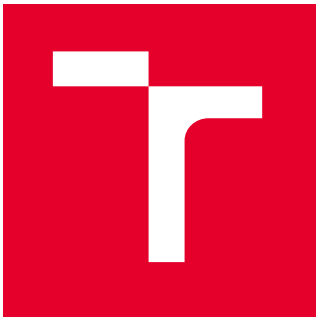


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY KRYTU MOTOCYKLU

MANUFACTURING OF THE MOTORCYCLE COVER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Martin Jindrák**

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. Jan Řiháček, Ph.D.**

SUPERVISOR

BRNO 2023

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	**Martin Jindrák**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	**Ing. Jan Řiháček, Ph.D.**
Akademický rok:	2022/23

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

Návrh výroby krytu motocyklu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o výrobu dílce pomocí technologie plošného tváření. Na tuto oblast bude rovněž vypracována literární rešerše. Dále bude práce obsahovat návrh technologického postupu výroby součásti, návrh nástroj a závěry se zhodnocením navrhované technologie. Vzhledem k řešené problematice se rovněž předpokládá využití numerické simulace a provedení analýzy vyrobitelnosti.

Cíle bakalářské práce:

– zhodnocení možností výroby,
– vypracování aktuální literární rešerše zvolené výrobní technologie,
– návrh výroby součásti,
– provedení technologických a kontrolních výpočtů,
– vypracování výkresové dokumentace vybraných částí výrobního nástroje.

Seznam doporučené literatury:

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

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HOSFORD, William a Robert CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.

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

SCHULER GMBH. Metal forming handbook. New York: Springer-Verlag, 1998, 563 s. ISBN 35-40-1185-1.

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-33216-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá výrobou ochranného krytu motocyklu zhotoveného z oceli 11 320 o tloušťce 1,5 mm. Výrobní dávka je stanovena na 80 000 kusů za rok. Na základě analýzy výrobních metod a dle předepsaných požadavků je zvolena jako vhodná metoda hluboké tažení. Dále se práce věnuje ověření vyrobitelnosti za pomoci výpočtů, na kterou navazoval návrh ideálního tvaru polotovaru. Přístřih se vyřeže laserem z tabule plechu. Po provedení technologických výpočtů byl zkonstruován nástroj včetně vypracování výkresové dokumentace. K nástroji se zvolí vhodný stroj, kterým je univerzální hydraulický lis CTH 250. Závěr práce je zaměřen na provedení simulace ke kontrole výtažku.

Klíčová slova

kryt motocyklu, hluboké tažení, ocel 11 320, výtažek, tažný nástroj

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the production of a motorcycle protective cover made of steel 11 320 with a thickness of 1.5 mm. The production batch is set at 80,000 pieces per year. Based on the analysis of the production methods and according to the prescribed requirements, deep drawing is chosen as the appropriate method. The manufacturability is verified with the help of calculations, which is followed by the design of the ideal shape of the semi-finished product. The cut will be laser cut from a sheet of metal. After carrying out the technological calculations, the tool is constructed, including drawing documentation. A suitable machine is chosen for the tool, which is a universal hydraulic press CTH 250. The conclusion of the work is focused on performing a simulation to check the yield.

Keywords

motorcycle cover, steel 11 320, deep drawing, drawing component, drawing tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JINDRÁK, Martin. *Návrh výroby krytu motocyklu* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/148812. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

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

Brno, 20.5.2023

Martin Jindrák

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu své bakalářské práce Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D. za velmi cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za morální podporu a pomoc při studiu.

OBSAH

Zadání práce
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD 9
1 ROZBOR ZADÁNÍ 10
1.1 Variantní řešení výroby 12
2 Technologie Tažení 15
2.1 Návrh rozměru základního polotovaru 16
2.2 Stanovení počtu tažných operací a tažného součinitele 19
2.3 Použití přidržovače a brzdných žeber 21
2.4 Tažná síla a práce 23
2.5 Tažný poloměr 25
2.6 Tažná vůle a mezera 26
2.7 Tažné nástroje 27
3 Návrh výroby součásti 29
3.1 Návrh polotovaru 32
3.2 Možnosti uspořádání a procentuální využití plechu 33
3.3 Technologické výpočty 34
3.4 Kontrola návrhu pomocí simulace 36
3.4.1 Druhá varianta s odsazením polotovaru 37
3.5 Volba stroje a návrh tažného nástroje 39
ZÁVĚR 44

Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratek
Seznam příloh
Seznam výkresů

ÚVOD

Strojírenství se v mnoha aspektech rozvijí a s ním i jeho nároky a požadavky při výrobě. Především to jsou kritéria na výrobní časy, efektivitu, spotřebu materiálu, možnost zavedení automatizace do výroby, výslednou cenu výrobku a podle těchto všech parametrů je zvolena vhodná metoda. Na výrobu dílců a různorodých součástek lze použít běžné metody jako obrábění, odlévání, svařování a tváření nebo jejich vzájemnou kombinaci. Pomoc u návrhu součástí, ale i v samotné výrobě může tvořit využití nejrůznějších CAD nebo CAM systému včetně použití různých simulací.

Pro výrobu dutých nádob a krytů může být použito mnoho výrobních metod. Jako nejlepší a již výše uvedenou je metoda tváření. Tváření se hojně využívá v automobilovém, leteckém nebo energetickém průmyslu. Jedná se tedy stále o velice rozšířenou metodu, a to i proto, že některé složité výrobky nejdou jinými způsoby vyrobit. Při tváření dochází za pomoci vnějších sil vyvinutých nástrojem k přetvoření polotovaru na požadovaný tvar a rozměr. Během procesu nevzniká žádný přebytečný odpadový materiál, který by bylo dále potřeba zpracovat, což je pravděpodobně nejvýznamnější výhoda. Dalšími výhodami jsou vysoká kvalita povrchu, příznivé/zlepšování mechanických vlastností, produktivita a v neposlední řadě dobré zavedení automatizace pro velkou výrobní sérii součástek. [2]

Následně lze tváření rozdělit na objemové a plošné. Rozdíl je zejména v polotovaru. U objemového tváření je polotovar ve formě špalíku. Mezi typické zástupce objemového tváření patří kování, protlačování a válcování. Oproti tomu u plošného tváření je polotovarem plech nebo svitek. Například ohýbání, lisování, stříhání a především technologii hlubokého tažení lze zařadit mezi typické představitele plošného tváření. Hluboké tažení je metoda, u které se z výchozího polotovaru pomocí lisu a nástroje zhotoví výtažek. Příklady součástek zhotovených touto metodou jsou znázorněny na obr. 1. [3]

Obr. 1 Tažené součásti [1].

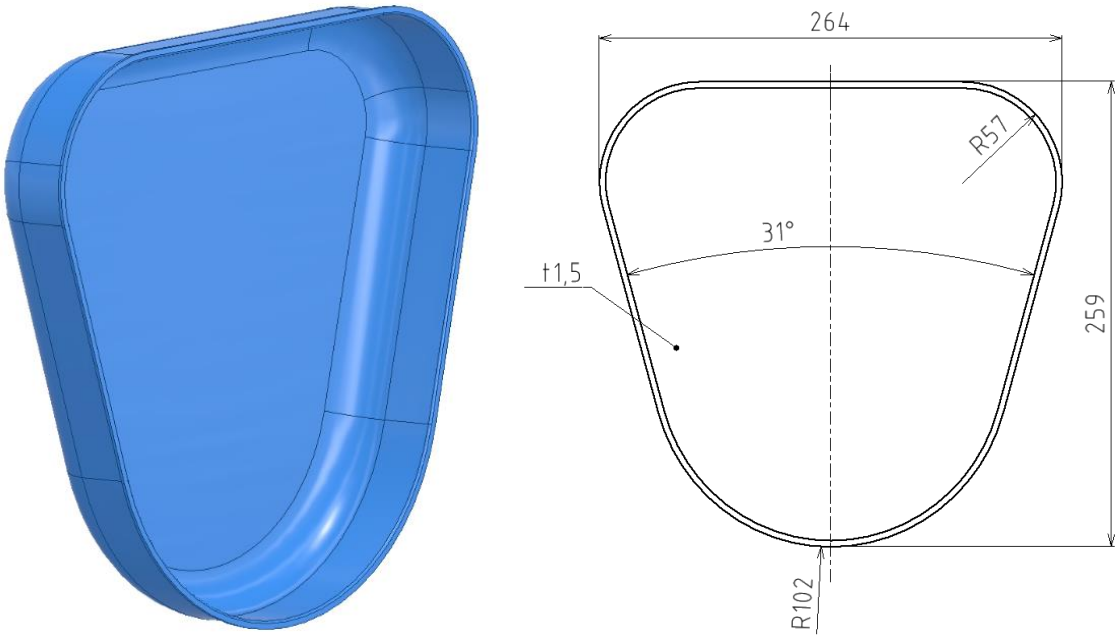
1 ROZBOR ZADÁNÍ

Řešenou součástí je dutý nerotační kryt srdcovitého tvaru se dnem. Konktrétně se jedná o boční kryt sání motocyklu Simson S51 Elektronik, viz obr. 2, o výrobní sérii 80 000 kusů. Kryt sání je umístěnu pod sedadlem motocyklu na vnitřní straně (obr. 3). Uvnitř krytu motocyklu se nachází sání.

Obr. 2 Postranní kryt [4].

Obr. 3 Umístění krytu na motocyklu [5].

Na vrchní straně je vytvořen prolis a do prolisu je zaveden šroub s podložkou, který uchytí samotný díl ke konstrukci motocyklu. Vzájemná souosost otvoru a díry v konstrukci bude v toleranci IT7 ÷ IT8, aby byla zajištěna smontovatelnost. Ve spodní části krytu je další otvor, který má za úkol zamezení zbylého volného pohybu krytu. Další funkcí otvoru je dobré ustavení součásti. Bakalářská práce se bude dále zabývat pouze základním tvarem bez prolisu a otvoru ve spodní části. Rozměry základního tvaru jsou uvedeny na obr. 4. Šířkový rozměr dosahuje hodnoty 264 mm, délkový rozměr je 259 mm, hloubka má rozměr 45 mm a vnitřní zaoblení dna je 18,5 mm. Tloušťka plechu 1,5 mm je volena z důvodu z důvodu, že součást by měla dosahovat co nejmenší hmotnosti.



a) model krytu

b) rozměry krytu

Obr. 4 Vyráběná součást.

Drsnost povrchu nemusí být nijak kvalitní, proto je dovolena maximální drsnost Ra = 3,2 µm. Dále není potřeba rozměry více tolerovat podle technologických a geometrických tolerancí, a tak budou využity všeobecné tolerance netolerovaných rozměrů dle ISO 2768 - mK.

Během provozu motocyklu není boční kryt nijak vysoce mechanicky ani tepelně namáhán. Pouze slouží k tomu, aby zachytil nečistoty z okolí a aby samotné součásti pod krytem byly chráněny před poškozením. Jediné, čemu je dílec při provozu vystaven, jsou atmosférické vlivy jako je například vlhkost, sluneční záření, proudění vzduchu, prachu nebo nejvýše občasné nárazy odlétávajícího předmětu ve formě štěrku od protijedoucích vozidel. Primárním požadavkem z hlediska funkčnosti povrchu je odolávání korozi.

Výše uvedené požadavky na vyráběnou součást mají dopad i na výběr vhodného materiálu polotovaru, který by měl být schopen těmto vlivům odolat nebo musí být zvolena vhodná kombinace materiálu s povrchovými úpravami ať už mechanických nebo chemických, ale to včetně ohledu na ekonomickou stránku. Po zvážení všech variant materiálu jako vhodné vyšly dvě možnosti. Použít vysoce legovanou korozivzdornou ocel třídy 17, která ale bude mít dobrou tažnost nebo zvolit běžnou uhlíkovou konstrukční ocel třídy 11. Při posouzení všech aspektů včetně přihlédnutí k narůstajícím cenám materiálu se jeví jako nejvhodnější ocel 11 320 obvyklých jakostí, její ekvivalentní značení se nachází (tab. 1).

Tab. 1 Ekvivalentní značení oceli 11 320 [6; 7].

DIN	St 22	DIN 1614/1-74
ČSN	41 1320	-
ISO	Cr 01	17/12N49-69
Švédsko	1142	SS 141142-75

Jedná se o nelegovanou uhlíkovou ocel, která je vhodná k tváření za studena, u oceli je i zaručená svařitelnost. Materiál je vhodný jak k mělkému, tak hlubokému tažení a nadále k povrchovým úpravám. Mechanické vlastnosti oceli jsou uvedeny v (tab. 2) a chemické složení lze vidět v (tab. 3). [8]

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 11 320 [6].

Pevnost v tahu R_m [MPa]	Mez Kluzu R_e [MPa]	Tažnost A_{10} [%]
370	260	30

Tab. 3 Chemické složení oceli 11 320 [6].

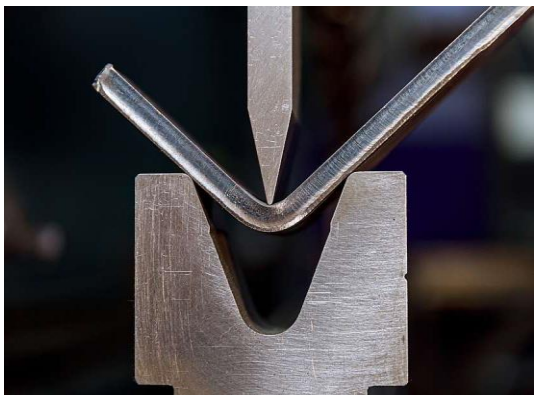
C [hm.%]	P [hm.%]	S [hm.%]
max. 0,11	max. 0,045	max. 0,045

Jelikož ocel 11 320 není korozivzdorná, bude aplikována jedna z povrchových úprav, protože v boji proti korozi jsou velice podstatné a účinné. Poskytují širokou škálu různorodých technologií, které umožňují cenově dostupnější alternativu oproti zvolení materiálu splňujícího veškeré ochranné požadavky. Úpravami může být dosáhnuto nejen zvýšení odolnosti vůči korozi, ale i zlepšení estetických a mechanických vlastností povrchu mezi které patří například tvrdost nebo otěruvzdornost. Typickými zástupci povrchových úprav při nanášení povrchových vrstev jsou, galvanické pokovování, žárové pokovování, eloxování a zejména nátěrové hmoty jako práškové lakování. Práškové lakování je vysoce efektivní a cenově dostupný proces. Navíc jeho další obrovskou výhodou oproti jiným metodám je šetrnost vůči životnímu prostředí. Efektivita, cena a široký výběr různých barev rozhodl, a proto je zvoleno práškové lakování. [9]

1.1 Variantní řešení výroby

Kryt lze zhotovit hned několika výrobními metodami u kterých je zapotřebí zvážit jejich kladnou a zápornou stránku pro výrobu. U technologií bude zohledněna jejich efektivita, využití materiálu, ale i možná změna mechanických vlastností v důsledku zpevnění materiálu. Při tom bude kladen důraz i na ekonomické hledisko a na výrobní časy jednoho kusu krytu. Po zohlednění všech aspektů byly vybrány následující výrobní metody: [2; 3; 10; 12; 13; 15]

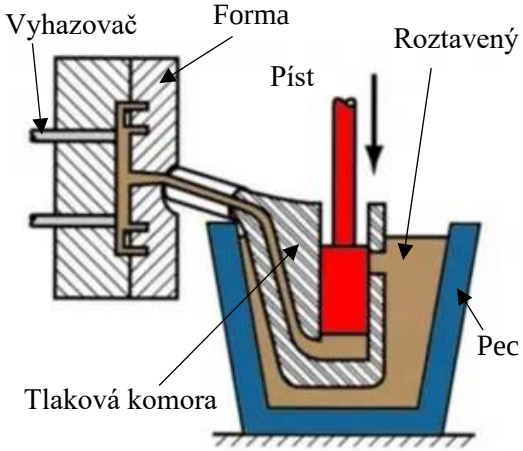
- Kombinace ohýbání a svařování – Například by mohla být použita metoda MIG/MAG s kombinací ohybu (obr. 5) na zakružovačce. Během ohýbání dochází k trvalé deformaci polotovaru do různého úhlu ohybu. Svařování je proces, při kterém dochází za působení tepla a tlaku nebo zároveň jejich spojením ke svaření dvou nebo více součástí k sobě trvalým nerozebíratelným spojením (obr. 6). Lze svařovat jak kovové, tak nekovové materiály. Při svařování může být použit přídavný materiál neboli elektrody s různými typy obalu. Výhodou je, že svar má vysokou pevnost a proces svařování není tolik finančně nákladný. Ale nevýhod převažuje více, například vznik vnitřního pnutí nebo tepelně ovlivněné oblasti, jež by mohla během procesu vznikat a nadále tak deformovat okolí svaru. Navíc před svařováním musí dojít k důkladnému očištění a přípravě povrchu z důvodu vytvoření kvalitního spoje, což by znamenalo další časovou ztrátu. [3; 10]



Obr. 5 Ohyb [11].

Obr. 6 Svařování MIG/MAG [10].

- Odlévání – metoda spočívá v lití roztaveného kovu do předem připravených forem, které mají negativní tvar budoucí součástky. Následně kov tuhne uvnitř forem a na konci celého procesu je získán takzvaně odlitek. Ze všech druhů odlévání se nabízí jako nejvhodnější metoda lití pod tlakem (obr. 7). [13]



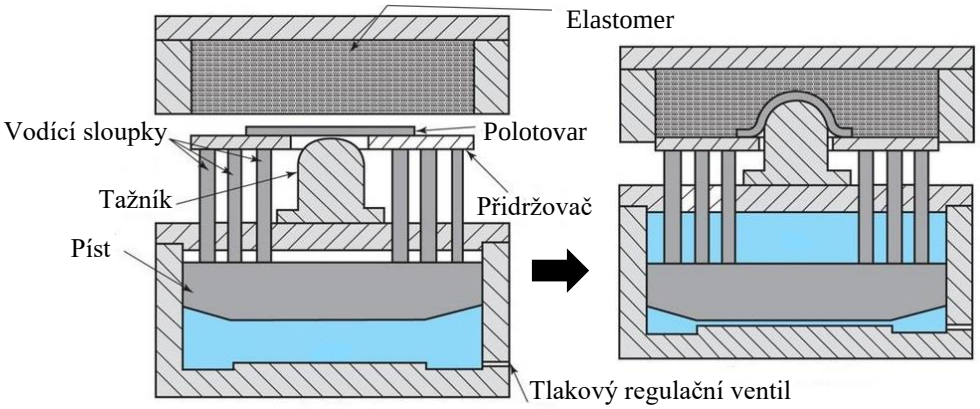
Obr. 7 Lití pod tlakem [12].

Obr. 8 Odlitky vyráběné litím pod tlakem [14].

Princip této technologie spočívá v plnění roztaveného kovu pod vysokým tlakem do tlakové komory. Roztavený kov se nachází v peci, která je součástí zmiňované tlakové komory. Za pomoci pístu, který se nachází v horní části je vyvinut potřebný tlak, jenž tlačí a zároveň přemisťuje roztavený kov do dvoudílné kovové formy, kde je po ztuhnutí získán odlitek (obr. 8). Výhodou metody je poměrně vysoká přesnost a výroba geometricky složitých dílců. Ovšem zvolený materiál není vhodný k odlévání, proto by musel být nahrazen za jiný. Navíc vstupní náklady na nástroje a stroje potřebné k výrobě jsou značně vysoké a ani výrobní série 80 000 kusů není časově výhodná. [12; 13]

- Tažení elastomerem – jedná se o nekonvenční technologii tváření, u které je jedna z hlavních funkčních částí nástroje nahrazena nepevným nástrojem v podobě elastomeru, nejčastěji pryže nebo polyuretanu. Existuje několik metod tváření elastomery, ale jako nejvhodnější se jeví metoda Marform (obr. 9). [2; 15]

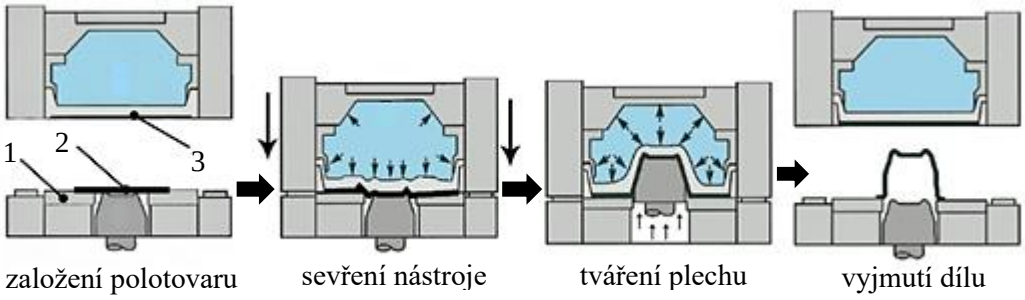
  Princip spočívá v tom, že v první fází tažnice klesá dolu až na založený polotovar. Po vyvození potřebné přidržovací síly pokračuje horní část nástroje v pohybu směrem dolu a v kooperaci s přidržovačem se natahuje a zároveň tvaruje polotovar podle tažníku. V závěru tažnice vyjede do horní polohy a přidržovač do počáteční. [2; 15]



Obr. 9 Metoda Marform [16].

Převážně se tato technologie používá u kusové a zkušební výroby v případech, kdy se výroba kovového nástroje nevyplatí nebo pokud by výroba kovovým nástrojem byla obtížně dosažitelná či nemožná. Navíc během procesu je potřeba použít větších tvářecích sil a s tím vyšší nároky na použité lisy. Dalším z problémů je zabíhání polyuretanu do úzkých dutin a otvorů. [2; 15]

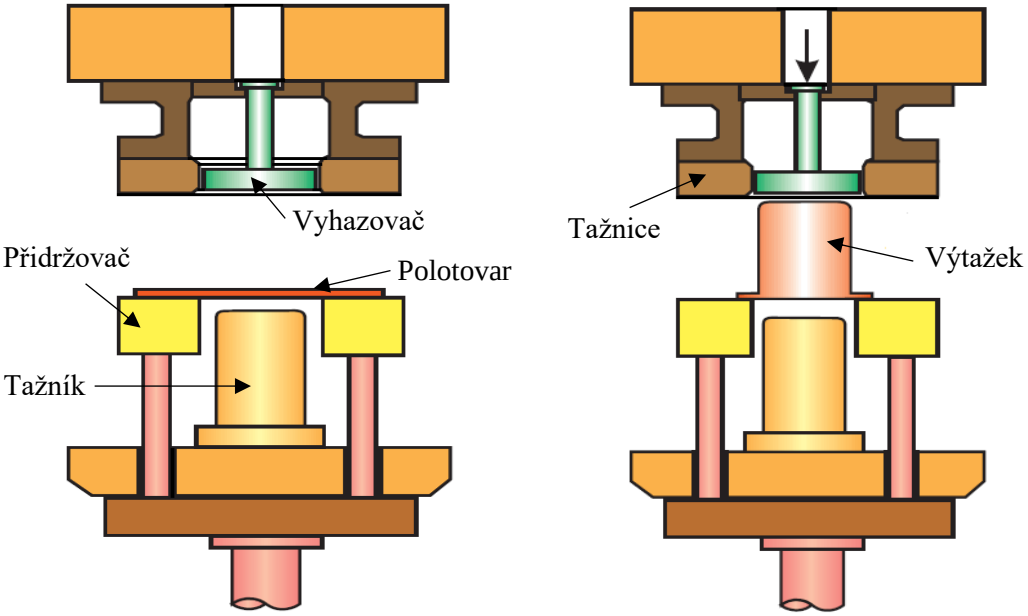
- Tažení kapalinou – opět se jedná o nekonvenční metodu s využitím nepevného nástroje v podobě kapaliny. Zde ovšem při použití kapalného média dochází k problémům ohledně jeho úniku. Musí být zajištěno kvalitní těsnění celého systému, které je řešeno pomocí gumové nebo polyuretanové membrány. Během procesu dochází k rovnoměrnému rozložení tlaku působícího na přetvářený polotovar. Mezi typickou výrobní metodu tváření kapalinou lze zařadit metodu Hydroform (obr. 10). [2; 15]



Obr. 10 Princip metody Hydroform [17].

Proces nastává následovně, po uzavření nástroje a dosednutí membrány (3) na polotovar (2) dochází v lisovací komoře k navýšení tlaku na požadované hodnoty. Poté je tažník vsunován do kontejneru s kapalinou, přičemž nastává tvarování a přeměna polotovaru na požadovaný tvar (obr. 10). V poslední fázi probíhá navýšení tlaků v tlakové komoře s kapalinou a finálnímu dokalibrování výtažku. Proces končí snížením tlaků v dolní komoře, tažník se navrací zpět do své základní polohy a horní část nástroje jede nahoru. Značnou nevýhodou jsou vysoké pořizovací ceny celého systému včetně požadavků na dobré utěsnění. Zapotřebí je vyvození vysokého tlaku na kapalinu, a nakonec delší časové prodlevy, které se navyšují i díky závěrečnému dokalibrování. [2; 15]

- Konvenční tažení – jedná se o jednu z metod spadajících pod technologii plošného tváření. Konvenční tažení (obr. 11) oproti metodám s nepevným nástrojem má všechny části nástroje pevné. Dochází zde k plastické deformaci součástí pomocí tažníku a tažnice. Během procesu vznikají jak mělké, tak hluboké duté výtažky rotačních symetrických nebo nerotačních tvarů. Výsledný tvar může být zhotoven na jednu nebo více operací. Tuto metodu lze dobře automatizovat, a proto je vhodná pro velkosériovou výrobu. [2; 15]



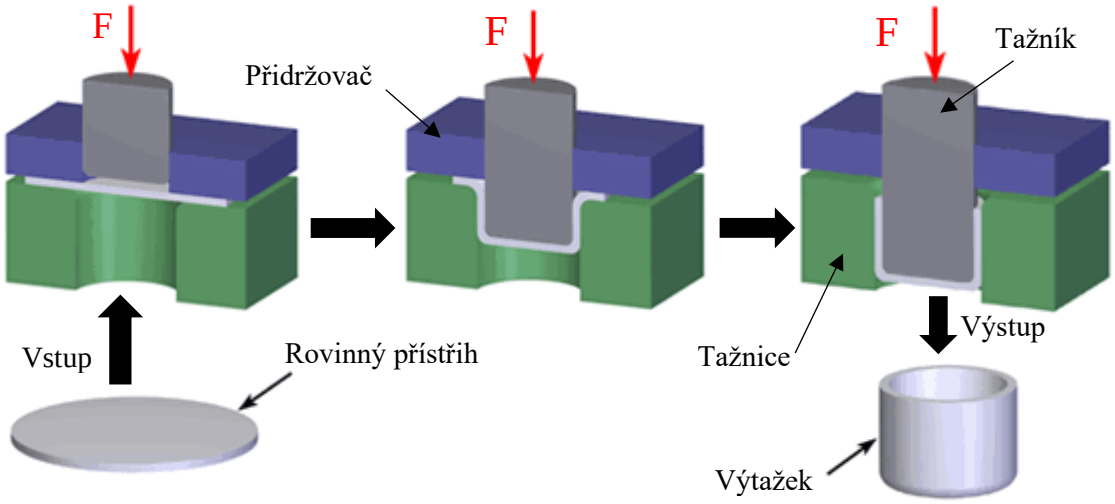
Obr. 11 Hluboké tažení [18].

Proces začíná založením plechu do osazení v přidržovači, následně tažník vtlačuje polotvar do otvoru tažnice a tehdy vzniká požadovaný tvar. Mezi výhody metody lze uvést vysokou produktivitu a rychlost, lze tedy hluboké tažení použít při velkosériové výrobě. Lze dosáhnout předepsané maximální drsnosti Ra = 3,2 µm a dobrých přesností. Naopak nevýhodou metody je prvotní vyšší cena nástroje. [2; 15]

Po zvážení všech variant řešení výroby a po zohlednění všech důležitých parametrů k výrobě součásti, byla zvolena jako nejvhodnější a nejlepší metoda konvenčního hluboké tažení. Protože kryt má konstantní tloušťku stěny 1,5 mm, bude zvoleno hluboké tažení bez ztenčení stěny. Metoda je vysoce časově efektivní pro výrobu 80 000 kusů. K tomu lze dosáhnout kvalitního povrchu a přesností. Proto se i následující rešeršní část práce bude zabývat teoretickým rozborem zmíněné metody.

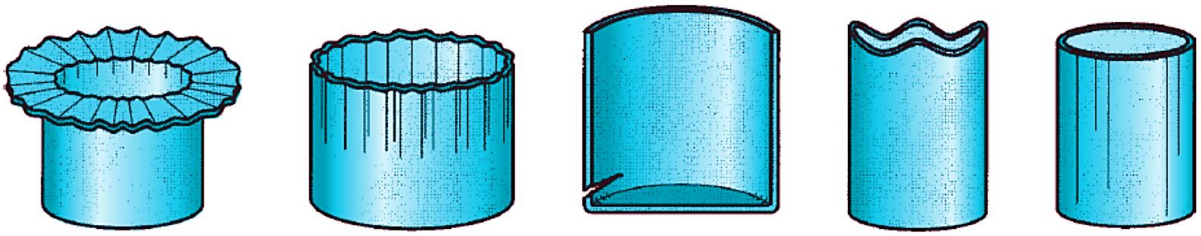
2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ

Tažení spadá pod technologie plošného tváření, při které dochází k trvalé přeměně polotovaru v podobě rovinného přístřihu na dutá tělesa. Vyráběné součásti se nazývají výtažky a ty mohou být zhotoveny v jednom nebo několika tazích. Mělké a méně složité výtažky lze táhnout pouze na jednu tažnou operaci, přičemž hluboké bývají taženy na dvě, ale i více tažných operací. Technologie hlubokého tažení nachází uplatnění v automobilovém nebo leteckém průmyslu, ale i u běžně používaných výrobků, konkrétním příkladem produktů jsou karosérie automobilů, kuchyňské dřezy a různé druhy krytů. Součásti mohou být rotačních nebo nesymetrických tvarů. Nástroj, který se nazývá tažidlo, viz obr. 12, se skládá ze dvou hlavních částí z tažnice a tažníku, ale další používané součástí mohou být přidržovač nebo vyhazovač. [3; 15]



Obr. 12 Postup hlubokého tažení [19].

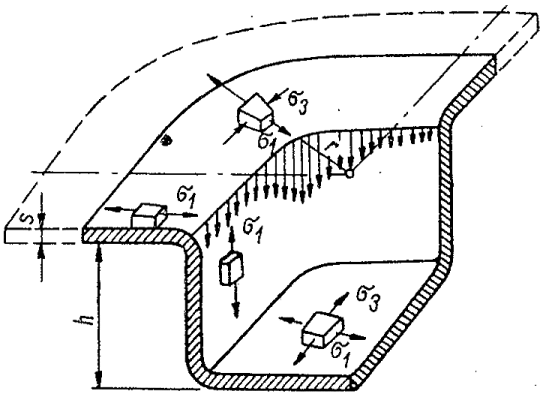
Obecně se zjednodušeně předpokládá, že tloušťka stěny polotovaru se během procesu nemění, avšak k určitým změnám dochází. Ve stěnách se tloušťka materiálu zvětšuje oproti tomu v rozích se naopak zeslabuje. Změny jsou způsobeny rozdílnou napjatostí, jelikož ani jedna ze změn není nijak závažná lze je tedy nezahrnovat do výpočtů a dojít k závěru, že tloušťka stěny výtažku se nemění. V porovnání s tažením válcových dílců se součásti obdélníkových, čtvercových nebo nesymetrických tvarů chovají jinak. Rozdíl je ve stavu napjatosti v rozích a svislých stěnách. Přeskupování materiálu polotovaru probíhá pouze v rozích, zatímco rovné úseky se vytahují nepatrně a spíše dochází k jejich ohýbání. Průběh tažení začíná založením rovinného přístřihu, který je dále plasticky deformován tlakem tažníku přes tažnou hranu tažnice a na konci všech operací vstupní materiál dosáhne svého finálního dutého tvaru. Jak nastává proces tažení a přístřih se nabaluje na tažník, dochází k zmenšování původního průměru a materiál je pěchován na okrajích. Což vede především u tenkostěnných materiálů k tvorbě vln (obr. 13) nebo různých defektů. Největší problém nastane, pokud se materiál přestane přesouvat směrem do otvoru tažnice, protože tehdy může dojít k nevratnému utržení dna. [2; 3; 15]



Obr. 13 Defekty při tažení [20].

Aby bylo zabráněno tvorbě vln používá se během procesu přídavného zařízení přidržovače, který přidržuje materiál mezi ním a tažnicí. V neposlední řadě bývá používán vyhazovač a ten má za úkol lepší vyjmutí výrobku. Aby výroba probíhala hladce je zapotřebí si před celým začátkem tažení zvolit optimální technologické parametry, a to z důvodu, aby nevznikaly žádné komplikace nebo defekty, které by narušovali samotný chod procesu a vše probíhalo podle nejlepších představ. Přesněji jde o určení velikosti přístřihu, stanovení počtu tažných operací, určení potřeby přidržovače nebo výpočtu tažné síly a práce. [2; 15]

U tažení se lze běžně setkat s nerotačními výtažky, které mají tvary obdélníku, čtverce nebo různých nepravidelných geometrických tvarů. Jenže oproti rotačním součástem dochází k výskytu několika problémů u nesymetrických dílců, které je potřeba vhodně vyřešit. Především nastává komplikace s nerovnoměrnou deformací okolo celého obvodu, ale i se zpevněním materiálu tvářeného za studena a jeho nerovnoměrným rozložením. V porovnání s tažením válcových dílců se součásti nesymetrických tvarů chovají jinak, protože největší zpevnění probíhá v rozích, viz (obr. 14). Oproti tomu u svislých stěn dochází k postupnému snižování napětí až se rovné úseky od určité vzdálenosti od rohů přestávají vytahovat, ale nastane spíše jejich ohýbání. Během procesu tedy vzniká kombinace tažení, ohýbání a stranového toku materiálu. Proto jsou na konstrukci a provedení nástroje kladeny vyšší nároky, ale i na zvolení vhodného materiálu jednotlivých částí tažidel. [2; 3; 15]



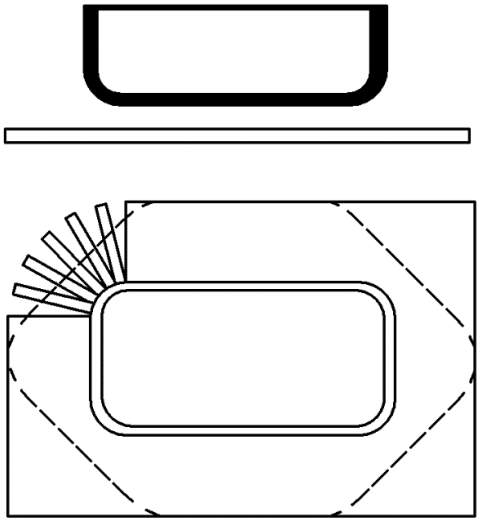
Obr. 14 Obecné schéma napjatosti při tažení nerotačních součástí [21].

2.1 Návrh rozměru základního polotovaru

Snad nejdůležitějším prvkem u tažení nerotačních součástí je správné určení tvaru a rozměru základního přístřihu (obr. 15), protože pokud bude vhodně navrhnut může dojít k ušetření dodatečné ostřihovací operace a vyhnutí se hned mnoha problémům. Další kladnou stránkou může být velká úspora materiálu, jelikož při ideálním zvolení plechového polotovaru nevzniká téměř žádný odpadový materiál, ale zároveň nebude docházet k jeho nadbytečnému namáhání nebo navyšování počtu tažných operací během procesu, což ušetří jak časové, tak finanční prostředky. [3; 15]

Obr. 15 Základní tvary přístřihu [22].

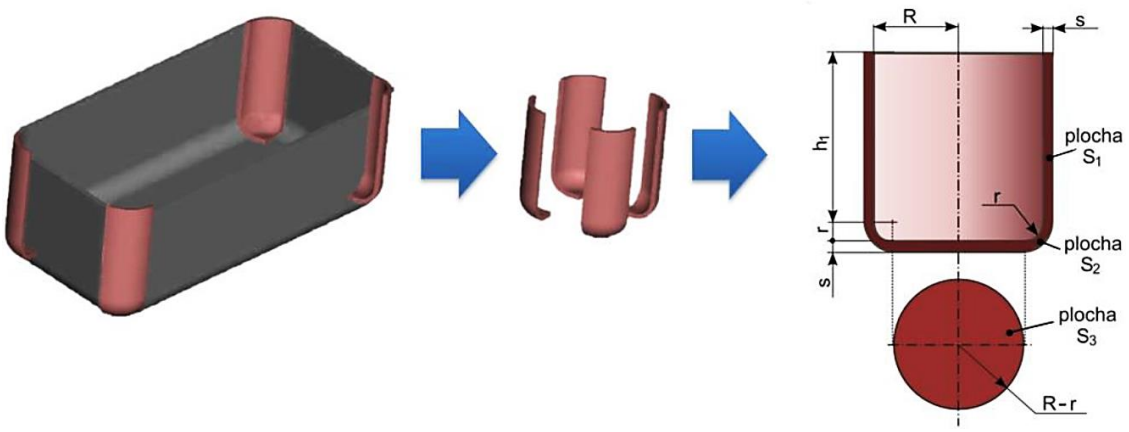
Kdyby však byl přidán materiál po celém obvodu stejně, tak jak to bývá u rotačních dílců nastal by problém ohledně tažení, protože by nedocházelo k přemisťování přebytečného materiálu, který je nastříhán v rohové části a znázorněn, viz obr. 16, ale nastal by pouze ohyb po celém obrysu přístřihu, ale přitom by rozstříhané části plechu nebyly spojeny. Důležité je právě zajistit, aby se přebytečný materiál pomocí tažení přesouval. Přesouvaný kov totiž musí změnit výšku výtažku v rozích, jelikož zde dochází k jeho tažení nikoli ohybu. Vystřihnuté proužky představují potřebný kov, který se při procesu přemisťuje a zároveň kterého je v rohových částech nutno ubrat. Lze na obr. 16 vidět i přibližný výchozí tvar přístřihu vytvořený čárkovaně. [2; 15; 21]



Obr. 16 Výtažek a teoretický tvar přístřihu k jeho zhotovení [15].

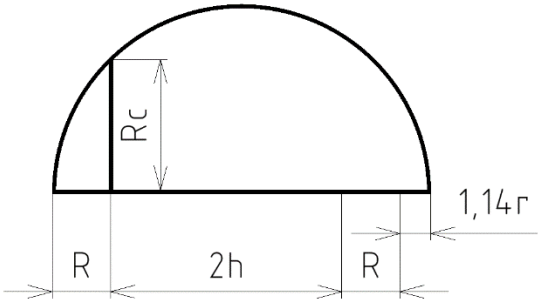
Určení základního tvaru výchozího plechu jde udělat několika způsoby a často se výsledný tvar hledá pouze zkusmo. Znamená to, že dojde k odstřižení rohových částí a posléze k jejich zaoblení. Ovšem pro použití experimentálního způsobu jsou potřeba výrazné znalosti a zkušenosti, navíc výsledný přístřih bývá často nepřesný a k tomu jeho určování je zdlouhavé. Proto je lepší zvolit grafickou nebo početní metodu. Metody zajistí správné přemisťování a vyplnění kovu v rozích, ale zároveň berou ohled na přesun materiálu z rohů do postranních stěn výtažku. Často se ponechává přístřih větší po obrysu u méně hlubokých dílců s velkým zaoblením u dna, jelikož je lepší silné přidržení pomocí přidržovače z důvodu zabránění zvlnění na přírubě. Okraj se následně ostřihne v dalších operacích. [2; 3; 15; 21]

Na obr. 17 je patrné, že na zhotovení celkového množství materiálu potřebného ke konstrukci rohových částí stačí vzít každý jeden roh a dohromady tak vytvořit kruhový model o stejné výšce a průměru rovném dvojnásobnému poloměru v rohu. [2; 15]



Obr. 17 Rotační výtažek získán oddělením rohů z jeho zbylé obdélníkové části [15; 22].

Dále na obr. 17 lze vidět, že k vytvoření všech rohových částí výtažků postačí vytvořit rotační model, který bude mít stejnou výšku a průměr roven dvojnásobného poloměru v rohu. Následně se musí zjistit poloměr **Rc**. Jedná se o poloměr kruhového přístřihu potřebného k tažení teoretického rotačního výtažku (obr. 17) získaného z oddělených rohů obdélníkového výtažku. Poloměr **Rc** lze určit graficky z obr. 18. [2; 15]



Obr. 18 Grafické určení poloměru $\boldsymbol{R_c}$ [15].

Poloměr kruhového přístřihu **Rc** také lze vypočítat pomocí vzorce [15]:

$$R_c = \sqrt{2 \cdot R \cdot h' + R^2 + 1{,}14 \cdot R \cdot r}, \tag{2.1}$$

kde: R – poloměr rohu výtažku [mm],

r – poloměr dna výtažku [mm],

h´ – výška rovné svislé stěny výtažku zvětšená o přídavek na ostřižení [mm],

R_c – poloměr kruhového přístřihu [mm].

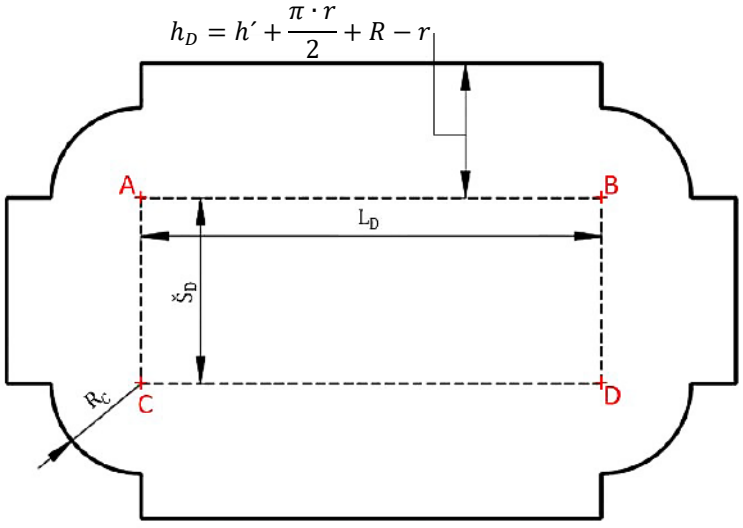
Po získání poloměru kruhového přístřihu se postupuje ke konstrukci základního tvaru polotovaru, viz obr. 19. V první části se sestrojí čárkovaně ploché dno s kótami. Vrcholy obdélníku se označí písmeny A, B, C, D a následně se jednotlivé strany prodlouží o rozměr $\boldsymbol{h_D}$, což vede k získání tvaru přístřihu pro obdélníkový výtažek bez rohových částí, to je pro stěny výtažku, které se tváří pouze ohýbáním. Z každého jednoho bodu se zhotoví poloměr Rc, viz obr. 17. [15; 21]

Výška stěny rozvinutého tvaru se získá ze vztahu [15]:

$$h_D = h' + \frac{\pi \cdot r}{2} + R - r, \tag{2.2}$$

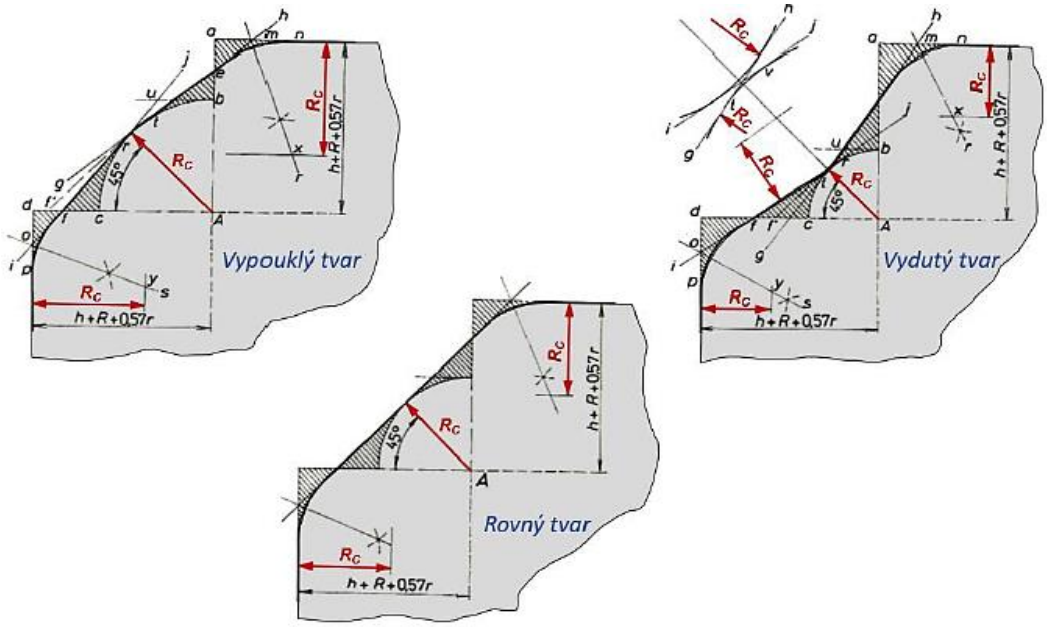
kde: π – konstanta [-],

h_D – výška stěny rozvinutého tvaru [mm].



Obr. 19 Teoretický tvar přístřihu [15; 22].

V bočních stěnách by však materiál přebýval, protože do nich uniká ze zaoblených rohů, kde by naopak chyběl. Proto se nanesený poloměr $\mathbf{R_c}$ zaoblí podle obr. 20, a to má za následek možný vznik třech základních tvarů rohů polotovaru podle vzájemného poměru hodnot **R**, **h** a **r**. Při využití grafické metody a jejího popsaného postupu vzniká poměrně přesný tvar přístřihu. [15; 21]



Obr. 20 Tři základní tvary rohů přístřihu [15; 22].

2.2 Stanovení počtu tažných operací a tažného součinitele

Dalším krokem bude určení výsledného počtu tažných operací výtažku. Získání správného počtu operací u nerotačních součástí je poměrně složité, protože je potřeba znát mnoha různých faktorů, který mají na počet značný vliv. Mezi charakteristické faktory se dají zahrnout následující: [3; 15]

- velikost zaoblení v rohových částech **R**,
- velikost výtažku,
- tloušťka taženého polotovaru,
- druh taženého materiálu,
- poměr mezi velikostí zaoblení v rozích a délkou rovné části stěny výtažku,
- velikost poloměru u dna výtažku,
- šířka příruby výtažku,
- tvar polotovaru,
- konstrukce a provedení nástroje,
- tažná rychlost,
- mazání a upínání nástroje ve stroji.

Hlavním faktorem při tažení nerotačních dílců je velikost poloměru v rohových částech **R**, jelikož má největší vliv na výšku, která bude dosažena v první tažné operaci (tab. 4). To je zapříčiněno tím, že pouze v rozích dochází k samotnému procesu táhnutí. U fiktivního rotačního výtažku z obr. 17 by měla být zahrnuta u výpočtů redukce, a to podobně jako při výrobě rotačních součástí. Avšak redukce dosažitelné u nerotačních výtažků nabývají o mnoho vyšších hodnot tím, že se materiál během procesu přesouvá do bočních stěn, které jsou deformovány pouze ohybem. [15; 21]

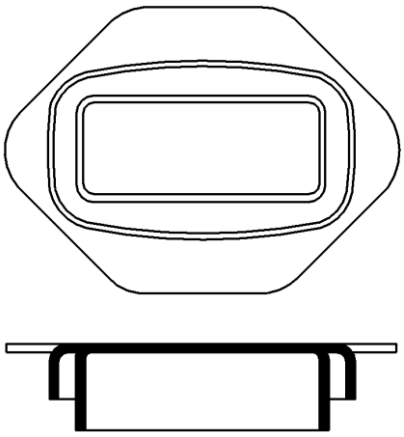
Tab. 4 Závislost maximální výšky nerotačního výtažku dosažitelné v prvním tahu na velikosti zaoblení výtažku v rozích [15].

Velikost zaoblení **R** [mm]	Maximální výška výtažku $\mathbf{h_{max}}$ [mm]
$R \leq 5$	$8 \cdot R$
$5 < R \leq 10$	$7 \cdot R$
$10 < R \leq 13$	$6 \cdot R$
$13 < R \leq 19$	$5 \cdot R$
$R \geq 19$	$4 \cdot R$

S pomocí tab. 4 lze jednoduše ověřit, zdali bude potřeba jedné nebo více operací, pokud bude platit podmínka [22]:

- $h_{max} > h \rightarrow$ jednooperační tažení,
- $h_{max} < h \rightarrow$ víceoperační tažení.

Hodnoty z tab. 4 jsou určeny výhradně pro zvláště hlubokotažné materiály. U běžně využívaných materiálů se dosažitelné hodnoty snižují o $1 \cdot R$. Pokud bude zvětšen poloměr, tak se zvětší i výška, které lze dosáhnout. Na to má vliv i přidržovač, protože bez jeho použití se snižuje dosažitelná maximální výška. Pokud výtažek nebude tažen pouze na jednu operaci využívá se více postupných redukcí, ty jsou v jednotlivých tazích přibližně stejné, nebo klesají o postupně menší hodnoty. Občas je výhodné v první operaci stěny výtažku lehce zaoblit a v následujících tazích je narovnat (obr. 21), protože stěny se budou zároveň i mírně táhnout, což vede ke zlepšení podmínek procesu. [15; 21; 23]



Obr. 21 Ukázka zaoblení bočních stran výtažku [15].

Součinitel tažení pro nerotační výtažky v prvním tahu je podobný jako u rotačních součástí a je získán z výpočtu [21]:

$$m_1 = \frac{R}{R_c}, \tag{2.3}$$

kde: m_1 – součinitel tažení pro první tah [-].

Norma ČSN 22 7303 uvádí doporučené hodnoty součinitelů tažení jako [23]:

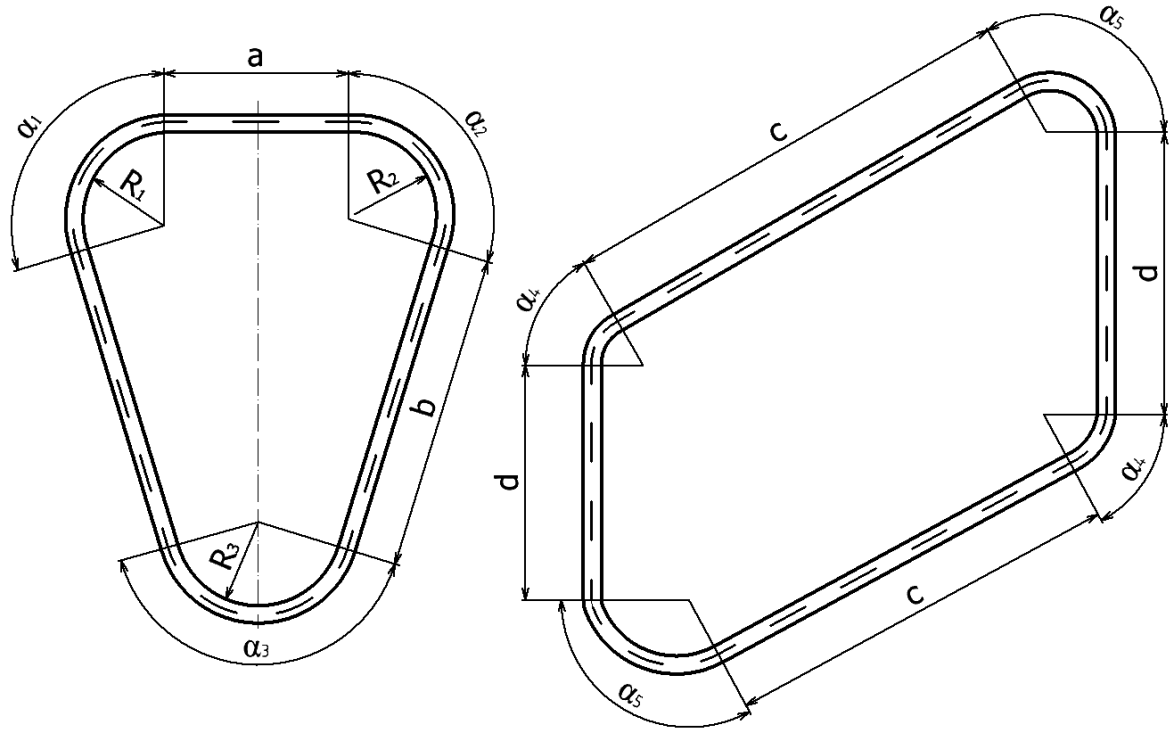
- $m_1 = 0{,}25 \div 0{,}4 \rightarrow$ s přidržovačem,
- $m_1 = 0{,}75 \div 0{,}9 \rightarrow$ bez přidržovače.

Velmi důležité je určení koeficientu tažení u výtažků, které nemají všechny stěny na sebe navzájem kolmé (obr. 22), jelikož velikost deformace nejde popsat pouze jedním koeficientem tažení. Každý úhel má jiný stupeň deformace a jemu tedy odpovídá patřičná hodnota koeficientu. Pro úhel $\alpha = 0°$ jsou příslušné koeficienty značně nízké, úhel $\alpha = 360°$ odpovídá válcovým nádobám. U nerotačních výtažků se přípustné koeficienty stanoví, viz příloha 3, v závislosti na rovných stěnách, jež leží u konkrétního úhlu. [21]

Koeficient tažení nerotačních výtažků se získá pomocí vztahu [21]:

$$m_\alpha = \frac{m_a + m_b}{2}, \tag{2.4}$$

kde: m_α – koeficient tažení pro úhly [-],
m_a – koeficient tažení krabicové nádoby o rovné straně a,
m_b – koeficient tažení krabicové nádoby o rovné straně b.



Obr. 22 Krabicové nádoby s rovnými stěnami, které nesvírají pravý úhel [21].

2.3 Použití přidržovače a brzdných žeber

Při procesu tažení je téměř vždy zapotřebí přítomnosti přidržovače, který vyvodí dodatečné tlakové napětí. Přidržovač je přídavné zařízení, které zabraňuje zvlnění nebo zvrásnění výtažku na jeho okraji. Pro tlustostěnné a zároveň mělké výtažky nebývá využíván, ale musí být zachována redukce menší nebo rovna 10 %. Redukce se nejčastěji vyjadřuje jako průměrová, tj. poměr výchozího průměru polotovaru k průměru výtažku a ovlivňují jí i další faktory mezi které patří tažná vůle, zaoblení tažné hrany a tloušťka taženého materiálu. Oproti tomu u dílců s větší hloubkou bývá používán právě pro zabránění zvlnění příruby. Jeden ze způsobů určení maximální redukce je odečtení hodnot z nomogramu a ten je možno vidět na obrázku v příloze 1. [15; 21; 23]

Maximální redukce, kterou je možno použít u tažení bez přidržovače se získá ze vztahu [15]:

$$R_{max} = 50 \cdot \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D}} + 100 \cdot (1 - c), \tag{2.5}$$

kde: D – průměr přístřihu [mm],
s – tloušťka výchozího polotovaru [mm],
c – konstanta závislá na druhu taženého materiálu [-]; pro ocel c = 0,95,
R_{max} – maximální redukce při tažení bez přidržovače [%].

Výpočet nutnosti použití přidržovače pro první tah dle vzorce [24]:

$$k_p = 50 \cdot \left(C - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D}} \right), \tag{2.6}$$

kde: C – materiálová konstanta [-]; pro ocel zvolena C = 1,9,

k_p – součinitel určující nutnost použití přidržovače [-].

Ověření podle podmínky [24]:

$$k_p \geq \frac{d}{D} \cdot 100 \rightarrow \textit{je nutné použít přidržovač,}$$

$$k_p < \frac{d}{D} \cdot 100 \rightarrow \textit{není nutné použít přidržovač.}$$

Využitím přidržovač je tedy možné dosahovat větších redukcí. Mezi tažnici a přidržovač se vloží přístřih a ten je sevřen určitou přidržovací silou. Síla musí být dostatečná hlavně proto, aby nedocházelo ke tvorbě vln na okraji příruby, zároveň však musí nechat plynout proces vtahování plechu do tažnice tlakem tažníku. Velikost přidržovací síly je spojena s tloušťkou materiálu, druhem použitého plechu a redukcí při tažení. [15; 21]

Přidržovací sílu lze určit ze vzorce [15]:

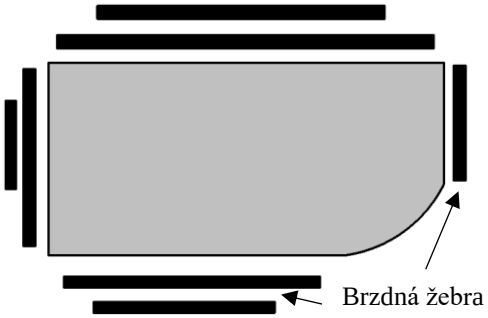
$$F_p = S_p \cdot p, \tag{2.7}$$

kde: F_p – přidržovací síla [N],

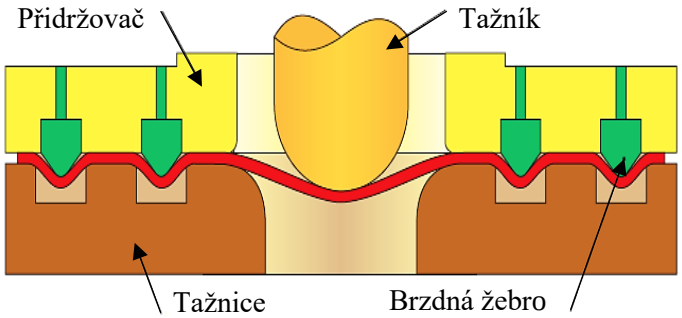
S_p – styková plocha přidržovače a přístřihu [mm^2],

p – tlak přidržovače [MPa]; doporučené tlaky přidržovače v příloze 2.

Doporučené tlaky přidržovače se určují podle použitého tažného materiálu a jeho tloušťky. Tabulka v příloze 2 má v sobě obsaženo několik různých materiálů a tloušťku taženého plechu od 0,2 ÷ 2 mm. Pro výtažek, u kterého je zvolena hlubokotažná ocel 11 320 o tloušťce plechu 1,5 mm je doporučený tlak přidržovače stanoven na 1,8 ÷ 2,2 MPa. Zejména u nerotačních výtažků nebo dílců o menší hloubce s vypouklým dnem je občas nutné dosažení velkých přidržovacích sil. Aby toho bylo docíleno jsou použita brzdící žebra a lišty, které bývají u rotačních výtažků umístěny přímo na přidržovači nebo tažnici, ale u rozměrově větších nebo složitých součástí se vkládají pouze do přidržovače a v tažnici je pro ně vytvořeno patřičné vybrání. Jejich dalším úkolem je provádět řízený tok materiálu do otvoru tažnice, rozložit podélné napětí po celém obvodu tažené součásti a některých případech umožňují snížení jakosti obrobení povrchu tažnice i přidržovače. Brzdná žebra pomáhají regulovat přísun materiálu tím, že ho přibrždují (ohýbají) a následně ho opět uvolňují. Lze tedy tvorbu vln a ostatních defektů odstranit během tažení použitím brzdících žeber. Přesné rozmístění po obvodu výtažku (obr. 23) a počet (obr. 24) bývá stanoven při konstrukci tažného nástroje experimentálně. Vše se dodatečně poupravuje po provedení zkoušek a seřízení nástroje. Proto se umisťují v těch místech, která jsou náchylnější a snadněji dochází k jejich namáhání, například u pravoúhlých dílců to jsou delší boční strany. [3; 15; 21]



Obr. 23 Umístění brzdných žebra [24].



Obr. 24 Uspořádaní více brzdných žeber vedle sebe [18].

2.4 Tažná síla a práce

Tažná síla se dá určit pomocí několika vzorců, a lze je rozdělit na teoretické a praktické. Teoretické jsou složeny na základě rozboru napjatosti a deformací. Praktické však vycházejí z toho, že působící napětí v nebezpečném průřezu musí být menší oproti napětí na mezi pevnosti výtažku. Znamená to, že maximální tažná síla musí být vždy menší než kritická síla, která způsobí utržení dna (obr. 25). [3; 15; 21]

Pro symetrické výtažky se u výpočtů používá zjednodušený empirický vztah k určení kritické síly, při které dojde k utržení dna [3]:

$$F_{krit} = \pi \cdot d \cdot s \cdot R_m, \tag{2.8}$$

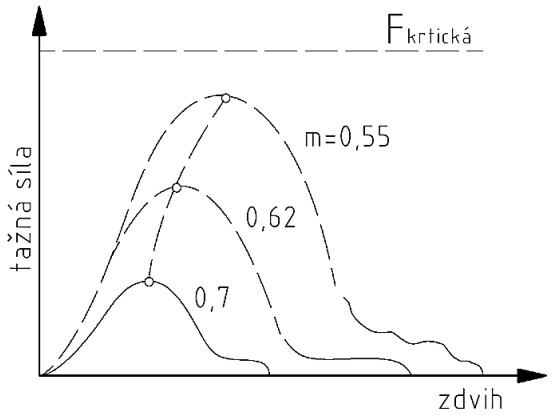
kde: π – matematická konstanta [-],

d – vnitřní průměr výtažku [mm],

F_{krit} – kritická síla na utržení dna [N],

R_m – mez pevnosti [MPa].

Na obr. 25 lze vidět průběh tažné síly, která je závislá na koeficientu tažení pro válcové výtažky, přičemž krabicové nádoby mají průběh obdobný. Pro různé hodnoty koeficientu je průběh velice podobný a se snižujícím se koeficientem síla stoupá. Z počátku dochází k strmému nárustu až do doby, kdy dosáhne svého maxima. Poté se překlopí a následuje pokles, který pokračuje až do nulové hodnoty. V horní části je kritická síla a při jejím překročení nastává trvalá deformace součásti. [3; 15]



Obr. 25 Průběh tažné síly [3].

Hodnoty pevností v tahu, které se dosazují do výpočtů jsou pro různé druhy materiálu uvedeny v tab. 5. Jelikož se dílec v průběhu tváření zpevňuje je uvedeno v (tab. 5) rozmezí hodnot. Nižší je určena pro materiál vyžíhaný a vyšší hodnota pevnosti v tahu je pro materiály zpevněné tak, že je nezbytné jejich vyžíhání. [15]

Tab. 5 Běžné hodnoty pevností materiálu v tahu [15].

Materiál	Pevnost v tahu R_m [MPa]
běžný ocelový plech	340 ÷ 450
hlubokotažný ocelový plech	320 ÷ 420
tvrdý ocelový plech	500 ÷ 850
korozivzdorná ocel	600 ÷ 750

Podobně jako pro symetrické součásti lze zjednodušeně použít vztah (2.3) i pro nerotační tvary za předpokladu, že se použije fiktivní rotační výtažek složený z rohů (obr. 17). Ale pro přesnější určení tažné síly obdélníkových a čtvercových dílců se musí rozlišit síla na přetvoření rovných stěn, které jsou tvářeny ohybem a sílu nutnou k tažení rohových částí, kde nastává samotné tažení. Následným porovnáním vypočtené a skutečné velikosti tažné síly se zváží a určí možnost tažení. [15; 21]

Tažná síla v rozích se vypočte [15; 21]:

$$F_{ro} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot s \cdot R_m \cdot C_1, \tag{2.9}$$

kde: F_{ro} – síla potřebná k tažení rohů [N],

C_1 – konstanta závislá na zvětšující se hloubce výtažku [-].

Velikost konstanty **C₁** závisí na hloubce a pro mělké výtažky se hodnota pohybuje okolo $C_1 = 0{,}5$. Se zvětšující se hloubkou konstanta **C₁** stoupá až na $C_1 = 2$. Uvedená hodnota převážně platí pro výtažky o pěti až šesti násobku velikosti zaoblení **R**. [15; 21]

Tažná síla pro rovné části výtažku se získá pomocí vztahu [15; 21]:

$$F_r = L' \cdot s \cdot R_m \cdot C_2, \tag{2.10}$$

kde: F_r – síla potřebná k tažení rovných částí výtažku [N],

C_2 – konstanta závislá na tažné hraně [-],

L' – součet délek přímých částí stěn výtažku [mm].

Hodnota konstanty $C_2 = 0{,}2$ se volí z důvodu toho, aby byl dosažen správný tvar tažné hrany, byla dostatečná vůle mezi tažníkem a tažnicí a nulový přidržovací tlak. Nebo bude zvolena hodnota o velikosti $C_2 = 0{,}3$, přičemž podmínky budou zachovány stejné až na tlak přidržovače, protože ten už nebude nulový. Síla přidržovače, která přidržuje přístřih v průběhu tažení, nabývá hodnot kolem jedné třetiny celkové velikosti tažné síly. [15; 21]

Celková velikost tažné síly se získá z vzorce [15]:

$$F_t = F_{ro} + F_r = s \cdot R_m \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot R \cdot C_1 + L' \cdot C_2\right), \tag{2.11}$$

kde: F_t – celková tažná síla [N].

Celková silová bilance při tažení nerotačních výtažků je tvořena, krom tažné síly i silou potřebnou na přidržení dílce $\boldsymbol{F_p}$ a silou vyhazovače $\boldsymbol{F_v}$. Součtem tří sil tažné, přidržovací a vyhazovací se vypočte celková síla při tažení. [15; 21]

Celková síla při tažení je dána vztahem [21]:

$$F_c = F_p + F_t + F_v, \tag{2.12}$$

kde: F_v – síla vyhazovače [N],

F_c – celková síla při tažení [N].

Tažná práce je jedním z důležitých aspektů pro správný výběr vhodného lisu. Je důležité, aby byla dodržena podmínka, že jmenovitá tažná síla $\boldsymbol{F_t}$ bude vždy menší než velikost síly lisu, jinak by součást nemohla být vyrobena a došlo by k zastavení lisu.

Tažná práce se stanoví z výpočtu [3; 26]:

$$A_{taž} = \frac{F_c \cdot h \cdot C_p}{1000}, \tag{2.13}$$

kde: $A_{taž}$ – tažná práce [J],

h – výška výtažku [mm],

C_p – koeficient plnosti diagramu (0,6 ÷ 0,8) [-].

2.5 Tažný poloměr

Tažný poloměr nebo tažné zaoblení jsou názvy pro velikost zaoblení tažné hrany tažnice, přes kterou je materiál tažen. Optimální velikost poloměru tažné hrany je někdy definováno zkusmo a má na to vliv především druh a tloušťka materiálu, redukce u tažných operací, výška výtažku a poměr tažení. Zaoblení má tedy relativně velkou míru vlivu na tažný proces. Pokud by bylo zaoblení příliš malé může to vést k utržení tažného materiálu, naproti tomu u velkého zaoblení dochází k tvorbě cípatosti na okraji součásti. [23; 27]

Tažný poloměr u nerotačních výtažků se určí dle normy ČSN 22 7303 pro první tah [23]:

$$r_{tc} = (8 \div 10) \cdot s, \tag{2.14}$$

kde: r_{tc} – tažný poloměr pro první tah [mm].

Tažný poloměr dle ČSN 22 7303 pro další tahy [23]:

$$r_{tc}' = (6 \div 8) \cdot s, \tag{2.15}$$

kde: r_{tc}' – tažný poloměr pro další tahy [mm].

Jednou z variant získání poloměru je tedy vynásobení tloušťky jasně daným rozmezím podle tažné operace a dá se vystačit se vzorci (2.14) a (2.15). [23] Jestliže se požaduje přesnější určení tažného poloměru u nesymetrických tvarů provádí se výpočet podle následujících vztahů. [28]

Pro delší stranu [28]:

$$r_{pa} = 0{,}035 \cdot [50 + 2 \cdot (L_a - a_1)] \cdot \sqrt{s}, \tag{2.16}$$

kde: L_a – výchozí rozměr přístřihu (delší strana) [mm],
a_1 – rozměr delší strany po první operaci [mm],
r_{pa} – tažný poloměr pro delší stranu výtažku [mm].

Pro kratší stranu [28]:

$$r_{pb} = 0{,}35 \cdot [50 + 2 \cdot (L_b - b_1)] \cdot \sqrt{s}, \tag{2.17}$$

kde: L_b – výchozí rozměr přístřihu (kratší strana) [mm],
b_1 – rozměr kratší strany po první operaci [mm],
r_{pb} – tažný poloměr pro kratší stranu výtažku [mm].

Pro rádius v rohové části [28]:

$$r_{pc} = 2 \cdot r_{ta}, \tag{2.18}$$

kde: r_{tc} – tažný poloměr pro rádius v rohové části [mm].

Poloměr zaoblení hran tažníku se určuje podle poloměru zaoblení tažné hrany tažnice $\boldsymbol{r_{tc}}$ pro první tah, ale i pro další tahy. Při prvním tahu bývá hrana tažníku bez zkosení, ale pro mezitahy se používá zkosení hrany pod úhlem 35° ÷ 45°, přitom ale jsou poloměry zaoblení na obou přechodech totožné. [23; 27; 29]

V posledním tahu se hodnota poloměru pohybuje v rozsahu dle empirického vztahu nebo se dá získat z tab. 6 [29]:

$$r_{tv} = (3 \div 7) \cdot s, \tag{2.19}$$

kde: r_{tv} – poloměr zaoblení tažníku [mm].

Tab. 6 Poloměr tažníku u poslední operace [29].

Průměr výtažku [mm]	r_{tv} [mm]
10 ÷ 100	$(3 \div 4) \cdot s$
100 ÷ 200	$(4 \div 5) \cdot s$
200 a více	$(5 \div 7) \cdot s$

2.6 Tažná vůle a mezera

Tažná vůle je definována jako mezera, která se nachází mezi tažníkem a tažnicí, a především závisí na tloušťce zvoleného materiálu. Při tažení bez ztenčení stěny výtažku by vůle měla být větší než tloušťka plechu, pouze při kalibraci výtažku je rovna tloušťce materiálu nebo se dokonce volí lehce menší. [3; 15; 24]

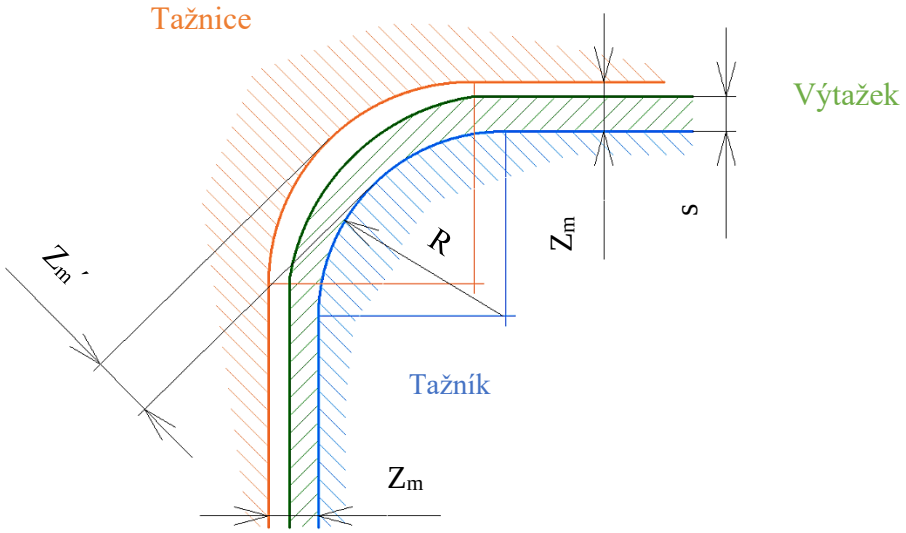
Tažná vůle se získá dle vztahu [3]:

$$v = 2 \cdot z, \tag{2.20}$$

kde: v – tažná vůle [mm],

z – tažná mezera [mm].

Volí se taková (obr. 26), aby došlo k snížení tření během vtahování materiálu přes hranu tažnice, protože tím se zmenší tažná síla a životnost nástroje se prodlužuje. Pokud je mezera příliš malá může nastat porušení dna výtažku, ale při příliš velké může dojít k zvlnění nebo zhoršení drsnosti povrchu. [3; 15]



Obr. 26 Tažná mezera v rozích a rovných částech [23].

Tažná mezera se volí pro každou operaci samostatně. Pro první tažnou operaci má být lehce větší než tloušťka materiálu **s**, aby tok materiálu při procesu probíhal snadno a materiál se nepěchoval nebo nekupil. S přibývajícím počtem tažných operací se mezera postupně snižuje až do poslední tažné operace, zde mezera může nabývat hodnot stejných jako tloušťky materiálu. U nerotačních výtažků se rozlišuje tažná mezera v rozích a v rovných částech součásti (obr. 26). Podle ČSN 22 7303 jsou doporučeny tažné mezery následovně. [3; 23]

Tažná mezera v podélných stranách [23]:

$$z_m = (1{,}15 \div 1{,}30) \cdot s, \tag{2.21}$$

kde: z_m – tažná mezera v rovných částech [mm].

Tažná mezera v rozích [23]:

$$z_m' = (1{,}130 \div 1{,}40) \cdot s, \tag{2.22}$$

kde: z_m' – tažná mezera v rohových částech [mm].

2.7 Tažné nástroje

Tažný nástroj představuje zařízení nazývané tažidlo, které je složeno z několika částí a vede k přeměně ocelového plechu na výtažek. Při konstrukci nástroje je důležité dbát na několik vstupních parametrů, například na vhodnou geometrii, výběr materiálu, přesnost, cenu a životnost. Jednotlivé komponenty tažidla se dělí na funkční a konstrukční části. Mezi funkční se zahrnuje tažník, tažnice, přidržovač a vyhazovač (obr. 27). Konstrukční prvky zejména jsou upínací desky, vodící sloupky či pouzdra. [2; 15; 27]

Obr. 27 Funkční části nástroje [30].

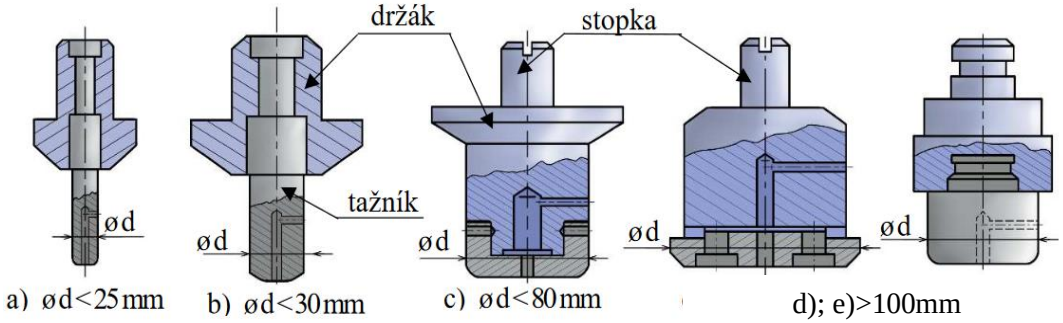
Funkční části musí být zkonstruovány tak, že jsou pevné a tvrdé, protože jsou během procesu namáhány na otěr a rázy. Zásada u návrhu je tedy taková, aby aktivní plochy měly co nejdelší trvanlivost, ale přitom byl použit co nejlevnější materiál na jejich výrobu. V praxi se vyrábějí z nástrojových uhlíkových nebo legovaných ocelí, z šedé litiny případně u kusové a zkušební výroby ze slitin zinku. Tažné nástroje menších nebo středně velkých rozměrů se zhotovují z ocelí. Důvod je takový, že nástrojové uhlíkové oceli se dobře kalí na povrchovou tvrdost, ale jejich celková prokalitelnost je značně malá. Jádro nástroje si tedy zachová svou houževnatost. Ve většině případů se používá pro výrobu základních částí nástroje ocel konstrukční oproti tomu funkční části, které tvoří výměnné vložky, jsou zhotoveny z oceli nástrojové. To proto, aby bylo možné pracovní část při poškození rychle vyměnit a zároveň se tím sníží celková cena nástroje. Pokud by nedostačovala tvrdost tažnice z uhlíkové oceli a zároveň by měla být navýšena odolnost proti opotřebení, využívá se tvrdé chromování. U hromadné výroby se dále používají na výrobu tažnic a tažníků slinuté karbidy (obr. 28). S jejich použitím jsou tažné nástroje schopny vyprodukovat až statisíce výtažků bez výraznějšího opotřebení. V tomto případě se tažnice zalisovávají do speciálních zděří a objímek, aby bylo zabráněno jejich roztržení. [2; 15; 27; 29]

Obr. 28 Tažnice ze slinutého karbidu [31].

Stěžejní funkční části nástroje představují tažníky a tažnice v případě nutnosti použití se k nim řadí i přidržovač nebo vyhazovač. Na jejich konstrukci je tedy brán největší ohled a zaměření. Hlavně tedy na volbu vhodného materiálu k zhotovení funkční části. Dále na výslednou cenu a životnost nástroje. [2; 15; 27; 29]

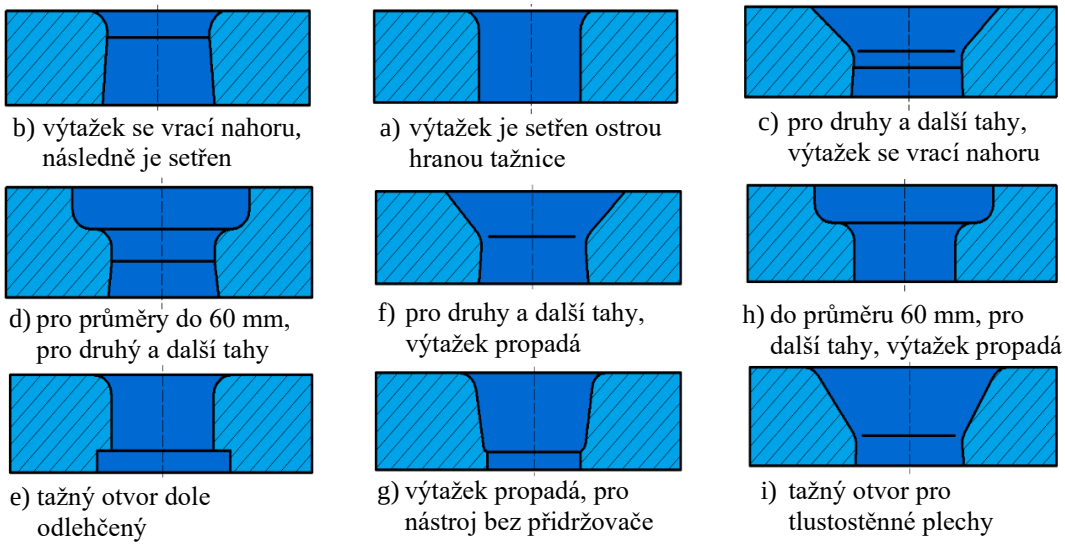
Dva nejhlavnější díly jsou popsány níže a jsou tvořeny: [2; 15; 27; 29]

- Tažníky – tvoří aktivní části nástroje, které mají budoucí tvar výtažku a slouží k jeho výsledné přeměně. Na obr. 29 jsou vidět různé tvary a konstrukce pro odlišné průměry. Namáhány jsou hlavně na vzpěr a po obvodu válcové části radiálními silami. Funkční prvky tažníku přitom tvoří čelo, poloměr zaoblení na čele a obvodová část. Takže jejich vnější průměr je zároveň vnitřním průměrem výtažku. Vyrábějí se celistvé (obr. 29 a) nebo kombinované (obr. 29 c,d) tažníky. Kombinované se vyrábějí z důvodu úspory materiálu. Vložkování je prováděno na tažné hraně anebo na válcové části tažníku. Aby bylo zvýšeno tření mezi tažníkem a polotovarem používají se různé vložky s drsnějším povrchem. U velkých tažníků se funkční části uchycují k držáku přišroubováním, pájením nebo lepením. Na výrobu tažníků bývá nejčastěji použita ocel 19 191 nebo 19 436 a upínání je řešeno pomocí stopky, která je často zhotovena z oceli 11 500. Z obr. 30 lze vidět, že uvnitř tažníku bývá vyvrtán odvzdušňovací otvor, aby bylo dosaženo snazšího stírání dílce. [2; 15; 27; 29]



Obr. 29 Konstrukce tažníků podle jejich průměru [27; 29; 32].

- Tažnice – jsou další hlavní a nedílnou součástí tažného nástroje. Při procesu tažení dochází k vtahování materiálu přes tažnou hranu dále do otvoru. Tvar tažné hrany (obr. 30) má obrovský vliv na průběh a výsledný tvar výtažku. Tažnice podle výroby lze rozdělit na celistvé nebo vložkované. Uchycení bývá provedeno do základové desky buď s využitím šroubů a vymezení vůle nastane za pomoci kolíků nebo je uložení řešeno zalisováním, které ovšem musí být velice přesné. Funkční část plochy je leštěna na Ra = 0,4 µm. Materiál pro výrobu tažnic je nejčastěji nástrojová ocel 19 191, která je kalena a lze dosáhnout tvrdosti až 64 HRC nebo oceli 19 312 a 19 436, které po zakalení mají tvrdost až 60 HRC. Na obr. 30 jsou vidět různá provedení otvorů tažnic používaných na specifické operace. [2; 15; 27; 29]

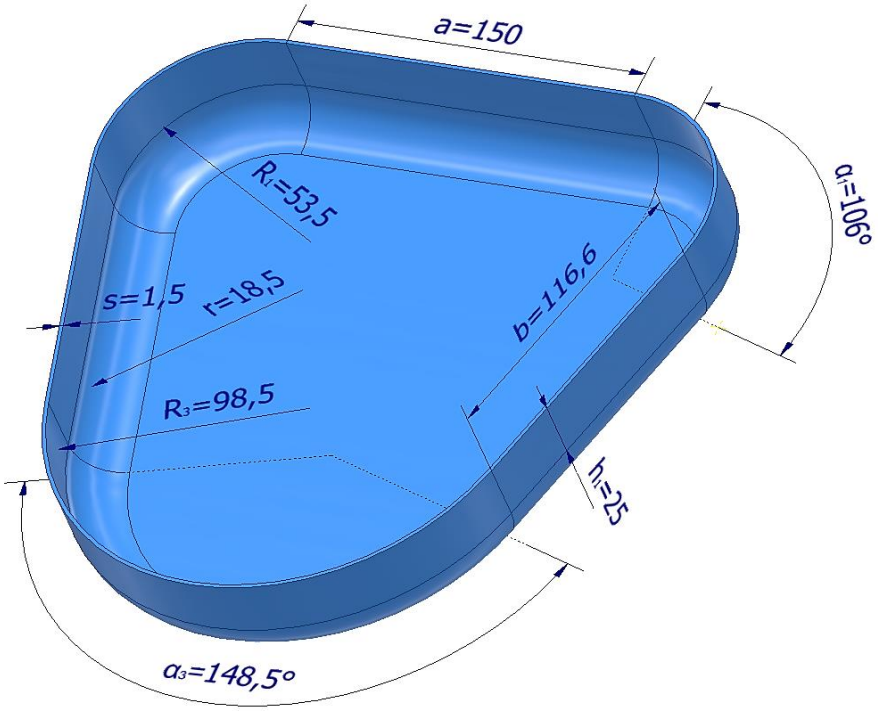


Obr. 30 Různá provedení otvoru tažnice [29].

3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Vyráběnou součástí je ochranný kryt (obr. 31) na motocykl, který má za úkol zajistit ochranu dílů pod ním schovaných. Na výrobu krytu byla vybrána metoda hluboké tažení bez ztenčení stěny. Důležité je posoudit, zdali je součást možno vyrobit, a proto bude se provede zhodnocení její technologičnosti:

- Materiál – měly by být dodrženy požadavky na funkční část během provozu. Jako materiál byla zvolena ocel 11 320. Jedná se o nelegovanou uhlíkovou ocel, u které bude následně aplikována povrchová úprava ve formě práškového lakování. Mechanické vlastnosti jsou uvedeny v (tab. 1) a chemické složení v (tab. 2). Materiál je vhodný pro hluboké tažení.
- Tvar – jako nejvhodnější se jeví použít co nejjednodušší tvar, který nebude obsahovat tvarově složité a nesymetrické prvky. Kryt je složen ze tří rovných stěn a dna u kterého je zaoblení R = 18,5 mm. Ve spodní části je vytvořen otvor na ustavení a na dně výtažku se nachází díra pro smontování dílce s rámem motocyklu. Práce se zabývá pouze základním tvarem a metodou hlubokého tažení, a tak zhotovení otvoru ani díry nebude zahrnuto.
- Drsnost a tolerance – maximální drsnost byla zvolena Ra = 3,2 µm. Pomocí hlubokého tažení lze předepsanou drsnost dosáhnout. Na součást nejsou předepsány žádné tolerance, takže budou vzaty podle normy ISO 2768 pro netolerované rozměry.
- Rozměry a počet kusů – finální podoba výtažku má rozměry 264 mm šířku,259 mm délku, tloušťka materiálu je 1,5 mm a hloubka nabývá hodnoty 45 mm. Celková výrobní série činí 80 000 ks za rok.



Obr. 31 Okótovaný model krytu.

V prvním kroku se zjistí závislost maximální výšky, která bude moct být zhotovena v prvním tahu na velikosti zaoblení nádoby v rozích a na kolik operací je potřeba táhnout. Pokud platí podmínka $\mathbf{h_{max}}$ je větší, než **h** jedná se o jednooperační tažení, naopak se bude jednat o víceoperační. [22]

Pro výpočet se použije vztah, který lze najít v kapitole 2.2 tab. 4. Všechna rohová zaoblení výtažku přesahují R ≥ 19 mm tomu odpovídá přepočet 4 · R. Do výpočtu se dosadí nejmenší vnitřní poloměr v rozích R = 53,5 mm z důvodu bezpečného dosažení **h_{max}**. [15]

Maximální dosažitelná výška v prvním tahu se získá ze vztahu [22]:

$$h_{max} = 4 \cdot R = 4 \cdot 53{,}5 = 214\ mm, \tag{3.1}$$

kde: h_{max} – maximální dosažitelná výška [mm],

R – poloměr rohu výtažku [mm]; R = 53,5 mm.

Podle vztahu byla získána největší výška, kterou může výtažek nabývat v prvním tahu, a to h_{max} = 214 mm. Kryt motocyklu má předepsanou výšku h = 45 mm. Kontrolní výpočet tedy potvrdil, že je součást vyrobitelná na jednu tažnou operaci, tj. platí nerovnost $h_{max} \geq h$. Pro daný typ výtažku je ovšem dále nutné provést kontrolu vyrobitelnosti jednotlivých poloměrů v rozích. Ověřuje se, jestli můžou být ponechány, tak jak jsou navrženy nebo musí dojít k jejich změně. V tom hraje roli i přídavek na ostřižení. Přídavek se dá určit několika způsoby pomocí různých literatur. ČSN 22 7303 doporučuje 2 ÷ 20 mm, podle velikosti výtažku a ostřihovacího zařízení. Literatura lisování obsahuje tabulku závislou na maximálním rozměru a tloušťce. Po zvážení všech možností byl zvolen přídavek na ostřižení 5 % z výšky **h**. [21; 22; 23]

Výpočet přídavku na ostřižení [22]:

$$\Delta c = 0{,}05 \cdot h = 0{,}05 \cdot 45 = 2{,}25\ mm, \tag{3.2}$$

kde: Δc – přídavek na ostřižení [mm],

h – výška výtažku [mm]; h = 45 mm.

Po získání **Δc** se může přejít na výpočet rovné svislé výšky stěny výtažku zvětšenou o přídavek na ostřižení **h´**. Výška **h´** se určí jednoduchým vztahem přesněji součtem výšky rovné svislé stěny $\mathbf{h_1}$ a přídavku na ostřižení **Δc**. Hodnota $\mathbf{h_1}$ je převzata, viz obr. 31. [22]

Výška rovné svislé stěny výtažku zvětšená o přídavek na ostřižení se vypočte se vzorce [22]:

$$h' = h_1 + \Delta c = 25 + 2{,}25 = 27{,}25\ mm, \tag{3.3}$$

kde: h_1 – výška rovné svislé stěny [mm]; převzata z obr. 31,

h´ – výška rovné svislé stěny výtažku zvětšená o přídavek na ostřižení [mm].

Po získání **h´** se provede první krok stanovením tzv. redukovaného poloměru přístřihu $\mathbf{R_c}$, jež se následně vynásobí příslušným koeficientem tažení. Tím se vypočte minimální poloměr, který se porovná s odpovídajícím poloměrem v rohu. Výpočet se musí provést pro každé zaoblení samostatně, označení stran a úhlů včetně jejich skutečné hodnoty vychází z obr. 31. [21]

Redukovaný poloměr přístřihu pro $\mathbf{R_{c1}}$ a $\mathbf{R_{c2}}$ se vypočte pomocí vztahu (2.1) z kapitoly (2.1):

$$R_{c1} = R_{c2} = \sqrt{2 \cdot R \cdot h' + R^2 + 1{,}14 \cdot R \cdot r},$$

$$R_{c1} = \sqrt{2 \cdot 53{,}5 \cdot 27{,}25 + 53{,}5^2 + 1{,}14 \cdot 53{,}5 \cdot 18{,}5} = 83{,}104\ mm.$$

Redukovaný poloměr přístřihu pro zaoblení $\mathbf{R_{c3}}$ se určí výpočtem (2.1) v kapitole (2.1):

$$R_{c3} = \sqrt{2 \cdot R \cdot h' + R^2 + 1{,}14 \cdot R \cdot r},$$

$$R_{c3} = \sqrt{2 \cdot 98{,}5 \cdot 27{,}25 + 98{,}5^2 + 1{,}14 \cdot 98{,}5 \cdot 18{,}5} = 130{,}950\ mm.$$

Zjednodušené kritérium k určení koeficientu tažení je v kapitole 2.2 vztah 2.3 z kterého se bude vycházet. Výtažek má sice rovné stěny, ale ty nesvírají pravý úhel, proto určení bude odečteno z tabulky v příloze č. 3. Stěny přiléhající k úhlu nádoby se dají do poměru k rohovému zaoblení. Vznikne poměr pro kratší a delší stranu a společně s úhlem se dohledá patřičný koeficient tažení. [21]

Poměr délky delší rovné strany **a** k poloměru rohové části $\mathbf{R_1}$ se získá [21]:

$$ST_a = \frac{a}{R_1} = \frac{150}{53,5} = 2,804 \cdot R \doteq 3 \cdot R, \tag{3.4}$$

kde: a – přilehlá rovná strana (obr. 31) [mm],

ST_a – poměr rovné části k zaoblení rohu [-].

Poměr délky kratší rovné strany **b** k poloměru zaoblení rohové části $\mathbf{R_1}$ se stanoví [21]:

$$ST_b = \frac{b}{R_1} = \frac{116,6}{53,5} = 2,179 \cdot R \doteq 2 \cdot R, \tag{3.5}$$

kde: b – přilehlá rovná strana (obr. 31) [mm],

kde: ST_b – poměr rovné části k zaoblení rohu [-].

Poměr délky přiléhající strany **b** k poloměru zaoblení rohové části $\mathbf{R_2}$ se vypočte [21]:

$$ST_c = \frac{b}{R_3} = \frac{116,62}{98,5} = 1,184 \cdot R \doteq 1 \cdot R, \tag{3.6}$$

kde: ST_c – poměr rovné části k zaoblení rohu [-].

Byly určeny poměry délek stran přiléhajících k úhlu $\boldsymbol{\alpha_1}$. U delší strany bylo zvoleno $ST_a = 3 \cdot R$ a pro kratší stranu $ST_b = 2 \cdot R$. Podle přílohy č. 3 větší délce odpovídá rozsah $(2 \div 3) \cdot R$ a kratší tedy $2 \cdot R$. Úhel rohu nádoby je převzat z obr. 31 a jeho hodnota je $\alpha_1 = 106°$. Ovšem v příloze č. 3 jsou úhly odstupňovány po 15°, proto pro odečtení bude brána nejbližší hodnota, a to $\alpha = 105°$. K úhlu rohu nádoby $\alpha_3 = 148,5°$ přiléhají dvě strany o stejné délce. Přirovnání bude stanoveno následovně jedna strana bude brána jako kratší a jí odpovídá $1 \cdot R$ a delší rozsah $(1 \div 1,5) \cdot R$. Opět se musí určit nejbližší hodnota pro úhel α_3 a tou je $\alpha = 150°$. [21]

Stanovení součinitele tažení pro vrchní zaoblení $\mathbf{R_{1,2}}$ [21]:

$$m_{\alpha 1} = m_{\alpha 2} = 0,51,$$

kde: $m_{\alpha 1}$ – koeficient tažení krabicové nádoby [-],

$m_{\alpha 2}$ – koeficient tažení krabicové nádoby [-].

Koeficient tažení pro vrchní zaoblení $\mathbf{R_3}$ [21]:

$$m_{\alpha 3} = 0,56,$$

kde: $m_{\alpha 3}$ – koeficient tažení krabicové nádoby [-].

Po získání koeficientu tažení přichází finální kontrola. Bude vypočítán minimální poloměr zaoblení $\mathbf{R_{min}}$ rohových částí výtažku v první tažné operaci a to tak, že se vynásobí koeficient tažení redukovaným poloměrem $\mathbf{R_c}$. Následně se porovná s navrhovaným zaoblením. Pokud platí podmínka $R_{min} \leq R$ může být stávající poloměr rohu ponechán, jak je navržen. [21; 22]

Minimální poloměr zaoblení rohu výtažku se získá pomocí výpočtu [21; 22]:

$$R_{min1} = R_{min2} = m_{\alpha 1} \cdot R_c = 0,51 \cdot 83,104 = 42,383\ mm, \tag{3.7}$$

kde: R_{min1} – minimální poloměr rohu výtažku [mm],

R_{min2} – minimální poloměr rohu výtažku [mm].

Pomocí výpočtu bylo získáno minimální zaoblení R_{min1} = 42,383 mm a navržený poloměr zaoblení rohu výtažku je R = 53,5 mm. To znamená že podmínka je splněna, protože $R_{min1} \leq R$ a poloměr rohu bude moct být ponechán, tak jak je navržen. [21; 22]

Minimální poloměr zaoblení rohu výtažku se získá pomocí výpočtu [21; 22]:

$$R_{min3} = m_{\alpha 3} \cdot R_{c3} = 0,56 \cdot 130,950 = 73,332\ mm, \tag{3.8}$$

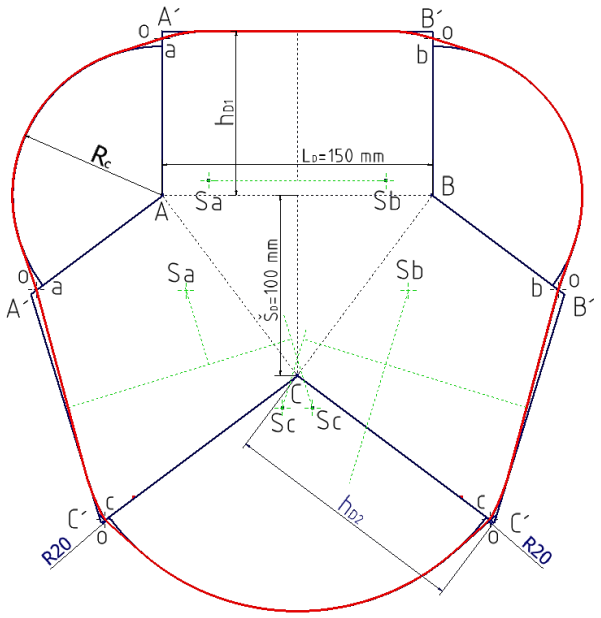
kde: R_{min3} – minimální poloměr rohu výtažku [mm].

Z výpočtů byl získán minimální poloměr rohu spodní části, který je R_{min3} = 73,332 mm. Předepsané zaoblení je R = 98,5 mm. Podmínka je opět splněna, protože splňuje $R_{min3} \leq R$. Poloměr rohu výtažku bude tedy zachován. [21; 22]

Byly provedeny kontrolní výpočty, které měly ověřit, zdali bude možné zhotovit výtažek. Prvním byla určena maximální dosažitelná výška $\mathbf{h_{max}}$. Pomocí druhého vztahu se stanovil minimální poloměr rohu výtažku $\mathbf{R_{min1;2;3}}$, u kterého bylo nutné ověřit všechna navrhnutá rohová zaoblení. Kontrolní výpočty v obou případech dopadly pozitivně, tudíž výtažek je vyrobitelný.

3.1 Návrh polotovaru

Důležité pro výrobu ochranného krytu je zvolení vhodného polotovaru a určení jeho základních rozměrů. Jako polotovar je zvolen ocelový plechu o tloušťce 1,5 mm. Pro správné zkonstruování ideálního tvaru přístřihu bude vycházeno z popsaného postupu v kapitole 2.1. Prvně se vypočtou rozměry dna (čárkovaně) a jeho strany se prodlouží o hodnotu $\mathbf{h_D}$. Mezi rovné stěny je zhotoven redukovaný poloměr $\mathbf{R_c}$. V posledním kroku se vytvoří pomocí zaoblení a napojení plynulý obrys v rozích. Vzhledem k nerovnoměrné výšce jednotlivých částí pláště výtažku je napojení v některých částech provedeno pouze zjednodušenou formou, tj. tečným propojením v místě skokových přechodů obrysu a následným zaoblením o hodnotě 20 mm. Provedením všech kroků vznikne základní tvar přístřihu, který je znázorněn červenou tlustou čarou pro lepší přehlednost a jeho výsledný tvar je zobrazen na obr. 32. [15; 21; 22]



Obr. 32 Ideální tvar polotovaru.

Po změření vytvořeného modelu byly zjištěny největší finální rozměry polotovaru. Ty nabývají hodnot šířky 316 mm a délky 322 mm. Důležitou součástí při vytváření ideálního přístřihu bylo dopočítat jednotlivé rozměry potřebné pro konstrukci. Hodnoty byly spočteny jako: [22]

- Délka čárkovaného dna výtažku se vypočte ze vztahu [22]:

$$L_D = L - 2 \cdot s - R_1 - R_3 = 255 - 2 \cdot 1{,}5 - 53{,}5 - 98{,}5 = 100\ mm, \qquad (3.9)$$

  kde: L_D – délka dna přístřihu [mm].

- Šířka čárkovaného dna výtažku se získá z výpočtu [22]:

$$Š_D = Š - 2 \cdot s - 2 \cdot R_1 = 260 - 2 \cdot 1{,}5 - 2 \cdot 53{,}5 = 150\ mm, \qquad (3.10)$$

  kde: $Š_D$ – šířka dna přístřihu [mm].

- Výška stěny rozvinutého tvaru se určí ze vzorce 2.2 v kapitole 2.1:

$$h_{D1} = h' + \frac{\pi \cdot r}{2} + R_1 - r = 27{,}25 + \frac{\pi \cdot 18{,}5}{2} + 53{,}5 - 18{,}5, \\ = 91{,}31\ mm,$$

kde: h_{D1} – výška prodloužené stěny výtažku [mm].

- Výška stěny rozvinutého tvaru se vypočte pomocí vzorce 2.2 v kapitole 2.1:

$$h_{D2} = h' + \frac{\pi \cdot r}{2} + R_3 - r = 27{,}25 + \frac{\pi \cdot 18{,}5}{2} + 98{,}5 - 18{,}5, \\ = 136{,}31\ mm,$$

kde: h_{D2} – výška prodloužené stěny výtažku [mm].

Polotovar, z kterého může být zhotoven výtažek lze získat několika způsoby. Jednotlivé metody mají své výhody a nevýhody, které je potřeba zvážit jako například rychlost, efektivita, ekonomická stránka a složitost. Při zahrnutí všech důležitých faktorů a s cílem zvolit nejvhodnější z nich byly vybrány následující možnosti na výrobu přístřihu: [33; 34; 35]

- Kotoučové nůžky – jedná se o beztřískové dělení materiálu. Jejich využití je především u přístřihu rotačního tvaru a u polotovarů menších rozměrů, proto kotoučové nůžky nejsou vhodné k použití. [35]
- Řezání vodním paprskem – strojní technologie při které dochází k řezání materiálu pomocí soustředěného tenkého paprsku vody pod vysokým tlakem. Kvůli možnému vzniku koroze nebude metoda použita. [33; 34]
- Řezání plazmou – ruční nebo strojní metoda, která využívá ionizovaný plyn koncentrovaný do jednoho bodu o vysoké rychlosti a teplotě pro vytvoření řezu. Z důvodu vzniku tepelně ovlivněné oblasti a nižší produktivitě vzhledem k sérii 80 000 kusů nebude metoda vybrána. [33; 34]
- Řezání laserem – tavná metoda při které úzký fokusovaný paprsek vysoce zahřátého světla řeže materiál. Kvůli vysoké rychlosti, tenkému řezu a přesnosti je zvoleno řezání laserem. Tloušťku 1,5 mm s přehledem zvládne vyříznout a tepelně ovlivněná oblast je menší proti plazmě. [33; 34]

Při zvážení všech důležitých aspektů a parametrů na výrobu polotovaru byla zvolena jako nejvhodnější varianta řezání laserem. Při procesu lze dosáhnout poměrně vysokých přesností. Metoda dokáže vypálit tloušťku 1,5 mm bez problému, navíc laser je rychlý, efektivní a má tenký řez. Proto bude metoda použita i v následující části práce.

3.2 Možnosti uspořádání a procentuální využití plechu

Pomocí laseru bude vyříznut ideální tvar plechového polotovaru, který je důležité vhodně uspořádat na pás plechu. Pásy plechu se dají zhotovit z tabule plechu nebo ze svitku. Svitky se používají především pro výrobní série o velkém počtu kusů a je zapotřebí mít k dispozici rovnací, naviječí a odviječí zařízení. Z důvodu další nutné investice ke koupi potřebných zařízení pro využití svitků byla zvolena varianta tabule plechu, která bude nastříhána na pásy. Nejdůležitější je správné rozložení polotovaru na pás plechu, protože tím se zvyšuje počet kusů, které lze vypálit a zároveň se snižuje množství odpadového materiálu, což navyšuje procentuální využití. K výpočtu procentuálního využití tabule plechu byl využit online software od firmy Nest&Cut a dále se pomocí softwaru vytvořilo vhodné rozmístění polotovarů na tabuli. Minimální vzdálenost dvou polotovarů byla nastavena na 5 mm a vzdálenost dílu od okraje na 2 mm. Šířka řezu byla programem určena na 0,1 mm. Tabule plechu budou dodány od prodejce hutního materiálu Ferona a.s. a to v rozměrech 2 000 × 1 000 mm, 3 000 × 1 500 mm a 2 500 × 1 250 mm. V tabulce 7 jsou uvedeny procentuální využití a základní parametry. [37; 38]

Tab. 7 Procentuální využití tabulí plechu [37].

Rozměr plechu [mm]	2 000 × 1 000	2 500 × 1 250	3 000 × 1 500
Počet polotovarů [ks]	20	31	44
Plocha tabule [mm^2]	2 000 000	3 125 000	4 500 000
Plocha polotovarů [mm^2]	1 610 000	2 500 000	3 540 000
Plocha odpadu [mm^2]	390 000	625 000	960 000
Procentuální využití tabule [%]	81,40	81,04	80,67

Po porovnání všech variant vyšlo procentuální využití plechu nejlépe u formátu 2 000 × 1 000 mm. Jelikož se z jedné tabule vypálí pouze 20 polotovarů bude raději zvolena varianta 3 000 × 1 500 mm. Rozdíl v procentuálním využití plechů je minimální, ale za to nastane velká časová úspora z důvodu snížení počtu mezioperačních operací např. při zakládání. Přitom se z jedné tabule získá až 44 kusů, přičemž nezbude skoro žádný odpadový materiál, s kterým by se dalo dále pracovat, viz obr. 33, na kterém je vidět rozložení polotovaru. Zbylé dvoje uspořádání polotovarů na tabulích plechu lze vidět v příloze 4 a 5. [37]

Obr. 33 Uspořádání polotovaru na tabuli plechu pomocí softwaru [37].

3.3 Technologické výpočty

Aby bylo možné kryt vyrobit a konstruovat správně nástroj je k tomu potřeba vypočítat různé technologické parametry. Díky vztahům bude například určena přidržovací síla, celková tažná síla nebo práce, ale bude stanovena i důležitá geometrie funkční části nástroje. Při tažení nerotačních krabicových součástí je nezbytné využít přidržovače, který zabraňuje tvorbě vln. Přidržovací síla se vypočte podle vzorce, do kterého vstupují dvě proměnné přidržovací tlak a plocha. Pro plechový polotovar z hlubokotažné oceli 11 320 o tloušťce 1,5 mm je doporučený tlak v rozmezí 1,8 ÷ 2,2 MPa, hodnota je zvolena na 2 MPa. Styková plocha $\mathbf{S_p}$ byla získána pomocí programu Autodesk Inventor 2021. [3; 15]

Přidržovací síla se určí z kapitoly 2.3 pomocí vztahu 2.7:

$$F_p = S_p \cdot p = 80502{,}114 \cdot 2 = 161\,004{,}23\ N.$$

Ke správné konstrukci nástroje je nutné určit jeho základní parametry. Bude proveden výpočet, který stanoví zaoblení tažné hrany tažnice, zaoblení tažníku a dalšími vztahy se zjistí tažná mezera. Pro zaoblení hrany tažníku by mohl být využit vzorec (2.19) z kapitoly 2.5, ale jeho zaoblení kopíruje geometrii výtažku, proto bude zvoleno stejné jako vnitřní zaoblení dna.

$$r_{tv} = 18{,}5\ mm.$$

V kapitole 2.6 ze vzorce 2.21 a 2.22 se vypočte tažná mezera následovně:

$$z_m = (1{,}15 \div 1{,}30) \cdot s = 1{,}2 \cdot 1{,}5 = 1{,}8\ mm,$$

z rozmezí zvolena hodnota 1,2,

$$z_m{}' = (1{,}130 \div 1{,}40) \cdot s = 1{,}2 \cdot 1{,}5 = 1{,}8\ mm,$$

z rozmezí zvolena hodnota 1,2.

Výtažek bude tažen na jednu tažnou operaci a zaoblení tažné hrany tažnice se získá z kapitoly 2.5 použitím vztahu (2.14):

$$r_{tc} = (8 \div 10) \cdot s = 8 \cdot 1{,}5 = 12\ mm.$$

Z rozmezí pro výpočet tažné hrany tažnice bylo zvolena hodnota 8. Hlavním důvodem je snížení volné délky, ve které by se materiál mohl nacházet při procesu tažení mezí tažníkem, přidržovačem a tažnicí, protože tehdy by mohlo docházek ke vzniku vln.

Na výběr vhodného stroje je zapotřebí různých parametrů a jedním z nich je výpočet tažné síly. U nerotačních výtažků se tažná síla rozkládá na dvě složky. Jedná se o síly, které jsou potřebné k tažení rohových částí a rovných stěn. U výtažku jsou tři rohová zaoblení $\mathbf{R_{1,2}}$ a $\mathbf{R_3}$ pro výpočet bude zvolena hodnota zaoblení R_3 = 98,5 mm, protože se jedná o největší poloměr, a tudíž zde působí nejvyšší tažná síla v rozích. Velikost konstanty zvolena C_1 = 1 a C_2 = 0,3. [15; 21]

Tažná síla v rozích se vypočte podle kapitoly 2.4 vzorec (2.9):

$$F_{ro} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot s \cdot R_m \cdot C_1 = 2 \cdot \pi \cdot 98{,}5 \cdot 1{,}5 \cdot 370 \cdot 1 = 343\,486{,}03\ N.$$

Tažná síla v pro rovné části se získá z kapitoly 2.4 pomocí výpočtu (2.10):

$$F_r = L' \cdot s \cdot R_m \cdot C_2 = 383{,}2 \cdot 1{,}5 \cdot 370 \cdot 0{,}3 = 63\,802{,}8\ N,$$

kde: L' – součet délek přímých částí stěn výtažku [mm], hodnoty převzaty (obr. 31),

$$L' = 2 \cdot b + a = 2 \cdot 116{,}6 + 150 = 383{,}2\ mm.$$

Celková velikost tažné síly se už jednoduše získá součtem sil $\mathbf{F_{ro}}$ a $\mathbf{F_r}$, které se navíc zvětší koeficientem $\mathbf{k_f}$. Jedná se o koeficient zahrnující tření během procesu a pohybuje se v rozmezí 1,1 ÷ 1,2. Pro výpočet je zvolena prostřední hodnota k_f = 1,15. [21]

Celková velikost tažné síly určí dle kapitoly 2.4 pomocí vzorce (2.11) [21]:

$$F_t = (F_{ro} + F_r) \cdot k_f = (343\,486{,}03 + 63\,802{,}8) \cdot 1{,}15 = 468\,382{,}15\ N. \qquad (3.11)$$

Následně se ale musí vypočítat celková silová bilance při tažení, která je složena ze tří sil. Z tažné a přidržovací síly, ale i síly potřebné na uvolnění výtažku z nástroje neboli vyhazovací. Vyhazovací síla bude určena tak, aby bylo možné součást bezpečně a bez problému vyjmout z nástroje. Proto byla odhadem stanovena jako 15 % z celkové velikosti tažné síly $\mathbf{F_t}$:

$$F_v = \frac{F_t}{100} \cdot 15 = \frac{468\,382{,}15}{100} \cdot 15 = 70\,257{,}32\ N. \qquad (3.12)$$

Celková síla při tažení se určí z kapitoly 2.4 vztahem (2.12):

$$F_c = F_p + F_t + F_v = 161\,004{,}23 + 468\,382{,}15 + 70\,257{,}32,$$
$$= 699\,643{,}68\ N.$$

Poslední výpočet bude zaměřen na tažnou práci, která je nedílnou součástí pro správný výběr vhodného tažného lisu. Práce se stanoví pomocí výšky, které odpovídá hodnota h = 45 mm, koeficientu zaplnění plochy a celkové síly. Koeficient nabývá rozmezí C = 0,6 ÷ 0,8.

Tažná práce se stanoví z kapitoly 2.4 ze vzorce (2.13):

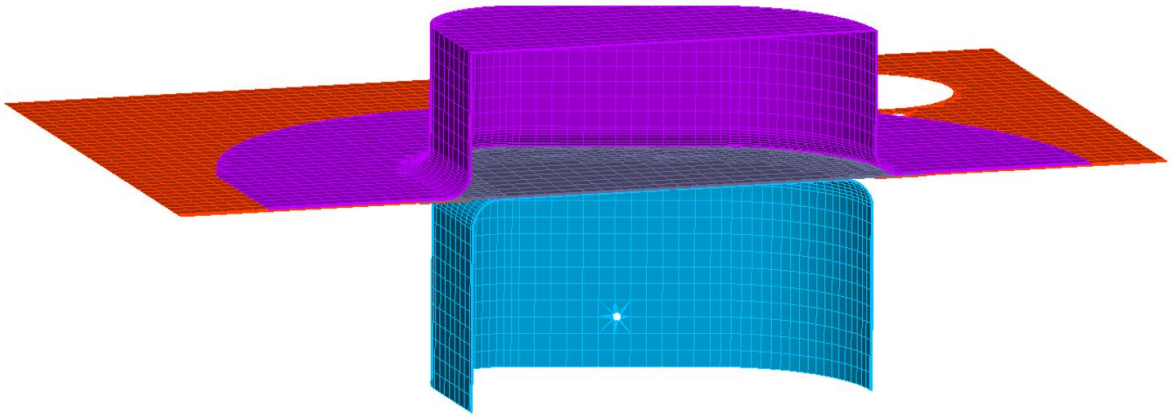
$$A_{taž} = \frac{F_c \cdot h \cdot C}{1000} = \frac{704\,386{,}38 \cdot 45 \cdot 0{,}7}{1000} = 22\,188{,}17\ J,$$

kde: C – koeficient zaplnění plochy [-]; zvolen C = 0,7.

3.4 Kontrola návrhu pomocí simulace

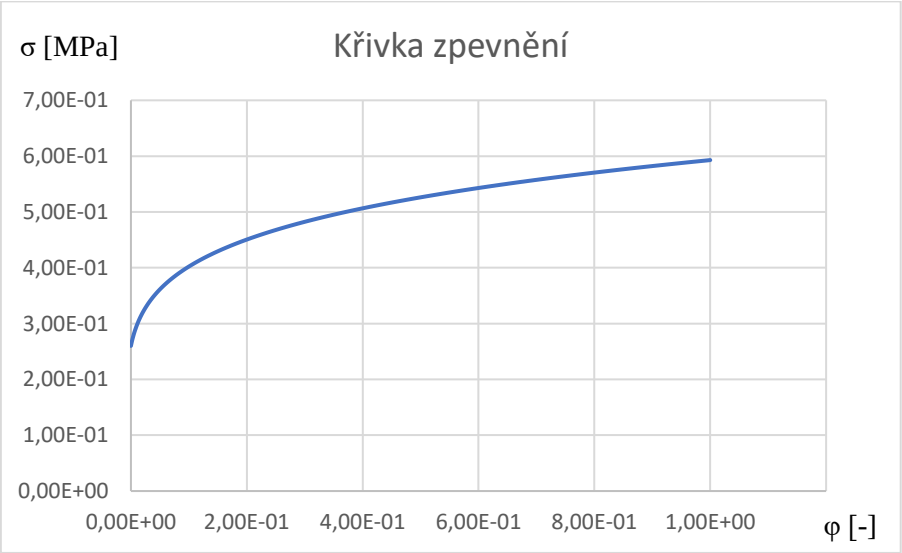
Na výrobu krytu, ale hlavně pro kontrolu jeho vyrobitelnosti byla provedena numerická simulace s využitím softwaru PAM-Stamp 2022. Hlavním cílem je ověření a zároveň získání reálné představy o průběhu procesu tažení a finálním tvaru výtažku. Software pracuje na principu metody konečných prvků, která rozdělí těleso na malé části, jež jsou matematicky jednoduše popsatelné a s nimi následně pracuje.

Na obrázku 34 lze vidět geometrický model úlohy. Model nástroje je brán v programu jako ideálně tuhé těleso a je složen z virtuálního tažníku (modrá barva), přidržovače (oranžová barva) a tažnice (fialová barva). Všechny zmíněné součásti jsou pokryty sítí 2D kontaktních prvků. Poslední součástí je polotovar (šedá barva) a ten je popsán shell tzv. skořepinovými prvky, které umožňují simulace tenkostěnných těles typu plech.



Obr. 34 Řez geometrického modelu pokrytý sítí konečných prvků.

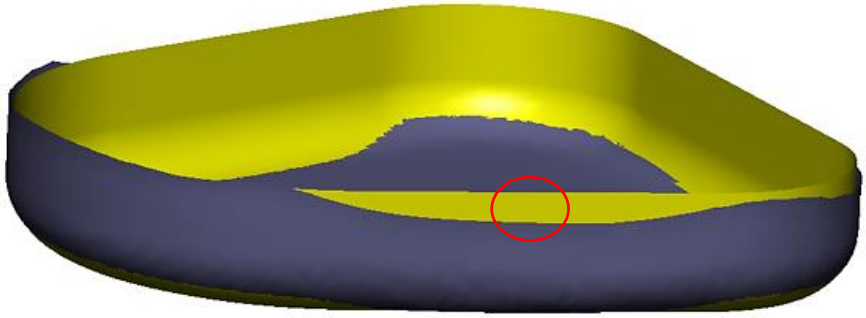
Dále pro účely simulace bylo použito u modelu h – adaptivní přesíťování. Jedná se o zjemnění prvku v případě detekce složitější geometrie. Materiálový model byl nastaven a definován pro zvolený materiál 11 320, tedy jeho elastickými vlastnostmi, které jsou vypsány v tab. 2, křivkou zpevnění (obr. 35) a koeficienty anizotropie (r0 = 1,77, r45 = 1,16, r90 = 1,94). Jako poslední byl nastaven koeficient tření mezi tažníkem a tažnicí na f = 0,12.



Obr. 35 Křivka zpevnění

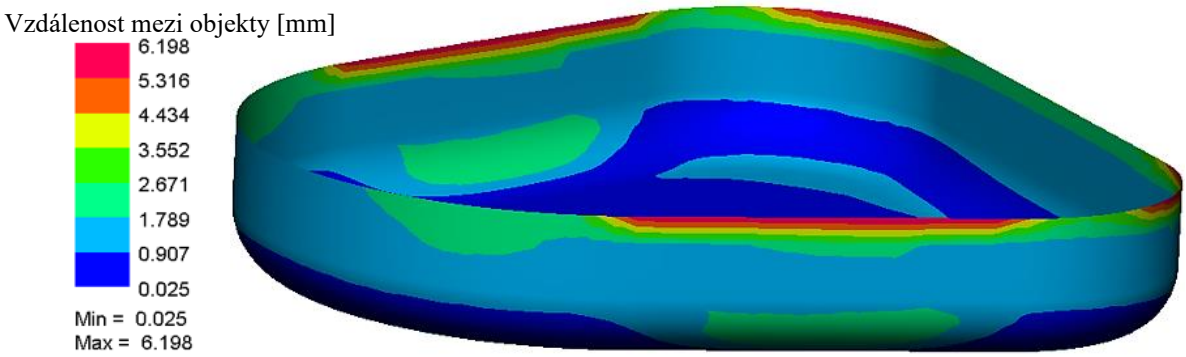
Po nastavení všech parametrů se pokračovalo k samotnému výpočtu simulace. V první části varianty simulace byl analyzován ideální tvar polotovaru, viz obr. 32. V rámci postprocessingu bylo zjištěno, že výtažek je vytažen bez větších problémů, viz příloha 6 a 7, kde je například vidět změna tloušťky nebo riziko vzniku trhlin.

Z následného porovnání (obr. 36) požadované geometrie dílce dle zadání (žlutá barva) a geometrie výtažku zjištěné simulací (šedá barva) vyplývá, že v některých částech chybí materiál k dosažení požadovaného tvaru. Přesněji, v místě označeném červeně byl naměřen rozdíl cca 6 mm. Pro vytvoření správného tvaru, který bude odpovídat zadání, je zapotřebí přidání materiálu. Proto byl navýšen polotovar symetricky o 10 mm do všech stran.



Obr. 36 Srovnání ideálního výtažku a tvaru vytvořeného simulací.

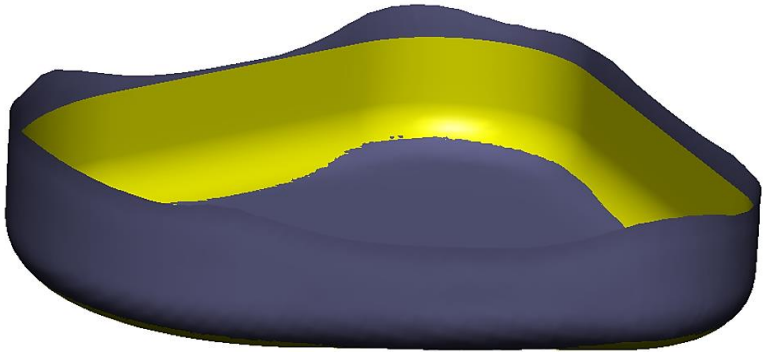
Srovnání vzdáleností pomocí barevné mapy je na obrázku 37. Z obrázku lze vidět, že od ideálního tvaru se výtažek liší v rámci vzdálenosti geometrií (kontur) v horních částech až o 6,198 mm. Oproti tomu nejmenší odchylka 0,025 mm se nachází v rohových částech a dně.



Obr. 37 Srovnání vzdálenosti mezi ideálním tvarem a modelem vytvořeného simulací.

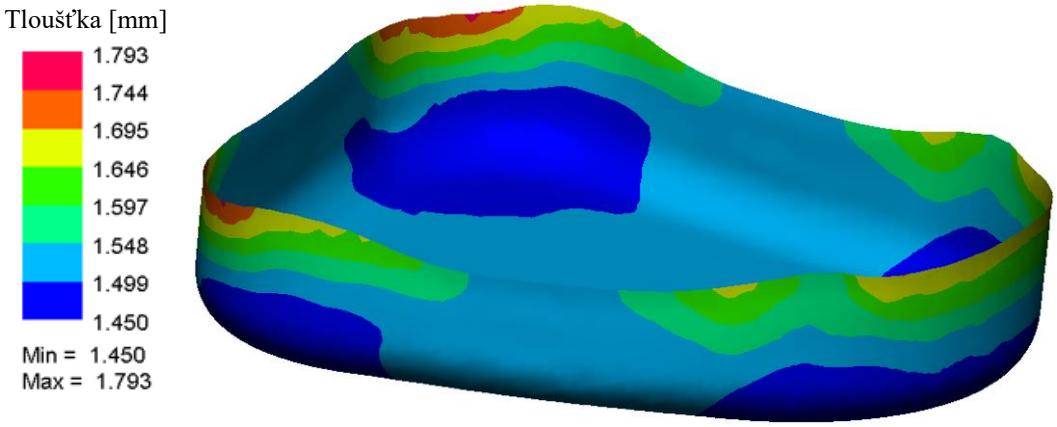
3.4.1 Druhá varianta s odsazením polotovaru

Druhá varianta byla provedena pro zvětšený tvar polotovaru, u kterého, jak již bylo zmíněno výše, byl přidán symetrický přídavek 10 mm ve všech stranách. Následovala simulace, která měla nastavený stejný geometrický a matematický model. Po provedení (obr. 38) druhé simulace a porovnání CAD modelu dle požadavků na výtažek (žlutá barva) a simulací predikovaného tvaru (šedá barva) bylo zjištěno, že model vytvořený simulací odpovídá požadovanému tvaru. Z výsledku je možno vidět, že v žádné části již nechybí materiál, a proto je výsledek s novým polotovarem považována za úspěšný.



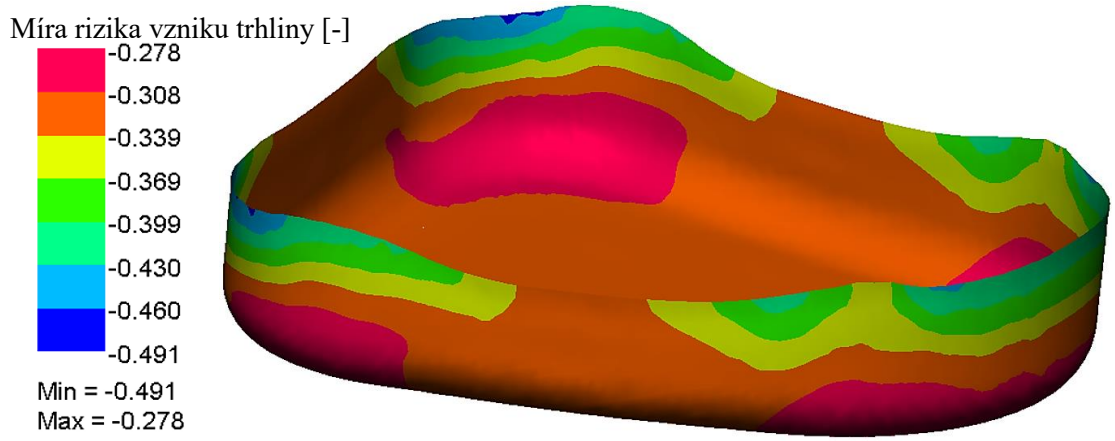
Obr. 38 Druhá varianta porovnání ideálního tvaru a tvaru vytvořeného simulací.

Následně se postupovalo k jednotlivým kontrolám. Změnu tloušťky lze vyčíst z obr. 39. Do programu byla nastavena základní tloušťka polotovaru s = 1,5 mm. Po dokončení simulace se největší ztenčení 1,450 mm (modrá barva) nachází ve všech rohových zaobleních v přechodu pláště do dna výtažku. Maximální tloušťka nabývá v některých částech cípů (červená barva) až hodnoty 1,793 mm, protože zde se má výtažek tendenci zvlnit, ačkoli k výraznému zvlnění nedochází.



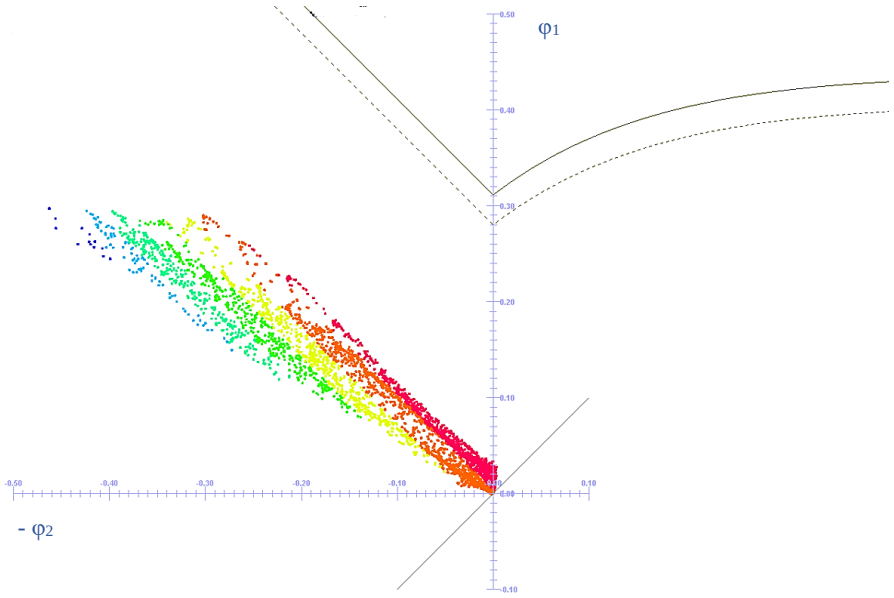
Obr. 39 Změna tloušťky výtažku u druhé varianta.

V simulaci došlo k vyhodnocení zkoumaného modelu a nastala analýza, která má ukázat možný vznik trhlin během konání tažného procesu. Jak lze vidět na obrázku 40, všechny hodnoty v měřítku jsou záporné, což znamená, že u výtažku nedošlo ke vzniku trhlin. Naopak kdyby se hodnoty začali přibližovat k nule nebo by byly kladné nastala by trhlina. Na obrázku se převážně objevuje oranžová barva a nejkritičtější místa (červená) jsou v přechodu pláště do dna u rohových zaoblení. Hodnoty simulovaného modelu jsou brány ze střednice povrchu, jestliže materiál má tloušťku 1,5 mm jeho střednice nabývá hodnoty 0,75 mm.



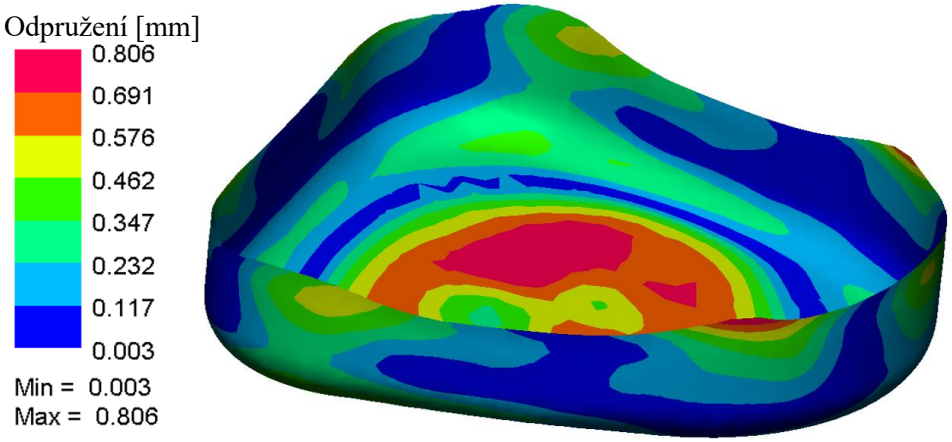
Obr. 40 Model kontrolovaný na vznik trhlin diagramem mezní tvářitelnosti s novým polotovarem.

Na (obr. 40) navazuje diagram mezní tvařitelnosti, viz obr. 41, který je zobrazen pro střednici modelu. V rámci simulace byl kontrolován ještě vnější a vnitřní povrch výtažku, výsledky jsou uvedeny v příloze 8 a 9. Na svislé ose se nachází záporné a kladné hodnoty logaritmického přetvoření φ_1 a na vodorovné ose hodnoty φ_2. Z obr. 41 je patrné, že hodnoty se nepřibližují mezní křivce tvařitelnosti, a tak nemůže dojít ke vzniku trhlin.



Obr. 41 Diagram mezní tvařitelnosti pro druhou variantu.

Poslední závěrečná data ze simulace byla zaměřena na vyhodnocení odpružení výtažku, viz obr. 42. Největší odpružení 0,806 mm nastane u rovného dna (červená barva). Nejméně se model odpruží o hodnotu 0,003 mm, a to v přetvářených okrajích (modrá barva). Většina výtažku nabývá barev modré a zelené, což znamená jen nepatrné odpružení, tj. po porovnání s geometrickými požadavky dílce a jeho rozměry zanedbatelné. Ani z hlediska funkčnosti krytu největší odpružení 0,806 mm nebude nijak vadit.



Obr. 42 Srovnání odpružení CAD modelu s modelem vytvořeného simulací (druhá varianta).

3.5 Volba stroje a návrh tažného nástroje

Na výrobu krytu je zapotřebí zvolit vhodný stroj. Výběr závisí především na celkové tažné síle a rozměrech zadané součásti. Následně se hledí na základní příslušenství, kterým je lis vybaven a na zvláštní příslušenství, jež se může dle požadavků zákazníka přidat. Po zvážení všech důležitých parametrů byl zvolen na výrobu součásti univerzální hydraulický lis CTH 250 (obr. 43) od české firmy Žďas. a.s. Jedná se o hydraulický lis univerzálního využití lze ho tedy použít pro objemové, tak plošné tváření. Základní vybavení neobsahuje horní a spodní vyhazovač nebo přidržovač, ovšem je zde možnost podle požadavku zmíněné komponenty doplnit. Jednou z výhod hydraulických lisů je možnost řízení tvářecí rychlosti během samotného procesu v závislosti na dráze. Konstrukce lisu obsahuje svařovaný stojan uzavřené skříňové konstrukce a orientace lisu je svislé polohy. [36]

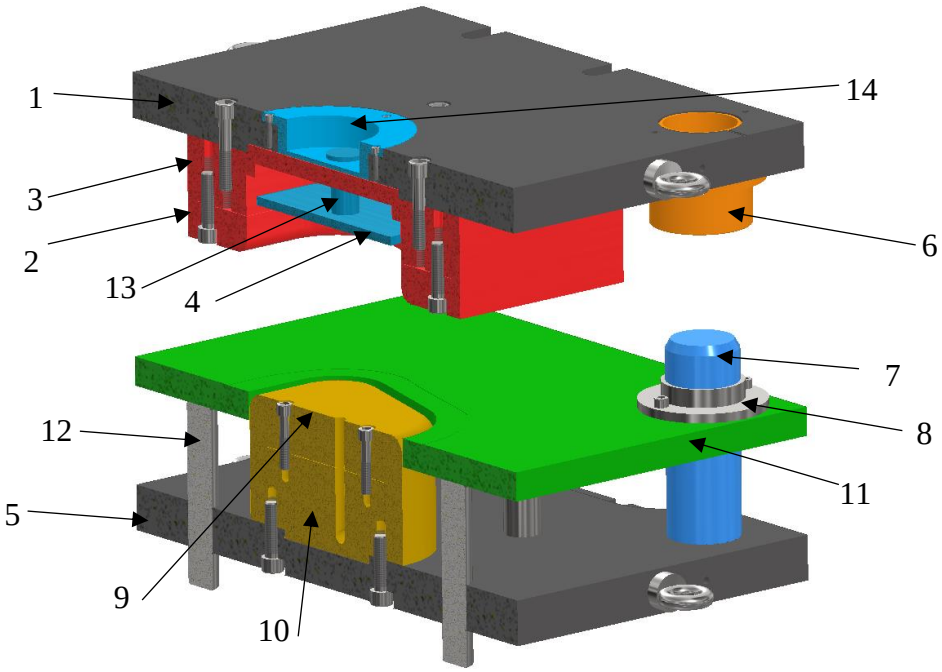
Beran lisu je veden pomocí kluzného nastavitelného vedení s možností aretace v horní poloze. Pohon podle jeho velikosti může být umístěn přímo na stojanu lisu nebo ho lze umístit mimo stroj. Jeho základní parametry jsou uvedeny, viz tab. 8. [36]

Obr. 43 Hydraulický lis CTH 250 [36].

Tab. 8 Základní technické parametry lisu CTH 250 [36].

Jmenovitá síla [kN]	Zdvih [mm]	Sevřená výška [mm]	Upínací plocha stolu [mm]	Upínací plocha beranu [mm]	Síla přidržovače [kN]	Síla horního vyhazovače [kN]
2500	800	800	1000 × 1250	1000 × 1250	1000	100

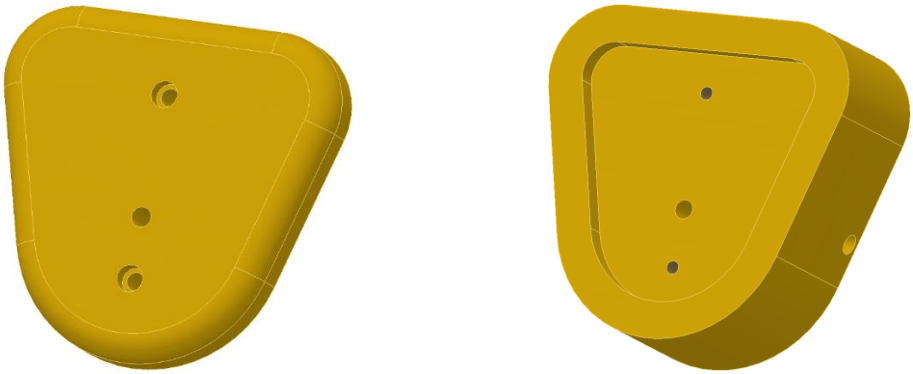
Návrh tažného nástroje bude proveden pro hydraulický lis CTH 250, který bude rozšířen o horní vyhazovač a dolní přidržovač. Nástroj (obr. 44) se skládá ze dvou dílů, dolního pevného a horního pohyblivého. Pohyblivá část bude obsahuje horní desku (1), vyhazovač (4, 13, 14), tažnici (2, 3) a vodící pouzdra (8). Spodní část je tvořena základovou deskou (5), vodícími sloupky a sloupky ovládající přidržovač (7, 12), tažníkem (9, 10) a přidržovačem (11), který je veden v kluzných pouzdrech (8). Horní i spodní část nástroje je vůči sobě vymezena a vedena pomocí sloupků (7). [36]



Obr. 44 Nástroj v řezu.

Nástroj se tedy upne pomocí T drážek nebo v kombinaci se šrouby do stolu lisu. Po upnutí nástroje se vloží polotovar do osazení v přidržovači, které je ve stejné výšce s tažníkem, a tak polotovar bude vystředěn vůči tažníku a tažnici. Následně se spustí lis a tažnice sjede do polohy, kde přitiskne polotovar k přidržovači. Poté silou tažnice je přidržovač tlačen směrem dolu. Na tažník, jež tvaruje výsledný tvar výtažku, se začne vtahovat materiál, který je zároveň veden do otvoru sjíždějící tažnice. Po dosažení sevřeného stavu nástroje se začne tažnice vracet do horní polohy a přidržovač zároveň stírá výtažek z tažníku. Dále dochází pomocí horního vyhazovače k vyvození dostatečné síly na výtažek, který je vytlačen ven. Popis částí nástroje, viz obr. 44 a jejich konstrukční návrh:

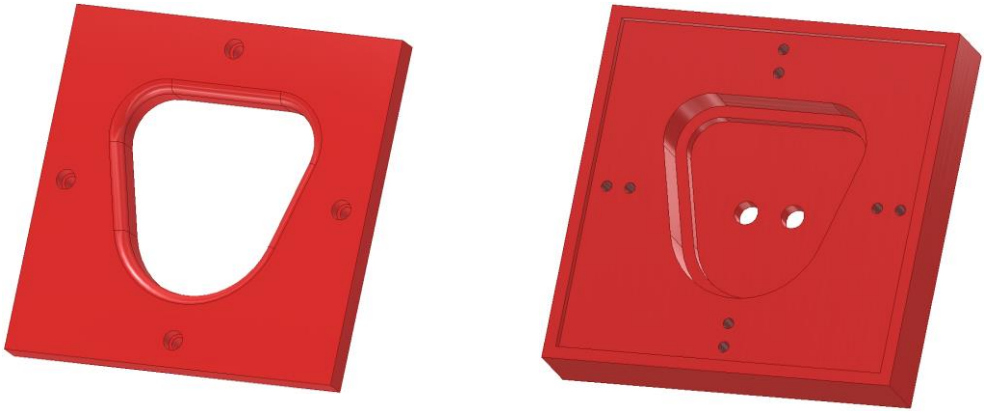
- Tažník – skládá se ze dvou dílů nosného těla (obr. 45 b) a funkční části (obr. 45 a). Funkční část tažníku je vyrobena z oceli 19 436.9 a tepelně zpracována kalením a popuštěním na 60 ± 1 HRC. K držáku je přišroubována dvěma šrouby a vůle je zde vymezena pomocí přesného osazení těla vůči funkční části. Na tělo tažníku byl použit materiál 12 050 a ke spodní desce je upevněn čtyřmi šrouby a vystředěn osazením. Skrz oba díly vede odvzdušňovací otvor. Povrch funkční části bude zhotoven na Ra = 0,4 µm.



a) funkční část tažníku b) tělo tažníku

Obr. 45 Tažník.

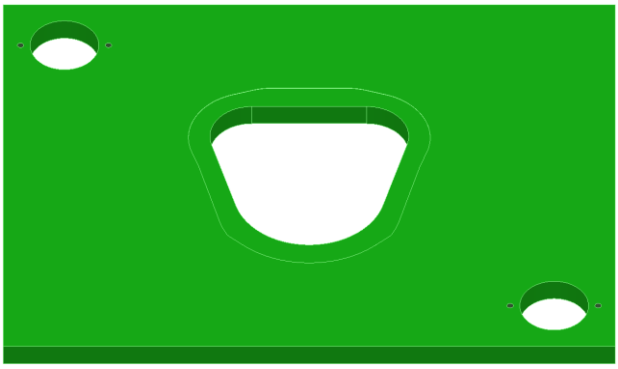
- Tažnice – tvořena ze dvou dílů. Funkční část (obr. 46 a) bude zhotovena z oceli 19 436.9 a pomocí tepelného zpracování kalena a popuštěna na 60 ± 1 HR. K tělu (obr. 46 b) je upnuta šrouby, které ale jsou mimo osazení přidržovače, tudíž otvory pro šrouby nebudou nijak zasahovat do založeného polotovaru. Vůle mezi držákem a funkční částí se vymezí pomocí přesného osazení. Její povrch včetně vnitřní dutiny je leštěn na hodnotu drsnosti Ra = 0,2 µm. Nosná část se zhotoví z oceli 12 050. Do horní desky bude uchycena šrouby a přes osazení nastane k vystředění.



a) funkční část tažníku b) tělo tažníku

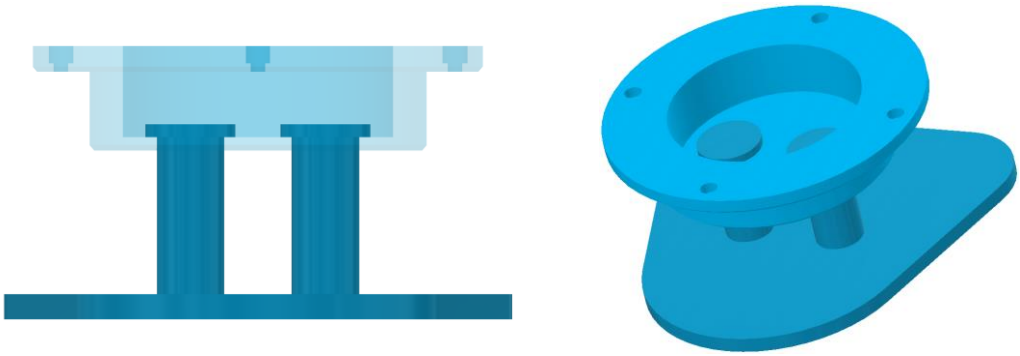
Obr. 46 Tažnice.

- Přidržovač (obr. 47) – na jeho výrobu byla zvolena ocel 12 050. Obsahuje vyfrézované osazení pro založení plechu a jeho pohyb je zajištěn tlačnými sloupky, které jsou hydraulicky ovládány strojem.



Obr. 47 Přidržovač.

- Vyhazovač (obr. 48) – obsahuje celkově tři díly. Tělo vyhazovače, které se vyrobí z oceli 11 600 je umístěno do kruhového osazení v horní desce a připevněno šrouby. V sobě má dva otvory pro vyhazovací sloupky (obr. 48 a), které jsou na jednom konci osazeny, aby ve spodní poloze nepropadly skrze tělo. Do kruhového osazení se z horní části beranu po dokončení operace vysune vyhazovač o průměru 100 mm. Vyhazovač tedy vyvodí potřebnou sílu na dva sloupky, ke kterým je uchycen vyhazovací plech a ten vytlačí výtažek. Sloupky jsou konstruovány z oceli 12 050 a plech z oceli 11 600. Vyhazovací síla byla odhadem určena jako 15 % z $\mathbf{F_t}$ a pomocí výpočtu (3.12) vyšla F_v = 70 257,32 N, ovšem kdyby bylo potřeba větší síly, tak lis disponuje silou vyhazovače až 100 kN. [36]



a) pohled do vyhazovače b) dolní poloha

Obr. 48 Vyhazovač a jeho všechny součásti

- Vodící sloupky a pouzdra – vedení desek je umožněno pomocí dvou sloupků z oceli 12 050. Jak pouzdra v přidržovači, tak v horní desce jsou včetně zalisování raději připevněni šrouby. Aby byla zajištěna správná smontovatelnost a nástroj nebyl upnut nesprávně je jeden ze sloupků větší o 2 mm.
- Upínací desky desky – jsou rozděleny na horní a spodní. Obě o rozměrech 800 × 630 mm a stejných vyfrézovaných plochách pro upnutí, navíc jsou opatřeny vyfrézovanými drážkami pro šrouby M24. Zhotovené jsou z oceli 12 050.

- Tlačné sloupky (kolíky) – jsou ovládány pomocí spodního hydraulického mechanismu stroje. Slouží k ovládání přidržovače. Na jejich výrobu byla použita ocel 12 050. Z důvodu bezpečnosti byl provedena kontrola na vzpěr tlačných sloupků.

  Kontrola na vzpěr tlačných sloupků se provede pomocí vztahu [39]:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{u_b \cdot D_s \cdot s \cdot \tau_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 125\,663{,}71}{2 \cdot 40 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}8 \cdot 370}}, \quad (3.13)$$

$$= 5\,415{,}74\ mm,$$

kde: D_s – průměr tlačného sloupku [mm], zjištěno z nástroje D_s = 40 mm,

l_{krit} – kritická délka tlačných sloupků,

u_b – koeficient bezpečnosti (1,0 ÷ 2,0) [-]; zvolen u_b = 2,

E – modul pružnosti v tahu [MPa]; zvoleno E = 210 000 MPa,

τ_s – střižný odpor 0,8 · Rm [MPa],

I – moment setrvačnosti daného průřezu [mm^4], [39]

$$I = \frac{\pi \cdot {D_s}^4}{64} = \frac{\pi \cdot 40^4}{64} = 125\,663{,}71\ mm^4. \quad (3.14)$$

Délka od horní části desky k spodní ploše přidržovače je 108,5 mm. Tlačný sloupek by neměl být delší než 5 415,74 mm, a proto vzhledem k zmíněné délce 108,5 mm, délka sloupku vyhovuje, a proto mohou být ponechány, jak jsou navrženy.

ZÁVĚR

Vyráběný kryt motocyklu slouží k ochraně součástí pod ním umístěných. Na výrobu součásti byla zvolena ocel 11 320 o tloušťce 1,5 mm a povrch bude upraven pomocí práškového lakování. Výrobní série byla určena na 80 000 kusů za rok. Z navrhnutých výrobních možností byla vybrána jako optimální metoda konvenční hluboké tažení bez ztenčení stěny.

U návrhu výroby výtažku byla provedena kontrola vyrobitelnosti. Jednalo se o maximální dosažitelnou výšku v prvním tahu a minimální poloměr rohových zaoblení. Z ověření vyplynulo, že součást je vyrobitelná. Přešlo se tedy k návrhu ideálního polotovaru, který byl sestaven početně a graficky. Přístřih se vyřízne pomocí laseru z tabule plechu o rozměrech 1,5 × 3 000 × 1 500 mm, procentuální využití tabule vyšlo na 80,67 %. Dále došlo na výpočet technologických výpočtů, které byly potřeba na kontrolu součásti při využití simulací a volbu vhodného stroje.

Při konstrukci nástroje se vycházelo z navrhnuté geometrie součásti. Nástroj obsahuje horní pohyblivý díl a spodní pevný díl. Upnutí je zajištěno upínkami přes desky do beranu stroje a pracovní plochy stolu. Tažník a tažnice jsou speciálně navrženy na výrobu součásti.

Na základě výpočtu sil a rozměru polotovaru byl navržen vhodný stroj. Jako vhodný stroj byl zvolen univerzální hydraulický lis CTH 250 od firmy Žďas, a. s. disponující jmenovitou silou až 2500 kN. Lis byl doplněn o horní vyhazovač a spodní přidržovač. Oba prvky jsou ovládány hydraulicky.

První provedená simulace vyšla negativně, jelikož v některých částech po srovnání ideálního a vytvořeného modelu chyběl materiál. Došlo k zvětšení polotovaru, který již následně vyhovoval. Další výsledky simulace kontrolovaly vznik trhlin, odpružení nebo změnu tloušťky v součásti.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *NDC NATIONAL DIE COMPANY: Deep Drawn Tubes* [online]. New York: National Die Company, c2017 – 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.nationaldieco.com/deep-drawn-parts/
2. ODEHNAL, Josef. *Hluboké tažení*. Praha: SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1963. ISBN 04-255-63.
3. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
4. *Moto-prodejna: Nádrž kastlíky sada Simson S51 S70 , modrá MediumBlue, nálepka Simson* [online]. Schönheide: moto-prodejna.cz, c2018 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.moto-prodejna.cz/nahradni-dily-simson/ramy-riditka-16/nadrz-kastliky-sada-simson-s51-s70-modra-mediumblue-nalepka-.html
5. *Ráj veteránů: Simson S51* [online]. Kralovice: Ladislav Císař, 2022 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: https://www.rajveteranu.cz/44404-simson-s51-kralovice#zalozkaFoto
6. ČSN 41 1320. *ČESKOSLOVENSKÁ STÁTNÍ NORMA: Ocel 11 320*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1986.
7. *YUMPU: Ocel 11 320 5R - VUT UST* [online]. Diepoldsau: YUMPU, c2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.yumpu.com/xx/document/view/44970789/ocel-11-320-5r-vut-ust
8. *Ferona online: Materiálové normy* [online]. Praha: Ferona, c2017 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://online.ferona.cz/materialove-normy/
9. *DEK: 12 nejlepších typů povrchové úpravy kovů, které musíte znát* [online]. Shenzhen City: Austin Peng, 2020 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.dekmake.com/cs/12-nejlep%C5%A1%C3%ADch-typ%C5%AF-povrchov%C3%A9-%C3%BApravy-kov%C5%AF/
10. *Svářečky-elektrody: Základní metody svařování* [online]. Příbram: Svářečky-elektrody.cz, c2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.svarecky-elektrody.cz/radce-svarece/zakladni-metody-svarovani/
11. *Prima DOMA: Zvládli byste naohýbat plechy bez ohýbačky?* [online]. Praha: Marek Hadrbolec, 2022 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://primadoma.cz/clanek-297117-zvladli-byste-naohybat-plechy-bez-ohybacky
12. *Chicago White Metal Casting, Inc.: What's the Difference Between Hot Chamber and Cold Chamber Die Casting?* [online]. Chicago: Chicago White Metal Casting, 2016 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: https://cwmdiecast.com/2016/05/27/die-casting-101-hot-chamber-vs-cold-chamber/
13. *ZAV3-Slevani1_GEI: Slévání* [online]. Ostrava: ZENGROVKA, 2020 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/ZAV3-Slevani1_GEI.pdf
14. *McDonald Diecasting Ltd: The Benefits Of Using Die Casting In Your Product Design* [online]. Dudley: Mark Fisher, 2019 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.mcdonald-diecasting.co.uk/die-cast-guides/types-of-die-cast-products-using-the-advantages-of-die-casting/2019/07/16/
15. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-03-00221-4.
16. WALKER, John R. a Kenneth W. STIER. *Modern Metalworking*. 10th ed. Illinois (Tinley Park): Goodheart-Willcox, 2017. ISBN 978-1631263422.

17. *Jones Metal Products company: What is Hydroforming Process* [online]. Ohio: Jones Metal Products, c2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.jmpforming.com/hyrdroforming/hydroforming-process.htm
18. SCHULER GMBH. *Metal forming handbook*. New York: Springer-Verlag, 1998, 563 s. ISBN 3-540-61185-1.
19. *SHEET METAL process* [online]. Middlebury: Rafe Wilcox, [2016] [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://slideplayer.com/slide/9114964/
20. *ME MECHANICAL: Defects in Sheet Metal Drawing* [online]. ME Mechanical Team, 2017 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://mechanicalengineering.blog/defects-sheet-metal-drawing/
21. BAREŠ, Karel, Karel DÍTĚ, Vladimír HAŠEK, František HRAZDIL, Rudolf HÝSEK, Zdeněk KEJVAL, Miroslav KOŘÍNEK, Vladimír KRAUS, Jaroslav KRYŠTOF, Karel KUNHART, Viktor MIKEŠ, Jindřich NĚMEC, Jiří PACHL, Jaroslav SMRČKA, František SOMMER, Bohuslav STEJSKAL, Jaroslav TMĚJ, Miroslav VANĚK, Jaroslav VRTĚL, Miroslav VANĚK, Jaroslav VRTĚL. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 542 s. ISBN 04-234-71.
22. ŘIHÁČEK, Jan. *HH2-tazeni_nerotacnich_vytazku-podklady* [PDF]. Materiál předán 16.11.2022 vedoucím práce.
23. ČSN 22 7303. *TAŽENÍ DUTÝCH ČTYŘHRANNÝCH VÝTAŽKŮ: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1967.
24. ČSN 22 7301. *TAŽENÍ DUTÝCH VÁLCOVÝCH VÝTAŽKŮ: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1969.
25. LANGE, Kurt, Klaus PÖHLANDT, Ragu S. RAGHUPATHI, John D. SANITER, Wolfgang J. SAUER, John A. SCHEY, Klaus J. WEINMANN a G.E.O. WIDERA. *Handbook of metal forming*. Michigan: Springer, c1972-1975. ISBN 0-87263-457-4.
26. BAČA, Jozef. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2000. Edícia skrípt. ISBN 80-227-1339-2.
27. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9
28. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 0-831 1-3182-9.
29. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
30. *Science Direct: Investigation into wall wrinkling in deep drawing process of conical cups* [online]. Tehran: Mohammad Amin Shafaat, 2011 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www-sciencedirect-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S092401361100166X
31. [Tažnice]. In: *Deep Draw Tooling: Intricate Grinding* [online]. Muskegon, c2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.intricategrinding.com/deep-draw-tooling/
32. LUKEŠTÍK, Tomáš. *Nástroje pro technologii hlubokého tažení*. Brno, 2019. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117144. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.
33. *Bystronic: Plazma vs laser. Které řešení řezání kovů je pro vás ideální?* [online]. Niederönzu: Bystronic, 2020 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.bystronic.com/cze/cs/news/plazma-vs-laser-kter-e-en-ez-n-kov-je-pro-v-s-ide
34. *Flow shape technologies group: Vodní paprsek vs. jiné technologie* [online]. Kent (Washington): Flow, c2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.flowwaterjet.cz/Prectete-si-vice/Srovnavaci-Rezani.aspx#waterjet

35. *[Technologie plošného tváření - stříhání]* [online]. (Liberec): Petr Lenfeld, c2018 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
36. *INDUSTRYEU* [PDF]. 32 s. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.industry-eu.cz/files/companies/890388.pdf. PDF dokument nalezen na internetu. Hydraulické lisy od firmy Žďas, a.s.
37. *NestandCut* [online]. Grenoble (Francie): NestandCut, c2020 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://nestandcut.com/
38. *Ferona online: plechy* [online]. Praha: Ferona, c2017 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://online.ferona.cz/vyhledavani/314
39. ŘIHÁČEK, Jan. *Výroba řetězového kolečka motocyklu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 45 s., 6 příloh, CD. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
a	přilehlá rovná strana	[mm]
a_1	rozměr delší strany po první operaci	[mm]
A_{10}	tažnost	[%]
$A_{taž}$	tažná práce	[J]
b	přilehlá rovná strana	[mm]
b_1	rozměr kratší strany po první tažné operaci	[mm]
c	konstanta závislá na druhu taženého materiálu	[-]
C	materiálová konstanta	[-]
C_1	konstanta závislá na zvětšující se hloubce výtažku	[-]
C_2	konstanta závislá na tažné hraně	[-]
C_p	koeficient plnosti diagramu	[-]
D	průměr přístřihu	[mm]
d	vnitřní průměr výtažku	[mm]
D_s	průměr tlačného sloupku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F_c	celková síla při tažení	[N]
F_{krit}	kritická síla na utržení dna	[N]
F_p	přidržovací síla	[N]
F_r	síla potřebná k tažení rovných částí výtažku	[N]
F_{ro}	síla potřebná k tažení rohů	[N]
F_t	celková tažná síla	[N]
F_v	síla vyhazovače	[N]
h	výška výtažku	[mm]
h´	výška rovné svislé stěny výtažku zvětšená o přídavek na ostřižení	[mm]
h_1	výška rovné svislé stěny	[mm]
h_D	výška stěny rozvinutého tvaru	[mm]
h_{D1}	výška prodloužené stěny výtažku	[mm]
h_{D2}	výška prodloužené stěny výtažku	[mm]
h_{max}	maximální výška výtažku	[mm]
I	moment setrvačnosti daného průřezu	[mm^4]
k_p	součinitel určující nutnost použití přidržovače	[-]
L´	součet délek přímých částí stěn výtažku	[mm]
L_a	výchozí rozměr přístřihu (delší strana)	[mm]
L_b	výchozí rozměr přístřihu (kratší strana)	[mm]
L_D	délka dna výtažku	[mm]
l_{krit}	kritická délka tlačných sloupků	[mm]
m_α	koeficient tažení pro úhly	[-]
m_1	součinitel tažení pro první tah	[-]
m_a	koeficient tažení krabicové nádoby o rovné straně a	[-]
m_b	koeficient tažení krabicové nádoby o rovné straně b	[-]
$m_{\alpha 1}$	koeficient tažení krabicové nádoby	[-]
$m_{\alpha 2}$	koeficient tažení krabicové nádoby	[-]
$m_{\alpha 3}$	koeficient tažení krabicové nádoby	[-]
p	tlak přidržovače	[MPa]
R	poloměr rohu výtažku	[mm]
r	Poloměr dna výtažku	[mm]

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
r0	hodnota anizotropie zjištěná ve směru 0°	[-]
r45	hodnota anizotropie zjištěná ve směru 45°	[-]
r90	hodnota anizotropie zjištěná ve směru 90°	[-]
Ra	drsnost povrchu	[μm]
R_c	poloměr kruhového přístřihu	[mm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	pevnost v tahu	[MPa]
R_{max}	maximální redukce při tažení bez přidržovače	[%]
R_{min}	minimální poloměr rohu výtažku	[mm]
r_{pa}	tažný poloměr pro delší stranu výtažku	[mm]
r_{pb}	tažný poloměr pro kratší stranu výtažku	[mm]
r_{pc}	tažný poloměr pro rádius v rohové části	[mm]
r_{tc}	tažný poloměr pro první tah	[mm]
r_{tc}'	tažný poloměr pro další tahy	[mm]
r_{tv}	poloměr zaoblení tažníku	[mm]
s	tloušťka výchozího polotovaru	[mm]
S_p	styková plocha přidržovače a přístřihu	[mm^2]
ST_a	poměr rovné části k zaoblení rohu	[-]
ST_b	poměr rovné části k zaobkení rohu	[-]
ST_c	poměr rovné části	[-]
$Š_D$	šířka dna výtažku	[mm]
u_b	koeficient bezpečnosti	[-]
v	tažná vůle	[mm]
z	tažná mezera	[mm]
z_m	tažná mezera v rovných částech	[mm]
z_m'	tažná mezera v rohových částech	[mm]
Δc	přídavek na ostřižení	[mm]
σ	tahové napětí	[MPa]
τ_s	střižný odpor	[MPa]
φ	logaritmické přetvoření	[-]

Zkratky

Označení	Legenda
C	uhlík
ČSN	česká státní norma
HRC	tvrdost dle Rockwella
P	fosfor
S	síra
π	Ludolfovo číslo

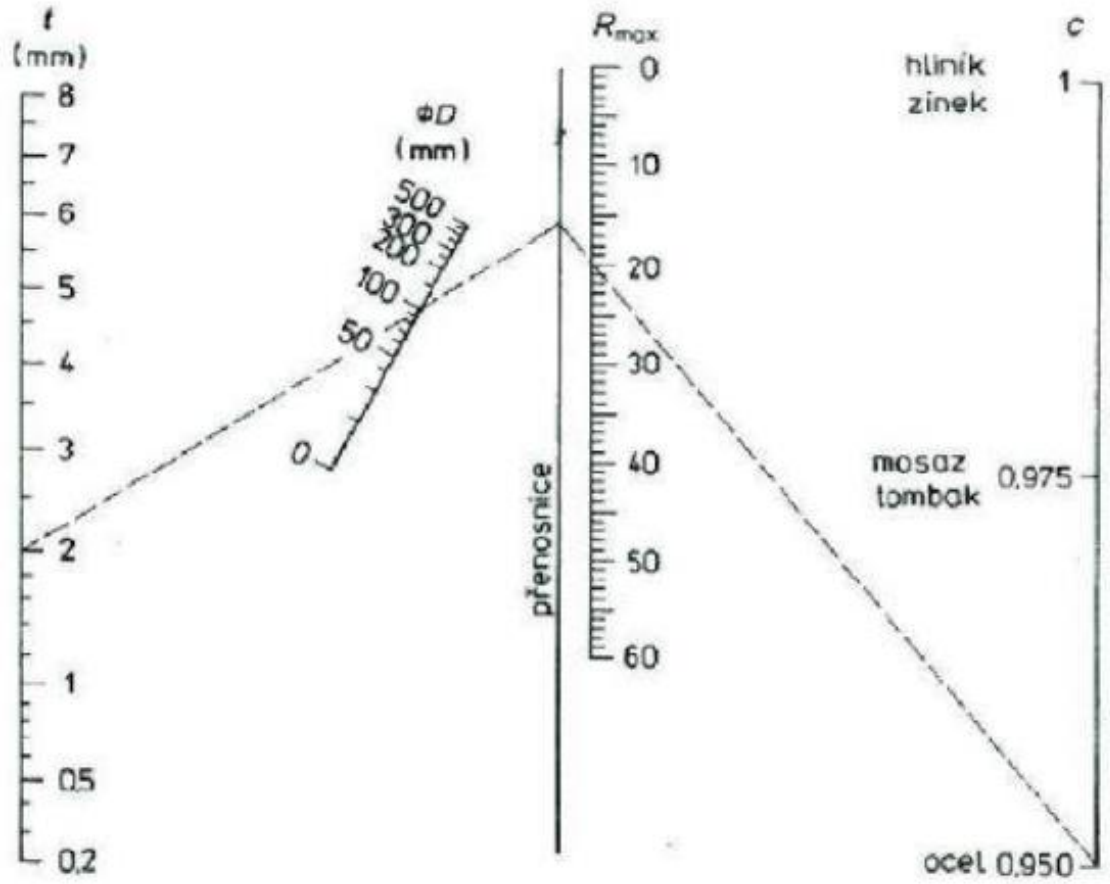
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Nomogam k určení největší přípustné redukce při tažení bez přidržovače
Příloha 2 Tabulka doporučených velikostí tlaků přidržovače
Příloha 3 Tabulka hodnot různých koeficientů tažení o různých délkách rovinných částí
Příloha 4 Uspořádání polotovarů na tabuli plechu 2 500 × 1 250 mm
Příloha 5 Uspořádání polotovarů na tabuli plechu 2 000 × 1 000 mm
Příloha 6 Změna tloušťky modelu u první varianty simulace
Příloha 7 Kontrola prvního modelu na vznik trhlin (střednice) a diagram mezní tvařitelnosti
Příloha 8 Kontrola modelu na vznik trhlin a diagram mezní tvařitelnosti (vnější povrch)
Příloha 9 Kontrola modelu na vznik trhlin a diagram mezní tvařitelnosti (vnitřní povrch)

SEZNAM VÝKRESŮ

Tažný nástroj; 2023-BP-229390-01
Tažník; 2023-BP-229390-02
Tažnice; 2023-BP-229390-03
Kusovník; 2023-BP-229390-25
Kusovník; 2023-BP-229390-26
Ochranný kryt motocyklu; 2023-BP-229390-27

Nomogam k určení největší přípustné redukce při tažení bez přidržovače



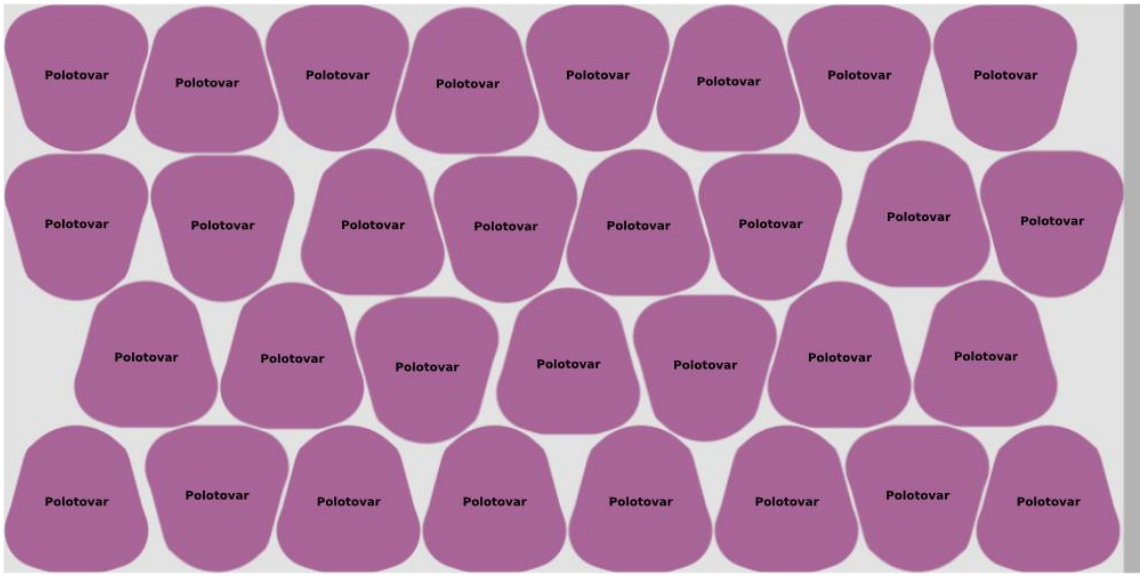
Tabulka doporučených velikostí tlaků přidržovače

Tloušťka taženého plechu [mm]	Tlak přidržovače [MPa]			
	Tažený materiál			
	ocelový plech		mosaz tombak	hliník
	tvrdý	hlubokotažný		
0,2	3,0	2,1 ÷ 2,5	2,0	1,5
0,4	2,9	2,0 ÷ 2,4	1,9	1,5
0,6	2,8	2,0 ÷ 2,4	1,9	1,45
0,8	2,8	1,9 ÷ 2,3	1,8	1,45
1,0	2,7	1,8 ÷ 2,3	1,8	1,4
1,5	2,7	1,8 ÷ 2,2	1,7	1,35
2,0	2,6	1,8 ÷ 2,1	1,7	1,3

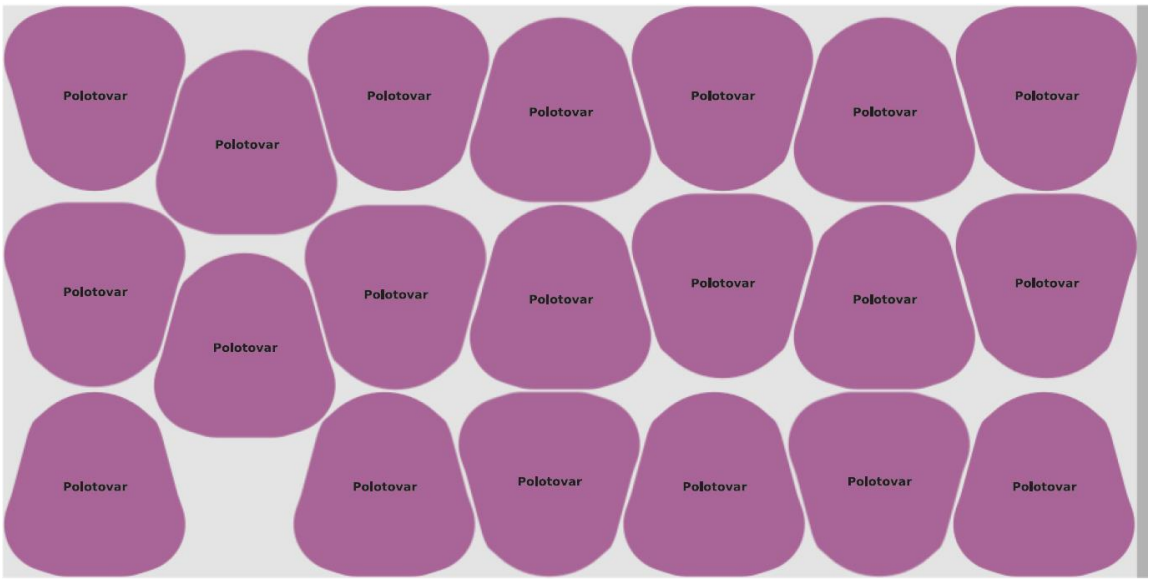
Tabulka hodnot různých koeficientů tažení o různých délkách rovinných částí

Délky a, b, c, ... přiléhající k úhlu		Úhel rohu nádoby α [°]												
menší délka	větší délka	180	165	150	135	120	105	90	75	60	45	30	15	0
r	(1—1,5) r	0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49	0,48
r	$2r$	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47
r	$3r$	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45
r	$5r$	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,42	0,40
r	$8r$	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,37	0,35	0,32
r	$10r$	0,50	0,50	0,49	0,48	0,47	0,45	0,43	0,40	0,37	0,34	0,31	0,27	0,23
$2r$	2—$3r$	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,50	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,38
$2r$	$4r$	0,53	0,53	0,52	0,52	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,37
$2r$	$6r$	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,38	0,36	0,33
$2r$	$10r$	0,49	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,26	0,22
$3r$	$6r$	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,37	0,35	0,35	0,32
$3r$	$9r$	0,49	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,28	0,22
$3r$	$10r$	0,48	0,48	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,37	0,34	0,30	0,26	0,22	0,17
$4r$	4—$6r$	0,51	0,51	0,50	0,49	0,48	0,46	0,44	0,41	0,38	0,35	0,32	0,28	0,24
$4r$	$8r$	0,49	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,26	0,22
$4r$	$10r$	0,48	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39	0,35	0,32	0,28	0,23	0,18	0,13
$5r$	5—5,5r	0,49	0,49	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,36	0,33	0,29	0,24	0,19	0,14
$5r$	$10r$	0,48	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,38	0,34	0,30	0,26	0,21	0,15	0,09
$6r$	$10r$	0,47	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,37	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,08
$7r$	$10r$	0,46	0,46	0,45	0,43	0,41	0,39	0,36	0,32	0,28	0,24	0,19	0,13	0,07
$8r$	$10r$	0,45	0,45	0,44	0,42	0,40	0,38	0,35	0,31	0,27	0,23	0,18	0,12	0,06
$9r$	$10r$	0,44	0,43	0,42	0,41	0,39	0,36	0,33	0,29	0,24	0,20	0,14	0,08	—
$10r$	$10r$	0,44	0,43	0,42	0,40	0,38	0,35	0,32	0,27	0,22	0,17	0,12	0,06	—

Uspořádání polotovarů na tabuli plechu 2 500 × 1 250 mm

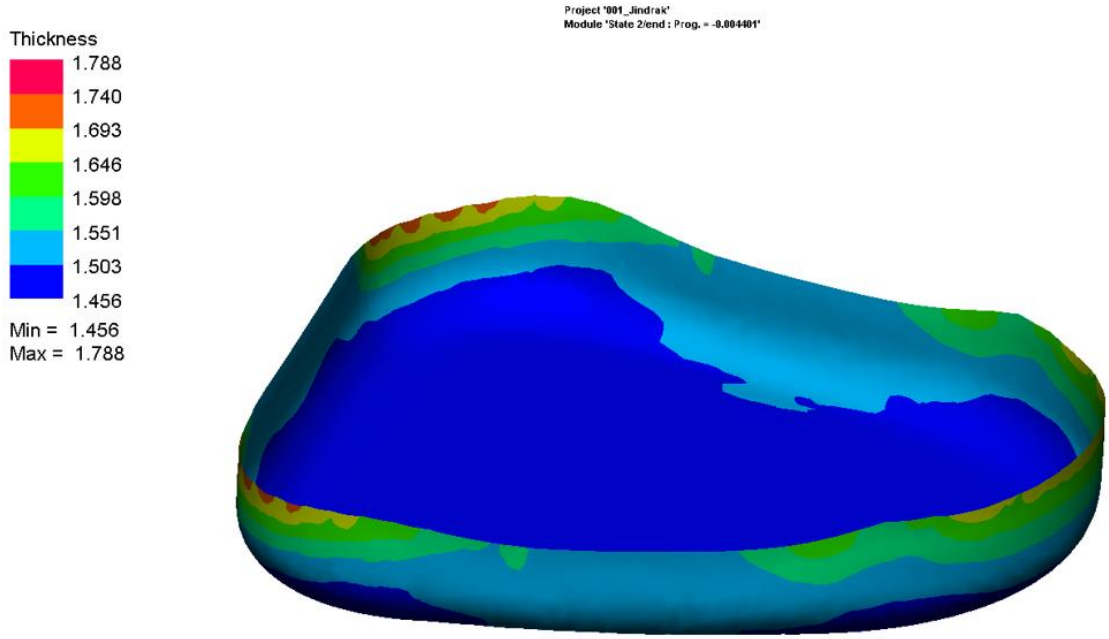


Uspořádání polotovarů na tabuli plechu 2 000 × 1 000 mm

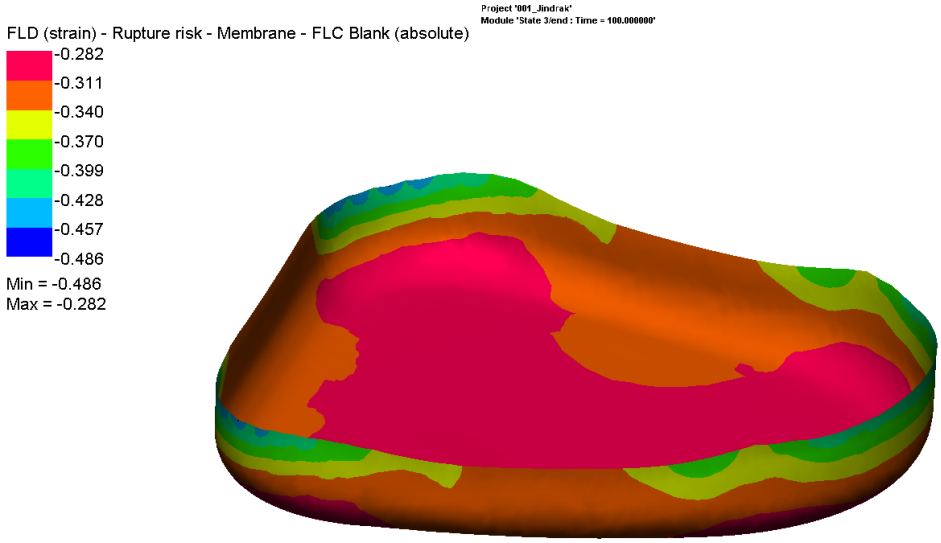


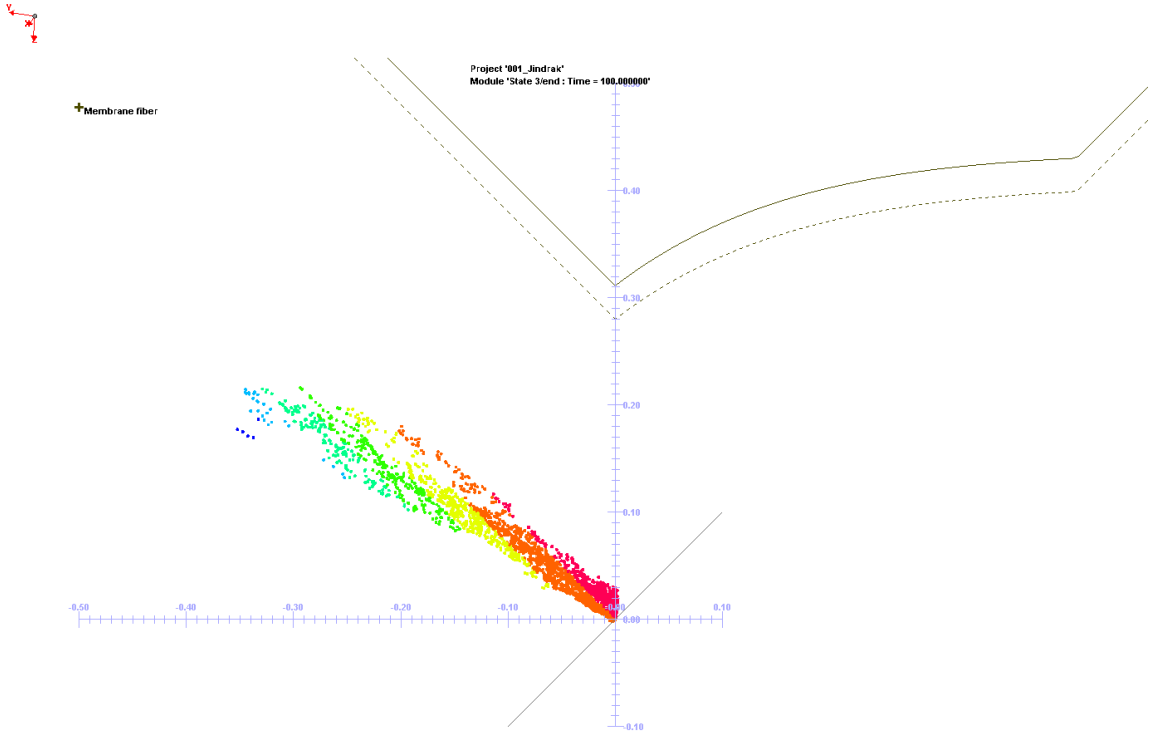
Změna tloušťky modelu u první varianty simulace

1. varianta

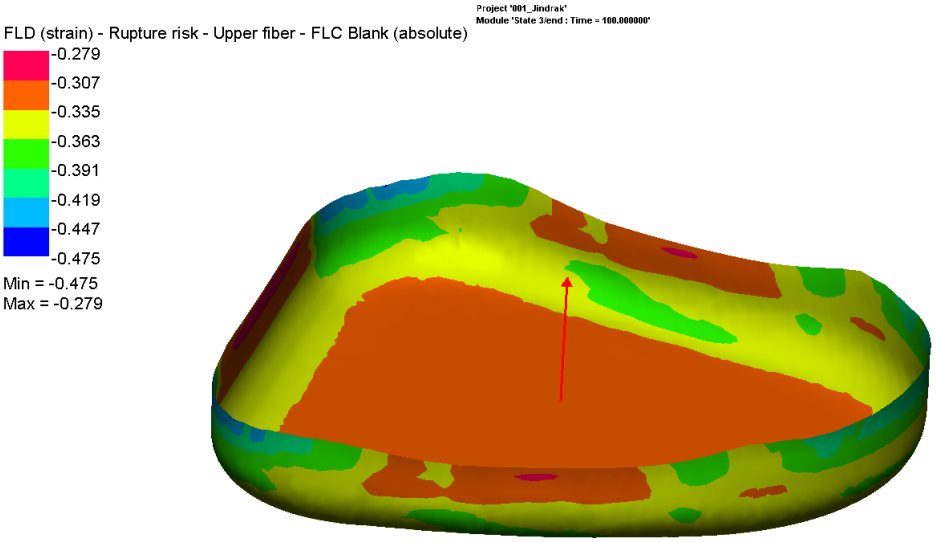


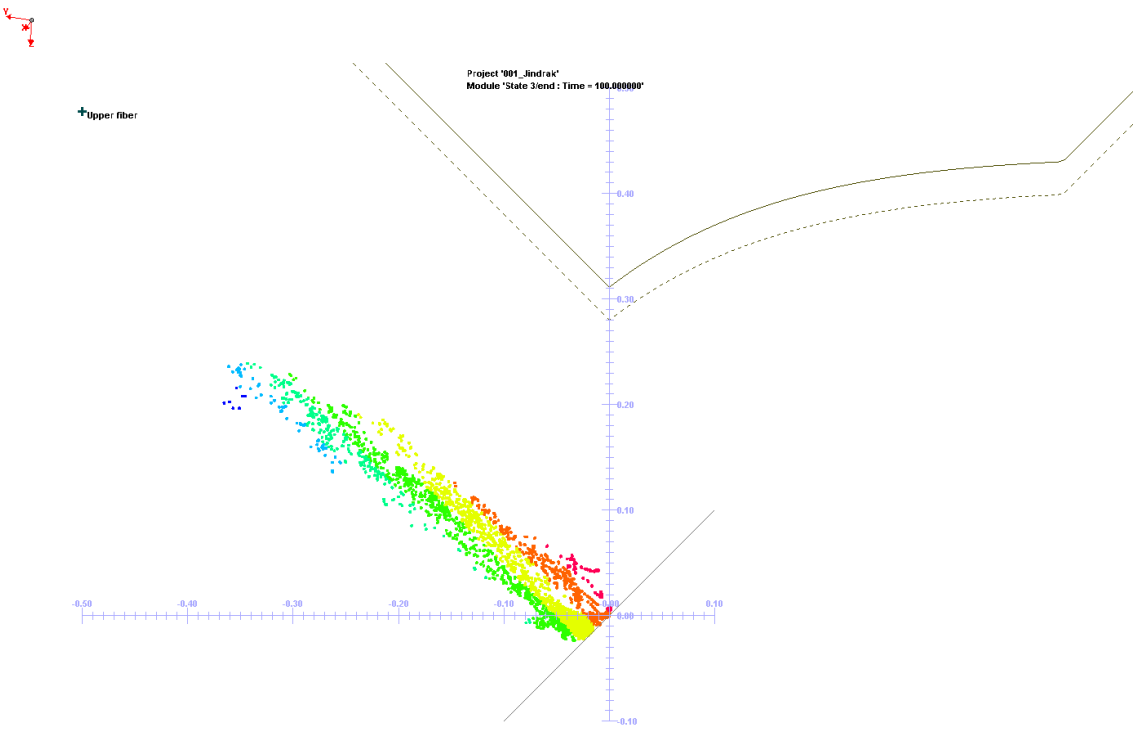
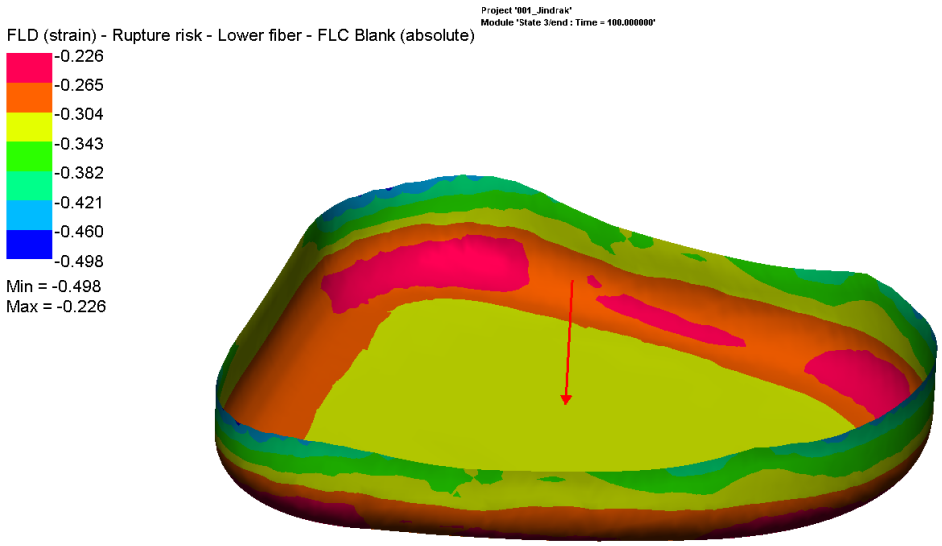
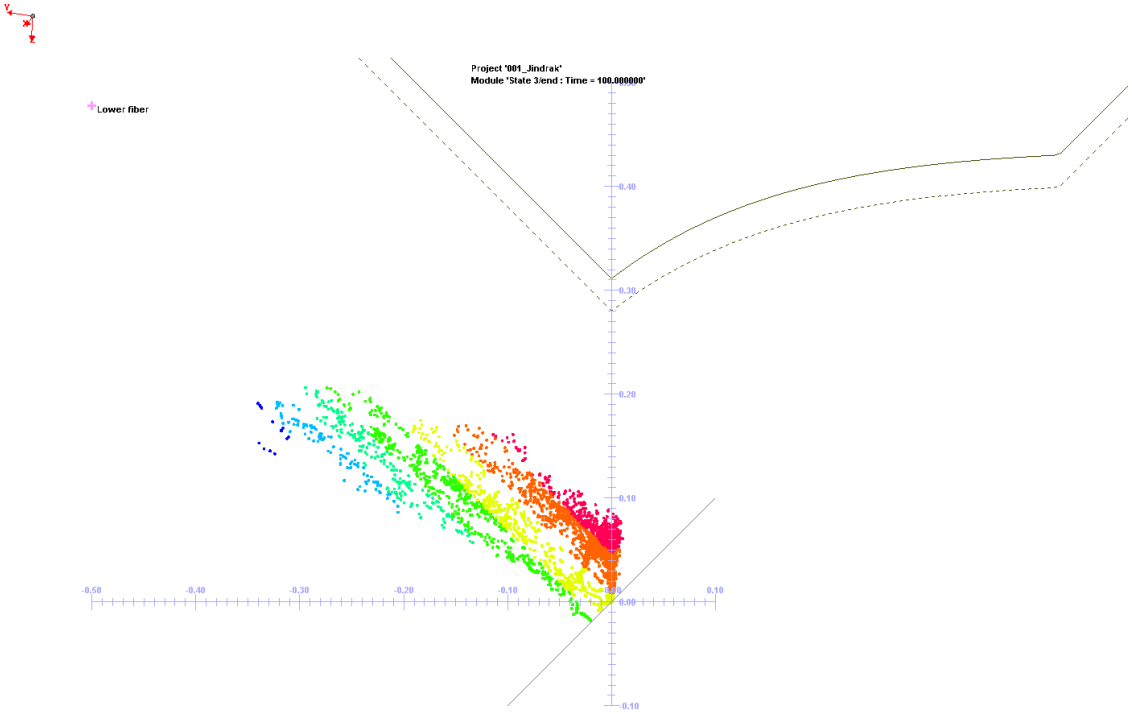
Kontrola prvního modelu na vznik trhlin (střednice) a diagram mezní tvařitelnosti





Kontrola modelu na vznik trhlin a diagram mezní tvařitelnosti (vnitřní povrch)





Kontrola modelu na vznik trhlin a diagram mezní tvařitelnosti (vnitřní povrch)