



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TAŽENÍ POCÍNOVANÉHO OCELOVÉHO PLECHU

DRAWING OF A TIN-COATED METAL SHEET

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Hudousek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Jiří Hudousek**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce: **doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.**
Akademický rok: 2017/18

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

Tažení pocínovaného ocelového plechu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Z tenkých pocínovaných ocelových plechů se zhotovuje řadu výrobků využívaných v obalovém a spotřebním průmyslu. S ohledem na relativně příznivé tvárné vlastnosti těchto plechů je možné z nich zhotovovat i duté výtažky nerotačních tvarů.

Cíle diplomové práce:

- Zpracovat literární rešerši zaměřenou na technologie plošného tváření.
- Navrhnout koncepci kovového pouzdra na vizitky z pocínovaného plechu.
- Posoudit tvárné vlastnosti zvoleného plechu.
- Vytvořit výrobní výkresy pouzdra.
- Navrhnout technologický postup výroby pouzdra.
- Zpracovat výkresovou dokumentaci nástroje pro tažení navržené součásti.
- Zpracovat technicko–ekonomické zhodnocení zvoleného řešení.

Seznam doporučené literatury:

BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. Technologია tvárnenia. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.

VOJTĚCH, Dalibor. Materiály a jejich mezní stavy. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 978-8-7080-741-5.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření. Plošné a objemové tváření. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.

ALTAN, Taylan a Tekkaya A. ERMAN. Sheet metal forming: fundamentals. Materials Park, OH: ASM International, 2012. 267 p. ISBN 978-161-5038-428.

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

HUDOUSEK Jiří: Tažení pocínovaného ocelového plechu.

Projekt vypracovaný v rámci magisterského studia předkládá návrh výroby zadané součásti - vizitkáře z pocínovaného plechu technologií tažení. Z variantního řešení konstrukce výrobku byla vybrána varianta, kdy je pouzdro sestaveno ze dvou shodných tažených dílců, které tvoří dno a víko součásti, spojení těchto dvou dílců je řešeno mezikusem v podobě plastové vložky, na kterou jsou kovové díly nacvaknuty. Pro výrobu kovových dílců bylo na základě literární studie a výpočtů navrženo tažení v nástroji s přidržovačem, dle síly potřebné ke zhotovení výtažku a velikosti nástroje byl vybrán hydraulický lis ZH 100. Součástí práce je stanovení procesních parametrů, technicko-ekonomické zhodnocení záměru a výkresová dokumentace.

Klíčová slova

plošné tváření, přístřih, tažení

ABSTRACT

HUDOUSEK Jiří: Drawing of a tin-coated metal sheet.

The project elaborated in frame of master studies is submitting design of the given part production - business card case from tin-coated metal sheet by deep drawing technology. From a variations of the design of the product has been chosen option, when the case is assembled from two identical drawn parts which form the bottom and the lid of the component, the connection of these two parts is arranged by a spacer in form of a plastic insert on which the metal parts are attached. Based on the literary survey and calculations drawing in die with blankholder was designed for metal parts production, according to the force needed and tool size a hydraulic press ZH 100 was selected. Part of the work is the process parameters determination, technical and economic evaluation and drawing documentation.

Key words

sheet metal forming, blank, drawing

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HUDOUSEK, J. *Tažení pocínovaného ocelového plechu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018, 59 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Tažení pocínovaného ocelového plechu vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Jiří Hudousek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji pánům doc. Ing. Zdeňkovi Lidmilovi, CSc. a doc. Ing. Milanovi Dvořákovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD	11
1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI.....	12
1.1 Rozbor trhu s obalovými materiály	12
1.1.1 Druhy obalů, výroba.....	12
1.1.2 Užité hodnota	13
1.2 Variantní studie	13
1.2.1 Konstruktivní řešení.....	14
1.2.2 Volba materiálu	15
2 LITERÁRNÍ STUDIE ZAMĚŘENÁ NA PLOŠNÉ TVÁŘENÍ.....	16
2.1 Teoretické základy tváření	16
2.1.1 Mechanizmy plastické deformace	16
2.1.2 Ukazatelé plasticity	17
2.1.3 Technologická tvařitelnost	17
2.1.4 Podmínky plasticity.....	18
2.1.5 Základní zákony tváření	19
2.2 Technologie stříhání	19
2.2.1 Fáze střížného procesu	20
2.2.2 Střížná síla a práce.....	21
2.2.3 Střížná vůle a střížná mezera.....	22
2.2.4 Nástřihový plán a využití materiálu	23
2.3 Technologie tažení	24
2.3.1 Princip tažení.....	24
2.3.2 Tažení výtažků nerotačních tvarů	25
2.3.3 Stanovení výchozího polotovaru.....	26
2.3.4 Počet tažných operací.....	30
2.3.5 Součinitel tažení a použití přidržovače	31
2.3.6 Výpočet síly a práce	32
2.3.7 Stanovení geometrie funkčních částí tažidla	33
2.3.8 Konstrukce jednotlivých částí tažidel	35
2.3.9 Maziva při tažení.....	37

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	38
3.1 Volba konstrukční varianty	38
3.2 Volba materiálu	40
3.2.1 Vlastnosti materiálu.....	40
3.3 Stanovení výchozího polotovaru	43
3.4 Počet tažných operací.....	45
3.5 Nástřihový plán	45
3.6 Procesní parametry a technologické výpočty	47
3.7 Technologický postup	49
3.8 Volba stroje	50
3.9 Konstrukce nástroje.....	51
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	54
4.1 Materiálové náklady	54
4.2 Mzdy.....	55
4.3 Variabilní náklady	55
4.4 Fixní náklady.....	56
4.5 Náklady výrobku a stanovení prodejní ceny	57
4.6 Bod zvratu	57
4.7 Plánování kapacit	58
ZÁVĚRY	59
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	
SEZNAM PŘÍLOH	

ÚVOD

S růstem světové populace jde ruku v ruce také růst poptávky po produktech, které nám napomáhají uspokojit naše potřeby a zkvalitnit tak život na Zemi. Na to reagují výrobci těchto statků tím, že zvyšují produkci spotřebitelsky významných odvětví průmyslu, mezi které patří bezesporu i strojírenství. V České republice je toto odvětví velmi rozšířeno a celosvětově uznáváno pro jeho komplexnost, kdy je schopno nabídnout produkty z oborů automotive, letectví, výroby strojů a zařízení a v neposlední řadě i zbrojního průmyslu.

Mezi nejdůležitější technologie v těchto oborech patří tváření, které díky stále se zvyšujícím poznatkům vědy a technologií v oblasti deformačních procesů slibuje pro firmy více komplexnosti v uspokojení poptávky po větší produktivitě, nižších nákladech a vyšší preciznosti.

Tváření je technologický proces zpracování materiálu, při kterém na materiál působí síly za účelem vyvolání trvalé, tedy plastické deformace bez porušení jeho celistvosti. Obvykle jsou díly tvářeny za studena, tedy pod teplotou rekrytalizace, u některých technologií tváření je využíváno ohřevu, aby bylo dosaženo lepší tvařitelnosti materiálu. U plošného tváření jsou vstupním materiálem obvykle pásy, nebo přístříhy z plechu, které jsou tvářeny v tvarových nástrojích na lisech. Výsledný tvar součásti je zpravidla dán tvarem nástroje. Tvářecích procesů je využíváno jak v kusové, tak sériové výrobě pro jejich vysokou produktivitu, vysoké využití materiálu a další ekonomické aspekty. Díly zhotovené tvářením se vyznačují přesností, kvalitou zpracování, dostatečnou pevností, ve velikostech od nejmenších dílů pro elektrotechniku až po velké části leteckých konstrukcí. Ukázky produktů vyrobených tvářením jsou zobrazeny na obr. 1 [1, 2].



Obr. 1 Výrobky zhotovené tvářením [3, 4, 5]

1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI

Cílem práce je návrh technologie výroby zadané součásti, stanovení procesních parametrů, konstrukce nástroje a následné technicko-ekonomické zhodnocení výroby.



Obr. 2 Vizitkář [6]

Řešenou součástí je kovové pouzdro na vizitky, tzv. vizitkář (obr. 2). Na trhu lze sehnat vizitkáře různých designů, použitých materiálů a kvalit zpracování, tato studie bude zaměřena na obdélníkový tvar, pro velikost vizitek standardního formátu $90 \times 50 \text{ mm}$. Původní pouzdro je složeno ze dvou částí, a to dna o vnějších rozměrech $95 \times 55 \text{ mm}$ s hloubkou 5 mm a víka. Dno je zhotoveno z jednoho kusu materiálu tak, že bočnice a zadní stěna jsou ohnuty do svislé polohy, přední stěna je ohnuta o 180° a tvoří tak zádržný systém pro vložené vizitky. Na zadní stěně jsou dále provedeny dva prostřihy se zakrouženými konci sloužící k nasunutí osy v podobě drátu a upevnění víka. Použitým materiálem je korozivzdorná ocel tloušťky $0,4 \text{ mm}$. Celá součást je zhotovena technologiemi plošného tváření, konkrétně stříháním a ohýbáním.

1.1 Rozbor trhu s obalovými materiály

K tomu, aby bylo možné navrhnout vhodnou alternativu k vyobrazenému dílu a mohla být zpracována technologií tažení, je třeba rozebrat současný trh s obalovými materiály. V dnešní době se lze setkat s kovovými obaly téměř kdekoli, počínaje chemickým průmyslem a potravinářským koncem. Kovové obaly plní jak základní ochrannou a manipulační funkci, tak je lze použít i jako reklamní předměty. Používají se jak pro tekuté, tak sypké materiály a jedná se zejména o kanystry, plechovky, konzervy, krabičky a dózy.

1.1.1 Druhy obalů, výroba

Kovové kanystry lze použít pro skladování a přepravu látek, které jsou agresivní vůči plastovým obalům, ale lze je samozřejmě použít i pro uchování a přepravu potravin za předpokladu, že jsou zhotoveny z vyhovujících materiálů. Plechovky a konzervy jsou jedny z nejrozšířenějších maloobjemových průmyslových i spotřebních obalů pro uchování a přepravu chemikálií a potravin. Kovové dózy jsou specifickou skupinou obalových materiálů se sekundárním využitím, kdy po jejich vyprázdnění lze tyto dále použít jako trvanlivý typ obalu pro jiné produkty, nebo jako dekorace.

Výše zmiňované obaly jsou zpravidla složeny z více kusů. Kanystry, plechovky a konzervy jsou složeny ze tří dílů, a to ze dna, pláště a víka, kdy se jednotlivé části stříhají z tabule plechu, následně profilují do požadovaných tvarů a nakonec spojují a sesazují do sebe technologiemi

svařování, pájení, lepení, obrubování, válcování. Někdy se lze setkat též s obaly, kde je u některé části využito technologie tažení, v tom případě se poté obal skládá ze dvou dílů, jak je tomu např. v případě nápojových plechovek. Dózy jsou svými užitnými vlastnostmi na špici, jelikož se jedná o dvoudílné či vícedílné obaly s plně odnímatelným, nebo odklopným víkem a lze je tak používat opakovaně až do jejich konce životnosti. Při jejich výrobě je využíváno kombinací již zmiňovaných technologií [7, 8].

1.1.2 Užitná hodnota

Jak již bylo zmíněno výše, specifickou skupinou obalů jsou kovové dózy a krabičky. Díky jejich dalšímu využití, než k čemu byly původně určeny, dávají majiteli dodatečně velkou přidanou hodnotu, jelikož je lze využít jako trvanlivý obal pro další produkty, případně pro dekoraci, či jako sběratelský kousek. Dózy a krabičky jsou vyráběny ve všech možných velikostech a tvarech a lze se s nimi setkat skoro v každém spotřebitelském segmentu, např. v balení potravin, nápojů, kosmetiky, tabákového zboží, textilu, šperků a hodinek. Výrobci tak na vysokou poptávku reagují produkcí designových obalů z ušlechtilých materiálů doplněných o potisk či embossing a lze je tedy využít i jako reklamní či dárkové předměty, jak je vidět na obr. 3.

Dózy jsou nejčastěji vyráběny z tenkého povrchově upraveného ocelového plechu, v případě styku s dlouhodobě uchovávanými potravinami nejčastěji pocínovaného kvůli jeho zdravotní nezávadnosti a vysoké odolnosti proti korozi [7].



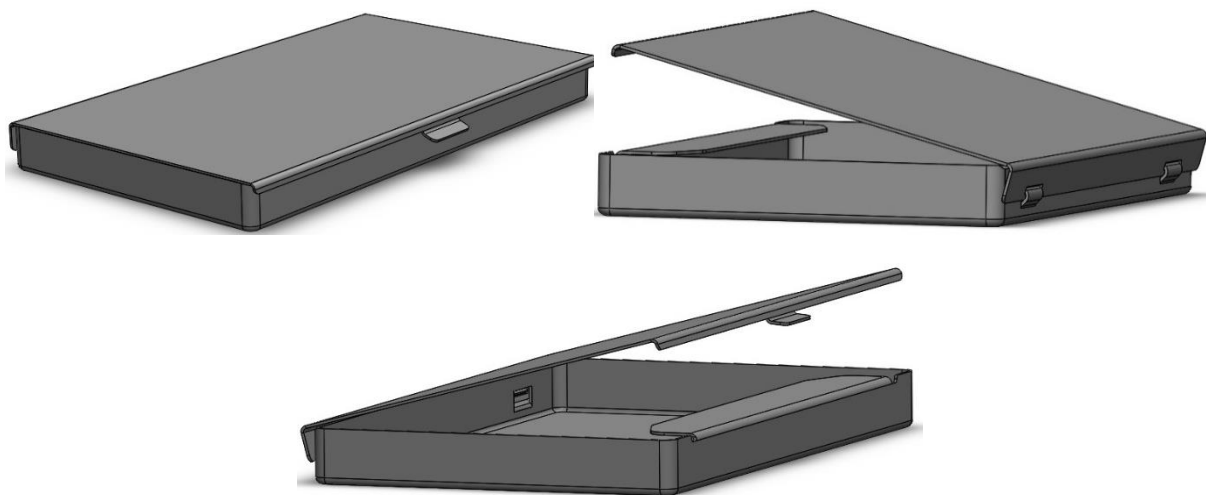
Obr. 3 Dárková krabička [9]

1.2 Variantní studie

Zadanou součást je třeba nejdříve překreslit a navrhnout tak, aby byla vyrobitelná technologií tažení, jak je uvedeno v zadání práce, nebo alespoň kombinací tažení s dalšími technologiemi plošného tváření tak, aby bylo dosaženo požadovaného výsledku, tj. zachování funkce a atraktivity, snížení pracnosti a nákladů na výrobu. Tažením se rozumí přetváření přístříhu plechu v dutou součást, při konstrukci je tedy třeba vycházet z miskovitěho tělesa obdélníkového tvaru jako hlavní části a následně řešit víko a vzájemnou montáž v jeden celek.

1.2.1 Konstrukční řešení

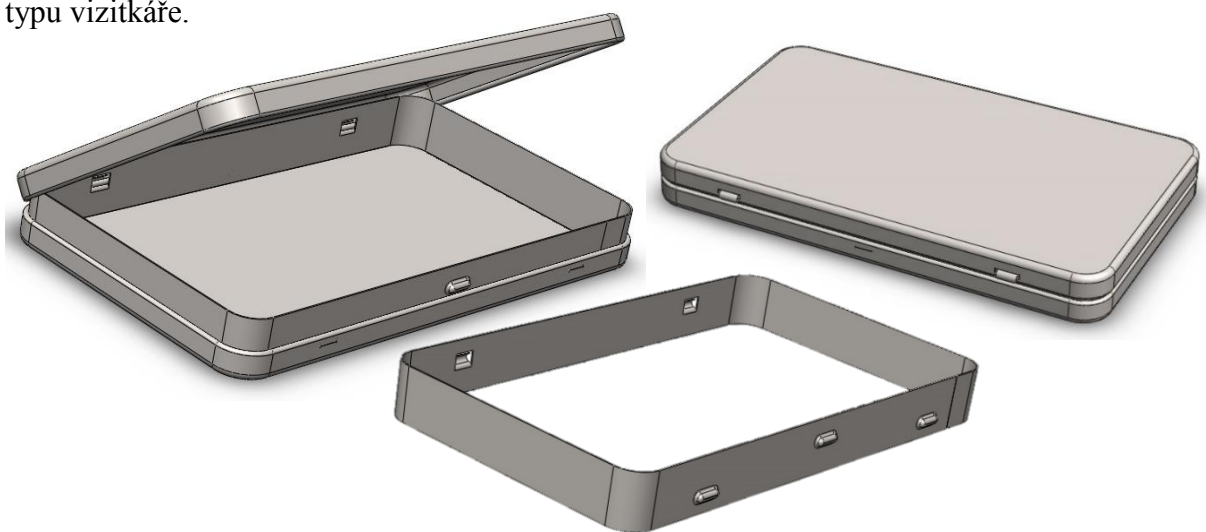
U první varianty (obr. 4), je brán zřetel na co největší shodu s původním produktem. Navržený díl sestává ze dvou kusů, kdy spodní díl lze vyrobit technologií tažení.



Obr. 4 Varianta I.

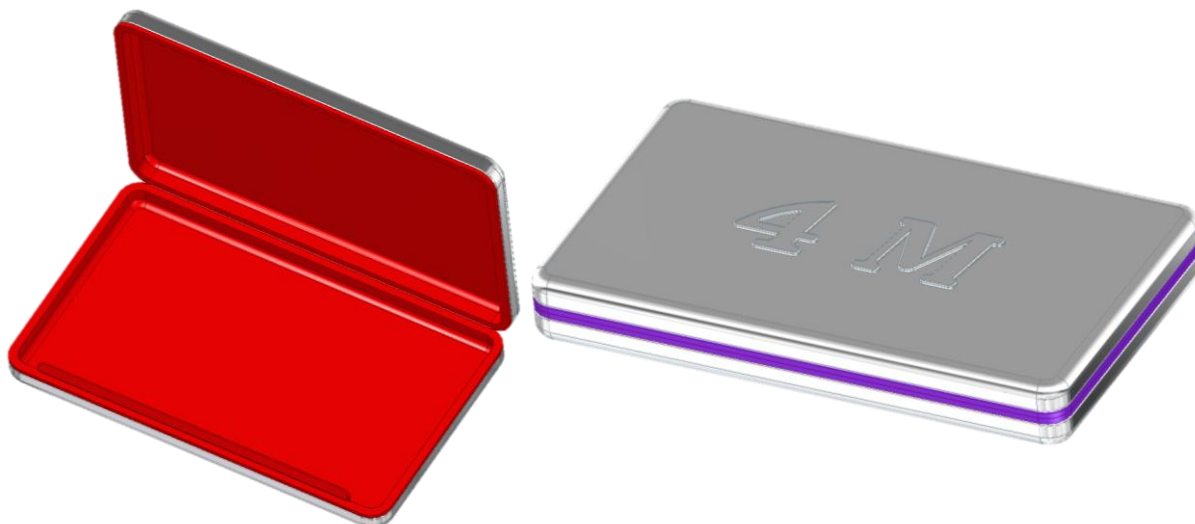
Pokud by byl spodní díl uvažován včetně vnitřního ohybu, který slouží jako pojistka proti vypadnutí vizitek, je třeba výtažek zhotovit mnohem vyšší kvůli dodatečnému složitému ostřížení do požadovaného tvaru. Následné operace ohýbání, děrování, prostřihování, ať už na spodním, či vrchním dílu, by nevedly k žádné úspoře v nákladech, ani v pracnosti.

Druhá varianta (obr. 5) již více pracuje díky odklonění se od designu původního produktu s technologií tažení, jelikož tento návrh je sestaven ze dvou totožných dílců, které lze vyrobit v jediném tažném nástroji. Tyto jsou následně pouze ostříženy na požadovanou výšku, po celém obvodu je zhotovena obruba. Dílce jsou spojeny v jeden celek pomocí mezikusu v podobě zadrápkaného plechového pásku, na kterém jsou provedeny tvářecí operace jako prostřihování, obrubování, osazování. I tato varianta, co se pracnosti týká, není zcela vyhovující, dalším zamítavým stanoviskem může být i fakt, že kvůli podchycení všech detailů na mezikuse součást nabyde do mnohonásobně větší výšky, než je tomu u standardního výrobku typu vizitkáře.



Obr. 5 Varianta II.

Na obr. 6 je zobrazena třetí varianta, která má stejný základ jako varianta druhá. Tedy dva shodné tažené dílce, spodní a vrchní díl, které jsou k sobě spojené pomocí vnitřní vakuoformované vložky, která ve spoji tvoří barevnou linku a lze ji tak barevně přizpůsobit požadavku zákazníka. Vložka je z jednoho dílu, který je v půlce ohnut, přičemž z vnějších stran jsou na ni nacvaknuty tažené součásti a pant tak tvoří samotný materiál vložky v ohybu. V rámci customizace lze na vrchní díl doplnit potisk, či embossing, což lze vyřešit zařazením dodatečné operace. Tuto variantu lze považovat za nejlepší z navržených, čili bude dále řešena v praktické části práce.



Obr. 6 Varianta III.

1.2.2 Volba materiálu

Původní pouzdro je zhotoveno z korozi-vzdorné oceli tloušťky $0,4\text{ mm}$. Tento materiál je použit z důvodu vyšších nároků na vizuální vjem výrobku, kdy tento dodává pocit atraktivity a působí dražším a luxusnějším dojmem. Zvolená vyšší tloušťka materiálu je až zbytečná, možným vysvětlením může být snaha o větší odolnost proti poškození obalu.

Při volbě materiálu na výrobu taženého pouzdra je nutné uvažovat vzhled materiálu, jeho vhodnost pro tvářecí operace a cenu. Jako možnou variantu lze uvažovat standardní černý ocelový plech, na který je nanesen kovový povlak, nebo lak. Jak již bylo zmíněno výše, v případě dóz a krabiček je vhodnou variantou pro výrobu válcovaný černý ocelový plech s elektrolyticky naneseným cínovým povlakem. Při zvolení nižší tloušťky, např. $0,24\text{ mm}$, bude cenová úspora značná a výsledný vzhled i vlastnosti nebudou ovlivněny.

2 LITERÁRNÍ STUDIE ZAMĚŘENÁ NA PLOŠNÉ TVÁŘENÍ

Plošné tváření lze definovat jako technologii zpracování materiálu, při které nedochází k významné změně průřezu a tloušťky výchozího polotovaru. Lze ho rozdělit do dvou hlavních kategorií dle způsobu zpracování materiálu.

První část lze nazvat dělením materiálu, resp. střížnými procesy, kdy je kov plasticky deformován až do porušení. Materiál, který je z hutí dodáván nejčastěji v podobě tyčí, profilů, tabulí a pásů je třeba nejprve dělit na menší, lépe zpracovatelné výchozí polotovary pro další zpracování. Neznamená to ovšem, že střížné procesy jsou jen a pouze přípravné fáze dalších tvářecích technologií. Příprava materiálu je pouze zlomek z této oblasti, většina střížných operací je určena přímo ke zhotovení požadovaných výrobků, nebo k jejich dokončení do finální podoby. Mezi nejčastější technologie této skupiny patří stříhání, vystřihování, prosekávání, děrování, ostřihování, atd.

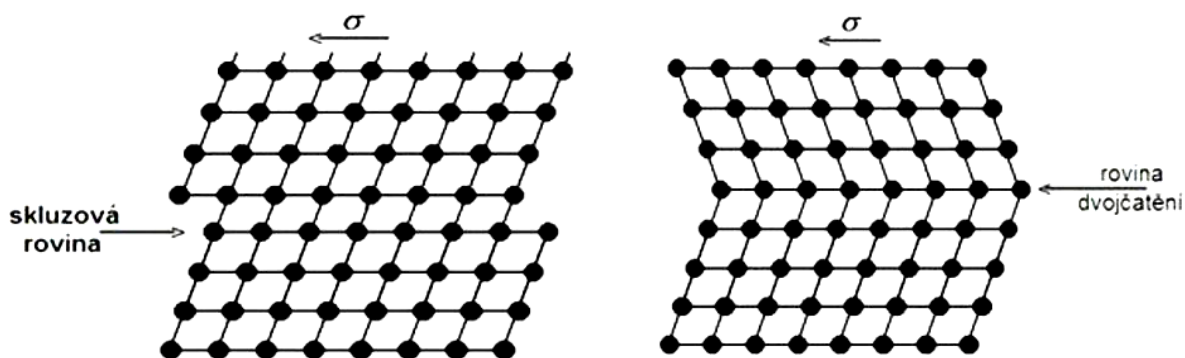
Druhou kategorií jsou procesy plastické deformace, kde je využíváno charakteristického znaku kovových materiálů - plasticity. U těchto technologií je v materiálu pomocí náradí a nástrojů vyvolána plastická deformace, a tím je docíleno požadovaného tvaru meziprojektu, nebo již finálního výrobku, aniž by došlo k porušení celistvosti. Do tohoto segmentu patří hlavně ohýbání, tažení, vypínání, tlacení [2, 10].

2.1 Teoretické základy tváření

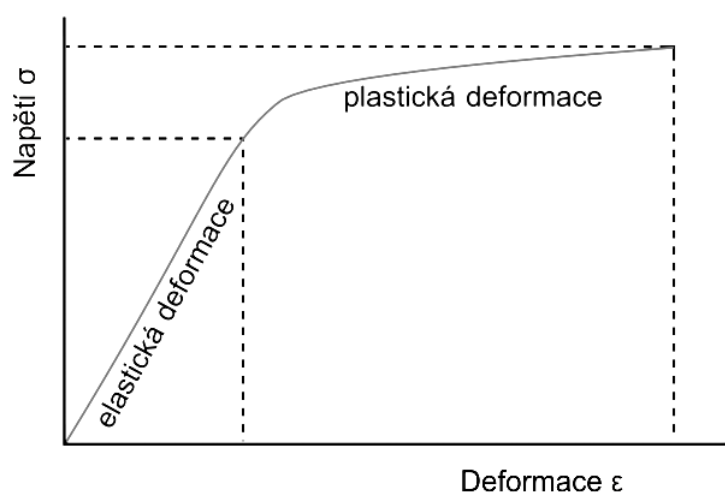
Obor tváření kovů je založen na studiu specifických vlastností materiálů a pochopení jejich chování při plastických deformacích, resp. přetvoření, jelikož hlavním cílem výrobních procesů je zajištění výroby součástek bez defektů, s požadovanými rozměry a vlastnostmi. Tvařitelnost kovů je schopnost trvale měnit tvar bez porušení při konkrétních technologických podmínkách, představuje tedy souhrn vlastností materiálu, nástroje a prostředí. Termíny jako mez pevnosti, mez kluzu, tvrdost, houževnatost, elasticita, plasticita, tažnost, jsou elementárními vlastnostmi, které jsou brány v technologii tváření jako měřítko chování materiálů pod zatížením. Tyto vlastnosti jsou za různých podmínek rozdílné, jelikož na ně má vliv mnoho faktorů, mezi které patří struktura a chemické složení materiálu, teplotní parametry, rychlosti průběhu tváření, tření, atd. Tyto parametry se zpravidla získávají pomocí základních zkoušek mechanických vlastností, jako je např. zkouška tahem, zkouška tvrdosti, nebo z technologických zkoušek tvařitelnosti, mezi které patří zkouška hloubením podle Erichsena, zkouška kalíškovací, nebo různé zkoušky ohybatelnosti [2, 11].

2.1.1 Mechanizmy plastické deformace

Hlavním znakem plastické, tedy trvalé deformace je její nevratnost. V případě kovových materiálů jsou známy dva hlavní mechanismy plastické deformace, a to skluz a dvojčatění, dále existuje ještě třetí, a to pokluzu po hranicích zrn, kterých se uplatňuje při superplasticitě materiálů. V případě skluzu dochází k pohybu dislokací čárových poruch krystalové mřížky, zatímco u dvojčatění dochází k natočení částí mřížek kolem osy symetrie, a tím dochází k zrcadlení, tak jak je znázorněno na obr. 7. K trvalé deformaci dochází při zvýšení napětí nad mez kluzu, do té doby se jedná pouze o deformaci elastickou (pružnou), viz obr. 8. Během tváření kovů, tedy během plastické deformace dochází ke zpevňování a odpevňování, jelikož na mez kluzu kovových materiálů má vliv řada faktorů, např. struktura materiálu, teplota a rychlost zatěžování [11, 12].



Obr. 7 Mechanizmy plastické deformace [2]



Obr. 8 Oblasti pružné a plastické deformace [13]

2.1.2 Ukazatelé plasticity

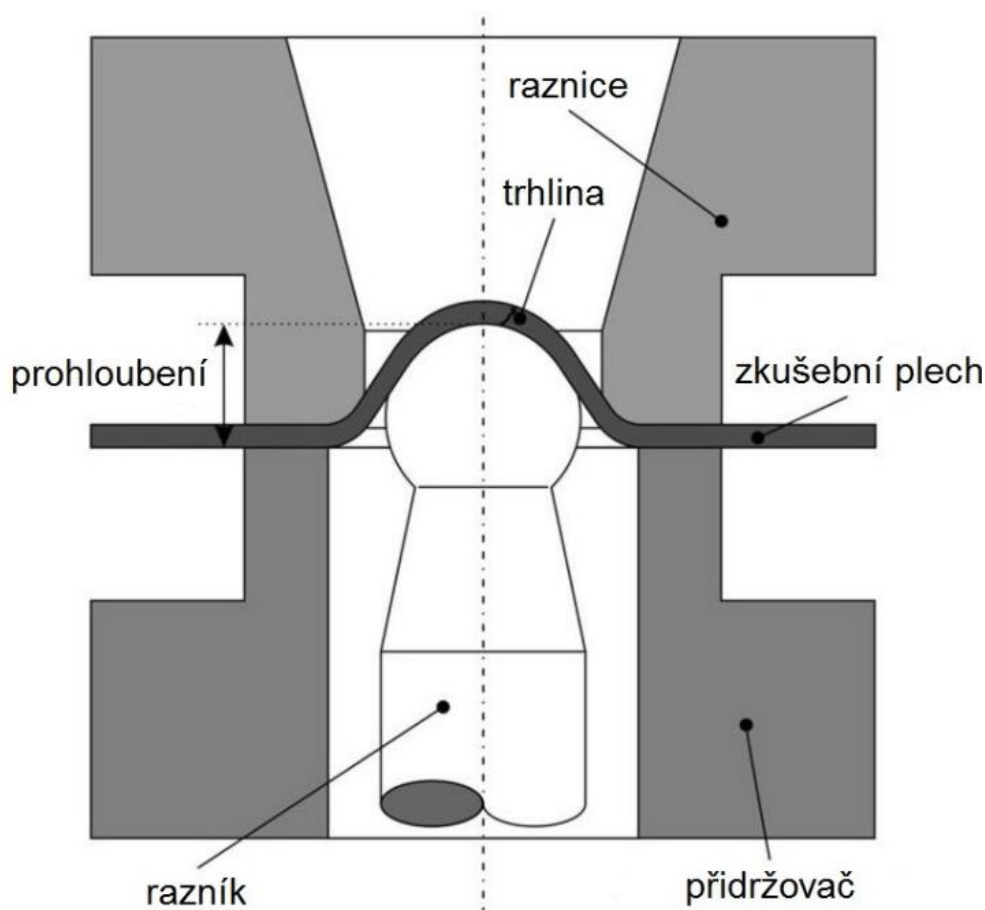
Plasticita, jakožto nejdůležitější potřebná vlastnost tvářeného materiálu, je zpravidla posuzována ze základních zkoušek mechanických vlastností – tahové, tlakové, nebo krutem. Z uvedených zkoušek lze snadno získat informace o schopnosti materiálu se tvářet, z diagramu tahové, nejrozšířenější zkoušky, lze získat charakteristiky plasticity jako je mez kluzu R_e , mez pevnosti R_m , poměr mezi R_e/R_m , tažnost A , kontrakce Z .

U plošného tváření, kdy je materiálem většinou plech, nebo tenkostěnný profil, jsou pro hrubé hodnocení ukazatelů plasticity výše uvedené parametry dostačující, avšak tyto hodnoty neumožňují přesnější rozlišení rozdílů mechanických vlastností vlivem geometrie polotovaru, způsobem a kvalitou zpracování při výrobě materiálu, proto se využívá dalších ukazatelů tvařitelnosti, jako jsou ukazatelé plošné a normálové anizotropie, exponent deformačního zpevnění, nebo zásoba plasticity [12, 14, 15].

2.1.3 Technologická tvařitelnost

Technologickou tvařitelností se rozumí schopnost materiálu trvale měnit tvar a rozměry pod vlivem účinku působení vnějších sil bez porušení soudržnosti v konkrétních technologických

podmínkách. Udává přesnější informace o napětově-deformačním stavu polotovaru, zpravidla se označuje podle základní technologické operace, např. stříhatelnost, hlubokotažnost. Vyhodnocuje se provedením technologických zkoušek, ať už přímo při konkrétní technologické operaci v reálných podmínkách, nebo simulovaně v podmínkách blízkých výrobním. Pakliže nelze provést zkoušku přímo konkrétní tvářecí technologií, přichází na řadu napodobující zkoušky technologické tvařitelnosti, např. již zmiňované zkoušky hloubením podle Erichsena (obr. 9), kalíškovací, které slouží k posouzení hlubokotažnosti tenkých plechů, nebo zkoušky ohybatelnosti.



Obr. 9 Schéma zkoušky hloubením podle Erichsena [16]

V případech, kdy jsou výše uvedené metody posouzení vhodnosti materiálu k tváření nedostačující (zpravidla kdy nelze posoudit všechny vstupy – materiál, tvar a proces současně), lze vyhodnocení tvařitelnosti provést též pomocí tzv. limitních diagramů, které jsou zpracovány na základě analýz toku materiálu při specifických procesních úkonech [11, 12, 15].

2.1.4 Podmínky plasticity

V rámci schopnosti plasticity materiálu, tedy vlastnosti materiálu vydržet deformace vznikající působením vnějších sil, je třeba zmínit podmínky, za kterých při působení určitých termomechanických faktorů, jako jsou teplota, rychlost či napjatost, dochází k tomu, že tvářený materiál přechází ze stavu pružného do stavu plastického a je tak na hranici podmínek plasticity.

Mezi takové podmínky plasticity lze zahrnout například podmínku maximálních smykových napětí τ_{max} , která je také označována jako Treskova podmínka.

$$\tau_{max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{1}{2}\sigma_k \quad [Pa] \quad (2.1)$$

τ_{max} maximální smykové napětí $[Pa]$
 σ_k kritické napětí $[Pa]$

Prostorový stav napjatosti, kdy $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, lze omezit na jednoosý, jelikož maximální smykové napětí je dáno mezí kluzu, kterou lze zjistit z tahové zkoušky a platí $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$. Poté lze dosadit za σ_k mez kluzu R_e nebo smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ [11, 12].

2.1.5 Základní zákony tváření

Stejně jako ostatní procesy se i ty tvářecí řídí zákony, které je třeba zohlednit při výběru vhodné technologie výroby. Patří mezi ně například následující zákony:

- zákon stálosti objemu, kdy se objem v rámci tvářecího procesu nemění, resp. změna objemu je bezvýznamná
- zákon stálosti potenciální energie změny tvaru, podle kterého je potenciální energie nutná ke změně tvaru nezávislá na stavu napjatosti
- zákon nejmenšího odporu, podle kterého se v rámci úspory energie částice pohybují při tvářecím procesu směrem nejmenšího odporu
- zákon zpevnění, který stanoví, že při tvářecím procesu dochází k jistému druhu deformačního zpevnění zpracovávaného materiálu
- zákon podobnosti, podle kterého je zajištěna podobnost výrobků vzniklých během tvářecího procesu při zachování srovnatelných vlastností, jako jsou rozměry, tvářecí síly, rychlost či teploty během tváření.
- zákon tření, který uvádí, že každý tvářecí proces je doprovázen vnějším třením mezi výrobkem a nástroji [11, 12].

2.2 Technologie stříhání

Mezi základní operace tvářecího procesu patří stříhání, pomocí kterého dochází postupně, nebo souběžně díky protilehlým silám střížných břitů nožů či střížných hran nástrojů k primárnímu kroku tvářecího procesu, tedy k oddělení materiálu v tzv. střížné rovině, ve které působením sil vzniká smykové napětí. Výše popsaný proces slouží nejen k přípravě polotovarů, ale také například k vystřihování součástek z plechu. Vždy je nutné mít na paměti obecná pravidla a zákonitosti, které v procesu stříhání platí. Jedná se například o pravidlo, že drsnost střížné plochy je dána postupem deformací a kvalitou materiálu, nebo že v případě některých výstřížků je výsledkem ohybového momentu obou složek střížné síly jejich prohnutí. Platí také, že střížná plocha je zpevněna do určité hloubky, nebo že dochází ke zkosení střížné plochy působením střížné vůle.

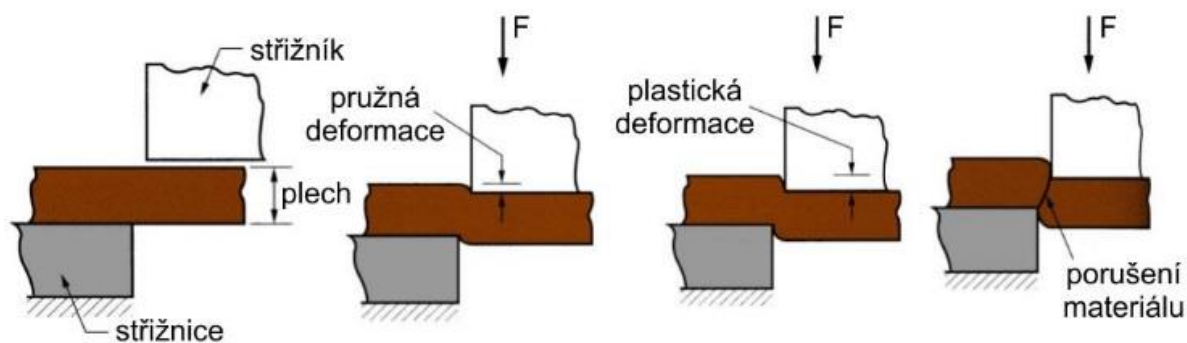
Podle různorodých parametrů lze odlišovat různé způsoby procesu stříhání. Z hlediska teploty, při které stříhání probíhá, lze například dělit tento proces na stříhání za studena, tedy pod teplotou rekystalizace a stříhání za tepla, kdy je pro získání lepší tvařitelnosti využíváno ohřevu materiálu na tvářecí teplotu. Podle druhu použitých nástrojů pak kupříkladu rozlišujeme stříhání na nůžkách (rovnoběžnými noži, skloněnými noži, kotoučovými noži apod.) a stříhání na stříhadlech (jednoduchých, postupových, sdružených, sloučených apod.), kdy se mezi hlavní

části stříhadla, tedy střížník a střížnici vkládá tvářený materiál, z něhož se v rámci co možná nejefektivnějšího využití materiálu (pomocí vytvořeného nástřihového plánu) stříhá požadovaný výstřížek [2, 10, 12, 15, 17].

2.2.1 Fáze střížného procesu

Rozfázování střížného procesu od dosednutí střížníku na stříhaný materiál po oddělení výstřížku lze popsat pomocí obr. 10 zobrazujícího průběh stříhání, ze kterého jsou patrné tři základní fáze stříhání.

- **První fáze střížného procesu**
V okamžiku dosednutí střížníku na plech začne vznikat pružná deformace v tvářeném materiálu, ke které dochází prostřednictvím působení napětí, které je v tomto okamžiku menší, než mez kluzu R_e . Hloubka, do které střížník v době vzniku pružné deformace vnikne, je odvislá od jakosti materiálu a jeho mechanických vlastností a většinou se jedná o hloubku $5 \div 8 \%$ tloušťky materiálu. Vzhledem k tomu, že platí, že podél střížné plochy dochází k zaoblení a zeslabení tloušťky výstřížku, platí tato zákonitost i v tomto případě. Na straně střížníku tak vzniká vydutí a na straně střížnice dochází k vytlačení materiálu.
- **Druhá fáze střížného procesu**
V následující fázi střížného procesu dosahuje působící napětí hodnoty přesahující mez kluzu, což má za následek trvalé porušení tvářeného materiálu, přičemž vlivem stupňující se plastické deformace se zpevňuje okolí střížné plochy. S ohledem na jakost a mechanické vlastnosti materiálu pak vnik střížníku dosahuje hodnoty v rozmezí $10 \div 25 \%$ tloušťky materiálu. V závěru této fáze se napětí na hranách střížníku a střížnice blíží mezi pevnosti R_m a v oblasti styku střížných hran střížnice a střížníku se začínají vytvářet trhlinky.



Obr. 10 Fáze střížného procesu [20]

- **Třetí fáze střížného procesu**
V poslední, třetí fázi, kdy je materiál namáhán nad mez pevnosti R_m , se na tvářeném materiálu objevuje porušení v podobě tzv. trhlin, které se šíří stříhaným materiálem od styku střížných hran s materiálem, a to až do okamžiku jejich spojení (za předpokladu normální střížné vůle), a postupně dojde k samotnému oddělení požadovaného výstřížku z tvářeného materiálu. Při úplném utržení výstřížku od původního materiálu je hloubka vniku střížníku do materiálu $10 \div 60 \%$ tloušťky materiálu. Opět záleží na druhu a vlastnostech tvářeného materiálu a dále na velikosti střížné mezery. To

znamená, že oddělení křehkého a tvrdého materiálu probíhá mnohem rychleji, než oddělení houževnatého a měkkého materiálu. Finální vzhled a kvalita výstřížku je tedy ovlivněna různými hledisky (např. druh a způsob stříhání, specifické vlastnosti materiálu, ze kterého je stříhán výstřížek, parametry střížných nástrojů apod.). Z výše uvedeného také vyplývá, že k utržení výstřížku dojde dříve, než střížník projde celým tvářeným materiálem, což má za následek vznik nerovnosti a určitého druhu drsnosti na střížné ploše [2, 10, 12, 18, 19].

2.2.2 Střížná síla a práce

Střížnou silou je nazývána síla potřebná k oddělení výstřížku dle požadovaných parametrů. Dříve než se přistoupí k samotnému procesu stříhání, je nutné zvolit vhodné stříhadlo a lis s určením střížné síly tak, aby nedošlo k jejich poškození. Vztah pro stanovení střížné síly je dán následovně.

$$F_s = k_o \cdot S_s \cdot \tau_{ps} \quad [N] \quad (2.2)$$

F_s	střížná síla [N]
k_o	součinitel otupení břitů (rozmezí 1,2 – 1,5) [–]
S_s	střížná plocha [mm ²]
τ_{ps}	střížný odpor materiálu, u ocele většinou $0,8 \cdot R_m$ [–]
R_m	mez pevnosti [MPa]

Pro nejčastější způsob stříhání v nástrojích, kterým vystřihování je, se celková střížná síla určí dle dále uvedeného vztahu.

$$F_c = F_s + F_{st} + F_{pr} \quad [N] \quad (2.3)$$

$$F_{st} = c_1 \cdot F_s \quad [N] \quad (2.4)$$

$$F_{pr} = c_2 \cdot F_s \quad [N] \quad (2.5)$$

F_c	celková střížná síla [N]
F_{st}	stírací síla [N]
F_{pr}	protlačovací síla [N]
c_1	součinitel stírání (dle tab. 1) [–]
c_2	součinitel protlačení (dle tab. 1) [–]

Tab. 1 Hodnoty součinitelů c_1 a c_2 [10]

Druh/tloušťka materiálu		c_1 [–]	c_2 [–]
Ocel	do 1 mm	0,02 – 0,12	0,05 – 0,08
	1 – 5 mm	0,06 – 0,16	
	nad 5 mm	0,08 – 0,20	
Mosaz		0,06 – 0,07	0,04
Slitiny Al		0,09	0,02 – 0,04

Střížná práce potřebná pro oddělení výstřížku z tvářeného materiálu je úměrná střížné síle a hloubce vniku střížníku do materiálu. V rámci grafického vyjádření střížné práce je tato práce

dána hranicí křivky střížné síly s plochou pod křivkou. Výpočet střížné práce se provede dle následujícího vztahu [10, 11, 12, 17, 18, 19].

$$A_s = \frac{K_h \cdot F_s \cdot t}{1000} \quad [J] \quad (2.6)$$

A_s střížná práce [J]

K_h součinitel hloubky vtlačení (dle tab. 2) [–]

t tloušťka plechu [mm]

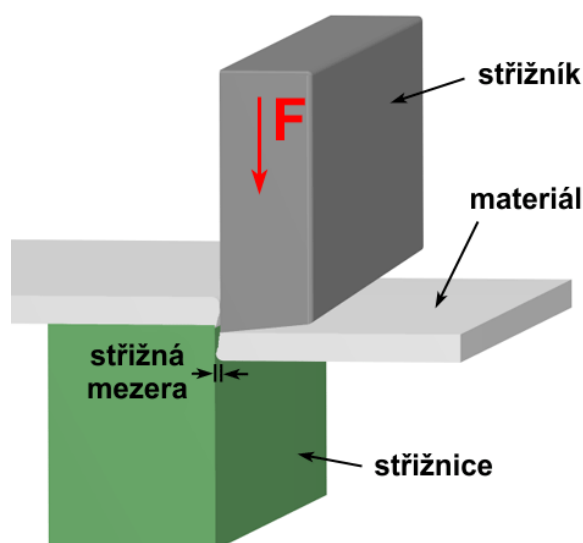
Tab. 2 Hodnoty součinitele vtlačení K_h [10]

Materiál	Tloušťka materiálu [mm]			
	do 1	1 – 2	2 – 4	nad 4
Ocel měkká (do 350 MPa)	0,70 – 0,65	0,65 – 0,60	0,60 – 0,50	0,45 – 0,35
Ocel středně tvrdá (do 500 MPa)	0,60 – 0,55	0,55 – 0,50	0,50 – 0,42	0,40
Ocel tvrdá (nad 500 MPa)	0,45 – 0,42	0,42 – 0,38	0,38 – 0,33	0,30 – 0,20
Hliník, měď (žíhané)	0,75 – 0,70	0,70 – 0,65	0,65 – 0,55	0,50

2.2.3 Střížná vůle a střížná mezera

Střížná vůle, tedy dvojnásobek střížné mezery na obr. 11 (mezera stejné velikosti existuje na obou stranách střížníku vnikajícího do střížnice), je v podstatě rozměrovým rozdílem mezi střížníkem a střížnicí. Vhodné určení této vůle je důležité především z hlediska zachování kvality střížné plochy či opotřebení nástroje. Pro získání kvalitnějšího povrchu se v rámci výpočtu střížné mezery (potažmo vůle) volí nižší hodnoty součinitele c (viz níže). Je-li rozhodujícím faktorem dosažení co nejmenší střížné síly, volí se naopak hodnoty vyšší. Velikost střížné vůle je odvislá mimo jiné od druhu a tloušťky tvářeného materiálu.

Pro výpočet střížné mezery je nutné stanovit, zda se jedná o plech větší tloušťky než 3 mm či nikoli, neboť pro odlišné tloušťky existuje odlišné empirické vyjádření výpočtu střížné mezery. Pro plech tenčí než 3 mm včetně platí následující vztah [10, 15, 18, 19].



Obr. 11 Zobrazení střížné mezery mezi střížníkem a střížnicí [21]

$$z = c \cdot t \cdot 0,32 \sqrt{\tau_{ps}} \quad [mm] \quad (2.7)$$

z střižná mezera $[mm]$

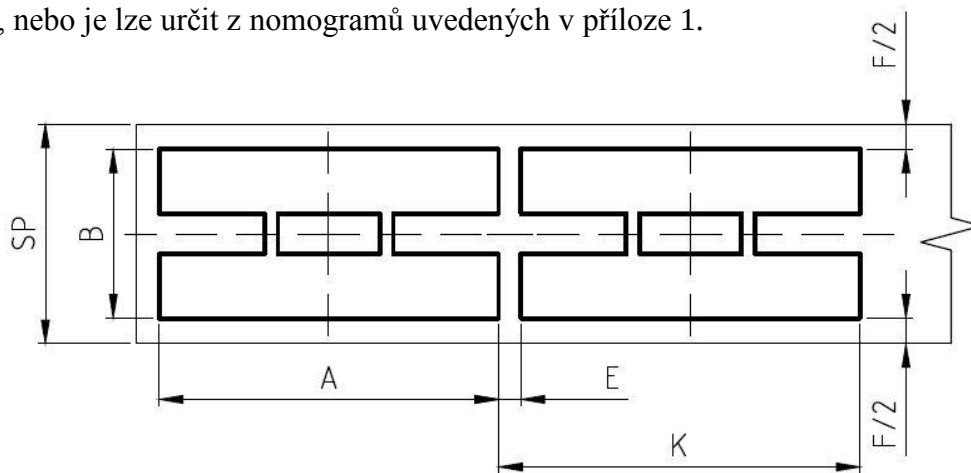
c součinitel závislý na stupni stříhu (rozmezí 0,005 – 0,025) $[-]$

Pro plech tlustší než 3 mm platí tento vztah.

$$z = (1,5 \cdot c \cdot t - 0,015) \cdot 0,32 \sqrt{\tau_{ps}} \quad [mm] \quad (2.8)$$

2.2.4 Nástřihový plán a využití materiálu

Nástřihovým plánem je označován plán, pomocí kterého je zvolen postup rozložení výstřižků na pás plechu tak, aby bylo dosaženo co nejefektivnějšího využití materiálu s co možná nejmenším konstrukčním odpadem. Předně je třeba určit tzv. přepážku odpadu F a velikost můstku (mezery) E . Při jejich určení je vždy nutné počítat s jejich závislostí na velikosti a tvaru výstřižku, tloušťce plechu a uspořádání výstřižků na pásu. Uvedené parametry lze stanovit buď početně, nebo je lze určit z nomogramů uvedených v příloze 1.



Obr. 12 Ukázka nástřihového plánu (A – hlavní rozměr; B – vedlejší rozměr; E – můstek; F – přepážka odpadu; K – krok; SP – šířka pásu) [22]

Pro určení nejefektivnějšího způsobu rozložení výstřižků na pásu plechu je dále důležité vypočítat počet kusů výstřižků na jednom pásu, dále kolik pásů plechu bude vyhotoveno z jedné tabule plechu a kolik tabulí plechu bude třeba pro výrobu předpokládaného celkového počtu kusů výstřižků.

- Počet celých kusů výstřižků na jednom pásu plechu se určí tak, že se délka pásu plechu vydělí délkou kroku. Délka kroku se určí součtem šířky výstřižku a stanovenou velikostí můstku.
- Počet celých pásů z tabule plechu se stanoví tak, že se šířka tabule vydělí šířkou pásu. Šířka pásu je dána součtem délky výstřižku s přepážkou odpadu.
- Počet výstřižků z jedné tabule je určen tak, že se vynásobí počet celých kusů výstřižků na jednom pásu počtem celých pásů z jedné tabule plechu.

Výše uvedeným postupem je stanoveno, kolik výstřižků bude vystřiženo z jedné tabule plechu. K určení celkové spotřeby tabulí plechu je pak nutné vydělit celkový předpokládaný počet kusů výstřižků počtem výstřižků z jedné tabule.

V rámci určení technologického odpadu je nutné vypočítat plochu výstřižků z jedné tabule plechu a vydělit ho plochou jedné tabule. Po vyjádření tohoto výsledku v procentech, lze toto aplikovat na celkovou spotřebu plechu pro výrobu plánovaného počtu kusů výstřižků [2, 10, 17, 23].

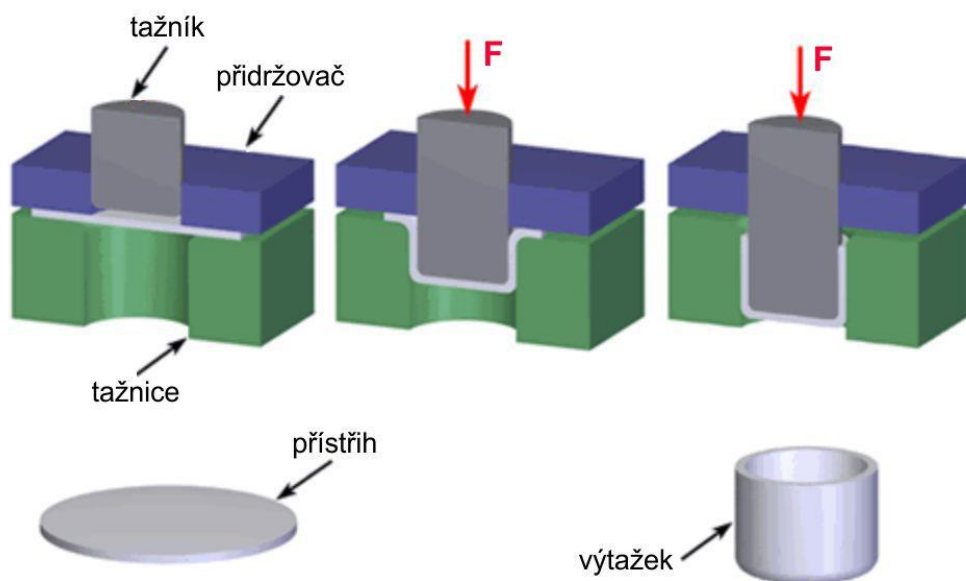
2.3 Technologie tažení

Tažením se rozumí technologický proces spadající do technologií plošného tváření, při kterém se působením síly na kus plechu, tzv. přístřih, zhotovují duté součásti (výtažky) rotačních, - válcových, kuželových, ale i nerotačních - čtvercových, obdélníkových, nebo nepravidelných tvarů, s přírubou či bez příruby.

Obecně lze říci, že proces tažení je jednou z nejrozšířenějších metod zpracování plechu, neboť pomocí něho lze jednoduše zhotovit finální součástku s minimálním počtem operací, v krátkých výrobních časech a s malým procentem odpadu. Touto metodou lze vyrobit součásti s vysokou přesností a tuhostí, při zachování jejich velmi malé hmotnosti, čili pole působnosti této technologie je široké, od velmi malých produktů elektrotechniky až po velké několikametrové celky v automotive či letectví. Tažení lze podle výsledného tvaru výtažku dělit na mělké a hluboké, podle počtu operací (v závislosti na složitosti a velikosti součásti, na druhu taženého materiálu) na jednooperační a víceoperační, bez a se ztenčením stěny [2, 11, 24].

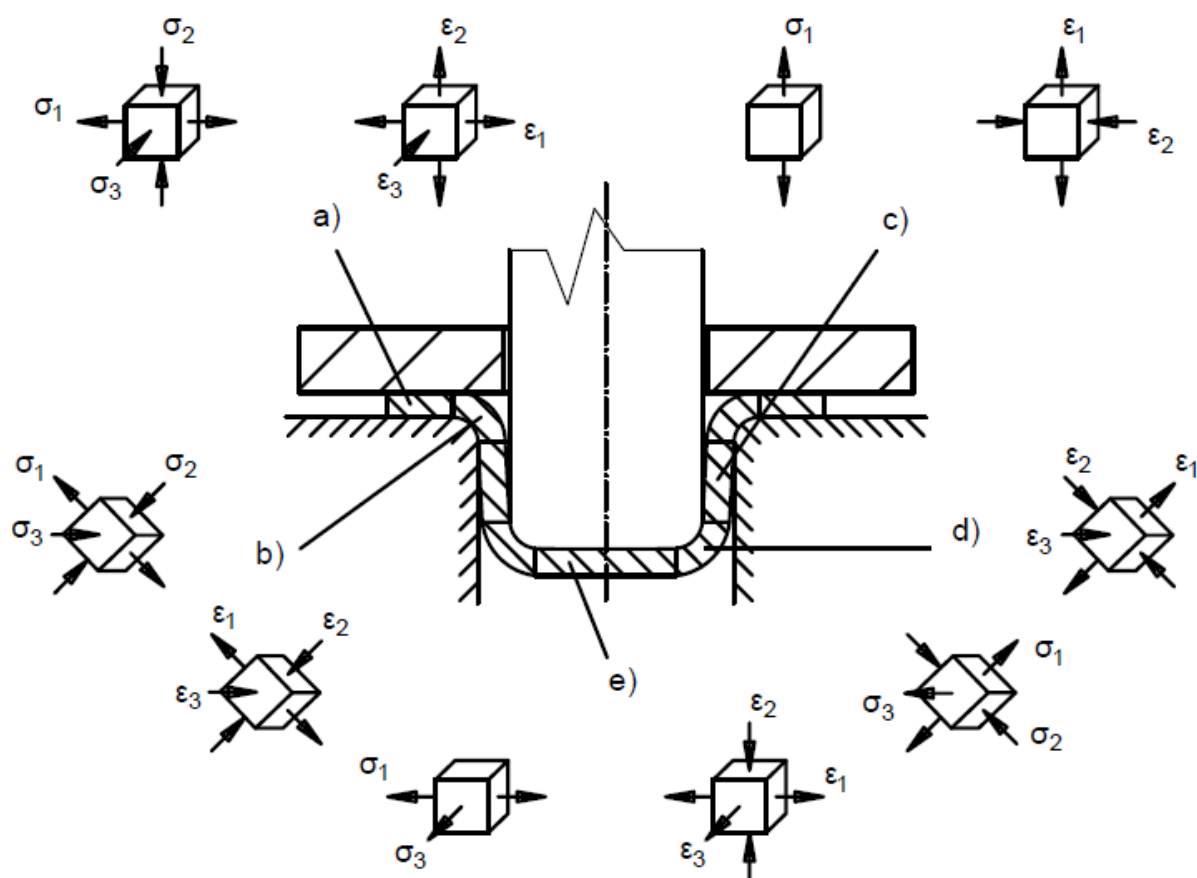
2.3.1 Princip tažení

Zhotovení součásti probíhá pomocí lisovacího nástroje používaného při tažení, tzv. tažidla, kdy je tažníkem přístřih vtahován do tažnice a materiál je tak trvale přetvořen ve výtažek. Tažení lze zařadit mezi tvárné deformace, což znamená, že v průběhu procesu tažení dochází k přesouvání objemu materiálu z plochého přístřihu do trojrozměrné části výtažku. Následkem toho dochází k pěchování materiálu na okrajích výtažku, což může způsobovat vznik vln v místě příruby, které následně mohou postupovat do tažené části a tím tak zhoršovat kvalitu výrobku. Aby se vzniku výše zmiňovaného zvlnění zabránilo, lze použít přidržovač, který působí na tažený plech tlakem proti tažnici. Princip tažení součásti rotačního tvaru je znázorněn na obr. 13 [2, 11, 24].



Obr. 13 Princip tažení rotační součásti [25]

Válcový výtažek, který je tvářen prostřednictvím metody tažení s přidržovačem, je při tomto procesu namáhán různými napětími a deformacemi. Schéma hlavních napětí ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) a deformací ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$) při tažení válcového výtažku je znázorněno na obr. 14, z něhož vyplývá, že σ a ε se mění v různých částech výtažku, přičemž se mění současně i jejich velikost. V přírubě výtažku (oblast a) vzniká vlivem přidržovače prostorová napjatost. Na poloměru tažnice r_t (oblast b) vzniká prostorová napjatost s největším radiálním tahovým napětím σ_1 a malým tangenciálním tlakovým napětím σ_3 . Ve válcové části výtažku (oblast c) existuje pouze jednoosá tahová napjatost a prostorový stav deformace z oblasti příruby se zde mění na rovinný stav. V místě přechodu válcové části do dna (oblast d) je prostorová nestejnorodá napjatost, která způsobuje značné prodloužení a tím ztenčení tloušťky stěny výtažku. V této oblasti dochází nejčastěji k utržení dna. Ve dně výtažku (oblast e) vzniká během tažení rovinná tahová napjatost a prostorový stav deformace. V případě jednooperačního tažení je zeslabení stěny dna výtažku zanedbatelné. Při víceoperačním tažení dochází k intenzivnímu zeslabení dna [11, 15, 24, 26].

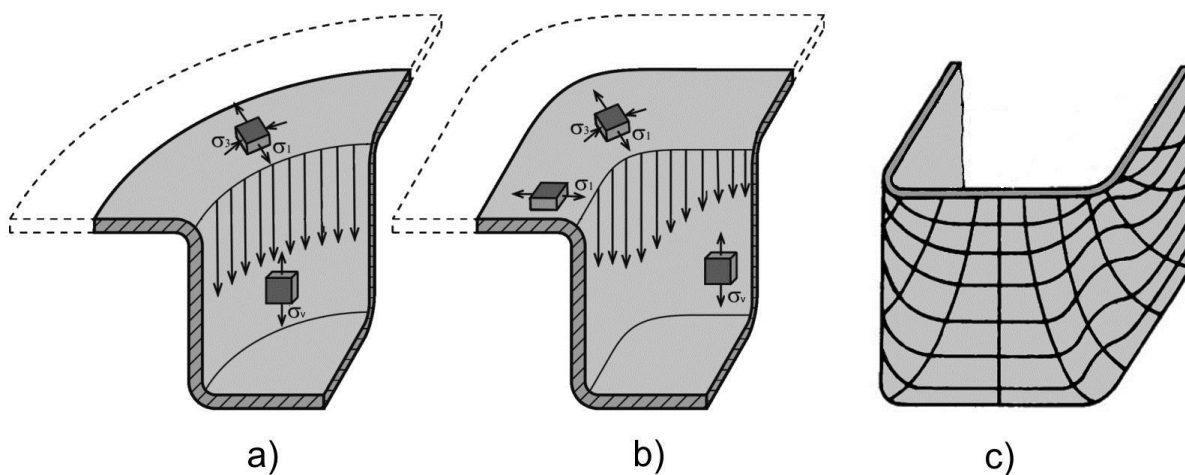


Obr. 14 Napětí a deformace při tažení válcového výtažku [26]

2.3.2 Tažení výtažků nerotačních tvarů

U nerotačních součástí, nejběžněji u výtažků obdélníkového, nebo čtvercového tvaru jsou technologické podmínky rozdílné oproti tažení výtažků rotačních. Jedná se zejména o rozdílný stav napjatosti a rozdílné zpevnění materiálu v rozích a ve zbytku tělesa. Je to způsobeno tím, že tyto výtažky jsou ve skutečnosti taženy pouze v rozích, kde je předpoklad (při určitém zjednodušení) shodného stavu napjatosti jako u tažení válcových výtažků, kdežto svíslé stěny

jsou zatíženy pouze ohybem v případě nízkých pravoúhlých výtažků. U výtažků vysokých je přemísťování materiálu z rohů do svislých stěn o dost intenzivnější, kdy je materiál v některých místech namáhán silně tahem a v některých zase tlakem a má tak snahu se přemísťovat o to více do míst s menším zatížením, jak je vidět na obr. 15, kde je znázorněn stav napjatosti, resp. deformace souřadnicové sítě [11, 15, 24].



Obr. 15 Stav napjatosti a) válcový výtažek; b) pravoúhlý výtažek / c) deformace sítě u pravoúhlého výtažku [27]

2.3.3 Stanovení výchozího polotovaru

Postup stanovení výchozího tvaru polotovaru pro nerotační součásti je odlišný od postupu pro výtažky válcovitého tvaru, kdy lze vycházet z plochy výtažku, resp. ze shodného obsahu/objemu kovu ve výtažku i přístřihu a určit tak polotovar výpočtem dle základních tvarů částí výtažků a jim příslušných empirických vzorců. Jelikož jsou kladeny vyšší nároky na konstrukci tažidel při tažení nerotačních součástí z důvodu kombinace tažení, ohýbání a stranového úniku materiálu, tak je i nezbytné stanovit co možná nejvhodnější tvar přístřihu, aby byly eliminovány problémy při samotném úkonu tažení. Vhodně zvoleným tvarem a velikostí přístřihu lze zabránit plýtvání materiálem, nadměrnému namáhání stroje, nástroje, výrobku, zvyšování počtu tažných operací, dokonce lze správnou volbou odstranit i dodatečné ostřížení přebytečného materiálu. K určení výchozího polotovaru slouží několik graficko-početních metod, v závislosti na tvaru a velikosti výtažku, počtu tažných operací, atd. Aby bylo možné zhotovit konkrétní výtažek, resp. sestavit k němu nejvhodnější nástroj, je třeba nejdříve vypočítat několik parametrů, jednak pro stanovení vlastního tvaru a velikosti přístřihu, ale také pro samotné operace tažení a konstrukci funkčních částí tažidel [11, 15, 24].

Norma ČSN 22 7303, která je přímo určena pro pravoúhlé výtažky, uvádí grafickou konstrukci tvaru přístřihu dle obr. 16. Jako první parametr uvádí poloměr přístřihu v rozích výtažku, který lze určit z diagramu, nebo výpočtem. U výpočtu je pro stanovení tohoto parametru nejdříve nutné zjistit, jakým vzorcem bude počítán, v závislosti na poměru zaoblení v rozích výtažku vs. zaoblení mezi dnem a stěnami.

Stanovení poloměru přístřihu v rohu výtažku, je-li poměr zaoblení $\frac{d_r}{2} > r_d$, se vypočítá z následujícího vztahu.

$$r_0 = \sqrt{0,25d_r^2 + d_r(h_d + 0,57r_d) - 0,14r_d^2} \quad [mm] \quad (2.9)$$

r_0	poloměr přístřihu v místě zaoblených bočních stěn [mm]
d_r	průměr zaoblení bočních stěn výtažku [mm]
h_d	výška rovinné části boční stěny výtažku [mm]
r_d	poloměr zaoblení mezi dnem a boční stěnou výtažku [mm]

Pokud je poměr zaoblení $\frac{r_r}{10} > r_d$, stanoví se r_0 dle tohoto vzorce.

$$r_0 = \sqrt{0,25d_r^2 + d_r h} \quad [mm] \quad (2.10)$$

h celková vnitřní výška výtažku [mm]

Dále je třeba určit rozvinutou výšku podélných stěn výtažku, buď z diagramu, nebo následujícím vzorcem.

$$h_s = 0,57r_d + h_d + 0,5d_r \quad [mm] \quad (2.11)$$

h_s rozvinutá výška v rovných stěnách výtažku [mm]

Následně je nutné tyto získané hodnoty r_0 a h_s upravit kvůli rozdílům v přemísťování částic materiálu v rozích vůči stěnám výtažku, jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, opět lze stanovit diagramy, nebo pomocí vzorců. U poloměru se jedná o vzorec pro redukovaný poloměr.

$$R_0 = x \cdot r_0 \quad [mm] \quad (2.12)$$

R_0 redukovaný poloměr přístřihu v místě zaoblených bočních stěn [mm]
 x koeficient zvětšení poloměru r_0 [–]

Koeficient x se určí tímto vztahem.

$$x = 0,074\left(\frac{r_0}{d_r}\right)^2 + 0,982 \quad [–] \quad (2.13)$$

U rozvinuté výšky stěn se počítá její zmenšení, a to pro každou stěnu zvlášť dle následujících vzorců.

$$h_{sa} = y \frac{r_0^2}{a_{rd}} \quad [–] \quad (2.14)$$

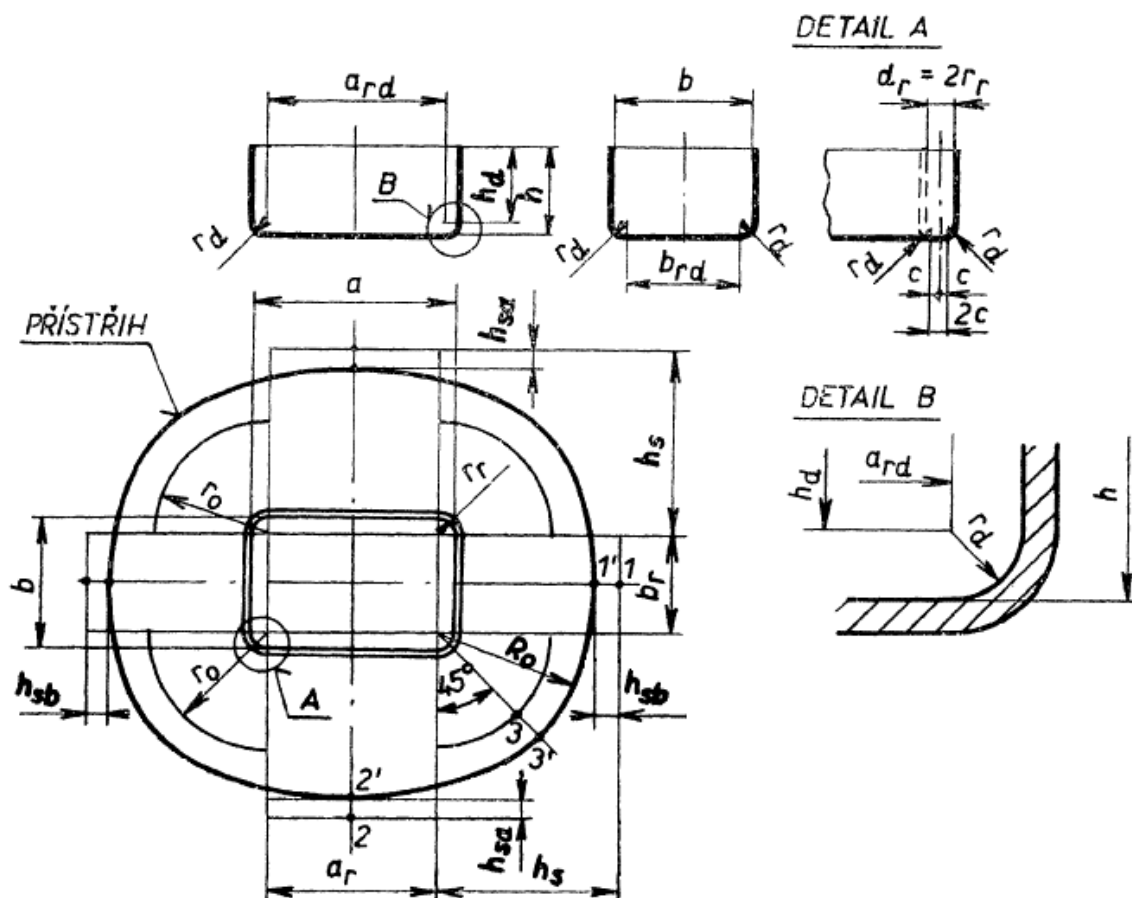
$$h_{sb} = y \frac{r_0^2}{b_{rd}} \quad [–] \quad (2.15)$$

h_{sa} zmenšení rozvinuté výšky, odpovídající straně a [mm]
 h_{sb} zmenšení rozvinuté výšky, odpovídající straně b [mm]
 y koeficient zmenšení rozvinuté výšky h_s [–]
 a_{rd} vzdálenosti středů zaoblení r_d , odpovídající straně a u výtažku [mm]
 b_{rd} vzdálenosti středů zaoblení r_d , odpovídající straně b u výtažku [mm]

Koeficient y se určí tímto vztahem.

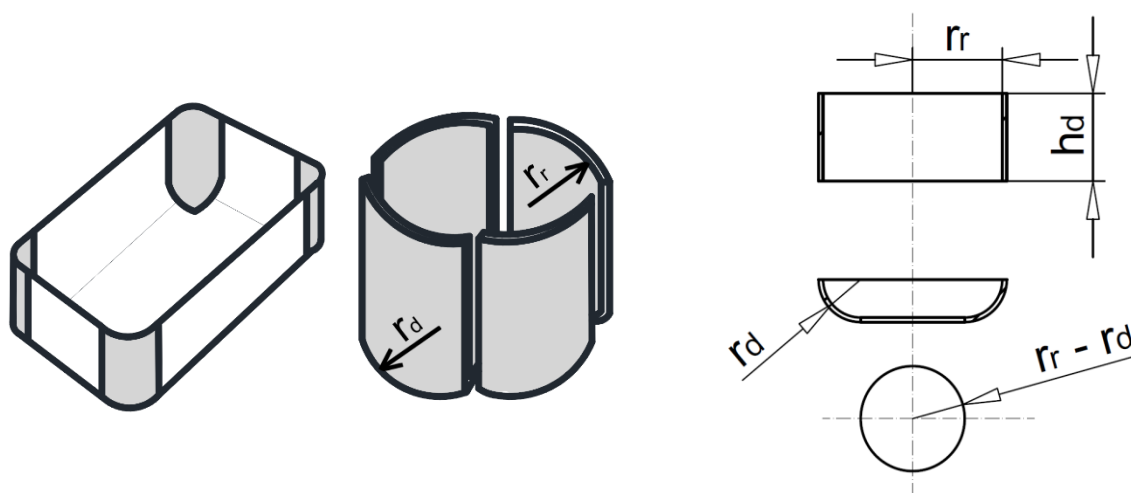
$$y = \frac{\pi}{4}(x^2 - 1) \quad [–] \quad (2.16)$$

Získané hodnoty, ať už vypočtené, nebo stanovené z diagramů, které jsou přílohou uvedené normy, lze následně zanást do grafického řešení přístřihu, tak jak je uvedeno na obr. 16 [28].



Obr. 16 Konstrukce tvaru přístřihu dle ČSN 22 7303 [28]

Další literatura uvádí graficko-početní metodu, dle které lze poměrně přesně určit tvar výchozího polotovaru pro výtažky tažené v jedné operaci. Tato metoda vychází z předpokladu zaoblení jak v rozích, tak u dna výtažku a tudíž celkové množství potřebného kovu pro zhotovení rohů se musí rovnat válcovému výtažku sestavenému z těchto rohů, jak je patrné na obr. 17.



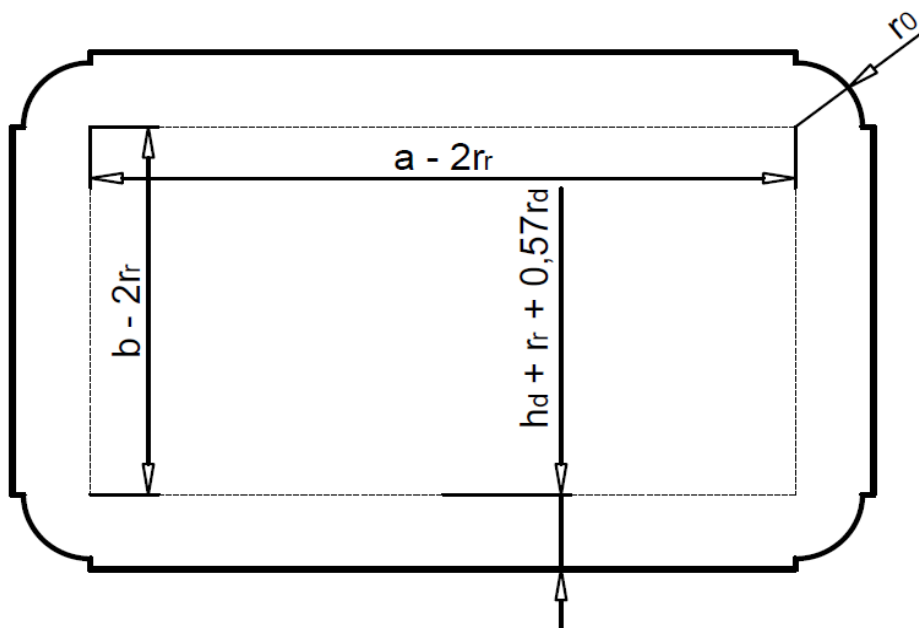
Obr. 17 válcovitý výtažek vzniklý odříznutím rohů obdélníkového výtažku [24]

Předně je tedy nutné určit si plochu přístřihu pro výtažek válcovitého tvaru, což lze provést pomocí již odvozených vzorců. Budeme-li používat shodné označení jako v metodě výpočtu uvedené výše, bude určení poloměru kruhového přístřihu vyjádřeno následujícím vzorcem.

$$r_0 = \sqrt{2 \cdot r_r \cdot h_d + r_r^2 + 1,14 \cdot r_r \cdot r_d} \quad [mm] \quad (2.17)$$

r_r poloměr zaoblení bočních stěn výtažku [mm]

Po určení poloměru kruhového přístřihu je možné přistoupit k samotné konstrukci tvaru přístřihu dle obr. 18.



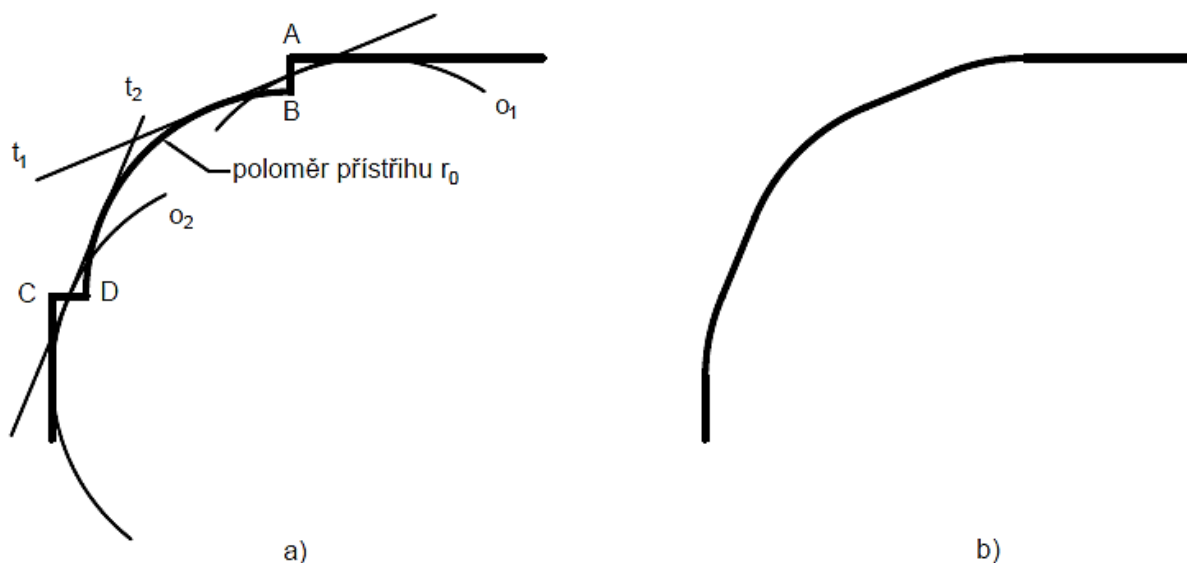
Obr. 18 Grafická konstrukce přístřihu [24]

Po nakreslení obdélníku, jehož rozměry jsou dány kótami na obr. 18, který reprezentuje rovné dno výtažku, musí dojít k prodloužení jeho stran o následující hodnotu.

$$h_s = h_d + \frac{\pi \cdot r_d}{2} + r_r - r_d \doteq h_d + r_r + 0,57r_d \quad [mm] \quad (2.18)$$

Pro kompletní dokončení teoretického výstřižku obdélníkového tvaru je nutné opsat ze všech čtyř bodů daného obdélníku čtvrtkružnici o poloměru r_0 a spojit vše v jeden celek. Výsledný teoretický výstřižek je však pro tažení nepoužitelný, neboť zde není počítáno s přemísťováním materiálu do stěn z rohových oblastí. Z hlediska výše popsaného jevu je nutné přechody zaoblit tak, aby se při tažení výstřižku zabránilo chybějícímu materiálu v rozích, či tomu přebývajícímu ve stěnách. Postup provedení zaoblení je specifikován na obr. 19.

Ten se provede tak, že úsečku AB , resp. CD , která vznikla spojením čtvrtkružnice o poloměru r_0 s prodlouženými stranami obdélníku, rozdělíme na polovinu a z takto vzniklého bodu vedeme tečnu t_1 , t_2 k dané čtvrtkružnici. Následně jsou zkonstruovány tečné oblouky o_1 , o_2 , čímž vznikne po ořezání jednotlivých prvků výsledný tvar rohu [11, 15, 24].



Obr. 19 Grafické řešení rohu přístříhu a) konstrukce; b) výsledný tvar rohu [24]

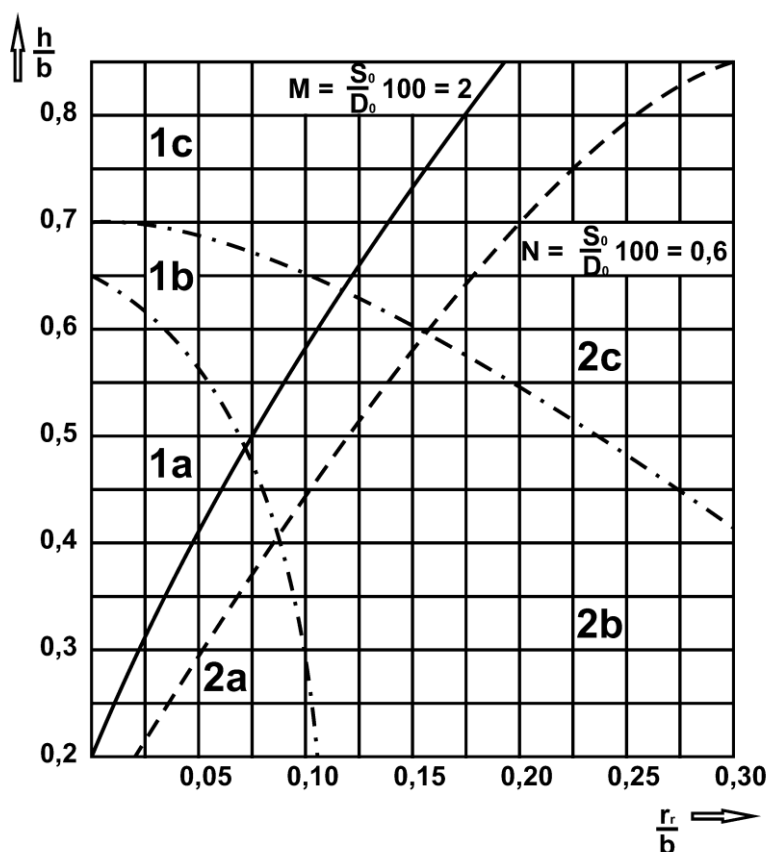
2.3.4 Počet tažných operací

V rámci tažení nerotačních výtažků je velmi důležité stanovit počet tažných operací. Určení jejich počtu je však v tomto případě velmi složité a náročné především z důvodu vlivu několika faktorů, jako jsou velikost poloměru zaoblení bočních stěn výtažku r_r , velikost poloměru zaoblení u dna výtažku r_d , tvar a velikost výtažku, druh a tloušťka tvářeného materiálu, tažná rychlost, konstrukce tažidla apod. K předběžnému určení, zda je možné provést tažení prostřednictvím jedné tažné operace, či zda je nutné stanovit více tažných operací, lze použít diagramu podle Romanovského, viz obr. 20. Křivky M a N v diagramu znázorňují maximální možnou výšku zhotovitelnou v jednom tahu při daném poměru tloušťky výchozího polotovaru a průměru přístříhu, oblasti 1a, 1b a 1c jsou pásma víceoperačního tažení, pokud poměr $\frac{h}{b}$, resp. $\frac{r_r}{b}$ spadá do jednoho z pásem 2a, 2b a 2c, lze výtažek zhotovit v jediné tažné operaci.

Jak již bylo řečeno, u hranatých výtažků je určení počtu operací složitější v závislosti na výše uvedených faktorech, které mají na určení počtu operací vliv. Je také nutné počítat s tím, že při tažení nerotačních výtažků dochází k přesunu materiálu z rohů do rovných stěn. Nejzásadnější vliv na určení počtu operací má velikost poloměru zaoblení bočních stěn výtažku r_r , neboť na něm závisí výška výtažku, které dosáhneme při první tažné operaci. Tato závislost je patrná z tab. 3, která udává hodnoty specifické pro hlubokotažné materiály. Jak z uvedené tabulky vyplývá, čím větší je velikost poloměru zaoblení bočních stěn výtažku r_r , tím vyšší je výsledná výška výtažku dosažitelná v prvním tahu [15, 18, 24].

Tab. 3 Závislost maximální výšky výtažku v prvním tahu na velikosti zaoblení r_r [24]

Velikost zaoblení r_r [mm]	do 5	5 – 10	10 – 13	13 – 19	přes 19
Maximální výška výtažku [mm]	$8r_r$	$7r_r$	$6r_r$	$5r_r$	$4r_r$



Obr. 20 Diagram k určení počtu tažných operací pro pravoúhlé výtažky [15]

2.3.5 Součinitel tažení a použití přídržovače

Ke stanovení počtu tahů potřebných ke zhotovení požadovaného výrobku a určení maximální možné deformace na jeden tah slouží také součinitel tažení, který je pro první tah vyjádřen následujícím vzorcem.

$$m_1 = \frac{r_1}{R_0} \quad [-] \quad (2.19)$$

m_1 součinitel tažení pro první tah $[-]$

r_1 poloměr zaoblení bočních stěn výtažku v prvním tahu $[mm]$

U tažení nerotačních výtažků, konkrétně u čtyřhranných výtažků z ocelového hlubokotažného plechu, lze proces tažení provádět bez přídržovače za předpokladu, že součinitel tažení pro první tah (2.19) odpovídá hodnotě $m_1 > 0,75$. V tomto případě bývá pro ocelové hlubokotažné plechy součinitel tažení v rozmezí $0,75 \div 0,90$. Vzhledem k tomu, že při tažení výtažku může docházet ke vzniku zvlnění a vrásek, je vhodné zvážit, zda při tažném procesu použít přídržovač, jehož tlak v odpovídající hodnotě takovému vzniku zvlnění zamezí. Tažení čtyřhranných výtažků obvykle probíhá s přídržovačem, výtažky s tloušťkou plechu pod 1 mm se táhnou vždy s přídržovačem. Hodnoty součinitele tažení m_1 se v tomto případě pro ocelové hlubokotažné plechy obvykle pohybují v rozmezí $0,25 \div 0,40$. Z hlediska efektivnosti výroby a eliminace vzniku neshodných výrobků se v praxi součinitel tažení pro ocelové hlubokotažné plechy určuje jako $m_1 = 0,32$.

Součinitel tažení pro víceoperační tažení lze vyjádřit následujícím vzorcem.

$$m_n = \frac{r_n}{r_{n-1}} \quad [-] \quad (2.20)$$

m_n součinitel tažení pro n-tý tah $[-]$

r_n poloměr zaoblení bočních stěn výtažku n-tého tahu $[mm]$

r_{n-1} poloměr zaoblení bočních stěn výtažku předcházejícího tahu $[mm]$

Tažení nerotačních výtažků, konkrétně čtyřhranných výtažků z ocelového hlubokotažného plechu ve víceoperačním procesu se provádí s přidržovačem. V tomto případě bývá pro ocelové hlubokotažné plechy součinitel tažení m_n v rozmezí $0,50 \div 0,65$. Z hlediska efektivnosti výroby a eliminace vzniku neshodných výrobků se v praxi součinitel tažení pro ocelové hlubokotažné plechy určuje jako $m_n = 0,60$. [15, 28].

2.3.6 Výpočet síly a práce

Výpočet sil působících při procesu tažení je nutné provést z několika důvodů. Prvním z nich je fakt, že na základě výsledné tvářecí síly se volí vhodný stroj, který musí mít větší jmenovitou sílu, než sílu potřebnou na provedení samotné operace. Dalším důvodem je to, že se zjišťuje maximální možná síla, kterou lze táhnout bez poškození výtažku, které se projeví utržením dna.

Jako první lze uvést tažnou sílu, kterou se rozumí síla potřebná k překonání třecích sil při tažení. Pro praktické využití je dostatečně přesné zjištění tažné síly z tzv. síly na utržení dna, která se vypočítá dle následujícího vztahu.

$$F_{tmax} = O \cdot t \cdot R_m \quad [N] \quad (2.21)$$

F_{tmax} maximální tažná síla přenášená stěnami výtažku $[N]$

O obvod výtažku $[mm]$

Takto zjištěná tažná síla je maximální a po jejím překročení dojde k utržení dna výtažku. Další literatura uvádí jiný přístup ke stanovení tažné síly, který vychází z předpokladu, že skutečná tažná síla nemůže být větší, než síla potřebná k utržení dna výtažku, čehož se využívá pro přibližné technologické výpočty. Při tomto výpočtu tažné síly pro čtvercové výtažky se postupuje obdobně jako u výtažků rotačních, avšak s tím rozdílem, že je nutné rozlišit sílu potřebnou k tváření rovinných částí výtažku a sílu nutnou k tažení rohů. Pro výpočet tažné síly v rozích výtažku slouží tento vzorec.

$$F_{t1} = 2\pi \cdot r_r \cdot t \cdot R_m \cdot C_1 \quad [N] \quad (2.22)$$

F_{t1} tažná síla v rozích výtažku $[N]$

C_1 konstanta (pro mělké výtažky 0,5) $[-]$

K výpočtu rovinných částí výtažku slouží následující vzorec.

$$F_{t2} = L \cdot t \cdot R_m \cdot C_2 \quad [N] \quad (2.23)$$

F_{t2} tažná síla rovinných částí výtažku $[N]$

L součet délek rovinných částí výtažku $[mm]$

C_2	konstanta (0,2 pro nulový přidržovací tlak; 0,3 pro normální přidržovací tlak) [-]
-------	--

Celkovou tažnou sílu získáme následným sečtením.

$$F_t = F_{t1} + F_{t2} = t \cdot R_m (2\pi \cdot r_r \cdot C_1 + L \cdot C_2) \quad [N] \quad (2.24)$$

Pakliže bude tažení probíhat s přidržovačem, je třeba dále určit i sílu od přidržovače, která se vypočítá z uvedeného vztahu.

$$F_p = S_c \cdot p \quad [N] \quad (2.25)$$

F_p	síla od přidržovače [N]
S_c	činná plocha pod přidržovačem [mm ²]
p	měrný přidržovací tlak (pro ocelové hlubokotažné plechy 2 ÷ 3) [MPa]

Sečtením celkové tažné síly a síly od přidržovače dostaneme celkovou lisovací sílu, která je společně s tažnou prací důležitým parametrem při stanovení, nebo kontrole velikosti zvoleného lisu. Práci při tažení lze vypočítat dle tohoto vzorce [15, 24, 29, 30].

$$A_t = \frac{C \cdot F_l \cdot h}{1000} \quad [J] \quad (2.26)$$

A_t	tažná práce [J]
C	koeficient zaplnění plochy (při tažení bez kalibrování dna 0,66) [-]
F_l	celková lisovací síla [N]

2.3.7 Stanovení geometrie funkčních částí tažidla

Jedním z parametrů, které se volí při návrhu tažného nástroje, je tažná mezera. Jedná se o mezeru mezi tažníkem a tažnicí. Vhodně zvolenou velikostí tažné mezery lze eliminovat riziko výroby neshodných dílců. Tažná mezera by měla být větší, než tloušťka zpracovávaného materiálu. Jedním z důvodů je fakt, že zpracovávaný materiál má svou výrobní toleranci, dalším důvodem je umožnění přebytku materiálu se při tažení přemísťovat. Při tažení výtažků nerotačního tvaru se dále volí různá tažná mezera v podélných stěnách výtažku oproti rohům, jak je znázorněno na obr. 21, přičemž zvětšení vůle v rozích jde na úkor geometrie tažníku. Pokud by byla zvolena nedostatečná tažná mezera, materiál by se nemohl přemístit do rohů a došlo by k jeho pěchování v případě malé mezery, v případě příliš velké mezery potom ke zvlnění materiálu. Norma ČSN 22 7303 doporučuje následující hodnotu tažné mezery v podélných stranách [15, 24, 28, 30].

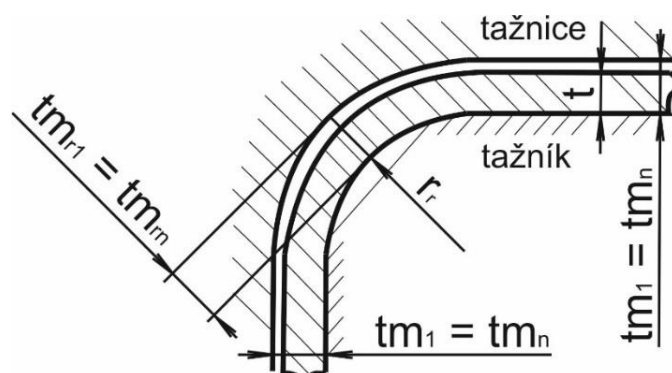
$$tm_1 = tm_n = (1,15 \div 1,30) \cdot t \quad [mm] \quad (2.27)$$

tm_1	tažná mezera podélných stran v prvním tahu [mm]
tm_n	tažná mezera podélných stran v n-tém tahu [mm]

Tažná mezera v rozích výtažku se volí následovně.

$$tm_{r1} = tm_{rn} = (1,30 \div 1,40) \cdot t \quad [mm] \quad (2.28)$$

tm_{r1} tažná mezera v rozích v prvním tahu [mm]
 tm_{rn} tažná mezera v rozích v n-tém tahu [mm]



Obr. 21 Znáznornění rozdílné tažné mezery v rozích a stěnách u nerotačních výtažků [28]

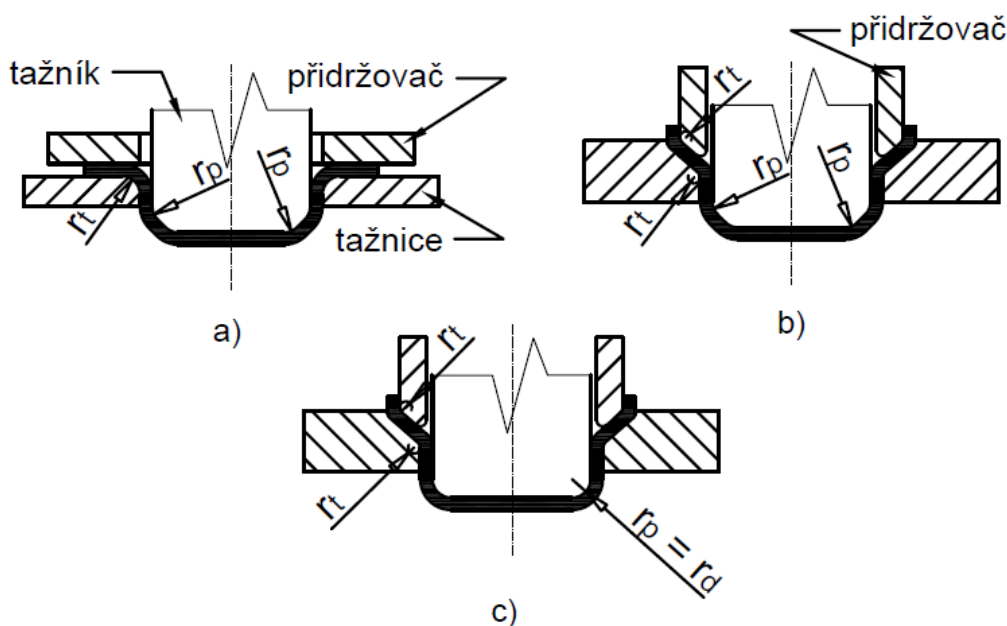
Dalším, neméně důležitým parametrem, je stanovení poloměrů zaoblení tažných hran tažníku, tažnice a přidržovače. Poloměr zaoblení tažnice má bezprostřední vliv na velikost tvářecí síly a rozšiřování pásma shodných dílců. V případě tažnic se volí při tažení nerotačních výtažků rozdílné poloměry zaoblení pro rovinné části, než pro rohové úseky. Pro rovinné části se volí menší tažné poloměry z důvodu, aby došlo v těchto úsecích ke zvětšení radiálního napětí a tím bylo dosaženo částečné rovnováhy ve stupni zpevnění vůči rohům.

Poloměry zaoblení tažných hran tažnice jsou u nerotačních součástí závislé na tloušťce taženého materiálu a lze je určit tímto vztahem.

$$r_t = (6 \div 10) \cdot t \quad [mm] \quad (2.29)$$

r_t poloměr zaoblení tažné hrany tažnice [mm]

Pro první tah se volí vyšších hodnot, pro následující tahy se potom tažný poloměr zmenšuje. Při zvoleném větším tažném poloměru roste riziko vzniku vln kvůli nedostatečné stabilitě plechu pod přidržovačem z důvodu nedostatečného vedení části příruby.



Obr. 22 Poloměry zaoblení tažné hrany tažníku, tažnice a přidržovače – a) první tah; b) mezitah; c) poslední tah [28]

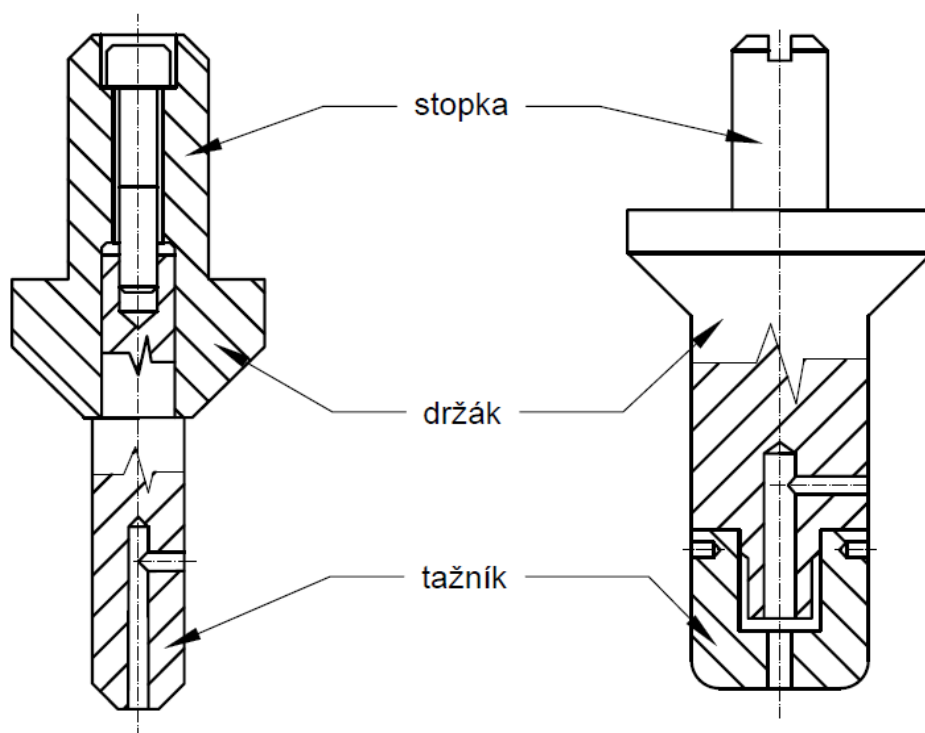
V případě tažníků se poloměry zaoblení konstruují shodně s poloměry tažnic, kromě posledního tahu, kdy je poloměr zaoblení tažníku roven poloměru zaoblení finálního výtažku. U prvních tahů se používá rovinné tažné hrany, u dalších tahů se volí zkosení tažné i přidržovací hrany v rozmezí $30^\circ \div 45^\circ$, viz obr. 22 [15, 24, 28, 30].

2.3.8 Konstrukce jednotlivých částí tažidel

Proces tažení je realizován prostřednictvím tažných nástrojů, u kterých jsou činnými prvky tažník, tažnice, případně přidržovač. Dalšími částmi tažných nástrojů jsou základová deska, upínací deska, kotevní deska. Na konstrukci tažidel má zásadní vliv požadovaný tvar a rozměr výtažku, pořadí tažné operace, typ lisu, materiálu přístřihu. V návaznosti na výše uvedené lze tažidla rozdělit např. dle:

- počtu operací na tažidla pro první tah a tažidla pro další tahy
- konstrukce na tažidla jednoduchá, sloučená, sdružená, speciální
- druhu lisu na tažidla pro jednočinné, dvojčinné, trojčinné a postupové lisy, atd.

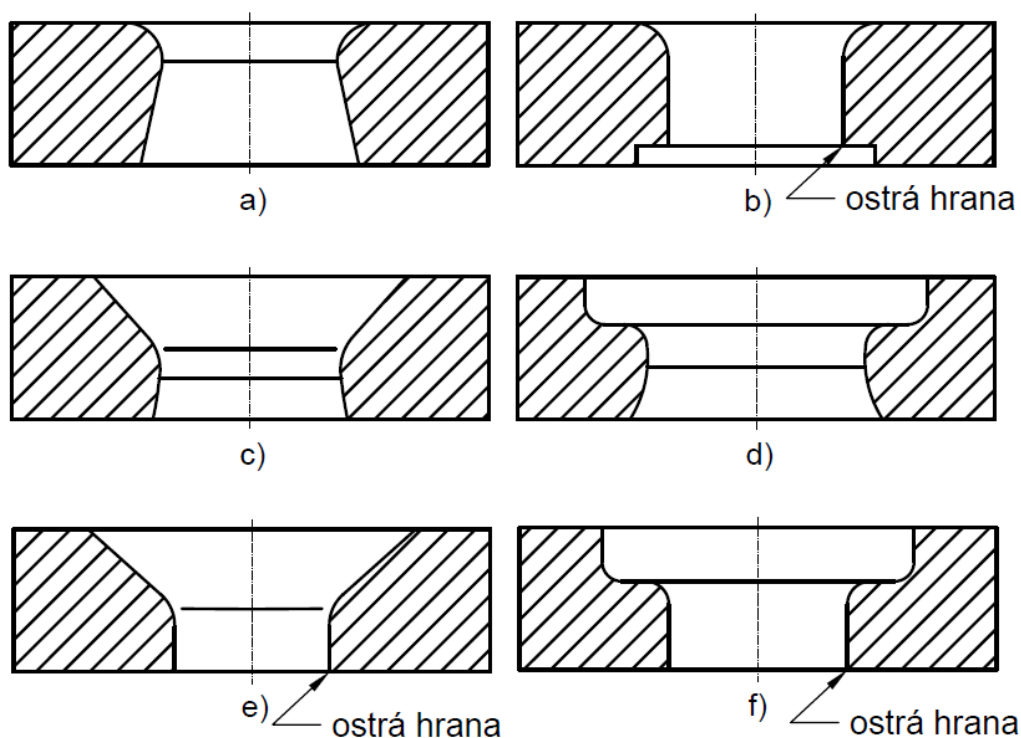
Tažník – u tažníků je vnější tvar tažníku shodný s vnitřním tvarem výtažku. Funkční část tažníku je čelo, poloměr zaoblení tažné hrany a plášť. Tažníky menších rozměrů jsou obvykle konstruovány jako celistvé, velké tažníky jsou pak tvořeny dvěma částmi – funkční částí a držákem (stopkou), za který se upínají obdobně jako střížníky. Velmi důležité je zavzdušnění prostoru výtažku, který slouží ke zjednodušení stírání výtažku z tažného nástroje. U klasických tažných nástrojů se provádí podélným otvorem, nebo se využívá rozpružení výtažku, popřípadě kombinace obou těchto způsobů. V případě, kdy není zavzdušnění možné provést otvorem, např. u tažníků pro tažení se ztenčením stěny, vytváří se tažník kuželový nebo se na povrchu vytvoří zavzdušňovací rýha. Materiálem bývá ocel 19 191, 19 312, 19 436, kalená a popuštěná na $61 \div 63 \text{ HRC}$, v případě vložkových tažníků jsou tělesa zhotovena z oceli 11 500, 11 600. Funkční povrch tažníku leštěn na $R_a = 0,8$. Tvarové provedení tažníků je znázorněno na obr. 23.



Obr. 23 Tvarové provedení tažníků [12]

Tažnice – hlavní pevná část tažného nástroje, jsou buď celistvé, nebo vložkové, přičemž se nejčastěji vložkuje pouze tažná hrana, jako nejdůležitější konstrukčně-technologický prvek. Funkční částí tažnice je společně s tažnou hranou i otvor, do něhož se při procesu tažení vtahuje přístřih plechu a který tvarově odpovídá tvaru výtažku. Tyto funkční otvory pak mohou mít různý tvar, ostré hrany, odlehčení, v závislosti na funkci, kterou mají plnit. Materiálem bývá ocel 19 191, 19 312, 19 436, kalená a popuštěná na $61 \div 63 \text{ HRC}$, pro méně namáhané tažnice lze volit cementační ocel 14 220, případně litinu s lupinkovým grafitem 42 2456. Funkční povrch tažnice je leštěn na $R_a = 0,05$. Na obr. 24 jsou znázorněny možné funkční otvory tažnic, které jsou vhodné pro:

- první tahy, výtažek se vrací nad tažnici a je setřen z tažníku
- první tahy, výtažek propadá tažnicí a je setřen ostrou hranou (odlehčená tažnice)
- další tahy, výtažek se vrací nad tažnici
- další tahy, výtažek se vrací nad tažnici
- další tahy, výtažek propadá tažnicí
- další tahy, výtažek propadá tažnicí



Obr. 24 Tvarové provedení tažnic [29]

Přidržovač – při procesu tažení lze použít přidržovačů s odlišnými tvary ploch, viz obr. 22. Tvar plochy přidržovače je odvislý od pořadí operace. U prvního tahu se používá rovinné plochy přidržovače, kde $\alpha = 0^\circ$. U dalších tahů se pak použije přidržovač se zkosením pod úhlem $\alpha = 30^\circ \div 45^\circ$ a je shodné se zkosením tažné hrany tažníku předchozího tahu. Ve výjimečných případech, především bude-li to pro konstrukci nutné nebo výhodnější, lze i u dalších tahů použít jiný přidržovač, než jak je výše uvedeno, ovšem pouze za předpokladu, že tomuto bude přizpůsoben výrobní proces (provedení odlehčení u tažnice, aby se snížilo tření apod.) [12, 29, 30, 31].

2.3.9 Maziva při tažení

Při hlubokém tažení má zásadní vliv na zachování životnosti tvářecích nástrojů a tím i zvýšení produktivity, zachování povrchových vlastností tvářeného materiálu a snížení nákladů na energie v důsledku velikosti tvářecí práce, velikost tření mezi nástrojem a tvářeným materiálem. Na straně tažnice tření zvyšuje radiální napětí a tím omezuje hloubku výtažku, na straně tažníku naopak tření přenáší část tažné síly a umožňuje vytáhnout hlubší výtažky. Úroveň tření je možné ovlivnit buď konstrukcí nástroje, kdy se v případě tažníků zdršňuje válcová část nástroje, nebo použitím vhodného typu maziva. Mezi základní předpoklady, které by mělo mazivo splňovat, patří zejména:

- schopnost vytvořit celistvý film
- nesmí vyvolávat barevné změny na povrchu tvářeného materiálu
- fyziologická, ekologická nezávadnost
- teplotní stálost
- dobrá přilnavost
- snadná odstranitelnost z povrchu materiálu

S ohledem na různé metody tvářecích procesů a z hlediska vlastností se rozlišují maziva kapalná (syntetické, rostlinné, ropné oleje, apod.), která se používají při lehčím tváření, kde není dosahováno vysokých tlaků, pro vyšší tlaky se ke kapalnému mazivu obvykle přidává jemně rozptýlená tuhá složka. Dále jsou maziva plastická (měkká, tažná maziva) a tuhá. Volba druhu maziva musí být přizpůsobena očekávaným požadavkům, které má v rámci příslušné tvářecí operace mazivo splnit. Volba maziva musí dále odpovídat povaze tvářecího procesu a druhu tvářeného materiálu [15, 24, 30].

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Jak bylo uvedeno výše v kapitole 1, zvolenou technologií pro výrobu zadané součásti je tažení. Jedná se již konkrétně o tažení výtažku nerotačního tvaru bez ztenčení stěny, čili následně bude při výběru konstrukční varianty a zpracování dalších kapitol pracováno s touto technologií.

3.1 Volba konstrukční varianty

Pro technologii tažení je nejvíce vyhovující varianta třetí, jelikož lze součást zhotovit v jednom tažném nástroji, kromě ostříhu otřepů a obrubování okrajů, bez dalších operací.

Finální výrobek, resp. jeho 3D model vymodelovaný v programu SOLIDWORKS 2017 je znázorněn na obr. 25, výkres součásti s hlavními rozměry je poté přílohou práce. Vizitkář se skládá ze dvou shodných tažených dílců obdélníkového tvaru o vnějších rozměrech $98 \times 58 \text{ mm}$ a výšce 5 mm s obrubenými konci, které tvoří dno a víko součásti. Spojení těchto dvou částí je řešeno pomocí vakuoformované termoplastové vložky, na kterou jsou tažené součásti nacvaknuty a pant tak tvoří samotný materiál vložky v ohybu. Velikost série je stanovena na 250 000 ks za rok.



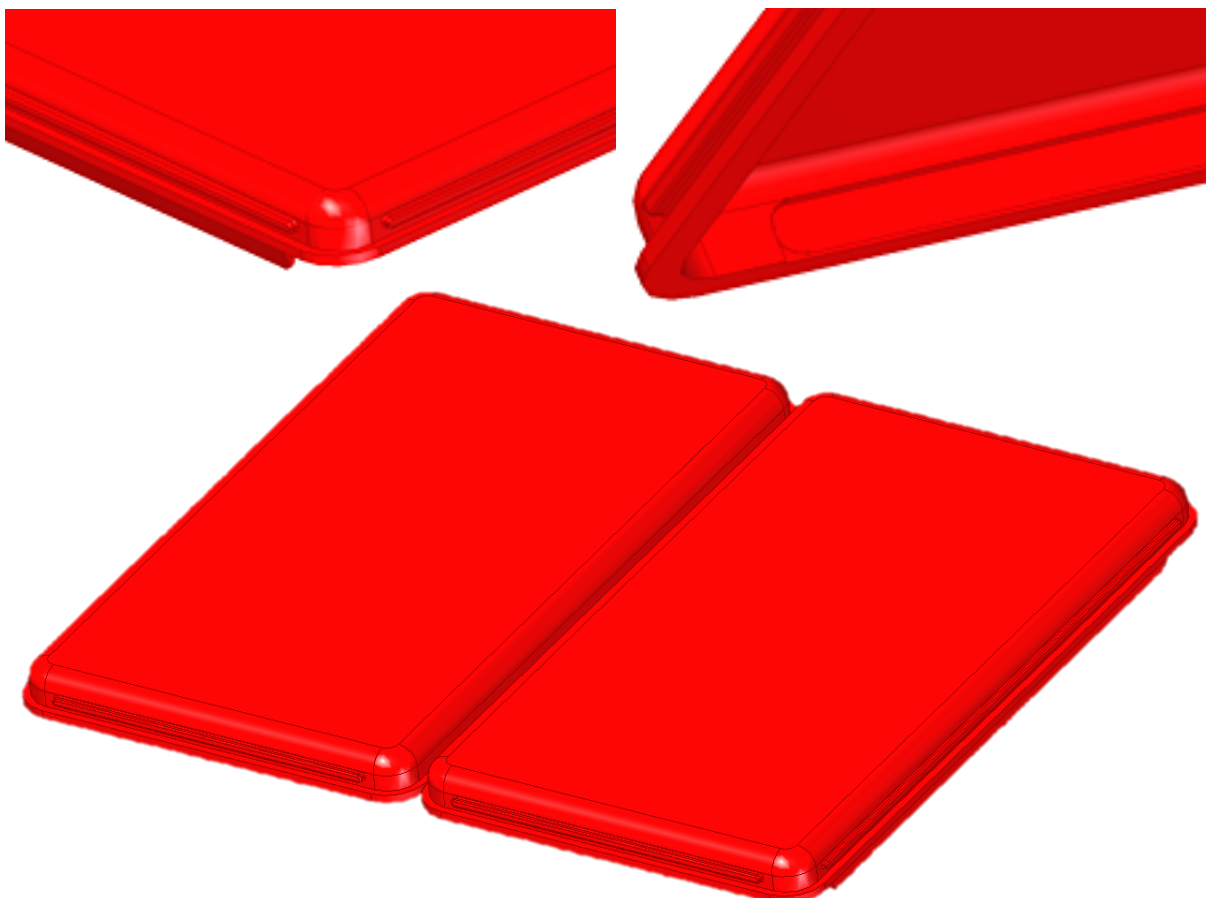
Obr. 25 3D model vizitkáře

Rozpad vizitkáře na jednotlivé díly a jejich konstrukce jsou patrné z obr. 26, 27. V případě kovových dílů je konstrukce spodního dílu i víka shodná, bude tedy třeba vyrobit dvojnásobné množství kusů, než středového dílu. Požadavky na přesnost rozměrů a jakost povrchu jsou řešeny ve výkresové dokumentaci součástí. Díl bude primárně tažen v tažidle, dále bude provedeno vnitřní obrubování v jednoduchém lisovacím nástroji. Na přání zákazníka lze dodatečně v dalších lisovacích operacích provést embossing. Případné poškození dílů po lisovacích operacích bude řešeno přešetřením povrchu.



Obr. 26 Detaily kovového dílu

Plastová vložka je z jednoho kusu o vnějších rozměrech $98 \times 116,2 \text{ mm}$ a výšce $5,75 \text{ mm}$. Fixace kovových dílů je řešena osazením po obvodu vložky, setrvání celého výrobku v zavřeném stavu je řešeno formou jazýčku, který zapadá do vybrání uvnitř vložky. Materiálem použitým k výrobě je ABS, výroba bude probíhat v kooperaci.



Obr. 27 Detaily plastového dílu

3.2 Volba materiálu

Ze zadání vyplývá, že má být použit pocínovaný ocelový plech. Studií obalového průmyslu a technologie tažení se jeví tento materiál jako vyhovující pro danou aplikaci, oproti stávajícímu materiálu dojde i ke snížení nákladů na vstupu. Součást bude tedy zhotovena z ocelového plechu na obaly, válcovaného za studena, elektrolyticky pocínovaného dle ČSN EN 10202. Jedná se o nelegovanou ocel 11 305.21 válcovanou za studena, vhodnou pro tváření za studena, k zvlášť hlubokému tažení, odolnou proti stárnutí. Materiál je též vhodný k lakování a nanášení povlaků. Materiál bude dodáván v tabulích jakosti TH370, jednoduše redukováný za studena, kontinuálně žíhaný, s jemně zdrsňeným povrchem (Fine Stone), shodně pocínovaný z obou stran s hmotností povlaku $5,6 \text{ g/m}^2$, v tloušťce $0,24 \text{ mm}$. Rozměry tabule budou upřesněny až po zpracování nástřihového plánu, jelikož výrobce materiálu je flexibilní a je schopen dodat rozměry dle specifických požadavků zákazníka. Mechanické vlastnosti a chemické složení zvoleného materiálu jsou uvedeny v tab. 4 [32, 33, 34].

Tab. 4 Vlastnosti zvoleného materiálu [34]

Značka oceli	$R_p 0,2$	R_m	A_{80}	Chemické složení					
	MPa	MPa	min. %	C max. %	Mn max. %	P max. %	S max. %	Si max. %	Al min. %
11 305.21	-/215	290/360	36	0,07	0,40	0,025	0,025	0,03	0,025

3.2.1 Vlastnosti materiálu

Pro posouzení vhodnosti zvoleného materiálu pro tvářecí operace, či z hlediska možného porušení cínového povlaku při tažení, byla na konkrétním materiálu provedena zkouška hloubením podle Erichsena dle ČSN EN ISO 20482. Zkouška probíhala na Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně, na Odboru technologie tváření kovů a plastů v laboratoři tváření plechu a mechanických zkoušek na zkušebním zařízení ERICHSEN F4 z roku 1960 výrobce ZAP OSTRÓW Wlkp., kalibrační list č. 8011-KL-E004-07 s datem 17. 9. 2007 (obr. 28).



Obr. 28 Zkušební zařízení ERICHSEN F4

Postup přípravy vzorků a provedení samotné zkoušky:

- stříhání vzorků 90 x 90 mm z tabule plechu na tabulových nůžkách
- označení jednotlivých vzorků + vizualizace míst pro upnutí/prohloubení
- promazání kontaktních ploch grafitovým mazivem
- upnutí zkušební tělesa mezi přídržovač a raznici, posun razníku do kontaktu
- plynulý posun razníku, odečet hloubky prohloubení na stupnici v okamžiku, kdy se objeví průchozí trhlina

Na obr. 29 jsou vyobrazeny zkušební vzorky před zkouškou a následně po provedené zkoušce. Je zde vidět trhlina, která je svým tvarem typická pro plechy vhodné k hlubokému tažení, hodnoty prohloubení jednotlivých vzorků (tab. 5) vykazují značný rozptyl, avšak odpovídají předepsaným hodnotám. Co se týká vrstvy cínového povlaku, vzhled a barevná stálost jsou nezměněny. Z provedené zkoušky tedy vyplývá, že zvolený materiál je vhodný pro hluboké tažení a tudíž zcela vyhovuje pro danou aplikaci [34, 35].



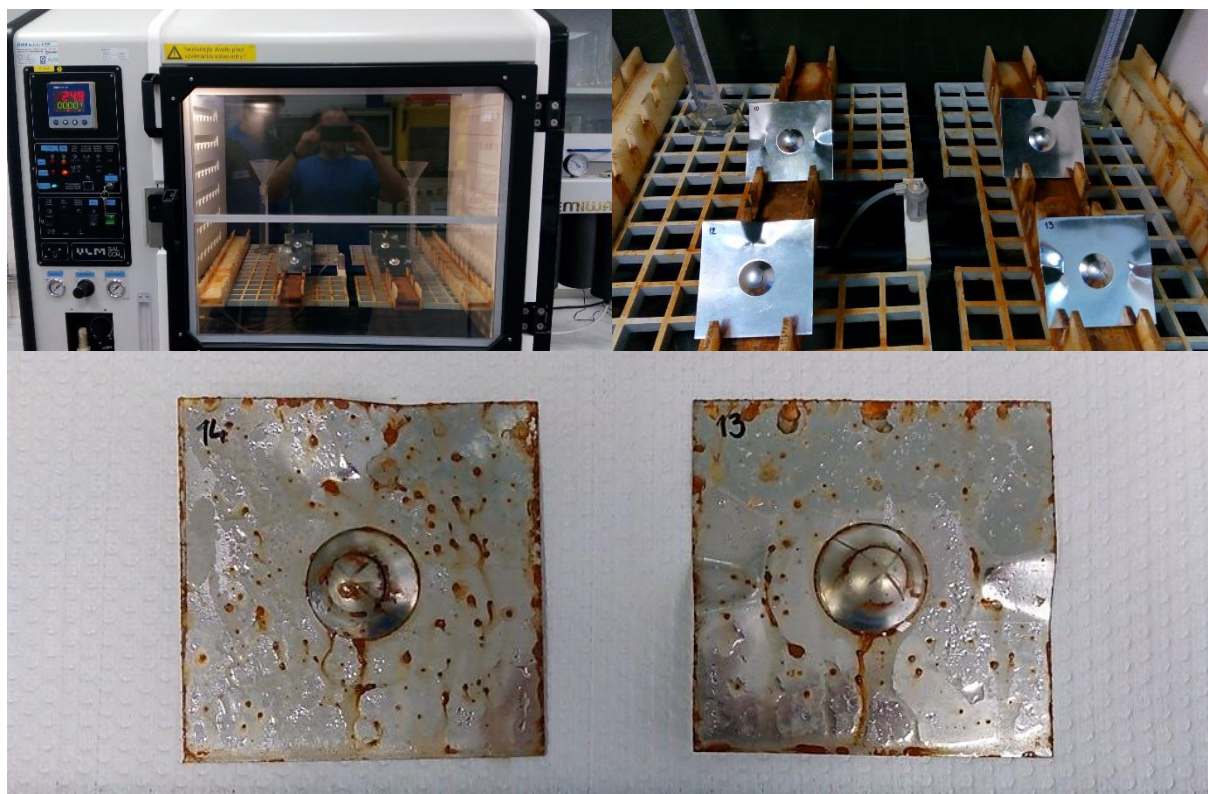
Obr. 29 Zkušební tělesa před a po zkoušce

Tab. 5 Hodnoty prohloubení jednotlivých zkušebních vzorků

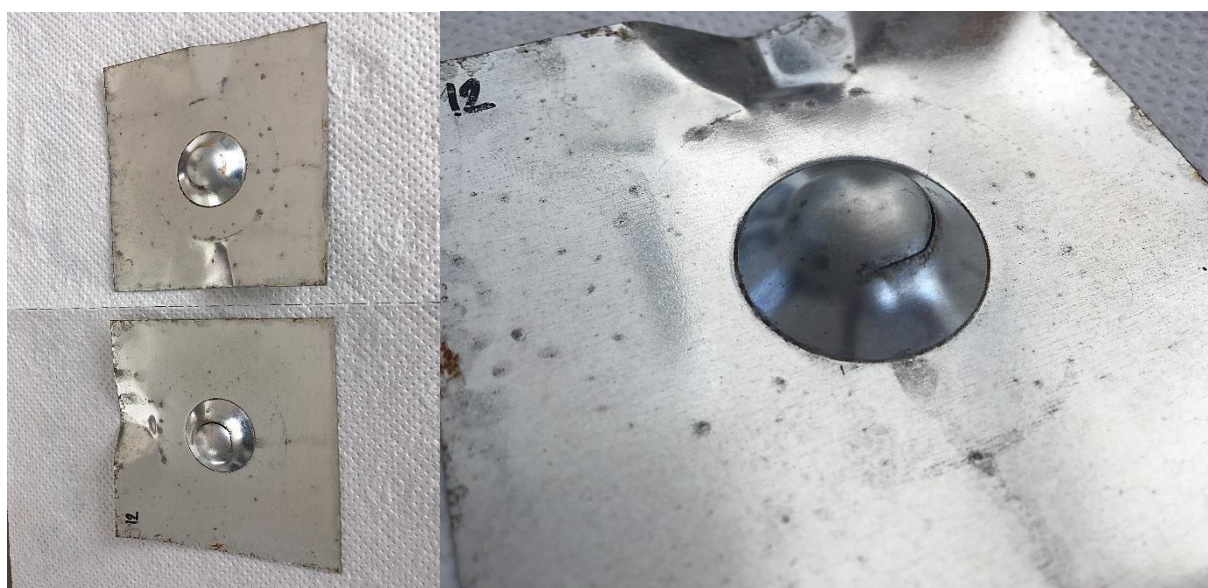
Vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
IE [mm]	11,1	10,9	10,6	10,5	10,4	10,5	10,5	10,1	9,7	9,8	9,4	9,5	9,5	9,4

Pro ověření, zda při zkoušce nedošlo k porušení celistvosti cínového povlaku a tudíž materiál po zpracování, resp. při užívání finálního výrobku nebude vykazovat známky koroze a bude zachována jakost výrobku, byla následně na vzorcích provedena korozní zkouška neutrální solnou mlhou (NSS), kdy byl na vzorky v řízeném prostředí rozprašován po dobu 24 hodin 5%

roztok chloridu sodného, viz obr. 30. Po provedené zkoušce a následném osušení a setření povrchové koroze (obr. 31) je patrné, že vzorky na povrchu vykazují drobné vizuální změny, avšak bez většího hloubkového poškození a nemělo by tak docházet k významnější degradaci materiálu u zákazníka, i vzhledem k tomu, že výrobek nebude vystavován takto agresivnímu prostředí. Jelikož byla tato zkouška provedena pouze jako doplňková a pouze na zkušebních tělesech, lze ji zopakovat na finálním výrobku, resp. na polotovaru po operaci tažení. Případné změny odstínu povrchu po tažení, nebo snížení pravděpodobnosti poškození cínové vrstvy lze řešit vhodným mazivem, nebo použitím ochranné folie při samotné operaci tažení.



Obr. 30 Solný test



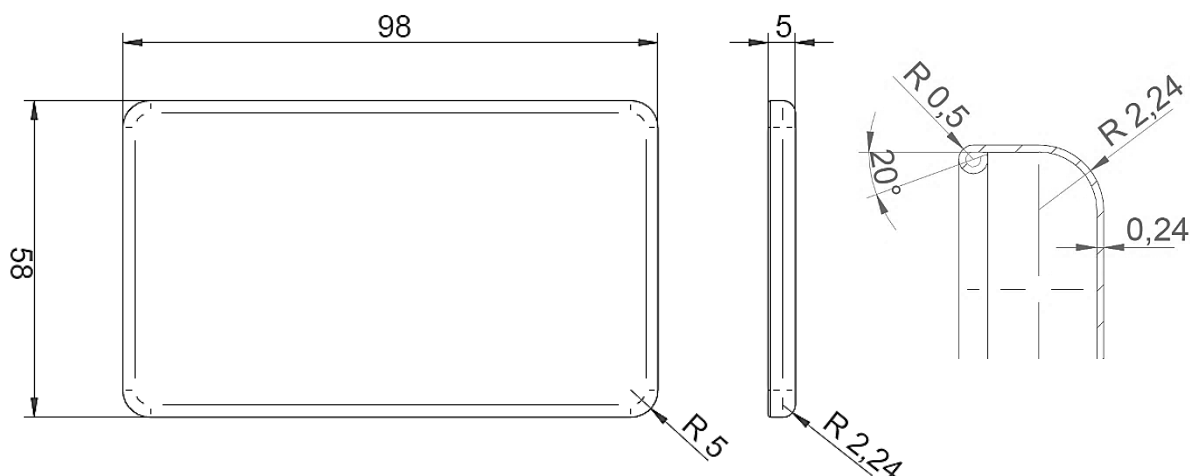
Obr. 31 Vzorky po zkoušce NSS

3.3 Stanovení výchozího polotovaru

Určení tvaru a velikosti polotovaru lze stanovit více způsoby, v teoretické části práce byly zmíněny dvě graficko-početní metody, které budou nyní aplikovány.

Dle ČSN 22 7303 (varianta I.) je nutné nejdříve vypočítat poloměr přístřihu v místě zaoblených bočních stěn dle vztahu 2.9, resp. 2.10, v závislosti na uvedených podmínkách:

$$\frac{d_r}{2} > r_d; \frac{9,52}{2} > 2 \Rightarrow \text{podmínka splněna, výpočet pokračuje dle vzorce 2.9}$$



Obr. 32 Hlavní rozměry výtažku

$$r_0 = \sqrt{0,25d_r^2 + d_r(h_d + 0,57r_d) - 0,14r_d^2}$$

$$r_0 = \sqrt{0,25 \cdot 9,52^2 + 9,52(3,98 + 0,57 \cdot 2) - 0,14 \cdot 2^2} \doteq 8,42 \text{ mm}$$

Délka rozvinuté části stěny výtažku potřebná k provedení obrubování byla vypočítána softwarem SOLIDWORKS 2017 a její hodnota je 1,72 mm.

Určení rozvinuté výšky podélných stěn výtažku dle vztahu 2.11:

$$h_s = 0,57r_d + h_d + 0,5d_r = 0,57 \cdot 2 + 3,98 + 0,5 \cdot 9,52 = 9,88 \text{ mm}$$

Výpočet redukovaného poloměru dle vztahu 2.12 a 2.13:

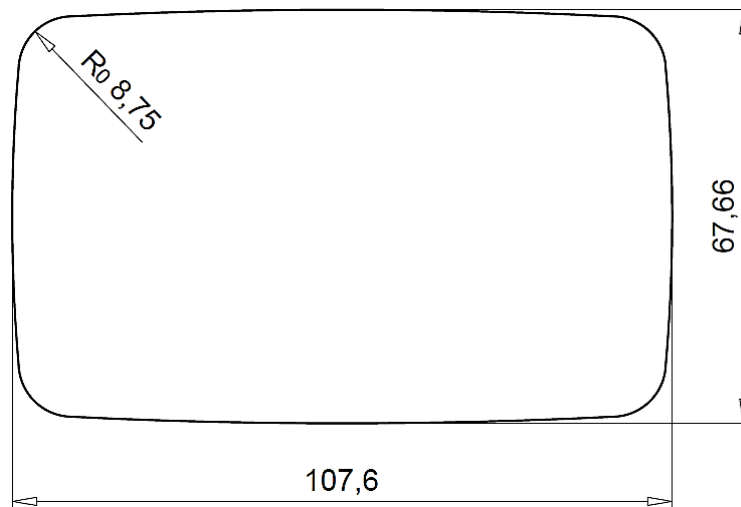
$$R_0 = x \cdot r_0 = (0,074(\frac{r_0}{d_r})^2 + 0,982) \cdot r_0$$

$$R_0 = (0,074(\frac{8,42}{9,52})^2 + 0,982) \cdot 8,42 \doteq 8,75 \text{ mm}$$

Výpočet zmenšení rozvinuté výšky stěn dle vztahů 2.14, 2.15 a 2.16:

$$h_{sa} = y \frac{r_0^2}{a_{rd}} = \frac{\pi}{4} (x^2 - 1) \frac{r_0^2}{a_{rd}} = \frac{\pi}{4} (1,04^2 - 1) \frac{8,42^2}{93,52} \doteq 0,05 \text{ mm}$$

$$h_{sb} = y \frac{r_0^2}{b_{rd}} = \frac{\pi}{4} (x^2 - 1) \frac{r_0^2}{b_{rd}} = \frac{\pi}{4} (1,04^2 - 1) \frac{8,42^2}{53,52} \doteq 0,08 \text{ mm}$$



Obr. 33 Tvar přístřihu varianta I.

U varianty II. je nejdříve zapotřebí stanovit poloměr kruhového přístřihu potřebného k tažení teoretického válcovitého výtažku dle vzorce 2.17:

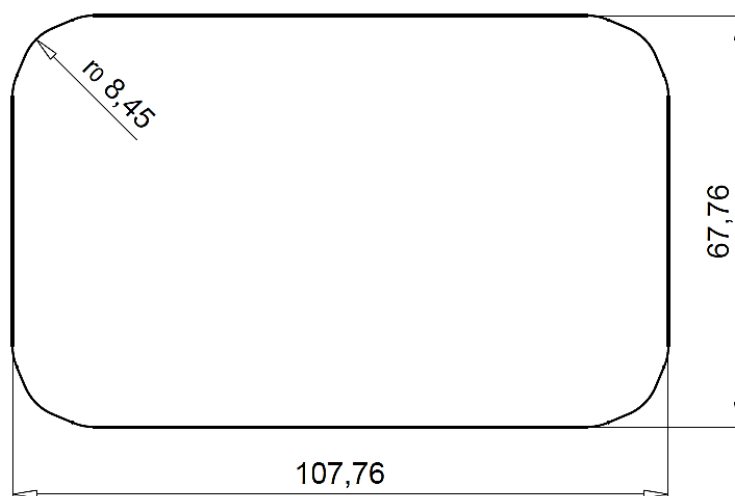
$$r_0 = \sqrt{2 \cdot r_r \cdot h_d + r_r^2 + 1,14 \cdot r_r \cdot r_d}$$

$$r_0 = \sqrt{2 \cdot 4,76 \cdot 3,98 + 4,76^2 + 1,14 \cdot 4,76 \cdot 2} \doteq 8,45 \text{ mm}$$

Určení rozvinuté výšky podélných stěn výtažku dle vztahu 2.18:

$$h_s = h_d + \frac{\pi \cdot r_d}{2} + r_r - r_d \doteq h_d + r_r + 0,57r_d$$

$$h_s = 3,98 + \frac{\pi \cdot 2}{2} + 4,76 - 2 \doteq 9,88 \text{ mm}$$



Obr. 34 Tvar přístřihu varianta II.

Tvary přístřihů v tomto konkrétním případě, které byly určeny dvěma odlišnými metodami, jsou podobné, z hlediska složitosti výroby střížného nástroje, nebo možné úspory materiálu při stříhání polotovaru nemají drobné rozdíly v tvaru a velikosti nijak zásadní vliv a je tedy možné zvolit jakoukoli variantu. Jelikož je druhá metoda podmíněna tažením v jedné operaci, je třeba toto ještě ověřit.

3.4 Počet tažných operací

Předběžné určení, zda lze výtažek zhotovit v jedné tažné operaci lze z diagramu, viz obr. 20.

$$\frac{h}{b} = \frac{5,98}{57,52} = 0,10$$

$$\frac{r_r}{b} = \frac{4,76}{57,52} = 0,08$$

Z vypočtených poměrů nelze zcela určit, do jaké oblasti výtažek spadá, jelikož jsou mimo diagram, nicméně lze aproximací předpokládat, že to bude v oblasti $2a$, což je oblast jednooperačního tažení.

Pro ověření lze dle tab. 3 zjistit maximální možnou výšku výtažku dosažitelnou v prvním tahu:

$$r_r = 4,76 \text{ mm} \Rightarrow h_{max} = 8 \cdot 4,76 = 38,08 \text{ mm}$$

$$h_{max} (38,08 \text{ mm}) > h (5,98 \text{ mm})$$

Z výše uvedeného vyplývá, že výtažek je zhotovitelný v jedné tažné operaci a lze tedy použít tvar přístřihu II. varianty.

3.5 Nástřihový plán

Pro výrobu součásti byl zvolen tvar polotovaru II. varianty, obr. 34. Co se týče vstupního materiálu, byly osloveni dva dodavatelé, kteří jsou schopni dodat jak tabule, tak i svitky plechu v široké škále rozměrů dle přání zákazníka. Byly zvoleny tabule z důvodu menších nároků na prostor a jednodušší manipulaci. Dodavatelé nabídli tyto rozměry tabulí [33]:

dodavatel	šířka	délka	cena
zahraniční	720 ÷ 960 mm	500 ÷ 1165 mm	1,40 EUR/kg
místní	720 ÷ 960 mm	500 ÷ 1165 mm	36,20 CZK/kg

Z nomogramu (příloha 1) je třeba nejdříve stanovit přepážku odpadu F a velikost můstku (mezery) E , aby se mohly následně stanovit šíře pásů/tabulí a délky kroků, resp. vhodné délky tabulí.

Stanovení hodnot E a F pro podélné uspořádání na pásu:

$$E_4 = 3,4 \text{ mm}$$

$$F_4 = 8,2 \text{ mm}$$

Stanovení šíře pásu a velikosti kroku pro podélné uspořádání:

$$SP = B + F_4 = 67,76 + 8,2 \doteq 76 \text{ mm}$$

$$K = A + E_4 = 107,76 + 3,4 \doteq 111 \text{ mm}$$

Stanovení hodnot E a F pro příčné uspořádání na pásu:

$$E_3 = 2,4 \text{ mm}$$

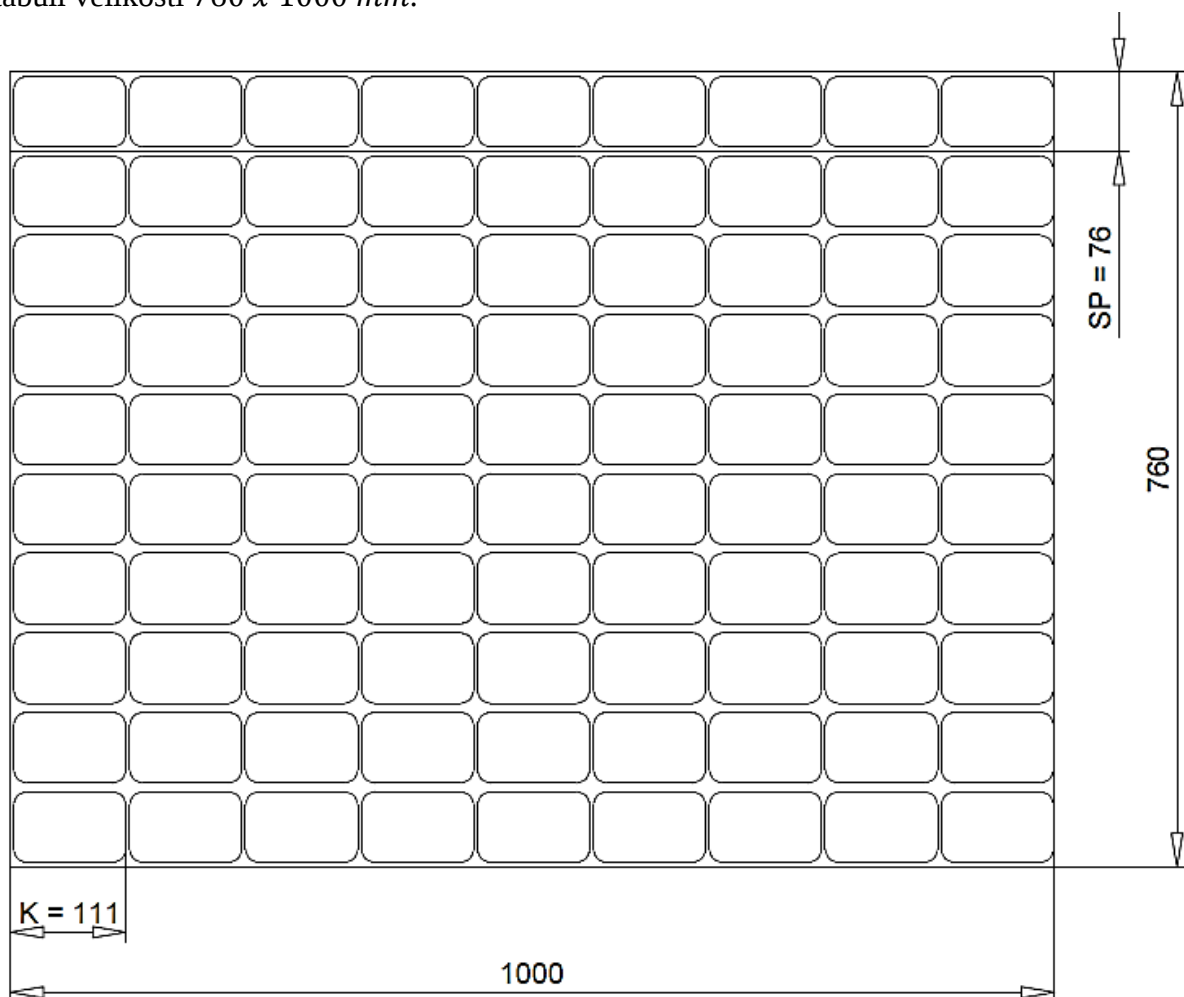
$$F_3 = 6,2 \text{ mm}$$

Stanovení šíře pásu a velikosti kroku pro příčné uspořádání:

$$SP = A + F_3 = 107,76 + 6,2 \doteq 114 \text{ mm}$$

$$K = B + E_3 = 67,76 + 2,4 \doteq 70 \text{ mm}$$

Jelikož jsou oba dodavatelé flexibilní a jsou schopni nabídnout jakýkoli rozměr tabulí, je nejvhodnější zvolit takové rozměry, které by byly násobky výše spočítaných hodnot šíře pásů a velikostí kroků. Na základě výše uvedeného bylo zvoleno podélné uspořádání výstřižků na tabuli velikosti $760 \times 1000 \text{ mm}$.



Obr. 35 Rozmístění přístřihů na tabuli plechu

Počet pásů na tabuli plechu:

$$p_p = \frac{760}{SP} = \frac{760}{76} = 10 \text{ ks}$$

p_p počet pásů [ks]

Počet přístřihů (výstřižků) na pásu plechu:

$$p_v = \frac{1000}{K} = \frac{1000}{111} = 9 \text{ ks}$$

p_v počet výstřižků [ks]

Počet přístřihů (výstřižků) z tabule plechu:

$$p_c = p_p \cdot p_v = 10 \cdot 9 = 90 \text{ ks}$$

p_c počet výstřižků z tabule [ks]

Využití tabule plechu:

$$\eta_p = \frac{S_p \cdot p_c}{760 \cdot 1000} \cdot 100 = \frac{7135,68 \cdot 90}{760 \cdot 1000} \cdot 100 \doteq 84,50 \%$$

η_p využití tabule plechu [%]

S_p plocha přístřihu (určeno softwarem AutoCAD – 7135,68 mm²)

Celková spotřeba tabulí plechu:

$$p_t = \frac{Q}{p_c} = \frac{500000}{90} \doteq 5556 \text{ ks}$$

p_t celková spotřeba tabulí [ks]

Q velikost série [ks]

3.6 Procesní parametry a technologické výpočty

Určení procesních a technologických parametrů je důležité pro následnou konstrukci nástrojů a volbu strojů, v této kapitole budou tedy určeny postupně tak, jak bylo uvedeno v literární studii výše.

Výpočet střížné síly potřebné k vystřižení přístřihu dle vztahu 2.2:

$$F_s = k_o \cdot S_s \cdot \tau_{ps} = k_o \cdot L_s \cdot t \cdot 0,8R_m$$

$$F_s = 1,3 \cdot 327,56 \cdot 0,24 \cdot 0,8 \cdot 360 \doteq 29433 \text{ N}$$

R_m zvolena 360 MPa

k_o zvolen 1,3

L_s délka stříhu (určeno softwarem AutoCAD - 372,56 mm)

Výpočet stírací síly dle vztahu 2.4:

$$F_{st} = c_1 \cdot F_s = 0,05 \cdot 29433 \doteq 1472 \text{ N}$$

c_1 zvolen 0,05

Výpočet protlačovací síly dle vztahu 2.5:

$$F_{pr} = c_2 \cdot F_s = 0,06 \cdot 29433 \doteq 1766 \text{ N}$$

c_2 zvolen 0,06

Výpočet celkové střížné síly dle vztahu 2.3:

$$F_c = F_s + F_{st} + F_{pr} = 29433 + 1472 + 1766 = 32671 \text{ N}$$

Výpočet střížné práce dle vztahu 2.6:

$$A_s = \frac{K_h \cdot F_s \cdot t}{1000} = \frac{0,60 \cdot 29433 \cdot 0,24}{1000} \doteq 4,2 \text{ J}$$

K_h zvolen 0,60

Výpočet střížné mezery dle vztahu 2.7:

$$z = c \cdot t \cdot 0,32 \sqrt{\tau_{ps}} = c \cdot t \cdot 0,32 \sqrt{0,8 R_m}$$

$$z = 0,01 \cdot 0,24 \cdot 0,32 \sqrt{0,8 \cdot 360} \doteq 0,01 \text{ mm}$$

c zvolen 0,01

Součinitel tažení a volbu přidržovače lze určit dle kapitoly 2.3.5. Jelikož je výše uvedeno, že součást lze zhotovit již v prvním tahu, lze určit ze vztahu 2.19:

$$m_1 = \frac{r_1}{R_0} = \frac{r_r}{r_0} = \frac{4,76}{8,45} \doteq 0,56$$

Výpočtem bylo potvrzeno, že musí být použito přidržovače. Bez ohledu na výpočet musí být v tomto případě vždy použito přidržovače kvůli tloušťce plechu, jelikož plechy s tloušťkou pod 1 mm se vždy táhnou s přidržovačem.

Výpočet tažné síly dle vztahů 2.21 a 2.24:

$$F_{tmax} = O \cdot t \cdot R_m = 301,91 \cdot 0,24 \cdot 360 \doteq 26085 \text{ N}$$

$$F_t = F_{t1} + F_{t2} = t \cdot R_m (2\pi \cdot r_r \cdot C_1 + L \cdot C_2)$$

$$F_t = 0,24 \cdot 360 (2\pi \cdot 4,76 \cdot 0,5 + 272 \cdot 0,3) \doteq 8342 \text{ N}$$

Z výše uvedených výsledků vyplývá, že výpočet dle vztahu 2.24 sloužící pro přibližné technologické výpočty je značně ovlivněn konstantami C_1 a C_2 .

Výpočet přidržovací síly dle vztahu 2.25:

$$F_p = S_c \cdot p = (7135,68 - 102 \cdot 62) \cdot 2,5 \doteq 2029 \text{ N}$$

$$p \quad \text{zvolen } 2,5 \text{ MPa}$$

Výpočet celkové lisovací síly, na kterou se dimenzuje lis:

$$F_l = F_{tmax} + F_p = 26085 + 2029 = 28114 \text{ N}$$

Výpočet tažné práce dle vztahu 2.26:

$$A_t = \frac{C \cdot F_l \cdot h}{1000} = \frac{0,66 \cdot 28114 \cdot 5,98}{1000} \doteq 111 \text{ J}$$

Stanovení geometrie funkčních částí tažidla dle vztahu 2.27, 2.28 a 2.29:

$$tm_1 = (1,15 \div 1,30) \cdot t = (1,15 \div 1,30) \cdot 0,24 = 0,28 \text{ mm}$$

$$tm_{r1} = (1,30 \div 1,40) \cdot t = (1,30 \div 1,40) \cdot 0,24 = 0,32 \text{ mm}$$

$$r_t = (6 \div 10) \cdot t = (6 \div 10) \cdot 0,24 = 2 \text{ mm}$$

3.7 Technologický postup

Výrobní závod se zabývá dodávkami lisovaných, převážně kovových dílů. Díly jsou vyráběny ve velkých sériích na hydraulických lisech, které jsou osazovány spíše jednoúčelovými nástroji. Manipulace součástí mezi jednotlivými pracovišti probíhá pomocí pásových dopravníků. Technologický postup bude tedy zpracován na stávající strojový park za použití jednodušších jednooperačních nástrojů.

Tab. 6 Postup výroby součástí

Op. č.	Název operace/popis činnosti	Stroj/nástroj/pomůcky
010	Stříhání pásů z tabule plechu	MetallKraft MTBS 1250-30 E
020	Stříhání přístřihů z pásů plechu	Presshydraulika ZH 100
030	Tažení výtažku	Presshydraulika ZH 100
040	Obrubování	Presshydraulika ZH 100
050	Kontrola, leštění	
060	Montáž, balení	

Výroba vizitkáře bude probíhat nejdříve přípravou polotovarů, kdy budou z tabulí plechu o rozměru $760 \times 1000 \text{ mm}$ na elektromechanických tabulových nůžkách stříhány pásy $76 \times 1000 \text{ mm}$, z takto připravených pásů budou na hydraulickém stojanovém lisu ve stříhadle stříhány přístřihy požadovaného tvaru. Následně bude na stejném typu stroje pomocí tažného nástroje provedena operace tažení a v jednoduchém přípravku operace obrubování. Dále bude provedena kontrola a leštění pohledových stran, montáž ve finální produkt a balení. Jelikož

podnik nedisponuje technologií vstřikování plastů, plastová vložka bude řešena formou kooperace. Mezioperační kontrolu provádí každý operátor a její rozsah a četnost jsou dány plánem kontrol, čas na její provedení je zahrnut již v jednotlivých operacích a k nim příslušných normohodinách.

3.8 Volba stroje

Před vlastním výběrem vhodného stroje je nutné znát parametry tvářecího procesu, mezi které patří zejména rozměry výrobku a nástroje, velikosti tvářecích sil, dále potom velikost série a vytíženost jednotlivých strojů na dílně. Vzhledem k velikosti výrobku je většina strojů určených pro tažení vhodná pro danou aplikaci, čili rozhodujícím kritériem je velikost série a konstrukce nástroje. Pro tažení se nejčastěji používají mechanické, či hydraulické lisy. Mechanické lisy pracují rychleji, oproti tomu hydraulické lisy lze snáze regulovat. Pro konstrukci nástroje hraje významnou roli i fakt, zda se jedná o lis jednočinný, či vícečinný.

Jak již bylo zmíněno výše, tažení bude probíhat s přidržovačem. Vzhledem k tomu, že výtažek je poměrně nízký, není nutné dodržet konstantní přidržovací sílu v celém spektru tažení, a tudíž může být volen přidržovač pružinový, u kterého není nutné volit vícečinného lisu. Na základě těchto parametrů byl vybrán hydraulický univerzální lis ZH 100 výrobce PRESSHYDRAULIKA, s.r.o. Ukázka lisu je na obr. 36, základní parametry stroje jsou uvedeny v příloze 2.

Popis dle výrobce:

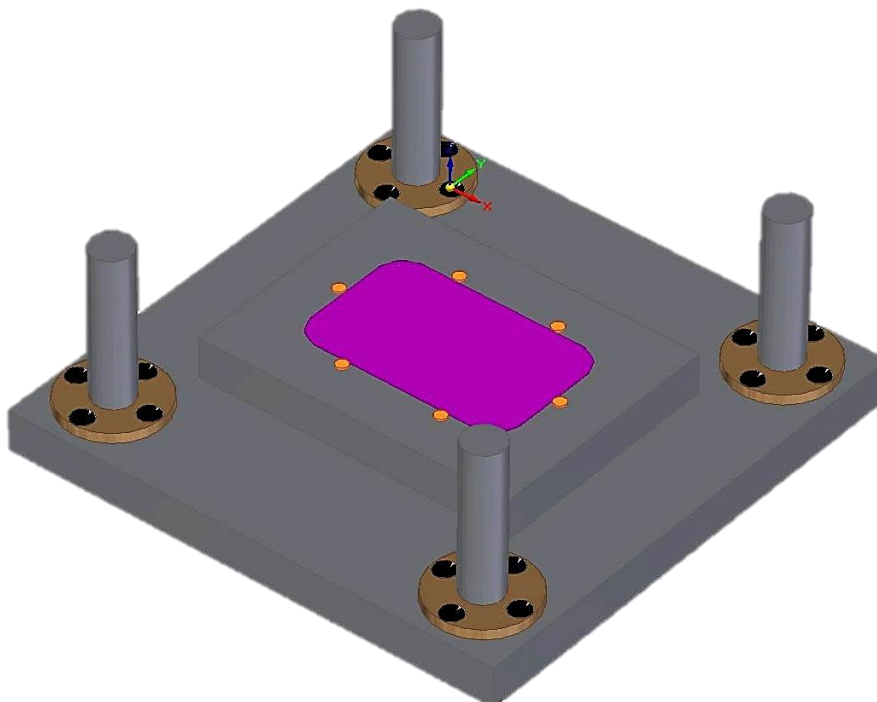
Hydraulické lisy ZH jsou výkonné produkční lisy vhodné pro hluboké tažení, lisování, stříhání, děrování nebo ohýbání za studena, ale také řadu jiných tvářecích prací. Jsou dodávány ve standardní typové řadě, nebo s rámem upraveným dle požadavku zákazníka. Také vybavení lisu může být standardní, nebo dle požadavku rozšířeno o zvláštní vybavení [36].



Obr. 36 Hydraulický lis ZH 100 [36]

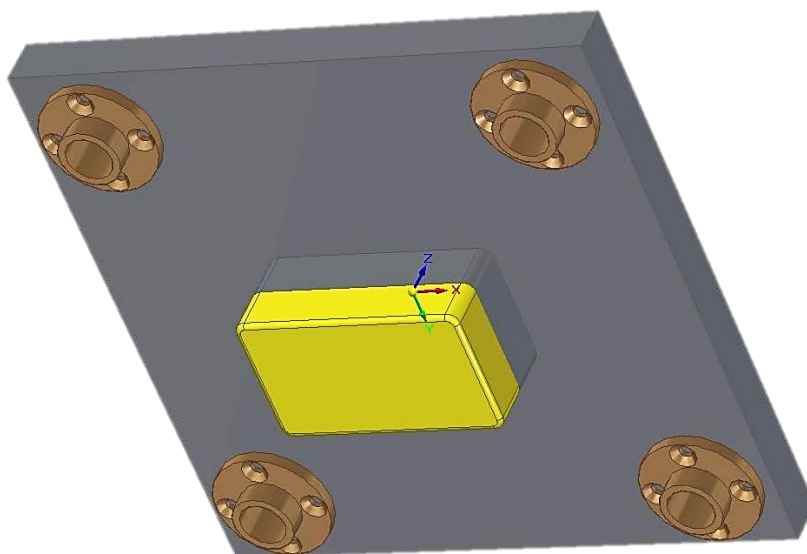
3.9 Konstrukce nástroje

Tažný nástroj je konstruován jako jednooperační, sestává z pevné spodní části (obr. 37), která je tvořena základovou deskou o rozměru $250 \times 250 \text{ mm}$, která je pomocí upínek a šroubů uchycena ke stolu. K základové desce je připevněna a ustavena pomocí šroubů a kolíků tažnice, správnou polohu polotovaru na tažnici zajišťují základací kolíky. Součástí základové desky jsou i vodící sloupky.



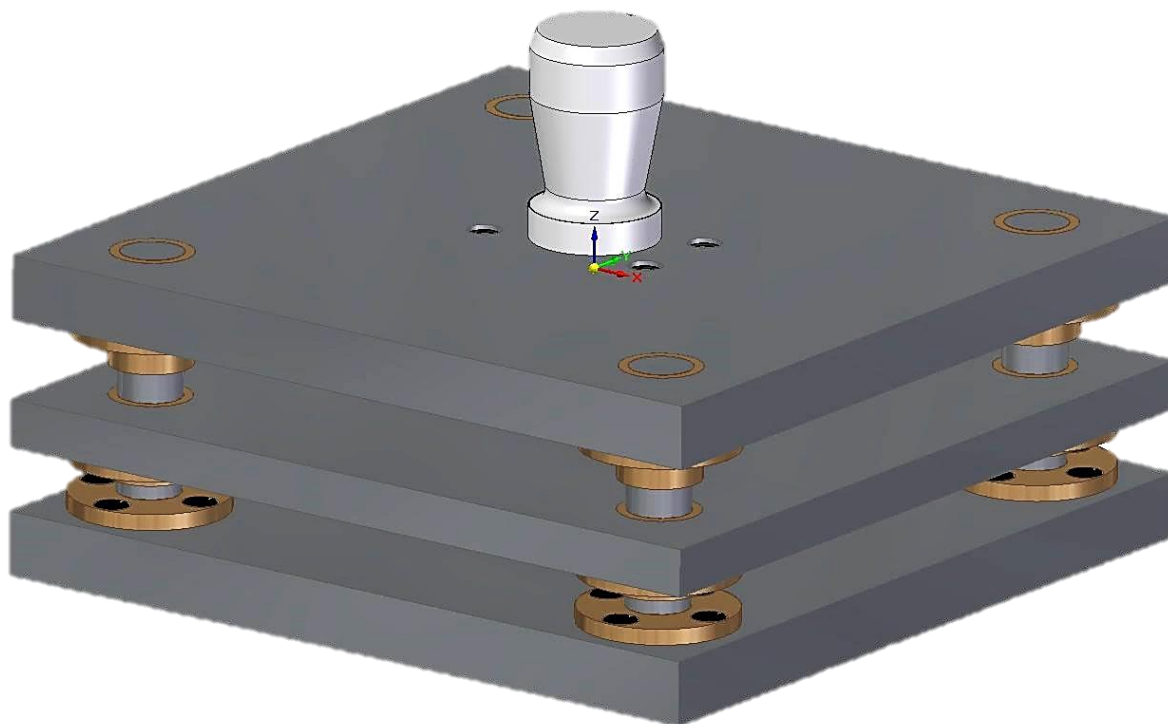
Obr. 37 Spodní díl tažného nástroje

Dále je tvořen vrchní pohyblivou částí (obr. 38), která se skládá z vrchní upínací desky o rozměru $250 \times 250 \text{ mm}$, do které je ze shora zašroubována stopka, která slouží k upnutí k beranu lisu. Na spodní stranu upínací desky je přišroubován dělený tažník.



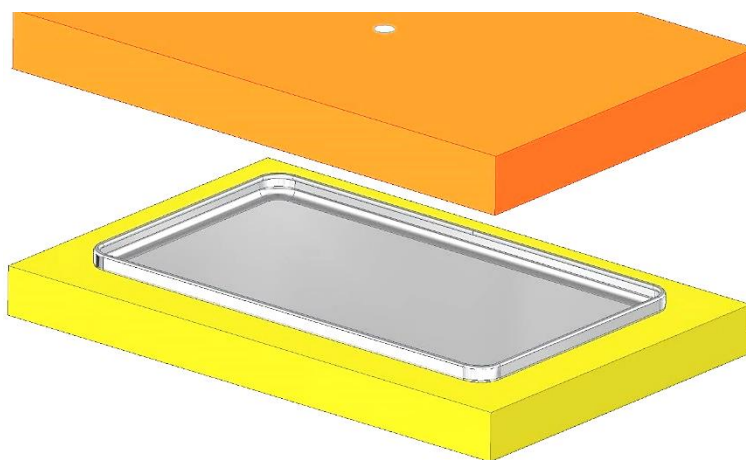
Obr. 38 Vrchní díl tažného nástroje

Dalším elementem pohyblivé části je pružinový přidržovač. Všechny tyto komponenty jsou vzájemně polohovány pomocí vodících sloupků a pouzder, aby byl zajištěn bezpečný chod nástroje. Zjednodušený model navrženého nástroje je znázorněn na obr. 39, detailní výkresová dokumentace sestavy poté v přílohách.

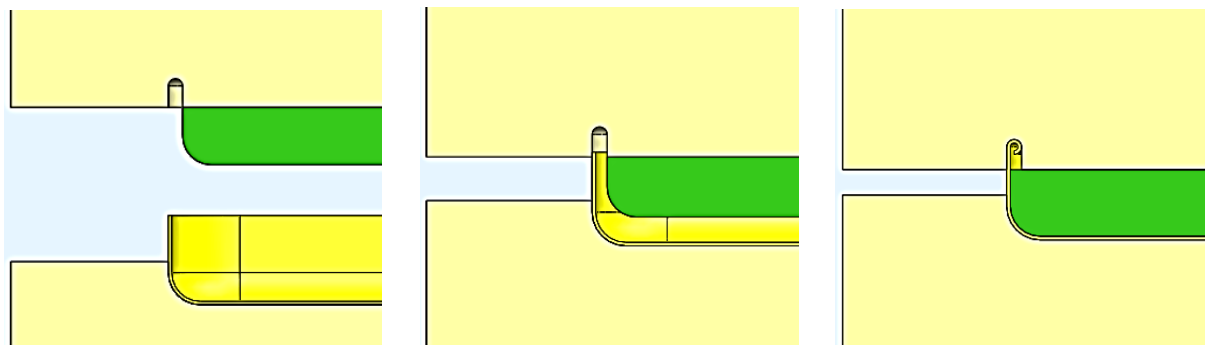


Obr. 39 Sestava tažného nástroje

Pro obrubovací operaci byl navržen jednoduchý nástroj, kdy je vnitřní obrubování provedeno po celém obvodu výtažku v jedné operaci. Nástroj je tvořen základovou deskou s vybráním pro výtažek, vrchní deskou, která při pohybu beranu lisu provede samotnou obrubu požadovaného tvaru a nepevným přidržovačem vyrobeným z pryže, který se při dosednutí na spodní stěnu výtažku roztáhne do stran a zabrání zborcení stěn výtažku. Po odlehčení se opět vrátí na své původní rozměry, aby bylo možné odebrat výrobek z nástroje.



Obr. 40 Obrubovací nástroj



Obr. 41 Schéma obrubovacího nástroje

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Účelem technicko-ekonomického zhodnocení je předběžná kalkulace nákladů na výrobu zadané součásti a plánování výrobních kapacit. Vyhodnocuje se před vlastním zahájením výroby a jeho hlavním cílem je zjistit, jaké náklady budou vynaloženy na výrobu součásti, resp. na daný projekt, jaké zdroje a v jakém počtu bude muset firma vyčlenit na realizaci. Dále je třeba stanovit prodejní cenu a zjistit, při jakém množství výrobků se projekt stává ziskovým.

4.1 Materiálové náklady

Náklady na pořízení materiálu:

$$N_m = p_t \cdot m_t \cdot c_m = 5556 \cdot 1,44 \cdot 36,20 \doteq 289623 \text{ Kč}$$

N_m	náklady na materiál [Kč]
m_t	hmotnost tabule plechu [kg]
c_m	cena materiálu [Kč/kg]

Jako dodavatel materiálu byl zvolen dodavatel místní s cenou 36,20 Kč z důvodu, že tato cena po dohodě již zahrnuje cenu dopravy do závodu, naproti tomu zahraniční dodavatel nabídl cenu bez dopravy a tudíž by cena 1,40 EUR musela být navýšena minimálně o 0,1 EUR, přepočteno budgetovým kurzem 25,50 Kč/1 EUR by výsledná cena za materiál od druhého dodavatele byla 38,25 Kč.

Zhodnocení odpadu:

$$Z_o = p_t \cdot m_t \cdot c_o \cdot \left(1 - \frac{\eta_p}{100}\right) = 5556 \cdot 1,44 \cdot 4,50 \cdot \left(1 - \frac{84,50}{100}\right) \doteq 5580 \text{ Kč}$$

Z_o	zhodnocení odpadu [Kč]
c_o	cena odpadu [Kč/kg]

Cena materiálu na 1 ks plechového dílu:

$$N_{jm1} = \frac{N_m - Z_o}{Q} = \frac{289623 - 5580}{500000} \doteq 0,57 \text{ Kč}$$

Do celkových materiálových nákladů na 1 ks výrobku musí být zahrnuta cena 2 ks plechových dílů, 1 ks středové vložky, která bude vyráběna v kooperaci a obalový materiál. Cena za dodání středového plastového dílu byla dodavatelem stanovena na 4 Kč a cena obalového materiálu na 2,50 Kč. Dále je stanoveno 1% odpadu, kromě dodávané vložky.

$$N_{jm} = (2 \cdot N_{jm1} + N_{jm2}) \cdot 1,01 + N_{jm3}$$

$$N_{jm} = (2 \cdot 0,57 + 2,50) \cdot 1,01 + 4 \doteq 7,67 \text{ Kč}$$

N_{jm}	jednicové materiálové náklady [Kč]
----------	------------------------------------

4.2 Mzdy

Náklady na mzdy budou počítány ze stanovených normohodin u jednotlivých operací a sazeb mezd na jednotlivých pracovištích stanovených finančním oddělením na základě finančního plánu pro rok 2018 (standard 2018), viz tab. 7. Jednotlivé normohodiny byly stanoveny na základě shodných operací u již zavedených podobných dílců, tzv. představitelů, nebo na základě nepřímého měření systémem Basic Most.

Tab. 7 Sazby mezd a normohodiny k jednotlivým operacím

Op. č.	Název operace/popis činnosti	Sazba [Kč/hod]	Nh
010	Stříhání pásů z tabule plechu	233,10	0,000200
020	Stříhání přístřihů z pásů plechu	262,90	0,001667
030	Tažení výtažku	262,90	0,006667
040	Obrubování	262,90	0,003300
050	Kontrola, leštění	211,70	0,004167
060	Montáž, balení	254,60	0,005556

Pro stanovení jednicových mzdových nákladů lze postupovat buď po jednotlivých operacích, nebo sumarizací normohodin operací se shodnou sazbou mezd:

$$N_{jl1} = 233,10 \cdot 0,0002 \doteq 0,05 \text{ Kč}$$

$$N_{jl2} = 262,90 \cdot 0,001667 \doteq 0,44 \text{ Kč}$$

$$N_{jl3} = 262,90 \cdot 0,006667 \doteq 1,75 \text{ Kč}$$

$$N_{jl4} = 262,90 \cdot 0,0033 \doteq 0,87 \text{ Kč}$$

$$N_{jl5} = 211,70 \cdot 0,004167 \doteq 0,88 \text{ Kč}$$

$$N_{jl6} = 254,60 \cdot 0,005556 \doteq 1,41 \text{ Kč}$$

$$N_{jl} = 2 \cdot (N_{jl1} + N_{jl2} + N_{jl3} + N_{jl4} + N_{jl5}) + N_{jl6}$$

$$N_{jl} = 2 \cdot (0,05 + 0,44 + 1,75 + 0,87 + 0,88) + 1,41 \doteq 9,39 \text{ Kč}$$

$$N_{jl} \quad \text{jednicové mzdové náklady [Kč]}$$

4.3 Variabilní náklady

Variabilní náklady jsou stanoveny procentuální přírážkou z mezd pro jednotlivá nákladová střediska/pracoviště, viz tab. 8. Opět stanoveny finančním oddělením na základě finančního plánu a výsledků z minulého období.

Pro stanovení jednicových variabilních nákladů lze postupovat opět buď po jednotlivých střediscích, nebo sumarizací mzdových nákladů se shodnou procentuální sazbou.

Tab. 8 Procentuální sazby variabilních nákladů na jednotlivá střediska

Op. č.	Název operace/popis činnosti	Středisko/pracoviště	Sazba [%]
010	Stříhání pásů z tabule plechu	120010	190,51
020	Stříhání přístřihů z pásů plechu	130500	169,64
030	Tažení výtažku	130570	169,64
040	Obrubování	130590	169,64
050	Kontrola, leštění	150570	111,07
060	Montáž, balení	170500	104,06

$$N_{jv1} = \frac{N_{jl1} \cdot 190,51}{100} = \frac{0,05 \cdot 190,51}{100} \doteq 0,09 \text{ Kč}$$

$$N_{jv2} = \frac{N_{jl2} \cdot 169,64}{100} = \frac{3,06 \cdot 169,64}{100} \doteq 5,19 \text{ Kč}$$

$$N_{jv3} = \frac{N_{jl3} \cdot 111,07}{100} = \frac{0,88 \cdot 111,07}{100} \doteq 0,98 \text{ Kč}$$

$$N_{jv4} = \frac{N_{jl4} \cdot 104,06}{100} = \frac{1,41 \cdot 104,06}{100} \doteq 1,47 \text{ Kč}$$

$$N_{jv} = 2 \cdot (N_{jv1} + N_{jv2} + N_{jv3}) + N_{jv4}$$

$$N_{jv} = 2 \cdot (0,09 + 5,19 + 0,98) + 1,47 \doteq 13,99 \text{ Kč}$$

$$N_{jv} \quad \text{jednicové variabilní náklady [Kč]}$$

4.4 Fixní náklady

Fixní náklady jsou stanoveny procentuální přírůžkou variabilních nákladů, finančním oddělením stanovena sazba 141,37%.

$$N_{jf} = \frac{N_{jv} \cdot 141,37}{100} = \frac{13,99 \cdot 141,37}{100} \doteq 19,77 \text{ Kč}$$

$$N_{jf} \quad \text{průměrné fixní náklady [Kč]}$$

Průměrné fixní náklady na jednotku produkce v této výši jsou za předpokladu nulových investic do zařízení, tj. strojů a nástrojů. V tomto případě musí být navýšeny o cenu nástrojů nutných pro výrobu, kterými jsou:

druh	cena za ks	počet objednaných ks
střížný nástroj	180000 Kč	1
tažný nástroj	120000 Kč	2
nástroj na obrubování	20000 Kč	2
vstřikovací forma	1200000 Kč	1

$$N_f = N_{jf} \cdot Q + 1660000 = 19,77 \cdot 250000 + 1660000 \doteq 6603137 \text{ Kč}$$

N_f fixní náklady [Kč]

4.5 Náklady výrobku a stanovení prodejní ceny

Celkové náklady a jejich rozpad do jednotlivých úrovní je shrnut v příloze 3. Cena výrobku se řídí politikou společnosti a je dána navýšením celkových nákladů o 30%.

Celkové náklady na 1 ks vizitkáře:

$$N_v = N_{jm} + N_{jl} + N_{jv} + \frac{N_f}{Q} = 7,67 + 9,39 + 13,99 + \frac{6603137}{250000} \doteq 57,46 \text{ Kč}$$

Cena výrobku:

$$C_v = N_v \cdot 1,3 = 57,46 \cdot 1,3 \doteq 75 \text{ Kč}$$

C_v cena výrobku [Kč]
 N_v náklady výrobku [Kč]

4.6 Bod zvratu

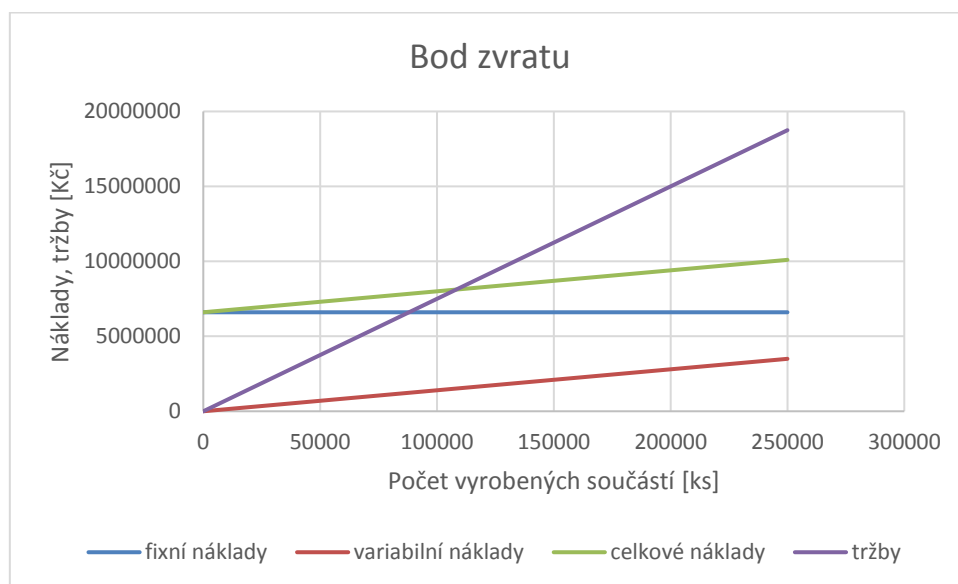
Stanovením bodu zvratu lze zjistit, kdy se tržby rovnají nákladům a firmě v tuto dobu nevzniká žádný zisk ani ztráta. Po tomto množství produkce začíná firma generovat zisk [37].

Výpočet bodu zvratu:

$$B_z = \frac{N_f}{C_v - N_{jv}} = \frac{6603137}{75 - 13,99} \doteq 108231 \text{ ks}$$

B_z bod zvratu [ks]

Firmě se začne generovat zisk po vyrobení 108231 ks výrobků.



Obr. 42 Bod zvratu

4.7 Plánování kapacit

Ze spotřeb času u jednotlivých operací lze dále zjistit, kolik výrobků je operátor schopen vyrobit za směnu na daném pracovišti, resp. kolik směn je třeba ke zhotovení dané série. Na základě těchto propočtů si lze udělat obrázek o tom, zda jsou splněny podmínky pro výrobu v podobě dostatečných kapacit strojů, operátorů, nebo zda jsou splněny specifické požadavky zákazníka, např. v podobě dodržení termínů dodání na straně druhé. Pakliže nebude splněn některý z parametrů, lze přijmout opatření v podobě navýšení operátorů, směn, strojů, nástrojů.

Čas potřebný ke zhotovení jednotlivých operací pro celou sérii:

$$n_{s1} = \frac{Q}{n_{h1} \cdot t_s} = \frac{Q}{\frac{1}{Nh} \cdot t_s} = \frac{500000}{\frac{1}{0,0002} \cdot 6,5} \doteq 15,4 \text{ směn}$$

$$n_{s2} = \frac{Q}{n_{h1} \cdot t_s} = \frac{Q}{\frac{1}{Nh} \cdot t_s} = \frac{500000}{\frac{1}{0,001667} \cdot 6,5} \doteq 128,2 \text{ směn}$$

$$n_{s3} = \frac{Q}{n_{h1} \cdot t_s} = \frac{Q}{\frac{1}{Nh} \cdot t_s} = \frac{500000}{\frac{1}{0,006667} \cdot 6,5} \doteq 512,8 \text{ směn}$$

$$n_{s4} = \frac{Q}{n_{h1} \cdot t_s} = \frac{Q}{\frac{1}{Nh} \cdot t_s} = \frac{500000}{\frac{1}{0,0033} \cdot 6,5} \doteq 256,4 \text{ směn}$$

$$n_{s5} = \frac{Q}{n_{h1} \cdot t_s} = \frac{Q}{\frac{1}{Nh} \cdot t_s} = \frac{500000}{\frac{1}{0,004167} \cdot 6,5} \doteq 320,5 \text{ směn}$$

$$n_{s6} = \frac{Q}{n_{h1} \cdot t_s} = \frac{Q}{\frac{1}{Nh} \cdot t_s} = \frac{250000}{\frac{1}{0,005556} \cdot 6,5} \doteq 213,7 \text{ směn}$$

n_s počet směn
 t_s směnový čas – stanoven na 6,5 h [h]

Výše stanovené počty směn potřebné pro zhotovení dané série jsou za předpokladu, že danou operaci provádí jeden pracovník/jeden stroj. Pokud by tyto hodnoty nemohly být akceptovány, lze je snížit nasazením většího počtu operátorů, nebo nástrojů/strojů, tak jak je tomu v případě operace tažení, kdy jsou v prvotní kalkulaci plánovány dva nástroje, čímž se potřebná doba sníží na polovinu.

ZÁVĚRY

Řešenou součástí v závěrečné práci bylo pouzdro na vizitky, tzv. vizitkář, jejím výstupem byl poté návrh konstrukce a výroby alternativní technologií – tažením. Zadaným materiálem pro výrobu byl pocínovaný ocelový plech, velikost série byla stanovena na 250 000 ks za rok.

Dle zadání byly navrženy tři konstrukční varianty vhodné pro technologii tažení, z nichž byla jedna zvolena a následně zpracována v souladu se stanovenými cíli práce, mezi kterými bylo stanovení procesních parametrů zvolené technologie, zpracování technologického postupu včetně vyhotovení výkresové dokumentace výrobku, návrh a zpracování výkresové dokumentace nástrojů a technicko-ekonomické zhodnocení celého konceptu.

Na základě literární studie technologie stříhání a tažení byl sestrojen vhodný tvar přístřihu, vypracován technologický postup výroby součásti, kdy je po přípravných operacích zpracování vstupního materiálu – stříhání tabulí plechů a polotovarů, z obdélníkového přístřihu v jedné tažné operaci vytažen základní tvar součásti (dno a víko), který je následně dokončen technologií obrubování do finálního tvaru. Takto připravené kusy jsou následně nacvaknuty na mezikus v podobě termoplastické vložky, která je řešena formou kooperace. Pro výrobu kovových dílů byl zvolen pocínovaný ocelový plech tloušťky 0,24 mm v jakosti TH370, kooperovaný plastový díl je navržen z materiálu ABS.

Pro operaci tažení byl dle výpočtů navržen tažný nástroj a vybrán konkrétní stroj. Tažidlo sestává z pevné části, kterou je tažnice se základovou deskou s vodíci sloupky a pohyblivé části. Pohyblivá (vrchní) část se skládá z upínací desky, tažníku a přidržovače. Přidržovač je ovládán zároveň s pohybem upínací desky a tažníku, přenos síly je řešen vinutými pružinami. Pro výrobu plechového dílu byl zvolen hydraulický univerzální lis ZH 100 výrobce PRESSHYDRAULIKA s.r.o.

V technicko-ekonomickém hodnocení byl poté nastíněn možný výpočet ceny výrobku a spočítána návratnost investice, dále byl stanoven čas potřebný pro výrobu zadané série, který lze použít pro hrubé plánování kapacit. Finální cena výrobku byla stanovena na 75 Kč bez DPH a bod zvratu stanoven na 108231 vyrobených kusů.

Jelikož v práci nebyla podrobněji řešena plastová vložka, její konstrukce, tak jak je navržena, není příliš vhodná pro technologii vstřikování plastů z důvodu velkého množství jader. To má za následek vysokou pořizovací cenu vstřikovací formy a značné navýšení nákladů a ceny finálního výrobku. Pokud by se dále pracovalo na optimalizaci plastového dílu a eliminoval se počet jader, cena za nástroj by klesla až na třetinu původní částky. Snížení počtu jader lze provést změnou koncepce celého vizitkáře, kdy by kovové díly byly na plastovou vložku pouze lepeny, tím by došlo k odstranění problematických jader a mohlo by být upuštěno i od složitého obrubování kovových částí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ČESKÁ REPUBLIKA. *Podnikání: Strojírenství*. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.czech.cz/cz/Podnikani/Firmy-v-CR/Strojirenstvi>.
 2. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 0-8311-3182-9.
 3. VOLLRATH MANUFACTURING SERVICES. *Capabilities: Deep Drawing*. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://vollrathmanufacturing.com/Manufacturing-Services/Capabilities/Deep-Drawing.htm>.
 4. NEW ENGLAND METALFORM. *Services: Deep Drawing*. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.nemetalform.com/services/deep-drawing>.
 5. ATLAS TOOL INC. *Home*. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.atlastool.com>.
 6. ACTIVA. *Etue – kovový vizitkář s lesklým povrchem*. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://reklamni.activa.cz/produkt/etue-kovovy-vizitkar-s-lesklym-povrchem-231>.
 7. SVĚT BALENÍ. *Renesance kovových dóz*. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.svetbaleni.cz/2015/08/22/renesance-kovovych-doz>.
 8. OBAL CENTRUM. *Produkty*. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.obal-centrum.cz/produkty.php>.
 9. JLF. *Kovová darčková krabička na hodinky*. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.jlf.sk/produkt/kovova-darceková-krabicka-na-hodinky>.
 10. BOBČÍK, Ladislav. *Střižné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983.
 11. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
 12. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
 13. VOJTĚCH, Dalibor. *Materiály a jejich mezní stavy*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 978-80-7080-741-5.
 14. SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. *Speciální technologie tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4220-7.
 15. 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.
 16. UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES UPPER AUSTRIA. *Department of Materials Engineering: Erichsen Sheet Metal Testing Machine 102*. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.fh-ooe.at/en/wels-campus/werkstofftechnik/departement-of-materials-engineering/equipment/materials-testing/erichsen-102>.
 17. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.
-

-
18. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2881-3.
 19. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřely: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1975.
 20. SLIDESHARE. *Sheet Metal Process*. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/rmkcet/sheet-metal-process-unit-4-notes>.
 21. CUSTOMPART.NET. *Sheet Metal Cutting (Shearing)*. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/images/sheet-metal/shearing.png>.
 22. HUDOUSEK, Jiří. *Technologie výroby krytu ventilátoru*. Brno, 2015. 42 s., 11 příloh (6 výkresů), CD. Bakalářská práce. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Michaela Císařová, Ph.D.
 23. FOREJT, Milan. *Ročníkový projekt I*. Brno, 2002. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/dr2_rocnikovy_projekt_I_forejt.pdf.
 24. TIŠNOVSKÝ, Miroslav. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-03-00221-4.
 25. CUSTOMPART.NET. *Sheet Metal Forming*. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/images/sheet-metal/deep-drawing-sequence.png>.
 26. KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka 8. svazek: V-Tváření, W-Výrobky ze slinovaných prášků, X-Výrobky z plastů, Y-Svařování součástí, Z-Protikorozní ochrana materiálu*. Praha: Scientia, 1998. ISBN 80-7183-054-2.
 27. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Akademie tváření: Hluboké tažení*. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni.html>.
 28. ČSN 22 7303. *Tažení dutých čtyřhranných výtažků: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1967.
 29. ČSN 22 7301. *Tažení dutých válcových výtažků: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1969.
 30. KOTOUČ, Jiří, Luděk MÁDLE, Jan ŠANOVEC a Jan ČERMÁK. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1993, 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
 31. ČSN 22 7309. *Tažidla bez přidržovače: Rozměry*. Praha: Český normalizační institut, 1990.
 32. ČSN EN 10202. *Ocelové plechy na obaly, válcované za studena – Elektrolyticky pocínované a speciálně pochromované*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
 33. U. S. STEEL KOŠICE. *Pocínovaná ocel*. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.usske.sk/sk/produkty/pocinovana-ocel>.
 34. ČSN 41 1305. *Ocel 11 305*. Praha: Český normalizační institut, 1987.
 35. ČSN EN ISO 20482. *Kovové materiály – Plechy a pásy – Zkouška hloubením podle Erichsena*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
-

36. PRESSHYDRAULIKA. *Hydraulické lisy, hydraulická zařízení, elektrická vybavení: Katalog* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z:
<http://files.presshydraulika.cz/200000110-cf045cffdd/press-hydraulika-katalog2010.pdf>.
37. SYNEK, Miloslav. *Manažerská ekonomika*. 5., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3494-1.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
A	[%]	tažnost
A_{80}	[%]	tažnost vzorku počáteční délky 80 mm
A_s	[J]	střížná práce
A_t	[J]	tažná práce
B_z	[ks]	bod zvratu
C	[–]	koeficient zaplnění plochy
C_1	[–]	konstanta
C_2	[–]	konstanta
C_v	[Kč]	cena výrobku
E	[mm]	můstek
F	[mm]	přepážka odpadu
F_c	[N]	celková střížná síla
F_l	[N]	celková lisovací síla
F_p	[N]	síla od přidržovače
F_{pr}	[N]	protlačovací síla
F_s	[N]	střížná síla
F_{st}	[N]	stírací síla
F_{tmax}	[N]	maximální tažná síla přenášená stěnami výtažku
F_{t1}	[N]	tažná síla v rozích výtažku
F_{t2}	[N]	tažná síla rovinných částí výtažku
HRC	[–]	tvrdost podle Rockwella
K	[mm]	krok
K_h	[–]	součinitel hloubky vtlačení
L	[mm]	součet délek rovinných částí výtažku
L_s	[mm]	délka stříhu
N_f	[Kč]	fixní náklady
N_m	[Kč]	náklady na materiál
N_{jl}	[Kč]	jednicové mzdové náklady
N_{jv}	[Kč]	jednicové variabilní náklady

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

N_{jf}	[Kč]	průměrné fixní náklady
N_{jm}	[Kč]	jednicové materiálové náklady
N_v	[Kč]	náklady výrobku
O	[mm]	obvod výtažku
Q	[ks]	velikost série
R_a	[μm]	střední aritmetická úchylka profilu
R_e	[MPa]	mez pružnosti
R_0	[mm]	redukovaný poloměr přístřihu v místě zaoblených bočních stěn
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
$R_{p0,2}$	[MPa]	smluvní mez kluzu
S_c	[mm ²]	činná plocha pod přidržovačem
SP	[mm]	šířka pásu
S_p	[mm ²]	plocha přístřihu
S_s	[mm ²]	střížná plocha
Z	[%]	kontrakce
Z_o	[Kč]	zhodnocení odpadu
τ_{max}	[Pa]	maximální smykové napětí
τ_{ps}	[–]	střížný odpor materiálu
a_{rd}	[mm]	vzdálenosti středů zaoblení r_d , odpovídající straně a u výtažku
b_{rd}	[mm]	vzdálenosti středů zaoblení r_d , odpovídající straně b u výtažku
c	[–]	součinitel závislý na stupni stříhu
c_1	[–]	součinitel stírání
c_2	[–]	součinitel protlačení
c_m	[Kč/kg]	cena materiálu
c_o	[Kč/kg]	cena odpadu
d_r	[mm]	průměr zaoblení bočních stěn výtažku
h	[mm]	celková vnitřní výška výtažku
h_d	[mm]	výška rovinné části boční stěny výtažku
h_s	[mm]	rozvinutá výška v rovných stěnách výtažku
h_{sa}	[mm]	zmenšení rozvinuté výšky, odpovídající straně a

h_{sb}	$[mm]$	zmenšení rozvinuté výšky, odpovídající straně b
k_o	$[-]$	součinitel otupení břitů
m_1	$[-]$	součinitel tažení pro první tah
m_n	$[-]$	součinitel tažení pro n -tý tah
m_t	$[kg]$	hmotnost tabule plechu
n_s	$[ks]$	počet směn
p	$[MPa]$	měrný přidržovací tlak
p_c	$[ks]$	počet výstřížků z tabule
p_p	$[ks]$	počet pásů
p_t	$[ks]$	celková spotřeba tabulí
p_v	$[ks]$	počet výstřížků
r_d	$[mm]$	poloměr zaoblení mezi dnem a boční stěnou výtažku
r_r	$[mm]$	poloměr zaoblení bočních stěn výtažku
r_0	$[mm]$	poloměr přístřihu v místě zaoblených bočních stěn
r_1	$[mm]$	poloměr zaoblení bočních stěn výtažku v prvním tahu
r_n	$[mm]$	poloměr zaoblení bočních stěn výtažku n -tého tahu
r_{n-1}	$[mm]$	poloměr zaoblení bočních stěn výtažku předcházejícího tahu
r_p	$[mm]$	přechodový poloměr zaoblení tažníku
r_t	$[mm]$	poloměr zaoblení tažné hrany tažnice
t	$[mm]$	tloušťka plechu
tm_1	$[mm]$	tažná mezera podélných stran v prvním tahu
tm_n	$[mm]$	tažná mezera podélných stran v n -tém tahu
tm_{r1}	$[mm]$	tažná mezera v rozích v prvním tahu
tm_{rn}	$[mm]$	tažná mezera v rozích v n -tém tahu
t_s	$[h]$	směnový čas
x	$[-]$	koeficient zvětšení poloměru r_0
y	$[-]$	koeficient zmenšení rozvinuté výšky h_s
z	$[mm]$	střížná mezera
$\sigma, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	$[MPa]$	napětí

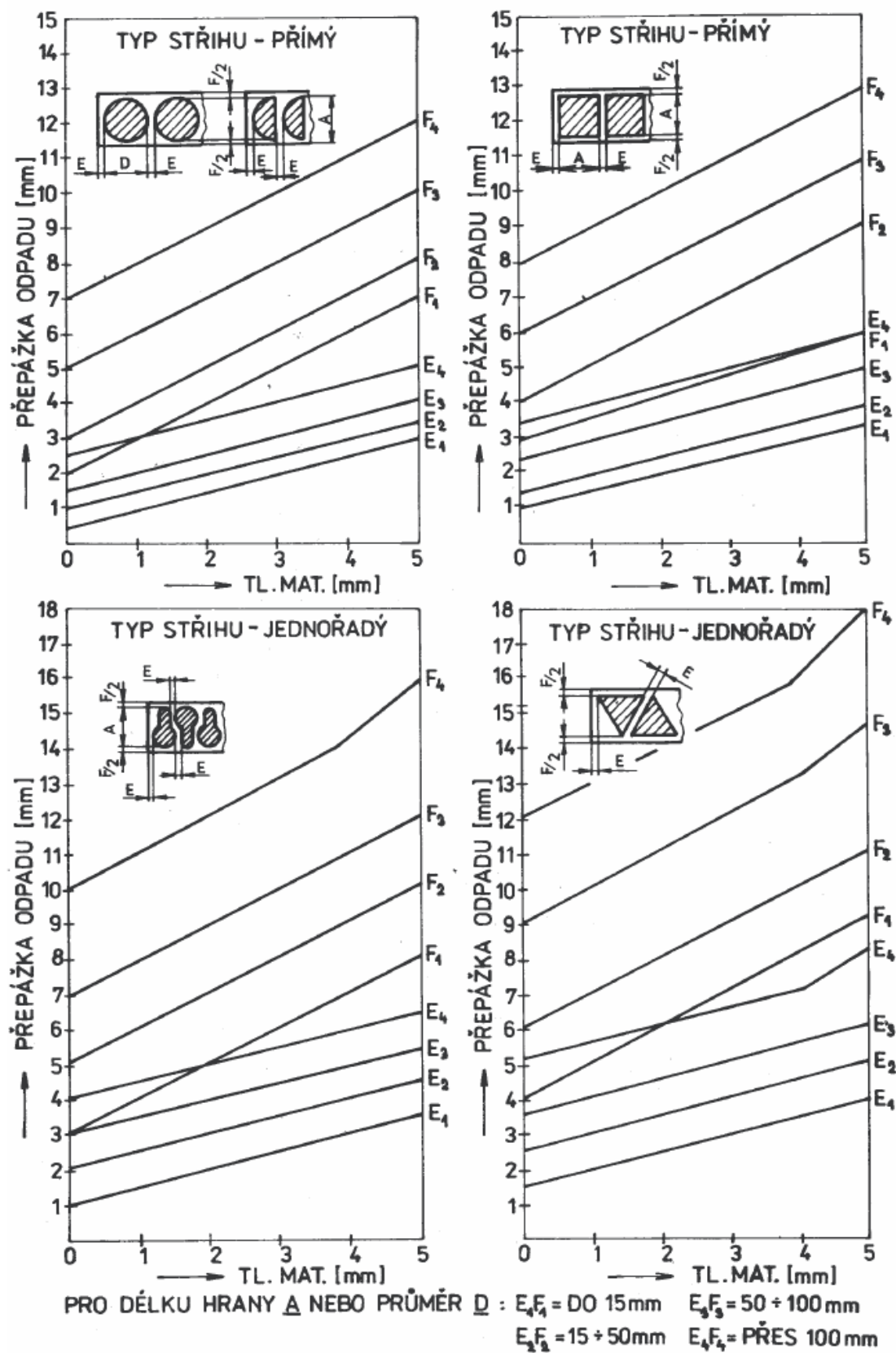
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

σ_k	$[Pa]$	kritické napětí
$\varepsilon, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	$[-]$	deformace
η_p	$[\%]$	využití tabule plechu

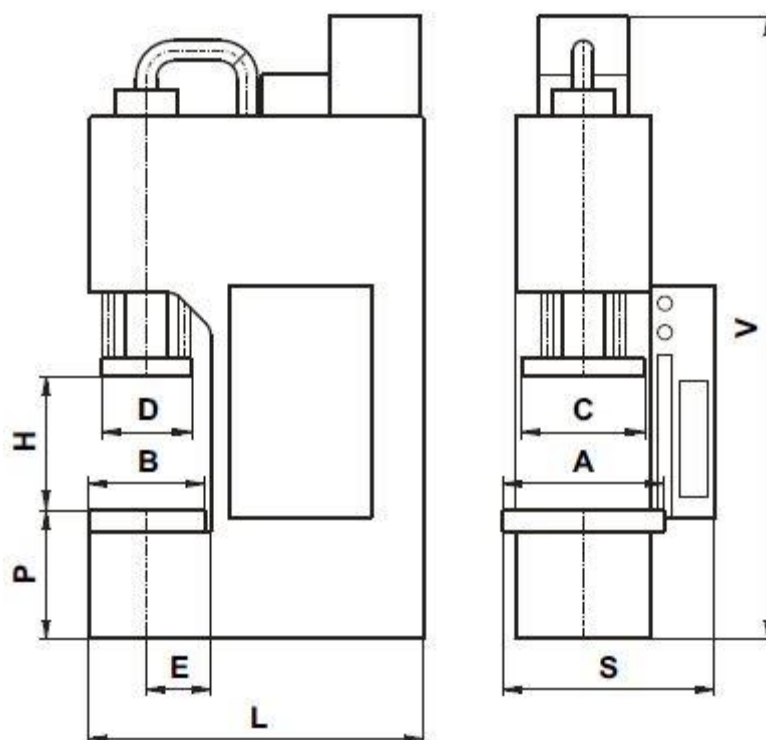
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 – nomogramy pro stanovení velikostí můstků a přepážek odpadu
- Příloha 2 – základní parametry stroje
- Příloha 3 – nákladová tabulka
- Příloha 4 – výkres A3 JH-001 Výtažek - víko
- Příloha 5 – výkres A3 JH-002 Vsuvka
- Příloha 6 – výkres A3 JH-1-001 Tažník
- Příloha 7 – výkres A3 JH-1-002 Tažnice
- Příloha 8 – výkres A2 JH-A-001 Tažný nástroj

Nomogramy pro stanovení velikostí můstků a přepážek odpadu [23]



Základní parametry stroje [36]



Standardní řada lisů • Standard range of presses:

TYP				ZH 10	ZH 25	ZH 30	ZH 40	ZH 50	ZH 63	ZH 100	ZH 160	ZH 250
Lisovací síla	Pressing force	kN		100	250	300	400	500	630	1000	1600	2500
Zdvih beranu	Ram stroke	mm		400						500		
Přibližovací rychlost	Approach speed	mm/s		250	235		250		255	225	260	270
Pracovní rychlost	Pressing speed	mm/s		30		32		27	26	8 - 26	5 - 32	8 - 38
Zpětná rychlost	Return speed	mm/s		160	180	205	230	215	230	200	215	340
Stůl	A x B	Table	A x B	mm	605 x 405	655 x 455		755 x 505		810 x 580	900 x 650	
Beran	C x D	Ram	C x D	mm	455 x 355		505 x 405			540 x 410	750 x 510	
Vyložení	E	Gap	E	mm	250	260		280		330	360	
Rozevření	H	Opening	H	mm	600					700	950	
Výška stolu	P	Table height	P	mm	890					880	905	
Rozměry stroje	Dimensions	m		1,24 x 1,03	1,39 x 1,07	1,39 x 1,08	1,48 x 1,16	1,48 x 1,17	1,58 x 1,23	1,65 x 1,14	2 x 1,2	2 x 1,2
	L x S x V	L x S x V		x 2,78	x 2,9	x 2,99	x 3,08	x 3,08	x 3,15	x 3,0	x 3,52	x 3,68

Standardní vybavení:

- plynulá regulace lisovací síly
- regulace lisovací rychlosti
- bezpečnostní moduly
- oboustranné ovládání
- digitální manometr a spínač
- počítadlo zdvihů
- řídicí systém Siemens
- hydraulické prvky renomovaných firem
- regulovatelná doba lisování

Zvláštní příslušenství:

- optoelektronická zábrana
- horní přidržovač a vyhazovač
- spodní přidržovač a vyhazovač
- nožní ovládání
- osvětlení pracovního prostoru
- olejová náplň
- tlumiče střižného rázu
- kontinuální snímání polohy
- elektronické nastavení lisovací síly
- další příslušenství dle dohody

Standard equipment:

- stepless pressing force regulation
- pressing speed regulation
- safety modules
- both-hand control
- digital pressure gauge and switch
- stroke counter
- Siemens control systems
- worldwide hydraulic components
- regulation of pressing time

Special accessories:

- safety light curtain
- upper blankholder and ejector
- lower blankholder and ejector
- foot control
- working space lighting
- mineral oil filling
- cutting shock absorbers
- continual position sensing
- electronic pressing force adjustment
- additional accessories as agreed

Nákladová tabulka

Vizitkář

	MATERIÁL (MAT)	MZDY(LAB)	VARIABILNÍ NÁKLADY (VO)	FIXNÍ NÁKLADY (FO)	CELKEM (TOT)
CELKOVÉ NÁKLADY STANDARD 2018	7,67	9,39	13,99	26,41	57,46 CZK

STRUKTURA (set)	Artikl Vizitkář	MNOŽSTVÍ	ODPAD	STANDARD 2018 SAZBA			MAT	LAB	VO	FO	TOT
				LAB	VO	FO					
	VÝTAŽEK	na ks					0,57	3,99	6,26	8,85	
		2	0%				1,15	7,97	12,51	17,69	39,33
	NÁSTROJE	na ks					0,00	0,00	0,00	6,64	
		1	0%				0,00	0,00	0,00	6,64	6,64
	VLOŽKA	na ks					4,00	0,00	0,00	0,00	
		1	0%				4,00	0,00	0,00	0,00	4,00
	OBALOVÝ MATERIÁL	na ks					2,50	0,00	0,00	0,00	
		1	1%				2,53	0,00	0,00	0,00	2,53
	CELKEM						7,67	7,97	12,51	24,33	52,49

POSTUP (set)	Artikl Vizitkář	PRACOVIŠTĚ	VÝROBNÍ ČAS
	MONTÁŽ, BALENÍ	170500	0,005556
	CELKEM		0,005556

STANDARD 2018 SAZBA			MAT	LAB	VO	FO	TOT
LAB	VO	FO					
254,6	1,0406	1,4137		1,41	1,47	2,08	4,97
				1,41	1,47	2,08	4,97

NÁKLADY 1. POLOTOVARU STANDARD 2018	0,57	3,99	6,26	8,85	19,66
--	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------

STRUKTURA	Artikl Výtažek	MNOŽSTVÍ	ODPAD	STANDARD 2018 SAZBA			MAT	LAB	VO	FO	TOT
				LAB	VO	FO					
	PLECH	na ks					0,57	0,00	0,00	0,00	
		1	1%				0,57	0,00	0,00	0,00	0,57
	CELKEM						0,57	0,00	0,00	0,00	0,57

POSTUP	Artikl Výtažek	PRACOVIŠTĚ	VÝROBNÍ ČAS
	STŘIHÁNÍ PÁSŮ Z TABULE PLECHU	120010	0,000200
	STŘIHÁNÍ PŘÍSTŘIHŮ Z PÁSŮ PLECHU	130500	0,001667
	TAŽENÍ VÝTAŽKU	130570	0,006667
	OBRUBOVÁNÍ	130590	0,003300
	KONTROLA, LEŠTĚNÍ	150570	0,004167
	CELKEM		0,016001

STANDARD 2018 SAZBA			MAT	LAB	VO	FO	TOT
LAB	VO	FO					
233,1	1,9051	1,4137		0,05	0,09	0,13	0,26
262,9	1,6964	1,4137		0,44	0,74	1,05	2,23
262,9	1,6964	1,4137		1,75	2,97	4,20	8,93
262,9	1,6964	1,4137		0,87	1,47	2,08	4,42
211,7	1,1107	1,4137		0,88	0,98	1,39	3,25
				3,99	6,26	8,85	19,09