

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY PLECHOVÉHO DÍLCE KAROSERIE AUTOMOBILU

PROPOSAL TECHNOLOGY OF PRODUCTION SCHEET-METAL PART OF CAR BODY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTIN SVITÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LADISLAV ŽÁK, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Sviták Martin, Bc.

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

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

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

Návrh technologie výroby plechového dílce karoserie automobilu

v anglickém jazyce:

Proposal technology of production sheet-metal part of car body

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zaměřena na technologii tažení nerotačních součástí z plechu

Cíle diplomové práce:

1. Zhodnocení technologičnosti výroby součástí
2. Literární studie dané problematiky
3. Návrh technologie výroby
4. Konstrukční řešení nástroje
5. Ekonomické hodnocení

Seznam odborné literatury:

FREMUNT, Přemysl, PODRÁBSKÝ, Tomáš. Konstrukce oceli. Brno : CERM, 1966. 267 s. ISBN 80-85867-95-8.

KOTOUČ, Jiří, et al. Tvářecí nástroje. ČVUT 1. vyd. Praha : ČVUT, 1993. 350 s. ISBN 80-01-01003-1.

KŘÍŽ, Václav, VÁVRA, Pavel. Strojářská příručka. 1. vyd. Praha : Scientia, 1998. 255 s. ISBN 80-7183-054-2 (váz.)

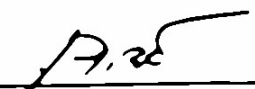
BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. New York : Industrial Press, 2004. 219 s. ISBN 0-8311-3182-9.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.


Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 19. 11. 2008





doc. Ing. Miroslav Pištko, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

SVITÁK Martin: Návrh technologie výroby plechového dílce karoserie automobilu. Diplomová práce magisterského studia, obor Strojírenská technologie (2303T002) akad.rok 2008/2009. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, odbor tváření kovů a plastů, květen 2009, str. 75, obr. 50, tab. 7, grafů 2, příloh 9.

Diplomová práce je zaměřena na problematiku tažení nerotačních součástí z plechu.. Zadaný dílec z materiálu DC04 (dle ČSN 11 305) tvoří konstrukční prvek karoserie automobilu. Je vyráběn v roční produkci 10 tis. kusů. Poznatky uváděné v literární studii jsou následně využity při konstrukci nástrojů, které by měly zajistit zhotovení výlisku v požadované kvalitě. Pro výrobu součásti jsou navrženy tři technologické postupy. Technicko-ekonomický rozbor identifikuje optimální variantu pro zajištění dané roční produkce. Diplomová práce taktéž obsahuje komplexní posudek zpracovávaného materiálu z hlediska tvařitelnosti. Souhrnný vliv konstrukčních, materiálových a technologických parametrů tvářecího procesu je ověřen počítačovou simulací.

Klíčová slova: tažení, výlisek, karoserie automobilu, simulace tvářecího procesu

ABSTRACT

Martin Svitak: Proposal technology of production sheet-metal part of car body. Master's Thesis, branch of study Manufacturing Technology (2303T002), academic session 2008/2009. Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Manufacturing Technology, Dept. of Metal forming and Plastics, May 2009, No. of pages 75, No. of figures 50, No. of tables 7, No. of graphs 2, No. of supplements 9.

The Master's Thesis is focused on stamping of sheet metal parts. The analyzed part is a structural part of an automobile body. The part is made of DC04 (cold rolled mild steel) material. The annual production volume is 10.000 pieces. Theoretical background research is a knowledge base for design of tooling that can produce parts which meet quality requirements. There are three technological processes proposed in the Thesis. An economic analysis identifies the optimal technological process for the production volume. The thesis contains a complex analysis that confirms material formability. Computer simulation verifies the part design, material and technological parameters of the forming process.

Key words: Stamping, Car body (Body-in-white), Forming process simulation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SVITÁK, M. *Návrh technologie výroby plechového dílce karoserie automobilu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 75 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh technologie výroby plechového dílce karoserie automobilu vypracoval samostatně s využitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Uherském Hradišti 28.5. 2009

Martin Sviták

OBSAH

Abstrakt	
Prohlášení	
Obsah	
ÚVOD	8
1. ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI VÝROBY SOUČÁSTI	9
1.1 Funkce součásti	10
2. PROBLEMATIKA TAŽENÍ NEROTAČNÍCH SOUČÁSTÍ Z PLECHU	11
2.1 Stanovení velikosti a tvaru přístřihu	11
2.1.1 Rozvin součásti v rozích	11
2.1.2 Konečný tvar přístřihu a jeho porovnání s ostatními křivkami	12
2.2 Stanovení počtu tahů	13
2.2.1 Stanovení součinitele tažení	14
2.3 Síly při tažení	14
2.3.1 Tažná síla	14
2.3.2 Přidržovací síla a její význam	15
2.3.3 Celková síla	16
2.4 Ověření použití přidržovače	16
2.5 Zaoblení funkčních hran nástroje	16
2.5.1 Poloměr zaoblení tažnice	17
2.5.2 Poloměr zaoblení tažníku	17
2.6 Tažná mezera	18
2.7 Vliv rychlosti tváření a rychlosti deformace	18
2.8 Napěťový stav při tažení nerotačních výlisků	19
2.8.1 Vyrovnání napěťových poměrů	20
2.9 Deformace během tváření	20
2.9.1 Vyjádření deformací	20
2.10 Odpružení	22
3. VOLBA MATERIÁLU VÝLISKU A OVĚŘENÍ JEHO VHODNOSTI K TVÁŘENÍ ZA STUDENA	24
3.1 Tahová zkouška	24
3.1.1 Číselné vyjádření ukazatelů tvařitelnosti	30
3.1.2 Společný význam n_m a $r_{\alpha \min}$	34
3.2 Zkouška hloubením	35
3.3 Hodnocení výbrusu	35
4. SIMULACE TVÁŘECÍHO PROCESU	37
4.1 Zadávané vstupní parametry	37
4.1.1 Materiálový model výlisku	37
4.1.2 Materiálový model nástroje	37
4.1.3 Ořezová plocha	37
4.1.4 Tvar přístřihu	38
4.1.5 Brzdná žebra	38
4.1.6 Stanovení velikosti přidržovací síly	39
4.1.7 Určení hodnoty součinitele tření	39
4.1.8 Nahrazení objektů nástroje a tvářeného plechu	39
4.2 Výstupy simulace	40
4.3 Zhodnocení výstupů simulace	43
5. VÝPOČTOVÁ ČÁST	44
5.1 Stanovení počtu tahů	44

5.1.1 Stanovení součinitele tažení	44
5.2 Výpočet sil při tažení	45
5.3 Výpočet celkové tažné síly	45
5.4 Volba stroje	46
5.5 Výpočet střížné síly	46
5.6 Ověření použití přidržovače	47
5.7 Ověření velikosti přidržovací síly	47
5.8 Konstrukční parametry nástroje	48
5.8.1 Velikost zaoblení tažnice	48
5.8.2 Velikost zaoblení tažníku	48
5.9 Určení velikosti tažné mezery	48
5.10 Složky deformace a efektivní deformace v kritickém místě výtažku	49
6. MOŽNÉ ZPUSOBY VÝROBY	50
7. KONSTRUKCE TAŽNĚHO NÁSTROJE	54
7.1 Obrobení odlitků	54
7.2 Kvalita obráběných ploch odlitku	55
7.3 Středění nástroje na stole lisu	55
7.4 Vedení nástroje	55
7.5 Zakládání plechu	56
7.6 Vyjímání výlisků	56
7.7 Distanční prvky	56
7.8 Přenašecí elementy	57
7.9 Vymezení zdvihu přidržovače	57
7.10 Odstavení nástroje	58
7.11 Celkové konstrukční řešení nástroje	58
8. TECHNICKO – EKONOMICKÝ ROZBOR	60
ZÁVĚR	70
Seznam použitých zdrojů	71
Seznam použitých symbolů	73
Seznam příloh	75

ÚVOD

V současné době patří automobilový průmysl k nejvýznamnějšímu odvětví v hospodářství vyspělých států. Existuje zde velká provázanost s ostatními obory – strojírenství, hutnictví, chemický průmysl, zpracování plastů, elektrotechnika. V tomto není ani Česká republika výjimkou. Zde má automobilový průmysl dlouhodobou tradici.

Domácí výrobci musí stále více čelit narůstajícímu tlaku zahraničních automobilek. Je tedy zřejmé, že se jedná o velmi silné konkurenční prostředí. Právě díky tomu se jednotliví výrobci snaží o maximální zefektivnění své produkce hledáním nových technologií, které v konečném dopadu znamenají snížení výrobních nákladů a tím pádem vyšší ziskovost a konkurence schopnost. Tyto nové technologie jsou však založeny na již známých principech a jde spíš o jejich zdokonalení.

Součástí dopravního prostředku jako celku je karoserie sestávající z jednotlivých plechů vylisovaných do požadovaného tvaru. Jejich zpracování probíhá vesměs za studena (při teplotách pod rekrytalizační teplotou) metodami plošného tváření – stříháním, ohýbáním a tažením.

Pro získání dílce finálního tvaru je důležitá znalost samotného materiálu, konstrukce nástrojů a stanovení optimálních technologických parametrů. V tomto směru sehrává významnou roli výpočetní technika, především samotná simulace tvářecího procesu, díky níž dochází k výrazným časovým úsporám a snížení výrobních nákladů. I s ohledem na složitou problematiku týkající se hlavně tažení, jsou virtuální metody vývoje nástrojů téměř nezastupitelné.

Technologie plošného tváření umožňuje zhotovení širokého spektra produktů, které by jinými metodami ani nebylo možné vyrobit. Jejich uplatnění spočívá nejen v uvedeném automobilovém průmyslu ve stavbě karoserií, ale též v oblasti potravinářství, medicíny, měřicí techniky, energetiky a jiných odvětvích.

Cílem diplomové práce je navrhnout takový způsob výroby, který zaručí zhotovení dílce v požadované kvalitě. Přitom je však kladen důraz na ekonomické hledisko a efektivnost výroby při plánované roční produkci 10 tis. kusů. Jeho výroba je realizována ve společnosti Kovovýroba Hoffmann v Ostrožské Nové Vsi.

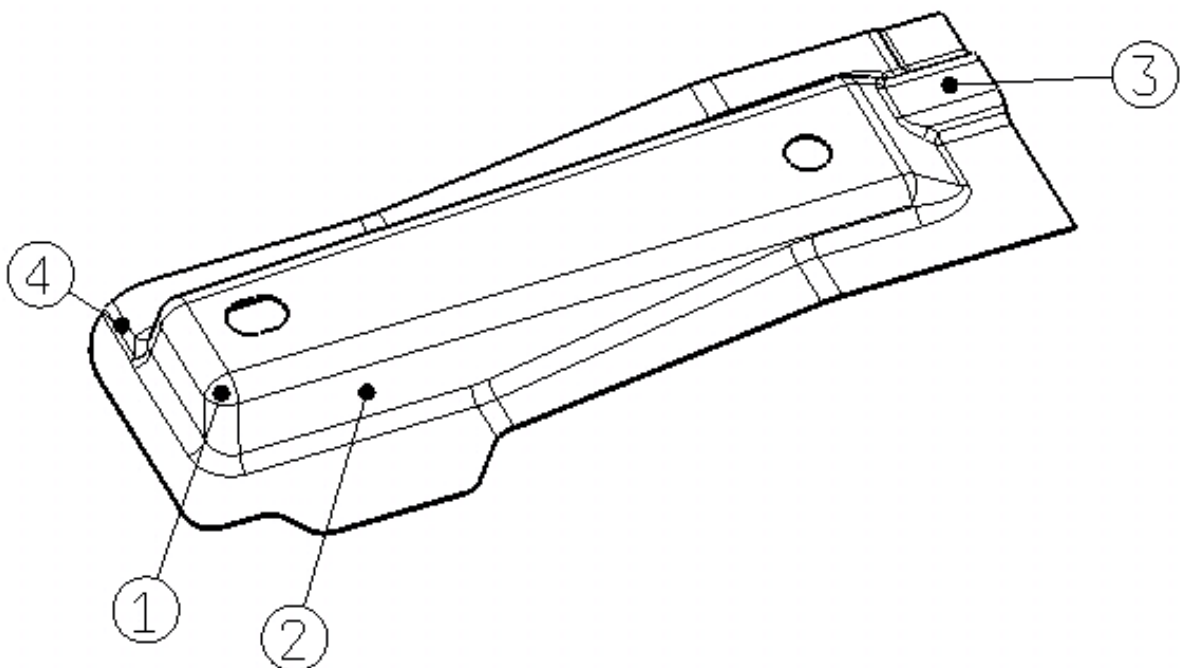
1. ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI VÝROBY SOUČÁSTI

Zadaný plechový dílec je možné zhotovit jen tažením a to buď klasickým způsobem pomocí pevného nástroje nebo tažením nepevným nástrojem – tažením kapalinou – zde existuje několik známých variant. Například podle [5] to může být metoda Hydroform, Verson – Wheelon atd.

Při zpracování plechů tažením dochází nejčastěji k jejich roztrhnutí nebo zvlnění. Pokud tyto poruchy zasahují do tvaru dílce, jedná se o zmetek, který musí být vyřazen. Velkým problémem je také odpružení, které se však dá do značné míry eliminovat a to vhodnou výslednou tvarovou geometrií a konstrukcí nástroje.

Uvedený plechový dílec patří do skupiny karosářských dílů, jež vynikají velikou tvarovou rozmanitostí a širokým spektrem zpracovávaných materiálů.

Konečný tvar je uveden na výrobním výkrese. Podle rozměrů se jedná spíše o menší výlisek. Svým tvarem se může přiřadit k hranatým výtažkům s přírubou (pro určení napjatosti a deformace).



Obr.1 Zhodnocení geometrie výlisku

Pro lepší názornost a zhodnocení tvaru výlisku s využitím [9] je uveden obr.1, kde význam pozic značí:

1 – místo nejhlubšího tahu – je z hlediska napjatosti a deformačních poměrů kritickým místem, protože zde může dojít k utržení dna vlivem vysokých tahových napětí, dále může vést k zhroucení (zdeformování) sousedních ploch

2 – boční stěny – jsou konstruovány pod otevřeným úhlem, to následně vede k usnadnění přehybu plechu ke kompenzaci odpružení. S tímto se musí počítat při konstrukci nástroje.

3 – prolis – pomáhá zvyšovat tuhost plechu, v tomto případě také pomáhá držet celkový tvar výlisku

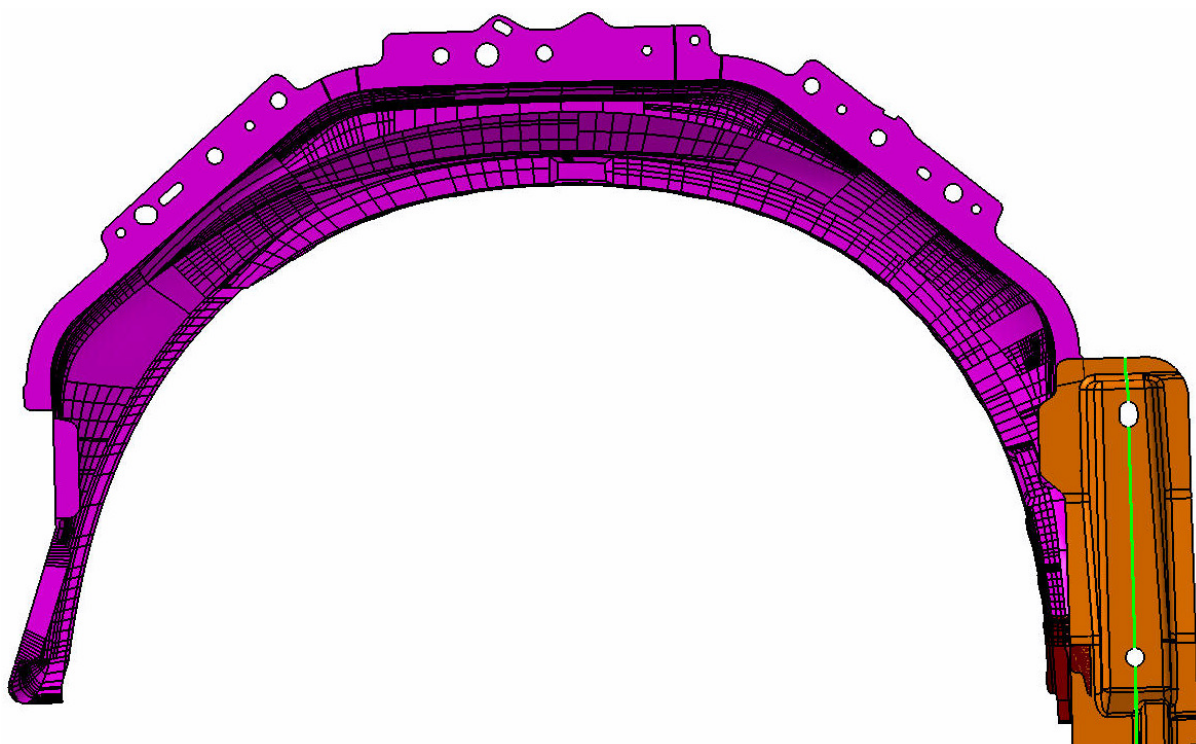
4 – místo s náhlou změnou tvaru – jsou příčinou trhlin a zkroucení.

Důležité je také dbát na minimální velikost zaoblení, které se nejčastěji volí v násobcích tloušťky plechu a měly by odpovídat deformačním schopnostem zvoleného materiálu.

Při návrhu součásti je proto nutné zohlednit zejména tyto kritéria:

- umístění na karoserii vozidla
- funkci
- vyrobitelnost

Tyto následně souvisí s výběrem vhodného materiálu, navrženou technologií výroby a konstrukcí nástrojů.



Obr.2 Návaznost sousedních plechů

1.1 Funkce součásti

Z předchozího obr.2 je patrné, že zadaný plechový dílec je součástí předního blatníku. Slouží jako jeho výztuha, to znamená, že přenáší mechanické zatížení. Jsou na něj kladeny zejména tyto požadavky:

- a) dostatečná rozměrová přesnost
- b) tuhost
- c) odolnost proti korozi (ta se zajistí až následně vytvořením ochranné vrstvy)
- d) možnost spojování se sousedními plechy

2. PROBLEMATIKA TAŽENÍ NEROTAČNÍCH SOUČÁSTÍ Z PLECHU

Svým principem je obdobná jako tažení rotačních výlisků. Problémy ale nastávají především s popisem deformačních a napjatostních poměrů v jednotlivých bodech výtažku a s přesností vyčíslení těchto důležitých parametrů. Toto úskalí může být způsobeno samotným tvarem součásti. Proto je nutné se více méně spoléhat na simulaci tvářecího procesu. V krajním případě je nutné vyrobít nástroj z levných materiálů (např. textit, epoxidové pryskyřice) a samotné vytažení výlisku ověřit.

I když celý výrobní postup zahrnuje vždy několik operací nutných pro získání konečného tvaru plechového dílce, je tato kapitola věnována jen tažení nerotačních součástí.

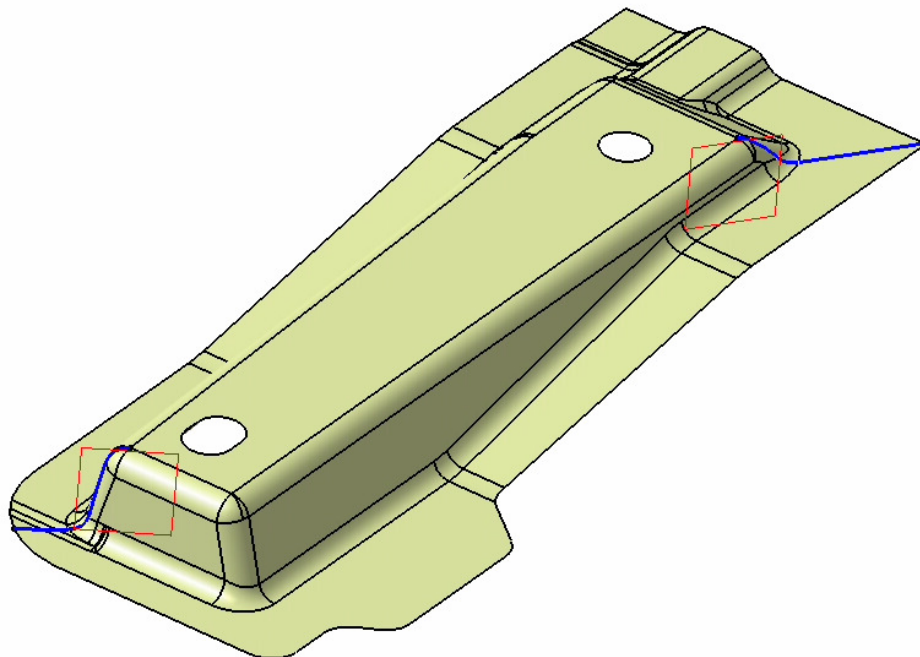
2.1 Stanovení velikosti a tvaru přístřihu

Polotovarem pro tažení je plochý přístřih. Následným působením formy se získá požadovaný geometrický tvar výlisku [3].

2.1.1 Rozvin součásti v rozích

Pro úspěšné tažení je nutné zejména v rozích správně stanovené množství materiálu. Není-li tomu tak, dochází k problémům. Při jeho nadbytku v uvedené oblasti je tok materiálu bržděn sám sebou, hrozí tak utržení dna výlisku. Naopak při nedostatku materiálu dojde k jeho vtažení přesahující obrys budoucího výlisku. Tento nedostatek již nelze nijak odstranit, takže výtažek je zmetek.

Tvar přístřihu by měl mít co nejjednodušší tvar z hlediska výroby střižného nástroje. Obr.3 ukazuje provedení rozvinu v rohových částech.

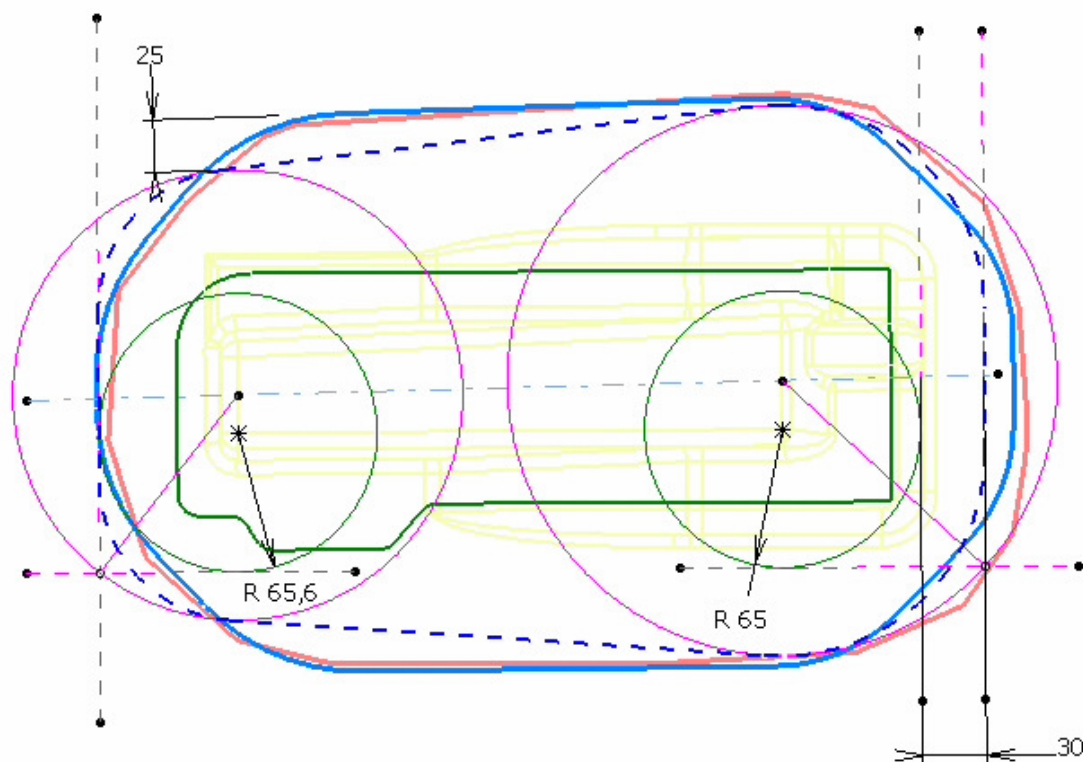


Obr.3 Rozvin součásti v rozích

Rozvin je proveden v rovině (na obr.3 znázorněna červeně) tak, že vychází ze středu rohového zaoblení takovým směrem, v němž je rozvinutá délka maximální.

2.1.2 Konečný tvar přístříhu a jeho porovnání s ostatními křivkami

Zhotovení přístříhu podle ČSN 22 7303 – Tažení dutých čtyřhranných výtažků – nelze provést, protože neplatí předpoklady v ní uvedené. Proto je předložen následující postup.



Obr.4 Tvorba ideálního tvaru přístříhu, porovnání s předběžným tvarem přístříhu

Postup při konstrukci optimálního tvaru přístříhu – názorně uveden v obr. 4

1. Rozvin tvaru v rozích → kružnice R65,6 a R65, jejichž středy jsou označeny kříží
2. Tečny k těmto kružnicím
3. Tvorba kružnic (označeny fialově), jejichž poloměr má velikost od středové osy k půsečíku tečen. Levá a pravá strana je konstruována odlišně.
4. Ořezání kružnic podle svislých tečen
5. Předběžný tvar přístříhu (přerušovaná tmavě modrá čára)
6. Přídavek na levé straně 25mm kvůli konstrukci nástroje (zahrnuje profil brzdných žebek)
7. Zkosení a zaoblení v rohových částech přístříhu
8. Konečný – ideální tvar přístříhu (plynulá modrá čára).

Dále je v obr.4 znázorněna červená čára představující přibližný tvar přístříhu namodelovaný při simulaci. Konečný tvar byl konstruován tak, aby se k němu co nejvíce blížil a křivka obrysu byla plynulá. Mírné odchylky jsou především v rohových oblastech.

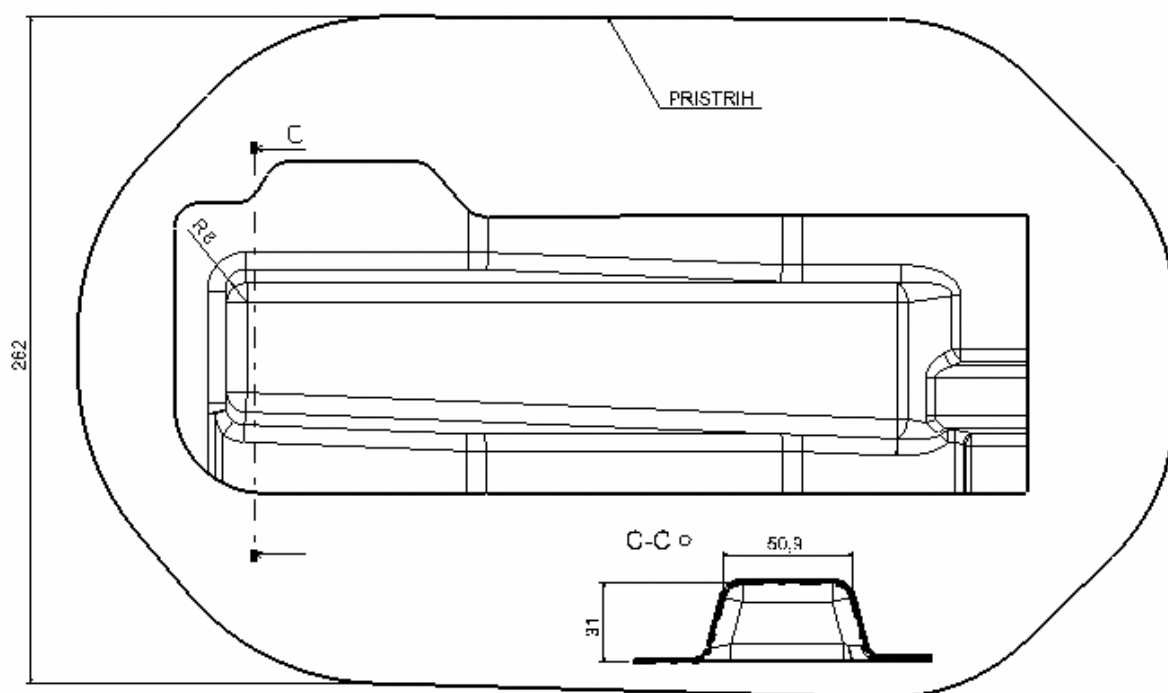
2.2 Stanovení počtu tahů [1]

O počtu tažných operací rozhoduje samotný tvar dílce. Je proto důležité stanovit jakých maximálně možných deformací v jednotlivých tazích lze docílit.

Přitom je snahou snížit počet tahů na minimum. Ušetří se tak náklady na materiál nástrojů a jejich výrobu.

Předpokládá se, že zadaný výtažek je možné zhotovit na jeden tah. Toto je ale potřeba prověřit. Rozhodující je hloubka výtažku dosažitelná v této jedné operaci, závisí na šířce krabice B, poměrném poloměru zaoblení v rozích i u dna $\frac{R_B}{B}$ a poměrné tloušťce přístřihu

$\frac{s_0}{D}$, kde D je šířka přístřihu [3]. Potřebné geometrické údaje jsou zaznačeny v obr.5 a jsou vztaženy ke kritickému místu.



Obr.5 Geometrické hodnoty potřebné ke stanovení počtu tahů

$$R_B = 8\text{mm} , B = 50,9\text{mm} , h_{výt} = 31\text{mm} , s_0 = 1\text{mm} , D = 262\text{mm}$$

Podle tabulky v příloze 3 se provede výpočet poměrné výšky $\frac{h}{B} = x$

kde $h = h_{kr}$ - kritická výška výlisku získaná na 1 tah [mm]

x – hodnota poměru $\frac{h}{B}$ [-]

Platí-li $h_{výt} < h_{kr}$, postačí 1 tažná operace.

Maximální výška výtažku[8], která může být vytažena, také závisí na konstrukci nástroje, mazání a mnoha dalších vstupech tvářecího procesu.

2.2.1 Stanovení součinitele tažení

Je v úzké spojitosti s předchozím bodem, neboť také rozhoduje o počtu tažných operací. Vlastnost, která zlepšuje hlubokotažnost oceli je normálová anizotropie. S vyšší hodnotou r_m se snižuje součinitel tažení [8], exponent deformačního zpevnění n v tomto případě nehraje roli (význam r_m a n vysvětlen později).

- kritický součinitel tažení [3]

$$m_{kr} = 0,71 * \sqrt{\frac{R_B}{h_{kr}}} \quad [-] \quad (2.1)$$

- skutečný součinitel tažení [3]

$$m_{skut} = 0,71 * \sqrt{\frac{R_B}{h_{výt}}} \quad [-] \quad (2.2)$$

Jestliže platí $m_{skut} > m_{krit}$, postačí 1 tažná operace.

2.3 Síly při tažení

Požadované tvarové změny plechu k výrobě výlisku se dosáhne působením sil, jejichž zdrojem je strojní zařízení – lis. Proto je nutné stanovit velikost tažné a přidržovací síly, která je rozhodujícím parametrem pro volbu stroje.

2.3.1 Tažná síla

Přesný výpočet tažné síly při lisování karosářských dílů je značně komplikovaný, protože velikosti deformace a míra zpevnění materiálu jsou v různých místech odlišné [5]. To dokládají samotné výsledky simulace, např. obr.28 a 29. Proto i vypočtená hodnota je pouze orientační a od skutečné se může velmi výrazně odlišovat.

Obecně známý vzorec

$$F_t = o * s * R_m * n \quad [N] \quad (2.3)$$

nezohledňuje vliv síly přidržovače F_p , který je v tomto případě dost podstatný.

Navržený empirický vztah dle Šofmana [1] tento problém zahrnuje a uvádí

$$F_p = 0,1 * \left(1 - \frac{18}{1 - m_{skut}} * \frac{s}{D}\right) * \frac{1}{m_{skut}^2} * F_t \quad [N] \quad (2.4)$$

Velikost přidržovací síly $F_p = 700 \text{ kN}$ je numericky zjištěna, proto sílu nutnou k vytažení lze odvodit z (2.4)

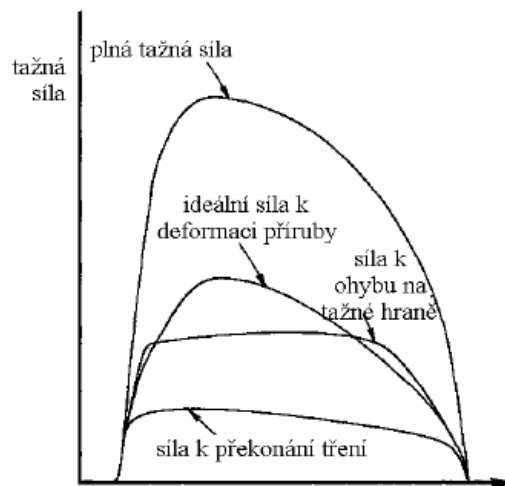
$$F_t = \frac{F_p}{0,1 * \left(1 - \frac{18}{1 - m_{skut}} * \frac{s}{D}\right) * \frac{1}{m_{skut}^2}} \quad [\text{N}] \quad (2.5)$$

zároveň musí být splněno $F_t < F_{kr}$

kde F_{kr} - síla způsobující utržení dna výlisku.

Kritickou tažnou sílu F_{kr} je možné určit z (2.5), je ale nutno dosadit hodnoty pro m_{kr} a symbol označující rozměr $D = 130,3 \text{ mm}$ je největší rozměr příruby – viz výrobní výkres výtažku.

Plná tažná síla [15] zahrnuje několik složek, z nichž největší podíl tvoří síla ke zplastizování příruby a síla k ohybu materiálu na tažné hraně – obr.6.



Obr.6 Plná tažná síla [15]

2.3.2 Přidržovací síla a její význam

Přidržovací síla [8] vzniká působením přidržovače na plech proti opačné části nástroje. Její velikost se určuje buď početně nebo numericky [11]. Jak vyplývá z dalšího textu, je stanovena numericky ($F_p = 700 \text{ kN}$).

Funkcí přidržovače [1] je zamezení tvorby vln na přírubě výlisku, hlavně v jeho rohových oblastech. Důležité proto je stanovení optimální hodnoty přidržovací síly F_p , díky níž bude proces tažení úspěšný. Dá se tak usoudit podle počtu vzniklých vln na přírubě, v tomto případě jen v oblasti rohového zaoblení. Vztah uvedený [2], který formuloval Kaftanoglu má tvar

$$F_p = 0,368 * N^2 * \sigma_k * \left[\frac{\frac{r_v}{R_2} - 1}{\frac{r_v}{R_2} + 1} \right] * s^2 \quad [\text{N}] \quad (2.6),$$

z něhož vyplývá počet vln

$$N = \sqrt{\frac{F_p}{0,368 * \sigma_k * \left[\frac{\frac{r_v}{R_2} - 1}{\frac{r_v}{R_2} + 1} \right] * s^2}} \quad [-] \quad (2.7)$$

σ_k - mez kluzu materiálu [MPa]

r_v - vnější poloměr příruby – přístřihu po vtažení [mm]

(křivka znázorňující tvar přístřihu po vtažení je taktéž součástí výstupu)

R_2 - vnitřní poloměr rovné části příruby [mm]

Při velmi malé přidržovací síle se pod přidržovačem na přírubě výtažku vytvoří relativně malý počet velmi vysokých vln – tím se rozumí 4 až 20vln. Při optimální přidržovací síle se jedná řádově o stovky velmi malých, prakticky akceptovatelných vln.

Konečná velikost přidržovací síly se ověří až v provozu při lisování plechů.

2.3.3 Celková síla

Je důležitá při volbě vhodného lisu.

$$F_c = F_t + F_p \quad [\text{N}] \quad (2.8)$$

2.4 Ověření použití přidržovače

Jako jedna ze vstupních veličin vkládaných do simlace je přidržovací síla F_p . Proto se dále uvažuje, že součástí konstrukce tažného nástroje bude i přidržovač. Je-li jeho použití oprávněné či nikoli, dokládá následující empirický vztah dle Šofmana uvedený např. v [3],[6] a ověřený praxí. Existují i další vzorce (dle Friedlinga, ČSN 22 7301), kdy princip pro ověření je obdobný, jsou taktéž uvedené v [3],[6].

- dle Šofmana $D - d \leq 18 * s_0 \quad [\text{mm}] \quad (2.9)$

Platí-li uvedená podmínka, lze táhnout bez přidržovače.

Význam jednotlivých symbolů je zřejmý z obr.5, v souladu se vztahem (2.9), je zde $d = B$.

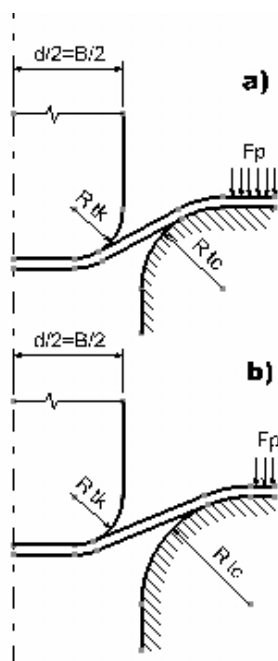
2.5 Zaoblení funkčních hran nástroje [1],[15]

Poloměr tažné hrany je významným parametrem procesu tažení. Vhodně zvolená velikost zaoblení tažníku a tažnice má podstatný vliv na velikost a průběh tažné síly, napětí, limitní deformace a vznik vln.

2.5.1 Poloměr zaoblení tažnice [1],[3],[15]

Má na průběh tažení hlavní vliv. Je důležité stanovit optimální velikost poloměru zaoblení tažnice R_{tc} . Jeho zvětšováním dochází:

- ke snížení součinitele tažení – umožňuje na 1 operaci vytáhnout hlubší výtažek
- ke snížení velikosti tvářecí síly
- ke snížení přidržovací síly, to je v úzké spojitosti s bodem d)
- k možné ztrátě stability příruby – hrozí zvlnění plechu, neboť dochází ke zmenšení přidržované plochy přístřihu – porovnání v obr.7 a),b).



Obr.7 Vliv poloměru tažné hrany tažnice R_{tc} na rozložení přidržovací síly a nevedené části výtažku [1]

Velikost poloměru R_{tc} je možné určit pomocí vzorců, tabulek, grafů [1],[3],[15]. Např.[3] uvádí

$$R_{tc} = 0,8 * \sqrt{(D - d) * s} \quad [\text{mm}] \quad (2.10)$$

2.5.2 Poloměr zaoblení tažníku [1]

Má především význam při vzniku tahových napětí vznikajících působením tažné síly na tvářený materiál. Se zmenšujícím se poloměrem R_{tk} - obr.7 - roste tahové napětí od ohybového momentu, dochází k zeslabování tloušťky výtažku. S tím souvisí i materiálová charakteristika – exponent deformačního zpevnění.

Velikost R_{tk} se při posledním tahu řídí zaoblením výtažku. Mělo by platit [3], že

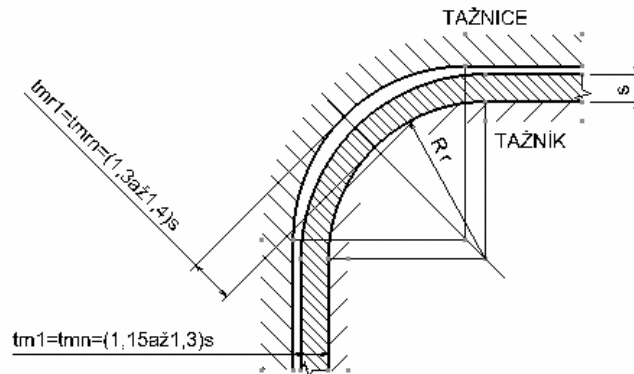
$$R_{tk} = (3až7) * s_0 \quad [\text{mm}] \quad (2.11),$$

podle [15] je poloměr zaoblení tažníku 1,5 až 2x menší než poloměr zaoblení tažnice.

2.6 Tažná mezera

[1],[3],[15]

Je prostor mezi tažníkem a tažnicí nezbytný pro průchod materiálu s přijatelným třením. Musí být větší než tloušťka zpracovávaného plechu i s ohledem na přípustnou toleranci plechu. Při tažení hranatých výtažků se volí tažná mezera různá (t_{m1}, t_{mr1}) v podélných stěnách a různá v kruhově zaoblených bočních stěnách z důvodů rozdílné intenzity deformace – obr.8.



Obr.8 Řez tažidlem proveden kolmo ke směru tažení [ČSN 22 7303]

Tažná mezera v podélných stranách pro první a další tahy

$$t_{m1} = t_{mn} = (1,15 \text{ až } 1,30) * s \quad [\text{mm}] \quad (2.12)$$

Tažná mezera v rozích pro první a další tahy

$$t_{mr1} = t_{mn} = (1,30 \text{ až } 1,40) * s \quad [\text{mm}] \quad (2.13)$$

Ve skutečnosti se jednotlivé části nástroje obrobí tak, aby tažná mezera byla konstantní (zvolí se jednotná vzdálenost pro všechny plochy). Při doladování tažného nástroje se rohové oblasti vybrousí, tak se zajistí zvětšení tažné mezery v těchto místech.

Příliš velká tažná mezera způsobuje zvlnění výtažku, menší než optimální má za následek zvětšení tažné síly, což může vést k utržení dna výtažku.

Při kalibračním tahu se velikost tažné mezery zmenšuje na hodnotu

$$t_{mk} = (1 \text{ až } 1,10) * s \quad [\text{mm}] \quad (2.14)$$

(může být i menší než je tloušťka plechu).

2.7 Vliv rychlosti tváření a rychlosti deformace [1],[8]

Rychlost tváření v [$m * s^{-1}$] je dána rychlostí pohybu činné části nástroje vůči polotovaru – závisí na volbě stroje (hydraulický, klikový lis). Pro většinu zpracovávaných materiálů je tento vliv nepodstatný.

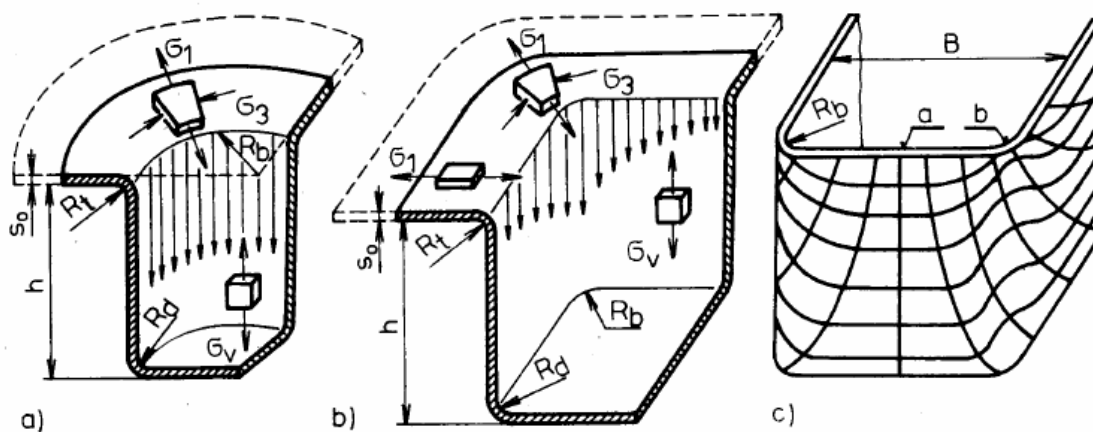
Rychlost deformace $\dot{\varphi}$ je obecně vyjádřena

$$\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} \quad [s^{-1}] \quad (2.15)$$

Se vzrůstající rychlostí deformace (a rychlostí pohybu nástroje) dochází ke zpevňování tvářeného materiálu – vzrůstá mez kluzu. Při tažení, kdy (obvykle) $\dot{\varphi} \approx 10s^{-1}$, je tento nárůst zanedbatelný.

2.8 Napěťový stav při tažení nerotačních výtažků [1],[2],[3],[15]

Tažení pravoúhlých a nepravidelně tvarovaných výtažků je složitější proces než tažení výtažků válcových. Tento stav vyplývá z napěťové nerovnoměrnosti podél tažné hrany a tím pádem dochází i k nerovnoměrným deformacím. Tento fakt názorně vystihuje obr.9. Velkou roli zde sehrává i šířka příruby.



Obr.9 Napjatost a deformace u tažení hranatých výtažků [15]

a) válcový výtažek, b) hranatý výtažek, c) deformace původně pravoúhlé sítě

σ_1 - napětí tahové (radiální) [MPa]

σ_3 - napětí tlakové (tangenciální) [MPa]

σ_v - výsledné tahové napětí (radiální) [MPa]

Napěťový stav se v přírubě uvažuje jako rovinný a ve stěně výtažku jako jednoosý, to platí současně pro válcový a pravoúhlý výtažek.

Válcové výtažky jsou typické tím, že napětí v přírubě a ve stěně nemění svoji hodnotu a ani směr a jsou rozložena rovnoměrně.

V rohové oblasti pravoúhlého výtažku se velikost a směr napětí v přírubě mění. Klesají a odchyľují se od radiálního směru k navazujícím bočním stěnám. V plášti se jednoosá napjatost taktéž mění. V rohové části dosahuje maxima a postupně klesá směrem k boční stěně pláště. V porovnání s největší hodnotou σ_v je toto napětí větší u rotačních výtažků. Jelikož číselné vyjádření $\sigma_1, \sigma_3, \sigma_v$ je velmi problematické kvůli proměnlivosti, není proveden jejich výpočet. Jistá podobnost je jen v rohových částech.

2.8.1 Vyrovnání napěťových poměrů

Uvedené druhy napětí – jejich mezní hodnoty způsobují při tažení jisté problémy. Vzrůstající σ_3 - tlakové napětí může vést ke ztrátě vzpěrné stability a tudíž ke zvlnění v oblasti příruby, zároveň však dochází k nárůstu σ_1 a σ_2 a hrozí tak výrazné ztenčení stěny tloušťky plechu (nebo jeho utržení) u dna výtažku. Tyto negativní vlivy lze eliminovat vhodnou konstrukcí tažného nástroje – realizací brzdných žeber - obr.24 a obr.26.

Jejich funkcí je:

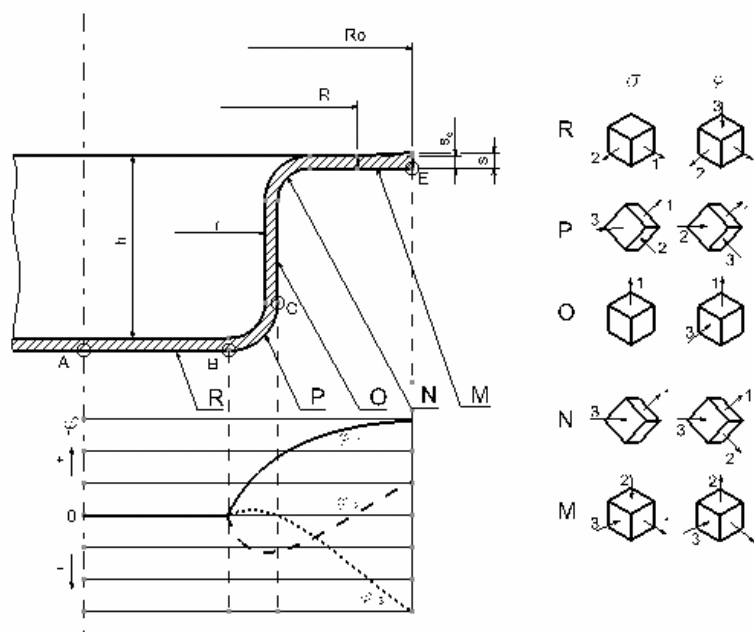
- zvětšit hodnotu napětí σ_2 (σ_1) na takovou úroveň, jaká je v rohových oblastech
- eliminovat tlakové napětí σ_3 a tím pádem i snížit možný výskyt zvlnění
- při tažení plechu přes tažné rádiusy vypnout materiál, tímto zvýší hodnotu plastické deformace a zároveň eliminují pružné deformace, které způsobují odpružení.

2.9 Deformace během tváření [2],[6]

Odezvou na vznikající napětí v tvářeném materiálu jsou deformace, jejichž vyjádření je podstatně jednodušší než tomu je u napětí. Její charakter se mění s narůstajícím zatížením – např. obr.14. Nejprve dochází k elastickým deformacím (ty po odtížení vrací těleso do původního rozměru). Jestliže napětí překročí mez kluzu $R_{p0,2}$, objevují se již pružně plastické deformace, po ukončení působnosti zatěžující síly, elastické deformace vymizí a plastické zůstanou, tím pádem je vytvořeno těleso požadovaného tvaru. Pružné deformace nejsou při výpočtech ve tváření uvažovány (v tomto případě jsou zanedbatelné).

Konečné deformace nelze přiřadit ke konečným složkám napětí, protože jsou součtovými hodnotami plastických deformací při různých stavech napjatosti.

2.9.1 Vyjádření deformací [3]



Obr.10 Napjatost a deformace ve sledovaných bodech výtažku [3]

Hranaté výtažky jsou si podobné svými schémata deformace a napjatosti jen v rohových oblastech s výtažky rotačních tvarů – obr.10 tyto stavy znázorňuje ve vybraných bodech (oblastech):

- oblast M - v přírubě polotovaru vzniká vlivem tlaku pžidržovače prostorová napjatost i deformace. V ploše příruby vznikají radiální tahová napětí σ_1 a tangenciální tlaková napětí σ_3 a k nim v kolmém směru osová tlaková napětí σ_2 . Dochází zde k nárůstu tloušťky plechu (až +10%) [5].
- oblast N - na poloměru tažnice vzniká složitá deformace, způsobená prostorovým ohybem za současného působení největšího radiálního tahového napětí σ_1 a malého tangenciálního tlakového napětí σ_3
- oblast O - válcová část výtažku je podrobena jednoosé tahové napjatosti σ_1 a rovinné deformaci
- oblast P - místo, kde přechází válcová část ve dno. Je zde nestejnorodá prostorová napjatost, jenž způsobuje značné prodloužení a ztenčení tloušťky stěny (podle [5] až 25%) \Rightarrow nejchoulostivější místo výtažku.
- oblast R - ve dně výtažku vzniká rovinná tahová napjatost a prostorová deformace. Zeslabení dna je zanedbatelné.

Deformace v radiálním směru

$$\varphi_1 = \ln \frac{R}{R_o} \quad [-] \quad (2.16)$$

Deformace tloušťky stěny

$$\varphi_2 = \ln \frac{s}{s_o} \quad [-] \quad (2.17)$$

Deformace v tangenciálním směru

$$\varphi_3 = -\ln \frac{R}{R_o} \quad [-] \quad (2.18)$$

Jednotlivé deformace jsou spolu svázány zákonem konstantního objemu, ten je platný pro každý bod výlisku a v celém průběhu tvářecího procesu. Při znalosti dvou složek deformací – např. z výsledků simulace (obr.28 a 29) snadno dopočítáme třetí.

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \quad [-] \quad (2.19)$$

Pro celkový účinek jednotlivých složek deformací [5] je zavedena efektivní deformace (intenzita deformace), ve výstupu simulace – obr.27 je takto míněno rozložení plastické deformace

$$\varphi_{ef} = \frac{\sqrt{2}}{3} * \sqrt{(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\varphi_2 - \varphi_3)^2 + (\varphi_3 - \varphi_1)^2} \quad [-] \quad (2.20)$$

a zároveň platí $\varphi_{ef} \geq 0$.

2.10 Odpružení [8]

Dnes je kladen hlavní důraz na přesnost a stálost rozměrů produktů. Typickým problémem při zpracování plechů do požadovného tvaru výlisku je odpružení, tzn. že skutečné rozměry a tvar se od teoreticky přesného liší.

Jestliže při určování plastických deformací a efektivní deformace v jednotlivých místech výlisku – viz předchozí kapitola 2.9 - je zanedbávána pružná deformace, v těchto případech tomu tak být nemůže a musí zde být brána v úvahu. Z toho plyne, že během tváření celková deformace zahrnuje složku plastickou a elastickou

$$\epsilon_{celk} = \epsilon_{el} + \epsilon_{p\dot{u}} \quad [-] \quad (2.21)$$

Tento fakt názorně vystihuje i tahový diagram, např. obr.14. Také je patrné, že velikost odpružení je úměrná celkovému napětí, proto je snahou se přiblížit mezním hodnotám – k bodu P ve více místech výtažku.

Vlivem elastických deformací může dojít k následujícím problémům:

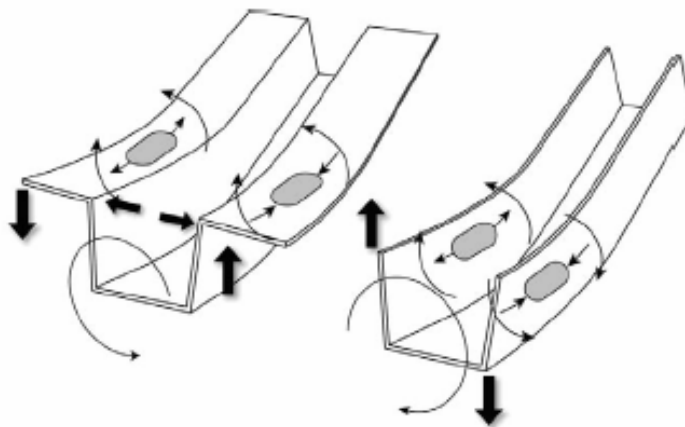
a) změna úhlu v příčném řezu

Je způsobena rozdílným napětím ve směru tloušťky plechu, když dochází k jeho ohýbání a rovnání přes zaoblení formy. Tento rozdíl napětí vytváří na tažném rádiu ohybový moment, po lisování dochází k jeho uvolnění, což v důsledku vede ke změně úhlu. Klíčem k odstranění nebo minimalizování změny úhlu je důležité tento moment zcela vyloučit nebo eliminovat.

b) zkroucení (twistování)

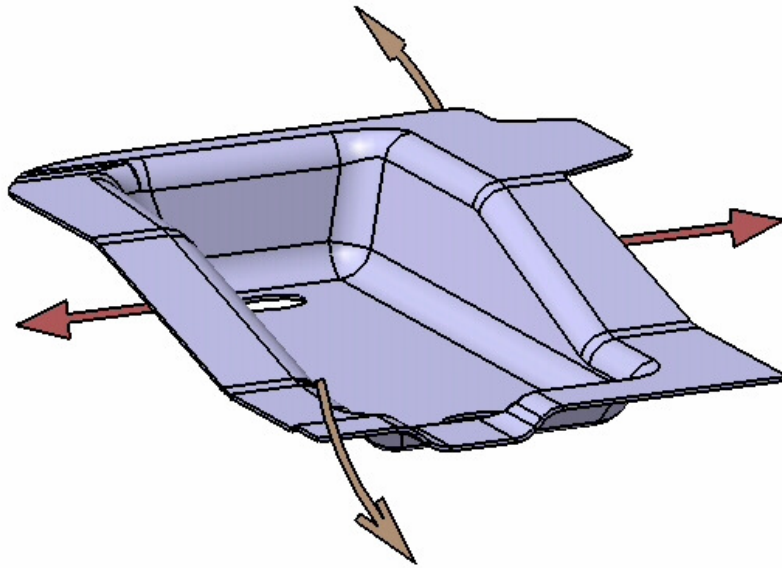
Je definováno jako dva řezy rotující rozdílně kolem svých os. Zkroucení je způsobeno krouticími momenty příčného řezu součástí. Zbytková napětí a nerovnoměrné odpružení působící v součásti vytváří dvojici sil (= krouticí moment), která má tendenci natáčet jeden konec dílce vůči druhému. Krouticí moment může pocházet z rovinných zbytkových napětí v přírubě, bočních stěn nebo z obou. Skutečná velikost zkroucení je určena vztahem mezi nerovnoměrně rozloženými napětími a samotnou tuhostí součásti ve směru kroucení. Celková velikost natočení je přímo úměrná celkové délce výlisku. Zmírnění tohoto problému je opět spojeno s eliminací momentu.

Obecně je možné tyto problémy (u takto tvarovaných součástí) názorně vystihnout obr.11.



Obr.11 Odpružení [8]

A následně konkretizovat na reálnou součást – obr.12.



Obr.12 Nežádoucí změny tvaru reálné součásti

Eliminace odpružení

- vypínání pomocí brzdných žeber
- tvarové výztuhy součásti – prolisy
- navrhnout hloubku součásti pokud možno rovnoměrnou
- zamezit dlouhým tenkým průřezům
- plynulé tvarové přechody, hlavně v oblastech stlačování kovu
- neprovádět konstrukci nástroje na přesný tvar modelu
- navrhnout zaoblení tažníku s přihlédnutím k deformačním schopnostem materiálu co nejmenší. Tím však dochází k výraznému nárůstu tahového napětí při přetahování přes tažné radiusy, hrozí výrazné ztenčení plechu.
- kalibrovací operace – k zajištění rozměrové přesnosti dochází mírným zmenšením zaoblení a vypnutím bočních stěn vlivem zvýšeného tření, které je způsobeno menší tažnou mezerou.

3. VOLBA MATERIÁLU VÝLISKU A OVĚŘENÍ JEHO VHODNOSTI K TVÁŘENÍ ZA STUDENA

Již výběrem vhodného materiálu lze ovlivnit požadavky kladené na dílec, které jsou uvedeny v odstavci 1.1.

Jedná se o ocel DC04, nepovlakované plechy. Podle naší normy je ekvivalentem ocel 11 305 (ocel hlubokotažná). Její mechanické a fyzikální vlastnosti, technologické údaje a použití jsou uvedeny v materiálových listech – Příloha 1.

[6] Tvařitelnost kovů a slitin je schopnost trvale měnit tvar bez porušení tvářeného tělesa v konkrétních technologických podmínkách. Základní potřebnou vlastností tvářeného materiálu je plasticita, která je definována velikostí plastického přetvoření do porušení tělesa, zahrnuje přitom tyto vlivy:

- teplotu
- stav napjatosti
- rychlost plastické deformace.

Pro co možné nejkompaktnější posouzení vhodnosti daného materiálu – oceli DC04 - z hlediska tvařitelnosti, bylo provedeno několik zkoušek (tahová, Erichsenova), dále výbrus a simulace tvářecího procesu.

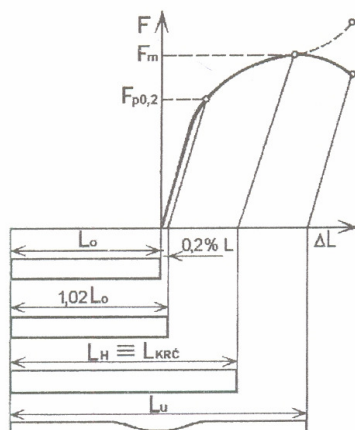
3.1 Tahová zkouška [1],[2],[7]

Patří k základním mechanickým zkouškám, díky níž se získají hodnoty charakterizující materiál. Podmínky jejího provedení se řídí normou ČSN 42 0310. Nevýhodou je, že zkušební vzorek – plochá tyč (ČSN 42 0321) – je namáhána jednoosým tahovým napětím. Tento stav se u technologie tažení vyskytuje jen zřídka, spíše to bývá 2-osá a 3-osá napjatost. Princip tahové zkoušky ukazuje obr.13.

V příloze 2 jsou uvedeny výsledky tahové zkoušky včetně pracovních diagramů, pro úplnost jsou dále vyhodnoceny i ostatní charakteristiky (níže uvedené) a pro přehlednost seřazeny v tabulkách – odstavec 3.1.1

Získané charakteristiky je možné rozdělit:

- napěťové $R_{p0,2}$, R_m [Mpa]
- deformační A_{80} , A_H [%], r , Δr , n [-]



Obr.13 Princip tahové zkoušky [6]

(Pozn. Kontrakce Z nebyla určována).

Vliv jednotlivých ukazatelů na tvařitelnost materiálu

- a) napěťové hodnoty $R_{p0,2}$, R_m charakterizují materiál spíš po stránce tvářecích sil, méně však po stránce deformační. Vhodným ukazatelem plasticity je ale poměr $\frac{R_{p0,2}}{R_m}$.
U jakostních ocelí je tento poměr $\leq 0,6$
[1],[4].

Přičemž uvedené hodnoty se vypočítají ze vzorců:

$$\text{- smluvní mez kluzu nevýrazná } R_{p0,2} = \frac{F_{p0,2}}{S_0} \quad [\text{Mpa}] \quad (3.1)$$

$$\text{- smluvní mez pevnosti } R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad [\text{Mpa}] \quad (3.2)$$

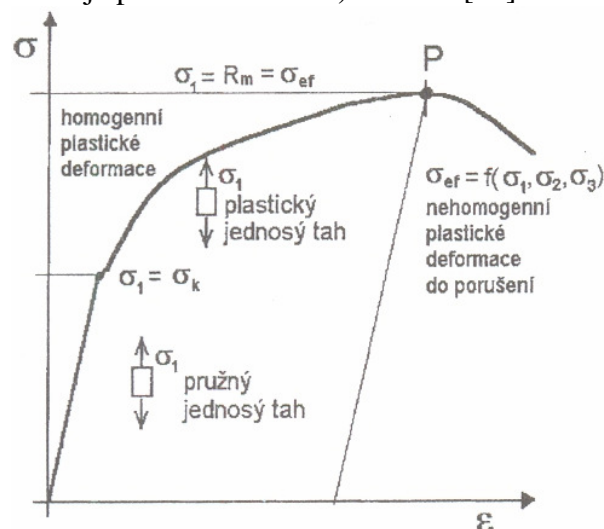
F – zatěžující síla na mezi kluzu / pevnosti
(podle indexu) [N]

S_0 - počáteční průřez zkušební tyče [mm^2]

- b) deformační charakteristiky

1. Tažnost A_{80}

- je dobrým údajem pro posouzení plasticity materiálu, vyhodnocuje se až po přetržení zkušební vzorku. Zahrnuje tak v sobě maximální homogenní deformace (prodloužení odpovídající mezi pevnosti materiálu = ϵ_r) a zároveň nehomogenní deformace (tj. od vzniku krčku po přetržení; v okamžiku přetržení je prodloužení = ϵ_r) – obr.14[10].



Obr.14 Deformace při tahové zkoušce [6]

$$A_{80} = \frac{L_u - L_o}{L_o} * 100 \quad [\%] \quad (3.3)$$

L_u - délka tyče po přetržení [mm]

L_o - původní délka tyče [mm]

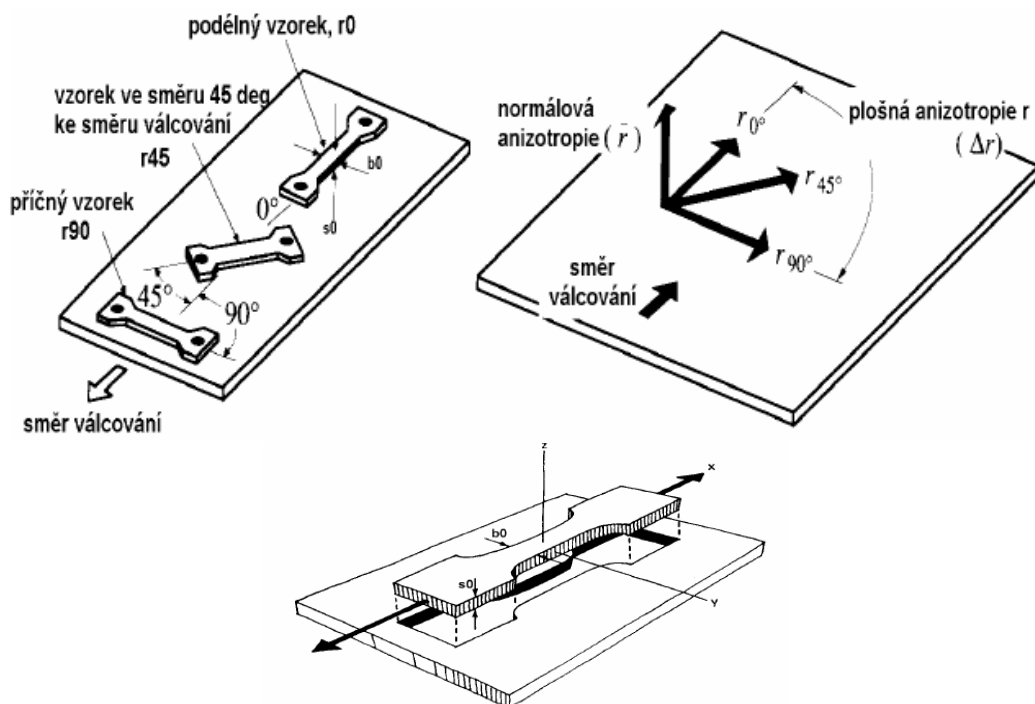
2. Homogenní tažnost A_H [2]

- zahrnuje v sobě jen homogenní (rovnoměrnou) plastickou deformaci materiálu, tzn. že je shora omezena mezí pevnosti – bod P v obr.14.

$$A_H = \varepsilon * 100 = \frac{L_H - L_o}{L_o} * 100 \text{ [\%]} \quad (3.4)$$

3. Normálová anizotropie r

- patří k nejdůležitějším parametrům při posuzování tvažitelnosti [10]
- vyjadřuje odlišnost mechanických vlastností a tím i velikosti deformací zjištěných v rovině plechu a v rovině k ní kolmé [8],[1]
- zjišťuje se při trvalém prodloužení 20% ($\varepsilon = 0,2$) [7]
- má význam jako ukazatel hlubokotažnosti (souvisí se stavem napjatosti) [10]
- vyhodnocuje se v závislosti na směru odběru vzorku vzhledem ke směru válcování – obr. 15



Obr.15 Anizotropie plechů [10]

$$r_\alpha = \frac{\varphi_b}{\varphi_s} = \frac{\ln \frac{b_0}{b_1}}{\ln \frac{s_0}{s_1}} = \frac{\ln \frac{b_0}{b_1}}{\ln \frac{(1 + \varepsilon) * b_1}{b_0}} \quad [-] \quad (3.5)$$

- střední hodnota koeficientu normálové anizotropie

$$r_m = \frac{1}{4} * (r_{0^\circ} + 2 * r_{45^\circ} + r_{90^\circ}) \quad [-] \quad (3.6)$$

Je-li u materiálu $r_m > 1$, je tento pro hluboké tažení výhodnější, protože lépe odolává nežádoucímu ztenčení plechu. [1]

Pro zadaný materiál výlisku nebyl koeficient r_m určen podle výše uvedených vzorců, ale byl stanoven z tab. v [1]: $r_m = 1,6$.

4. Plošná anizotropie Δr [6],[7]

- vyjadřuje rozdílnost mechanických vlastností v rovině plechu zjištěných ve směrech vzhledem ke směru válcování – obr.15
- nejvýrazněji plošnou anizotropii vykazují $R_m, R_{p0,2}, A_{80}$

$$\Delta R_m = \frac{(R_{m45^\circ} - R_{m0^\circ})}{R_{m0^\circ}} * 100 \quad [\%] \quad (3.7)$$

$$\Delta R_{p0,2} = \frac{(R_{p0,2 45^\circ} - R_{p0,2 0^\circ})}{R_{p0,2 0^\circ}} * 100 \quad [\%] \quad (3.8)$$

$$\Delta A_{80} = \frac{(A_{80 45^\circ} - A_{80 0^\circ})}{A_{80 0^\circ}} * 100 \quad [\%] \quad (3.9)$$

5. Exponent deformačního zpevnění n

- spolu s r_m nejdůležitější ukazatel technol. tvařitelnosti při plošném tváření [10]
- obvykle je pro danou ocel konstantní (ve skutečnosti se ale jeho hodnota mění v závislosti na prodloužení \Rightarrow okamžitá hodnota exponentu deformačního zpevnění) [8]
- má význam pro vypínání (souvisí se stavem napjatosti). Vysoké hodnoty n brání lokalizaci deformace způsobené konstrukčními tvary výlisku a tím působí na rovnoměrnější rozšíření plastické deformace do okolí při změně napětí, zeslabování tloušťky plechu není tak intenzivní. [11],[8]
- jeho hodnota je odvozena z exponenciální aproximace pracovního diagramu, má význam jen v oblasti homogenních plastických deformací (to je od meze kluzu po mez pevnosti) [1]

$$\sigma = k * \varepsilon^n \quad \text{nebo} \quad \sigma = k * \varphi^n \quad [\text{Mpa}] \quad (3.10)$$

k – materiálová konstanta [-]
 ε - poměrné prodloužení (deformace) [-]
 φ - skutečná (logaritmická) deformace [-]

Vztah mezi ε a φ je $\varphi = \ln(1 + \varepsilon)$ (3.11)

Vztah mezi R a σ je $\sigma = R * (1 + \varepsilon)$ (3.12)

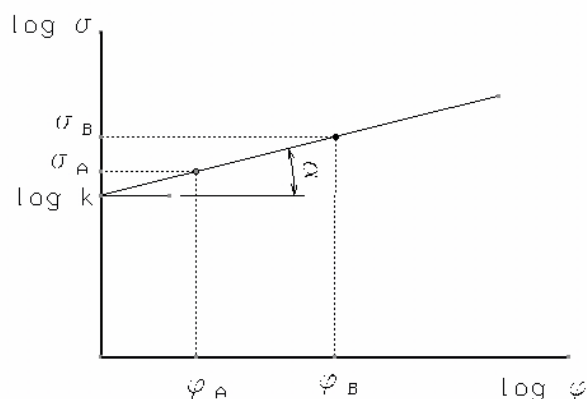
σ - skutečné napětí [Mpa]

R - smluvní napětí [Mpa]

Hodnota n se může určit 2 způsoby:

- a) Nejprve je nutné převést smluvní tahový diagram na skutečný[12] (provede se pomocí vztahů (3.11) a (3.12)). Pak logaritmováním rovnice (10) $\sigma = k * \varphi^n$ se získá vztah $\log \sigma = \log k + n * \log \varphi$ (3.13), který se v logaritmických souřadnicích – obr.16 - zobrazí jako přímka o směrnici

$$n = \operatorname{tg} \alpha \quad [-] \quad (3.14)$$



Obr.16 Určení hodnoty n [7]

Ta je určena 2 body: A [φ_A, σ_A], kde $\varphi_A = \ln(1 + \varepsilon_A)$, přičemž $\varepsilon_A = 0,1$
 [7] B [φ_B, σ_B], kde $\varphi_B = \ln(1 + \varepsilon_B)$, přičemž $\varepsilon_B = 0,2$

$$\sigma_A = \frac{F_A * L_A}{s_0 * b_0 * l_0}, \quad \sigma_B = \frac{F_B * L_B}{s_0 * b_0 * l_0} \quad (3.15)$$

(vychází ze zákona o konstantním objemu)

Výsledný vztah je
$$n = \frac{\log \sigma_B - \log \sigma_A}{\log \varphi_B - \log \varphi_A} = \frac{\ln \frac{F_B * (1 + \varepsilon_B)}{F_A * (1 + \varepsilon_A)}}{\ln \frac{\ln(1 + \varepsilon_B)}{\ln(1 + \varepsilon_A)}} \quad [-] \quad (3.16)$$

- b) Podle obr.14 je bod P počátkem plastické nestability – odsud se začínají projevovat nehomogenní plastické deformace – dochází ke vzniku krčku [6],[12].

$$n = \varphi_{krč} = \varphi_P = \ln(1 + \varepsilon_r) \quad (3.17)$$

Střední hodnota exponentu deformačního zpevnění se obvykle počítá ze vzorce

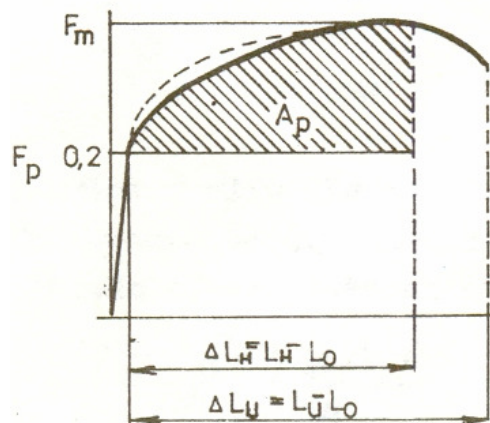
$$n_m = \frac{1}{4} * (n_{0^\circ} + 2 * n_{45^\circ} + n_{90^\circ}) \quad (3.18).$$

Jelikož jsou k dispozici pro každý směr odběru použity 2 zkušební tyče, je hodnota n_m vypočtena jako aritmetický průměr všech hodnot.

$$n_m = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6}{6} \quad (3.19)$$

6. Určení zásoby plasticity [2]

- vychází se z předpokladu, že čím daný materiál potřebuje více práce na svoji rovnoměrnou plastickou deformaci při tahové zkoušce, tím se bude i lépe tvářet za studena při jiných druzích deformací
- v podstatě se jedná o velikost práce A_p potřebné pro plastické přetvoření zkušební tyče. Její velikost odpovídá vyšrafované ploše v pracovním diagramu – obr.17. Je ohraničena mezí kluzu $R_{p0,2}$ a mezí pevnosti $R_m \Rightarrow$ má význam jen v oblasti homogenních plastických deformací.



Obr.17 Určení zásoby plasticity

Výpočet se provede ze vzorce

$$ZP = k * (R_m - R_k) * \frac{A_H}{100} \quad [N * mm * mm^{-3}] \quad (3.20)$$

k – konstanta k vystižení velikosti vyšrafované plochy, pro materiály s nevýraznou mezí

$$\text{kluzu je } k = \frac{3}{4}$$

R_m - mez pevnosti [MPa]

$R_k = R_{p0,2}$ - nevýrazná mez kluzu [MPa]

Podle [2] se ZP pohybuje okolo $30 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot \text{mm}^{-3}$ u lehce převálcovaných nízkouhlíkových ocelí uklidněných hliníkem, mezi něž se řadí i použitá ocel 11 305.

7. Koeficient využití plasticity

Při znalosti rozložení deformací φ_1 a φ_2 je výhodné určit koeficient využití plasticity (KVP) ve zvoleném místě, nejlépe tam kde jsou tyto hodnoty maximální. Ty se pak vynesou do grafu mezních deformací –viz obr.18 , jehož levá část zobrazuje místa na výtažku se smíšeným stavem napjatosti - tah + tlak, tj. v rohových částech příruby, naopak pravá část vyjadřuje oblasti s dvouosým tahem – kritické místo výtažku.

$$KVP = \frac{OP}{ON} \quad [-] \quad (3.21)$$

OP, ON – délka měřených úseků [mm]

Dále musí platit, že $KVP < 1$

Je-li $KVP > 1$, lze očekávat porušení materiálu nebo alespoň podstatné zmenšení jeho tloušťky v kritickém místě výlisku jako důsledek překročení meze rovnoměrné deformace [2].

V praxi by KVP neměl překročit hodnotu 0,8 vzhledem k možným odchylkám od předpokladu monotónní deformace. Důsledkem jsou možné odchylky od fyzikálních vlastností použitého materiálu a odlišná kvalita povrchu nástroje a způsobu mazání, které mohou ovlivnit předpokládaný průběh plastické deformace[2].

3.1.1 Číselné vyjádření ukazatelů tvařitelnosti

Běžné údaje získané z tahovézkušky ($R_{p0,2}$, R_m , A_{80}) neposkytují úplné zhodnocení tvářeného materiálu, proto jsou určeny další podstatné údaje z odstavce 3.1.

- a) Napět'ové charakteristiky - poměr $\frac{R_{p0,2}}{R_m}$

Hodnoty těchto poměrů jsou uvedeny v tab.1 pro každý vzorek.

Vzorek	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	$\frac{R_{p0,2}}{R_m}$ [-]
1 (0°)	178	317	0,56
2 (0°)	177	319	0,55
3 (45°)	195	329	0,59
4 (45°)	193	327	0,59
5 (90°)	177	315	0,56
6 (90°)	179	316	0,57

Tab.1 Hodnoty poměru $\frac{R_{p0,2}}{R_m}$

- b) Deformační charakteristiky

1. Tažnost A_{80} - učena přímo ve výsledcích v úvodu přílohy 2 podle vzorce (3.3)

2. Homogenní tažnost A_H

- výpočet proveden ze vzorce (3.4)

Vzorek	Lo [mm]	L_H [mm]	ε [-]	A_H [%]
1 (0°)	80	103	0,2875	28,75
2 (0°)		103	0,2875	28,75
3 (45°)		103	0,2875	28,75
4 (45°)		101	0,2625	26,25
5 (90°)		101	0,2625	26,25
6 (90°)		102	0,275	27,5

Tab.2 Homogenní tažnost A_H

3. Normálová anizotropie r

- z jednotlivých záznamů nebyla vyhodnocena, její hodnota byla stanovena $r_m = 1,6$

4. Plošná anizotropie Δr

- byla zjištěna mezi vzorky 1 a 3 pro hodnoty $R_m, R_{p0,2}, A_{80}$ ze vzorců (3.7) až (3.9)

Vzorek	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	ΔA_{80} [%]
1	317	178	44,2
3	329	195	36,5

ΔR_m [%]	$\Delta R_{p0,2}$ [%]	ΔA_{80} [%]
3,79	9,55	-17,42

Tab.3 Hodnoty plošné anizotropie

5. Exponent deformačního zpevnění n

- dle vztahu (3.17)

Vzorek	ε [-]	n [-]
1 (0°)	0,2875	0,251
2 (0°)	0,2875	0,251
3 (45°)	0,2875	0,251
4 (45°)	0,2625	0,236
5 (90°)	0,2625	0,236
6 (90°)	0,275	0,245

Tab.4 Hodnoty exponentu deformačního zpevnění

- střední hodnota exponentu deformačního zpevnění (3.19)

$$n_m = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6}{6}$$

$$n_m = \frac{3 * 0,251 + 2 * 0,236 + 0,245}{6}$$

$$\underline{n_m = 0,245}$$

6. Zásoba plasticity ZP

- vztah (3.20)

Vzorek	k [-]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A_H [%]	ZP [$N * mm * mm^{-3}$]
1 (0°)	3 4	317	178	28,75	29,97
2 (0°)		319	177	28,75	30,62
3 (45°)		329	195	28,75	28,89
4 (45°)		327	193	26,25	26,38
5 (90°)		315	177	26,25	27,17
6 (90°)		316	179	27,5	28,26

Tab.5 Zásoba plasticity ZP

7. Určení koeficientu využití plasticity

Pro jeho určení je nutná znalost materiálových charakteristik r_m a n_m (zjištěno vyhodnocením podkladů tahových diagramů) a deformací φ_1, φ_2 ve sledovaných bodech. Velikosti deformací jsou určeny z výsledků simulace – viz další kapitola.

Hodnoty φ_1, φ_2 pro bod v kritickém místě a pro bod ležící na přírubě výlisku v rohové oblasti (body P) jsou názorně vyneseny do grafu teoretických křivek mezních deformací – obr.18, ten je platný pro materiál charakterizovaný hodnotami $r_m = 1,6$ a $n_m = 0,245$, kde $n_m = \varepsilon_r$ je max. hodnota rovnoměrné plastické deformace a zároveň platí $n = \varphi_{krč} = \varphi_P = \ln(1 + \varepsilon_r)$.

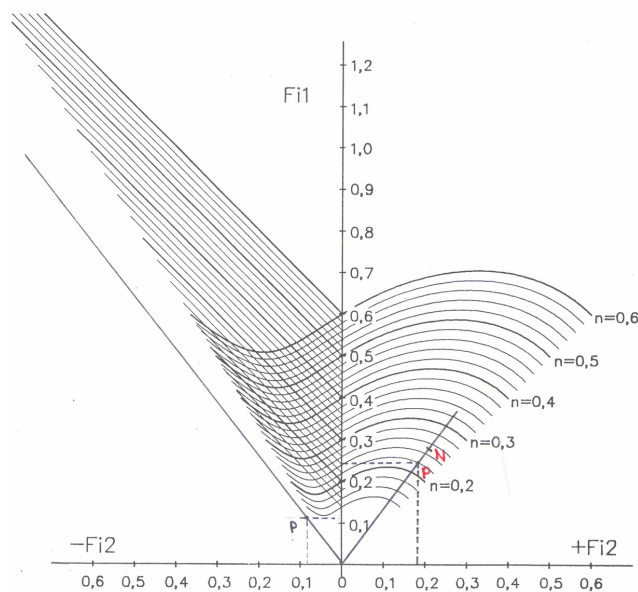
Pravá část grafu – vyjadřuje místa s dvouosou tahovou napjatostí

- pro bod P [φ_1, φ_2] (označen červeně) platí tyto hodnoty: P [0,24;0,18]

- bod N je průsečík polopřímky OP a křivky pro uvedenou hodnotu n

Levá část grafu – vyjadřuje místa se smíšenou tahovu + tlakovou napjatostí

- bod P [0,11;-0,09]



Obr.18 Křivky mezních deformací [2]

Pro konkrétní případ v obr.18, kdy $OP = 31mm$, $ON = 35mm$ je

$$KVP = \frac{OP}{ON}$$

$$KVP = \frac{31}{35}$$

$$\underline{KVP = 0,89}$$

Platí také, že $KVP < 1$.

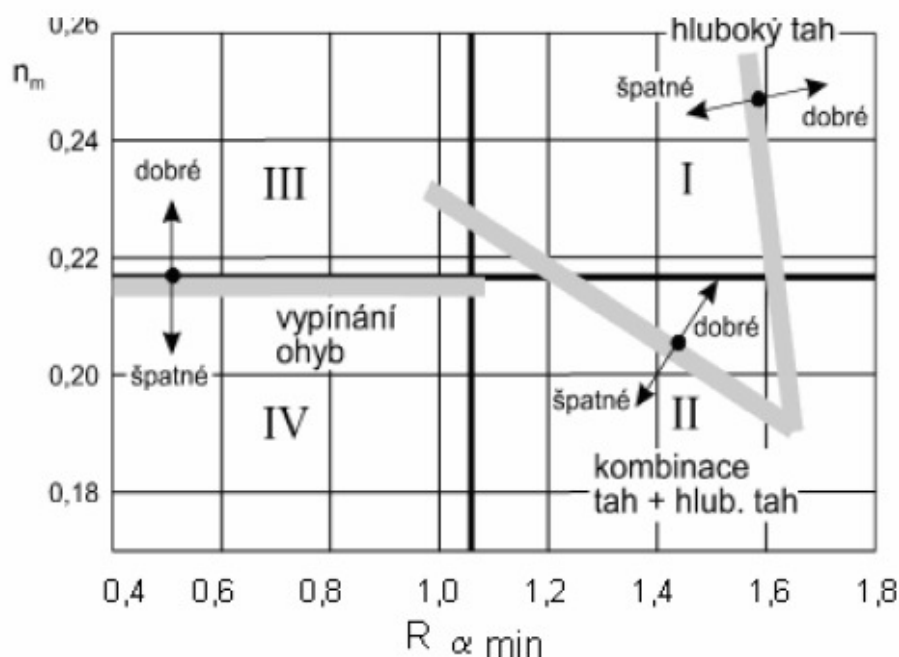
Obr.25 dokazuje, že v kritickém místě výtažku dochází k výraznému ztenčení plechu, materiál ale nepraská. Je také patrné (i z ostatních výsledků simulace), že největší plastické deformace a také hodnota KVP je maximálně využita právě v tomto místě – je tedy lokalizována vlivem nejdelšího časového působení nástroje (dáno požadavkem geometrie = nejhlubší místo), naopak v ostatních bodech výlisku se plastická deformace pohybuje v přiměřených hodnotách.

V levé části grafu (obr.18) polopřímka OP neprotíná žádnou mezní křivku. Z hlediska deformace a výskytu vad na výlisku je tedy toto místo nepodstatné.

3.1.2 Společný význam parametrů n_m a $r_{\alpha \min}$ [10]

Jak bylo řečeno dříve, má koeficient normálové anizotropie význam při hlubokém tažení, kde je napjatost smíšená – tahová i tlaková. Exponent deformačního zpevnění se uplatňuje především při vypínání - dvouosý stav tahové napjatosti.

Jelikož se jedná o tažení karosářského výrobku, kde lze očekávat všechny uvedené stavy napjatosti, je výhodné, když zpracovávaný materiál vykazuje hodnoty n_m a r_m pokud možno co nejvyšší (při zohlednění požadků v kapitole 1 a odstavci 1.1).



Obr.19 Ověření vhodnosti zpracovávaného materiálu na základě IT [11]

Z vypočtených hodnot n_m a $r_{\alpha \min}$ lze určit index tvařitelnosti jako jejich součin a vynést do obr.19. Použitý materiál je charakterizován těmito hodnotami:

$$n_m = 0,245$$

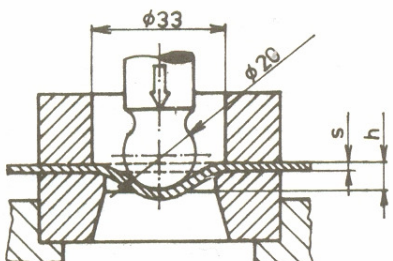
$$r_{\alpha \min} = 1,6 \quad (\text{označení } R_{\alpha \min} \text{ je totožné})$$

Pozn. Protože hodnota $r_{\alpha \min}$ není známá, je za ni vzata hodnota r_m .

$$\text{Index tvařitelnosti } IT = r_{\alpha \min} * n_m \quad [-] \quad (3.22)$$

3.2 Zkouška hloubením

Je také známa jako Erichsenova zkouška. Je vhodná pro posuzování jakosti tenkých plechů pro zpracování za studena – např. karosářské účely. Její provedení je stanoveno ČSN 42 0406. Dobře modeluje vypínání za dvojosého tahu. Princip je zřejmý z obr.20. [11],[5]



Obr.20 Princip Erichsenovy zkoušky [6]



Obr.21 Zkušební vzorek

Ukazatelem tvařitelnosti je velikost dosaženého prohloubení v okamžiku vzniku trhliny IE. Tímto je také možné posuzovat poměr deformačních a napěťových charakteristik zkoumaného materiálu a tím jeho vhodnost pro tváření [5]. Tabulka 6 ukazuje výsledky zkoušky.

Vzorek	IE [mm]
1	12,50
2	12,36
3	12,43

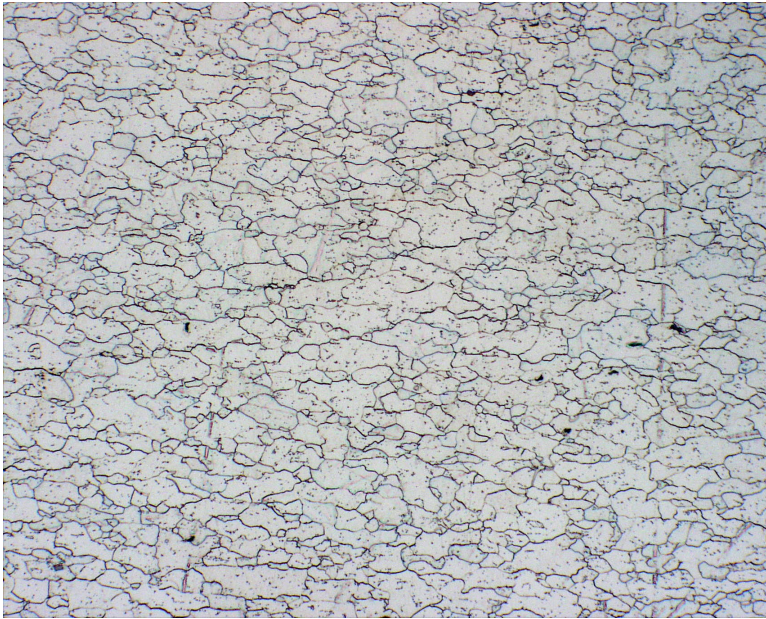
Tab.6 Výsledky Erichsenovy zkoušky

V materiálových listech (příloha 1) je pro tento materiál a tloušťku plechu 1mm **IE = 10,7mm.**

Důležitá je také orientace vzniklé trhliny, která má být rovnoběžná s vrstevnicí kulového vrchlíku – obr.21, je-li toto splněno, je plech vhodný k tváření [11].

3.3 Hodnocení výbrusu

Výsledná struktura oceli má rozhodující vliv na její vlastnosti využitelné při tváření. Ta je dána chemickým složením (uvedeno v materiálovém listu – Příloha1) a postupem výroby. Metalografickým výbrusem – obr.22 - zpracovávané oceli bylo zjištěno:



Zvětšení: 200x

Leptáno: 2% ní nital

obr.22 Výbrus oceli DC04 (11305)

1. Struktura – feriticko-karbidická

To znamená, že volný uhlík a dusík je vázán pomocí karbidotvorných (Al) a nitridotvorných prvků (Ti, V) a vytváří s nimi stabilní sloučeniny. Hliník je využit taky na desoxidaci tavné lázně – jedná se o ocel uklidněnou. Ty mají vyšší odolnost proti stárnutí (změna mechanických vlastností v čase) oproti ocelím neuklidněným. Dobu, do kdy se musí ocel zpracovat je deklarována dodavatelem, popř. je možné toto ověřit Erichsenovou zkouškou. [4]

2. Mírná textura – zrna jsou mírně protažená. To je způsobeno lehkým převálcováním plechu za studena. Tím se dosáhne slabého zpevnění feritické matrice a zlepšení kvality povrchu, protože oceli uklidněné mají v porovnání s ocelmi neuklidněnými horší povrch [4].

3. Velikost zrna – 6 až 7 [4]

Komplexním zhodnocením podkladů získaných z výše uvedených zkoušek a porovnáním s jinými materiály, lze konstatovat, že zvolený materiál svými vlastnostmi a jejich hodnotami je pro zhotovení dílce plošným tvářením zcela vyhovujícím a je zároveň schopen plnit požadavky na něj kladené.

4. SIMULACE TVÁŘECÍHO PROCESU [8],[13],[14],[16],[17]

Přesněji řečeno se jedná o využití výpočetní techniky v procesu tváření. Při simulaci ve virtuálním prostředí lze na základě CAD dat konkrétního výlisku připravit celou technologii výroby po jednotlivých výrobních operacích od vytvoření přístřihu až po konečné vyrobení výlisku. Snadno tak lze zjistit, zda vůbec je daný plechový dílec vyrobitelný – na základě vyhodnocení výstupů - při zadání konkrétních technologických parametrů a konstrukci navržené lisovací formy. Tento postup je možné opakovat a docílit tak nastavení optimální konstrukce nástroje a technologických podmínek, popř. navrhnout geometrickou změnu výlisku. V podstatě simulace přináší minimalizaci časových ztrát, resp. snížení nákladů ve výrobě.

Tato kapitola předchází kapitole 5 – Výpočtová část, neboť některé výstupní hodnoty jsou následně využity ve výpočtech.

Simulace byla provedena v softwaru AUTOFORM, využívající při výpočtu metody konečných prvků (FEM).

4.1 Zadávané vstupní parametry

Přesnost výsledků simulace je ovlivněna řadou veličin, jež je nutné do výpočtu zahrnout, tak aby výstupy byly co nejbližší skutečnosti. Nejvíce se na tomto podílí chování materiálu, tření a systém nástroj – stroj. Důležité je správné nastavení hodnot těchto vlivů.

4.1.1 Materiálový model výlisku

Zahrnuje v sobě fyzikální vlastnosti, které přímo ovlivňují chování lisovaného materiálu. Většinou jsou uloženy v databázi materiálů, která je součástí programu. Jestliže tomu tak není, je nutné zadat hodnoty zjištěné např. tahovou zkouškou.

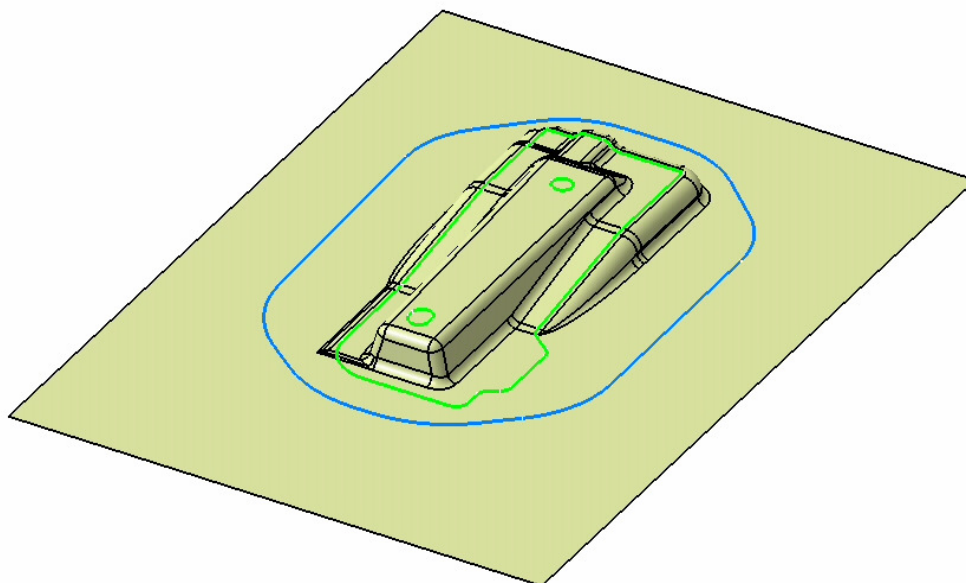
- ocel DC 04, ekvivalentem dle ČSN je 11 305.

4.1.2 Materiálový model nástroje

V tomto případě obsahuje údaje o funkčních plochách nástroje. Jeho volba ovlivňuje především podmínky tření a tuhost nástroje. Může to být nástrojová ocel, tvárná litina nebo šedá litina.

4.1.3 Ořezová plocha

Základem je tvarová plocha požadovaného výlisku. K ní je nutné vytvořit zaoblení, zkosení...a zalepení děr. Vzniká tak ořezová plocha – obr.23, která obsahuje jak tvar výlisku, tak funkční plochy jednotlivých částí nástroje (tažník, tažnice a přidržovač). Ta zároveň poslouží k následné konstrukci nástroje. K tomu je nutné zadat ještě tloušťku plechu a směr, kterým směřuje od myšlené plochy.



Obr.23 Ořezová plocha

4.1.4 Tvar přístřihu

Velmi důležité je stanovení kontury přístřihu – v obr.23 vyznačena modře. Ideální tvar usnadňuje plynulý tok materiálu, zejména v rozích.

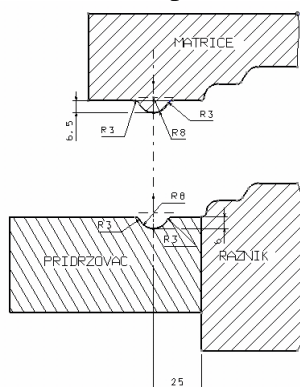
4.1.5 Brzdná žebra

Při tažení tvarově složitých vylisků jsou téměř vždy nutné pro jejich úspěšné zhotovení. Hlavní funkce spočívá v regulaci toku materiálu, především pak v rohových oblastech budoucího výtazku.

Je nutné stanovit jejich

- počet
- geometrii
- rozmístění

Použitou geometrii a umístění těchto funkčních prvků nástroje ukazuje obr.24.



Obr.24 Geometrie brzdných žeber

4.1.6 Stanovení velikosti přidržovací síly

Většinu karosářských výlisků je nutné táhnout pomocí přidržovače. V tomto konkrétním případě je jeho použití (pro ucelenost) doloženo početně ve výpočtové části.

- zadaná hodnota $F_p = 700kN$ (dříve 70t)

4.1.7 Určení hodnoty součinitele tření

Při vtahování plechu (přístřihu) dochází k jeho kontaktu s funkčními plochami nástroje, především na tažných rádiusech, jde tedy o vzájemné tření. Při tvářecím procesu hraje zcela zásadní roli, neboť ovlivňuje napjatostní poměry v průřezu přetvářeného plechu a má tak vliv na tečení materiálu v dutině formy. Tření je vyvoláno smykovým napětím a číselně vyjádřeno takto:

$$\tau = f * \sigma \quad [\text{MPa}] \quad (4.1)$$

f - součinitel tření [-]

σ - normálové napětí [MPa]

Při tažení se hodnota f pohybuje v rozmezí 0,1 až 0,15.

- zadaná hodnota $f = 0,1$

Velikost tření lze ovlivnit kvalitou opracování funkčních ploch nástroje (parametr R_a) a použitým mazivem.

4.1.8 Nahrazení objektů nástroje a tvářeného plechu

Zde je myšleno jednotlivými plochami tažidla – tažníku, tažnice a přidržovače – a plochou přístřihu. Pro simulaci je nutné tyto objekty nahradit prvky (elementy), jenž jsou vzájemně spojeny a vytváří tak síť.

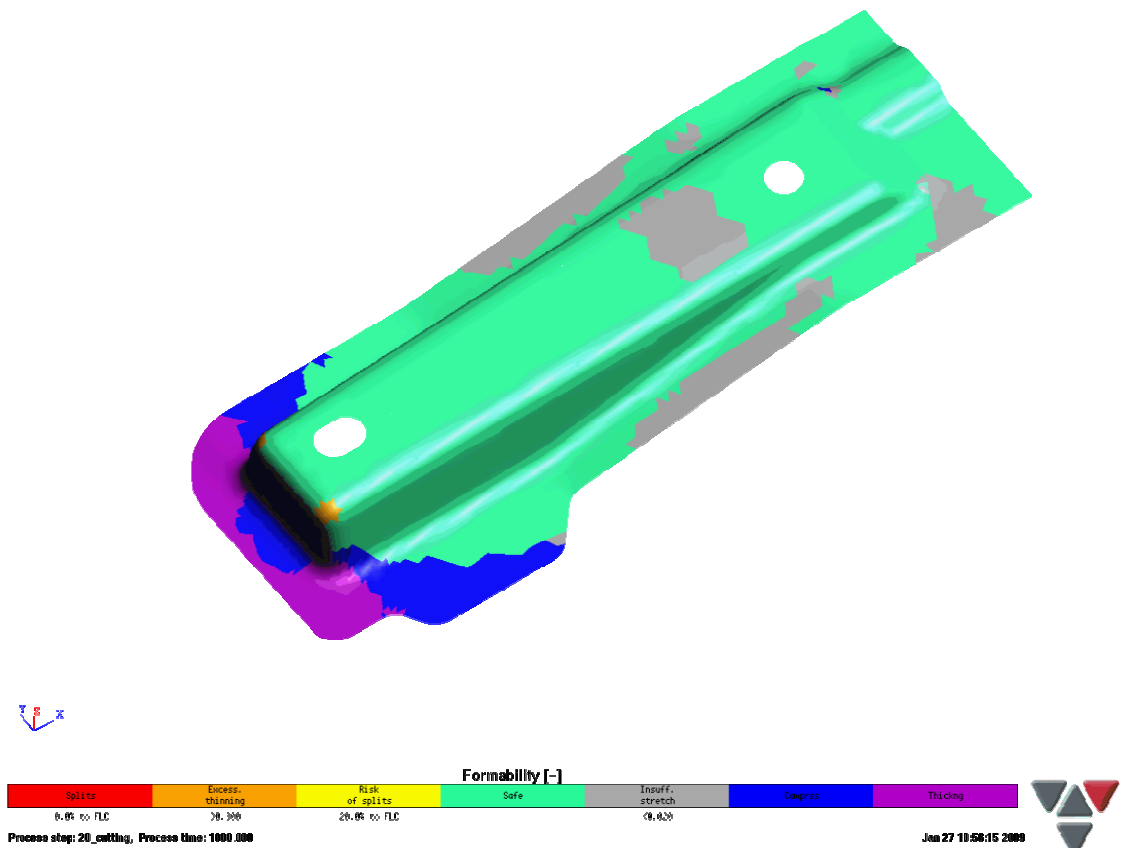
- elementy tvořící síť jsou trojúhelníky.

(S tímto je spojena volba hustoty sítě, která rozhoduje o přesnosti výsledků se skutečností, má však vliv na dobu vyhodnocování).

4.2 Výstupy simulace

Na základě výstupů se vyhodnotí, zda navržená konstrukce nástroje a technologické parametry vedou k úspěšnému zhotovení vylisku.

a) celkové zhodnocení lisovatelnosti



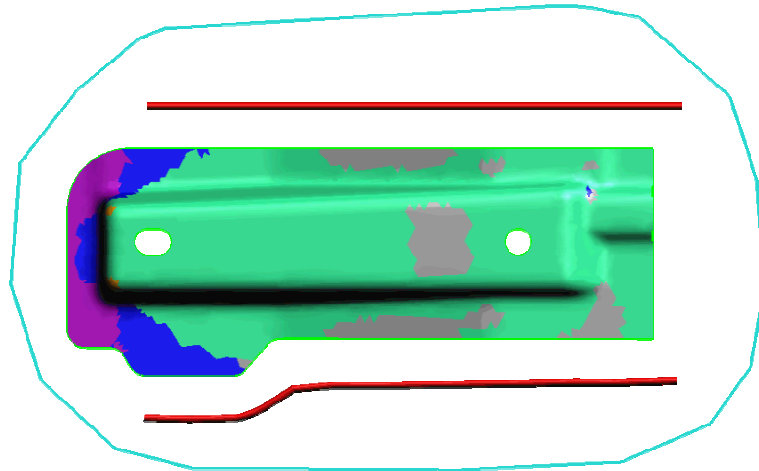
Obr.25 Celkové zhodnocení lisovatelnosti

Popis k obr.25 – význam jednotlivých barevných pásem

- zelená plocha – zde je plech bezpečně vylisován
- šedá plocha – nedostatečné vylisování (natažení)
- modrá plocha – stlačování
- fialová plocha – zvětšení tloušťky plechu
- žlutá plocha – riziko prasknutí
- oranžová plocha – podstatné snížení tloušťky plechu
- červená plocha – prasknutí

V oblasti nejhlubšího tahu (kritické místo) dochází k výraznému ztenčení vlivem dvouosé tahové napjatosti.. V podstatě u každého vylisku je v těchto místech plech takto výrazně ztenčen. Naopak v přírubě hrozí zvlnění plechu působením tahového + tlakového napětí.

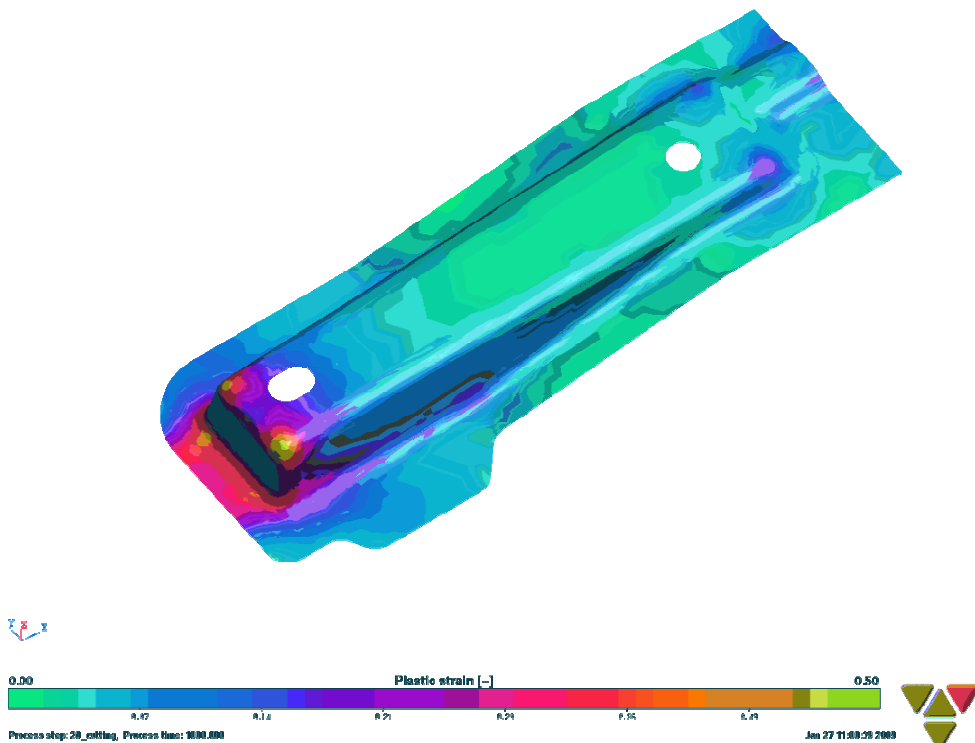
b) umístění brzdných žeber, stanovení přibližného tvaru přístříhu



Obr.26 Umístění brzdných žeber, přibližný tvar přístříhu

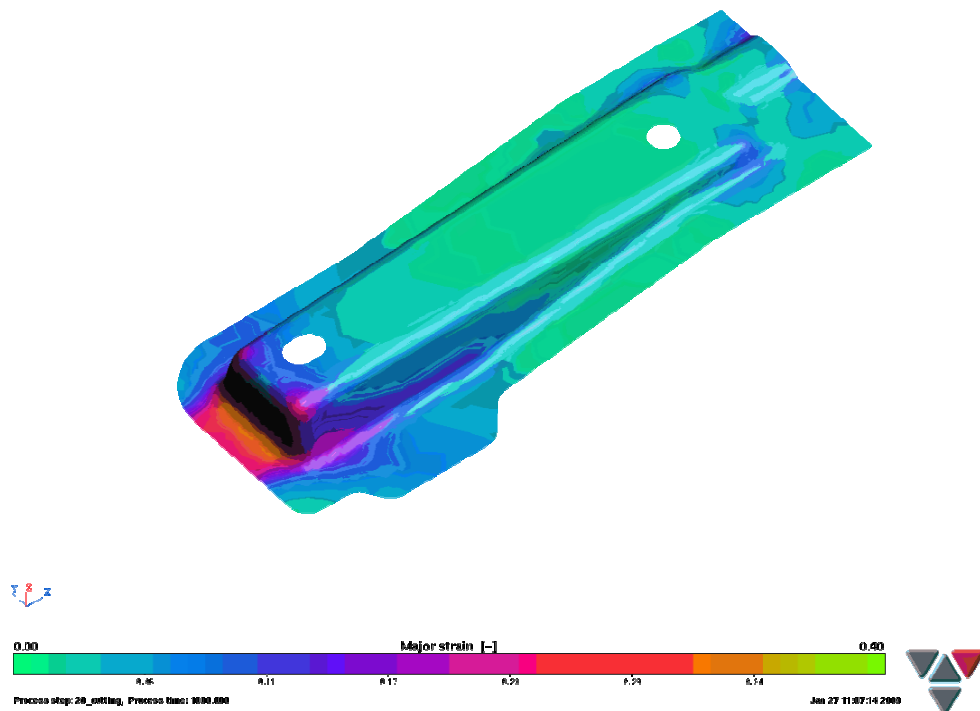
V obr.26 je stanoven přibližný tvar přístříhu (světle modrá barva), ten bude následně upraven do konečné podoby – viz tvorba přístříhu..Červené čáry představují umístění brzdných žeber, jejichž geometrie je uvedena na obr.24. Jejich význam z hlediska řízení stavu napjatosti je vysvětlen v dříve podkapitole 2.8.1.

c) rozložení plastické deformace

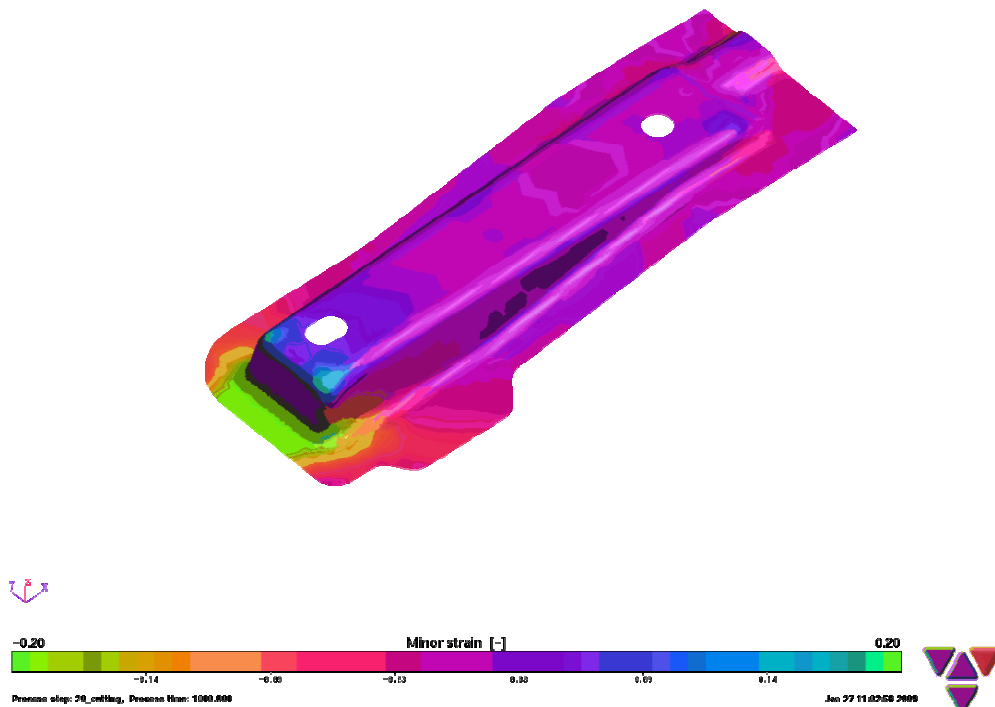


Obr.27 Rozložení plastické deformace

d) rozložení hlavních deformací φ_1 , φ_2

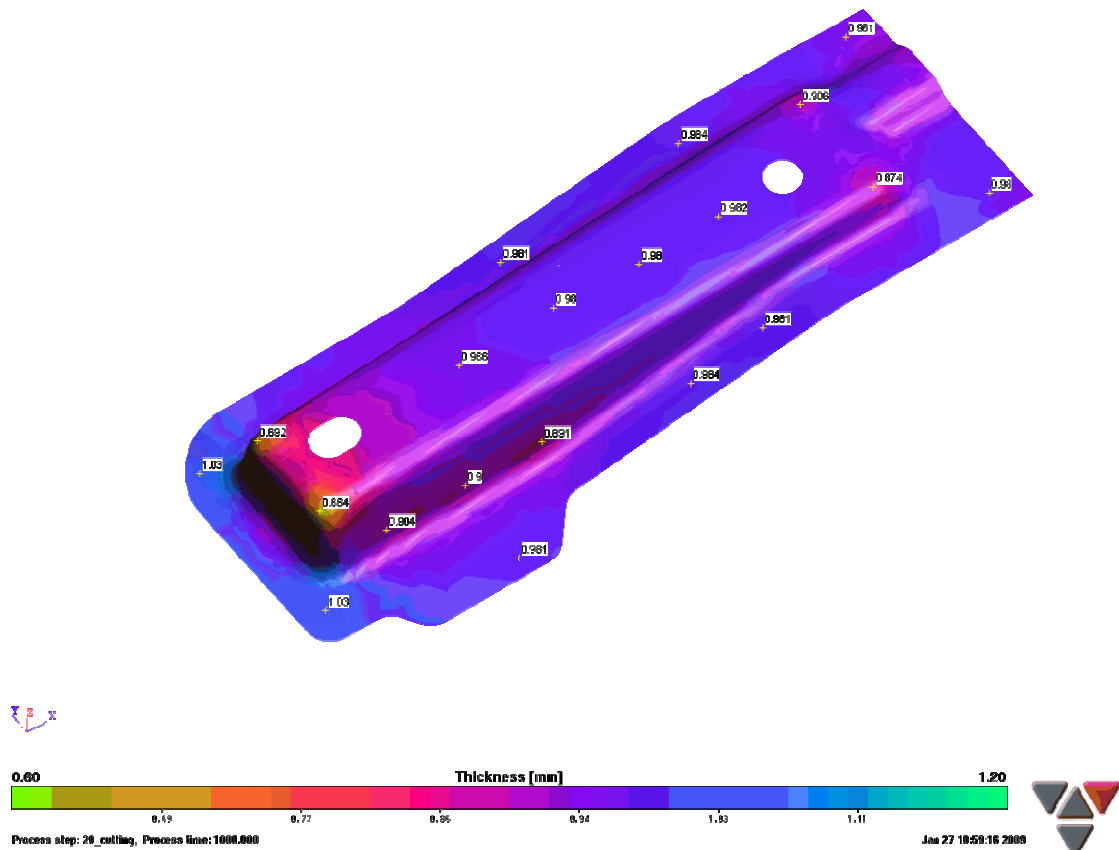


Obr.28 Rozložení hlavních deformací φ_1



Obr.29 Rozložení hlavních deformací φ_2

e) změna tloušťky plechu



Obr.30 Změna tloušťky plechu

V obr.30 je vidět změna tloušťky plechu od původní (1mm), jsou zde uvedeny i konkrétní hodnoty ve vybraných bodech. Změnu tloušťky je možné spojit s rozložením plastické deformace a také stavem napjatosti.

4.3 Zhodnocení výstupů simulace

Simulace tvářecího procesu potvrdila, že zadaný výtažek je vyrobitelný na 1 tah. Je však zapotřebí provést opatření, která eliminují nežádoucí výrazné ztenčování v kritickém místě výlisku. Je možné provést

- optimalizaci tvaru přístřihu
- snížení tření mezi plechem a nástrojem na straně tažnice [1]
- regulaci velikosti F_p
- v místě nejhlubšího tahu přidržovač co nejbližně svislé stěně výlisku
- změna geometrie výlisku (jen pokud to jde v návaznosti na sousední plechy)
 - zvětšení rohového zaoblení
 - zvětšení zaoblení u dna výtažku
 - zvětšit sklon navazující plochy

Úpravou geometrie, zejména se zvětšováním zaoblení, dochází k výraznějším problémům s odpružením a tedy k nemožnosti dodržet přesné rozměry.

5. VÝPOČTOVÁ ČÁST

Zde jsou aplikovány vzorce uvedené v kapitole 2, týkající se procesu tažení.

5.1 Stanovení počtu tahů

$$D = 262mm$$

Podle tabulky v příloze 3

$$B = 50,9mm$$

$$\frac{R_B}{B} = \frac{8}{59} = 0,157$$

$$h_{výřt} = 31mm$$

$$\frac{s_0}{D} * 100 = \frac{1}{262} * 100 = 0,382$$

$$s_0 = 1mm$$

$$R_B = 8mm$$

$$\Rightarrow \text{poměrná výška } \frac{h_{kr}}{B} = 0,62$$

(geometrické rozměry – viz obr.5)

$$\Rightarrow h_{kr} = B * 0,62$$

$$h_{kr} = 50,9 * 0,62$$

$$\underline{h_{kr} = 31,6mm}$$

Jestliže $h_{výřt} < h_{kr}$

$$\underline{31 < 31,6mm} \quad - \text{ platí}$$

Výtažek je možno zhotovit na 1 tah.

5.1.1 Stanovení součinitele tažení

- kritický součinitel tažení – vztah (2.1)

$$m_{kr} = 0,71 * \sqrt{\frac{R_B}{h_{kr}}}$$

$$m_{kr} = 0,71 * \sqrt{\frac{8}{31,6}}$$

$$\underline{m_{kr} = 0,357}$$

- skutečný součinitel tažení – vztah (2.2)

$$m_{skut} = 0,71 * \sqrt{\frac{R_B}{h_{výřt}}}$$

$$m_{skut} = 0,71 * \sqrt{\frac{8}{31}}$$

$$\underline{m_{skut} = 0,361}$$

Jestliže $m_{skut} > m_{krit}$

$$\underline{0,361 > 0,357} \quad - \text{ platí}$$

Výtažek je možno zhotovit na 1 tah.

5.2 Výpočet sil při tažení

- tažná síla (nutná pro zhotovení výtažku) – dle (2.5)

$$F_p = 700 \text{ kN} \quad F_t = \frac{F_p}{0,1 * \left(1 - \frac{18}{1 - m_{skut}} * \frac{s}{D}\right) * \frac{1}{m_{skut}^2}}$$
$$F_t = \frac{700 * 10^3}{0,1 * \left(1 - \frac{18}{1 - 0,361} * \frac{1}{262}\right) * \frac{1}{0,361^2}}$$
$$\underline{F_t = 1\,022\,143 \text{ N}}$$

- kritická tažná síla (způsobí utržení dna) – dle (2.5)

$$D = 130,3 \text{ mm} \quad F_{kr} = \frac{F_p}{0,1 * \left(1 - \frac{18}{1 - m_{kr}} * \frac{s}{D}\right) * \frac{1}{m_{kr}^2}}$$
$$F_{kr} = \frac{700 * 10^3}{0,1 * \left(1 - \frac{18}{1 - 0,357} * \frac{1}{130,3}\right) * \frac{1}{0,357^2}}$$
$$\underline{F_{kr} = 1\,136\,258 \text{ N}}$$

Protože $F_t < F_{kr}$
 $1\,022\,143 \text{ N} < 1\,136\,258 \text{ N}$ - nedojde k utržení dna

5.3 Výpočet celkové tažné síly

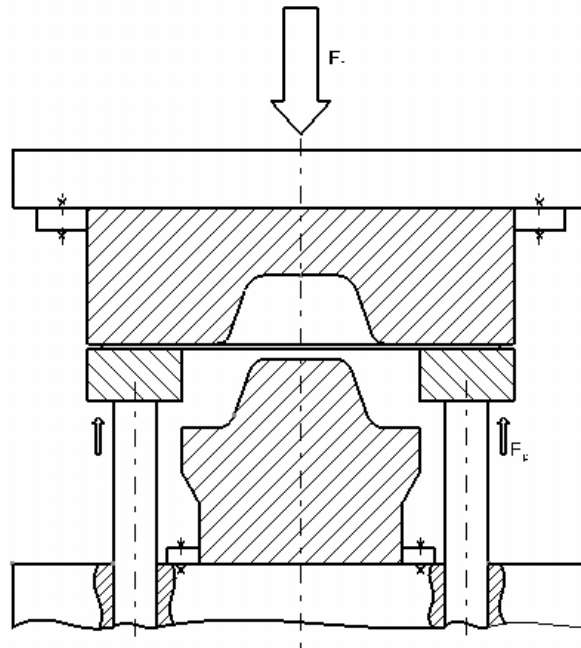
$$F_c = F_t + F_p$$
$$F_c = 1\,022\,143 + 700 * 10^3$$
$$\underline{F_c = 1\,722\,143 \text{ N}}$$

Tažná síla F_t je vyvozována působením beranu lisu. Přidržovací síla F_p vzniká působením přidržovače vůči protější části nástroje (tažnici). Přidržovač je ovládán spodními kolíky lisu. Schematicky tento proces vystihuje obr.31.

Zároveň musí platit

$$F_c < F_j \text{ , kde } F_j \text{ je jmenovitá síla lisu [kN].}$$

Při nedodržení této podmínky nedojde k vylisování plechu.



Obr.31 Celková síla při tažení

5.4 Volba stroje

Při volbě lisu vhodného pro danou operaci tažení je rozhodujícím parametrem celková tažná síla. Konkrétní lis je vybrán ze strojového parku podniku, zároveň je přihlíženo k jeho výrobním možnostem.

Byl vybrán tento:

Hydraulický lis dvojčinný CTM 400 NC – D s těmito parametry

- síla tažného beranu (jmenovitá) 4 000 kN
- síla spodního přidržovače 1 600 kN
- sevřená výška bez univerzálních desek 360 mm
- sevřená výška s univerzálními deskami 230 mm
- rozevřená výška bez univerzálních desek 920 mm
- rozevřená výška s univerzálními deskami 790 mm
- vyjetí kolíků nad univerzální desku max.230 mm
- rozměry stolu 1 600 x 1 500mm.

Konstrukce nástroje se řídí výškou sevření – pro tažný nástroj – bez univerzálních desek, dále velikostí stolu, rozmístěním upínacích drážek a otvorů pro kolíky.

5.5 Výpočet střižné síly

Hodnota střižné síly přímo nesouvisí s problematikou tažení, nicméně je určena jen orientačně pro ověření parametrů lisu a tehdy, je-li zavedení stříhání opodstatněné.

- pro zhotovení přístříhu

$s = 1mm$ - tloušťka plechu

$L = 1173mm$ - délka stříhu (obr.23 – modrá křivka)

$R_m = 329MPa$ - pevnost materiálu zjištěná tahovou zkouškou – nejvyšší hodnota

$\tau_{ps} = 0,8 * R_m = 0,8 * 329 = 263,2MPa$ - pevnost materiálu ve stříhu (střížný odpor)

$n = 1,1 - 1,5$ - koeficient zahrnující otupení nástroje, voleno $n = 1,3$

$$F_s = \tau_{ps} * L * s * n$$

$$F_s = 263,2 * 1173 * 1 * 1,3$$

$$F_s = 401\,353\,N$$

- pro vystřížení konečného tvaru součásti

$L = 898,5mm$ (obr.23 – zelená křivka), ostatní parametry stejné jako u předchozího výpočtu

$$F_s = \tau_{ps} * L * s * n$$

$$F_s = 263,2 * 898,5 * 1 * 1,3$$

$$F_s = 307\,430\,N$$

Pro operaci stříhání je výhodnější klikový lis. Co se týká porovnání velikosti střížné síly a jmenovité síly, je možné zvolit stejný stroj jako pro tažení.

5.6 Ověření použití přidržovače

$D = 262mm$

$d = B = 50,9mm$

$s = 1mm$

- dle Šofmana (2.9)

$$D - d \leq 18 * s$$

$$262 - 50,9 \leq 18 * 1$$

$$\underline{211,1 \leq 18} \quad - \text{neplatí} \quad \Rightarrow \underline{\text{přidrřovač je pro tažení nutný}}$$

5.7 Ověření velikosti přidřovací síly

Je provedena s ohledem na počet vzniklých vln v rohové části vřtažku.

$r_v = 65mm$

$R_2 = 16mm$

$\sigma_k = R_{p0,2} = 195MPa$ - mez kluzu - nejvyšší hodnota zjištěná při tahové zkoušce

$s = 1mm$

- dosazením těchto hodnot do vzorce (2.7) je vypočteno

$$N = \frac{F_p}{\sqrt{0,368 * \sigma_k * \left[\frac{r_v}{R_2} - 1 \right] * s^2}}$$

$$N = \frac{700 * 10^3}{\sqrt{0,368 * 195 * \left[\frac{65}{16} - 1 \right] * 1^2}}$$

$$\underline{N = 127 \text{ vln}}$$

Jelikož se jedná řádově o stovky vln (navíc jen v rohové oblasti výtažku), je velikost přídržovací síly zvolena vhodně.

5.8 Konstrukční parametry nástroje

Velmi významně ovlivňují samotný proces tažení a mají také přímý vliv na zhotovení kvalitních výtažků.

5.8.1 Velikost zaoblení tažnice

$$D = 262mm \quad - \text{ (vztah 2.10) } R_{tc} = 0,8 * \sqrt{(D - d) * s}$$

$$d = 50,9mm \quad R_{tc} = 0,8 * \sqrt{(262 - 50,9) * 1}$$

$$s = 1mm \quad R_{tc} = 11,62$$

$$\underline{R_{tc} \approx 12 \text{ mm}}$$

5.8.2 Velikost zaoblení tažníku

Protože je výtažek zhotoven na 1 tah, odpovídá zaoblení tažníku přímo zaoblení výtažku, $R_{tk} = 8mm$.

5.9 Určení velikosti tažné mezery

- pro 1. tažnou operaci

$$s = 1mm$$

$$- \text{ vztah (2.12) } t_{m1} = (1,15 \text{ až } 1,30) * s$$

$$\begin{aligned} \text{voleno } t_{m1} &= 1,2 * s \\ t_{m1} &= 1,2 * 1 \\ t_{m1} &= \underline{1,2mm} \end{aligned}$$

Rohové oblasti se vybrousí následně, zde by měla být
(dle (2.13))

$$\begin{aligned} t_{mr1} &= (1,30až1,40) * s, \text{ tzn.} \\ t_{mr1} &= \underline{1,30až1,40mm} \end{aligned}$$

- pro kalibrační tah

$$\text{- vztah (2.14) } t_{mk} = (1až1,10) * s$$

$$\begin{aligned} \text{voleno } t_{mk} &= 1 * s \\ t_{mk} &= 1 * 1 \\ t_{mk} &= \underline{1mm} \end{aligned}$$

5.10 Složky deformace a efektivní deformace v kritickém místě výtažku

S využitím výsledků simulace (obr.28 a 29) je možno určit

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= 0,24 \\ \varphi_2 &= 0,18. \end{aligned}$$

Třetí složka deformace je vyjádřena ze zákona konstantního objemu – vztah (2.19)

$$\begin{aligned} \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 &= 0 & \Rightarrow \varphi_3 &= -\varphi_1 - \varphi_2 \\ & & \varphi_3 &= -0,24 - 0,18 \\ & & \varphi_3 &= \underline{-0,42} \end{aligned}$$

Následně dosazením do (2.20) se vypočte hodnota efektivní deformace

$$\begin{aligned} \varphi_{ef} &= \frac{\sqrt{2}}{3} * \sqrt{(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\varphi_2 - \varphi_3)^2 + (\varphi_3 - \varphi_1)^2} \\ \varphi_{ef} &= \frac{\sqrt{2}}{3} * \sqrt{(0,24 - 0,18)^2 + (0,18 + 0,42)^2 + (-0,42 - 0,24)^2} \\ \varphi_{ef} &= \underline{0,42} \end{aligned}$$

Přesnost výsledku φ_{ef} v požadovaném místě závisí na správném odečtení složek φ_1 a φ_2 příslušné stupnice obr.28 a 29.

Tímto postupem lze určit φ_{ef} v libovolném místě výtažku.

6. MOŽNÉ ZPUSOBY VÝROBY

Při návrhu vhodné výrobní technologie je nutné zohlednit některá kritéria, která se v konečné fázi projeví v hospodárnosti a efektivnosti výroby a tím také v její ziskovosti.

Rozhodujícími faktory jsou

- a) zpracovávaný materiál
- b) tvar součásti (souvisí s počtem nutných operací)
- c) vyráběné množství
- d) rychlost dodávky zákazníkovi
- e) je-li nástroj konstruován pro zákazníka – zohlednit jeho požadavky
- f) strojový park podniku

Dále je nutné (alespoň) předběžně stanovit náklady, které zahrnují

- cenu nástroje (je možné vycházet z ceny za nástroj obdobný)
- hodinovou sazbu strojů (obráběcí i tvářecí, řezací centra)
- ostatní operace s tímto související (manipulace, výroba přípravků, atd.)

To se následně projeví v ceně za výlisek.

Roční předpokládaný počet vyráběných plechových dílců činí **10 tis. kusů**. V tomto případě se již jedná o středně sériovou výrobu.

Varianta 1

Tuto navrženou technologii je možné využít jen v kusové (prototypové) výrobě. Zde je spíše uváděna jen pro zajímavost. Nicméně další navazující operace v ní uvedené je již možno zakombinovat do výrobních postupů řešících větší vyráběné množství výlisků.

Postup výroby

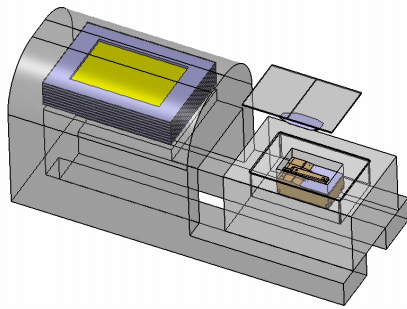
1. Tažení na vakovém lisu (metoda Verson – Wheelon) – princip obr. 32.

Přístřih – postačí ruční zhotovení ,(nebo rovinný laser).

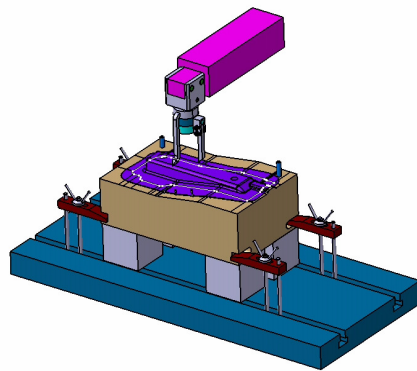
Nástroj – zhotoven z levných materiálů (např. textit, může být i kovový).

2. Rýsování (obr.33)
3. Zhotovení přípravku ve svařovně
4. Řezání konečného tvaru součástí na laseru (5 – ti osý)(obr. 34)

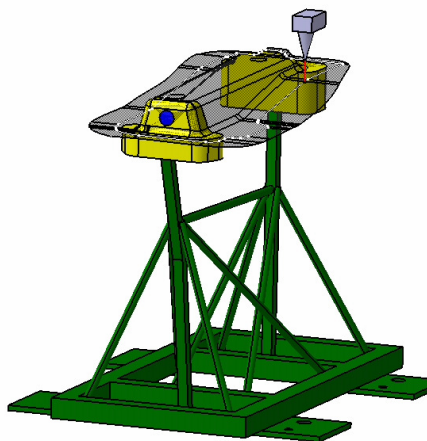
Pozn. Operaci 2, která slouží jako možná alternativa k vytvoření dráhy pohybu řezací hlavy laseru, je možné vynechat a vzít obrysovou křivku přímo z CAD dat. Velmi se tím urychlí práce.



Obr.32 Tažení na vakovém lisu



Obr.33 Rýsování plechů



Obr.34 Zhotovení přípravku ve svařovně + řezání lasrem

Výhody

- rychlá a levná výroba nástroje (v závislosti na použitém materiálu)
- jednoduchost konstrukce
- není třeba nástrojů pro jednotlivé operace (postačí přípravky)

Nevýhody

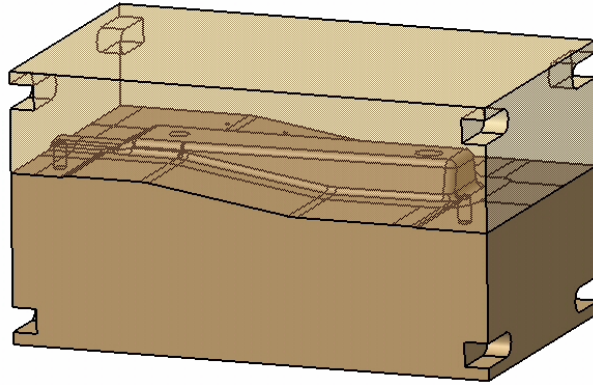
- velmi nízká produktivita – zejména při tažení na vakovém lisu
- použití jen v kusové (prototypové) výrobě
- nízká kvalita výtažku
- vysoká cena za výlisek

Varianta 2

Další možný způsob výroby zahrnuje:

1. Zhotovení přístříhu – nůžky nebo rovinný laser
2. Tažení na zvoleném lisu (hydraulický, klikový) – tažidlo viz konstrukce
3. Vyřezání do požadovaného obrysu na laseru (nutný přípravek ze svařovny – obr.33)
4. Kalibrace

Operaci 3 a 4 je možné vzájemně prohodit. Kalibrační tah není vždy nutné provádět, závisí na požadované přesnosti výlisku. Konstrukce kalibru je uvedena na obr.35.



Obr.35 Kalibrační tažidlo

Výhody

- mnohem vyšší produktivita oproti variantě 1
- přesnost tvarů
- kvalita řezu

Nevýhody

- zhotovení nástroje z materiálu odpovídající jeho požadované trvanlivosti
- vysoké náklady na provoz laseru
- ruční manipulace
- vlivem rozdílného odpružení pro jednotlivé výlisky se může konečný tvar mírně lišit

Varianta 3

Tento pracovní postup zahrnuje jen typické tvářecí operace zpracování plechu. Obsahuje následující:

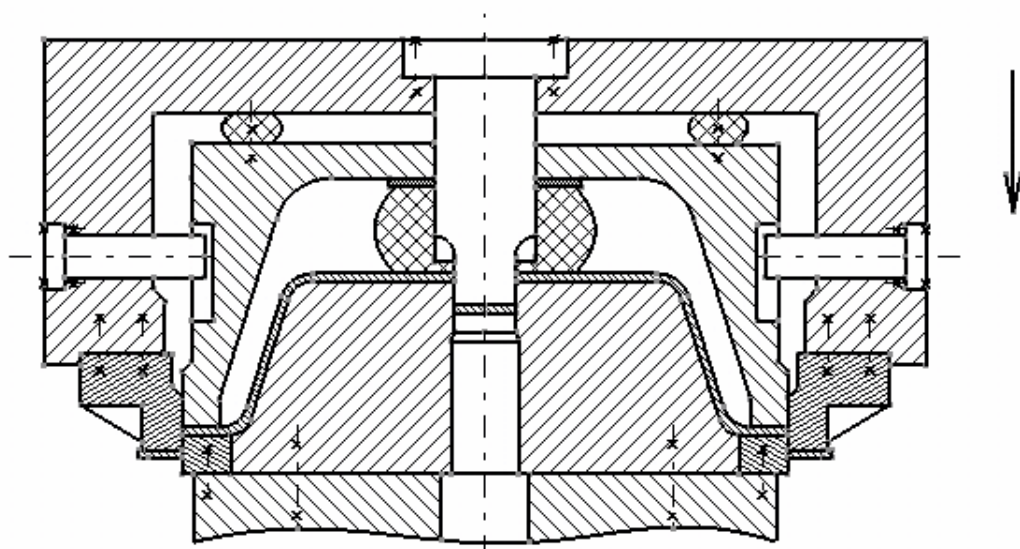
1. Zhotovení přístříhu – nůžky,(rovinný laser) nebo stříhadlo
2. Tažení na zvoleném lisu
3. Kalibrace
4. Děrování a vystřížení konečného tvaru ve stříhadle (příklad obr.36)

Výhody

- vysoká produktivita
- možnost automatizace
- při závěrečné operaci ve stříhadle jsou výtažky pevně zafixovány a vystřížení kontury je vždy shodné pro všechny plechy

Nevýhody

- vysoké pořizovací náklady
- kvalita střížné plochy – typická pro stříhání (závisí na střížné vůli, opotřebení nožů)



Obr.36 Stříhadlo pro závěrečnou operaci

7. KONSTRUKCE TAŽNÉHO NÁSTROJE

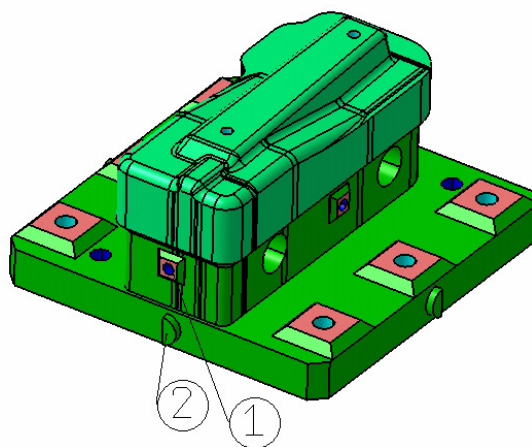
Konstrukce nástroje odpovídá požadované roční produkci zadaných výlisků.

Funkční části - tažník, tažnice a přídržovač jsou odlitky z tvárné litiny EN JS 2070, jejichž obrobením se získá požadovaný tvar. Jsou konstruovány tak, aby obráběcí operace byly omezeny na minimum, tzn. je využíváno náliček. Pro snížení hmotnosti a tím ušetření nákladů za materiál jsou vytvořeny dutiny. Dále je brána v úvahu snadná manipulace s jednotlivými díly při obrábění a následné montáži – přenášení čepy.

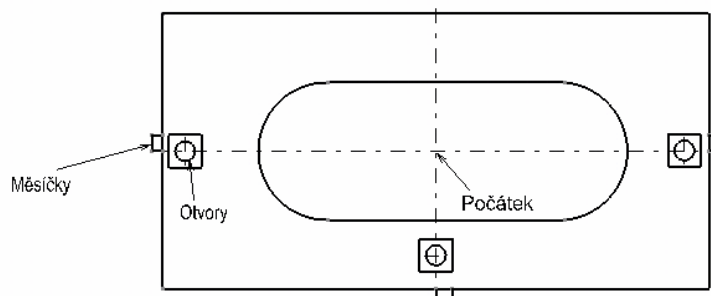
Pro celkové zajištění provozuschopnosti tažidla, je využito k tomu odpovídajících komponent, které umožní zejména správné zavedení přístřihu, snadné vyjmutí výlisku z dutiny formy, vedení jednotlivých částí nástroje vůči sobě a jeho středění na stole lisu.

7.1 Obrobení odlitků

Před samotným obráběním odlitku ke získání požadované funkční plochy, je nutné polotovar správně ustavit na stole obráběcího stroje. K tomu slouží značky – měšičky. Jeden je platný pro osu x a druhý pro osu y (třetí v tomto případě být nemusí). Podle nich se ustaví měřicí přístroj a prorýsuje najížděcí přímky. Ty pak slouží k určení nulového bodu řídicího programu. Po obrobení se vrtají odměřovací otvory, od kterých se najíždí vždy, když je to potřeba (kontrola, opravy – přefrézování, další technologické operace). Tyto prvky jsou znázorněny na obr.37 a obr.38.



Obr37. Prvky pro ustavení odlitku před obráběním
1 – odměřovací otvory, 2 - měšičky



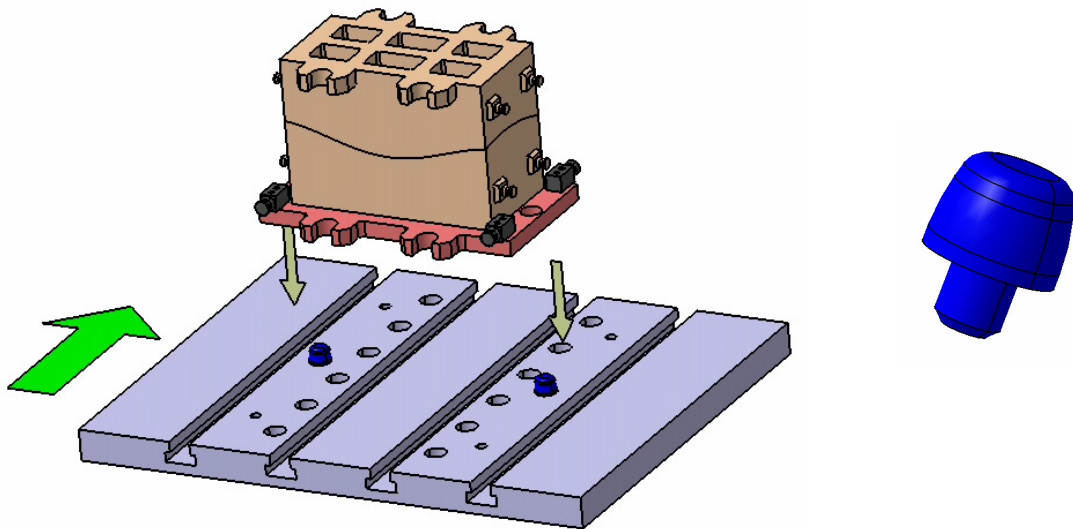
Obr.38 Odměřovací otvory

7.2 Kvalita obráběných ploch odlitku

Podle funkce jednotlivých ploch jim je v modelu přiřazeno barevné označení, které souvisí s druhem obráběcí operace a drsností povrchu vyjádřené R_a (R_z).

7.3 Středění nástroje na stole lisu

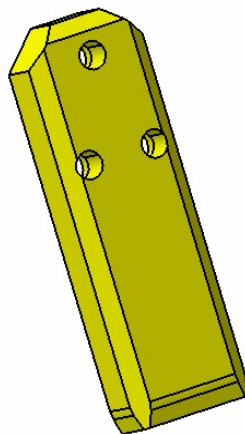
Pro rychlé ustavení nástroje na lisu jsou použity středící čepy, které jsou vsazeny do otvorů k tomu určených na stole lisu, na ně se pak nástroj nasadí. Úkon se provádí mimo pracovní prostor stroje. Následuje zavezení do lisu a upnutí nástroje. Tento princip je uveden na obr. 39.



Obr.39 Středění nástroje na stole lisu

7.4. Vedení nástroje

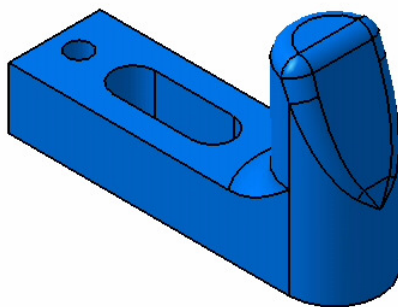
Pro horní část nástroje pohybující se vůči spodní, je důležité zajistit jejich správné vedení. Zvýší se tak trvanlivost nástroje, protože nedochází ke zbytečným bočním posuvům. V tomto případě je použito kluzných desek – obr. 40.



Obr.40 Kluzná deska

7.5 Zakládání plechu

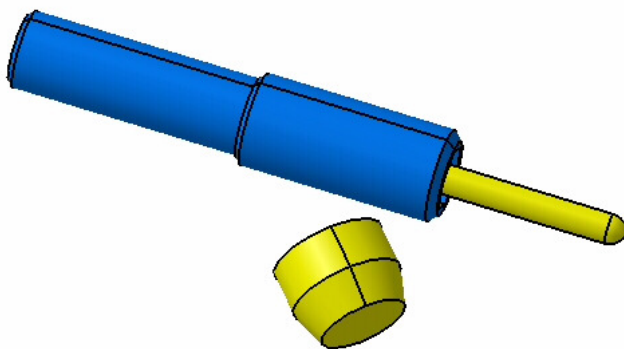
Pro jednoduché vystředění plechu v nástroji před samotným procesem tažení je nezbytné polotovár – přístřih správně uložit. K tomuto účelu slouží zavaděče – obr.41, které jsou připevněny šrouby k tělesu přidržovače. Je možno s nimi v omezeném rozsahu pohybovat ve vyfrézované drážce tak, aby těsně přiléhaly k obrysu polotovaru a tím jej vymezily vůči tažníku a tažnici.



Obr.41 Zavaděč plechu

7.6 Vyjímání výlisku

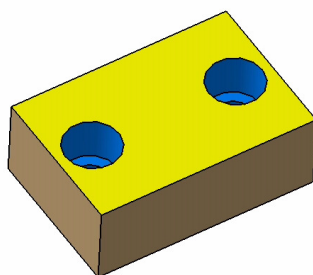
Velmi často se stává, že výlisek zůstává v dutině nástroje. To je způsobeno samotným odpružením plechu a též podtlakem mezi výtažkem a částí nástroje. Pro jednoduché a bezpečné vyjmutí výlisku je nástroj opatřen odlepovači a pryžovými válečky – odleповací vložky (obr.42). Důležité je jejich vhodné rozmístění. Protože hrozí otláčení plechu jsou umístěny v místech technologického a konstrukčního odpadu. Aby nedocházelo k podtlaku, jsou do tažnice vyvrtány odvodušňovací otvory.



Obr.42 Odlepovač a odleповací vložka

7.7 Distanční prvky

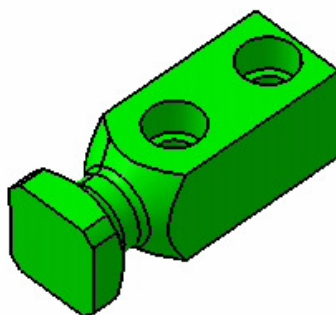
K zajištění požadované vzdálenosti mezi jednotlivými částmi nástroje se používají distanční bloky – obr.43. Zároveň slouží k přenosu tažné síly z beranu do stolu lisu. Mezi přidržovačem a tažnicí zajišťují konstantní vzdálenost funkčních ploch a tím brání lokálnímu ztenčení plechu. Na požadovanou výšku se upravují až při seřizování nástroje.



Obr.43 Distanční blok

7.8 Přenášečí elementy

Slouží pro manipulaci s nástrojem při jeho přemísťování. Na obr. 44 je přenášečí čep. Jeho velikost a upevnění šrouby závisí na celkové hmotnosti nástroje. Tažník, tažnice a přidržovač mohou být opatřeny čepem nebo otvory a pro snadnou manipulaci s nimi.

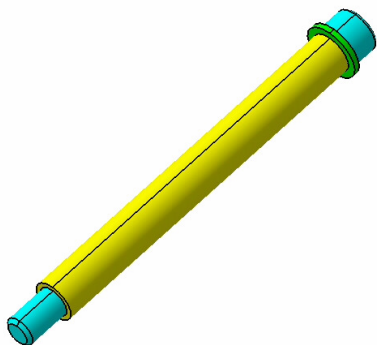


Obr.44 Přenášečí čep

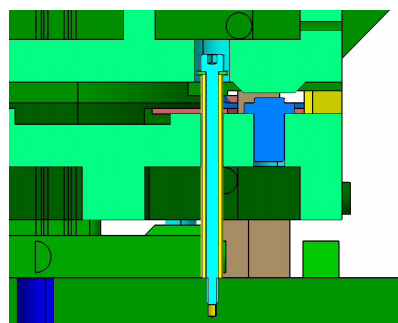
7.9 Vymezení zdvihu přidržovače

K tomuto účelu slouží kotva, která se skládá z trubky šroubu a podložky – obr.45. Pokud je ve spodní části nástroje – obr.46, zabráňuje vysunutí přidržovače při přetáčení nástroje – v tomto případě se jedná o bezpečnostní prvek. Při jejím použití v horní části vlečou zavěšený díl nástroje.

Zdvih kotvy je o určitou hodnotu větší než zdvih přidržovače. Přitom zdvih přidržovače se řídí maximální hloubkou výtažku a je o málo větší.



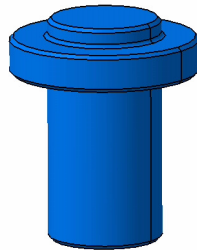
Obr.45 Kotva



Obr.46 Kotva – princip, odstavný čep

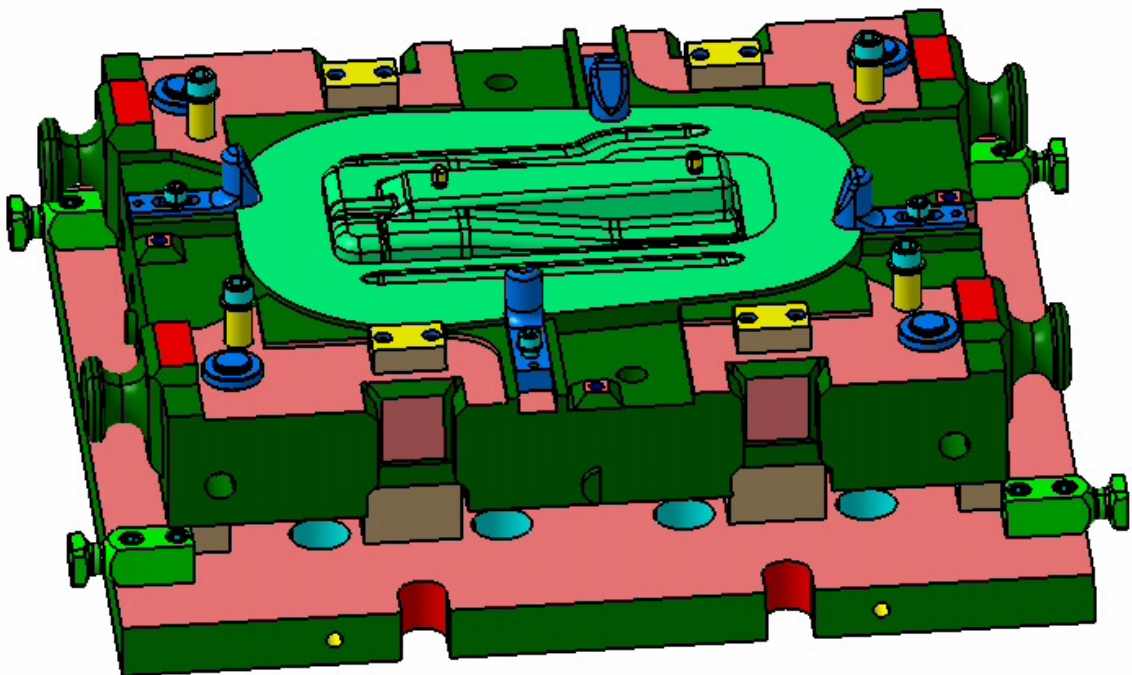
7.10 Odstavení nástroje

Z důvodu možného poškození je po ukončení lisování nutné zabezpečit, aby funkční plochy nebyly v přímém kontaktu. U tohoto nástroje je tento problém vyřešen pomocí odstavných čepů. V době lisování neplní žádnou funkci a jsou zastrčeny v otvoru přídržovače – obr.46. Před odstavením stačí tyto čepy otočit. Další způsoby jsou použití skladovacích bloků, trubek, atd. Detail čepu je uveden na obr.47.

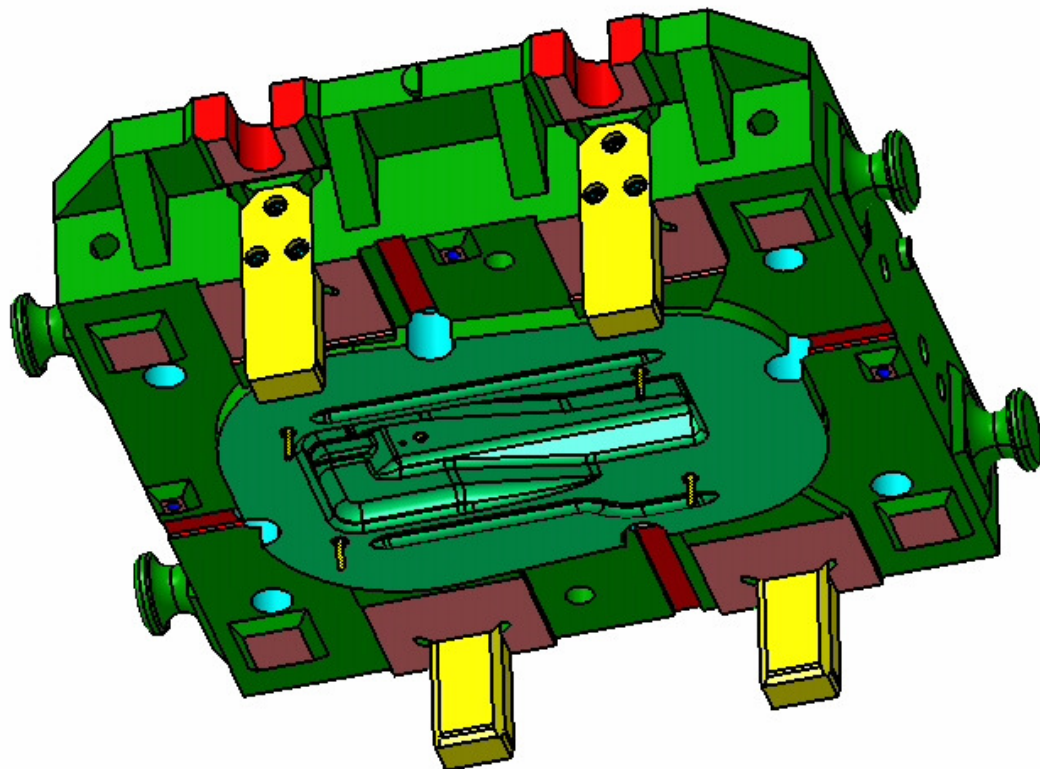


Obr.47 Odstavný čep

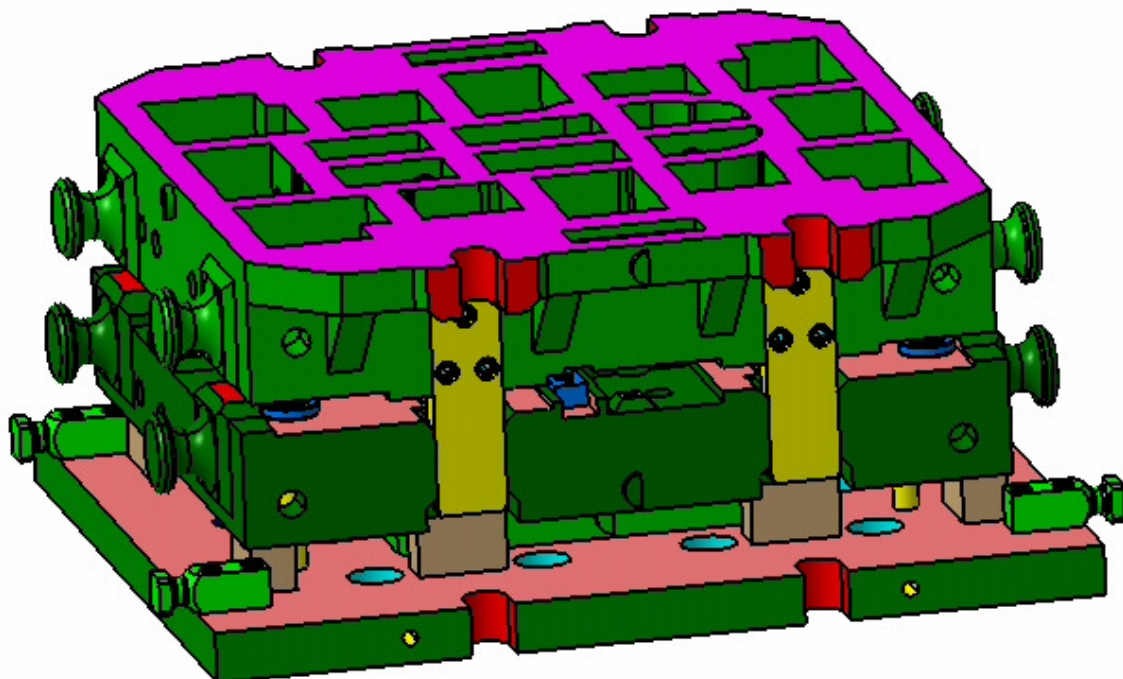
7.11 Celkové konstrukční řešení nástroje



Obr.48 Spodní část nástroje



Obr.49 Horní díl nástroje (tažnice)



Obr.50 Složený nástroj

8. TECHNICKO – EKONOMICKÝ ROZBOR

Pro nasazení optimálního technologického postupu k zajištění roční produkce 10 tisíc kusů výlisků je rozhodujícím kritériem stanovení celkových nákladů. Ty v sobě zahrnují položky přímé a nepřímé, dále variabilní a fixní. Po započtení požadovaného zisku se určí konečná cena výlisku.

Cena zpracovávaného materiálu DC04 dodaného ve formě tabulí plechu činí 30Kč/kg.

Varianta 1

(nůžky – vakový lis – laser)

Přímé náklady

a) materiál

$$PN_{mat} = S * C_m * Q \quad [\text{Kč}] \quad (8.1)$$

kde S – spotřeba materiálu na 1 kus [kg]
 C_m - cena zpracovávaného materiálu [Kč/kg]
 Q - požadovaná roční produkce [ks]

$S = 0,675\text{kg}$, $C_m = 30\text{Kč/kg}$, $Q = 10\,000\text{ks}$ - platné pro všechny varianty

$$PN_{mat} = 0,675 * 30 * 10000$$

$$PN_{mat} = 202\,500\text{Kč}$$

b) strojní zařízení

$$PN_s = \frac{Q}{Q_{hod}} * S_{hod} \quad [\text{Kč}] \quad (8.2)$$

kde Q - požadovaná roční produkce [ks]
 Q_{hod} - stanovená hodinová produkce stroje [ks]
 S_{hod} - hodinová sazba stroje [Kč]

Hodinová produkce jednotlivých strojních zařízení Q_{hod} (ruční manipulace s materiálem) a hodinové sazby strojů:

- nůžky $Q_{hod1} = 100\text{ks}$ $S_{hod1} = 450\text{Kč}$
- vak.lis $Q_{hod2} = 3\text{ks}$ $S_{hod2} = 2200\text{Kč}$
- laser $Q_{hod3} = 30\text{ks}$ $S_{hod3} = 3000\text{Kč}$

$$PN_{s1} = \frac{Q}{Q_{hod1}} * S_{hod1} = \frac{10000}{100} * 450 = 45\,000\text{Kč}$$

$$PN_{s2} = \frac{Q}{Q_{hod2}} * Shod2 = \frac{10000}{3} * 2200 = 7\,333\,333\text{Kč}$$

$$PN_{s3} = \frac{Q}{Q_{hod3}} * Shod3 = \frac{10000}{30} * 3000 = 1\,000\,000\text{Kč}$$

- souhrnné náklady na provoz strojů

$$PN_s = PN_{s1} + PN_{s2} + PN_{s3} \quad (8.3)$$

$$PN_s = 45\,000 + 7\,333\,333 + 1\,000\,000$$

$$\underline{PN_s = 8\,378\,333\text{Kč}}$$

V hodinové sazbě strojů jsou již započteny náklady na el. energii.

- celkové přímé náklady $PN_c = PN_{mat} + PN_s \quad (8.4)$

$$PN_c = 202\,500 + 8\,378\,333$$

$$\underline{PN_c = 8\,580\,833\text{Kč}}$$

Nepřímé náklady

- zahrnují logistiku (zajištění pohybu materiálu, náradí, přípravků), režijní materiál, režijní mzdy, zajištění provozu podniku

$$NN = \frac{PN_c * (VR + SR)}{100} \quad [\text{Kč}] \quad (8.5)$$

kde VR – výrobní režie [%], stanoveno VR = 350%

SR – správní režie [%], stanoveno SR = 100%

$$NN = \frac{8\,580\,833 * (350 + 100)}{100}$$

$$\underline{NN = 38\,613\,748,5\text{Kč}}$$

Variabilní náklady

- mění se v závislosti na počtu vyráběných kusů

$$VN = PN_c + NN \quad [\text{Kč}] \quad (8.6)$$

kde PN_c - celkové přímé náklady [Kč]

NN - nepřímé náklady [Kč]

$$VN = 8\,580\,833 + 38\,613\,748,5$$

$$\underline{VN = 47\,194\,581,5Kč}$$

Fixní náklady

- zde jsou zahrnuty pořizovací náklady nástrojů a položky nezbytné k uskutečnění výroby

Lisovací nástroj 82 000Kč (cena stanovena z obdobných nástrojů)

Laser – programy + přípravek 30 000Kč

$$\Rightarrow \underline{FN = 112\,000Kč}$$

Požadovaný zisk ...15% (z celkových nákladů)

$$Z = \frac{(VN + FN) \cdot 15}{100} \quad [Kč] \quad (8.7)$$

$$Z = \frac{(47\,194\,581,5 + 112\,000) \cdot 15}{100}$$

$$\underline{Z = 7\,095\,987Kč}$$

Cena za 1 výlisek

$$C_{v1} = \frac{VN + FN + Z}{Q} \quad [Kč] \quad (8.8)$$

kde VN – variabilní náklady [Kč]

 FN – fixní náklady [Kč]

 Z – zisk [Kč]

 Q – počet výlisků za rok [ks]

$$C_{v1} = \frac{47\,194\,581,5 + 112\,000 + 7\,095\,987}{10\,000}$$

$$\underline{C_{v1} = 5\,440,25Kč}$$

Uvedené vztahy (8.1) až (8.8) jsou aplikovány i při kalkulaci dalších výrobních postupů.

Varianta 2

(nůžky – hydraulický lis – laser)

(na hydraulickém lisu se provádí na 1 zdih tažení a kalibrace, ale ve dvou nástrojích)

Přímé náklady

a) materiál

$$PN_{mat} = S * C_m * Q \quad S = 0,675kg, C_m = 30Kč / kg, Q = 10\ 000ks$$

$$PN_{mat} = 0,675 * 30 * 10000$$

$$PN_{mat} = 202\ 500Kč$$

b) strojní zařízení

$$PN_s = \frac{Q}{Q_{hod}} * Shod$$

Hodinová produkce jednotlivých strojních zařízení Q_{hod} (ruční manipulace s materiálem) a hodinové sazby strojů:

$$\text{- nůžky} \quad Q_{hod1} = 100ks \quad Shod1 = 450Kč$$

$$\text{- hydr.lis} \quad Q_{hod2} = 30ks \quad Shod2 = 2800Kč$$

$$\text{- laser} \quad Q_{hod3} = 30ks \quad Shod3 = 3000Kč$$

Zde je počítáno z průměrných hodnot:

$$Q_{hod} = \frac{Q_{hod1} + Q_{hod2} + Q_{hod3}}{3} = \frac{100 + 30 + 30}{3} = 53,3ks$$

$$Shod = \frac{Shod1 + Shod2 + Shod3}{3} = \frac{450 + 2800 + 3000}{3} = 2083Kč$$

$$PN_s = \frac{10\ 000}{53,3} * 2083$$

$$PN_s = 390\ 807Kč$$

V hodinové sazbě strojů jsou již započteny náklady na el. energii.

- celkové přímé náklady

$$PN_c = PN_{mat} + PN_s$$

$$PN_c = 202\ 500 + 390\ 807$$

$$PN_c = 593\ 307Kč$$

Nepřímé náklady

$$NN = \frac{PN_c * (VR + SR)}{100} \quad [\text{Kč}]$$

kde VR – výrobní režie [%], stanoveno VR = 350%
SR – správní režie [%], stanoveno SR = 100%

$$NN = \frac{593\,307 * (350 + 100)}{100}$$

$$\underline{NN = 2\,669\,881,5\text{Kč}}$$

Variabilní náklady

$$VN = PN_c + NN$$

$$VN = 593\,307 + 2\,669\,881,5$$

$$\underline{VN = 3\,263\,188,5\text{Kč}}$$

Fixní náklady

Tažidlo 578 200Kč – kalkulaci tohoto nástroje uvádí příloha 4
Laser – programy + přípravek 30 000Kč
Kalibr 184 000Kč (cena stanovena z obdobného nástroje)

$$\Rightarrow \underline{FN = 792\,200\text{Kč}}$$

Požadovaný zisk ...15% (z celkových nákladů)

$$Z = \frac{(VN + FN) * 15}{100}$$

$$Z = \frac{(3\,263\,188,5 + 792\,200) * 15}{100}$$

$$\underline{Z = 608\,308,3\text{Kč}}$$

Cena za 1 výlisek

$$C_{v1} = \frac{VN + FN + Z}{Q}$$

$$C_{v1} = \frac{3\,263\,188,5 + 792\,200 + 608\,308}{10\,000}$$

$$\underline{C_{v1} = 466,36\text{K}\check{\text{c}}}$$

Varianta 3

(nůžky – hydraulický lis)

(na hydraulickém lisu se na 1 zdvih provede tah, stříh a kalibrace v jednotlivých nástrojích)

Přímé náklady

a) materiál

$$PN_{mat} = S * C_m * Q \qquad S = 0,675\text{kg}, C_m = 30\text{K}\check{\text{c}} / \text{kg}, Q = 10\,000\text{ks}$$

$$PN_{mat} = 0,675 * 30 * 10000$$

$$\underline{PN_{mat} = 202\,500\text{K}\check{\text{c}}}$$

b) strojní zařízení

$$PN_s = \frac{Q}{Q_{hod}} * S_{hod}$$

Hodinová produkce jednotlivých strojních zařízení Q_{hod} (ruční manipulace s materiálem) a hodinové sazby strojů:

- nůžky	$Q_{hod1} = 100\text{ks}$	$S_{hod1} = 450\text{K}\check{\text{c}}$
- hydr.lis	$Q_{hod2} = 30\text{ks}$	$S_{hod2} = 2800\text{K}\check{\text{c}}$

Zde je počítáno z průměrných hodnot:

$$Q_{hod} = \frac{Q_{hod1} + Q_{hod2}}{2} = \frac{100 + 30}{2} = 65\text{ks}$$

$$S_{hod} = \frac{S_{hod1} + S_{hod2}}{2} = \frac{450 + 2800}{2} = 1625\text{K}\check{\text{c}}$$

$$PN_s = \frac{10\,000}{65} * 1625$$

$$\underline{PN_s = 250\,000\text{K}\check{\text{c}}}$$

V hodinové sazbě strojů jsou již započteny náklady na el. energii.

- celkové přímé náklady

$$PN_c = PN_{mat} + PN_s$$

$$PN_c = 202\,500 + 250\,000$$

$$PN_c = \underline{452\,500Kč}$$

Nepřímé náklady

$$NN = \frac{PN_c * (VR + SR)}{100}$$

kde VR – výrobní režie [%], stanoveno VR = 350%
 SR – správní režie [%], stanoveno SR = 100%

$$NN = \frac{452\,500 * (350 + 100)}{100}$$

$$NN = \underline{2\,036\,250Kč}$$

Variabilní náklady

$$VN = PN_c + NN$$

$$VN = 452\,500 + 2\,036\,250$$

$$VN = \underline{2\,488\,750Kč}$$

Fixní náklady

Tažidlo 578 200Kč – kalkulaci tohoto nástroje uvádí příloha 4
 Kalibr 184 000Kč (cena stanovena z obdobného nástroje)
 Strihadlo 764 000Kč (cena stanovena z obdobného nástroje)

$$\Rightarrow FN = \underline{1\,526\,200Kč}$$

Požadovaný zisk ...15% (z celkových nákladů)

$$Z = \frac{(VN + FN) * 15}{100}$$

$$Z = \frac{(2\,488\,750 + 1\,526\,200) * 15}{100}$$

$$Z = \underline{602\,242,5Kč}$$

Cena za 1 výlisek

$$C_{v1} = \frac{VN + FN + Z}{Q}$$

$$C_{v1} = \frac{2\,488\,750 + 1\,526\,200 + 602\,242,5}{10\,000}$$

$$\underline{C_{v1} = 461,36Kč}$$

Celkový přehled jednotlivých nákladových položek výrobních postupů souhrnně uvádí tab.7.

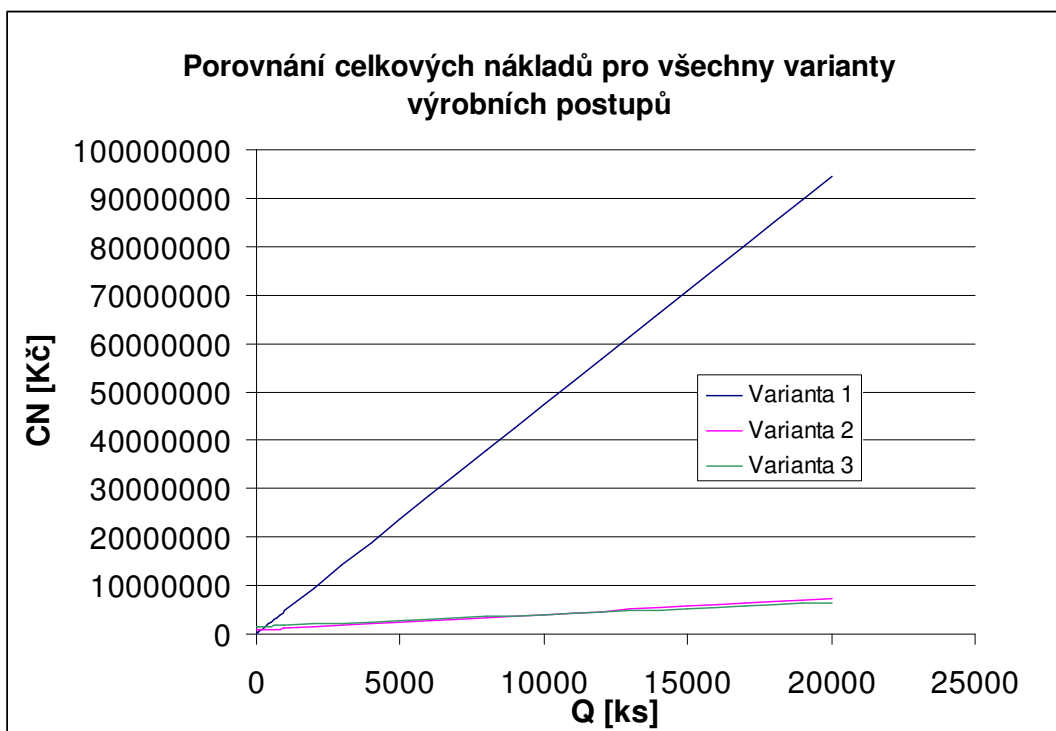
Q = 10 000ks			
	Varianta1	Varianta2	Varianta3
$PN_{mat}[Kč]$	202 500	202 500	202 500
$PN_s[Kč]$	8 378 333	390 807	250 000
$PN_c[Kč]$	8 580 833	593 307	452 500
$NN[Kč]$	38 613 748,5	2 669 881,5	2 036 250
$VN[Kč]$	47 194 581,5	3 263 188,5	2 488 750
$FN[Kč]$	112 000	792 200	1 526 200
$CN[Kč]$	47 194 581,5	4 055 388,5	4 014 950
$Z[Kč]$	7 095 987	608 308	602 242,5
$C_{v1}[Kč]$	5 440,25	466,36	435,70

Tab.7 Nákladové položky jednotlivých variant a cena výlisku

Význam jednotlivých symbolů:

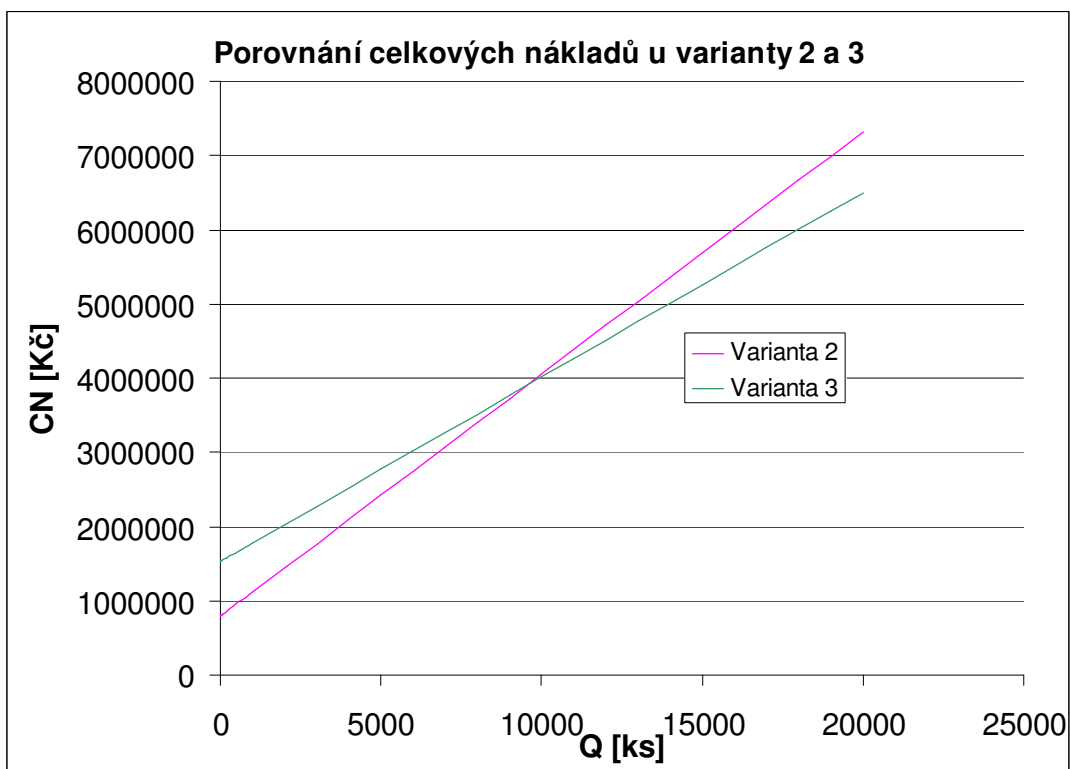
- $PN_{mat}[Kč]$ - přímé náklady na materiál
- $PN_s[Kč]$ - přímé náklady na provoz strojů
- $PN_c[Kč]$ - celkové přímé náklady
- $NN[Kč]$ - nepřímé náklady
- $VN[Kč]$ - variabilní náklady
- $FN[Kč]$ - fixní náklady
- $CN[Kč]$ - celkové náklady, $CN = VN + FN$ (8.9)
- $Z[Kč]$ - zisk
- $C_{v1}[Kč]$ - cena za 1 výlisek

Porovnáním celkových nákladů uvedených v tab.7 pro jednotlivé technologické postupy, je pro zajištění roční produkce 10 tis. kusů výlisků varianta 3 nejvýhodnější. To dokazuje i následný graf 1.



Graf 1 celkové náklady v závislosti na počtu vyráběných kusů

Dále je patrné, že varianta 1 je zcela nepřijatelná, proto graf 2 pro lepší přehlednost uvádí jen variantu 2 a 3. Průsečík, v němž se dané závislosti protínají, je rovnovážným bodem. Ten odpovídá přibližně $Q = 9\,500$ ks. Od tohoto množství je právě varianta 3 výhodnější.



Graf 2 Celkové náklady v závislosti na počtu vyráběných kusů pro variantu 2 a 3

Jelikož rovnovážný bod leží v těsné blízkosti požadované roční produkce $Q = 10$ tis. kusů, je taky nutné uvážit, zda se jedná o výrobu jednoletou nebo víceletou. V případě jednoleté produkce plně dostačuje i uvedená varianta 2. Na možný požadavek o navýšení počtu vyráběných kusů lépe reaguje varianta 3.

Při zvážení všech těchto aspektů, je varianta 3 nejvýhodnější a je možné ji doporučit pro zavedení do výrobního procesu.

ZÁVĚR

Výroba uváděného automobilového dílu v požadované roční sérii byla řešena třemi možnými způsoby. Tažení plechu, jenž tvořilo neoddělitelnou operaci každé metody, je základem řešené problematiky.

Při vývoji nástroje byly uplatněny teoretické poznatky z oblasti konstrukčních, technologických a materiálových vstupů, jejímž optimálním skloubením se dospělo k požadovanému cíli, tedy úspěšné realizaci výroby dílce. Důležitým podkladem v této fázi byly taktéž výsledky simulace tvářecího procesu, díky nimž došlo k výrazným časovým a finančním úsporám.

Výběr optimálního technologického postupu byl podmíněn zejména

- minimalizací celkových nákladů
- efektivností výroby
- možnou opakovatelností, popř. schopností pružně reagovat na zvýšení produkce
- kvalitou výlisků a jejich cenou

Technicko-ekonomický rozbor dokazuje, že značný podíl celkových nákladů, jenž se projeví v ceně vyráběného komponentu, tvoří položka přímých výdajů na provoz strojů. Zařízení s vyšší hodinovou produkční schopností tento podíl výrazně snižuje.

V současné době se ve stavbě karoserií uplatňují nové materiály. Jedná se o korozivzdorné oceli, hliníkové slitiny a vysokopevnostní oceli. Díky lepším mechanickým vlastnostem (oproti běžným ocelím na hluboký tah) – vyšší pevnosti, deformačním schopnostem – je možné použít plechy s menší tloušťkou. Ta se následně projeví ve snížení celkové hmotnosti vozu a tím pádem ve spotřebě paliva. Zároveň je zajištěna vyšší tuhost karoserie a tím větší bezpečnost posádky při nárazu. Tyto výhody jsou ale omezovány obtížnějším zpracováním v procesu tváření.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOTOUČ, Jiří, et al. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 01-01003-1.
- [2] ŠPAČEK, Jindřich, ŽÁK, Ladislav. *Návody do cvičení - část:plošné tváření*. 1. vyd.. Brno : VUT, 1991. 109 s. ISBN 80-214-0259-8
- [3] NOVOTNÝ, Karel, MACHÁČEK, Zdeněk. *Speciální technologie I : Plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno : VUT, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3.
- [4] FREMUNT, Přemysl, PODRÁBSKÝ, Tomáš. *Konstrukční oceli*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1996. 267 s. ISBN 80-85867-95-8.
- [5] ČERNOCH , Svatopluk. *Strojně technická příručka*. 12. vyd. Praha : SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1968. 2 sv. (1183, 1227 s.). ISBN 04-224-68.
- [6] FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : VUT, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
- [7] DRASTÍK, František, et al. *Stojnická příručka : Vývoj,výpočty,konstrukce,technologie,výroba*. 12. aktualiz. vyd. Praha : Verlag Dashöfer-Odborné nakladatelství technické literatury, 2005. 3 sv. (350, 380, 390 s.). ISBN 80-86229-65-3.
- [8] INTERNATIONAL IRON & STEEL INSTITUTE. *ADVANCED HIGH STRENGTH STEEL (AHSS)* [online]. 2006 [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.worldautosteel.org/Projects/AHSSGuidelines/Version3.aspx>>.
- [9] INTERNATIONAL IRON & STEEL INSTITUTE. *ADVANCED HIGH STRENGTH STEEL (AHSS)* [online]. Version 4.0. 2009 [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.worldautosteel.org/projects/AHSSGuidelines/AHSS-application-guidelines-version-4.aspx>>.
- [10] PETRUŽELKA, Jiří, BŘEZINA, Richard. *TVAŘITELNOST KOVOVÝCH MATERIÁLŮ* [online]. 2001 [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/TVARITELNOST.pdf>>.
- [11] PETRUŽELKA, Jiří, SONNEK, Pavel. *TVAŘITELNOST KOVOVÝCH MATERIÁLŮ* [online]. 2007 , 9.1.2007 [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/TvCELEupr.pdf>>.
- [12] VLACH, Bohumil. *Plasticita* [online]. 2005 [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/vyuka/GS0/03%20-%20Plasticita.doc>>.
- [13] Vývoj v simulaci procesů tváření plechu metodou FEM. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002/3 [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyvoj-v-simulaci-procesu-tvareni-plechu-metodou-fem>>.

- [14] RANOCHOVÁ, Denisa . Virtuální simulace blízka realitě. *MM Průmyslové spektrum*. říjen 2006, 10, s. 23.
- [15] PETRUŽELKA, Jiří, BŘEZINA, Richard. *ÚVOD DO TVÁŘENÍ II* [online]. 2001 [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW:
<http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf>.
- [16] PETRMICHL, Rudolf. Sériová výroba plošným tvářením a numerická simulace. *MM Průmyslové spektrum*. říjen 2006, č. 10, s. 22.
- [17] ABUŠINOV, Alexandr. Zvýšení hodnoty konstrukčních dílů tvářených z plechu. *MM Průmyslové spektrum*. říjen 2006, č. 10, s. 14-16.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

A_{80}	[%]	tažnost
A_H	[%]	homogenní tažnost
B	[mm]	šířka krabice
D	[mm]	šířka přístřihu, rozměr příruby
F	[N]	zatěžující síla
F_c	[N]	celková tažná síla
F_{kr}	[N]	kritická tažná síla
F_p	[N]	přidržovací síla
F_t	[N]	tažná síla
IT	[-]	index tvařitelnosti
KVP	[-]	koeficient využití plasticity
L_H	[mm]	délka tyče při max. homogenní deformaci
L_U	[mm]	délka tyče po přetržení
L_o	[mm]	původní délka tyče
N	[-]	počet vln na výtažku
R_B	[mm]	poloměr zaoblení rohové části krabice
R_m	[MPa]	pevnost materiálu
$R_{p0,2}$	[MPa]	smluvní mez kluzu (nevýrazná)
R_{tc}	[mm]	poloměr zaoblení tažnice
R_{tk}	[mm]	poloměr zaoblení tažníku
R_2	[mm]	vnitřní poloměr rovné části příruby
S_0	[mm ²]	počáteční průřez zkušební tyče
ZP	[N·mm·mm ⁻³]	zásoba plasticity
d	[mm]	(zde) šířka krabice
dt	[s]	změna času
f	[-]	součinitel tření
h_{kr}	[mm]	kritická hloubka výtažku
$h_{výt}$	[mm]	hloubka výtažku
k	[-]	koeficient
m_{kr}	[-]	kritický součinitel tažení
m_{skut}	[-]	skutečný součinitel tažení
n	[-]	exponent deformačního zpevnění
n_m	[-]	střední hodnota exponentu deformačního zpevnění
o	[mm]	obvod
r	[-]	koeficient normálové anizotropie
r_m	[-]	střední hodnota koeficientu normálové anizotropie
r_v	[mm]	vnější poloměr příruby po vtažení
s_0	[mm]	tloušťka plechu
t_{mk}	[mm]	tažná mezera při kalibračním tahu
t_{m1-n}	[mm]	tažná mezera v podélných stranách pro 1. až n-tý tah
t_{mr1-n}	[mm]	tažná mezera v rozích pro 1. až n-tý tah
v	[m·s ⁻¹]	rychlost tváření (rychlost pohybu beranu stroje)
Δr	[%]	plošná anizotropie
\mathcal{E}_{celk}	[-]	celkové přetvoření (deformace)
\mathcal{E}_{el}	[-]	elastické přetvoření (deformace)
\mathcal{E}_{pl}	[-]	plastické přetvoření (deformace)

ε_r	[-]	rovnoměrná přetvoření (deformace)
σ_k	[MPa]	napětí na mezi kluzu (obecně)
σ_v	[MPa]	výsledné tahové napětí
σ_1	[MPa]	hlavní napětí tahové (podle směru působení - radiální)
σ_3	[MPa]	hlavní napětí tlakové (podle směru působení - tangenciální)
τ	[MPa]	smykové napětí
φ_{ef}	[-]	efektivní deformace (intenzita deformace)
φ_p	[-]	skutečná deformace odpovídající bodu plastické nestability
φ_1	[-]	deformace v radiálním směru
φ_2	[-]	deformace tloušťky stěny
φ_3	[-]	deformace v radiálním směru
φ^*	[s ⁻¹]	rychlost deformace

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1:	Materiálový list		
Příloha č.2:	Výsledky tahové zkoušky		
Příloha č.3:	Hodnoty poměrné výšky pro měkkou ocel		
Příloha č.4:	Kalkulace – Sériové lisovací nářadí		
Příloha č.5:	Montážní výkres:	TAŽIDLO	DP – 2009 – 00
Příloha č.6:	Výrobní výkres:	TAŽNÍK	DP – 2009 – 00/01
Příloha č.7:	Výrobní výkres:	TAŽNICE	DP – 2009 – 00/02
Příloha č.8:	Výrobní výkres:	PŘIDRŽOVAČ	DP – 2009 – 00/03
Příloha č.9:	Plechový díl:	VÝZTUHA	ABC – 123

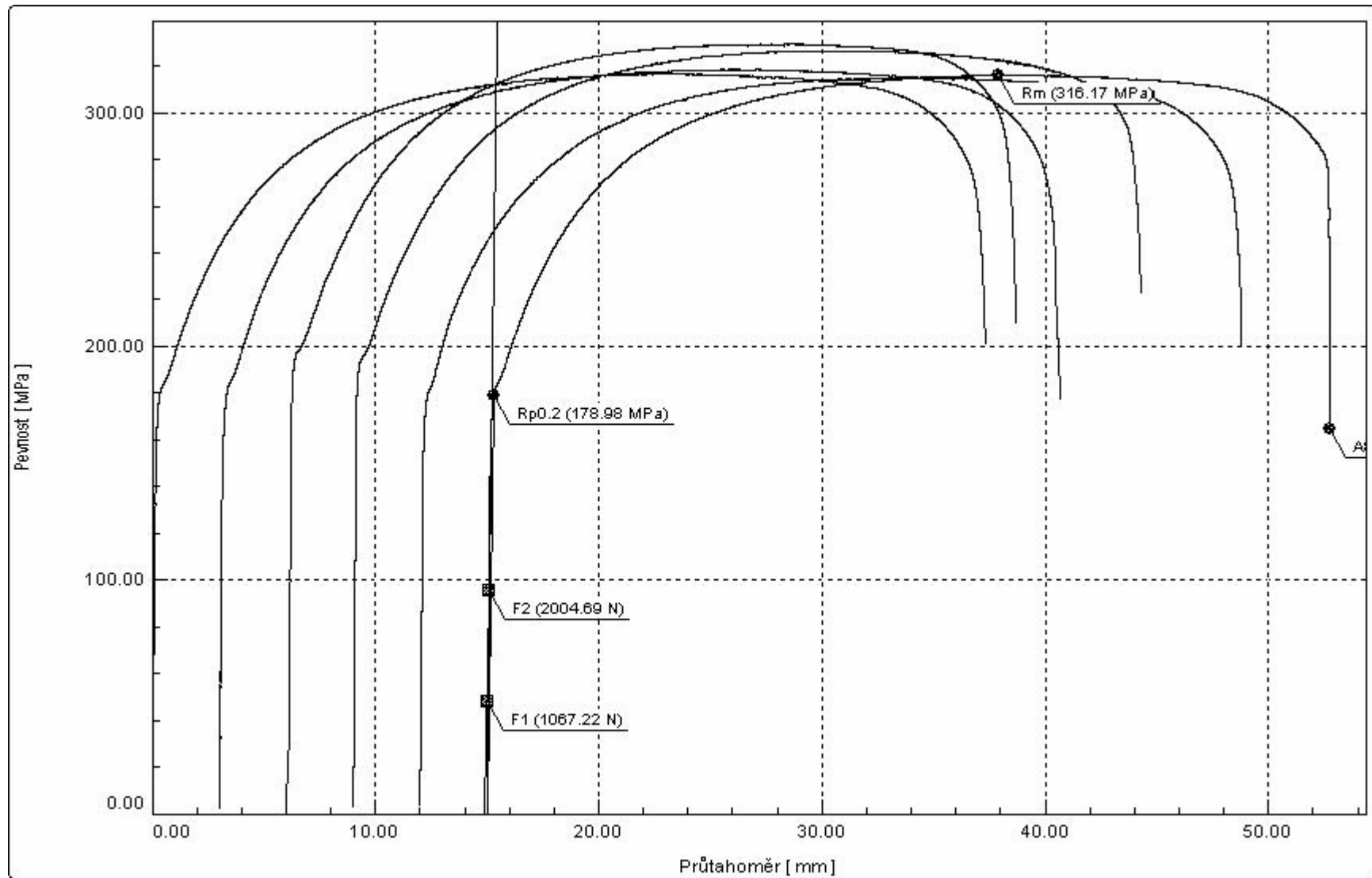
ČSN 41 1305		Ocel obvyklých jakostí k tažení				OCEL		
STN 41 1305		a tváření za studena				11 305		
Chemické složení [hm. %]								
C	Mn	P	S	Si	Al	N		
max 0,07	max 0,40	max 0,025	max 0,025	max 0,03	min 0,025	²)		
Polotovary								
[1] tenké plechy válcované za studena								
Mechanické vlastnosti								
Polotovary		[1]						
Rozměr t, d [mm]		0,5-2,0						
Stav		.21)						
Mez kluzu R_p 0,2 [MPa] max		215						
Mez pevnosti R_m [MPa]		290-360						
Tažnost A_{80} [%] napříč min		36						
Fyzikální vlastnosti								
Hustota	Měrná tepelná kapacita	Teplotní součinitel roztažnosti		Tepelná vodivost		Konduktivita		
ρ [kg . m ⁻³]	c_p [J . kg ⁻¹ .K ⁻¹]	α [K ⁻¹]		λ_t [W . m ⁻¹ .K ⁻¹]		λ_e [MS . m ⁻¹]		
7 850	–	–		–		–		
Technologické údaje								
SVAŘITELNOST								
podle ČSN 05 1310 zaručená								
OBROBITELNOST		Třída obrobiteľnosti						
soustružení a hoblování		15b						
frézování a vrtání		14b						
TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY								
zkouška hloubením podle Erichsena podle ČSN 42 0406								
tloušťka a [mm]	0,50	0,60	0,80	1,00	1,30	1,50	1,80	2,00
prohloubení h [mm]	9,3	9,6	10,2	10,7	11,2	11,6	12,1	12,3
Použití								
Ocel na velmi hluboké tažení, odolná proti stárnutí. Plechy jsou zvláště vhodné na tváření za studena, lakování a pokovování. Vzhledem k tomu, že se jedná o ocel uklidněnou, má zvýšenou odolnost proti stárnutí po válcování za studena.								

Ostatní vlastnosti					
Druhy oceli podle způsobu výroby		Barevné značení podle ČSN 42 0010		Třída odpadu podle ČSN 42 0030	
kyslíková konvertorová - uklidněná		hnědá – modrá		005	
Porovnání se zahraničními materiály					
<i>ISO</i>		<i>EURO</i>		<i>Německo</i>	
Cr 04	ISO17/12N49-69	FePO4 DC04	EN 10130-91 EN 10130-91	St14 FePO4	DIN 1623/1 DINEN 10130E-89
Francie		Velká Británie		Rusko	
ES	NF A36-401-74	1HR, HS, CR, CS 2HR, HS, CR, CS	BS 1449/1-91 BS 1449/1-91	08Ju 08JuA	GOST 9045-80 GOST 4041-71
<i>USA</i>		<i>Japonsko</i>		<i>Kanada</i>	
A 619 A 620 A 621 A 622	ASTM A 619 ASTM A 620 ASTM A 621 ASTM A 622	SPCE	JIS G 3141-87	-	-
<i>Itálie</i>		<i>Rakousko</i>		<i>Švédsko</i>	
-	-	-	-	1147	SS 141147-75
<i>Polsko</i>		<i>Maďarsko</i>		<i>Norsko</i>	
08J 08JA	PN H-84023/02-89 PN H-84023/02-89	-	-	-	-
<i>Finsko</i>		<i>Švýcarsko</i>		<i>Španělsko</i>	
CR 4	SF 600	-	-	APO4 DC04	UNE 36-086/1-79 UNE 36-086/1-91
<i>Austrálie</i>		<i>Jugoslávie</i>		<i>Rumunsko</i>	
Hd 3 Hd 4 Cx 3 Cx 4	AS1594-89 AS1594-89 AS1595-81 AS1595-81	Č. 0147SU Č. 0148SU	JUS C.B4.016-78 JUS C.B4.016-78	A 3k	STAS 9485-80
Poznámky					
1) Rekrystalizačně žíhaný, lehce převálcovaný za studena					
2) Musí být vázaný					

Příloha 2

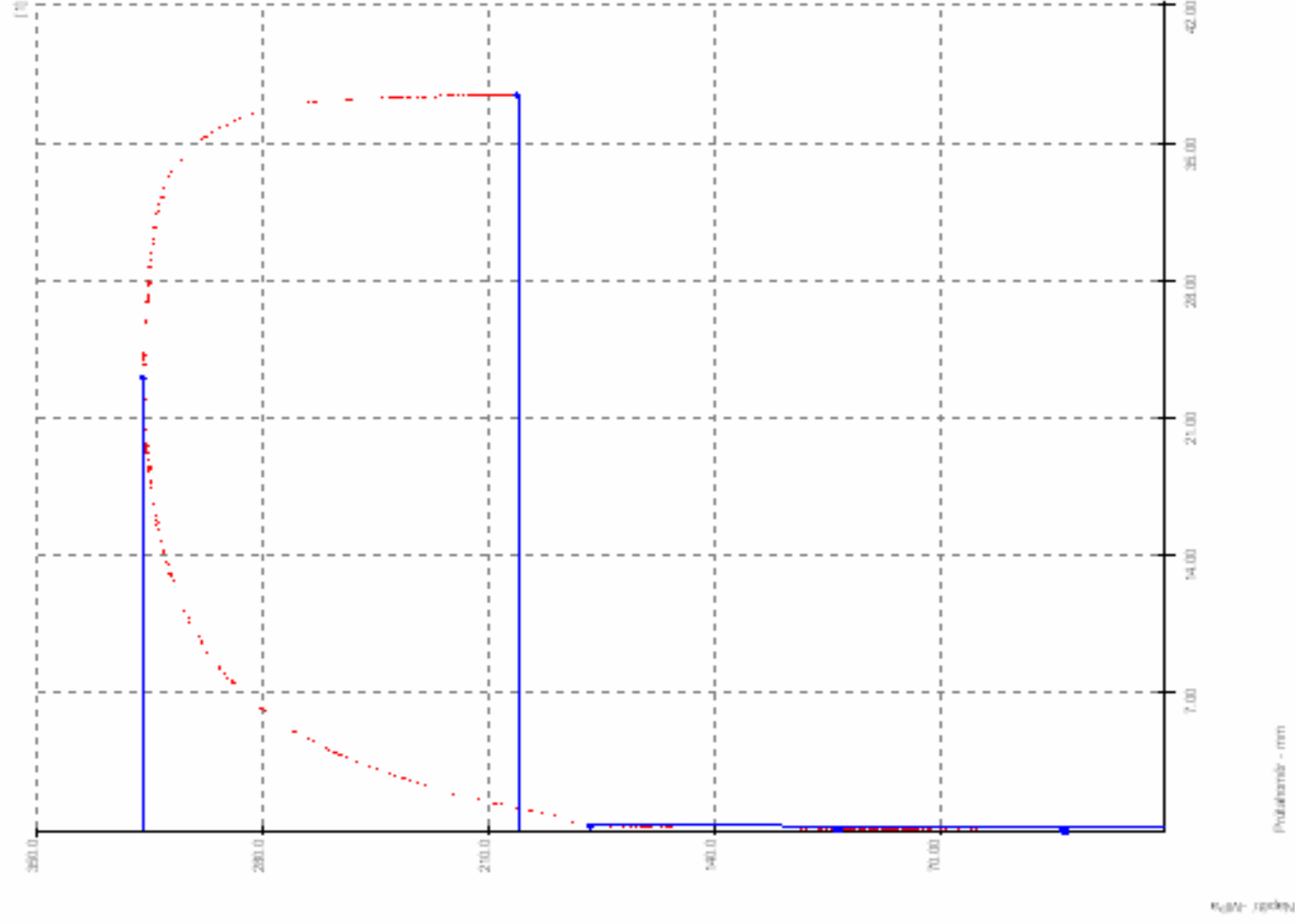
Výsledky tah plech 1x20-80mm, DC 04 (11305), 16.2.09													
Zkouška	Datum testu	Číslo vzorku	Fb	Rp0.2	Fmax	t	Rm	v	A80	a	L0	b	Lu
			N	MPa	N	sec	MPa	mm/min	%	mm	mm	mm	mm
1	16.2.2009	0°-1	3982	178	6294	760	317	4,05	44,2	1	80	19,88	115,38
2	16.2.2009	0°-2	3528	177	6342	781	319	4,02	44,3	1	80	19,91	115,4
3	16.2.2009	45°-1	4157	195	6540	678	329	3,98	36,5	1	80	19,85	109,16
4	16.2.2009	45°-2	4426	193	6503	720	327	3,95	40	1	80	19,91	112
5	16.2.2009	90°-1	3976	177	6274	799	315	3,94	45	1	80	19,91	116
6	16.2.2009	90°-2	3278	179	6292	803	316	3,93	45,1	1	80	19,9	116,05

STAT	Datum testu	Číslo vzorku	Fb	Rp0.2	Fmax	t	Rm	v	A80	a	L0	b	Lu
	mm		N	MPa	N	sec	MPa	mm/min	%	mm	mm	mm	mm
n	-----	-----	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
x	-----	-----	3891,09	183	6373,81	756,7	320,4	3,98	42,5	1	80	19,89	114
s	-----	-----	419,6	8,33	116,87	49,02	6,07	0,05	3,51	0	0	0,02	2,81
v	-----	-----	10,78	4,55	1,83	6,48	1,9	1,22	8,27	0	0	0,12	2,47
min	-----	-----	3277,57	176,64	6273,57	677,96	315,1	3,93	36,45	1	80	19,85	109,16
max	-----	-----	4425,89	194,6	6539,57	802,68	329,45	4,05	45,06	1	80	19,91	116,05



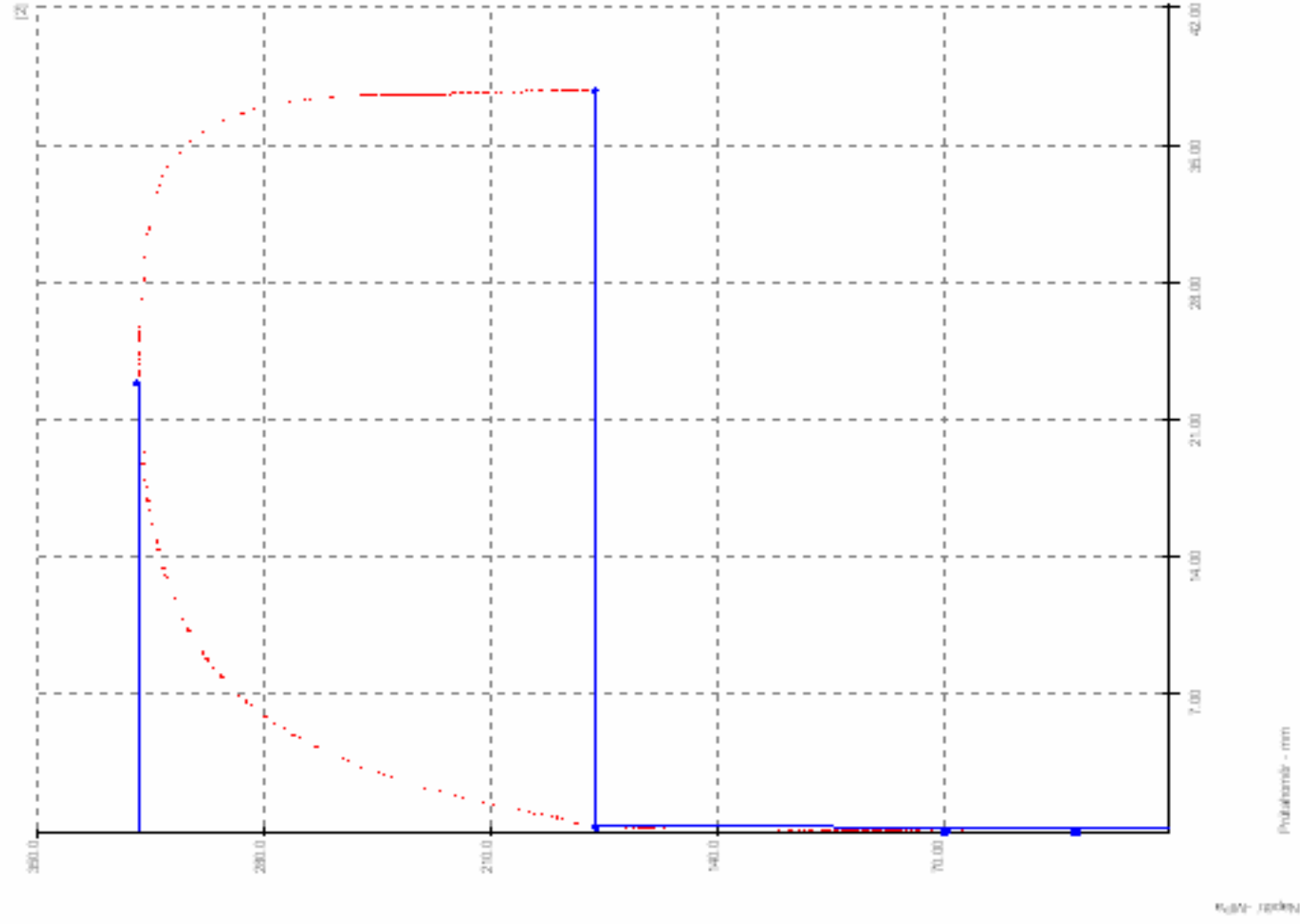
Zkouška tahem, plech 1x20-80mm, 11305, 16.2.09

Zkouška	Číslo vzorku	R _m 0.2 MPa	F _m ax N	R _m MPa	A80 %
IV	0-1	178	6294	317	44.2



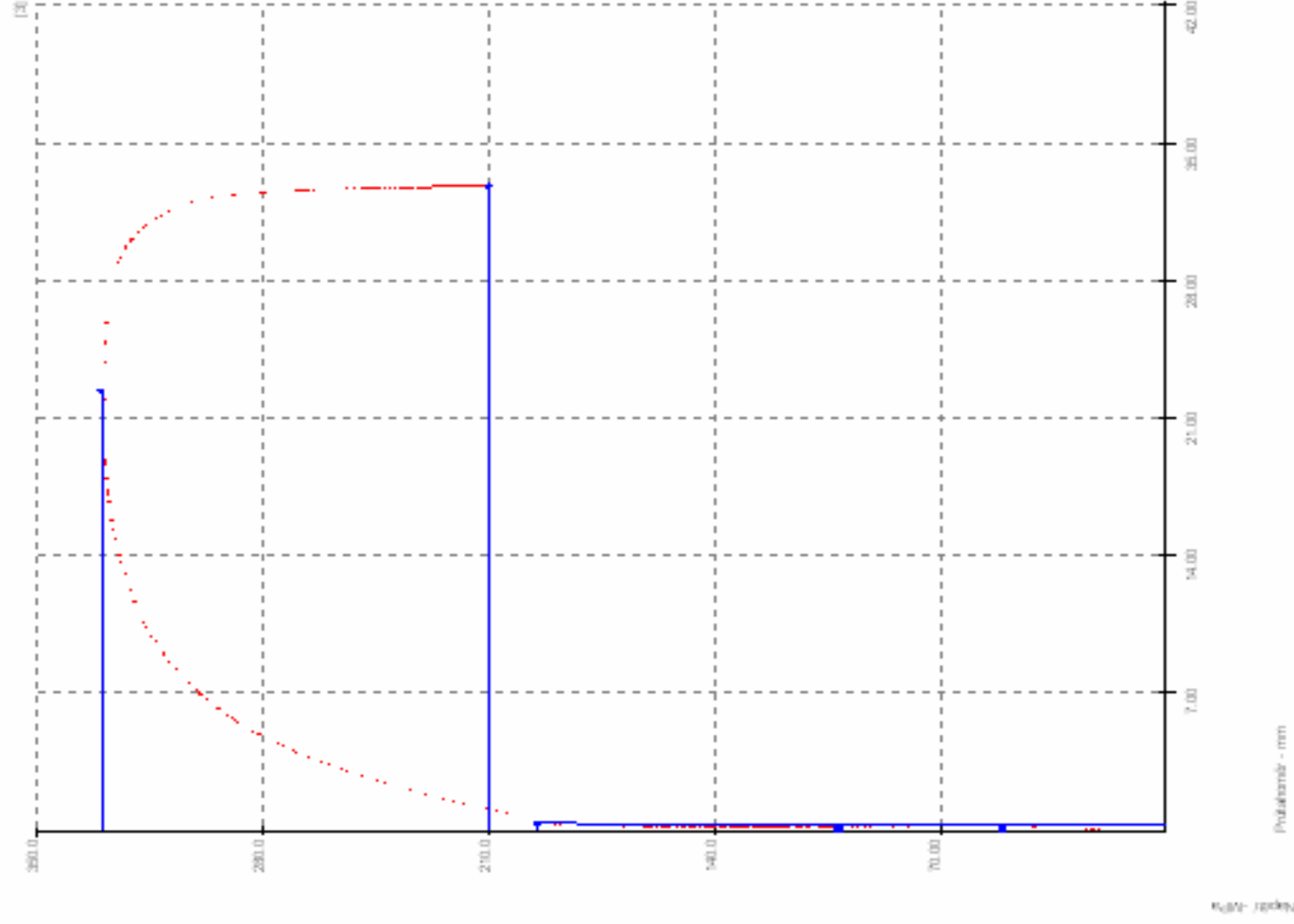
Zkouška tahem, plech 1x20-80mm, 11305, 16.2.09

Zkouška	Číslo vzorku	R _{m0.2} MPa	F _{máx} N	R _m MPa	A ₈₀ %
2 V	0'-2	177	6342	319	44.3



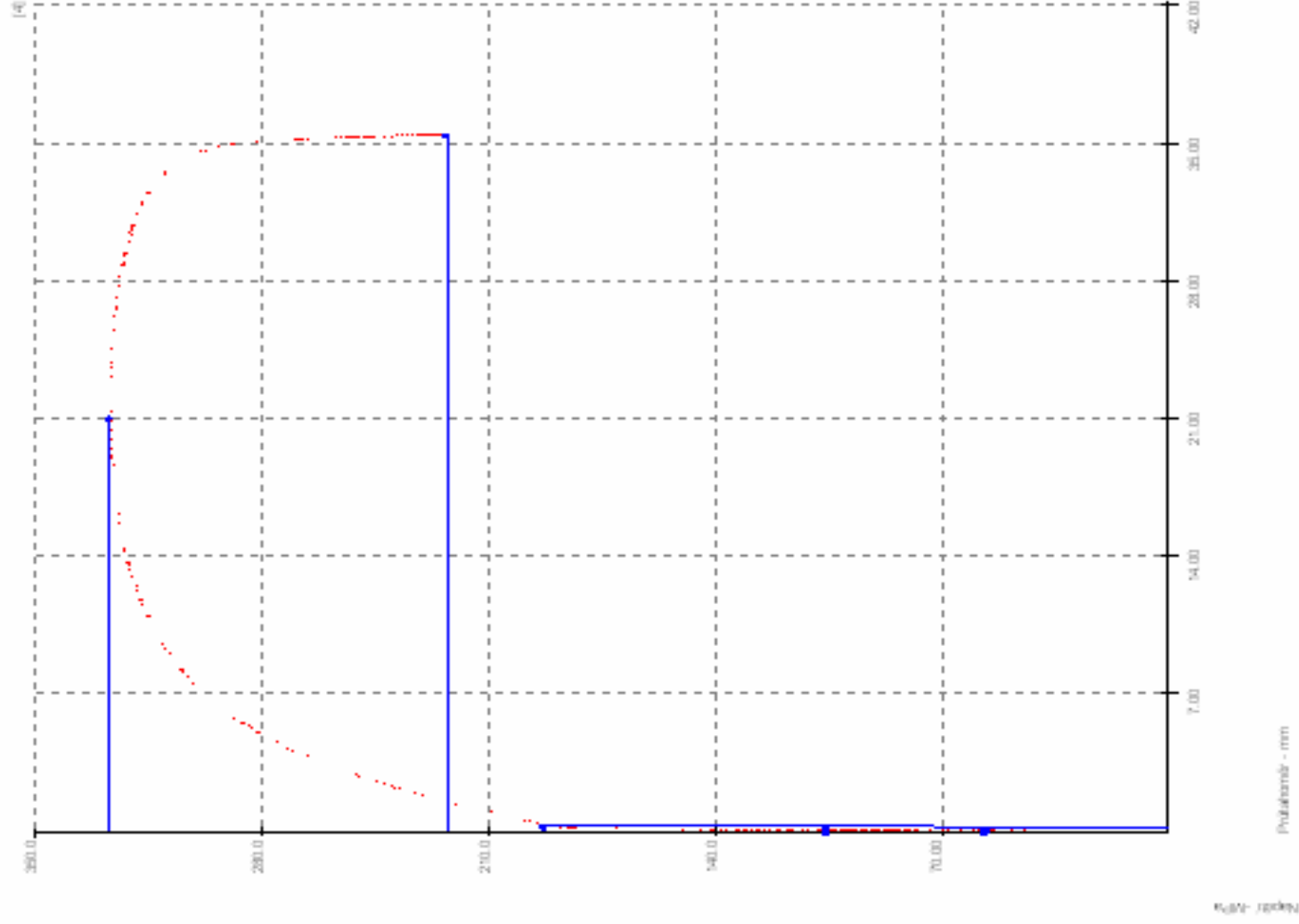
Zkouška tahem, plech 1x20-80mm, 11305, 16.2.09

Zkouška	Číslo vzorku	R _m 0.2 MPa	F _{mak} N	R _m MPa	A80 %
3 V	457-1	195	6540	329	36.5



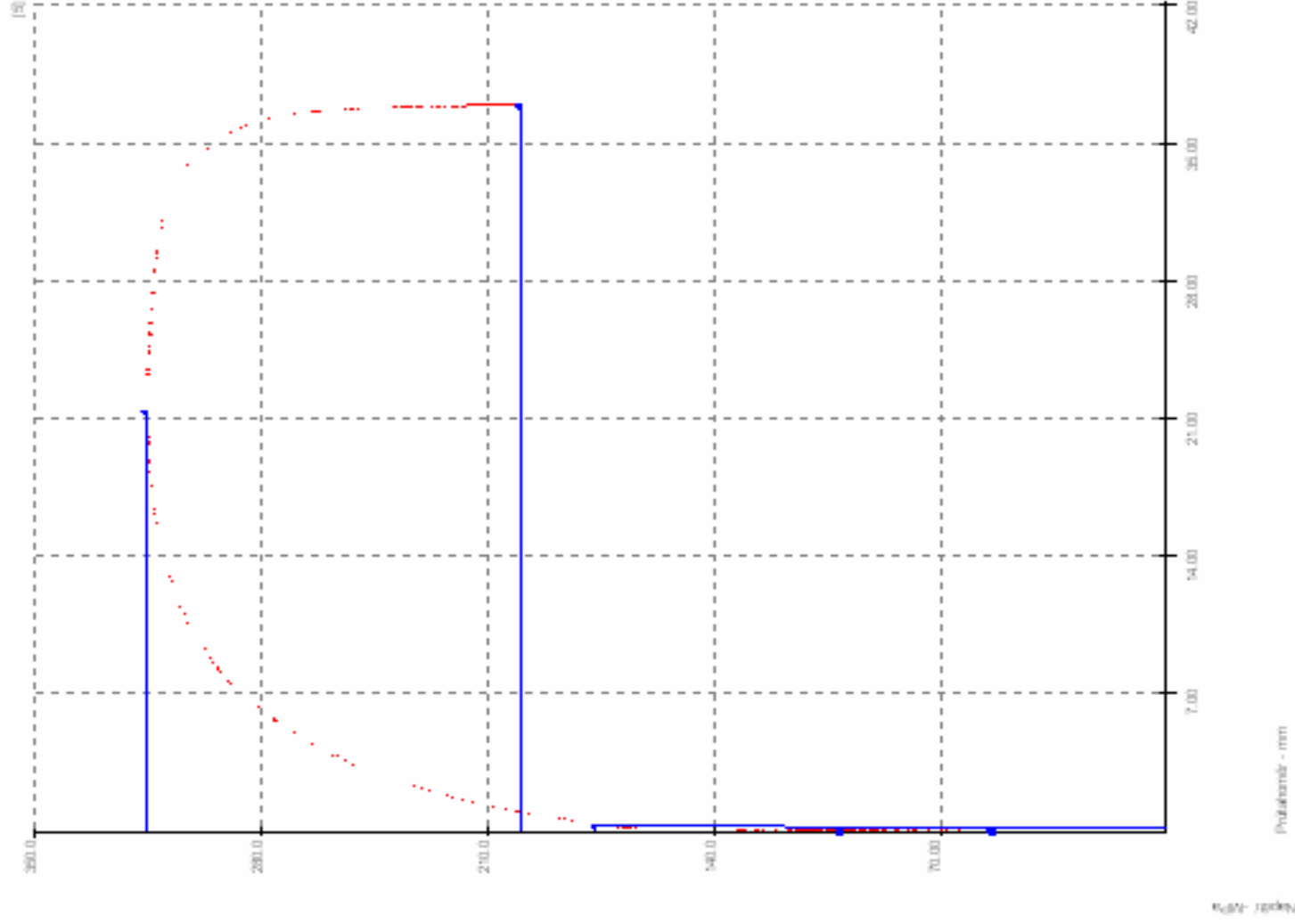
Zkouška tahem, plech 1x20-80mm, 11305, 16.2.09

Zkouška	Číslo vzorku	R _{0,2} MPa	F _{max} N	R _m MPa	A ₈₀ %
4 V	45-2	193	6503	327	40,0



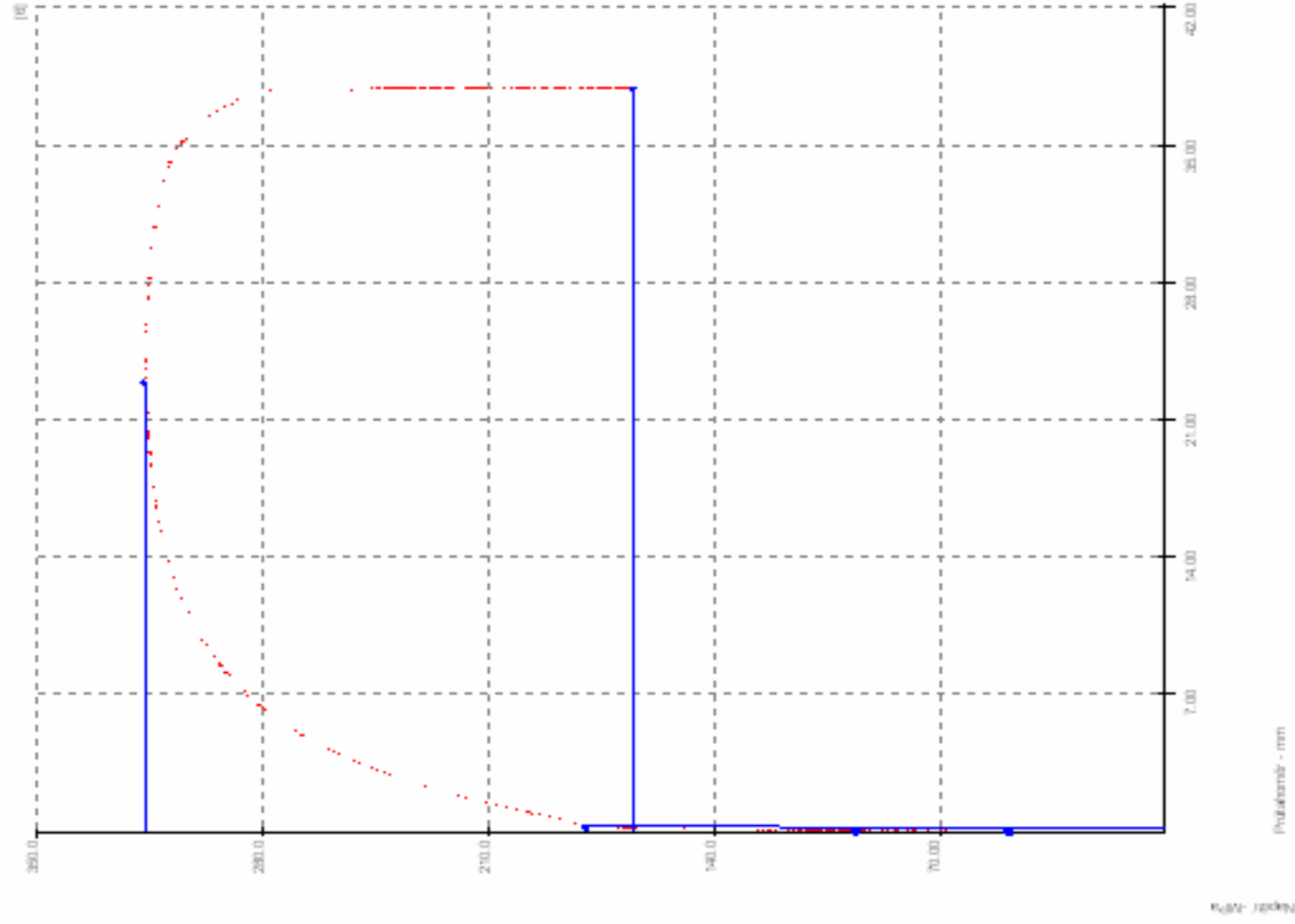
Zkouška tahem, plech 1x20-80mm, 11305, 16.2.09

Zkouška	Číslo vzorku	R _{m0.2} MPa	F _{máx} N	R _m MPa	A ₅₀ %
SV	507-1	177	6274	315	45.0



Zkouška tahem, plech 1x20-80mm, 11305, 16.2.09

Zkouška	Číslo vzorku	Rm0.2 MPa	Fmax N	Rm MPa	A80 %
6 V	907-2	179	6292	316	45.1



Hodnoty poměrné výšky pro měkkou ocel

Příloha 3

[3]

$\frac{R_b}{B}$	Poměrná výška $\frac{h}{B}$				
	$\frac{s_o}{D} * 100$	2-1,5	1,5-1,0	1,0-0,6	0,6-0,3
0,3		1,0	0,95	0,90	0,85
0,2		0,90	0,82	0,75	0,70
0,15		0,75	0,70	0,65	0,60
0,10		0,60	0,55	0,50	0,45
0,05		0,40	0,37	0,34	0,30
0,025		0,30	0,27	0,24	0,20

Příloha 4

Kalkulace - seriové lisovací nářadí

RAZNIK	sazba/h	pracnost	náklady v kč
<i>material</i>	<i>80kč/kg</i>	<i>187kg</i>	<i>15000</i>
<i>2D obrábění</i>	<i>700</i>	<i>24</i>	<i>16800</i>
<i>3D frézování</i>	<i>1000</i>	<i>35</i>	<i>35000</i>
<i>CAD</i>	<i>1000</i>	<i>32</i>	<i>32000</i>
<i>CAM</i>	<i>800</i>	<i>32</i>	<i>25600</i>
<i>mechanik</i>	<i>600</i>	<i>32</i>	<i>19200</i>
<i>nakupovaný material</i>			<i>24000</i>

167600

PŘIDRŽOVAČ	sazba/h	pracnost	náklady v kč
<i>material</i>	<i>80kč/kg</i>	<i>327kg</i>	<i>26200</i> <i>plny mat.</i>
<i>2D frézování</i>	<i>700</i>	<i>42</i>	<i>29400</i>
<i>3D frézování</i>	<i>1000</i>	<i>35</i>	<i>35000</i>
<i>CAD</i>	<i>1000</i>	<i>34</i>	<i>34000</i>
<i>CAM</i>	<i>800</i>	<i>32</i>	<i>25600</i>
<i>mechanik</i>	<i>600</i>	<i>32</i>	<i>19200</i>
<i>nakupovaný material</i>			<i>26500</i>

195900

MATRICE	sazba/h	pracnost	náklady v kč
<i>material</i>	<i>80kč/kg</i>	<i>420kg</i>	<i>33600</i>
<i>2D frézování</i>	<i>700</i>	<i>45</i>	<i>31500</i>
<i>3D frézování</i>	<i>1000</i>	<i>35</i>	<i>35000</i>
<i>CAD</i>	<i>1000</i>	<i>36</i>	<i>36000</i>
<i>CAM</i>	<i>800</i>	<i>36</i>	<i>28800</i>
<i>mechanik</i>	<i>600</i>	<i>36</i>	<i>21600</i>
<i>nakupovaný material</i>			<i>28200</i>

214700

CELKEM

578200 Kč

