamping, per stroke will perform here both operations. The payback was calculated for yearlong production 50 000 pieces after 0,8 years. The proposed production will make the current production more efficient including economic benefits.

Keywords: deep drawing, deep drawn part, deep drawing tool, hob, die

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RÉRYCH, Pavel. *Optimalizace výroby součásti na hlubokotažném lisu*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116851>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 24.5.2019

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. a panu Ing. Pavlu Pospíchalovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti ACO Industries k.s. za poskytnutí informací a prostředků pro vypracování práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ	10
1.1 Varianty výroby.....	13
2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ	15
2.1 Velikost přístřihu a počet operací.....	17
2.2 Mezera a rychlost.....	20
2.3 Síla a práce	21
2.4 Nástroje.....	24
2.4.1 Tažnice a tažník	25
2.4.2 Přidržovač	26
2.5 Stroje	27
2.6 Maziva	28
2.7 Technologičnost.....	29
3 NÁVRH VÝROBY	30
3.1 Velikost přístřihu.....	30
3.2 Počet operací a volba přidržovače.....	32
3.3 Velikost tažné mezery a poloměrů.....	33
3.4 Síla a práce.....	34
3.5 Tvářecí lis.....	38
3.6 Postup výroby.....	39
3.7 Konstrukce nástroje.....	43
4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	54
5 ZÁVĚRY	57

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3]

Hlavním trendem dnešního strojírenství je zefektivnění výroby stávajících součástek a modernizace strojního vybavení. Ve výrobě polotovarů nebo hotových součástí má výrazné postavení technologie tváření, která má široké uplatnění v sériové produkci především díky vysoké produktivitě práce s ohledem na kvalitu výrobku a velkým úsporám materiálu, kde odpad tvoří pouze 5 – 10 %. Při porovnání s obráběcími metodami se dosahuje lepších mechanických vlastností.

Technologie tváření se dělí na dvě skupiny - plošné a objemové. Plošné je proces, při kterém dochází k rovinnému přetvoření (nemění se výchozí tloušťka). Výrobky nebo polotovary jsou zhotovovány za pomoci působení vnějších sil bez porušení materiálu. Mezi tyto metody se řadí tažení, ohýbání a stříhání, které je jediné výjimkou a k porušení dochází cíleně.

Tažení je velmi rozšířený způsob zpracování plechového polotovaru, kterým jsou vyráběny součástky s velkou tuhostí a nízkou hmotností. Výroba tvoří asi jednu třetinu produkce lisoven. Na obrázku č. 1 jsou znázorněny příklady zhotovených součástek.

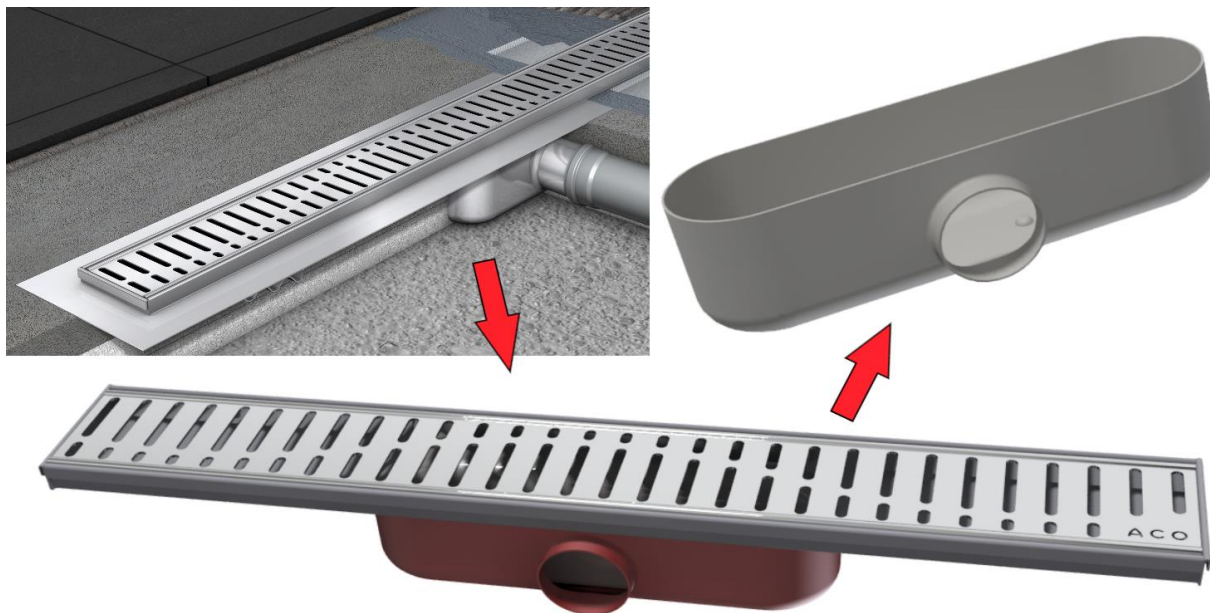


Obr. 1 Příklady součástí vyrobených technologií tažení [4], [5], [6], [7].

1 ROZBOR ZADÁNÍ [1], [8], [9], [10], [11], [12], [13]

Řešenou součástí je odtoková vpust' pro sprchové žlaby typu C (obr. 2), která se využívá výhradně pro liniové odvodnění koupelen, kde se klade velký důraz na odolnost proti korozi, hygienu, voděodolnost a design.

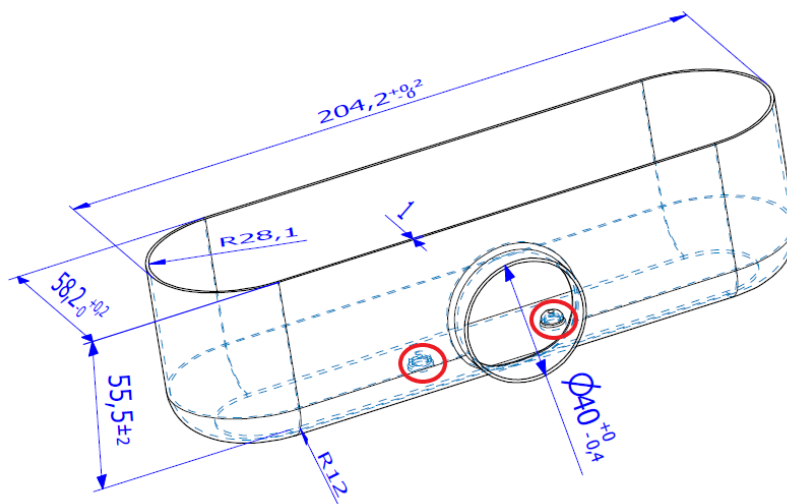
Komplet se skládá z těla žlabu, odtokové vpusti a pachového uzávěru. Posledním funkčním dílem je rošt, který se nachází v horní části a je vyráběn v mnoha designových variantách. Roční produkce odtokových vpustí bude zhruba 50 000 kusů. V roce 2018 bylo vyrobeno 47 000 kusů.



Obr. 2 Rozbor liniového odvodnění koupelen [8].

Na obrázku č. 3 lze vidět náčrt vpusti s jejími základními rozměry. Jelikož na součást nejsou kladeny velké mechanické nároky a musí být lehká, je tloušťka stěny 1 mm ideální. Vnější délka vpusti je 204,2 mm, výška 55,5 mm a šířka je 58,2 mm. Venkovní poloměr u dna je 12 mm. Na boční straně uprostřed je otvor s lemem o průměru 40 mm, který je umístěn ve výšce 23 mm ode dna. Lem slouží ke snadnějšímu navaření odtokové trubky. Dno je opatřeno dvěma prolisy kruhového tvaru o výšce 3,5 mm, které zvyšují tuhost a současně slouží na uložení pachového uzávěru.

Rozměrové požadavky na šířku a délku jsou od 0 do + 0,2 mm. Výška může být v rozmezí ± 2 mm. Rozměrová přesnost velikosti otvoru je 0 až - 0,4 mm a výškové umístění je v toleranci $\pm 0,5$ mm. Požadavkem je, aby tloušťka byla v celém průřezu konstantní s maximální odchylkou ± 10 %. Přijatelná přímota protilehlých rovných ploch je 0,5 mm.



Obr. 3 Základní rozměry součástky.

Z hlediska materiálu je potřeba dodržet požadované parametry korozní odolnosti, jelikož součást bude sloužit k odtoku vody. Dále je nutné zohlednit tvar výtažku (velký rádius ve dně) a voděodolnost (navaření na žlab). Z toho důvodu je nutné, aby měl materiál vhodnou tvařitelnost a svařitelnost.

S ohledem na výše uvedené požadavky lze uvažovat o běžných levných materiálech s povrchovou úpravou, ale ty nejsou v koupelnách optimální. Mají hrubý povrch a s tím je spojeno usazování nečistot. Proto je nejlepší varianta použít korozivzdornou ocel. S ohledem na to, že součást bude používána v běžných podmínkách, je zvolena korozivzdorná chrom-niklová austenitická nestabilizovaná ocel 17 240. Ekvivalentní označení oceli je uvedeno v tabulce 1.

Tab. 1 Ekvivalentní označení oceli 17 240 [12].

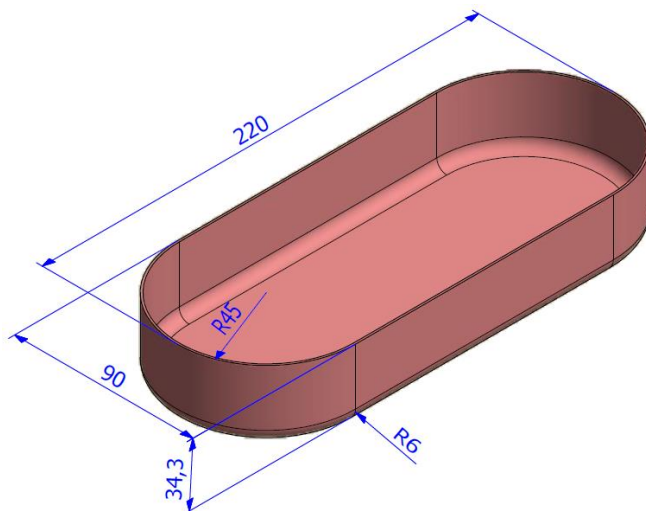
Ekvivalenty pro označení oceli				
Norma	ČSN	Wr. Nr.	AISI	DIN
Označení	41 7240	1.4301	304	X5CrNi 18-10

Tato ocel zaručuje požadovanou tvařitelnost a svařitelnost. Má dobrou odolnost proti korozi v běžných podmínkách a to i proti chemikáliím o nízké koncentraci za běžných teplot. Nejčastěji se používá v potravinářském, farmaceutickém a kosmetickém průmyslu, kde je nutné udržovat čisté prostředí. Často ji lze vidět také v bytové architektuře, neboť jde dobře leštit a při použití rozšiřuje prostor, díky výrazným odrazovým plochám. Základní mechanické vlastnosti a chemické složení je uvedeno v tabulce 2. Informace o materiálu byly převzaty z atestu a materiálového listu pro danou oceli 17 240, které jsou uvedeny v přílohách č. 1 a 2.

Tab. 2 Vlastnosti austenitické oceli 17 240 [13].

Mechanické vlastnosti	Žháno [°C]		R _{p0,2} [MPa]		R _m [MPa]		A ₅ [%]	
		1040 -1100		min 186		490 - 686		min 37
Chemické složení	Prvek	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
	Hm [%]	0,02	1,44	0,48	18,12	8,00	0,03	0,003

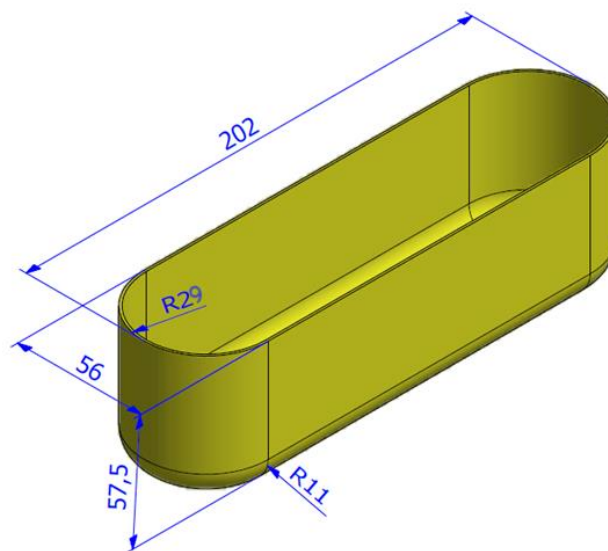
V současné době je součást vyráběna technologickým postupem, který je uveden v tabulce č. 3, kde výrobní časy jsou upraveny z důvodu přání firmy. Jak je možno vidět, nejdříve se pomocí laseru vypálí požadovaný tvarový přístřih, který je nutné odjehlit. Poté je polotovár namazán speciálním hlubokotažným olejem, který je vyráběn společností TRIGA s označením PROLONG 50-12. Základní tvar součásti je následně vytvořen dvěma tažnými operacemi. Výtažek po prvním tahu je zobrazen na obrázku 4. Jeho délka je 220 mm, šířka 90 mm a výška 34,3 mm. Venkovní rádius po obvodu dna je 6 mm. Délka polotovaru po druhém tahu (obr. 5) je 202 mm, šířka 56 mm a výška 57,5 mm. Obvodový rádius na dnu je 11 mm. Výšky výtažku



Obr. 4 Model výtažku po I. tahu.

v obou tazích jsou kontrolovány pomocí softwarového vybavení lisu. Po tažení se součást odmastí, odmoří a je dovezena na mezioperační žíhání do kooperace. Ve třetím tahu se ve dně vytvoří prolisy, lze je vidět na obrázku 3 v červeném kruhu, a poté už je prováděna pouze kalibrace. Polotovár je pro další výrobní operace přesunut na pracoviště s excentrickým lisem, kde se prostříhne a vyhrdlí otvor o průměru 40 mm, viz obrázek 3. Součást je nutné znovu odmastit a následně odmořit. Při závěrečné operaci se součást rovná na palety a odveze se do skladu.

Základní tvar vpusti je rozdělen do dvou tažných operací (č. operace 030 a 040), což prodlužuje výrobní čas a zvyšuje náklady. Proto je snahou tyto operace optimalizovat. Cílem práce bude sloučení těchto dvou operací do jedné, za použití stejného hydraulického lisu jako ve stávající výrobě. Tím je lis od společnosti DIEFFENBACHER, s označením PO250 II.



Obr. 5 Model výtažku po II. tahu.

Tab. 3 Současný TNG postup výroby odtoku k showerline C [8].

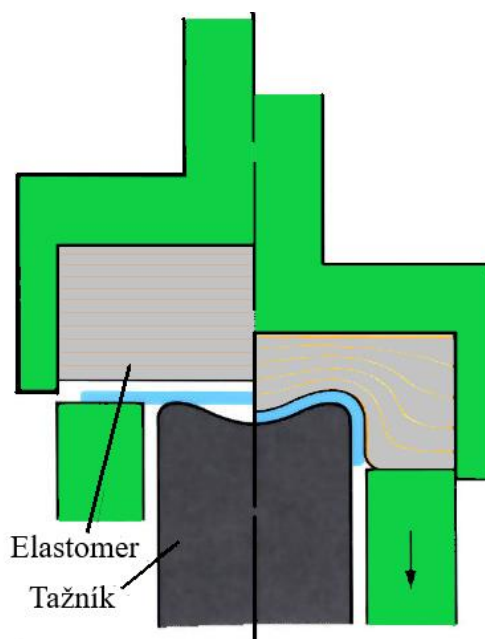
Číslo Operace	Popis	Stroj	Doba zpracování [min]
010	Řezat odvod přístřihu	Laser	0,05
020	Odjehlit hrany	Webber	0,15
030	Namazat přístřih	Ruční práce	-
040	Táhnout - 1. tah	Dieffenbacher PO250 II	0,35
050	Táhnout - 2. tah	Dieffenbacher PO250 II	0,35
060	Odmastit součást	Myčka P5	0,15
070	Mořit	Ponorem	-
080	Žíhat	Kooperace	-
090	Táhnout - 3. tah	Dieffenbacher PO250 II	0,40
100	Táhnout - kalibrace	Dieffenbacher PO250 II	0,30
110	Děrovat	Lis - excentr	0,35
120	Vyhrdlit	Lis - excentr	0,65
130	Odmastit součást	Myčka P5	0,15
140	Mořit	Ponorem	0,30
150	Zaskladnit	Ruční práce	-

Kompletní odtokový systém (obr. 2) je vyráběn v příbyslavském závodě ACO Industries k.s., který je součástí ACO Group. Skupina byla založena v roce 1946 v Německu, kde se také nachází hlavní sídlo rodinného podniku. Jeho minulost a současnost je spjata s rodinou Ahlmannů. Společnost se zaměřuje na výrobu prvků ve stavebnictví, konkrétně se specializuje na odvodňovací systémy, ve kterých se stala světovým lídrem trhu. Působí ve 40 zemích po celém světě a celkově zaměstnává kolem 4 200 zaměstnanců. Přibližně 700 lidí pracuje v příbyslavském závodě. Celkový obrát skupiny je přibližně 775 miliónů euro, z toho připadá na Příbyslav přibližně 1,6 miliardy korun.

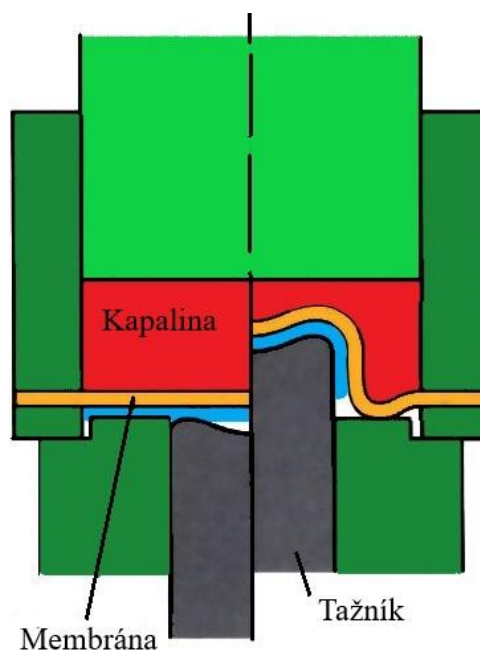
1.1 Variantní výroby [2], [3], [14], [15]

Nejdříve je nutné zvolit optimální technologii výroby součástky, kde je nutné zohlednit, že z celého technologického postupu (tab. 3) bude provedena pouze optimalizace pro operace č. 040 a 050. Tedy dále nebude řešena výroba polotovaru, moření ani nic jiného. Cílem bude sloučit tyto dvě operace do jedné s ohledem na využití tažnosti materiálu a strojního vybavení společnosti. Proto musí být provedena úprava možností výroby. Pro dané požadavky připadají v úvahu tyto technologie:

- Marform (obr. 6) – je tažení pomocí elastomeru. Využívá se zde elasticita gumového média, které je umístěno v pevné skříni tažnice. Polotovar se položí na ocelový tažník a následně je vtačován do elastomeru, který ho přitlačuje na tažník. Tato metoda je vybavena i přidržovačem a proto je vhodná i pro hluboké tažení. Tvar součásti i požadovaná výška výtažku (57,5 mm) by zde byla možná vyrobit, ale problém by nastal s požadovanými tolerancemi, které by nebyly dodrženy. Následně by u řešené součásti byl problém ve velikosti tvářecích sil, které jsou větší než u konvenční metody a to z důvodu, že výška elastomeru musí být větší než výtažku. Další nevýhodou by byla velikost série, jelikož životnost elastického bloku není vysoká. Výhodou je získání hladkého a nezvrásněného povrchu a celkově poměrně jednoduchý a levný nástroj.
- Hydroform (obr. 7) – se používá pro hluboké tažení. Tažnice je nahrazena kapalinou a uzavřena pomocí pryžové membrány. Na pevný tažník se umístí polotovar, který je následně vtlačěn do nádrže a materiál se tváří. Protitlak kapaliny lze regulovat přepouštěcím ventilem. Systém je vybaven přidržovačem, který zabráňuje zvlnění okrajů výtažku. Tvar řešené součásti by byl vytvořen bez problému, jelikož lze vyrábět i složité nerotační součásti. Velkou výhodou metody je konstantní tloušťka stěny a proto nehrozí utržení dna a součást lze zhotovit na menší počet tahů. Je nutné zohlednit vysokou pořizovací cenu stroje a požadavek společnosti, která si přeje využít stávající strojní zařízení. Další nevýhodou této metody je složité těsnění kapaliny.

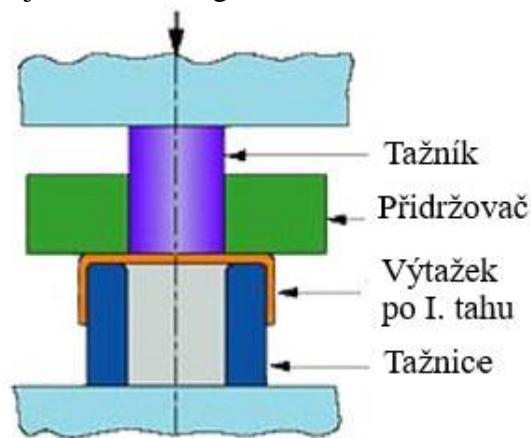


Obr. 6 Schéma metody marform [16].



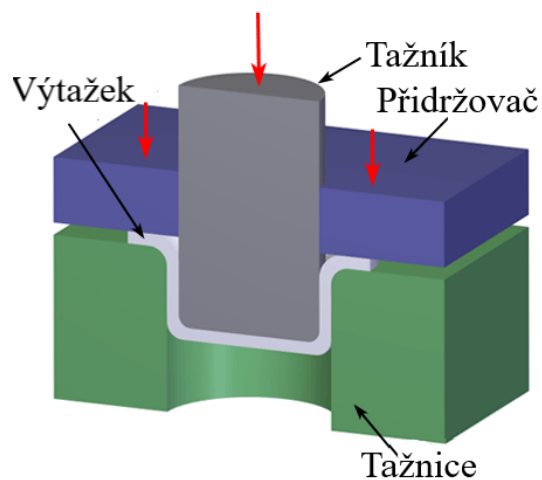
Obr. 7 Schéma metody hydroform [16].

- Reversní (zpětné) tažení – je další způsob výroby dané součástky, kde se nejdříve přístřih položí na přidržovač a následně je vtahován tažníkem do tažnice. Po dosažení výšky výtažku v první tahu se ihned pokračuje stejnou technologií i v druhém tahu, ale v obráceném směru. Tedy druhý tažník působí na dno z venkovní strany a vtahuje materiál do druhé tažnice (obr. 8). Tímto systémem se dosáhne až o jednu čtvrtinu větších přetvoření než při běžném tažení. Díky tomu lze zhotovit daleko hlubší výrobky. Navíc se zpravidla zabrání tvoření vln na okraji a další velkou výhodou je fakt, že zůstává konstantní tloušťka stěny. U řešené součásti by tato metoda zefektivnila výrobu, ale s ohledem na požadavek využít současné strojní vybavení společnosti není tato technologie vhodná, z důvodu nutnosti jiného stroje.



Obr. 8 Schéma reversního tažení [17].

- Konvenční tažení (obr. 9) – je velmi rozšířený způsob zpracování plechů, při kterém z rovinného přístřihu v jednom nebo několika tazích je vyroben výtažek požadovaného tvaru. Toho se docílí tak, že tažený materiál je tažníkem vtahován do tažnice. Nástroje jsou vyrobeny z nástrojové oceli. Problém, který může nastat, je tvorba vln a ta lze odstranit použitím přidržovače. Tato technologie je velice přesná, rychlá a vhodná pro sériovou výrobu z důvodu vysoké trvanlivosti nástrojů. Hlavní nevýhodou je pořizovací cena nástroje. Řešenou součástku lze vyrobit s rozměrovými i tvarovými požadavky. Problémem ale je, že běžným nástrojem, není možné zhotovit konečnou výšku (57,5 mm) v jednom tahu. Pokud ale jednotlivé tahy v nástroji budou sloučeny (dva tažníky a dvě tažnice), lze následně výtažek táhnout v jedné operaci a tím zefektivnit výrobu.



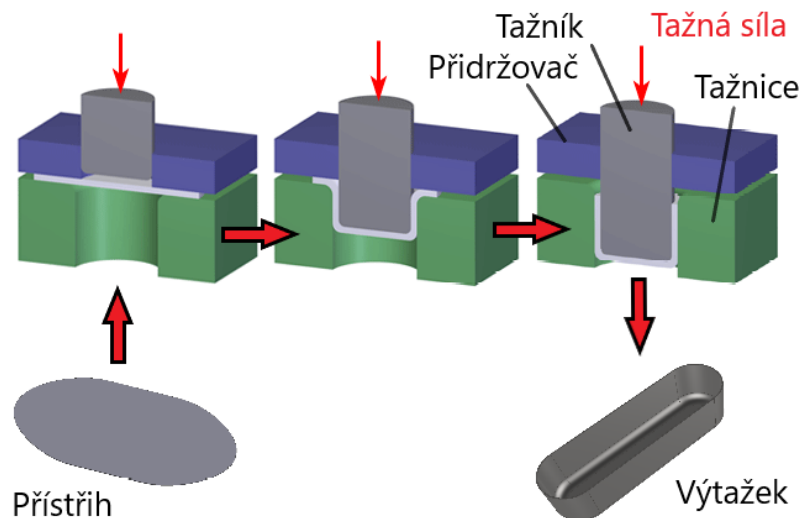
Obr. 9 Konvenční tažení [18].

Z představených a popsanych technologií výroby požadovaného tvaru je pro sériovou výrobu součástky vybrána metoda konvenčního tažení bez zeslabení stěny. Je tak zvoleno na základě strojního vybavení společnosti, tvarových a rozměrových požadavků a velikosti výrobní série, u které se předpokládá meziroční nárůst. Kvůli požadované optimalizaci, která by u běžného konvenčního tažení nenastala, bude nutné navrhnout nástroj, v kterém proběhnou dvě tažné operace na jeden zdvih stroje. Na tuto problematiku budou zaměřeny jak literární studie, tak i praktická část.

2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [2], [3], [15], [19], [20], [21]

Technologie tažení se ve strojírenství řadí mezi nejefektivnější a nejpoužívanější tvářecí operace. Proces patří do kategorie plošného tváření za studena, při kterém se tvarový přístřih (rovinný plech) přemění do různě tvarovaných dutých součástí. Mikrostruktura výtažku má lepší vlastnosti než podobná součást vyrobená obráběním nebo odléváním.

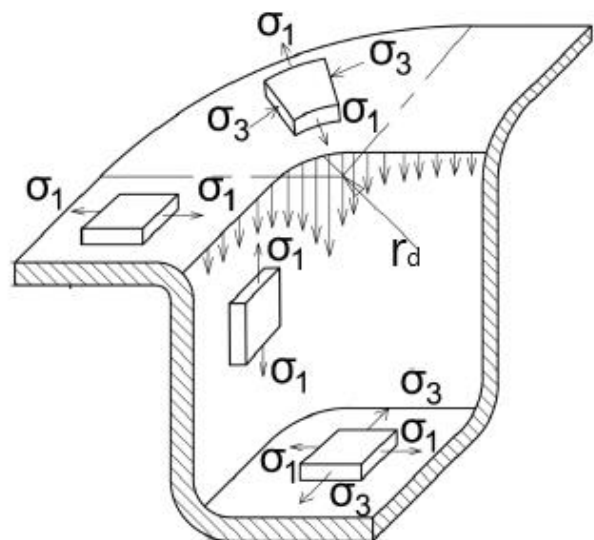
Základní princip technologie je založen na dvou hlavních částech nástroje - tažníku a tažnici. Nejdříve se přístřih vystředí na tažnici, nejčastěji pomocí vyfrézované drážky nebo zakládacích přípravků, které odpovídají ploše tvarového přístřihu. Následně lze plech přitlačit přidržovačem, kde je nutné dodržet správný tlak mezi ním a tažnicí. Při příliš vysokém tlaku hrozí



Obr. 10 Průběh tažení [18].

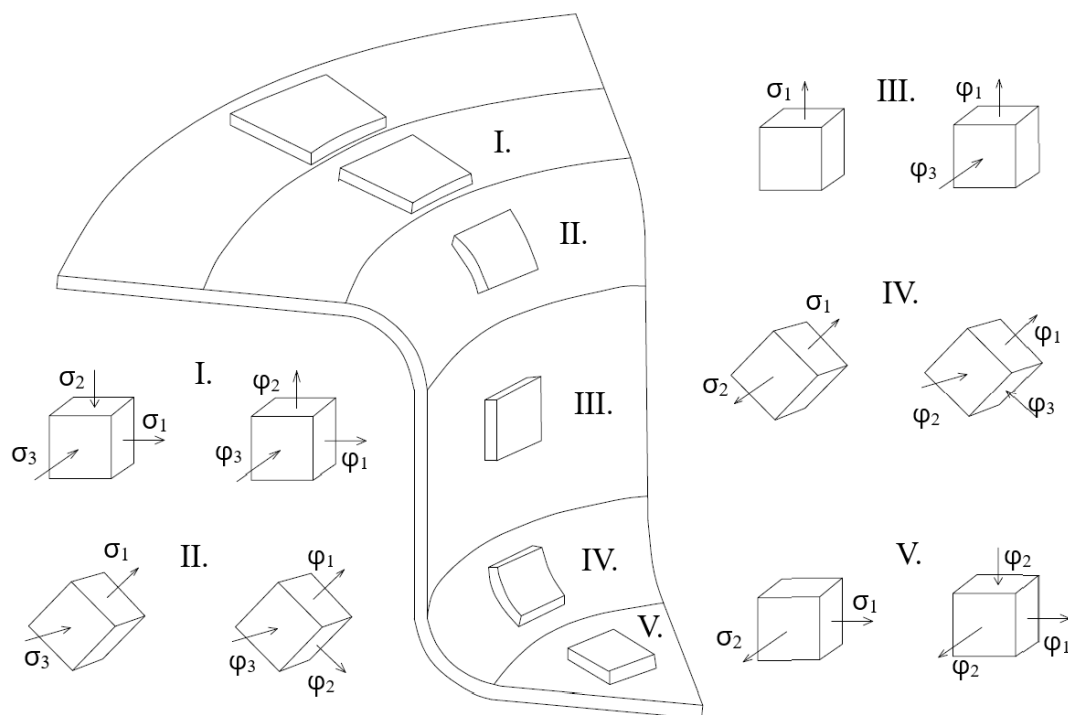
utržení dna nebo příruby výtažku, v opačném případě by mohlo vzniknout nežádoucí zvrásnění na stěnách výrobku. V dalším průběhu je materiál vtahován tažníkem do otvoru tažnice. Celý proces je znázorněn na obrázku 10.

Tažení nerotačních součástí (čtvercových a obdélníkových) je založeno na stejném principu, který je výše zmíněn, jelikož každý hranatý výtažek má nejvíce čtyři rohy, méně či více zaoblené, kde každý tvoří čtvrtinu pomyslného válcového výtažku. K tažení tedy dochází pouze v rozích, kde je napjatost podobná jako při tažení válcové součásti o stejném poloměru jako je zaoblení rohu. Zbylé rovné stěny jsou tvořeny prostým ohybem a zde je napjatost podobná jako při ohybu. Z toho důvodu je velikost napětí v rozích maximální a postupně klesá směrem k rovným stěnám (obr. 11). Proto také není kov deformován rovnoměrně podél celého obvodu, což znamená, že i zpevnění materiálu, které nastává při tváření za studena, není v celém výtažku stejné. Výhodou rovných bočních stěn je, že tangenciální napětí v přírubě nabývá menších hodnot a díky tomu je příruba stabilnější a součinitel tažení je v prvním tahu menší než u válcových součástí. S ohledem na největší deformaci v rozích je nutné upravit tvar přístřihu, aby byla dodržena stejná výška součástky po celém obvodu.



Obr. 11 Napjatost nerotačních výtažků [15].

Průběh tažení rohů je doprovázen vznikem deformace, která sebou nese vznik napětí v materiálu. V rovinném polotovaru při tažení dochází k jeho prodlužování v radiálním směru, zatímco v tangenciálním se zkracuje. Na obrázku 12 jsou znázorněna všechna napětí a deformace v jednotlivých úsecích výtažku při použití přídržovače. Pokud by nebyl použit přídržovač, došlo by ke změně napětí a deformací pouze v přírubě.



Obr. 12 Stav napjatosti při tažení [15].

V jednotlivých úsecích jsou napětí a deformace odlišné, a proto se rozdělují na tyto podoblasti:

- I. - vyskytuje se zde prostorová napjatost - a to z důvodu použití přídržovače. Na začátku tažení je nejvýznamnější složka tlakové tangenciální deformace, nižších hodnot dosahuje deformace v radiálním směru. Nejmenší složkou v této oblasti je deformace, která zapříčiňuje zvětšení tloušťky plechu v přírubě. V případě tažení tenkých plechů může docházet k tvorbě zvlnění příruby.
- II. – je nejsložitější na explicitní vyjádření deformace a je v poloměru zaoblení tažnice, kde dochází k prostorovému ohybu. Napjatost je zde trojosá a největších hodnot dosahuje radiální tahové napětí " σ_1 " oproti tangenciálnímu tlakovému " σ_3 ", které je menších hodnot.
- III. – se nachází na plášti výtažku, který lze také popsat jako zakřivenou svislou stěnu, kde je pouze jednoosá tahová napjatost a prostorová deformace z příruby se mění na rovinný stav. Dochází zde k nepatrnému ztenčení tloušťky stěny výtažku.
- IV. – zde dochází ke ztenčování tloušťky a je v místě zaoblení mezi dnem a pláštěm. Důsledkem prostého ohybu vzniká prostorová deformace.
- V. – je umístěna na dně výtažku. Zde lze očekávat prostorový stav deformace a rovinnou tahovou napjatost. Opět dochází k nepatrnému prodloužení materiálu a tím ke ztenčené tloušťky výtažku přibližně o 2 – 3 %, ale to lze v praxi zanedbat.

Pokud se tažný proces skládá pouze z jedné operace, není zeslabení stěny podstatné, ale je-li výtažek tažen na více operací, může docházet k výrazným změnám tloušťky a to především v kritických místech jako je zaoblený přechod mezi dnem a pláštěm výtažku, i když zde nejsou tak velké hodnoty napětí a deformací jako v oblasti příruby. Z důvodu ztenčení tloušťky stěny a vysokých hodnot tahových napětí by zde mohlo dojít ke vzniku trhlin a poté i k utržení dna. Tloušťka stěny se ztenčuje se zmenšujícími se poloměry tažidel, naopak příznivý vliv mají následující faktory:

- tvárnost taženého materiálu
- stupeň deformace
- počet tažných operací
- poměrná tloušťka plechu

2.1 Velikost přístřihu a počet operací [2], [19], [22], [23]

Při výpočtu velikosti tvaru přístřihu se předpokládá, že tloušťka materiálu je v celém výtažku konstantní a díky tomu se objem přístřihu rovná objemu výtažku. U nepravidelným součástí je složitější určení optimálního tvaru než u válcových. Základní tvar plochy přístřihu je důležité určit co nejpřesněji, aby nedošlo k zbytečnému plýtvání materiálu a zároveň kov nebyl nadměrně namáhán při tažení.

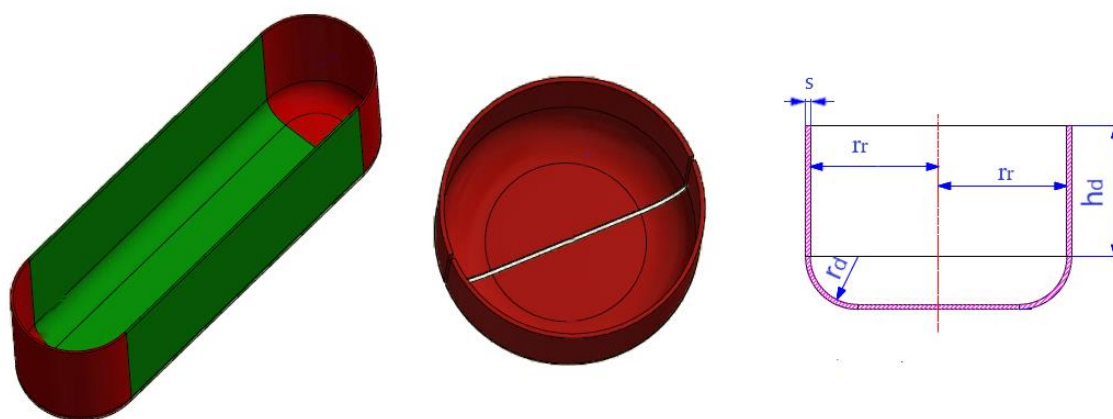
Pro správný tvar výtažku po tažení je nutné zvětšit výšku součásti o přídavek na ostříhnutí, který se určuje v závislosti na tloušťce plechu a největšímu rozměru součástky, viz tabulka 4.

Tab. 4 Přídavky na ostřížení [2].

Tloušťka plechu	Největší rozměr výtažku			
	< 100	100 ÷ 200	200 ÷ 300	> 300
< 2	2,0 ÷ 2,5	2,5 ÷ 3,0	3,0 ÷ 3,5	3,5 ÷ 4,0

V různých podkladech se nacházejí odlišné metody výpočtu velikosti výchozího tvaru přístřihu. V praxi jsou nejčastěji použity pro přesný výpočet počítačové programy AutoForm, SolidWorks, DYNAFORM, apod. Tvar lze také přesně vypočítat dle vzorců, které jsou uvedeny v platné normě ČSN 22 7303, z které se bude vycházet.

Před samotným výpočtem se čtvercový nebo obdélníkový výtažek rozdělí na zaoblené a rovné části. Z toho lze předpokládat, že ze zaoblených rohových částí se vytvoří imaginární válcový výtažek stejné výšky (obr. 13).



Obr. 13 Oddělení rohů a vytvoření imaginárního válcového výtažku [19].

Pro tento válcový výtažek se následně vypočítá poloměr kruhového přístříhu, který je potřeba k tažení rohových částí. Platí podmínka, že:

$$\frac{d_r}{2} > r_d$$

kde: d_r – průměr zaoblení bočních stěn v rohu [mm]

r_d – poloměr zaoblení dna výtažku [mm]

Pokud je splněna, lze použít pro výpočet požadovaného poloměru vzorec:

$$r_o = \sqrt{0,25 \cdot d_r^2 + d_r \cdot (h_d + 0,57 \cdot r_d) - 0,14 \cdot r_d^2} \quad (2.1)$$

kde: r_o – poloměr kruhového přístříhu tvořeného rohy výtažku [mm]

h_d – výška rovné části stěny [mm]

Následně se vypočítá rozvinutá délka rovných částí ze vzorce:

$$h_s = 0,57 \cdot r_d + h_d + 0,5 \cdot d_r \quad (2.2)$$

kde: h_s – rozvinutá délka rovných částí [mm]

Vypočtené hodnoty r_o, h_s je nutné dále upravit z důvodu přemísťování částic materiálu v podélných stěnách, které je výrazné při více operačním tažení. Této hodnoty redukovaného poloměru přístříhu R_o se dosáhne pomocí následujících vzorců:

$$R_o = x \cdot r_o \quad (2.3)$$

kde: R_o – redukovaný poloměr přístříhu [mm]

x – koeficient zmenšení poloměru r_o [-]

$$x = 0,074 \cdot \left(\frac{r_o}{d_r}\right)^2 + 0,982 \quad (2.4)$$

Dále se přepočítají rozvinuté výšky rovných bočních stran h_{sa} a h_{sb} , kde index 'a' znamená delší stranu a 'b' kratší stranu výtažku dle vzorců:

$$h_{sa} = y \cdot \frac{r_o^2}{a_{rd}} \quad (2.5)$$

kde: h_{sa} – zmenšení rozvinuté výšky delší strany 'a'

a_{rd} – vzdálenost středů zaoblení r_d odpovídající straně 'a'

y – koeficient zmenšení výšky h_s

$$y = \frac{\pi}{4} \cdot (x^2 - 1) \quad (2.6)$$

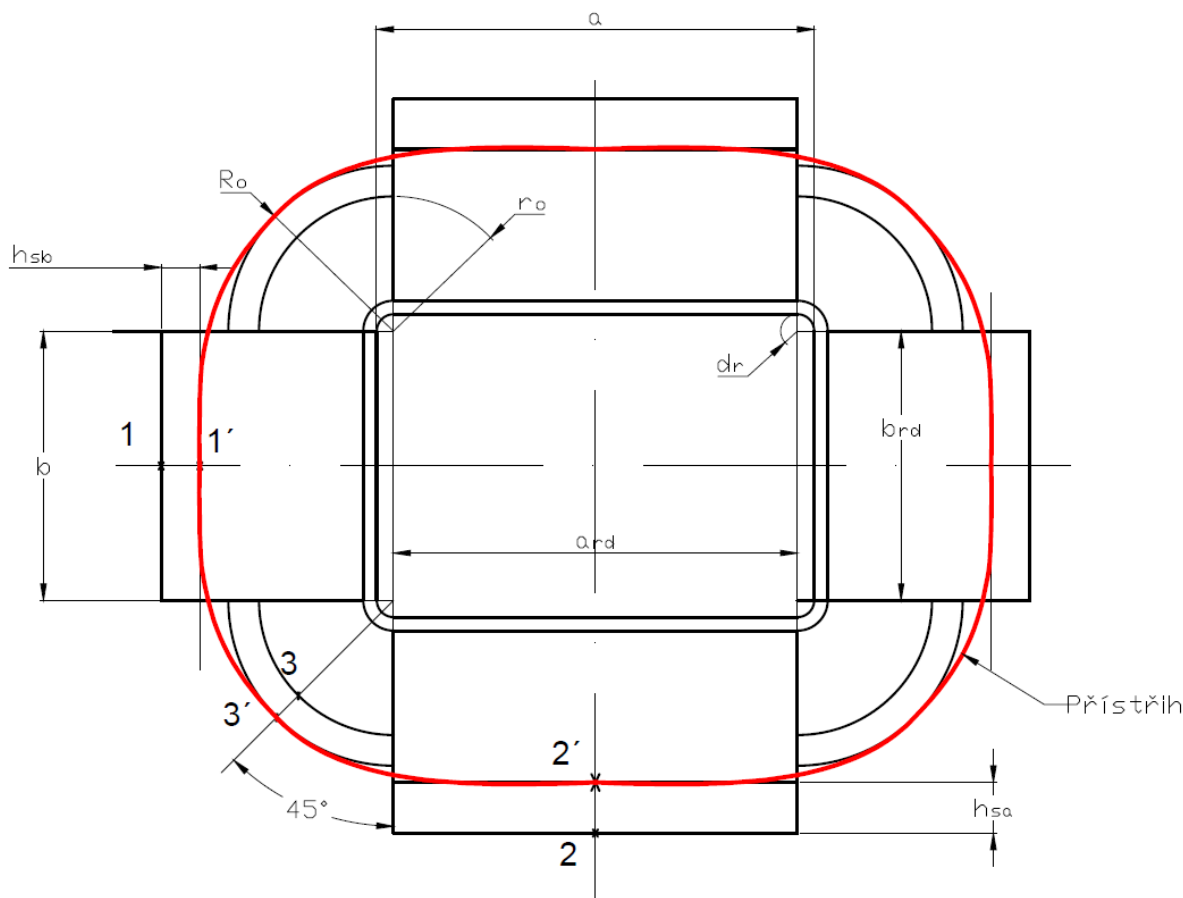
$$h_{sb} = y \cdot \frac{r_o^2}{b_{rd}} \quad (2.7)$$

kde: h_{sb} – zmenšení rozvinuté délky kratší strany 'b'

b_{rd} – vzdálenost středů zaoblení r_d odpovídající straně 'b'

Vypočítané hodnoty se následně vynesou do výkresu přístříhu a propojí, dle obrázku 14. Rozměry R_o a h_s jsou vždy vynášeny ze středů poloměrů d_r a zmenšené délky rovných bočních stran h_{sa} a h_{sb} se vynášejí z koncových bodů (1 nebo 2). Rozměr rozvinuté výšky h_s odpovídá straně 'a' nebo 'b'. Výsledná křivka z bodu 1' do 3' se plynule napojí na křivku z bodu 2' do 3'. Následně je na obrázku 14 vidět tvar přístříhu, jeho obvodová křivka je označena červenou barvou.

V praxi se po výpočtu a návrhu tvaru přístříhu připraví pouze několik testovacích kusů tohoto tvaru, který se následně dle zhotovených výtažků upravuje. Tyto úpravy probíhají do doby než je dosaženo požadovaný rozměrový tvar. Proto je možný odlišný tvar přístříhu než ten, který byl vypočten a navržen.



Obr. 14 Stanovení tvaru přístřihu [22].

Počet tažných operací se u hranatých výtažků určuje obtížně, jelikož tažení ovlivňuje několik okolních faktorů, mezi které například patří velikost zaoblení v rozích, velikost výtažku, druh taženého materiálu, kvalita a tloušťka plechu, použité mazivo, použitý lis, délka rovinné části nádoby, tažná rychlost, velikost zaoblení u dna výtažku, konstrukce a tvar tažidla.

Hlavní ovlivňující faktor je poloměr zaoblení rohu výtažku r_r , na kterém je závislá výška zhotovitelná na jeden tah, viz tabulka 5. Tyto maximální hodnoty lze dosáhnout při použití přidržovače a zanedbání vlivu ostatních činitelů. Orientační počet tahů lze také zjistit pomocí diagramu, který je umístěn v příloze 3. Ten také ukáže maximální výšku na jednu tažnou operaci v závislosti na poměrné tloušťce přístřihu.

Tab. 5 Max. výška v závislosti na poloměru zaoblení rohu v první tahu [19].

Velikost zaoblení r_r	Maximální výška výtažku
do 5 mm	$7 \cdot r_r$
5 až 10 mm	$6 \cdot r_r$
10 až 13 mm	$5 \cdot r_r$
13 až 19 mm	$4 \cdot r_r$
přes 19 mm	$3 \cdot r_r$

Následně je nutné zjistit součinitel tažení pro první tah:

$$m_1 = \frac{r_1}{R_0} \quad (2.8)$$

kde: m_1 – součinitel tažení v prvním tahu

r_1 – poloměr válcových částí prvního tahu v rohu výtažku [mm]

U čtyřhranných výtažků z ocelového plechu s přidržovačem je minimální hodnota součinitele $m_1 = 0,38 \div 0,48$. Pokud je součinitel $m_1 > 0,75$, lze použít tažení bez přidržovače.

Součinitel tažení pro druhý a další tah m_n se vypočítá z poměru poloměru zaoblení v rohu výtažku dalšího tahu k předchozímu tažnému poloměru v tomto místě:

$$m_n = \frac{r_n}{r_{n-1}} \quad (2.9)$$

kde: m_n – součinitel tažení n-tého tahu

r_n - poloměr válcových částí n-tého tahu v rohu výtažku.

Při tažení z ocelového plechu s přidržovačem se volí součinitel tažení pro další tahy v rozmezí $m_n = 0,50 \div 0,70$.

Z výše uvedeného vzorce (2.8), lze určit velikost poloměrů pro první tah:

$$r_1 = m_1 \cdot R_0 \quad (2.10)$$

Ze vzorce (2.9) se určí velikost poloměru pro druhý a další tahy:

$$r_n = m_n \cdot r_{n-1} \quad (2.11)$$

V závěru se musí každý tah ověřit na redukci. U hranatých součástí se musí počítat s větší redukcí, než u válcových výtažků. Důvodem je fakt, že materiál uniká při tažení do rovinných stěn, které se pouze ohýbají. Redukci pro první tah lze učít z:

$$R_1 = \frac{R_0 - r_1}{R_0} \cdot 100 \quad (2.12)$$

kde: R_1 - redukce průměru přístřihu v prvním tahu [%]

U austenitických materiálů by požadovaná redukce měla být okolo 40 %. Pokud se v prvním tahu nedosáhne požadované redukce, je nutné redukovat poloměr tažení (zvětší počet tahů) do doby, než je dosaženo požadované hodnoty. Redukce pro další tahy se určí ze vzorce:

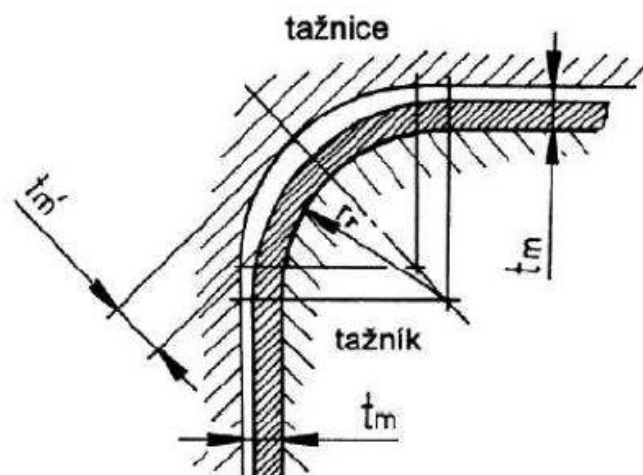
$$R_n = \frac{r_{n-1} - r_n}{r_{n-1}} \cdot 100 \quad (2.13)$$

kde: R_n - redukce průměru n-tého tahu [%]

2.2 Mezera a rychlost [19], [22], [23], [24]

Tažná mezera je důležitým faktorem a nachází se mezi tažníkem a tažnicí. Musí být větší než tloušťka zpracovávaného materiálu (v krajním případě rovna tloušťce), aby se přebytečný materiál mohl přemísťovat a nadměrně se nepřechoval. Další důvod, proč by měla být větší, než tloušťka plechu přístřihu, je přípustná tolerance plechu. Pokud by ale byla tažná mezera příliš velká, mohlo by dojít ke zvlnění výtažku. Tento defekt by při následném tažení zapříčinil zhoršení kvality povrchu a vznik nárůstu sekundární síly, která je větší než běžná při tažení. Oba tyto faktory jsou nežádoucí. V opačném případě, když je tažná mezera velmi malá dochází k prudkému nárůstu tažné síly.

Dle normy ČSN 22 7303 se volí dvě tažné mezery a to na rovných stěnách a v rohových zaobleních, viz obrázek 15.



Obr. 15 Tažná mezera [22].

Ty to mezery se vypočítají:

- pro rovinné stěny u prvního a dalších tahů

$$tm_1 = tm_n = (1,15 \div 1,30) \cdot s \quad (2.14)$$

kde: tm_1 – tažná mezera prvního tahu v rovných stěnách výtažku [mm]

tm_n – tažná mezera n-tého tahu v rovných stěnách výtažku [mm]

- pro rohové zaoblení u prvního a dalších tahů

$$tm_{r1} = tm_{rn} = (1,30 \div 1,40) \cdot s \quad (2.15)$$

kde: tm_{r1} – tažná mezera prvního tahu v místě zaoblených stěn výtažku [mm]

tm_{rn} – tažná mezera n-tého tahu v místě zaoblených stěn výtažku [mm]

V další literatuře je používána jednotná tažná mezera, která počítá s tloušťkou plechu a koeficientem tažné mezery k_m , který je závislý na druhu použitého materiálu. Lze ji následovně spočítat:

$$t_{mk} = s + k_m \cdot \sqrt{10 \cdot s} \quad (2.16)$$

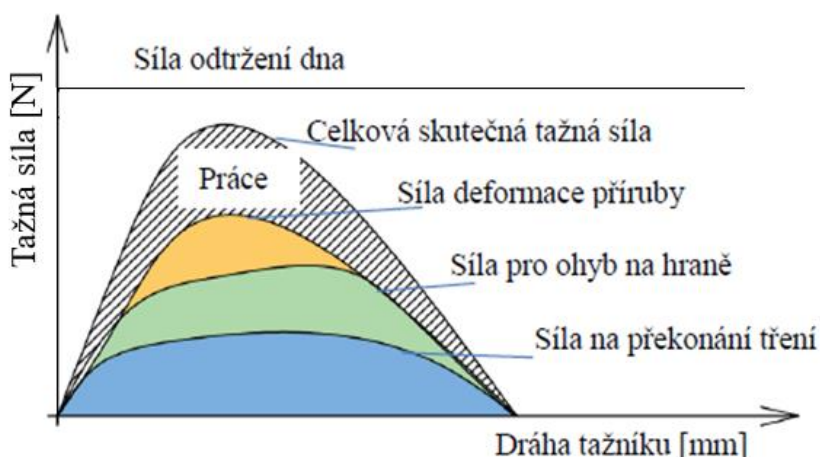
Druhým faktorem, který ovlivňuje proces tažení, je tažná rychlost, při které je nutno dodržovat určitá pravidla a uvědomit si, že rychlost nástroje neodpovídá rychlosti deformace materiálu. Rychlost deformace je popsána jako dosažená velikost deformace za jednotku času, která je velkou měrou ovlivňována přetvárným odporem materiálu.

U běžného tažení se požaduje, aby rychlost nepřesáhla určitou hranici. Pokud by tato situace nastala, mohlo by dojít k porušení materiálu, takže ji lze označovat jako maximální rychlost tažení. Tato hranice se mění podle tvářeného materiálu, například pokud se bude zpracovávat korozivzdorná austenitická ocel je optimální tažná rychlost stanovena na 7 m/min.

2.3 Síla a práce [2], [15], [19], [22], [25], [26], [27]

Hodnota celkové tažné síly je velice důležitý faktor, jelikož s ohledem na ni se provádí volba stroje a v druhé řadě se porovnává se silou na utržení dna. Síla pro vytvoření výtažku musí být tak velká, aby překonala deformační odpor, který vyjadřuje odpor materiálu vůči jeho přetvoření.

Hodnota deformačního odporu se v průběhu procesu mění, a proto i velikost síly nezůstává v celém průběhu konstantní (obr. 16). Maximální hodnoty se dosáhne v okamžiku, kdy se tažník dostane do výšky odpovídající součtu hodnot zaoblení tažníku, tažnice a tloušťky plechu. Matematicky to lze vyjádřit následovně:



Obr. 16 Průběh závislosti síly na dráze tažníku [25].

$$h_{Fmax} = r_{tu} + r_{te} + s \quad (2.17)$$

kde: h_{Fmax} – výška při, které je dosaženo maximální síly [mm]

r_{tu} – poloměr zaoblení hran tažníku [mm]

r_{te} – poloměr zaoblení hran tažnice [mm]

Celková tažná síla se určí po sečtení všech silových složek. U hranatých výtažků se musí rozlišovat síla potřebná k tváření rohové části a přímých stěn. Pokud se při tažení použije vyhazovací zařízení, je nutné přičíst i sílu vyhazovače. Vypočítá se ze vzorce:

$$F_c = F_{t1} + F_{t2} + F_p + F_v \quad (2.18)$$

kde: F_c – velikost celkové tažné síly [N]

F_{t1} – velikost síly pro tažení imaginárního válce výtažku [N]

F_{t2} – velikost síly pro ohýbání rovných stěn výtažku [N]

F_p – velikost síly přidržovače [N]

F_v – síla vyhazovače [N]

- Síla pro tažení rohů výtažku – zde lze použít teoretický výpočet, který vychází z rovnic rovnováhy a podmínek plasticity, protože je tažen imaginární válcový výtažek složený z rohů.

$$F_{t1} = \pi \cdot d_s \cdot s \cdot \sigma_{dmax} \quad (2.19)$$

kde: d_s – střední hodnota průměru výtažku [mm]

σ_{dmax} – maximální hodnota deformačního napětí [MPa]

Výpočet velikosti deformačního odporu závisí na mnoha faktorech, kterými jsou přirozený přetvárný odpor taženého materiálu, geometrie nástroje i výtažku, vliv tření a přidržovače. Matematicky je tato závislost vyjádřena:

$$\sigma_d = (\sigma_1 + \sigma_f + 2 \cdot \sigma_o) \cdot e^{f\alpha} \quad (2.20)$$

kde: σ_d – deformační odpor [MPa]

σ_1 – napětí v radiálním směru [MPa]

σ_f – napětí od tření přidržovače [MPa]

σ_o – napětí od ohybu na tažné hraně [MPa]

$e^{f\alpha}$ – je vliv tření opásání tažné hrany [-]

- Při výpočtu napětí v radiálním a tečném směru se vychází z teorie dle Sachse. Ta pro výpočet používá malý vytknutý element na přírubě polotovaru. Po úpravě a zjednodušení se dostane rovnice:

$$\frac{d\sigma_1}{d\rho} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\rho} = 0 \quad (2.21)$$

kde: σ_3 – tečné tangenciální napětí [MPa]

ρ – poloměr výtažku v řešené místě [mm]

Následně se rovnice (2.21) musí z integrovat a dosadit okrajové podmínky. Úprava musí být provedena za podmínek plasticity:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \xi \cdot \sigma_{ps} \quad (2.22)$$

kde: ξ – Lodeho součinitel [-]

σ_{ps} – střední hodnota přirozeného přetvárného odporu [MPa]

Konečný tvar rovnic pro výpočet tečného a radiálního napětí má po matematických úpravách tvar:

$$\sigma_1 = \xi \cdot \sigma_{ps} \cdot \ln \frac{r}{\rho} \quad (2.23)$$

kde: r – aktuální poloměr příruby v průběhu tažné operace [mm]

$$\sigma_3 = -\xi \cdot \sigma_{ps} \cdot \left(1 - \ln \frac{r}{\rho}\right) \quad (2.24)$$

- Další složkou deformačního odporu je napětí vzniklé vlivem tření přidržovače a přístřihu. Třecí síla, která má brzdicí účinek při vtažování materiálu do tažnice, vychází z Coulombova vztahu, podle kterého je rovna součinu normálové síly a součinitele tření. Dle Popova a Stoževa působí na okraji příruby, kde je největší tloušťka materiálu. Výsledný vztah pro napětí, které vzniklo třením, se dosáhne za předpokladu, že je rovnoměrně rozloženo po celé tloušťce příruby:

$$\sigma_f = \frac{f \cdot F_p}{\pi \cdot r \cdot s} \quad (2.25)$$

- Předposlední složkou deformačního odporu je napětí od ohybu na tažné hraně. Toto napětí je v dvojnásobném provedení, jelikož dochází k dvojitmu ohybu. Poprvé dochází k ohybu přes tažnou hranu, které je ale ihned narovnáno. Tyto křivosti jsou spojené s deformační prací, a proto napětí vychází z rovnic rovnováhy prací při přesunu materiálu v průběhu tažení o úhel „ $d\alpha$ “, viz obrázek 17. Po matematických úpravách je dosažena výsledná rovnice:

$$2 \cdot \sigma_o = \frac{s}{2 \cdot r_{te} + s} \quad (2.26)$$

kde: r_{te} – poloměr zaoblení tažnice [mm]

- Poslední faktor, který ovlivňuje výpočet deformačního odporu je vliv tření při opásání tažné hrany taženým materiálem. Jestli bude úhel opásání $\alpha = \pi/2$, lze použít zjednodušení:

$$e^{f\alpha} = e^{f\frac{\pi}{2}} \cong (1 + f\frac{\pi}{2}) \cong (1 + 1,6f) \quad (2.27)$$

Výše popsany teoretický výpočet síly je v praxi velmi složitý a časově náročný, a proto je pro výpočet využíván empirický přibližný vztah:

$$F_{t1} = 2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot s \cdot R_m \cdot C_1 \quad (2.28)$$

kde: C_1 – konstanta závislá na výšce výtažku [-]

r_i – poloměr zaoblení v i-tém tahu [mm]

Tento vztah se používá v praxi k rychlému a přibližnému výpočtu potřebné síly lisu. Skutečná tažná síla obvykle vychází menší než maximální, jelikož stěny výtažku nepřenesou celou sílu, ale ta se rozloží i do tření mezi tažníkem a výtažkem.

- Síla pro ohyb přímých stěn výtažku se vypočítá:

$$F_{t2} = L \cdot s \cdot R_m \cdot C_2 \quad (2.29)$$

kde: C_2 – konstanta závislá na tření při tažné operaci

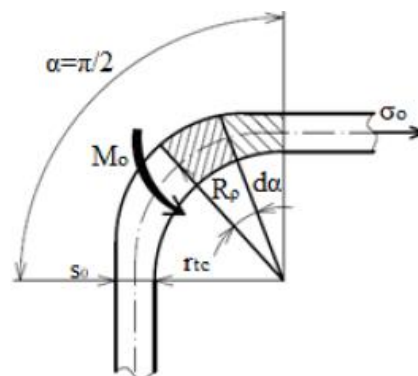
L – součet délek přímých částí výtažku [mm]

- Síla přidržovače se určí:

$$F_p = S_p \cdot p_p \quad (2.30)$$

kde: S_p – je plocha, kterou přitlačuje přidržovač tažený materiál [mm²]

p_p – je měrný tlak přidržovače, pro $s = 1$ mm je 1,8 až 2,3 MPa



Obr. 17 Vliv ohybu na def. odpor [27].

- Velikost tažné síly na utržení dna, se vypočítá:

$$F_{td} = O \cdot s \cdot R_m \quad (2.31)$$

kde: F_{td} – maximální tažná síla na utržení dna výtažku

O – obvod výtažku [mm]

R_m – pevnost taženého materiálu v tahu [MPa]

Pokud se při tažení překročí tato hodnota, dochází k utržení dna výtažku.

Výslednou tažnou práci potřebnou na vytvoření dané součástky lze vypočítat dvěma metodami. V první variantě se musí vypočítat logaritmické deformace a znát křivku závislosti deformačního odporu na logaritmické deformaci. V praxi se ale tato metoda nepoužívá kvůli složitosti, jelikož by bylo nutné pro každý typ výtažku (materiál a geometrie) znát jednotlivé křivky deformačních přetvárných odporů. V druhé metodě se využívá numerická integrace, která vychází přímo z průběhu tažné síly pro danou operaci, jelikož reálně odpovídá velikost práce ploše pod křivkou tažné síly. Pro rychlý a snadný výpočet v praxi lze použít upravený vzorec, který počítá s celkovou tažnou silou, součinitelem plnosti grafu a výškou výtažku. Celková tažná práce, se vypočítá:

$$A_C = \frac{e_i \cdot F_c \cdot h_i}{1\,000} \quad (2.32)$$

kde: A_C – celková tažná práce [J]

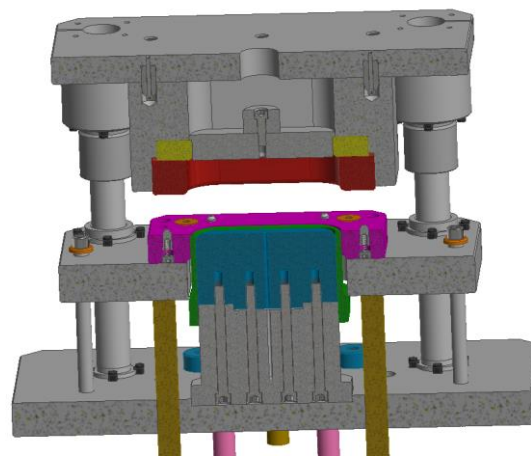
e_i – součinitel plnosti grafu, kde pro běžné tažné operace je 0,6; pro kalibraci 0,8

h_i – hloubka tažení v aktuální operaci [mm]

2.4 Nástroje [8], [19], [28]

Z rovinného přístřihu se výtažek zhotoví pomocí nástroje (obr. 18). Při konstrukci nástrojů je důležitým faktorem, zda bude výtažek tvářen na jeden nebo více tahů a jaký bude použit typ lisu (jednočinný nebo vícečinný). Další výrazný vliv na konstrukci má tvar výtažku. Tažidla lze dělit podle jejich konstrukční složitosti na:

- jednoduchá – tažidla určená pouze pro jeden tah, s nebo bez přídržovače
- postupová – součást je tažena v několika odstupňovaných krocích za sebou
- sdružená – v nástroji se souběžně s tažením vykonává další operace, například stříhání nebo ohýbání
- sloučená – na jeden zdvih nástroje se provede více tažných operací



Obr. 18 Řez tažným nástrojem.

Součásti, ze kterých se tažidlo skládá, je možné rozdělit do dvou hlavních skupin - činné součásti a konstrukční součásti. Všechny tyto součástky jsou převážně připevněny mezi sebou pomocí šroubů nebo zalisováním a pro vystředění se používají středící kolíky nebo osazení. Mezi hlavní činné díly patří tažník, tažnice, přídržovač a vyhazovač. Vedlejší konstrukční součásti zahrnují:

- základové desky – jsou dvě horní a dolní, slouží k upevnění nástroje na lis (stůl a beran) a také pro ukotvení těl funkční části, dělí nástroj na horní a spodní část

- těla (držáky) tažníku a tažnice – připevňují se k základovým deskám a používají se pro připevnění tažníků a tažnic
- vodicí sloupky – jsou připevněny k dolní základové desce a jejich funkcí je vycentrování horní, střední a dolní části nástroje
- vodicí pouzdra - jsou zalisované nebo připevněné v horní a dalších vedených deskách a díky nim se mohou tyto desky přesně pohybovat po vodicích sloupcích
- základací dorazy (kolíky) - zaručují správné založení přístřihu před tažením
- vyhazovač – je ovládán mechanicky nebo automaticky a umožňuje bezproblémové vyjmutí součástky po tažné operaci
- montážní dorazy – jsou připevněny převážně na základové desce a slouží k lepšímu usazení nástroje do lisu

Pro dlouhou životnost nástroje je důležité zvolit vhodný materiál, ze kterého budou dané součástky vyrobeny. Příklady materiálů jsou uvedeny v tabulce 6.

Tab. 6 Doporučené materiály jednotlivých součástek [8].

Součást tažníku	Materiály
Tažník, tažnice, přidržovač	1.2379
Držáky tažníku a tažnic, vyhazovač, dosedací puky	1.2312
Základní desky, středící kolíky, držák pouzdra vedení	S355

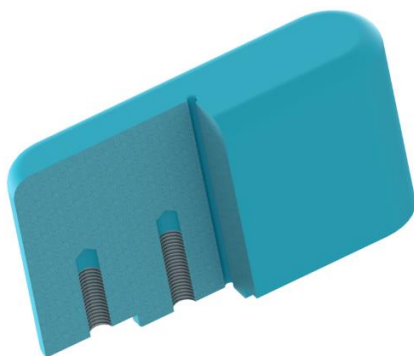
2.4.1 Tažnice a tažník [8], [19], [22], [26]

Tažník je jedna z hlavních částí nástroje a jeho tvar odpovídá vnitřním rozměrům výtažku. Celek tažníku se skládá ze tří funkčních částí a to je čelo, poloměr zaoblení a tělo tažníku. Funkční části tažníku se vyrábějí především z nástrojové oceli, která se následně kalí a popouští.

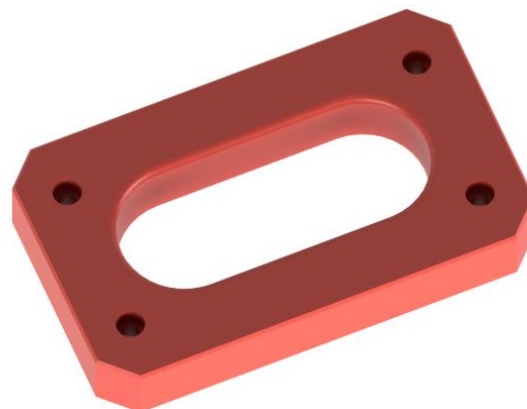
V případě tažení hranatých součástí se menší tažníky (obr. 19) dělají z jednoho kusu. Větší se dělají dělené, kde funkční část je připevněna k držáku pomocí šroubového spojení a ten je připevněn k základní desce stejným spojem.

Při běžné tažné operaci je tažník mechanicky namáhán na tlak, otěr a vzpěr. Všechny tažníky by měly mít na čele vyvrtány odvodušovací otvory, které zabraňují vytvoření podtlaku mezi výtažkem a funkční částí. Díky tomu se docílí snadnějšího vyjímání hotové součásti.

Další základní součástkou nástroje je tažnice, která může být celistvá nebo dělená. Nejvíce namáhány jsou tažné hrany, přes které je materiál tvarován. U dělených tažnic jsou funkční části připevněny pomocí šroubu do držáku a vyrábějí se z nástrojových ocelí. Celistvé se ve většině případů připevňují stejně. Na obrázek 20 lze vidět celistvou tažnici.



Obr. 19 Tažník.

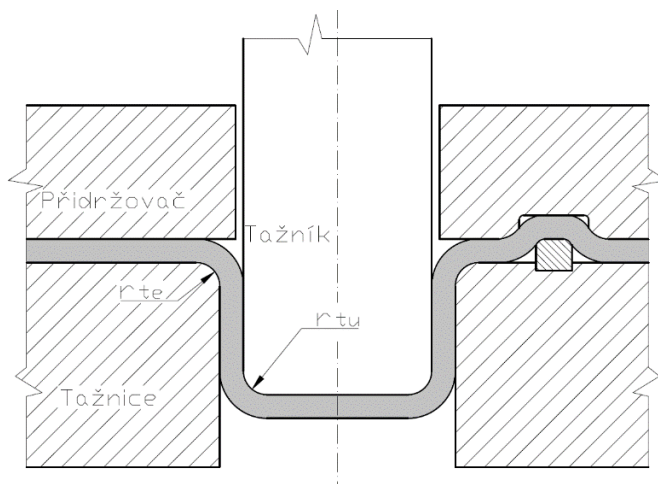


Obr. 20 Celistvá tažnice.

Tažnice se vyrábějí různými variantami s ohledem na rozměry. Menší se vyrábějí většinou obráběním z plného materiálu a větší se zhotoví jako dělené a tělo je vyrobeno buď, obráběním svařence nebo odlitku. Pro dokonalý povrch jsou v závěrečné operaci leštěny.

Pokud se vyrábí velké výtažky nepravidelných tvarů, tak se provádějí různé úpravy tažnic a to z důvodu zabránění tvoření vln, čímž se zrychlí nebo zpomalí tok materiálu. Ten lze ovlivnit velikostí přidržovací síly nebo zvětšením plochy přidržovače, ale tím se zvětší polotovár a zvýší spotřeba materiálu. Nejeftivnější způsobem jsou brzdící žebra (obr. 21 na pravé straně), většinou se nacházejí jenom na rovných částech a mohou být v i několika řadách za sebou.

Tažné poloměry jsou zaoblení tažníku a tažnice, přes které se táhne kov. Tento parametr značně ovlivňuje tažný proces, když je tažný poloměr malý, tak je kov při tažení příliš namáhán a dochází k trhlinám. V opačném případě, když je poloměr velký, má materiál sklon ke zvlnění, jelikož se zmenší plocha pod přidržovačem.



Obr. 21 Zaoblení tažníku a tažnice [22].

U čtyřhranného výtažku jsou poloměry zaoblení tažných hran (obr. 21) závislé na tloušťce a pro první tah u tažníku ho lze určit z:

$$r_{tu} = (4 \div 10) \cdot s \quad (2.33)$$

V dalších tažných operacích se buď používají stejné poloměry, nebo se pomocí následujícího vzorce zmenšují:

$$r_n = (0,6 \div 0,8) \cdot r_{n-1} \quad (2.34)$$

kde: n – je aktuální tažná operace

Poloměr zaoblení tažníku je ve většině případů roven zaoblení tažnice v první i další tahu, tedy matematicky vyjádřeno následovně:

$$r_{te} = r_{tu} \quad (2.35)$$

V posledním tahu je zaoblení tažníku rovno předepsanému poloměru, který je mezi dnem a stěnou výtažku:

$$r_{tup} = r_d \quad (2.36)$$

kde: r_{tup} – zaoblení tažníku v posledním tahu [mm]

2.4.2 Přidržovače [8], [19], [22], [28]

Přidržovač patří mezi tři hlavní části tažného nástroje a používá se v případě, že hrozí zvlnění výtažku (obr. 22). K tomu nejčastěji dochází při tváření tenkých plechů, pokud se použije tlustostěnných materiálů, není zpravidla potřeba použít přidržovač. Vznik výše popsaného defektu závisí především na tloušťce materiálu, ale dále také na tažné mezeře a zaoblení tažných hran. Funkce je taková, že při tažení svou plochou přitlačuje materiál na tažnici, tím snižuje rychlost toku materiálu při tváření.



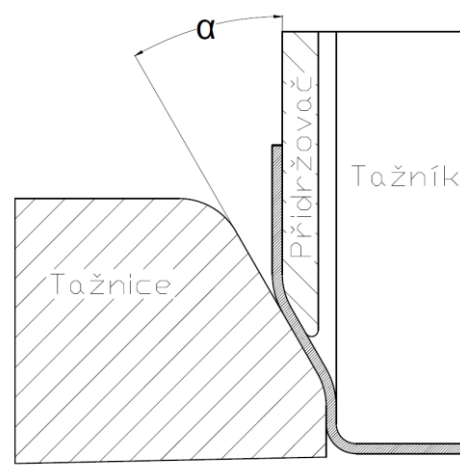
Obr. 22 Defekt zvlněním [29].

Síla, jakou přidržovač působí na přístřih, je závislá na tloušťce a druhu taženého materiálu. Její výpočet je uvedený ve vzorci (2.30). Tlak, kterým působí, musí být přiměřený, aby zabránil tvoření vln na okraji přístřihu, ale zároveň je nutné, aby umožnil vtahování materiálu do tažnice tažníkem a nedocházelo k tvoření trhlin.

Hranaté výtažky z tenkých plechů jsou taženy s přidržovačem. Výjimku tvoří pouze součástky z ocelového plechu tažené na jednu operaci, kde jejich součinitel prvního tahu musí být v rozmezí $m_1 = 0,75 \div 0,90$. Součinitel prvního tahu se vypočítá podle vzorce (2.8).

V prvních tažných operacích se používá rovinný tvar tažných hran ($\alpha = 0^\circ$), ale u dalších tahů se většinou provádí zkosení tažné i přidržovací hrany. Velikost a tvar zkosení je zobrazen na obrázku 23. To je stejné se zkosením tažníku v předcházejícím tahu.

Pokud je to pro konstrukci výhodnější, je možné v ojedinělých případech použít i pro další tahy rovnou tažnou hranu ($\alpha = 0^\circ$) nebo jiný tvar než bylo výše uvedeno.



Obr. 23 Úhel přidržovače [22].

2.5 Stroje [19], [28], [30]

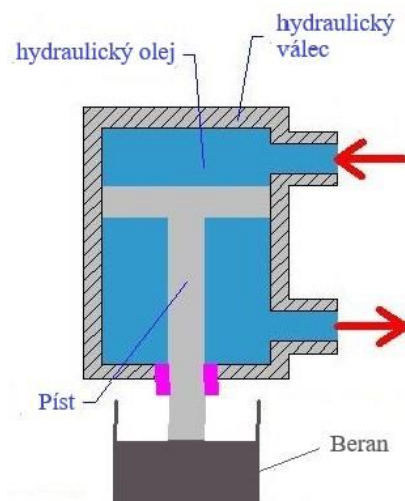
Pro tvářecí operace se využívají lis, které je možné rozdělit dle jejich pohonu na mechanické nebo hydraulické. Mechanické lis se dělí podle mechanismu, který přenáší sílu na výstředníkové, klikové a kolenové. Slouží především pro tažení malých a středně velkých výtažků. Z důvodu náročného zakládání a středění přístřihu se používají v malosériové výrobě. Další nevýhodou těchto lisů je proměnlivá rychlost a síla beranu.

S ohledem na rozbor zadání a požadavky společnosti, bude výroba probíhat na hydraulickém lise od společnosti Dieffenbacher. Hydraulické lis lze dělit dle konstrukce na:

- jednočinné – lis je tvořen pouze beranem, vhodné pro tažení bez přidržovače
- dvojčinné – tyto lis jsou vhodné pro tažení složitějších výtažků, protože mají dva berany vnitřní a vnější, kde vnitřní provádí tažení a vnější přidržuje materiál, přičemž na sobě nejsou závislé
- trojčinné – lis jsou používány pro složité výtažky nebo sloučené tažné operace (více tahů na jeden zdvih), mají vnitřní tažný beran a vnitřní a vnější přidržovač, přičemž každý lze ovládat samostatně

Hydraulický lis je založen na principu Pascalova zákona, který udává, že tlak vyvolaný vnější silou na kapalinu v uzavřené nádobě je ve všech místech stejný. Jako kapalina se zde používá hydraulický olej. Tlak se vyvolává olejovým čerpadlem, které tlačí olej nad píst a díky tomu jde píst směrem dolů a vykonává potřebnou sílu pro tváření. Princip je zobrazen na obrázku 24.

Zpravidla se u těchto lisů tažnice umísťuje na beran a působí proti tažníku, který je pevně upnut ke spodní desce. Proti tažnici zespoda působí přidržovač, který má



Obr. 24 Princip hydr. lisu [31].

samostatné ovládání tlaků. Pro tažení plechu jsou tyto lisy nejlepší variantou v mnoha faktorech. Hlavní výhodou je, že je možné plynule řídit rychlosti beranu, velikost tažné i přidržovací síly a rychlost udržovat v konstantních hodnotách po celou dobu procesu. Lisy jsou schopny vyvinout tvářecí síly řádově až 10^3 MN a umožňují proměnlivý zdvih beranu. Nevýhoda spočívá ve větších pořizovacích nákladech.

2.6 Maziva [15], [19], [26], [32]

Správná volba a použití maziva má zásadní vliv na celý tažný proces. Má důležitou roli ve zhotovení součástky i v ochraně tažného nástroje. Důležité je, aby na materiál dobře přilnulo a vytvořilo rovnoměrnou vrstvu, která bude pevná a odolá tlakům při tažení. Ovšem volba musí probíhat s ohledem na materiály výtažku a nástroje, aby nedošlo k mechanickému nebo chemickému poškození. Zároveň musí být dobře odstranitelné před dalšími technologickými procesy výroby (svařování, povrchové úpravy).

Pokud je volba provedena správně, sníží se třecí síly, které doprovázejí každou tažnou operaci. Snížení tření znamená, že se sníží potřebná tvářecí síla, zvýší se trvanlivost nástroje a zlepší se kvalita povrchu výtažku, jelikož špatně nebo vůbec nemazaný povrch může vykazovat škrábance, rýhy a další mechanické poškození. V ojedinělých případech by mohlo dojít až ke vzniku mikrosvárů mezi taženým plechem a nástrojem.

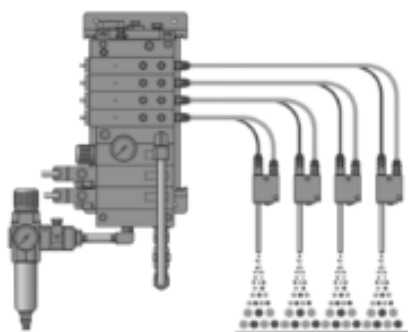
V dnešní době je na trhu mnoho maziv s různým složením (obr. 25), ale jejich základní složení se dělí na dva druhy. První skupina jsou čistá kapalná maziva, která se používají do tlaků maximálně 600 MPa. V druhé variantě do maziva přidáme plnidlo, které odolává vyšším teplotám při tváření a zároveň docílí dobré přilnutí na tažený materiál. Jako plnidlo se nejčastěji používá mastek, plavená křída, grafit a oxid zinečnatý.

Při tváření korozivzdorných materiálů je správné mazivo důležité, jelikož tím se zabráňuje přímému styku taženého materiálu s nástrojem a tím pádem i případnému zadírání. Velmi výhodné je zde použít směs oleje s chlorem, kde je ale následně problém s ekologickou likvidací.

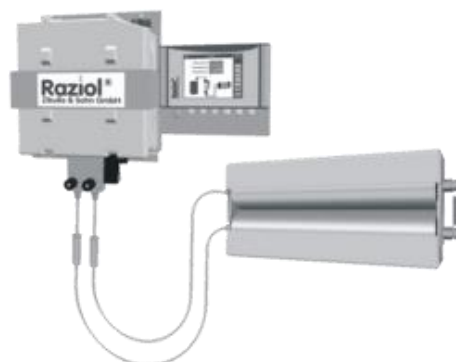
Pro aplikaci maziv na plochu přístřihu se využívají dvě základní metody – bezkontaktní (obr. 26) a kontaktní (obr. 27). V první, kontaktní, variantě přichází mazivo do přímého styku s materiálem a to za pomoci filcových nebo kartáčových aplikátorů.



Obr. 25 Ukázka kapalných maziv [33].



Obr. 26 Bezkontaktní mazání [32].



Obr. 27 Kontaktní mazání [32].

V bezkontaktní aplikaci nedochází ke kontaktu polotovaru se zařízením, ale mazivo je přiváděno do trysek, které pomocí nosného média (tlakového vzduchu) nanášejí požadovanou vrstvu.

Volba vhodného druhu maziva spočívá na mnoha závislých faktorech, kterými jsou například velikost tvářecích tlaků, tvářecí teplotě, na nákladech nanášení a odstraňování maziva. V praxi je mazivo vybíráno na základě samotného ověření v dané tažné operaci.

2.7 Technologičnost [2], [8], [19]

Technologičnost určuje základní pravidla a principy, které by měly být při konstrukci a výrobě součástky dodrženy. Důležitým faktorem je i vhodnost materiálu k tváření a jeho mechanické vlastnosti.

S ohledem na kvalitu a ekonomičnost výroby výtažku by jeho tvar měl být co nejjednodušší. Složité tvary zvyšují počet operací a snižují trvanlivost nástroje. Přesnost výtažku se pohybuje ve stupni IT 12 až 16, závisí především na anizotropii plechu, konstrukci a opotřebením nástroje. Pokud je vyžadována vyšší přesnost je nutné odstupňovat tahy (větší počet tahů), například přidat kalibrování výtažku. Pro kvalitní, ekonomicky výhodnou a rychlou výrobu, musí být při konstrukci dodržena určitá pravidla:

- pokud je to možné navrhovat rotační součásti s kolmým dnem na plášť
- vyhnout se ostrým přechodům
- zvolit co nejmenší tloušťku materiálu
- nepředepisovat toleranci na tloušťku stěny
- nepředepisovat zbytečné rozměrové a geometrické tolerance
- přechodové poloměry mezi dnem a pláštěm nebo stěnami nesmí být libovolně malé, ale musí být voleny podle zásad při konstrukci tažných nástrojů
- nezvyšovat zbytečně výšku výtažku
- nenavrhovat výtažek s přírubou (pokud to není vyžadováno)
- snížit požadavky na povrch výtažku
- přechody mezi odstupňovanými průměry výtažku by měli být kuželové, skloněné pod úhlem 45°

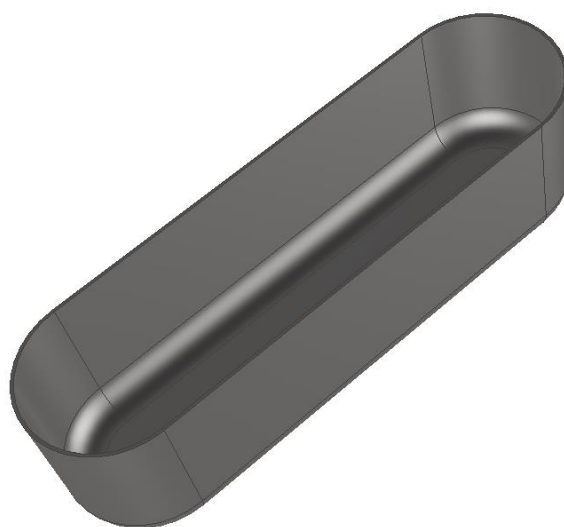
Z celkového hlediska by výroba měla odpovídat možnostem firmy, ať s ohledem na stojní vybavení, tak na kvalifikovanost pracovníků. Další velkou roli také hraje velikost výrobní série.

3 NÁVRH VÝROBY [8]

Vyráběnou součástí je polotovar odtokové vpusti (obr. 28). Součást bude vyráběná z austenitického korozivzdorného plechu ČSN 41 7240 o tloušťce 1 mm. Tloušťka stěny je v celé součásti konstantní, délka součásti je 204,2 mm a šířka je 56,2 mm, kde obě hodnoty jsou v toleranci 0 až +0,2 mm. Součástka je vysoká 55,5 mm v toleranci ± 2 mm. Velikost roční výrobní série je 50 000 kusů.

Při aktuální výrobě je hlavní tvar součástky vytvořen několika tažnými operacemi, kde celý výrobní postup je uveden v tabulce 3. Tato výroba je neefektivní a je vhodné sloučit operace do jednoho nástroje. Budou sloučeny operace pod číslem 40 a 50 (tab. 3). Tím bude odstraněna mezioperační manipulace a také bude snížen výrobní čas, jelikož se odstraní jedno zakládání a odebírání výtažku a také najetí a odejetí beranu lisu.

Při posouzení technologičnosti výroby je patrné, že na součásti nejsou žádné ostré přechody. Dno je kolmé na plášť, zaoblení mezi stěnami a dnem je dostatečné a požadavky na povrch nejsou vysoké. Poloměr zaoblení na dně je dostatečně velký pro správnou výrobu. Požadavky na přesnost hotové součástky jsou vysoké a nelze je dodržet bez závěrečné kalibrace. Tolerance ± 10 % tloušťky stěny bude díky zvolené technologii dodržena. Další průběh práce se bude věnovat pouze návrhu sloučeného nástroje. Z toho plyne, že vytvoření prolisů a závěrečná kalibrace nebude řešená, proto pro operace 40 a 50 součást z hlediska technologičnosti vyhovuje.



Obr. 28 3D model vpusti po druhém tahu.

3.1 Velikost přístřihu [8]

Před výpočtem velikosti a tvaru přístřihu, který je důležitý pro správné zhotovení součástky, se nejprve musí určit přídavek na ostřížení, který je podstatný pro konečnou výšku výtažku. Dle tabulky 4, je pro řešenou součást tento přídavek na výšku 3,2 mm.

Následně se přístřih určí dle stále platné normy ČSN 22 7303, kde je nejdříve nutné zjistit platnost následující podmínky:

$$\begin{aligned}\frac{d_r}{2} &> r_d \\ \frac{56}{2} &> 11 \\ 28 &> 11\end{aligned}$$

Předepsaná podmínka vyhovuje, a proto je možné vypočítat poloměr kruhového přístřihu pro tažení rohu ze vzorce (2.1):

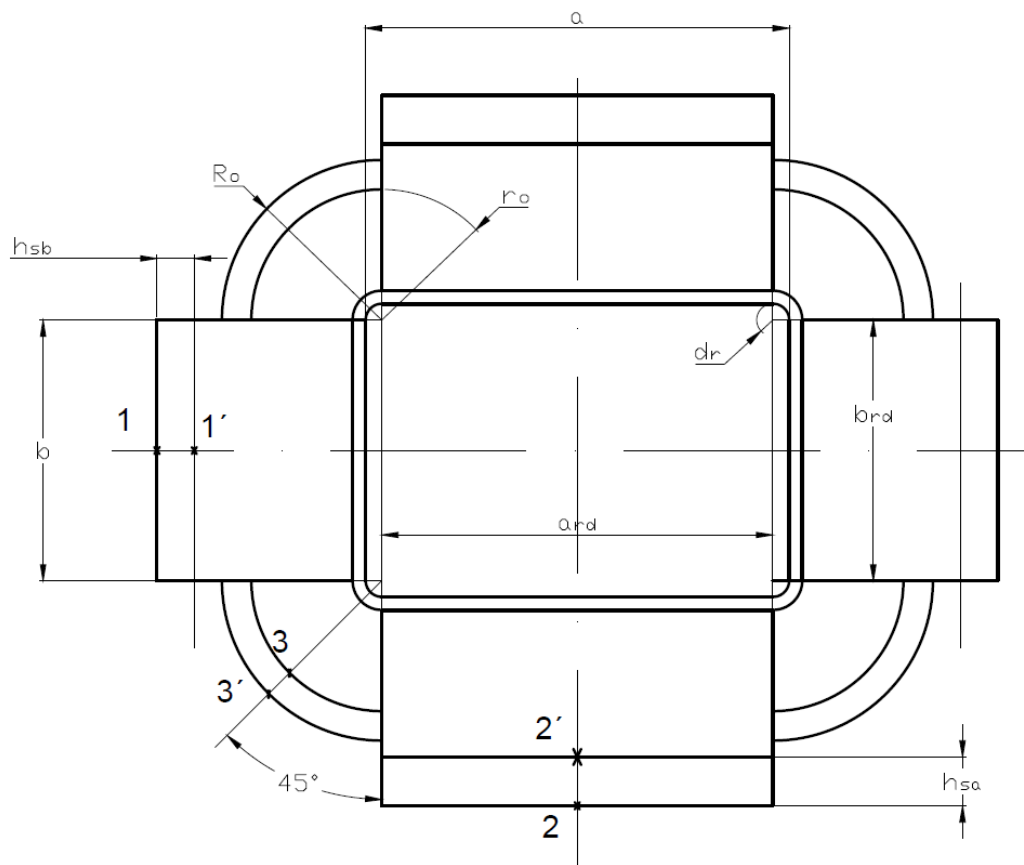
$$\begin{aligned}r_o &= \sqrt{0,25 \cdot d_r^2 + d_r \cdot (h_d + 0,57 \cdot r_d) - 0,14 \cdot r_d^2} \\ &= \sqrt{0,25 \cdot 56,2^2 + 56,2 \cdot (46,7 + 0,57 \cdot 11) - 0,14 \cdot 11^2} = 61,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

Výsledný poloměr kruhového přístřihu je 61,2 mm.

Dále se musí zjistit délka rozvinuté strany b' , viz obrázek 29, která se vypočítá ze vzorce (2.2):

$$h_{sb} = 0,57 \cdot r_d + h_d + 0,5 \cdot d_r = 0,57 \cdot 11 + 46,7 + 0,5 \cdot 56,2 = 81,07 \text{ mm}$$

Rozvinutá délka strany b' je 81,1 mm.



Obr. 29 Výpočet tvaru přístřihu. [19]

Z důvodu odlišného průběhu tažení v rozích a rovných částech je nutné hodnotu r_o přepočítat dle vzorce (2.3):

$$R_o = x \cdot r_o = 1,07 \cdot 61,2 = 65,5 \text{ mm}$$

kde: koeficient x se vypočte ze vzorce (2.4):

$$x = 0,074 \cdot \left(\frac{r_o}{d_r}\right)^2 + 0,982 = 0,074 \cdot \left(\frac{61,2}{56,2}\right)^2 + 0,982 = 1,07$$

Výsledný redukovaný poloměr je po zaokrouhlení 65,5 mm.

Dále se musí zredukovat i rozvinutá délka rovné části a ta se vypočte ze vzorce (2.5):

$$h_{sb} = y \cdot \frac{r_o^2}{b_{rd}} = 0,11 \cdot \frac{61,2^2}{34,2} = 12 \text{ mm}$$

kde: b_{rd} – je rovno 34,2 mm, viz obrázek 29

y – koeficient, který se vypočte ze vzorce (2.7):

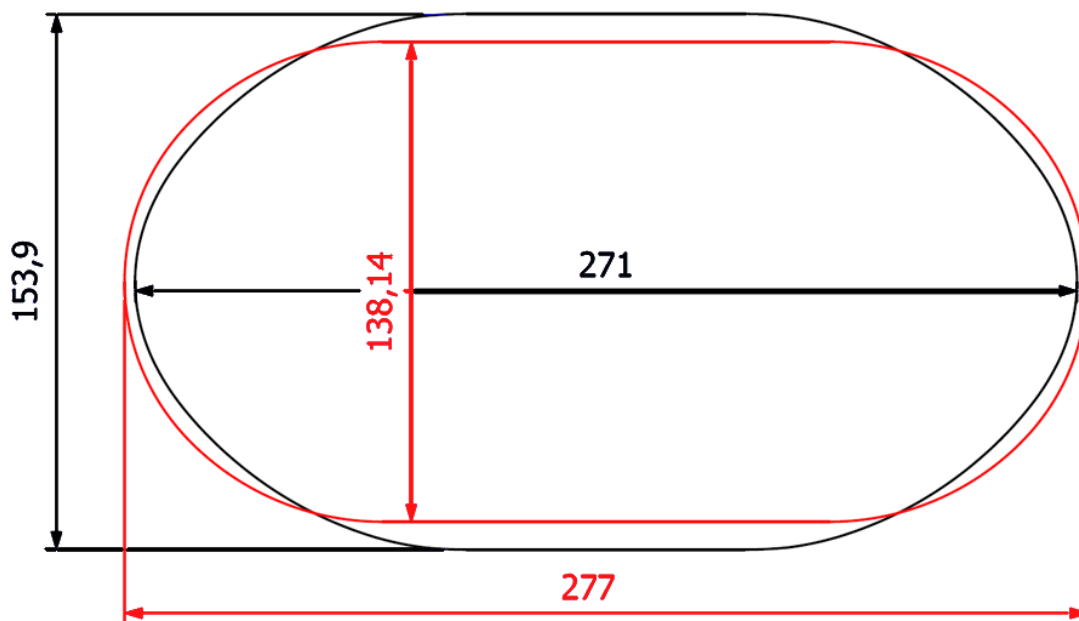
$$y = \frac{\pi}{4} \cdot (x^2 - 1) = \frac{\pi}{4} \cdot (1,07^2 - 1) = 0,11$$

Redukovaná délka rovné části je po zaokrouhlení 12 mm.

Vypočítané hodnoty a základní rozměry výtažku se vnesou do výkresu přístřihu a propojí se plynulou křivkou. Výsledný tvar přístřihu lze vidět na obrázku 30, kde je vyznačen červenou barvou. Černý obrys je tvar, který je v současnosti používán. Rozměrová odlišnost je způsobena

odzkoušením přístřihu v praxi. To se provádí tak, že se vytvoří cca 5 kusů přístřihu a provede se tažná operace. Následně se na těchto zkušebních výtažcích provede vizuální a rozměrová kontrola a podle ní se upraví přístřih. Postup se opakuje do doby, než výtažek odpovídá předepsaným požadavkům.

Z výše zmíněných důvodů bude pro další průběh použit stávající tvar přístřihu (černý obrys), jeho základní rozměry lze vidět na obrázku 30.



Obr. 30 Volba přístřihu.

3.2 Počet operací a volba přidržovače [8]

Volba počtu operací se skládá z několika kroků. Nejdříve se orientačně zjistí, zda lze táhnout na jeden nebo více tahů. To lze provést dle tabulky 5, ve které je závislost zaoblení rohu r_r na maximální výšce zhotovitelné na jeden tah.

$$r_r = 28,1 \text{ mm} \Rightarrow \text{přes } 19 \text{ mm} \Rightarrow 3 \cdot r_r = 3 \cdot 28,1 = 84,3 \text{ mm}$$

Z tabulky vyšlo, že v první operaci je možné táhnout výšku 84,3 mm. Součástka má výšku 55,5 mm, z toho vyplývá, že by výtažek bylo možno táhnout v jedné operaci. Tato informace odpovídá i dle diagramu, který je umístěn v příloze x. V dalším průběhu se toto zjištění ověří pomocí součinitele tažení, který se pro první tah u ocelových plechů pohybuje v rozmezí 0,38 až 0,48 a vypočte se ze vzorce (2.8):

$$m_1 = \frac{r_1}{R_0} = \frac{28,1}{65,5} = 0,43 [-]$$

Součinitel tažení je 0,43 a tím spadá do výše uvedeného intervalu. Na závěr se musí provést kontrola na přípustnou redukci. Ta je závislá na druhu použitého materiálu, kde je u austenitické korozivzdorné oceli maximální přípustná hodnota 40 %. Redukce v prvním tahu se vypočítá ze vzorce (2.12):

$$R_1 = \frac{R_o - r_1}{R_o} \cdot 100 = \frac{65,5 - 28,1}{65,5} \cdot 100 = 57 \%$$

Redukce v prvním tahu je 57 % a tím překročila maximální přípustnou hodnotu, která je výše uvedena, a proto je nutné redukovat průměr v prvním tahu. Z toho plyne, že součást nepůjde zhotovit v jedné tažné operaci a je nutné zvýšit počet tahů na dva.

Z toho důvodu se musí stanovit poloměr v prvním a druhém tahu, kde se součinitel tažení pro ocelové plechy volí v rozmezí od 0,5 až 0,7. Poté lze vypočítat:

- poloměr pro první tah ze vzorce (2.10):

$$r_1 = m_1 \cdot R_0 = 0,67 \cdot 65,5 = 44 \text{ mm}$$

kde: součinitel tažení se volí 0,67

- poloměr pro druhý tah ze vzorce (2.11):

$$r_n = m_n \cdot r_{n-1} = 0,63 \cdot 44 = 28 \text{ mm}$$

kde: součinitel tažení se volí 0,63

Výsledný vnitřní poloměr v prvním tahu je po zaokrouhlení 44 mm a ve druhém 28 mm. Zbývající rozšíření poloměru o jednu desetinu bude provedeno v další operaci (kalibrace), které není součástí této práce. Následně se znovu musí oba tahy ověřit na redukci a je nutné, aby splňovaly výše uvedenou podmínku redukce:

- redukce pro první tah, dle vzorce (2.12):

$$R_1 = \frac{R_o - r_1}{R_o} \cdot 100 = \frac{65,5 - 44}{65,5} \cdot 100 = 33 \%$$

- redukce pro druhý tah, dle vzorce (2.13):

$$R_2 = \frac{r_1 - r_2}{r_1} \cdot 100 = \frac{44 - 28}{44} \cdot 100 = 36,4 \%$$

Redukce poloměru v prvním tahu je 33 % a ve druhém 36,4 %. Oba tyto tahy splňují podmínku maximální redukce 40 %, a proto lze úspěšně řešenou součást vyrobit na dva tahy. Na obrázku 31 lze vidět odstupňování tahů.

Dalším důležitým faktorem je použití přidržovače. Volba probíhá v závislosti na tloušťce taženého materiálu, kde tenké materiály jsou vždy taženy s přidržovačem a také pokud je součinitel tažení menší než 0,75, je přidržovač použit. Řešená součást je tloušťky 1 mm a součinitel tažení je v obou tazích menší než 0,75. Proto bude v obou tažných operacích použit. Jeho tvar bude řešen v dalším průběhu práce.



Obr. 31 Zobrazení odstupňování řešené součásti.

3.3 Velikost tažné mezery a poloměrů [8]

Vůle mezi tažníkem a tažnicí se vypočte dle normy ČSN 22 7303, kde není stejná velikost pro rovinné úseky a rohové zaoblení, ale hodnoty pro daná místa jsou stejná jak v prvním, tak i v dalším tahu. Hodnoty se vypočtou:

- pro rovinné stěny dle vzorce (2.14):

$$tm_1 = tm_n = (1,15 \div 1,30) \cdot s = 1,2 \cdot 1 = 1,2 \text{ mm}$$

kde: koeficient se volí 1,2

- pro rohové zaoblení ze vzorce (2.15):

$$tm_{r1} = tm_{rn} = (1,30 \div 1,40) \cdot s = 1,35 \cdot 1 = 1,35 \text{ mm}$$

kde: koeficient se volí 1,35

Mezeru lze také vypočítat druhým způsobem, který je závislý na tloušťce plechu a koeficientu tažné mezery k_m , podle vzorce (2.16):

$$t_{mk} = s + k_m \cdot \sqrt{10 \cdot s} = 1 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot 1} = 1,22 \text{ mm}$$

kde: koeficient tažné mezery se volí 0,07

Pro výpočet byly využity dvě metody, které vyšly přibližně stejně. Hodnota mezery se ale při zkouškách často upravuje. Z praktických zkušeností bude dále počítáno s jednotnou mezerou o velikosti 1,2 mm.

Dalším důležitým faktorem je zaoblení tažných hran, které je závislé na pořadí tahu, protože v prvním a v dalších tazích se používají stejné nebo o něco menší tažné poloměry.

Výpočet zaoblení tažníku pro první tah se provede dle vzorce (2.33):

$$r_{tul} = (4 \div 10) \cdot s = 5 \cdot 1 = 5 \text{ mm}$$

Výsledný poloměr zaoblení tažnice je 5 mm, kde násobek pět byl použit s ohledem na stávající poloměr výroby. Dále bude zvoleno zaoblení tažnice pro první tah, které bude odlišné od tažníku a to z důvodu převzetí ze současné výroby, tedy:

$$r_{tel} = 6 \text{ mm}$$

V prvním tahu bude zaoblení tažnice o velikosti 6 mm.

Ve druhém a tím i posledním tahu by se zaoblení tažníku mělo rovnat hodnotě zaoblení dna na výtažku, ale v tomto případě budou následovat ještě tažné operace (nejsou součástí práce), a proto bude převzata hodnota ze stávající výroby, tedy:

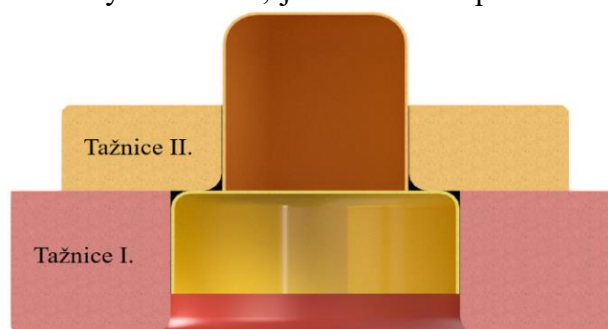
$$r_{tul} = 10 \text{ mm}$$

Zaoblení tažnice ve druhém tahu bude stejné jako v prvním tahu, proto:

$$r_{tel} = r_{teII} = 6 \text{ mm}.$$

3.4 Síla a práce

Tažnou sílu a práci je nutné vypočítat pro každý tah zvlášť, jelikož tažné operace budou probíhat postupně na jeden zdvih stroje (obr. 32), proto se dále bude brát v úvahu pouze ta vyšší hodnota. V každém tahu se musí vypočítat všechny silové složky a na závěr zkontrolovat se silou na utržení dna. Velikost konstant, které v těchto vzorcích jsou, je závislá na mnoha faktorech, například na provedení tažidla, mazání, druhu zpracovávaného



Obr. 32 Schéma pořadí tahů.

materiálu a dalších. Proto je obtížné určit jejich přesnou velikost. Z praxe vychází, že C_1 pro mělké výtažky je přibližně 0,5 a $C_2 = 0,3$ pro normální tlak přídržovače, který je pro ocel 2 MPa. Ve výpočtech, kde je R_m je nutné počítat s nejhorsí možnou variantou, tedy tou nejvyšší hodnotou, protože nebyly provedeny ověřovací zkoušky materiálu. Při výpočtu síly pro ohyb rovných stěn je potřeba v první řadě zjistit délku těchto stěn v aktuálním tahu:

- První tah:

- Síla na utržení dna (kritická) se vypočte ze vztahu (2.31):

$$F_{tdI} = O_I \cdot s \cdot R_m = 536,5 \cdot 1 \cdot 687 = 368\,575,5 \text{ N}$$

$$\text{kde: } O_I = 2 \cdot \pi \cdot r_1 + 2 \cdot L_1 = 2 \cdot \pi \cdot 44 + 2 \cdot 130 = 536,5 \text{ mm}$$

Výsledná síla na utržení dna v prvním tahu je po zaokrouhlení 368,6 kN, kde obvod výtažku byl určen pomocí obrázku 33.

- Síla pro rohové zaoblení ze vzorce (2.28):

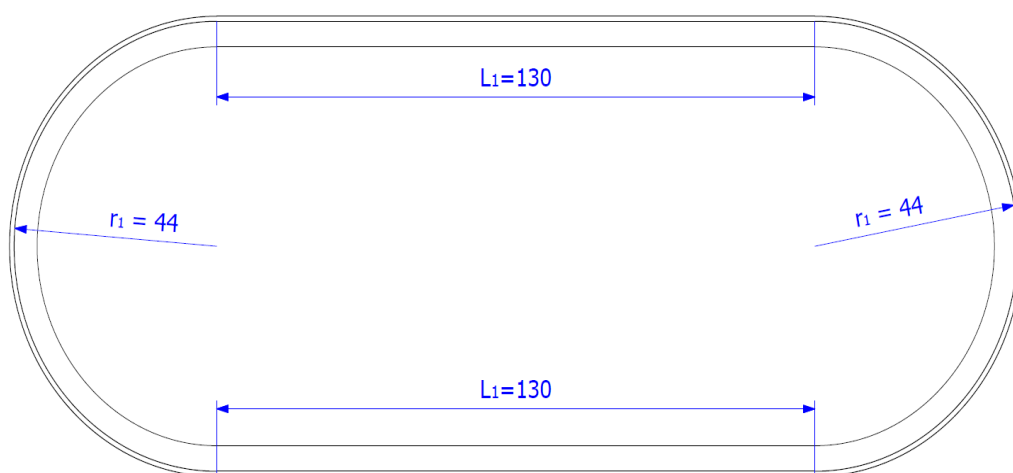
$$F_{trI} = 2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot s \cdot R_m \cdot C_1 = 2 \cdot \pi \cdot 44 \cdot 1 \cdot 687 \cdot 0,5 = 94\,964 \text{ N}$$

Výsledná síla pro tažení rohové zaoblení v prvním tahu je po zaokrouhlení 95 kN.

- Síla pro ohyb přímých stěn dle vztahu (2.29):

$$F_{tI} = L_I \cdot s \cdot R_m \cdot C_2 = 260 \cdot 1 \cdot 687 \cdot 0,3 = 53\,586 \text{ N}$$

$$\text{kde: } L_I = 2 \cdot L_1 = 2 \cdot 130 = 260 \text{ mm}$$



Obr. 33 Délka přímých stěn výtažku v prvním tahu.

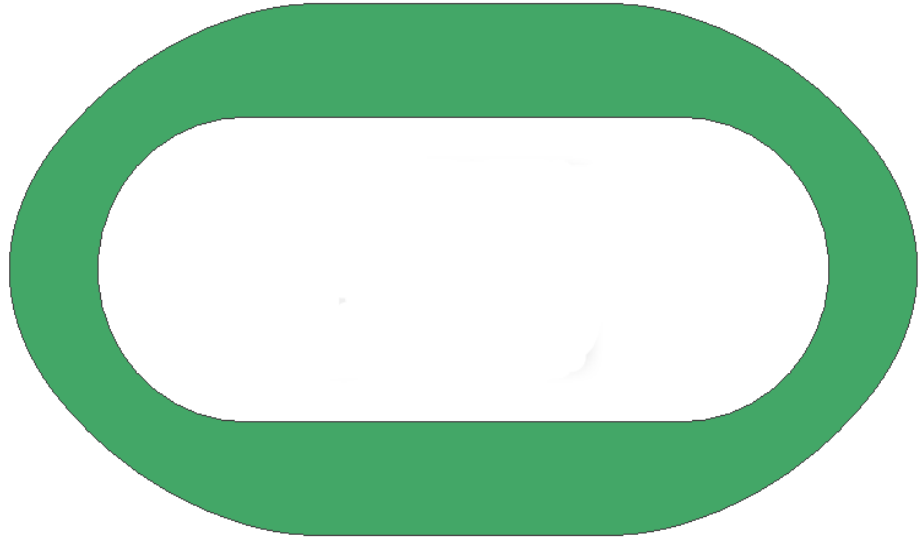
V prvním tahu pro ohyb přímých stěn je po zaokrouhlení potřeba síla o velikosti 53,6 kN, kde obvod výtažku byl vypočítán podle obrázku 33.

- Síla přídržovače dle vzorce (2.30):

$$F_{pI} = S_{p1} \cdot p_p = 17\,136 \cdot 2 = 34\,272 \text{ N}$$

kde: S_{p1} – plocha přídržovače v prvním tahu je rovna 17 136 mm² a byla zjištěna pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2018 (dále jen Inventor) a lze ji vidět na obrázku 34

p_p – tlak přídržovače se volí 2 Mpa



Obr. 34 Plocha přidržovače v prvním tahu.

Výsledná síla přidržovače v prvním tahu je po zaokrouhlení 34,3 kN.

- Celková síla dle vzorce (2.18):

$$F_{cl} = F_{trl} + F_{tl} + F_{pl} + F_{vl} = 95 + 53,6 + 34,3 + 0 = 182,9 \text{ kN}$$

Výsledná tažná síla v první operaci je 182,9 kN. Je menší než síla na utržení dna ($F_{tdl} = 368,6 \text{ kN}$), může se tedy bezpečně provést tah. Nebyl použit vyhazovač, proto je síla nulová.

- Celková tažná práce bude vypočtena ze vzorce (2.32):

$$A_{cl} = \frac{e_i \cdot F_{cl} \cdot h_l}{1\,000} = \frac{0,66 \cdot 182,9 \cdot 33,5}{1000} = 40,4 \text{ kJ}$$

kde: h_l – je určena pomocí programu Inventoru a zákonu zachování objemu

Pro vytvoření výtažku v prvním tahu je nutné použít práci o velikosti 40,4 kJ.

- Druhý tah:

- Síla na utržení dna (kritická) se vypočte ze vztahu (2.31):

$$F_{tdl} = O \cdot s \cdot R_m = 467,9 \cdot 1 \cdot 687 = 321\,447 \text{ N}$$

$$\text{kde: } O = 2 \cdot \pi \cdot r_1 + 2 \cdot L_1 = 2 \cdot \pi \cdot 28 + 2 \cdot 146 = 467,9 \text{ mm}$$

Výsledná síla na utržení dna v prvním tahu je po zaokrouhlení 321,5 kN, kde obvod výtažku byl určen pomocí obrázku 35.

- Síla pro rohové zaoblení ze vzorce (2.28):

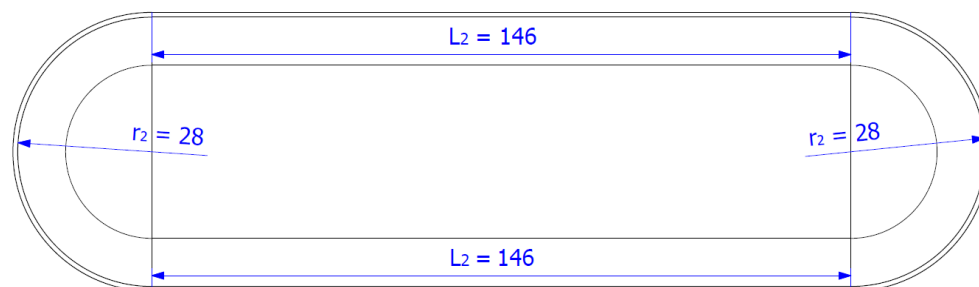
$$F_{trl} = 2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot s \cdot R_m \cdot C_1 = 2 \cdot \pi \cdot 28 \cdot 1 \cdot 687 \cdot 0,5 = 60\,432 \text{ N}$$

Výsledná tažná síla pro rohové zaoblení ve druhém tahu je po zaokrouhlení 60,5 kN.

- Síla pro ohyb přímých stěn dle vztahu (2.29):

$$F_{tll} = L_{ll} \cdot s \cdot R_m \cdot C_2 = 292 \cdot 1 \cdot 687 \cdot 0,3 = 60\,181 \text{ N}$$

$$\text{kde: } L_{ll} = 2 \cdot L_2 = 2 \cdot 146 = 292 \text{ mm, dle obrázku 35}$$



Obr. 35 Délka přímých stěn výtažku v druhém tahu.

Ve druhém tahu pro ohyb přímých stěn je po zaokrouhlení potřeba síla o velikosti 60,2 kN.

- Síla přidržovače dle vzorce (2.30):

$$F_{pI} = S_{p1} \cdot p_p = 4\,235 \cdot 2 = 8\,470 \text{ N}$$

kde: S_{p1} – plocha přidržovače ve druhém tahu je 4 235 mm² a byla zjištěna pomocí programu Inventor, lze ji vidět na obrázku 36



Obr. 36 Plocha přidržovače ve druhém tahu.

Výsledná síla přidržovače ve druhém tahu je po zaokrouhlení 8,5 kN.

- Celková síla dle vzorce (2.18):

$$F_{cII} = F_{trII} + F_{tlI} + F_{pII} + F_{vII} = 60,5 + 60,2 + 8,5 + 8 = 137,2 \text{ kN}$$

Výsledná tažná síla ve druhé operaci je 137,2 kN. Je menší než síla na utržení dna ($F_{tdI} = 321,5 \text{ kN}$), proto se bezpečně může provést druhý tah. Ve druhém tahu byl použit vyhazovač, síla 8 kN byla zvolena dle předchozí výroby součástky.

- Celková tažná práce bude vypočtena ze vzorce (2.32):

$$A_{cI} = \frac{e_i \cdot F_{cI} \cdot h_I}{1\,000} = \frac{0,66 \cdot 137,2 \cdot 58,7}{1000} = 53,15 \text{ kJ}$$

kde: h_{II} – je konečná výška výtažku s přídavkem na ostříhnutí [mm]

Pro vytvoření výtažku ve druhém tahu je nutné použít práci o velikosti 53,2 kJ.

Poté se celková síla vypočte pomocí následujících vzorců:

$$F_C = F_{cI} + F_{cII} = 182,9 + 137,2 = 320,1 \text{ kN} \quad (3.1)$$

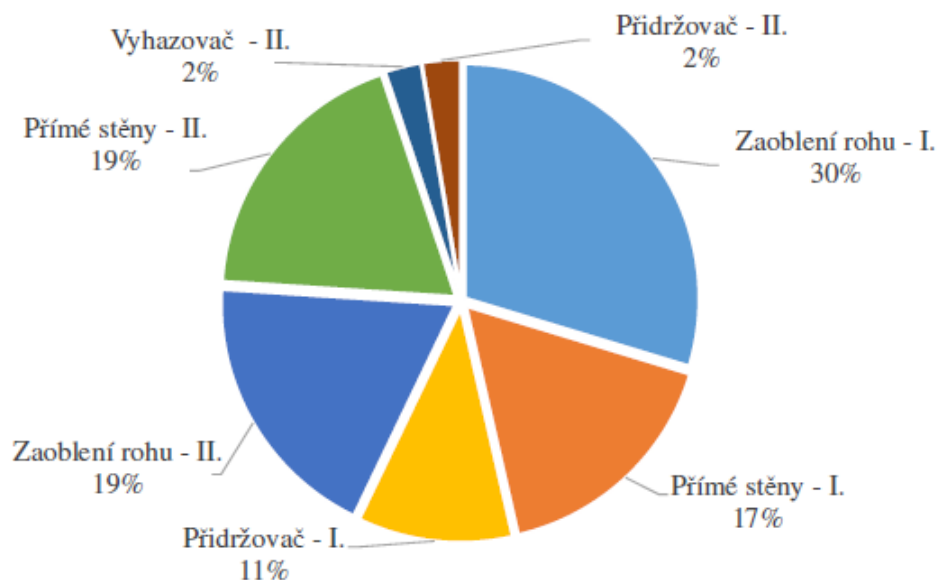
Výsledná celková síla tažné operace je 320,1 kN, ale to je pouze informativní údaj. Protože lis je nutné dimenzovat de síly v prvním tahu, která je větší, než ve druhé operaci.

Následně lze vypočítat celkovou práci stroje ze vzorce:

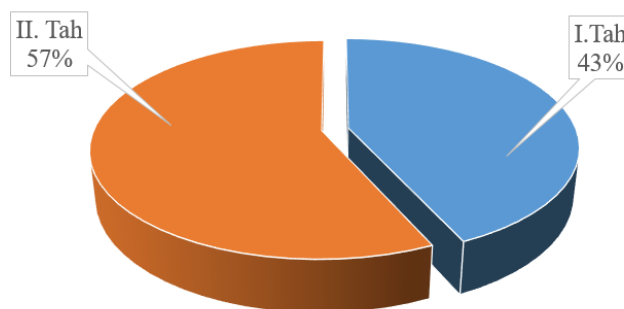
$$A_C = A_{CI} + A_{CII} = 40,4 + 53,2 = 93,6 \text{ kJ} \quad (3.2)$$

Práce, kterou vykoná stroj na jeden zdvih je 93,6 kJ.

Přehlednější zobrazení všech silových položek v daných tažných operacích lze vidět na obrázku 37. Na obrázku 38 je možné vidět poměry vynaložené práce v jednotlivých tažných operacích.



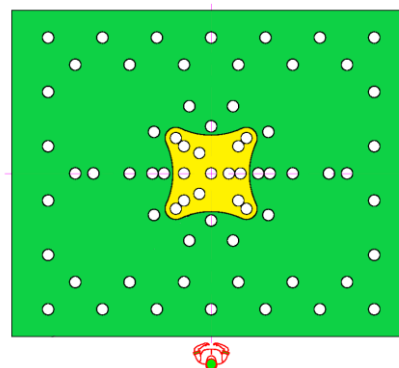
Obr. 37 Přehled jednotlivých silových složek v tažné operaci.



Obr. 38 Poměr vynaložené práce v jednotlivých tazích.

3.5 Tvářecí stroj [8]

Současná výroba probíhá na moderním hydraulickém lisu od firmy DIEFFENBACHER s označením PO 250 II, kde římská číslice označuje pouze pořadí lisu ve společnosti. Tento stroj byl vyroben na přesné požadavky společnosti, kterými například bylo magnetické upínání nástrojů s automatickou kontrolou, velké rozevření lisu pro manuální zakládání přístřihu a zvýšená přesnost vedení beranu lisu tak, aby tažné nástroje mohly být použity bez vedení. Hlavním požadavkem bylo, aby stroj měl dva nezávislé spodní přidržovače, které rozdělují složitý tvar, viz obrázek 39, kde otvory v zelené ploše jsou pro tyče ovládání vnějšího přidržovače a ve žluté ploše vnitřního.



Obr. 39 Tvar přidržovačů [8].

Dle poskytnutých informací byla přibyslavská pobočka ACO první v republice, kde se používá magnetický způsob upínání, ale od toho se musel odvíjet návrh materiálu desek a jejich rozměry. Standardně se ve společnosti používá nástrojová ocel 19 573. Rozměr upínací desky na stole lisu je 750 x 590 mm a na beranu musí být minimální rozměr 360 x 200 mm, kde tloušťka desek musí být alespoň 26 mm, aby bylo zaručeno bezpečné uchycení nástrojů.

Na lisu lze bezproblémově regulovat velikost přidržovací síly v závislosti na pohybu beranu a také je možné nastavovat velikost tažné rychlosti. Samozřejmostí je vybavení snímačů vynaložené síly a následně její automatická kontrola a zaznamenávání. Základní údaje o lisu (obr. 40) jsou uvedeny v tabulce 7 a další informace v příloze 4.

Tab. 7 Základní parametry lisu PO 250 [8].

Beran	
Lisovací síla max.	2 500 kN
Zdvih	900 mm
Sevřená výška	200 mm
Pracovní rychlost	37 mm/s
Pracovní rychlost při max. síle	17 mm/s
Přibližovací rychlost	340 mm/s
Spodní přidržovač - vnitřní	
Přidržovací síla max.	500 kN
Přidržovací síla min.	20 kN
Spodní přidržovač - vnější	
Přidržovací síla max.	1 000 kN
Přidržovací síla min.	35 kN

Z tabulky 7 je zcela viditelné, že potřebná síla pro tažení je asi třináctkrát menší, než je jmenovitá síla lisu a i přidržovací síly jsou vyhovující. Navrženou výrobu lze bezproblémově dále provádět na tomto lise.

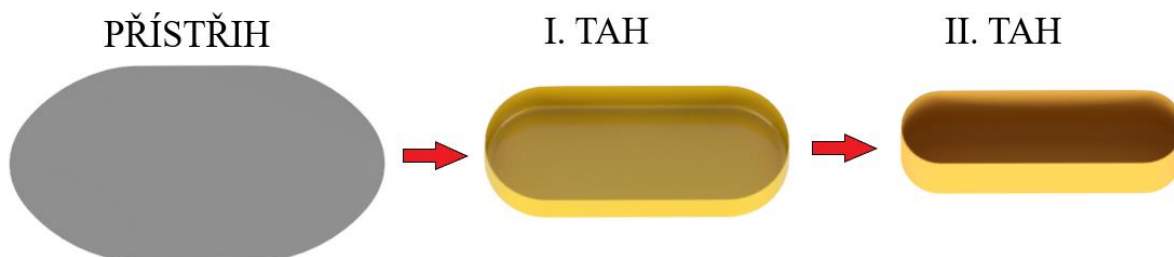


Obr. 40 Dieffenbacher PO 250 II. [8].

3.6 Postup výroby [8]

Při tvoření postupu tažení je důležité brát v úvahu celou řadu faktorů. U řešené součástky je nutné splnit požadavek na optimalizaci procesu, který byl stanoven společností. Proto je nutné navrhnout sloučený nástroj. Dalším požadavkem je, aby při výrobě nedošlo k poškození součástky nebo případné kolizi nástroje s jeho dalšími částmi nebo strojem. Také by měla být dodržena bezpečnost obsluhy stroje při manipulaci s polotovarem a výtazkem.

Po vytvoření tvarového přístřihu na laserovém pracovišti bude požadovaného tvaru součástky dosaženo pomocí dvou tažných operací, které následují postupně za sebou, tedy na jeden zdvih stroje. Toto lze uskutečnit, protože vybraný lis má dva na sobě nezávislé spodní přidržovače. Tedy pro každý z nich je možné nastavit jinou ovládací sílu. Postup výroby je zobrazen na obrázku 41.



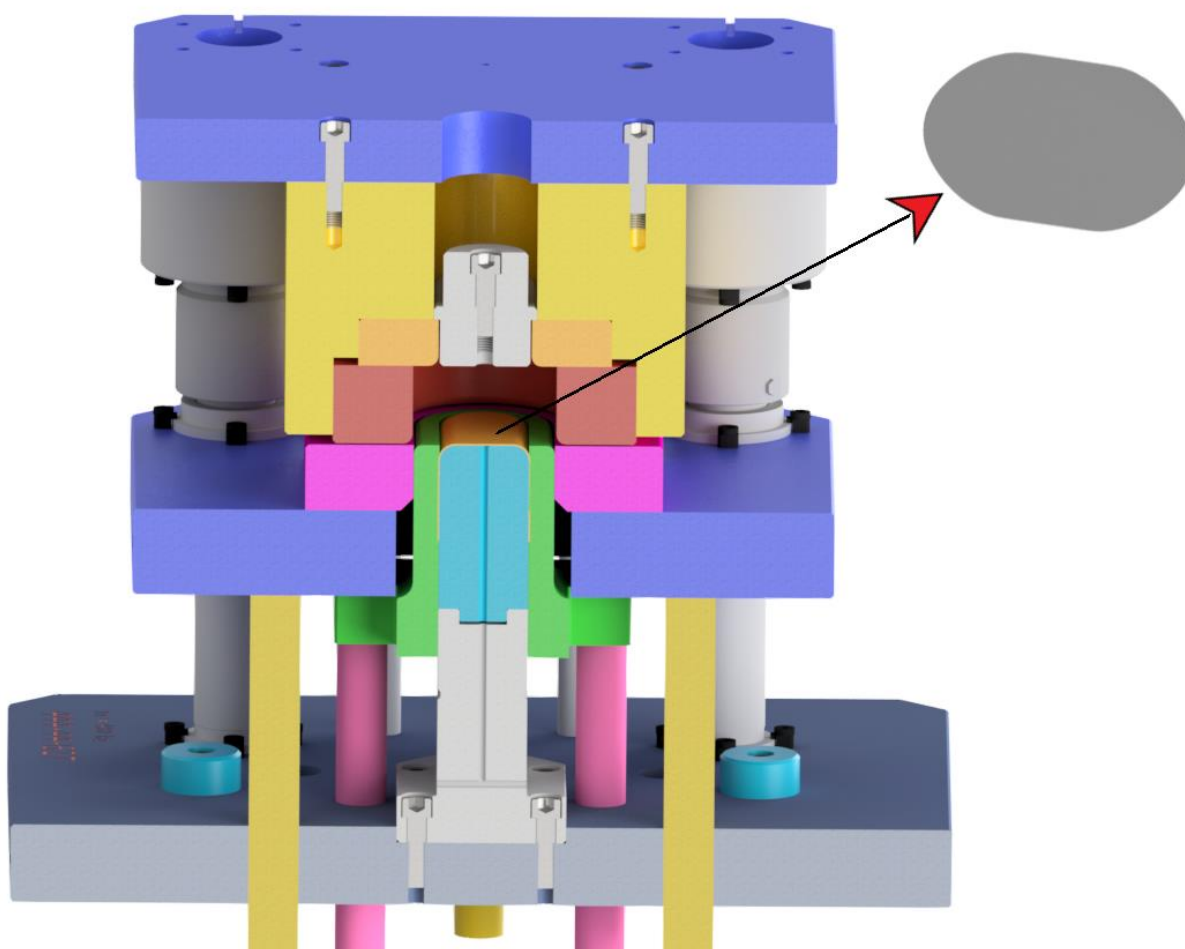
Obr. 41 Postup tažených operací.

Základní princip bude takový, že tažník (I. tah) bude ovládán čtyřmi vnitřními ovládacími tyčemi, přidržovač čtyřmi vnějšími tyčemi, tažník (II. tah) bude pevný, vyhazovač bude ovládán horním přidržovačem a pohyb tažnic zajistí beran lisu. Jednotlivé polohy nástroje budou dále popsány.

Před samotným založením materiálu je důležité správně nastavit ovládací síly a polohu vnějších a vnitřních tyčí. Vnitřní tyče pro první tah budou napevno, tedy na maximální sílu spodního přidržovače, která musí být větší než na utržení dna. Poloha musí zajistit, aby horní čelo tažníku (I. tah) bylo ve stejné výšce jako horní plocha pevného tažníku pro druhý tah. Vnější tyče spodního přidržovače budou nastaveny na sílu přidržovače v prvním tahu a poloha musí být taková, aby funkční plocha přidržovače byla ve stejné výšce jako horní čela tažníků. Pro lepší orientaci bylo výše popsané nastavení uvedeno do tabulky 8. Poté se přístřih musí namazat hlubokotažným olejem s označením PROLONG 50-12 a následně ho lze založit do nástroje. Potom se už může tažnicí dosednout na materiál. Tato poloha je zobrazena na obrázku 42.

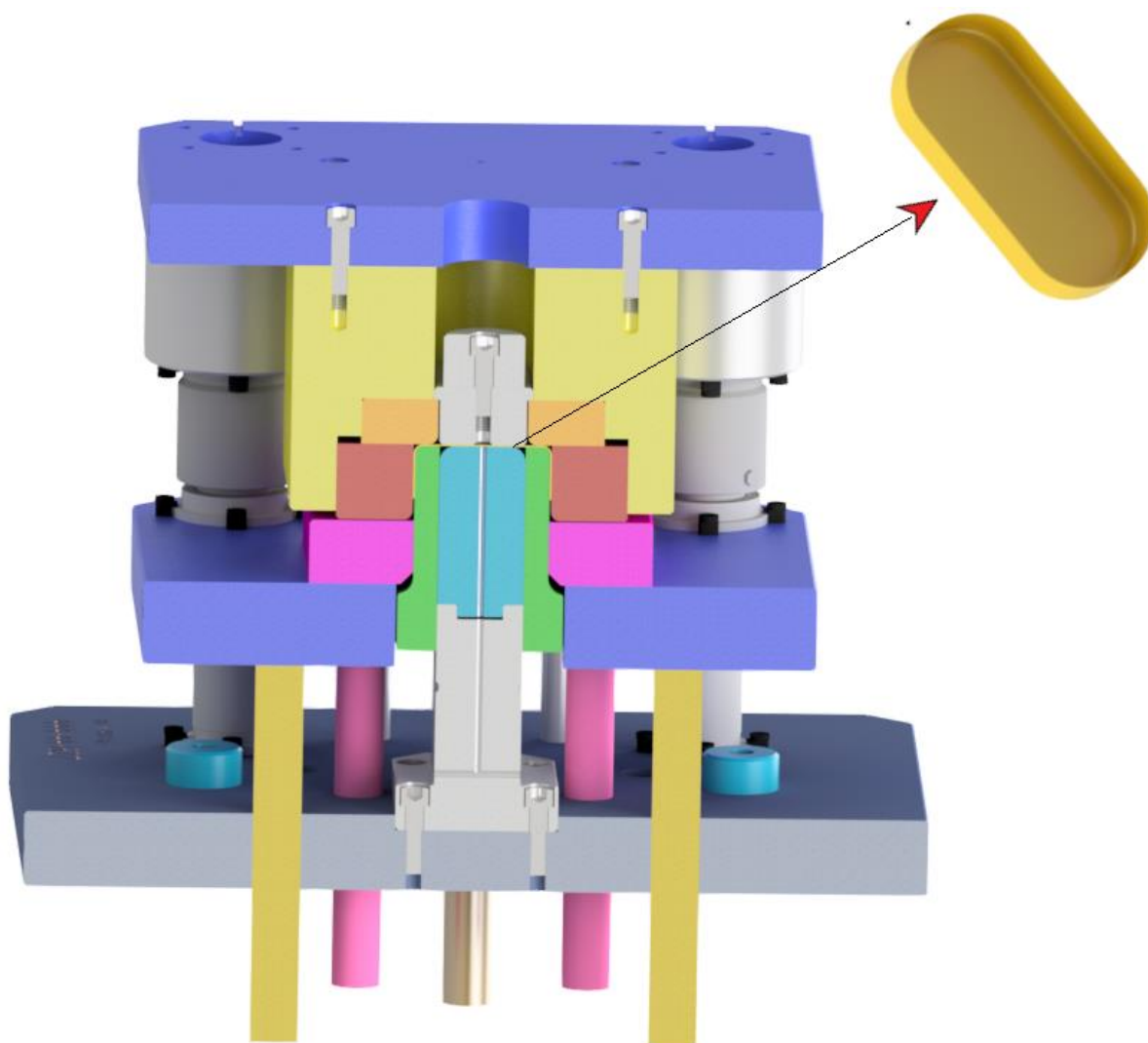
Tab. 8 Přehled nastavení ovládacích tyčí při I. tahu.

Ovládací tyče:	Síla	Hodnota
vnitřní	max. síla spodního vyhazovače	500 kN
vnější	Síla přidržovače I. tah	34,3 kN



Obr. 42 Řez nástrojem při dosednutí na přístřih.

Po tomto nastavení lze začít s první tažnou operací. Nastane pohyb beranu lisu a tím dojde k vtahování přístřihu do tažnice pro první tah. Zároveň s tímto pohybem sjíždí i přidržovač a to z důvodu, že vnější tyče jsou nastavené pouze na sílu přidržovače, ale beran působí výslednou tažnou silou v prvním tahu, která je větší. Takto se nástroj pohybuje do doby, než tvářený materiál dosedne na tažnici pro druhý tah. To nastane, když beran vykoná délku dráhy, která odpovídá výšce tažnice pro první tah. Popsaná poloha je zobrazena na obrázku 43.



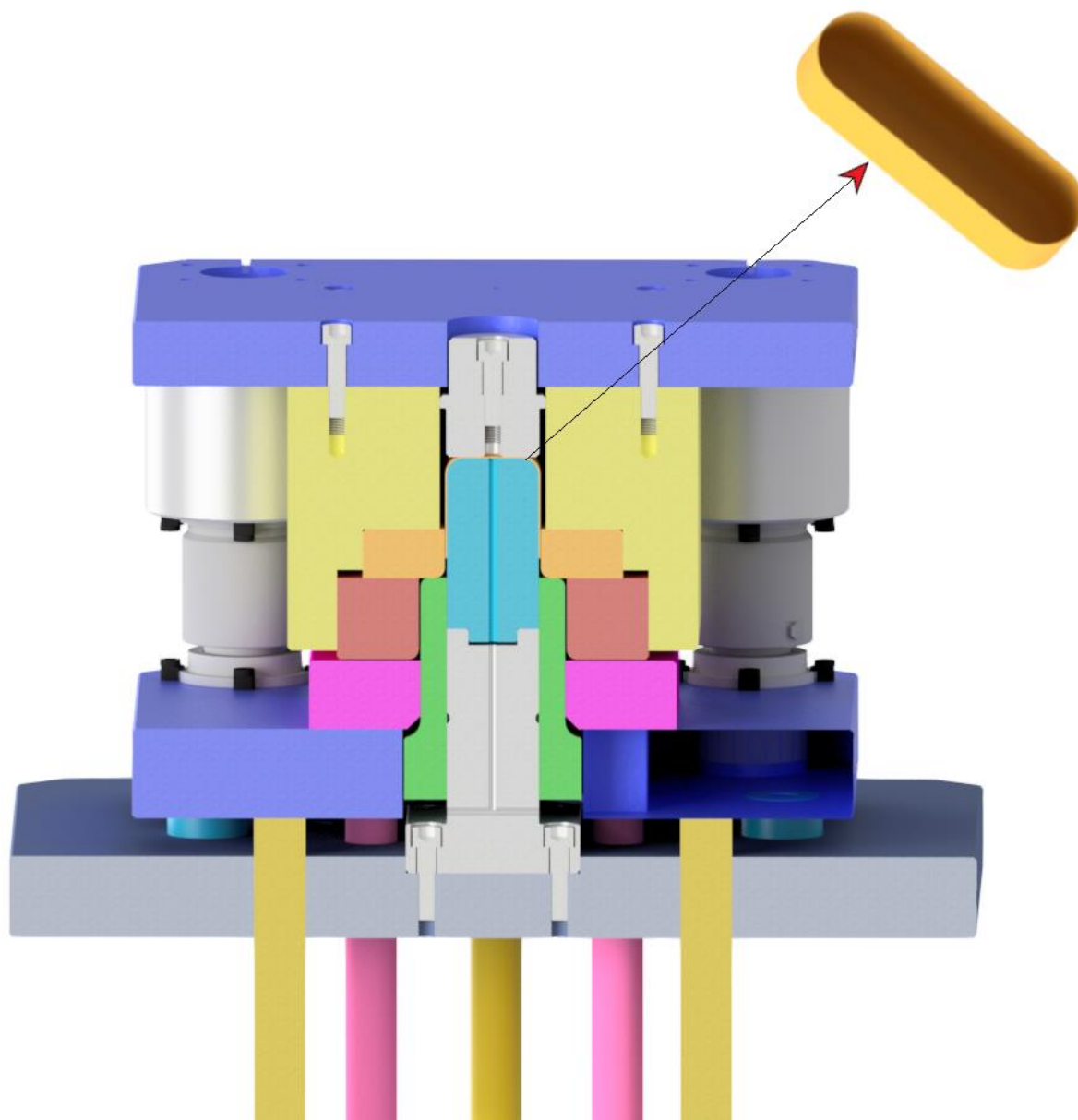
Obr. 43 Řez nástrojem po prvním tahu.

Pro druhý tah je nutné změnit nastavení ovládacích tyčí. V této operaci se použije tažník pro první tah jako přidržovač. S tím souvisí nastavení síly vnitřních tyčí, které budou odpovídat velikosti síly přidržovače pro druhý tah. Vnější ovládací tyče budou nastaveny na nejnižší hodnotu, jelikož střední část nástroje zde není využívána. Pro lepší přehlednost je nastavení uvedeno v tabulce 9.

Tab. 9 Přehled nastavení ovládacích tyčí při II. tahu.

Ovládací tyče:	Síla	Hodnota
vnitřní	síla přidržovač pro II. tah	8,5 kN
vnější	min. síla spodního vyhazovače	minimum

Po změně hodnot ovládaní tyčí (tab. 9) se může pokračovat v procesu, respektive ve druhé tažné operaci. Beran důsledkem pohybu vtahuje materiál do tažnice přes pevný tažník. Přímou úměrou pohybu beranu sjíždí i tažník pro první tah, který zde plní funkci přidržovače. Tento pohyb je umožněn z důvodu, že velikost tažné síly v druhé operaci je větší než síla přidržovače. V opačném směru pohybu beranu je vytlačován vyhazovač v důsledku tvoření výtažku. K ukončení tahu dochází, když deska přidržovače dosedne na dorazy. Tato poloha je zobrazena na obrázku 44.

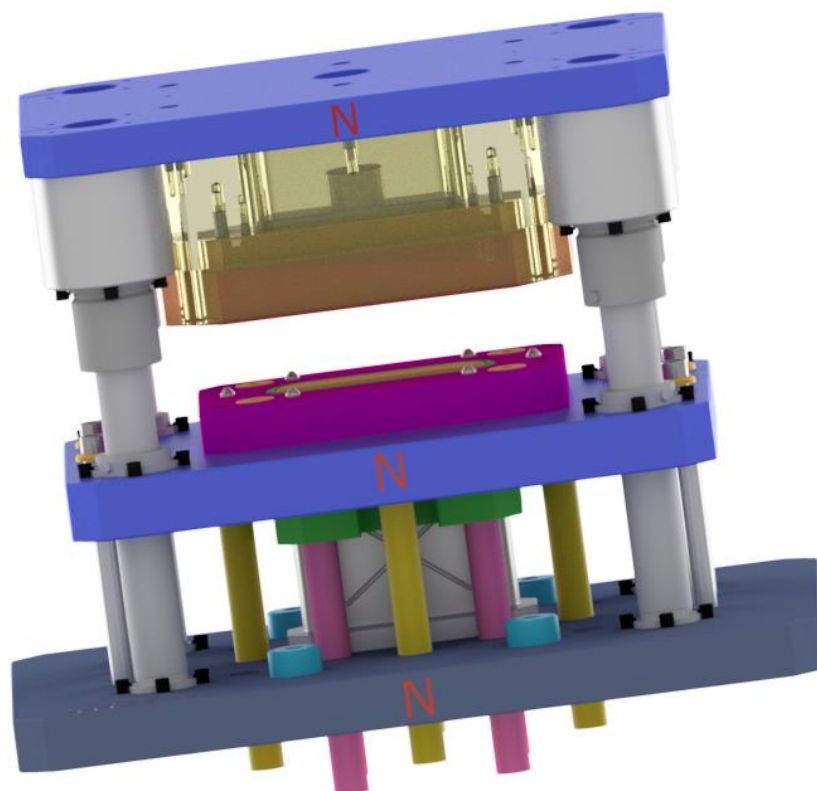


Obr. 44 Řez nástrojem po druhém tahu.

Poté se beran lisu vrací zpět nahoru a s ním i tažník (I. tah) a přidržovač. Pokud by se výtažek zachytil na tažníku (II. tahu) byl by setřen při návratu do výchozí polohy tažníkem (I. tahu). Předpokládá se ale, že výtažek zůstane v tažnici (II. tahu) a bude setřen pomocí vyhazovače, který je ovládán horním vyhazovačem lisu. Ten se opře tyčí o čep vyhazovače a setře výtažek z tažnice, poté následně zajíždí zpět do beranu lisu. Nástroj je ve výchozích pozicích, součást je vyměněna za nový přístřih a celý proces opakuje.

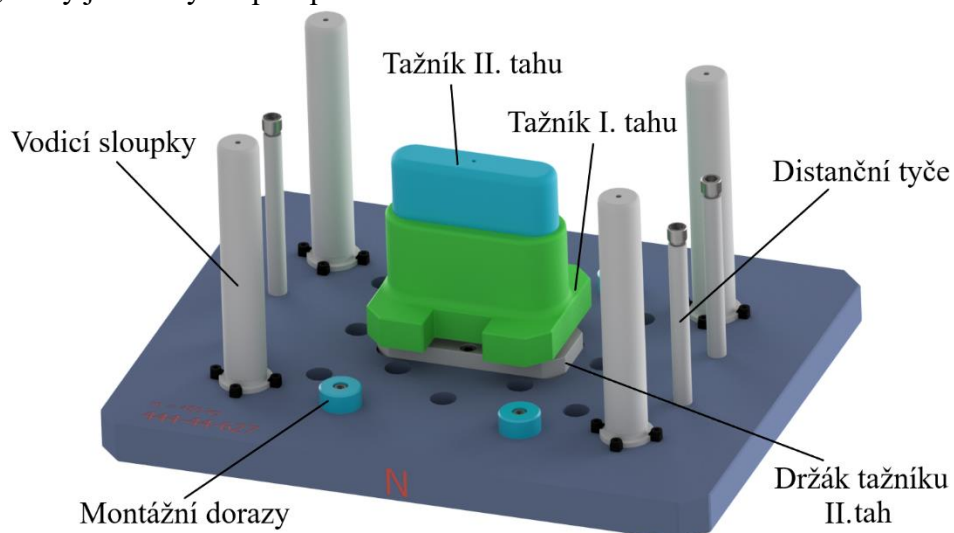
3.7 Konstrukce nástroje [34], [35]

Při návrhu tažného nástroje je nutné postupovat dle obvyklých konstrukcí nástrojů ve společnosti, která nemá svojí nástrojárnu a tak všechny nové nástroje nebo opravy jsou prováděny stejnou dodavatelskou firmou, kde je třeba respektovat určité předpoklady a zvyky. Dalším důležitým faktem je, že zvolený lis používá magnetické upnutí nástrojů. Schéma tažidla v otevřeném stavu je na obrázku 45, kde lze vidět, že nástroj se skládá z vrchní, střední a spodní části.



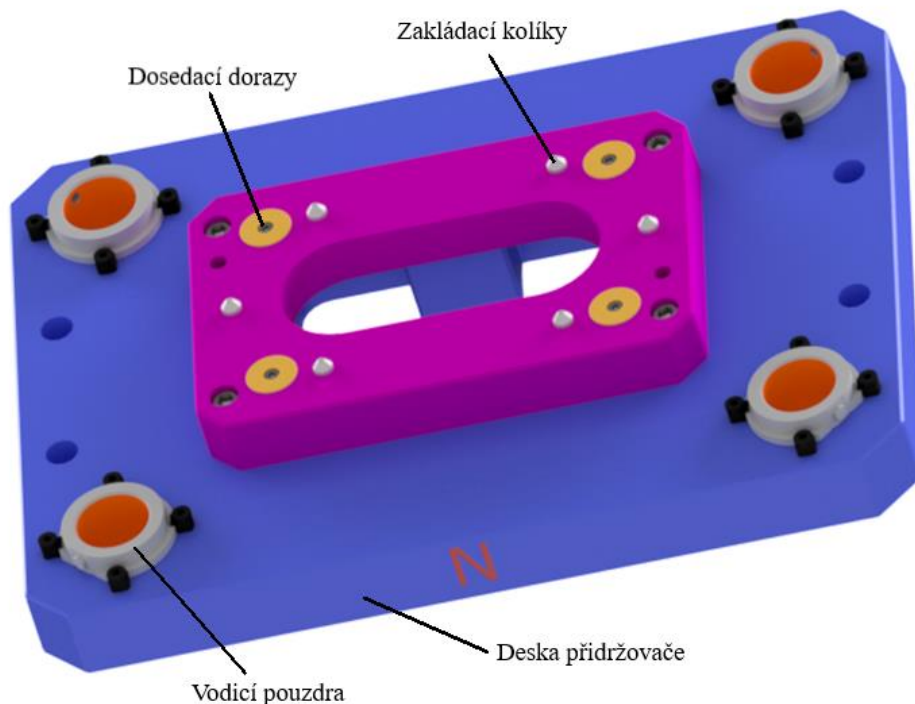
Obr. 45 Schéma otevřeného tažidla.

Hlavní část spodního nástroje je základová deska, ke které jsou připevněny vodící sloupky, distanční jednotky, montážní dorazy a tělo držáku tažníku pro druhý tah. Mezi nejdůležitější díly patří tažník pro první tah, který je veden pomocí dalšího hlavního dílu a to tažníku pro druhý tah, který je dělený. Popis spodní části lze vidět na obrázku 46.



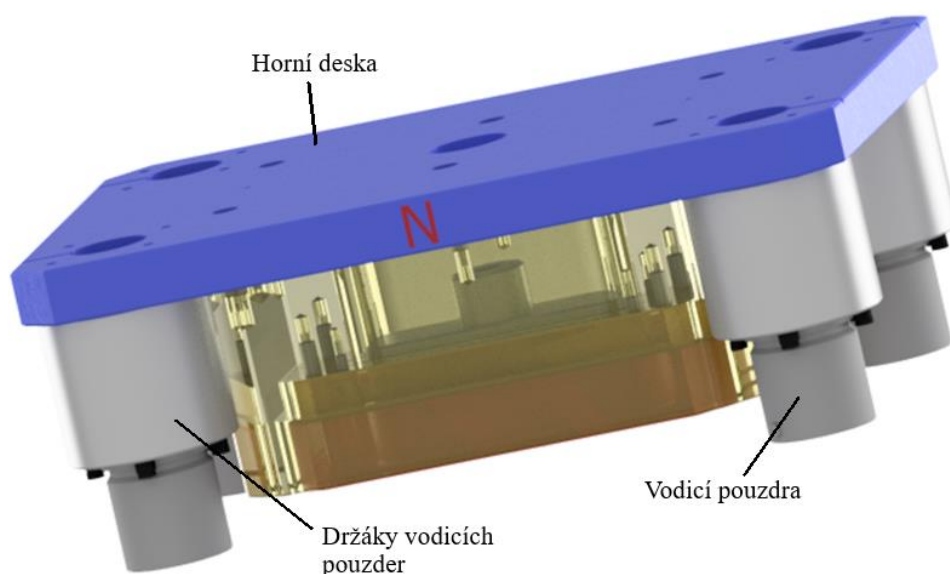
Obr. 46 Spodní část nástroje.

Střední část nástroje se skládá z desky přidržovače, do které jsou připevněna vodící pouzdra, viz obrázek 47. Na tuto desku je upevněn přidržovač pro první tah, ve kterém jsou upevněny středící čepy pro zakládání přístřihu. Dále jsou tam přišroubovány dosedací dorazy.



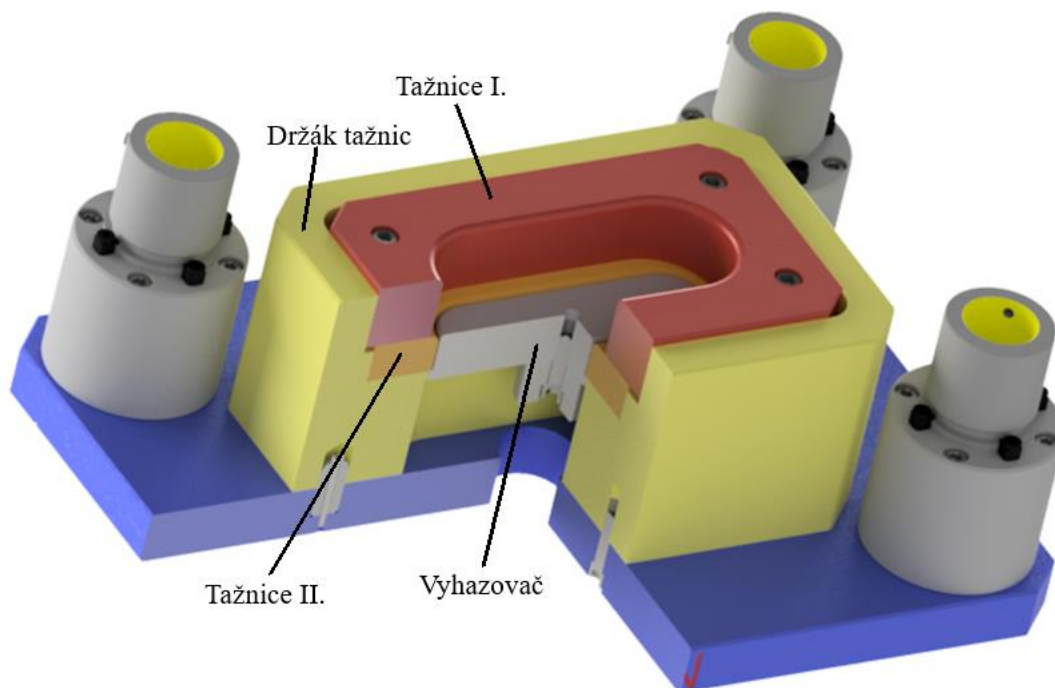
Obr. 47 Střední část nástroje.

Hlavním dílem vrchní části je horní deska, ke které jsou upevněny držáky pro vodící pouzdra a držák tažnic. Nejdůležitějšími funkčními díly jsou zde tažnice pro první i druhý tah, které jsou umístěny přesně v tomto pořadí za sebou a přišroubovány k tělu držáku. Vodící pouzdra jsou upevněna k jejich držákům. Vyhadzovač se nachází mezi horní deskou a tažnicí pro druhý tah a je veden otvorem v držáku tažnic a je na něho přišroubován čep. Horní část nástroje lez vidět na obrázku 48.



Obr. 48 Horní část nástroje.

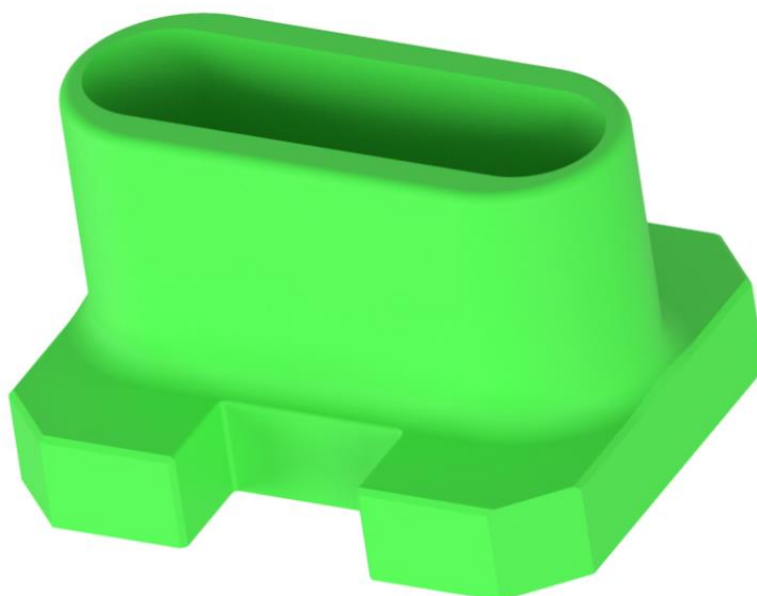
Pro lepší přehlednost byla horní část zrcadlově otočena a byl proveden částečný řez, viz obrázek 49. Nyní lze vidět umístění tažnic, kde červená je pro první tah a oranžová pro druhý. Obě jsou přišroubovány do držáku (žlutá součást) a uvnitř lze vidět vyhazovač s čepem, který je otvorem v těle držáku veden.



Obr. 49 Horní část nástroje v řezu.

Je důležité, aby byl správně vyrobeny všechny funkční a činné části, kde je třeba se zaměřit na:

- Tažník pro první tah (obr. 50) – je vyráběnou součástí z oceli 19 573. Jedná se o vysoce legovanou chrom-molybden-vanadovou ocel, která je velice odolná proti opotřebení. Dále je pro zvýšení pevnosti tento tažník kalen a popuštěn na hodnoty 58 až 60 HRC. Tažník je celistvý se základovou patkou o rozměrech 228 na 186 mm a výšce 38 mm. Celková výška tažníku je 136 mm a jeho vnější tvar je dle výtažku v prvním tahu. V oválném tvaru je symetrický otvor, který má tvar tažníku pro druhý tah s odsazením zvětšeným o 0,1 mm. Tato vůle způsobuje, že tažník nemusí mít odvětrávací otvor. Jeho vedení je zajištěno pomocí tažníku pro druhý tah a je ovládán tyčemi spodního přidržovače.



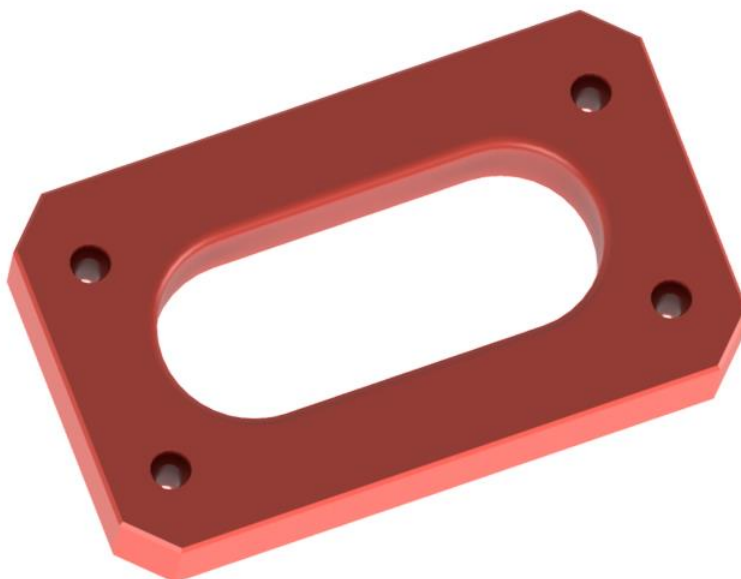
Obr. 50 Tažník pro první tah.

- Tažník pro druhý tah – je dělený (obr. 51), jelikož by nebylo ekonomické ho celý vyrábět. Jeho funkční část je také vyrobená z oceli 19 573 a dále je kalena a popuštěna na hodnotu 58 až 60 HRC. Jeho funkční část je připevněna pomocí čtyřech šroubů o velikosti M14 do držáku. Tvar tažníku je totožný s vnitřními rozměry výtažku po druhém tahu. Celková výška tažníku i s osazením pro správné připevnění je 113 mm. Toto osazení má tvar obdélníku o rozměrech 100 x 30 mm a výšce 8 mm, hrany mají zkosení o velikosti 8 x 45°. Uprostřed tažníku je otvor pro odvodu vzduchu o velikosti průměru 5 mm. Tělo držáku je vyrobeno také z nástrojové oceli, ale nižší jakosti, než funkční část a to s označením 19 520. Ke spodní desce je připevněno pomocí šesti šroubů velikosti M12 x 40 a k jeho přesnému vystředění se využívá obdélníkové osazení, které má zkosené hrany pro lepší montáž a demontáž. Pro lepší chod tažníku (I. tah) je na podélné straně těla vytvořen z obou stran mazací kříž.



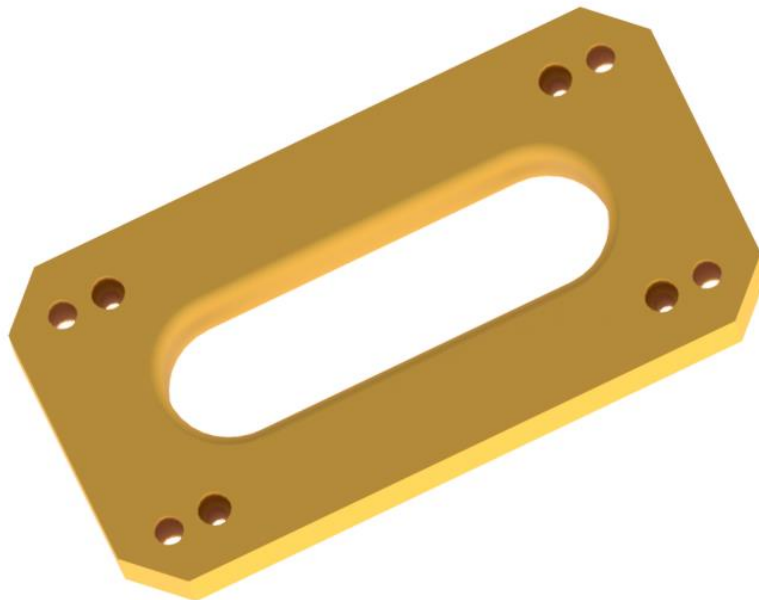
Obr. 51 Tažník pro druhý tah.

- Tažnice pro první tah (obr. 52) – je celistvá a vyrobená z oceli 19 573, která je dále kalena a popuštěna na hodnotu 58 až 60 HRC. Její základní tvar je obdélník, kde jeho šířka je 190,4 mm a délka 320,4 mm. Výška je 50 mm, která se stanoví součtem výšky výtažku v prvním tahu a technologickým přírůstkem. Symetricky je do ní v podélném směru vytvořen otvor, který má tvar tažníku pro první tah zvětšený o tažnou mezeru. Rohy jsou zkoseny o hodnotu 23 x 45°, to zaručuje při případné demontáži vyjmutí. Její přesné namontování zaručuje, požadované vybrání v držáku tažnic, do kterého je také připevněna čtyřmi šrouby s vnitřním šestihranem o velikosti M12 x 90 mm. Velikost zaoblení tažné hrany je 6 mm, tato strana tažnice má zkosení obvodové hrany 2 x 45° a to z důvodu bezpečnosti při zakládání přístřihu.



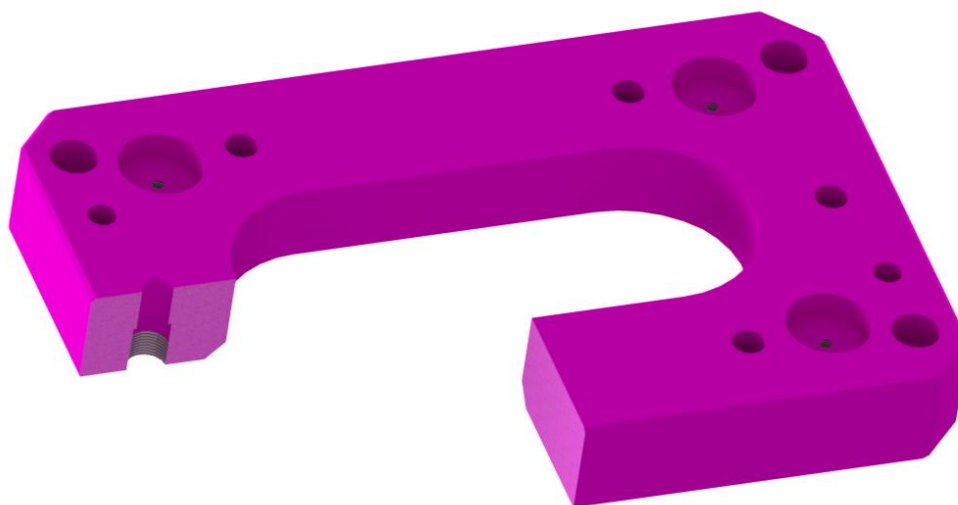
Obr. 52 Tažnice pro první tah.

- Tažnice pro druhý tah (obr. 53) – je vyráběnou součástí z oceli 19 573, která je dále kalena a pouštěna na hodnotu 58 až 60 HRC. Její základní tvar je obdélník, do kterého je vytvořen symetricky otvor o rozměrech druhého tažníku zvětšený o tažnou mezeru. Délka tažnice je 304,7 mm, šířka 158,7 mm a výška 30 mm. Její rohy jsou s ohledem na demontáž zkoseny o velikost 23 x 45°. Je připevněna čtyřmi šrouby o velikosti M8 x 30 mm do držáku tažnice. Její správné uložení je zajištěno tvarem otvoru v těle držáku. V těle tažnice jsou dále vytvořeny čtyři otvory o průměru 13 mm, kterými prochází volně šrouby připevňující tažnici prvního tahu. Zaoblení tažné hrany je 6 mm.



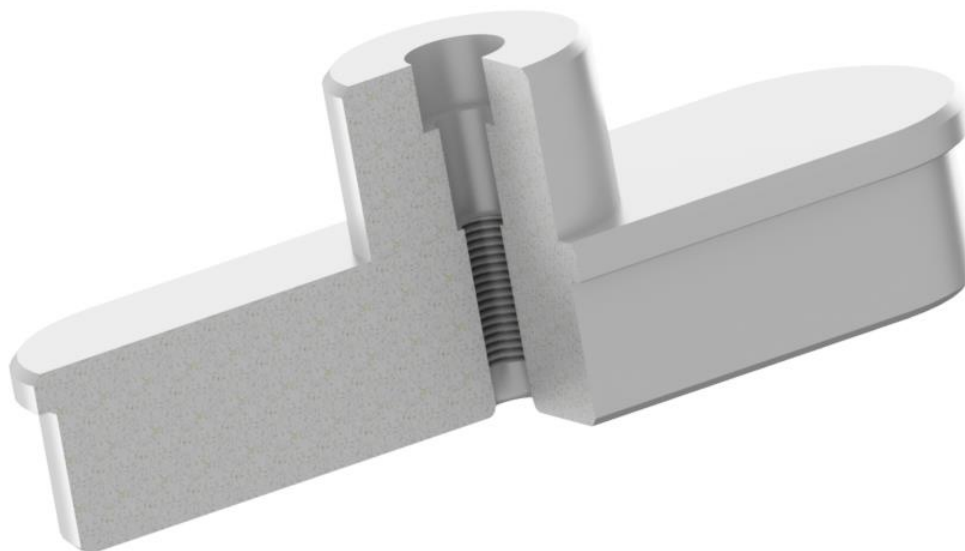
Obr. 53 Tažnice pro druhý tah.

- Přidržovač (obr. 54) – se nachází ve střední části nástroje, je vyráběnou součástí a patří k nejsložitějším dílům. Využití má hned dvojí a to za prvé - jako přidržovač pro první tah a za druhé - pro založení přístříhu. Jako materiál byla zvolena nástrojová ocel 19 573, která byla dále pro lepší mechanické podmínky popuštěna a kalena na 58 až 60 HRC. Připevněna je do desky přidržovače pomocí čtyř šroubů M12 x 40 mm a její správná poloha před montáží je zajištěna dvěma středícími kolíky o průměru 5 mm, které jsou umístěny v uhlopříčce. Oválný otvor v desce má tvar tažníku pro první tah a je zvětšen o vůli, která je 0,2 mm. Dále deska obsahuje otvory pro zakládací kolíky a dosedací dorazy.



Obr. 54 Přidržovač prvního tahu.

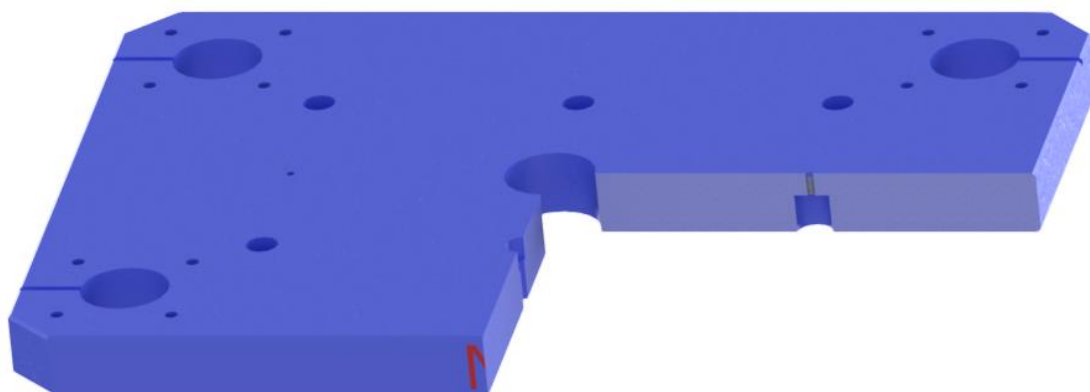
- Vyhazovač (obr. 55) - je poslední funkční částí a je vyroben z nástrojové oceli 19 520. Má oválný tvar s osazením v horní části. Spodní část musí být menší, než otvor v druhé tažnici aby zajistil požadované setření výtažku po tažné operaci. Osazení zaručuje správné vedení, jelikož je volně uložen v držáku tažnic a také spodní polohu, u které se pomocí něho zastaví o tažnici pro druhý tah. Horní poloha a nevyjetí je zajištěna základovou deskou. Uprostřed je otvor se závitem M6, který slouží pro připevnění čepu vyhazovače. S ohledem na to, že spodní část je v kontaktu s výtažkem, je obvodová hrana zkosena o hodnotu $2 \times 45^\circ$ mm.



Obr. 55 Vyhazovač.

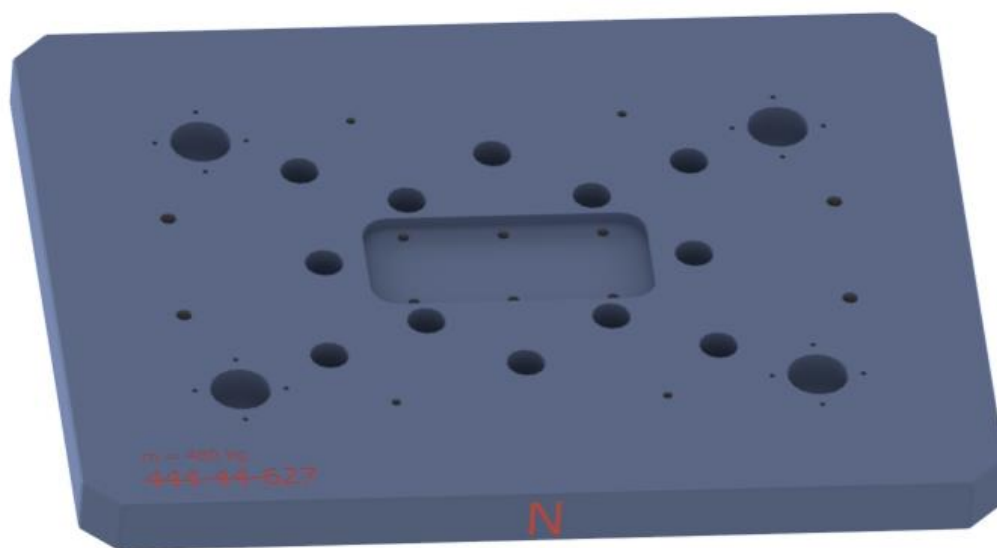
Následně je také důležité, aby byli vyrobeny správně všechny konstrukční části, kde se je potřeba zaměřit na:

- Horní základní deska (obr. 56) – je také vyrobena z konstrukční oceli 11 503, kde její rozměr byl volen s ohledem na minimální rozměry při magnetickém upínání na daném stoji a také, aby se zbytečně neplýtvalo materiálem. Z toho vzešly rozměry 600 x 440 x 40 mm. V desce jsou vytvořeny čtyři otvory o průměru 55 mm, které jsou dále osazeny pro uložení držáku vodicích pouzder. Uprostřed je otvor o průměru 56 mm, pomocí kterého je ovládán vyhazovač.



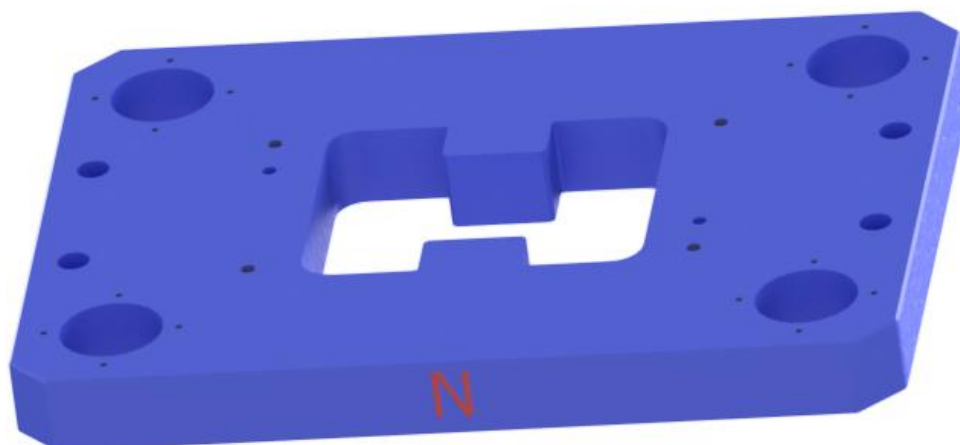
Obr. 56 Horní základní deska.

- Spodní základní deska (obr. 57) – je vyrobena z konstrukční oceli 11 503. S ohledem na magnetické upínání stroje byla zvolena velikost desky o rozměrech 750 x 590 x 50 mm. V základové desce jsou upevněny čtyři vodící sloupky, které slouží k přesnému vedení zbylých částí nástroje. Pro tyto sloupky jsou v desce předvrtané díry o průměru 50 mm. Dále jsou tam otvory o průměru 32 mm, pro ovládací tyče spodního přidržovače stroje, otvor se závitem M14 pro připevnění distančních tyčí a otvory se závitem M6 pro upevnění montážních dorazů. Velmi důležité je vyfrézované zahloubení uprostřed desky a to z důvodu přesného uložení držáku tažníku pro druhý tah. Pro připevnění je zde šest otvorů se závitem M12.



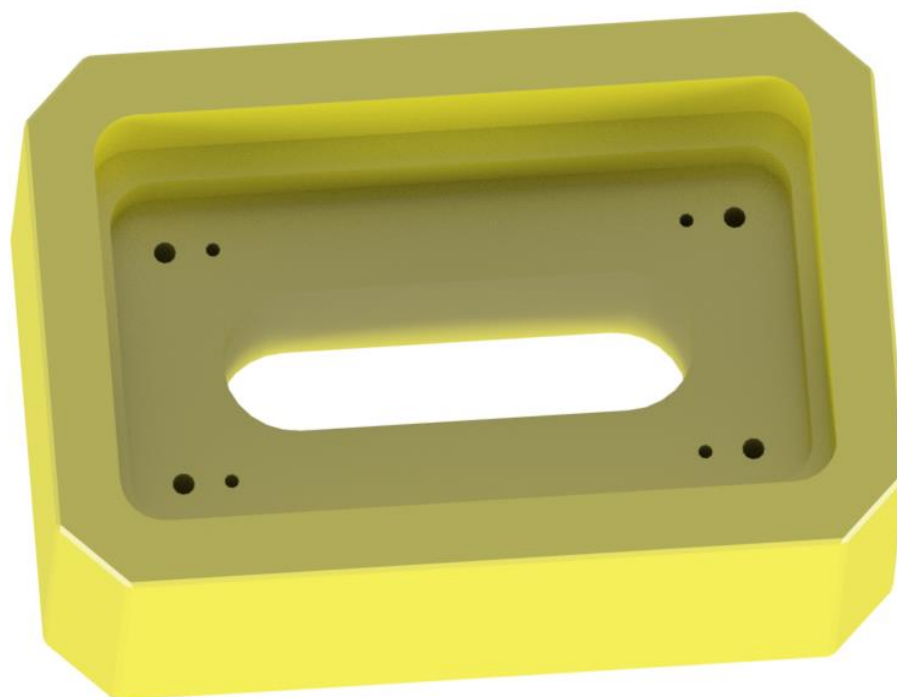
Obr. 57 Spodní základní deska.

- Deska přidržovače (obr. 58) – zaručuje vedení střední části nástroje. Z toho důvodu je osazena čtyřmi vodícími pouzdry. Má obdélníkový tvar o rozměrech 600 x 440 mm a výšce 55 mm, kde jeho rohy jsou zkoseny o 30 x 45° mm. Uprostřed desky je vyfrézovaný otvor pro průchod tažníku prvního tahu a dále jsou vytvořeny na kratších stranách čtyři otvory o průměru 22,5 mm, ve kterých jsou vedeny distanční jednotky. Do desky se usadí přidržovač pomocí čtyř šroubů M12 x 40 mm a vystředěn je dvěma středícími kolíky o poloměru 5 mm a délce 50 mm. Tyto kolíky mají uprostřed závit pro lepší demontáž. Deska je vyrobena z konstrukční oceli 11 503.



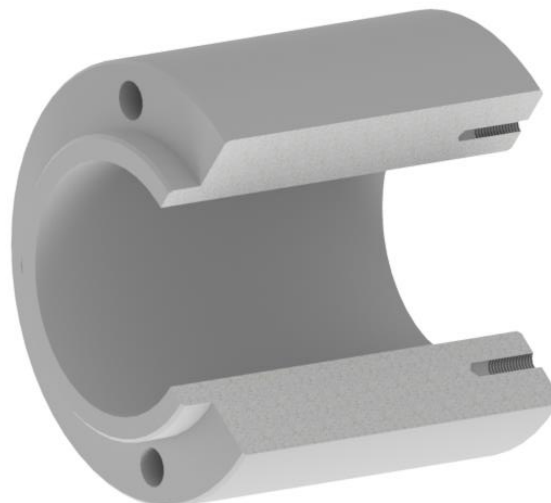
Obr. 58 Deska přidržovače prvního tahu.

- Držák tažnic (obr. 59) – je nejdůležitějším dílem horní části nástroje a bude vyroben z oceli 19 520. Jeho základní tvar lze specifikovat jako kvádr o rozměrech 380,5 x 250 x 162 mm. Z důvodu bezpečnosti obsluhy jsou zkoseny hrany o hodnotu 30x45° mm. Ze spodní strany je do těla vyfrézované uložení pro tažnice a také se zde nachází vedení vyhazovače. Do těla držáku jsou přišroubovány tažnice obou tahů, kde pro tažnici pro první tah jsou připraveny čtyř otvory se závitem M12 a pro druhý tah také čtyřmi závity, ale o velikosti M8. Celek je připevněn k horní základní desce šesti šrouby M12 x 45 mm a jeho ustavení zaručují dva středící čepy o průměru 22 mm, které jsou připevněny pomocí šroubu M16 x 55 mm



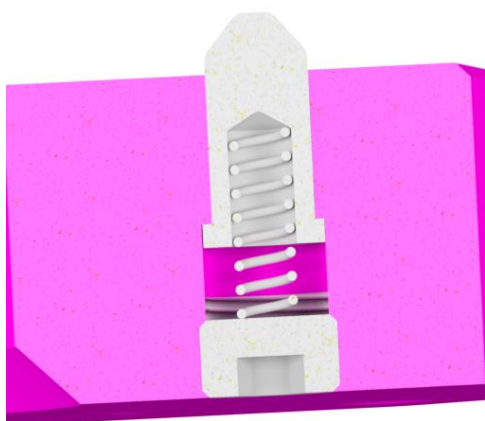
Obr. 59 Držák tažnic.

- Držáky vodicích pouzder (obr. 60) – používají se z důvodu prodloužení délky vedení, kterou se zaručí, že při sevřeném nástroji nepřesahují vodicí sloupky horní základovou desku. Mají válcový tvar, kde vnější průměr je 122 mm a vnitřní 70 mm. Celková výška pouzdra je 116,5 mm. Připevňují se do horní desky čtyřmi šrouby s vnitřním šestihranem o rozměrech M10 x 110 a jejich přesnou polohu zaručuje osazení v horní části. Do těchto držáků jsou poté připevněny vodicí pouzdra horní části, která zaručují přesné vedení během tažení. Jsou vyrobeny z konstrukční oceli 11 503.



Obr. 60 Držáky vodicích pouzder.

- Zakládací kolíky – slouží pro správné založení přístřihu před tažením a jsou vyrobeny z konstrukční oceli 11 503. Celý systém se nachází ve vyfrézovaném otvoru v přídržovači a skládá se ze zmíněného kolíku, pružiny a závitové zátky, viz obrázek 61. Funkce je taková, že při dosednutí tažnice (I. tah) na materiál se kolík zatlačí do přídržovače a tam zůstane po celou dobu operace. Po odlehčení se vrátí do původní pozice, aby mohl být založen nový přístřih. Jeho tvar je válcový o vnějším průměru 13,5 mm a celkové výšce 30,3 mm. Uprostřed je vytvořen otvor o průměru 8,5 mm, který vede pružinu. Horní poloha kolíku je zaručena jeho osazením. Předběžné stlačení pružiny a jeho spodní polohu zajišťuje zátka se závitem M18, která je našroubovaná v přídržovači. Podrobnější informace o pružině jsou uvedeny v příloze 5. Model systému lze vidět na obrázku 62.

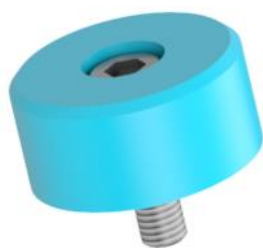


Obr. 61 Řez zakládacím kolíkem.

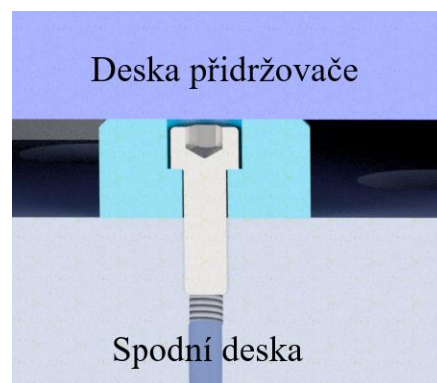


Obr. 62 Model zakládacího kolíku.

- Dorazy – jsou v práci dvojího druhu a to:
 - Montážní dorazy (obr. 63), které jsou vyrobeny z konstrukční oceli 11 503, jelikož doraz je využit pouze při montáži a demontáži nástroje na lis a to tak, že se o něho opře deska přídržovače, čímž se zamezí případné kolizi částí nástroje mezi sebou. Tvar dorazu je válec o průměru 50 mm a výšce 23,7 mm, který je připevněn do spodní desky šroubem M6 x 30 mm. Výše popsané použití a připevnění lze vidět na obrázku 64.

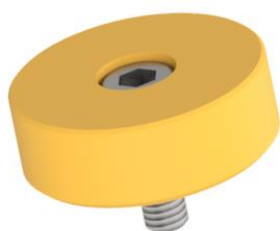


Obr. 63 Model montážního dorazu

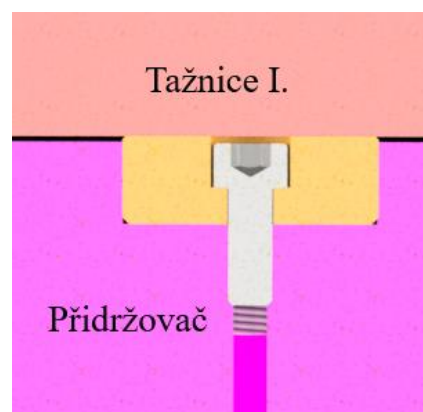


Obr. 64 Řez montážním dorazem.

- Dosedací doraz (obr. 65) se nachází na přídržovači a je o něho opřena tažnice při prvním tahu. Díky tomu je zajištěna po celou dobu tahu konstantní mezera mezi tažnicí a přídržovačem a nedochází k rozlisování konců výtažku, viz obrázek 66. Z důvodu častého namáhání a opotřebování dorazu byla zvolena nástrojová ocel 19 520. Tvar je opět válcový a jeho vnější průměr je 35 mm a výška 12 mm. Uprostřed je vytvořeno osazení s otvorem, které slouží pro šroub s vnitřním šestihranem a ten připevňuje doraz do přídržovače. Velikost šroubu je M6 x 16 mm, kde jeho přesné uložení je zajištěno vyfrézovaným otvorem v přídržovači.



Obr. 65 Model dosedacího dorazu.



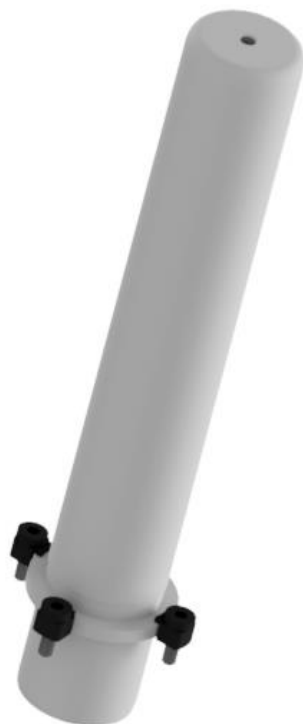
Obr. 66 Řez dosedacím dorazem.

- Distanční jednotky (obr. 67) – jsou zde z důvodu, aby při zpětném pohybu beranu nebyla deska přídržovače vytažena z vodicích sloupků. Složena je ze tří dílů - šroubu o velikosti M14 a délce 240 mm, na který je nastrčena hlazená trubka o velikosti $\text{Ø}22 \times 2,5 - 209 \text{ mm}$ a poslední částí je kruhová podložka, která se nachází mezi hlavou šroubu a čelem trubky. Podložka má vnější průměr 35 mm a výšku 6 mm, obvod je zkosení o hodnotu $2 \times 45^\circ \text{ mm}$ a to z důvodu bezpečnosti obsluhy. Takto připravený celek je nutné protáhnout deskou přídržovače a přišroubovat na spodní základní desku.



Obr. 67 Distanční jednotka.

- Vodicí sloupky a pouzdra – zahrnují malou skupinu nakupovaných dílů a jsou vybrány z katalogu společnosti FIBRO. Vodicí sloupky (obr. 68) byly vybrány s katalogovým označením ECO-LINE o průměru 50 mm. Připevnění do spodní desky je zajištěno pomocí třech držáků vedení a třech šroubů M6 x 20 mm, které jsou součástí objednaných sloupků, viz obrázek 68 (černé šroubky s držáky). V příloze 6 jsou uvedeny další rozměry a informace pro dané sloupky. V nástroji jsou dva typy vodicích pouzder s bronzovou výstelkou (obr. 69), které se liší pouze svojí délkou. Připevňují se stejně jako vodicí sloupky pomocí dodaných držáků a šroubů o velikosti M6 x 20 mm. Rozměry a přesné označení vodicích pouzder se nachází v příloze 7.



Obr. 68 Vodicí sloupek.



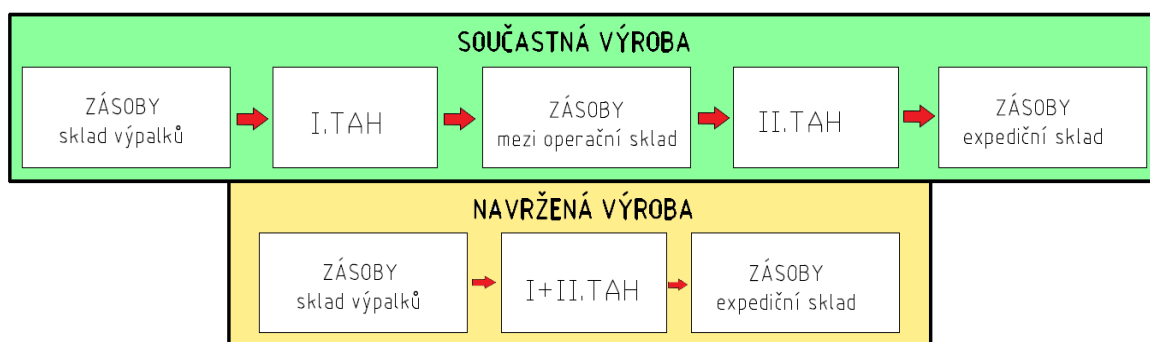
Obr. 69 Vodicí pouzdro.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [8]

Pro ověření správnosti vybrané technologie je nutné provést ekonomické zhodnocení, kde budou vypočteny úspory, které vzniknou sloučením tažných operací. Ty se pak porovnají s pořizovací cenou nového nástroje a bude určena efektivita navržené výroby.

Společnost ACO si nepřeje, aby v této veřejné práci byla uvedena konečná cena odtokové vpusti, jelikož ta není pevně fixována a řeší se individuálně s každým zákazníkem. Proto bude počítáno pouze s minutovou sazbou stroje, ve které jsou zahrnuty veškeré provozní a výrobní režie. Jedná se pouze o orientační sazbu, jelikož přesná hodnota nemůže být zveřejněna. Dále je nutné uvést, že veškeré ceny jsou bez DPH.

Postup výpočtu bude takový, že nejdříve se zjistí celkový výrobní čas předchozí technologie, kde se první a druhý tah vytvářel na jiném nástroji. Poté se vypočte výrobní čas na navrženém sloučeném nástroji a následně se provede porovnání s předchozí metodou. Ovšem důležitým faktem je, že celková roční produkce (50 000 kusů) není vyráběná najednou. Proto byla stanovena výrobní dávka, která je 1 000 kusů. Dále s tím souvisí nutnost zohlednění zásob, které mají vliv na celkový výrobní čas. Pokud by nebyly uvažovány, nevznikl by čas čekání na spuštění druhého tahu a tím by byl ovlivněn takt výroby. Schéma výpočtu je zobrazeno na obrázku 70.



Obr. 70 Schéma metody výpočtu [8].

Před samotným výpočtem lze se určit jednotlivé faktory, které budou následně použity pro výpočty. Prvním důležitým faktorem je, že stroj bude obsluhovat jeden pracovník. Dále se bude počítat se třísměnným výrobním provozem, kde jedna směna bude mít sedm pracovních hodin. Výše zmíněné informace a technologické časy jsou pro lepší přehlednost uvedeny v tabulce 10.

Tab. 10 Přehled stejných faktorů pro výpočet [8].

Popis činnosti	Označení	Hodnota
Počet pracovníků	Nč [ks]	1
Výrobní dávka jedné série	N _{dáv} [ks]	1 000
Počet směn	N _s [-]	3
Hodinový fond 1. směny	N _{SHOD} [hod]	7
Výrobní čas I. tahu	T _{A1} [min]	0,35
Výrobní čas II. tahu	T _{A2} [min]	0,35
Seřizovací čas I. tahu	T _{B1} [min]	15
Seřizovací čas II. tahu	T _{B2} [min]	15
Seřizovací čas I+II. tahu	T _{B12} [min]	15

Z hodnot v tabulce 10 lze vypočítat pracovní čas jedné směny v minutách, který bude také stejný pro všechny následující výpočty.

$$N_{SMIN} = N_{SHOD} \cdot 60 = 7 \cdot 60 = 420 \text{ min} \quad (4.1)$$

- Celkový potřebný čas pro jednu dávku před sloučením – se vypočítá na základě principu zobrazeném na obrázku 70, ale nejdříve se musí zjistit výsledné časy výroby každého tahu.

- Výrobní a seřizovací čas pro jednu dávku u prvního tahu:

$$\begin{aligned} T_{CI} &= \frac{(T_{A1} \cdot N_{dáv}) + T_{B1}}{N_{SMIN}} \\ &= \frac{(0,35 \cdot 1\,000) + 15}{420} = 0,87 \text{ směny/dávku} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Výroba prvního tahu jedné dávky zabere 0,87 směny.

- Výrobní a seřizovací čas pro jednu dávku u druhého tahu:

$$\begin{aligned} T_{CII} &= \frac{(T_{A2} \cdot N_{dáv}) + T_{B2}}{N_{SMIN}} \\ &= \frac{(0,35 \cdot 1\,000) + 15}{420} = 0,87 \text{ směny/dávku} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Výroba druhého tahu jedné dávky zabere 0,87 směny.

V obou tazích vyšel stejný výrobní čas, a proto i čas čekání zásob se bude rovnat této hodnotě, tedy $T_{ZI} = 0,87$ směny. Následně lze vypočítat celkový čas výroby před sloučením z:

$$\begin{aligned} T_{12} &= T_{CI} + T_{CII} + 3 \cdot T_{ZI} \\ &= 0,87 + 0,87 + 3 \cdot 0,87 = 4,35 \text{ směny/dávku} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Výroba jedné dávky výrobků před sloučením zabrala 4,35 směny.

- Celkový potřebný čas pro jednu dávku po sloučení – se vypočte také na základě výše uvedeného schématu (obr. 70). Před samotným výpočtem se musí zjistit čistý výrobní čas navržené operace a z něho potom výsledná doba zpracování i se seřízením.

- Čistý výrobní čas sloučené operace – bude odhadnut na základě praktických zkušeností, a to tak, že se sečtou výrobní časy obou operací a zmenší se o 25 %.

$$\begin{aligned} T_{A12} &= (T_{A1} + T_{A2}) \cdot 0,75 \\ &= (0,35 + 0,35) \cdot 0,75 = 0,53 \text{ min} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Potřebný výrobní čas na navrženém nástroji pro jeden kus výrobku je 0,53 minut.

- Výrobní a seřizovací čas pro jednu dávku:

$$\begin{aligned} T_{CI+II} &= \frac{(T_{A12} \cdot N_{dáv}) + T_{B12}}{N_{SMIN}} \\ &= \frac{(0,53 \cdot 1\,000) + 15}{420} = 1,3 \text{ směny/dávku} \end{aligned} \quad (4.6)$$

Výrobní dávka bude zhotovena za 1,3 směny.

Celkový čas potřebný pro výrobu jedné dávky je 1,3 směny a tu samou hodnotu lze použít pro čekání zásob, tedy: je $T_{ZI+II} = 1,3$ směny.

$$T_{ZI+II} = 1,3 \text{ směny}$$

Nyní lze vypočítat celkový čas výroby po sloučení:

$$\begin{aligned} T_{1+2} &= T_{CI+II} + 2 \cdot T_{ZI+II} \\ &= 1,3 + 2 \cdot 1,3 = 3,9 \text{ směny/dávka} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Výroba jedné výrobní dávky po sloučení bude trvat 3,9 směny.

Následně lze pomocí výše spočítaných hodnot zjistit úporu, kterou přineslo sloučení operací z:

$$\begin{aligned} U_{1+2} &= (T_{12} - T_{1+2}) \cdot N_{SHOD} \cdot 60 \\ &= (4,35 - 3,9) \cdot 7 \cdot 60 = 189 \text{ minut} \end{aligned} \quad (4.8)$$

Sloučením operací se ušetří v jedné výrobní dávce 189 minut.

Ovšem dále je nutné zohlednit, že sloučením se uvolní určitá kapacitu lisu, na které poté může probíhat jiná výroba. Úspora kapacity lisu se vypočte:

$$\begin{aligned} U_{LIS} &= \frac{T_{12}}{2} \\ &= \frac{4,35}{2} = 2,18 \text{ směny/dávka} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Pomocí sloučení se ušetří 2,18 směny lisu na jednu výrobní dávku.

Následně lze vypočítat celkovou úsporu pro jednu výrobní dávku a to bude provedeno pomocí minutové sazby lisu, která je $S_{LIS} = 9$ Kč/min.

$$\begin{aligned} U_{dáv} &= [U_{LIS} - (T_{12} - T_{1+2})] \cdot N_{SHOD} \cdot S_{LIS} \cdot 60 \\ &= [2,18 - (4,35 - 3,9)] \cdot 7 \cdot 9 \cdot 60 = 6\,540 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (4.10)$$

Úspora pro jednu výrobní dávku je 6 540 Kč.

Produkce výrobku má narůstající tendenci, je uvažována roční produkce na $N_{ROK} = 50\,000$ kusů. Poté lze vypočítat celkovou úsporu za rok:

$$\begin{aligned} U_C &= \frac{U_{dáv} \cdot N_{ROK}}{N_{dáv}} \\ &= \frac{6\,540 \cdot 50\,000}{1\,000} = 327\,000 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Celková úspora dosažená sloučením operací je 327 000 Kč.

Výrobní cena nástroje byla na ceněna a je $C = 270\,000$ Kč. Lze vypočítat návratnost investice pomocí následujícího vzorce:

$$\begin{aligned} N &= \frac{C}{U_C} \\ &= \frac{270\,000}{327\,000} = 0,83 \text{ roků} \end{aligned} \quad (4.12)$$

Návratnost investice vyšla velice příznivě - po zaokrouhlení na 0,8 roků. Ve firmě je nepředepsané pravidlo, že návratnost investice by měla být menší než dva roky, aby byla investice z ekonomického hlediska efektivní. U navrženého sloučení je hodnota návratnosti pod hranicí jednoho roku, z čeho vyplývá, že došlo k dodržení požadavků společnosti a tím k optimalizaci výroby.

5 ZÁVĚRY

Řešená součást slouží jako odtoková vpust' u sprchového žlabu. V současné době je její základní tvar vyráběn dvěma tažnými operacemi, kde každý tah je proveden na samostatném konvenčním nástroji. Tvar výrobku lze specifikovat jako obdélníkový s úplným zaoblením kratší strany. Součást je vyrobena z austenitické korozivzdorné oceli 17 240 o tloušťce 1 mm. Roční produkce je stanovena na 50 000 kusů.

Při volbě vhodné technologie byl brán ohled na požadavky společnosti, která si přála využít stávající strojní vybavení a současnou výrobu optimalizovat. Proto byla opět vybrána technologie tažení bez ztenčení stěny na konvenčním nástroji, která byla podrobně rozebrána v teoretické části.

Z dodané výkresové dokumentace se stanovil tvar a rozměr přístřihu. Následně byly provedeny technologické a kontrolní výpočty, dle kterých se ověřila nutnost použití dvou tažných operací. Z těchto důvodů byla navržena sloučená operace, která zajistí vytvoření obou tahů na jeden zdvih nástroje a tím se zajistí požadovaná optimalizace. Výroba bude dále pokračovat na hydraulickém lisu Dieffenbacher PO250 II, který je vhodný pro tyto sloučené operace, z důvodu možnosti použití dvou na sobě nezávislých spodních přídržovačů. Pro tento lis byl navržen a zkonstruován potřebný tažný nástroj.

V technicko-ekonomické části byly zjištěny výrobní časy pro předchozí a navrženou výrobu, z kterých následně byla stanovena celková úspora v hodnotě 327 000 Kč za rok. Navržený nástroj bude stát 270 000 Kč. Cena byla poptána u stálého dodavatele společnosti. Z těchto hodnot byla následně vypočítána návratnost investice nového nástroje na 0,8 roků.

Na závěr lze konstatovat, že navrženou výrobou dojde k zefektivnění současné výroby včetně ekonomického přínosu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [36]

1. RÉRYCH, Pavel. *Návrh technologie výroby žlabu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2017. Bakalářská práce. Vysoké Učení Technické v Brně.
2. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
3. SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMINLA. *Speciální technologie tváření*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-214-4406-52.
4. Kbelík lehký. In: *Gastro šance* [online]. Týn nad Vltavou [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.gastrosance.cz/product/kuchyne-nadobi/kbeliky/kbelik-lehky/9882>
5. Steel deep drawing parts. In: *Dasheng* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.nbdsjs.com/ddp1/20170216090258.html>
6. *Steel casing pipe* [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://kknews.cc/tech/3mv6nqa.html>
7. *Kitchen sink* [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.shutterstock.com/search/similar/671203186>
8. *Interní dokumenty společnosti ACO Industries k.s.* Příbyslav, 2019.
9. *ACO Industries k.s.* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.aco-industries.cz/home/>
10. *Prezentace firmy ACO*. Příbyslav, 2016.
11. *ČSN 41 7240: Korozivzdorná austenitická Ocel 17 240 Cr-Ni*. 2015.
12. NEREZOVÁ OCEL 1.4301. In: *INOX, spol. s r. o. - NEREZOVÝ HUTNÍ MATERIÁL* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>
13. *Atest tažné oceli 1.4301*. Isbergues, Francie.
14. ČADA, CSC, prof. Ing. Radek. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ A SLÉVÁNÍ – TEORETICKÝ ZÁKLAD* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2017-05-17]. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie tváření a slévání - Teoretický základ/02 Text pro e-learning/publikovat/kapitoly/8. OHÝBÁNÍ.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tváření%20a%20slévání%20-%20Teoretický%20základ/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/8.OHÝBÁNÍ.pdf)
15. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
16. Fluid and Rubber Die Forming. In: *OpenLearn* [online]. England [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/fluid-and-rubber-die-forming-guerin-and-hydroform>
17. Reverse Redrawing. In: *Sheet metal drawing process* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://el pinch designs.com/sheet-metal-drawing-process-pdf/sheet-metal-drawing-process-pdf-lovely-deep-drawing-at-getdrawings/>
18. Deep Drawing. In: *Mold Technology* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://mold-technology4all.blogspot.com/2011/08/deep-drawing.html>

19. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-030-0221-4.
20. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 3rd ed. New York, NY: Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0-521-88121-0.
21. MARCINIAK, Zdislaw, John L. DUNCAN a Jack S. HU. *Mechanics of Sheet Metal Forming*. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002, 211 s. ISBN 07-506-5300-00.
22. *Tažení dutých čtyřhraných výtažků*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1967.
23. HELLWIG, Waldemar a Erwin SEMLINGER. *Spanlose Fertigung: Stanzen*. 5., überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden: Vieweg, 1994. Fachbuch der Technik (Vieweg). ISBN 35-284-4042-2.
24. BOLJANOVIC, Vukota. *Metal shaping processes: casting and molding, particulate processing, deformation processes, and metal removal*. New York: Industrial Press, c2010. ISBN 08-311-3380-5.
25. FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. Brno: VUT Brno, 1991. ISBN 80-214-0294-6.
26. ROMANOVSKIJ, V. P. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959. Řada strojírenské literatury.
27. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
28. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
29. *Materials and Desing* [online]. In: . [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://profdoc.um.ac.ir/articles/a/1049192.pdf>
30. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje. Část I. - Tváření*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1987, 112 s.
31. Hydraulic-press. In: *Mechanical Engineering Community* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://mechanical-engg.com/gallery/image/1283-hydraulic-press/>
32. Aplikace maziv na plochy. In: *HENNLICH* [online]. Litoměřice [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/centralni-mazani-a-mazaci-technika-aplikace-maziv-na-plochy-kontaktni-aplikace-11700.html>
33. Understanding Hydraulic Oil Compatibility. In: *Machinery Lubrication* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.machinerylubrication.com/Read/29021/hydraulic-oil-compatibility>
34. *Katalog Springs* [online]. In: . Italy, s. 32 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.eichlercompany.cz/>
35. *Normálie katalog FIBRO* [online]. In: . Germany, 2017, 2017, s. 1324 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <http://fibro.partcommunity.com/3d-cad-models/sso>
36. *Citace PRO* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_5	Tažnost materiálu	[%]
A_C	Celková tažná práce	[J]
A_{CI}	Celková práce v první operaci	[J]
A_{CII}	Celková práce ve druhé operaci	[J]
a_{rd}	Vzdálenost středů zaoblení r_d odpovídající straně "a"	[mm]
b_{rd}	Vzdálenost středů zaoblení r_d odpovídající straně "b"	[mm]
C	Výrobní cena nástroje	[Kč]
C_1	Konstanta závislá na výšce výtažku	[-]
C_2	Konstanta závislá na tření při tažné operaci	[-]
d_r	Průměr zaoblení bočních stěn v rohu	[mm]
d_s	Střední hodnota průměru výtažku	[mm]
e	Eulerovo číslo	[-]
e_i	Součinitel plnosti grafu	[-]
f	Součinitel tření	[-]
F_C	Celková tažná síla	[N]
F_{CI}	Celková tažná síla v první operaci	[N]
F_{CII}	Celková tažná síla ve druhé operaci	[N]
F_p	Síla přidržovače	[N]
F_{t1}	Síla pro tažení imaginárního válce výtažku	[N]
F_{t2}	Síla pro ohýbání rovných stěn výtažku	[N]
F_{td}	Maximální tažná síla na utržení dna výtažku	[N]
F_v	Síla vyhazovače	[N]
h_d	Výška rovné části stěny	[mm]
h_{Fmax}	Výška při, které je dosaženo maximální síly	[mm]
h_i	Hloubka tažení v aktuální operaci	[mm]
h_s	Rozvinutá délka rovných částí	[mm]
h_{sa}	Zmenšení rozvinuté výšky delší strany "a"	[mm]
h_{sb}	Zmenšení rozvinuté délky kratší strany "b"	[mm]
k_m	Koeficient tažné mezery	[-]
L	Součet délek přímých částí výtažku	[mm]
m_1	Součinitel tažení v prvním tahu	[-]
m_n	Součinitel tažení v n-tém tahu	[-]
N	Návratnost	rok
$N_{\check{c}}$	Počet pracovníků	[ks]
$N_{dáv}$	Výrobní dávka jedné série	[ks]
N_S	Počet směn	[-]
N_{SHOD}	Hodinový fond jedné směny	[hod]

N_{SMIN}	Minutový fond jedné směny	[min]
O	Obvod výtažku	[mm]
p_p	Měrný tlak přidržovače	[Mpa]
r	Aktuální poloměr příruby v průběhu tažné operace	[mm]
r_0	Poloměr kruhového přístřihu tvořeného rohy výtažku	[mm]
R_0	Redukovaný poloměr přístřihu	[mm]
r_1	Poloměr válcových částí prvního tahu v rohu výtažku	[mm]
R_1	Redukce průměru přístřihu v prvním tahu	[%]
r_d	Poloměr zaoblení dna výtažku	[mm]
r_i	Poloměr zaoblení v i-tém tahu	[mm]
R_m	Pevnost taženého materiálu v tahu	[Mpa]
r_n	Poloměr válcových částí n-tého tahu v rohu výtažku	[mm]
R_n	Redukce průměru n-tého tahu	[%]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluz	[Mpa]
r_r	Poloměr zaoblení rohu výtažku	[mm]
r_{te}	Poloměr zaoblení tažnice	[mm]
r_{tu}	Poloměr zaoblení hran tažníku	[mm]
r_{tup}	Zaoblení tažníku v posledním tahu	[mm]
s	Tloušťka materiálu	[mm]
S_p	Plocha, kterou přitlačuje přidržovač tažený materiál	[mm ²]
T_{1+2}	Celkový výrobní čas po sloučení	[směna/dávku]
T_{12}	Celkový výrobní čas před sloučením	[směna/dávku]
T_{A1}	Výrobní čas I. tahu	[min]
T_{A12}	Čistý výrobní čas sloučené operace	[min]
T_{A2}	Výrobní čas II. tahu	[min]
T_{B1}	Seřizovací čas I. tahu	[min]
T_{B12}	Seřizovací čas I. + II. tahu	[min]
T_{B2}	Seřizovací čas II. tahu	[min]
T_{CI}	Výrobní a seřizovací čas jedné dávky u prvního tahu	[směna/dávku]
T_{CI+II}	Výrobní a seřizovací čas jedné dávky po sloučení	[směna/dávku]
T_{CII}	Výrobní a seřizovací čas jedné dávky u druhého tahu	[směna/dávku]
tm_1	Tažná mezera v prvním tahu v rovných stěnách výtažku	[mm]
t_{mk}	Jednotná tažná mezera	[mm]
tm_n	Tažná mezera n-tého tahu v rovných stěnách výtažku	[mm]
tm_{r1}	Tažná mezera prvního tahu v místě zaoblených stěn výtažku	[mm]
tm_{rn}	Tažná mezera n-tého tahu v místě zaoblených stěn výtažku	[mm]
T_{ZI}	Čas čekání zásob	[směna/dávku]
T_{ZI+II}	Čas čekání zásob po sloučení	[směna/dávku]
U_{1+2}	Úspora sloučením na dávku	[min]
U_C	Roční úspora	[Kč]
$U_{dáv}$	Celková úspora jedné dávky	[Kč]

U_{LIS}	Úspora kapacit lisu	[směna/dávku]
x	Koeficient zmenšení poloměru r_0	[-]
y	Koeficient zmenšení výšky h_s	[-]
α	Úhel opásání	[rad]
ξ	Lodeho součinitel	[-]
ρ	Poloměr výtažku v řešeném místě	[mm]
σ_1	Napětí v radiálním směru	[Mpa]
σ_2	Napětí ve směru tloušťky plechu	[Mpa]
σ_3	Tangenciální napětí	[Mpa]
σ_d	Deformační odpor	[Mpa]
σ_{dmax}	Maximální hodnota deformačního napětí	[Mpa]
σ_f	Napětí od tření přídržovače	[Mpa]
σ_o	Napětí od ohybu na tažné hraně	[Mpa]
σ_{ps}	Střední hodnota přirozeného přetvárného odporu	[Mpa]
φ_1	Deformace v radiálním směru	[-]
φ_2	Deformace tloušťky stěny normálová	[-]
φ_3	Deformace v tangenciálním směru	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Příklady součástí vyrobených technologií tažení.....	9
Obr. 2	Rozbor liniového odvodnění koupelen	10
Obr. 3	Základní rozměry součástky	10
Obr. 4	Model výtažku po I. tahu	11
Obr. 5	Model výtažku po II. tahu.....	12
Obr. 6	Schéma metody marform.....	13
Obr. 7	Schéma metody hydroform.....	14
Obr. 8	Schéma reversního tažení	14
Obr. 9	Konvenční tažení	14
Obr. 10	Průběh tažení.....	15
Obr. 11	Napjatost nerotačních výtažků.....	15
Obr. 12	Stav napjatosti při tažení.....	16
Obr. 13	Oddělení rohů a vytvoření imaginárního válcového výtažku.....	17
Obr. 14	Stanovení tvaru přístříhu.....	19
Obr. 15	Tažná mezera	20
Obr. 16	Průběh závislosti síly na dráze tažníku	21
Obr. 17	Vliv ohybu na deformační odpor	23
Obr. 18	Řez tažným nástrojem.....	24
Obr. 19	Tažník	25
Obr. 20	Celistvá tažnice	25
Obr. 21	Zaoblení tažníku a tažnice	26
Obr. 22	Defekt zvlněním.....	26
Obr. 23	Úhel přidržovače.....	27
Obr. 24	Princip hydraulického lisu	27
Obr. 25	Ukázka kapalných maziv	28
Obr. 26	Bezkontaktní mazání.....	28
Obr. 27	Kontaktní mazání.....	28
Obr. 28	3D model vpusti po druhém tahu.....	30
Obr. 29	Výpočet tvaru přístřih	31
Obr. 30	Volba přístříhu	32
Obr. 31	Zobrazení odstupňování řešené součásti.....	33
Obr. 32	Schéma pořadí tahů.....	34
Obr. 33	Délka přímých stěn výtažku v prvním tahu	35
Obr. 34	Plocha přidržovače v prvním tahu	36
Obr. 35	Délka přímých stěn výtažku ve druhém tahu.....	37
Obr. 36	Plocha přidržovače ve druhém tahu.....	37
Obr. 37	Přehled jednotlivých silových složek v tažné operaci	38
Obr. 38	Poměr vynaložené práce v jednotlivých tazích.....	38
Obr. 39	Tvar přidržovačů.....	38
Obr. 40	Dieffenbacher PO 250 II.....	39
Obr. 41	Postup tažných operací	39
Obr. 42	Řez nástrojem při dosednutí na přístřih	40

Obr. 43	Řez nástrojem po prvním tahu	41
Obr. 44	Řez nástrojem po druhém tahu	42
Obr. 45	Schéma otevřeného tažidla	43
Obr. 46	Spodní část nástroje	43
Obr. 47	Střední část nástroje	44
Obr. 48	Horní část nástroje	44
Obr. 49	Horní část nástroje v řezu	45
Obr. 50	Tažník pro první tah.....	45
Obr. 51	Tažník pro druhý tah.....	46
Obr. 52	Tažnice pro první tah	46
Obr. 53	Tažnice pro druhý tah	47
Obr. 54	Přidržovač prvního tahu.....	47
Obr. 55	Vyhazovač	48
Obr. 56	Horní základní deska	48
Obr. 57	Spodní základní deska	49
Obr. 58	Deska přidržovače prvního tahu	49
Obr. 59	Držák tažnic	50
Obr. 60	Držáky vodicích pouzder	50
Obr. 61	Řez zakládacího kolíku	51
Obr. 62	Model zakládacího kolíku.....	51
Obr. 63	Model montážního dorazu	51
Obr. 64	Řez montážním dorazem	51
Obr. 65	Model dosedacího dorazu	52
Obr. 66	Řez dosedacím dorazem	52
Obr. 67	Distanční jednotka	52
Obr. 68	Vodicí sloupek	53
Obr. 69	Vodicí pouzdro	53
Obr. 70	Schéma metody výpočtu	54

SEZNAM TABULEK



Tab. 1	Ekvivalentní označení oceli 17 240 [12].....	11
Tab. 2	Vlastnosti austenitické oceli [13].....	11
Tab. 3	Současný TNG postup výroby odtoku k showerline C [8].....	12
Tab. 4	Přídavky na ostřížení [2].....	17
Tab. 5	Max. výška v závislosti na poloměru zaoblení rohu v prvním tahu [19].....	19
Tab. 6	Doporučené materiály jednotlivých součástí [8].....	25
Tab. 7	Základní parametry lisu PO 250 [8].....	39
Tab. 8	Přehled nastavení ovládacích tyčí při I. tahu	40
Tab. 9	Přehled nastavení ovládacích tyčí při II. tahu	41
Tab. 10	Přehled stejných faktorů pro výpočet [8].....	54

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Atest materiálu 1.4301 [13]]
Příloha 2	Materiálový list dle ČSN 41 7240 [11]
Příloha 3	Diagram počtu tahů u hranatých výtažků [26]
Příloha 4	Parametry tvářecího stroje [8]
Příloha 5	Rozměr pružiny zakládacího kolíku [34]
Příloha 6	Rozměry vodících sloupků [35]
Příloha 6	Rozměr vodících pouzder [35]

SEZNAM VÝKRESŮ

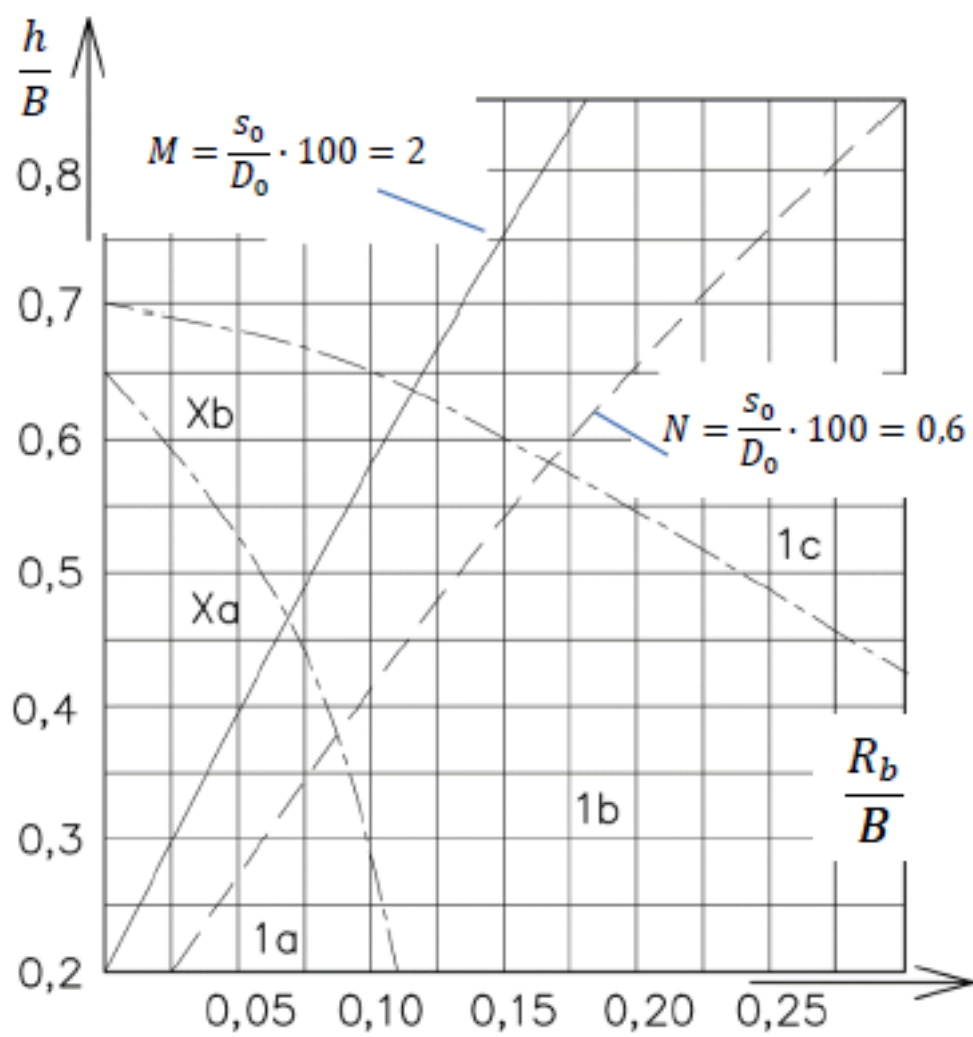
VÝTAŽEK	DP-44-64-627-VV
SESTAVA	DP-44-64-627-00
TAŽNÍK I. TAH	DP-44-64-627-08
TAŽNICE I. TAH	DP-44-64-627-05

		MILL CERTIFICATE EN EN 10204:1 CERTIFICAT DE RECEPTION NF EN 10204:1 ABNAHMEPRUEFZEUGNIS DIN EN 10204:1				N-Ni-N 12001816-01 V01								
Aperam - Sidex France Aperam Sidex pas. 62330 Idreugas FRANCE		Angewiesen im Einverständnis mit dem TÜV SÜD - Auf Gegenzeichnung wird versichert. Issued in accordance with TÜV SÜD - Verifiziert ist der Lieferant. Etabli en accord avec le TÜV SÜD - Dépend de certification. AD 2000 Merkmal: W3 - W10 - P30 5/23 SC				A00								
Manufacturer's work order number N° de la commande usine productrice Werkbauftragnummer 80071017 01-01 2021		Supplier's mark Cachet de l'usager Stamp des Werkstättenbestellungen		Purchaser's order reference Client n° ou des livraisons Bestell- und/oder Liefernummer		Purchaser's order number N° de commande client Kundenbestellnummer 01P-02/2011								
Product - Produit - Erzeugnis 1042-HOLLIS-COIL 1042-HOLLIS-A-FROND KALTDRAWLSTREIFEN		Steel designation Désignation de l'acier Stahlschreibweise EN 10087-2 08 - 1.4301 - 1.4301 ASTM A 364 / 36 - TYPE 364L - TYPE 364 AISI 304 / 304 - TYPE 304L - TYPE 304 EN 10088-2 / 02 - 1.4301 - 1.4301	Finish Présentation Ausführung 2B 2B 2B 2B	Steelmaking process Mode d'élaboration de l'acier - Stahlerzeugungsverfahren Production process: Electric arc furnace - VOD/AOD - Continuous casting Proc.fabric: Hot line - VOD/AOD - Continuous casting Produktionsablauf: Elektro-Ofen - VOD/AOD - Stranggießerei		Customer article number Numéro client Artikelnummer des Kunden								
Identification of the product Identification du produit - Identifizierung des Erzeugnisses M31-703 IN ISL-CHIM. MADE IN FRANCE		Dimensions Dimensions - Abmessungen	Thickness Epaisseur - Dicke 1,500 mm	Width Largeur - Breite 1300,00 mm	Length Longueur - Länge	Number of pieces N° de pièces - Stückzahl 1								
Chemical analysis Analyse chimique - CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG		C 0,031	Si 0,75	Mn 2,00	Ni 8,00 10,50	Cr 10,00 10,50	Mo 0,00	Ti 0,00	N 0,0050	S 0,0045	P 0,0035	C03 C04 C05 C06 C07 C08 C09 C10 C11 C12 C13 C14 C15 C16	Net weight Poids net - netto Gewicht 9980 KGS	
Test to verify both and quality have been carried out - OK Tests de vérification de la conformité de la matière effectués - OK Versuchsgegenstände wurde durchgeführt - OK		Location (1) Lieu de prise d'échantillon	Mechanical properties - Propriétés mécaniques - Mechanische Werte	Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehnung	Tensile strength Résistance à la traction Zugfestigkeit	Elongation after fracture Allongement après rupture Bruchdehnung	Hardness Dureté Échelle	Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehnung	Tensile strength Résistance à la traction Zugfestigkeit	Elongation after fracture Allongement après rupture Bruchdehnung	Hardness Dureté Échelle	Yield or proof strength Limite d'élasticité Dehnung	Tensile strength Résistance à la traction Zugfestigkeit	Elongation after fracture Allongement après rupture Bruchdehnung
Location of the sample (2) Origines des échantillons Lage der Probenabholstellen 1. Front - Deva - Antong 2. Back - 70 - 720 3. Middle - N010 - N10		The delivery is in accordance with the order La livraison est conforme aux exigences de la commande Die Lieferung entspricht dem Bestellbeleg	Packing list Avis d'expédition Lieferschein/Nummer 1302071007-15255	Organizational inspection Organisation's service control Überwachungsleistung	Service Métallurgique	Date 01/02/2012	Signature M. THOMAS							
Direction of the test pieces (2) Orientation des éprouvettes Orientierung 1. Transverse - Transv - Quer 2. Longitudinal - Long - Längs		Marking, inspection and measurement - without objection Contrôle de marquage, d'appui et de dimension - sans réserve Pruefung der Stempelung, des Oberflächenspektrums und der Abmessungen - ohne Beanstandung	The Inspector Le responsable Der Werkstättensammler											

ČSN 41 7240		Korozivzdorná austenitická ocel					OCEL	
							17 240	
Chemické složení [hm. %]								
C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S		
max 0,07	max 2,0	max 1,0	17,0–20,0	9,0–11,5	max 0,045	max 0,030		
Polotovary								
[1] tyče	[3] trubky bezošvé							
[2] plechy	[4] tlusté plechy							
Mechanické vlastnosti								
Polotovary	[1]			[2]				
Rozměr t, d [mm]	< 60	60–100	100–150	< 10	10–30			
Stav	A			A				
Mez kluzu R_p 0,2 [MPa] min	186			186				
Mez pevnosti R_m [MPa]	490–686			490–686				
Tažnost A_5 [%] min	50	45	40	37	34			
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²] min	podél 196	podél 137 napříč 98	podél 98 napříč 68	–		podél 137 napříč 98		
Polotovary	[3]			[4]				
Rozměr t, d [mm]	do 89			30–80				
Stav	A			A				
Mez kluzu R_p 0,2 [MPa]	186			181				
Mez pevnosti R_m [MPa]	490–735			481–672				
Tažnost A_5 [%]	40			37				
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²] min	–			podél 132 napříč 98				
Modul pružnosti E [GPa] za zvýšených teplot	20 °C	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	
	199	194	186	179	172	164	–	
Nejnižší mez kluzu R_p 0,2 [MPa] za zvýšených teplot	20 °C	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	400 °C
	186	177	157	142	127	118	109	98
Fyzikální vlastnosti								
Hustota ρ [kg.m ⁻³] . 10 ³ při 20 °C	Měrná tepelná kapacita c_p [J.kg ⁻¹ . K ⁻¹]		Tepelná vodivost λ [W.m ⁻¹ . K ⁻¹]			Rezistivita ρ [Ω.m]		
7,9	500		14,7			730.10 ⁻⁹		
Teplotní součinitel roztažnosti α [K ⁻¹] . 10 ⁻⁶	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C			
	16	17	17	18	18			

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

Porovnání se zahraničními materiály					
ISO		EURO		Německo	
Type 11	ISO 683/10-86	X5CrNi18-10	EN 10088/1-3,-95	X5CrNi18-10 X5CrNi18-10 X5CrNi18-10 X5CrNi18-10 X5CrNi18-10	DIN 17456-85 DIN 17440-85 DIN 17441-85 DIN 17458-85 DIN EN 10088 1-3-95
Francie		Velká Británie		Rusko	
Z6CNT18-09 X5CrNi18-10	NF A35-559-93 NF EN 10088/1-3-95	X5CrNi18-10 304S31 304S15	BS EN 10088/1-3-95 BS 1501/3-90 BS 1554-90	08Ch18N10	GOST 5632-72
USA		Japonsko		Kanada	
Type 304 Type 304F Type 304	ASTMA276-90 ASTMA162 ASTMA167	SUS304 SUSF304 SUS 304TKA	JIS G3448-88 JIS G3214-91 JIS G3446-91	-	-
Itálie		Rakousko		Švédsko	
X5CrNi 18-10 X5CrNi18-10 X5CrNi18-10KT X5CrNi18-10KG X5CrNi18-10 KW	UNI 6904-71 UNI EN10088/1-3-95 UNI 7660-77 UNI 7660-77 UNI 7660-77	X5CrNi1810S X5CrNi1810KKW	ÖNORM M3210-88 ÖNORM M3121-91	2333-02 2332	SS142333 SS142332
Polsko		Maďarsko		Norsko	
08H18N9	PN H86020-71	KO33	MSZ 4360-87	14350 14355 14360	NS 14350 NS 14355 NS 14360
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
X4CrNi189 X4CrNi189	SFS 725 SFS 725	-	-	X5CrNi1810 X5CrNi1810	UNE 36-087-89 UNE EN 10088/1-3-95
Austrálie		Čína		Rumunsko	
304 304	AS 1449-94 AS 2837-86	0Cr18Ni9	GB 4239-91	5NiCr180	STAS 3583-87
Bulharsko		Brazílie		-	
08Ch18N10	BDS 6738-72	E 304 V-304	Bt. 400 Bt. 800	-	-

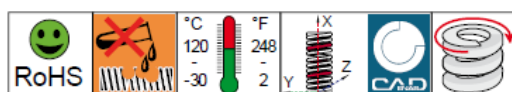
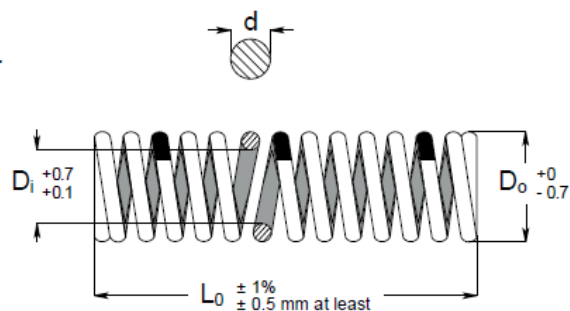


Beran	
Lisovací síla maximální	2 500 kN
Zpětná síla maximální	300 kN
Zdvih	900 mm
Sevřená výška s magnetickými deskami – obr.1	200 mm
Sevřená výška bez magnetických desek - platí jen pokud je specifikováno v zadání; obr.1	200 mm
Rychlosti beranu	
Rychlost přibližovací max.	340mm/sec
Rychlost zpětná do 140 kN	300mm/sec
Pracovní rychlost max.	37mm/sec
Pracovní rychlost při maximální síle	17mm/sec
Rozměry pracovního prostoru	
Upínací plocha stolu	1 500 x 1 200 mm
Upínací rozměry beranu	1 500 x 1 200 mm
Spodní přídržovač (vyhazovač) vnitřní	
Přídržovací síla max.	500 kN
Přídržovací síla min.	20 kN
Vyhazovací síla max.	60 kN
Zdvih	300 mm
Plocha přídržovače pro kolíky cca.	250x250 mm
Rychlost vyhazovací max.	120mm/sec
Rychlost zpětná max.	110mm/sec
Spodní přídržovač (vyhazovač) vnější	
Přídržovací síla nastavitelná max.	1000 kN
Přídržovací síla nastavitelná min.	35 kN
Vyhazovací síla max.	120 kN
Plocha přídržovače	1300 x 810 mm
Rychlost vyhazovací max.(diferenciální zapojení)	63 mm/sec
Rychlost zpětná max.	73 mm/sec
Horní přídržovač – vyhazovač	
Přídržovací síla max.	200 kN
Přídržovací síla min.	8kN
Vyhazovací síla max.	200 kN
Zdvih	200 mm
Rychlost vyhazovací max.	100 mm/sec
Rychlost zpětná max.	100 mm/sec

Round Wire

SERIES L

- IT** Molle non colorate con oliatura antiruggine.
- EN** Not painted springs with anti-rust lubricant.
- DE** Unlackierte Federn mit Rostschutzölung.
- FR** Ressorts non-peints avec huilage antirouille.
- ES** Muelles no pintados con lubricación antióxido.
- PT** Molas não coloridas com oleamento anti-ferrugem.



L SERIES

Round Wire

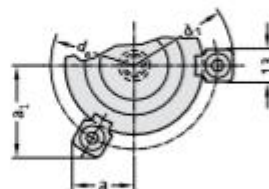
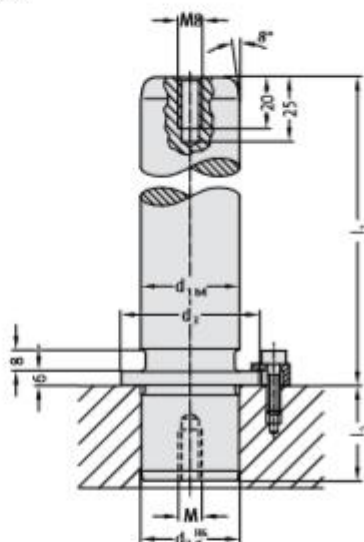
Code	D _o D _i		L ₀	R	A		B		C		D	
	Outside Diameter	Inside Diameter			Free Length	Spring Constant	16% L ₀	24% L ₀	28% L ₀	32% L ₀		
	d	d	± 10%	± 10%	+ 3.000.000	~ 1.500.000	300 - 500.000	100 - 200.000				
	mm	mm	mm	N/mm	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N
L 8 - 015			15	12.75	2.4		3.6		4.2		4.8	
L 8 - 020			20	9.81	3.2		4.8		5.6		6.4	
L 8 - 025	8	5,4	25	7.85	4	31.4	6	47.1	7.0	55.6	8	62.8
L 8 - 030			30	6.86	4.8		7.2		8.4		9.6	
L 8 - 035			35	5.88	5.6		8.4		9.8		11.2	
L 8 - 040	1,2		40	4.9	6.4		9.6		11.2		12.8	



Vodící sloupek s osazením "ECO-LINE"



2021.29.



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

Provedení:
broušené
Středící důlky nejsou souosé s vnějším
průměrem.

Upozornění:
Vodící sloupky jsou určeny pouze pro použití
se samomaznými pouzdry!
Na zajištění se používají 3 držáčky, od
Ø d₁ = 38 mm 4 držáčky, které jsou obsaženy
v dodávce (Objednáací číslo: 207.45 - držáčky
včetně šroubků s váčkovou hlavou dle
DIN 6912, hlavy Ø 13).
Dle možnosti je také možné použít upevnění s
centrálním šroubem 2021.43. (objednat
samostatně).
☞ Výběr vhodného vedení viz. výběrová
tabulka na začátku kapitoly D.
☞ Směrnice pro vestavbu / Tabulky rozměrů
na konci kapitoly D.

Vodící sloupek s osazením "ECO-LINE"

2021.29. Vodící sloupek s osazením "ECO-LINE"

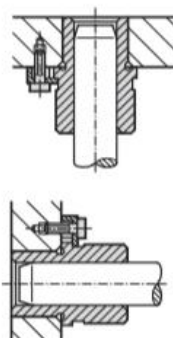
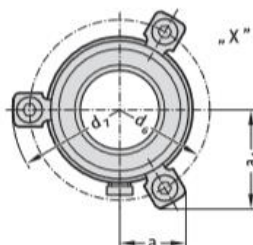
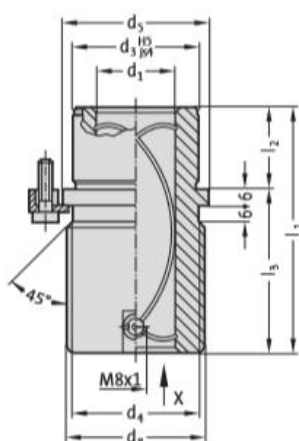
	15 16	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60 63	80
d ₁	15 16	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60 63	80
d ₂	22	25	32	40	50	63	80	95
d _e	33	36	43	51	61	74	91	106
d _r	45,7	48,7	55,7	63,7	73,7	86,7	103,7	118,7
a	15,9	16,6	18,4	20,4	29,2	33,8	39,8	46,2
a ₁	21,7	23	26	29,5	29,2	33,8	39,8	46,2
M	M8	M8	M8	M8	M8	M8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



Vodící pouzdra s osazením a bronzovou výstelkou, ISO 9448-6

2081.81.

Příklad montáže

**Materiál:**

1.0503

Ø d₃ a d₈ indukčně kalený 500+100 HV 10**Provedení:**

Vodící plochy s bronzovou výstelkou, upínací průměr jemně broušený.

Upozornění:Na zajištění se používají 3 držáčky, od Ø d₁ = 38 mm 4 držáčky, které jsou obsaženy v dodávce (Objednací číslo: 207.45 - držáčky včetně šroubků s válcovou hlavou dle DIN 6912, hlavy Ø 13).

Popis kluzného vedení na začátku kapitoly D.

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

Směrnice pro vestavbu / Tabulky rozměrů na konci kapitoly D.

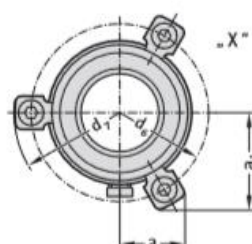
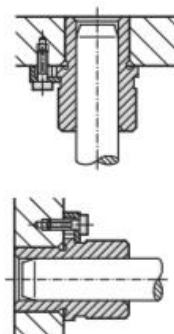
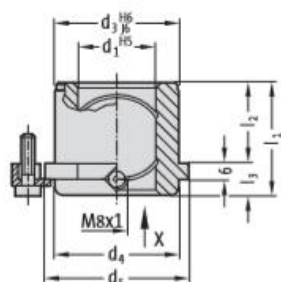
2081.81. Vodící pouzdra s osazením a bronzovou výstelkou, ISO 9448-6

	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60 63	80							
d ₁	19	20	24	25	30	32	38	40	48	50	60	63	80	
připustná odchylka	+0.003/+0.012		+0.003/+0.012		+0.004/+0.015		+0.004/+0.015		+0.004/+0.015		+0.005/+0.018		+0.005/+0.018	
d ₂	32	40	48	58	70	85	105							
d ₄	32	40	48	58	70	85	105							
d ₅	40	48	56	66	80	95	118							
d ₆	52	60	67	77	91	106	129							
d ₇	64.7	72.7	79.7	89.7	103.7	118.7	141							
d ₈	39	46	53	63	77	92	115							
a	20.9	22.7	24.4	35.3	40.2	45.5	54.5							
a ₁	30.3	33.4	36.4	35.3	40.2	45.5	54.5							
l ₁	59	79	93	108	127	150	150							
l ₂	23	23	30	37	47	60	60							
l ₃	36	56	63	71	80	90	90							

Vodící pouzdra s osazením "ECO-LINE", s bronzovou vložkou, ISO 9448-6

2081.95.

Příklad montáže

**Materiál:**ocel, d₃ indukčně kalená**Provedení:**Vodící plochy - bronzová vložka,
upínací průměr jemně broušený.**Upozornění:**

Na zajištění se používají 3 držáčky, od $\varnothing d_1 = 38$ mm 4 držáčky, které jsou obsaženy v dodávce (Objednací číslo: 207.45 - držáčky včetně šroubků s válcovou hlavou dle DIN 6912, hlavy $\varnothing 13$).
Výběr vhodného vedení viz. výběrová tabulka na začátku kapitoly D.
Směrnice pro vestavbu / Tabulky rozměrů na konci kapitoly D.

2081.95. Vodící pouzdra s osazením "ECO-LINE", s bronzovou vložkou, ISO 9448-6

d ₁	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60 63	80
d ₂	32	40	48	58	70	85	105
d ₄	32	40	48	58	70	85	105
d ₅	40	48	56	66	80	95	118
d ₆	52	60	67	77	91	106	129
d ₇	64,7	72,7	79,7	89,7	103,7	118,7	141
a	20,7	22,65	24,4	35,3	40,2	45,5	54,4
a ₁	30	33,4	36,4	35,3	40,2	45,5	54,4
l ₁	35	35	42	52	65	80	80
l ₂	23	23	30	37	47	60	60
l ₃	12	12	12	15	18	20	20