

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

**NÁVRH TECHNOLOGIE LISOVÁNÍ PLECHOVÉ  
SOUČÁSTI NEPRAVIDELNÉHO TVARU**

*Project of Stamping Technology of Intricate Shape Part  
from Sheet-metal*

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Radek Čada, CSc.

Student:

Bc. Jakub Machálek

Ostrava, 2009

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně, s výjimkou výkresu s názvem díl vnitřní - č. 3T9 809 407 (viz příloha v zadní kapse), pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 28. 5. 2009

.....  
Bc. Jakub Machálek

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 28. 5. 2009

.....

Bc. Jakub Machálek

Horní Jasenka 194, 755 01 Vsetín

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Machálek, J. *Návrh technologie lisování plechové součásti nepravidelného tvaru.*

Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie – 345, 2009. 112 s. Diplomová práce, vedoucí: prof. Ing. Radek Čada, CSc.

Diplomová práce se zabývá návrhem technologie lisování plechové součásti nepravidelného tvaru. V práci je popsán postup, jakým se zpracovává výtah od základního 3D počítačového modelu po hotový díl. Dále je navržena technologie lisování podpořená metodickým plánem lisování a odladění kritických rozměrů a tolerancí za účelem dodržení tolerancí předepsaných na výkrese.

Cílem diplomové práce je návrh nové technologie výroby výtahu nepravidelného tvaru, který je podpořen simulací procesu tváření metodou konečných prvků a metodickým plánem lisování. Závěrem jsou shrnuty doporučení vedoucí k racionalizaci návrhů technologií výroby analogických součástí.

## **ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS**

Machálek, J. *Project of Stamping Technology of Intricate Shape Part from*

*Sheet-metal.* Ostrava : VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology – 345, 2009. 112 s. Diploma thesis head: Prof. Radek Čada.

The Diploma Thesis is dealing with the projection of stamping technology of intricate shape part from sheet-metal. In thesis the progress by which the stamping is processed from the basic 3D computer model to final piece is described. Therinafter the stamping technology is proposed and supported by methodical stamping scheme and evasion of critical measures and tolerances in the order to keep the tolerances specified in the stamping scheme.

The aim of this Diploma Thesis is the projection of stamping technology of intricate shape part from sheet-metal . This projection is supported by simulation of the drawing process by finite elements method and also by methodical stamping scheme. At last the recommendations leading to the rationalization of the projections of analogical pieces production technologies are summarized.



## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval prof. Ing. Radku Čadovi, CSc. z katedry mechanické technologie VŠB - TU Ostrava za cenné připomínky a odborné rady. Dále děkuji firmě PWO UNITOOLS CZ, a. s., především panu Ing. Markovi Vozákovi a panu Ing. Martinu Slámovi, za cenné rady a informace, kterými mi byli nápomocni při zpracování této diplomové práce. Rovněž děkuji svým rodičům za neustálou podporu, jak morální, tak i finanční a za jejich trpělivost.

# Obsah

	strana
Úvod .....	1
<b>1 Tváření součástí nepravidelného tvaru v PWO UNITOOLS CZ, a. s. ....</b>	<b>2</b>
1.1 Popis zadané součásti .....	4
1.2 Použitý software pro tvorbu ploch a simulace tažení výtažku .....	5
1.2.1 Charakteristika programu CATIA V5 .....	5
1.2.2 Charakteristika programu AutoForm .....	8
1.3 Materiály nejčastěji používané při tváření výtažků pro automobilový průmysl ..	9
1.3.1 Materiál DC04 .....	10
1.3.2 Materiál St 12 .....	11
1.3.3 Materiál C35 .....	11
1.3.4 Materiál H220P .....	12
1.3.5 Materiál St 52-3 .....	13
1.4 Návrh vhodného materiálu pro zadaný výtažek a jeho vlastnosti .....	13
1.5 Stanovení mechanických vlastností zvoleného materiálu .....	14
1.6 Vyhodnocení mechanických vlastností materiálu H220P .....	17
<b>2 Návrh tahových ploch s využitím 3D CAD systému.....</b>	<b>18</b>
2.1 Vytvoření plošného tělesa a ustavení do souřadného systému .....	18
2.2 Vyplnění otvorů výtažku .....	22
2.3 Vytažení okrajových ploch .....	23
2.4 Tvorba plochy přidržovače .....	25
2.5 Tvorba plochy po první operaci .....	28
2.5.1 Volba úhlu rozevření .....	29
2.5.2 Volba střížných mezer .....	31
2.5.3 Volba zaoblení tažných hran .....	32
2.6 Návrh brzdících drážek a tvarových ploch .....	33
2.6.1 Význam brzdících členů při tažení součásti složitého tvaru a technologické zásady navrhování brzdění plechů .....	34

2.6.2 Úkol a vlastnosti brzdících žeber během procesu tažení součástí nepravidelného tvaru .....	35
2.6.3 Rozdělení brzdících žeber .....	36
2.6.4 Půdorysné rozmíst'ování brzdících žeber .....	40
2.7 Volba a definice brzdících žeber pro výtažek .....	41
<b>3 Simulace tažení výtažku .....</b>	<b>45</b>
3.1 Definování tvářecích parametrů .....	46
3.1.1 Rozdělení tělesa do systému konečných prvků .....	46
3.1.2 Definování technologických vlastností .....	47
3.1.3 Definování materiálových vlastností.....	48
3.1.4 Definování brzdících členů.....	49
3.1.5 Definice obstříhové kontury pro vystřížení výtažku.....	50
3.2 Výsledky simulace tažení výtažku .....	51
3.2.1 Porušení výtažku .....	52
3.2.2 Ztenčení plechu výtažku .....	54
3.2.3 Lisovatelnost výtažku a stupeň přetvoření .....	55
3.2.4 Výskyt zvlnění .....	57
<b>4 Metodický plán lisování součástí .....</b>	<b>58</b>
4.1 Volba technologie výroby .....	59
4.2 Přístřih .....	65
4.3 Technologický postup výroby výtažku technologií ručního zakládání .....	71
4.4 Návrh lisu, nástroje a vhodného typu stroje .....	74
<b>5 Odladění kritických rozměrů a tolerancí za účelem dodržení tolerancí     předepsaných na výrobním výkresu .....</b>	<b>75</b>
<b>6 Cenová kalkulace nástroje .....</b>	<b>79</b>
<b>7 Doporučení k racionalizaci návrhů technologií výroby analogických součástí ...</b>	<b>83</b>
<b>8 Závěr .....</b>	<b>86</b>
<b>9 Seznam použité literatury .....</b>	<b>89</b>
<b>10 Seznam příloh .....</b>	<b>91</b>
<b>Použité značky a symboly</b>	

## Úvod

Strojírenství je od počátku jedním z nejdůležitějších odvětví průmyslu. Považuje se za jedno z měřítek k posuzování vyspělosti jednotlivých států. Strojírenství podléhá aktuálním trendům a inovativním řešení více než v jakémkoli jiném odvětví. Snaha obstát v tvrdé konkurenci a být nejlepší žene průmysl mílovými kroky kupředu. Nová neotřelá řešení, použití nových technologií a výzkum nových materiálů, jdou ruku v ruce s požadavky nejvyšších užitečných vlastností a bezpečnostními nároky na ochranu majetku a osob. Snaha o to být nejlepší v oboru, mít své know-how, je tažnou silou strojírenského průmyslu a díky této invenci nastává neustálý pokrok a poznávání světa kolem nás.

Oblastí, která se ve strojírenství neustále nejvíce rozvíjí a za posledních 100 let dosáhla neuvěřitelných rozměrů, je automobilový průmysl. „Postavím Ameriku na kola“ prohlásil Henry Ford, když zahájil v roce 1908 první sériovou výrobu automobilu. Dnes je už na kolech celý svět a neustále se vyvíjí a rozrůstá. Zejména v tomto odvětví průmyslu, kde je neustálý konkurenční boj, je nezbytné držet krok v oblastech jako je materiálové inženýrství, svařování materiálů, konstrukce dílů, tváření kovů atd. Tváření automobilových dílů, které vyhovují mechanickým vlastnostem, bezpečnostním požadavkům a jsou rovněž aktuální po stránce designu, je neustále se zdokonalující a vyvíjející se oblastí automobilového průmyslu.

Jednou z firem, která se chce stát dominantním výrobcem nástrojů a významným dodavatelem plechových výtažků pro automobilový průmysl, je firma PWO UNITOOLS CZ, a. s. Tato firma nabízí komplexní služby vývoje, konstrukce, výroby nástrojů a výroby plechových výlisků pro automobilový průmysl. S použitím nejmodernějších systémů simulací tváření drží krok s vývojářskými a konstrukčními centry po celém světě.

Tato diplomová práce řeší návrh technologie lisování plechové součásti nepravidelného tvaru pomocí moderního softwaru a moderních technologií. Návrh technologie tažení výtažku je podpořen simulací procesu tváření pomocí metody konečných prvků, metodickým plánem lisování pro zvolenou technologii a formulací doporučení vedoucí k racionalizaci návrhů pro analogické součásti nepravidelného tvaru.

## 1 Tváření součástí nepravidelného tvaru v PWO UNITOOLS CZ, a. s.

Procesy tváření, matematickými výpočty, konstrukční dokumentací, NC programy, měřením volně tvarovaných ploch i simulací hlubokého tažení plechů různých tvarů a vlastností se v České republice zabývá PWO UNITOOLS CZ, a. s. Tato firma sídlí ve Valašském Meziříčí je jedna z mála firem v České republice, která využívá nejmodernějších technologií k realizaci procesu tažení výtažků především pro automobilový průmysl. Od 1. 5. 2005 se jedná o jednu ze tří dceřiných společností PWO AG, Oberkirch sídlící ve Spolkové republice Německo.

PWO UNITOOLS CZ, a. s. nabízí komplexní služby vývoje, konstrukce, výroby nástrojů a výroby plechových výlisků pro automobilový průmysl. Největší podíl její produkce (87 %) je určen pro export do Německa, Norska, Slovenska aj.

Zlepšování systému, aplikace nových technologií a certifikace dle normy VDA 6.4 jsou aktivity, které řadí PWO UNITOOLS CZ, a. s. na úroveň dodavatelů světové třídy. Společnost je dále nositelem certifikátů ISO 9001:2000 a ISO / TS 16949:2002



Obr. 1 Společnost PWO UNITOOLS CZ, a. s.

Prvořadým podnikatelským cílem PWO UNITOOLS CZ, a. s. je úspěšná existence na trhu a úspěšný rozvoj firmy. Předpokladem k tomu jsou spokojení zákazníci. Zajištění spokojenosti zákazníků je nejvyšší cíl všech aktivit. Tyto aktivity jsou podporovány všemi pracovníky, kteří jsou v kontaktu se zákazníky, těmi kteří vyvíjejí produkty a procesy, těmi kteří tvoří přidanou hodnotu produktů až po ty, kteří poskytují podporu hlavním procesům. S pomocí inovativního a hodnotově orientovaného myšlení a jednání chce firma neustále zlepšovat prospěch zákazníků z produktů a služeb, a tím dosahovat dlouhodobého a plynulého zvyšování hodnoty podniku, zajišťovat pracovní místa a vytvářet pro své akcionáře přiměřené dividendy.

Kvalita produktů a služeb spolu s podnikatelskými výkony představuje pro PWO UNITOOLS CZ, a. s. hlavní konkurenční faktor a tvoří základ spolupráce uvnitř podniku, jakož i se zákazníky a dodavateli.

Těžištěm činností pro zajištění kvality je ve všech oborech zabraňování vzniku vad s cílem dosáhnout výroby s nulovým počtem vad. Zabraňování vzniku vad má vždy přednost před jejich odhalováním.

Jedním ze základních principů managementu je trvalý rozvoj, kde je ekonomika vyvážena s ochranou prostředí. Ochrana životního prostředí je jedním ze základních úkolů managementu. Odpovědnost za životní prostředí začíná u managementu firmy. Všichni manažeři zodpovídají za ochranu životního prostředí v rámci svých činností a procesů. Ochrana životního prostředí vyžaduje zodpovědnost všech zaměstnanců při jejich práci.

PWO UNITOOLS CZ, a. s. se chce stát dominantním výrobcem nástrojů a významným dodavatelem plechových výlisků pro automobilový průmysl. Pevné držení trhu si hodlá zajistit tím, že se zaměří i nadále na zákazníka a analýzou bude zachycovat trendy vývoje, na které bude účinně, dynamicky a pružně reagovat. Posláním společnosti je poskytování komplexních služeb vývoje, konstrukce a výroby nástrojů. Svým zákazníkům bude i nadále nabízet vysokou kvalitu služeb za konkurenčně schopnou cenu.

## 1.1 Popis zadané součásti

Zadaný výtažek nepravidelného tvaru je formou poptávky do firmy PWO UNITOOLS CZ, a. s. dodán v elektronické podobě, 3D modelu a výkresu (díl vnitřní - č. 3T9 809 407 viz příloha v zadní kapse), která je dnes již běžným standardem. V této podobě (CATIA V5 R16) je zachycen přesný rozměr, tloušťka, velikost a tvarové nelinearity. Dále pro zdokumentování a pro zachycení materiálových vlastností jsou dodány i výkresy dané součásti.

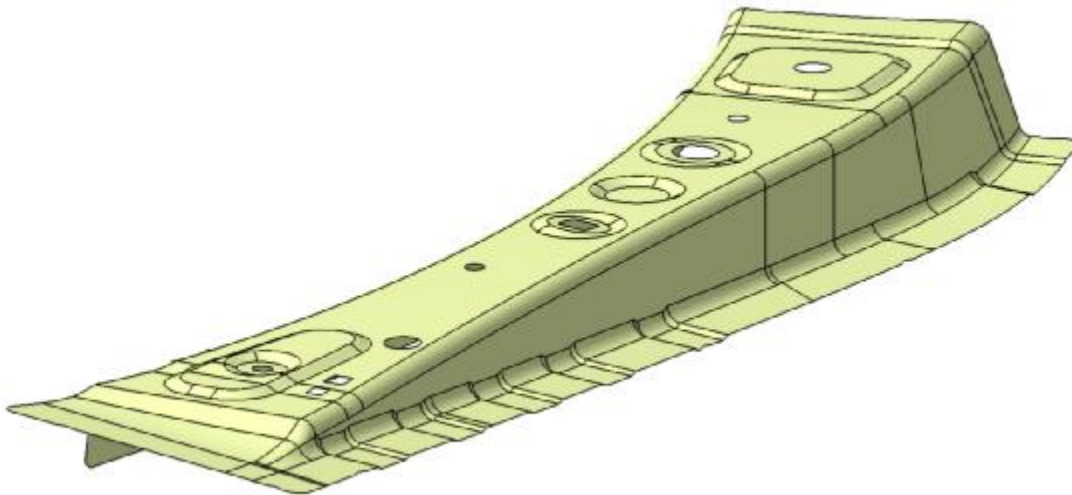
Daná součást nepravidelného tvaru slouží jako funkční součást karosérie (výztuha) nového automobilu a to jako díl podběhu (viz obr. 1.1). Podběhy u automobilů obecně slouží k dosažení optimálních vlastností podvozku a sladění komfortu řidiče s různorodostí povrchu vozovky.

Díky tomu, že se jedná o nový model automobilu světové značky a jednotlivé díly podléhají utajení, vzhledem ke konkurenci jsou veškeré bližší údaje prozrazující umístění, způsob montáže a podrobnější popis a účel dílce, utajeny. Proto se vychází z elektronické podoby zadaného výtažku a z požadovaných materiálových vlastností.



Obr. 1.1 Zadaná součást a její umístění v automobilu

Zadaný výlisek v digitální formě CAT Part computer aided translation (počítačem podporovaný překlad) představuje interaktivní vizualizaci hotového výlisku požadovaných rozměrových vlastností (viz obr. 1.2). Spolu s touto digitální formou jsou dodány i další požadavky, které musí daný výtažek splňovat – jedná se především o materiálové a mechanické vlastnosti daného výtažku.



Obr. 1.2 Vizualizace hotového výtažku požadovaného od zadavatele

## **1.2 Použitý software pro tvorbu ploch a simulaci tažení výtažku**

Dnes se již jako běžný standard využívají pro matematické výpočty a simulaci procesu hlubokého tažení 3D CAD systémy. Mezi jedny z nejvíce prosperujícími a po celém světě nejvíce využívanými jsou systémy CATIA V5 a AutoForm Incremental, Trim. Tyto CAD/CAM/CAE/PLM systémy mají celou řadu využití nejen v automobilovém průmyslu po celém světě ale i leteckém průmyslu, lodním a v ostatních odvětvích průmyslového hospodářství.

### **1.2.1 Charakteristika programu CATIA V5**

CATIA (Computer-Graphics Aided Three Dimensional Interactive Application) je PLM/CAD/CAM/CAE komerční software vyvíjený společností Dassault Systemes a celosvětově distribuovaný obchodními partnery IBM a Dassault Systemes. Od roku 1999,



kdy CATIA V5 firmy Dassault Systemes byla uvedena trh, obsahuje dnešní nabídka CATIA V5 více než 160 různých modulů a více jak 140 speciálních aplikací vyvíjených partnerskými organizacemi. CATIA V5 může používat se svými příbuznými programy funkce Cut/ Copy/ Paste/ Drag&Drop a standardy interaktivní technologie (Plug&Play, OLE, Visual Basic, WEB, API). Skladba systému umožňuje definovat, sdílet, modifikovat a vyhodnocovat všechny technologické informace o celém životním cyklu výrobku. Digitální geometrie dílu (sestavy) může být rozšířena o řadu specifikací, jako např. materiálové vlastnosti, lidské zdroje, výrobní zdroje, Know-how, informace o procesech apod.

CATIA V5 umožňuje konstrukci výrobku v kontextu rozsáhlých sestav, přímé manipulace a řízení geometrie v reálném čase a podporuje technologie virtuální reality. Produkt má přímou interaktivní skladbu systému, a je určen pro prostředí pracovních stanic s operačními systémy UNIX i Windows NT.

#### **Jednotlivé aplikace v programu CATIA V5 jsou rozděleny takto:**

- a) Mechanical design (Mechanická konstrukce) – skupina aplikačních modulů pro vývoj CAD modelů obecných strojírenských konstrukcí na bázi hybridního modelování s cílem vytvořit plně editovatelný parametrický model s řadou geometrických a technologických features (prvků) a plnou asociativitu. Technická výkresová dokumentace může vznikat jak projekcí modelů, tak i přímým kreslením.
- b) Analysis & Simulation (Inženýrská analýza) – intuitivní, snadné ovládání, rychlé odezvy systému, a řízená přesnost výsledků jsou základní charakteristiky aplikací pro analýzu a kontrolu namáhání součástí a sestav pomocí metody konečných prvků. Aplikace jsou určeny zejména pro předběžné posouzení správnosti navrženého dimenzování konstrukce konstruktérem a zajišťují rychle dostupnou informaci o stabilitě konstrukce přímo při jejím vzniku.
- c) Shape design (Tvarování a styling) – specializované aplikace pro nejvyšší požadavky v oblasti volného i parametrického designu na bázi povrchového modelování. Zahrnuje také specializované nástroje určené

pro profesionální požadavky vývoje v oblasti automobilového karosářství.

V této práci nejvíce využívána právě tato aplikace Shape design, při modelování zadaného výtažku a následné simulace tažení.

- d) AEC Plant (Návrh průmyslového závodu) – modelování prostorové dispozice výrobních celků od samostatných provozních souborů až po celé výrobní podniky zajišťuje specializovaná skupina aplikací, disponující funkcemi pro rozmístění jednotlivých technologických zařízení, konstrukcí a sítí do dispozice výrobních prostorů a budov.
- e) Knowledgeware (Infrastruktura systému) – skupina aplikací na bázi znalostního inženýrství umožňující nejvyšší úroveň sdílení a využívání Know-how v rámci struktury podniku. Vědecko-technické poznatky a Know-how vznikající a definované během vývojových procesů v organizaci lze implementovat do systému jako soubor závazných pravidel a standardizovaných postupů, které následně sdílejí všichni účastníci vývoje. Pomocí těchto znalostí systému lze testovat vytvářené konstrukce, případně znalosti dědit a využívat přímo při vzniku nových konstrukcí. Dále skupina obsahuje podpůrné funkce pro správu dat a transfery objektů.
- f) Equipment & Systems (Vnitřní zařízení a systémy) – aplikace pro návrh, modifikaci a analýzu elektrických a kapalinových systémů s cílem řešit celkové uspořádání prostorových poměrů v rámci průmyslového výrobku.

## 1.2.2 Charakteristika programu AutoForm

Firma AutoForm, která je jednoznačně vedoucím dodavatelem na trhu softwaru pro simulace procesu tažení poskytuje dva nástroje pro simulace procesu tažení plechů.

Simulace tažení plechů zaznamenala největší rozmach, a to zejména z těchto hledisek:

- díly vyrobené lisováním a tažením patří k nejlevnějším, a proto jimi finální výrobci nahrazují vše, co je možné touto technologií vyrobit,
- rostoucím množstvím výlisků rostou požadavky na geometrii dílů a jejich kvalitu,
- objevují se nové materiály, se kterými nejsou zkušenosti v oblasti tváření zastudena - např. vysokopevnostní oceli, nástřihy svařené ze dvou a více materiálů s rozdílnou tloušťkou stěny atd.,
- finální výrobci často požadují simulaci proto, aby díl podrobili dalším analýzám, jako jsou pevnostní a únavové výpočty, nárazové úlohy (crash) atd. Po plastické deformaci, ke které dojde během výroby, zůstává v dílu vnitřní pnutí a rozložení tloušťky stěny neodpovídá nominálním hodnotám. Proto je výpočet „odsimulovaného“ dílu výrazně přesnější,
- vysoká přesnost simulací a jejich zvládnutí běžnými konstruktéry a technologi (bez speciálních znalostí o metodě konečných prvků, teorie velkých deformací a plasticity) umožňuje snadné nasazení simulace procesu tažení do praxe.

**Funkce pro simulace procesu tažení jsou následující:**

### a) AutoForm Incremental

Jedná se o specializovaný nástroj, který je zaměřen pouze na hluboké tažení, a používá tudíž přímou časovou integraci. Ta není vhodná pro velmi rychlé procesy, jakým je např. deformace při nárazu (crash), ale je optimální pro popis dějů

při tváření. Z použití přímé časové integrace pro uživatele plyne přibližně 10x až 20x rychlejší výpočet běžné simulace oproti ostatním používaným produktům. Právě výrazně kratší doba výpočtu umožnila uživatelům systému Autoform změnit způsob jejich práce. Přestali simulaci používat jen pro kontrolu navrženého nástroje a nasadili Autoform již do fáze návrhu. Systémem lze spočítat v krátkém čase řadu variant a konstruktér pak pokračuje v detailním rozpracování té nejvhodnější. Pro takový způsob práce je dostupný přímo v systému modul optimalizace. Výsledky vyhodnocuje automaticky podle FLD diagramu (diagram mezních deformací) a vybere možná řešení.

AutoForm rovněž dokáže vytvořit automaticky kvalitní síť konečných prvků na importované geometrii (dílu) odpadá tak ruční, nebo poloautomatická oprava sítě. To zabírá většinou spousty času a díky vhodně zvolené síti podobné problémy odpadají.

#### b) AutoForm OneStep

Jedná se o modul pro rychlé posouzení navrženého dílu, zpravidla při zpracovávání nabídky pro obchodníky.

Mezi zákazníky najdeme nejen velké automobilky (používají ji nejvýznamnější výrobci na světě), ale rovněž značný počet jejich subdodavatelů – lisoven a nástrojáren. Mezi nimi i firma PWO UNITOOLS CZ, a. s.

### **1.3 Materiály nejčastěji používané při tváření výtažků pro automobilový průmysl**

Materiály používané v automobilovém průmyslu a ve strojírenství všeobecně jsou jedním z nejvíce sledovaných kritériem a tento průmysl je nejvíce se rozvíjejícím odvětvím. Právě automobilový, letecký, lodní, a spotřební průmysl jsou určujícími tahouny v oblasti materiálového inženýrství.

Pro funkční součásti automobilu se nejvíce požaduje, aby materiál měl tyto vlastnosti:

- mechanické vlastnosti (bezpečnostní hledisko),
- dlouhodobá životnost,
- nenáročnost na údržbu,
- rozměrové vlastnosti (hmotnost, design),
- nepřilíš vysokou cenu.

Pro tvarově nesymetrické výrobky s dobrými mechanickými vlastnostmi se používají oceli s vyšší tvářitelností. Materiálů s těmito vlastnostmi se na trhu objevuje celá řada a neustále se vyvíjí další. Mezi jedny z nejpoužívanějších materiálů pro tváření hlubokotažných výtažků, pro automobilový průmysl, jsou materiály uvedené v tabulce 1.1.

Tab. 1.1 Materiály vhodné pro technologii tváření za studena

Označení oceli	Norma ČSN	Norma DIN
DC04	11 305	1.0338
St 12	11 320	1.0320
C 35	12 040	1.0501
H220P	–	1.0358
St 52 – 3	11 483	1.0570

### 1.3.1 Materiál DC04

Tab. 1.2 Hlubokotažná ocel DC04

Označení DC04 – dle normy ČSN 11 305					
Chemické složení [hmot. %]	C	Mn	Al <sub>kov.</sub>	P	S
	max. 0,07	max. 0,40	max. 0,025	max. 0,025	max. 0,025
Barevné označení	hnědá – modrá		Třída odpadu	005	
Mechanické vlastnosti					
Výrobek	Tloušťka (mm)	Mez kluzu $R_e$ (MPa)	Pevnost $R_m$ (MPa)	Tažnost $A_{80}$ (%)	
Tenké plechy válcované za studena	0,40 ÷ 2,00	216	294 ÷ 353	30	

Charakteristika oceli a vhodnost použití: ocel uklidněná hliníkem vhodná k velmi hlubokému tažení (viz tab. 1.2). Je vhodná k nejnáročnějšímu tváření zastudena, pro povrchovou úpravu lakováním, pokovováním a potisku. Vzhledem k tomu, že se jedná o ocel uklidněnou, má zvýšenou odolnost proti stárnutí po válcování za studena a napínání.

### 1.3.2 Materiál St 12

Tab. 1.3 Hlubokotažná ocel St 12

Označení St12 – dle normy ČSN 11 320					
Chemické složení [hmot. %]		C		P	S
		max. 0,11		max. 0,045	max. 0,045
Barevné označení		světelnědá – zelená		Třída odpadu	005
Mechanické vlastnosti					
Výrobek	Tloušťka (mm)	Mez kluzu $R_e$ (MPa)	Pevnost $R_m$ (MPa)	Tažnost $A_{80}$ (%)	
Tenké plechy válcované za tepla	0,70 ÷ 3,00	290	270 ÷ 370	28	
Pásky a pruhy	0,45 ÷ 4,00	310	290 ÷ 390	28	

Charakteristika oceli a vhodnost použití: neuklidněná ocel je vhodná pro mírné až hluboké tažení. Je vhodná pro tváření zastudena a za tepla. Je používána mimo jiné pro výrobu svařovaných trubek a tenkostěnných profilů. Je vhodná pro povrchovou úpravu pokovováním a smaltováním.

### 1.3.3 Materiál C35

Tab. 1.4 Hlubokotažná ocel C35

Označení C 35 – dle normy ČSN 12 040							
Chemické složení [hmot. %]	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr
	0,32 0,40	0,50 0,80	0,17 0,37	max. 0,04	max. 0,04	max. 0,30	max. 0,25
Barevné označení	zelená – žlutá		Třída odpadu		002		
Mechanické vlastnosti							
Výrobek	Tloušťka (mm)	Mez kluzu $R_e$ (MPa)	Pevnost $R_m$ (MPa)	Tažnost $A_5$ (%)			
Tenké plechy	0,80 ÷ 2,80	295	490 ÷ 640	19			

Tlusté plechy jsou používány též ve stavu tepelně nezpracovaném (12 040.0), pro který je závazná pouze hodnota tvrdosti max. 208 HB.

Charakteristika oceli a vhodnost použití: uhlíková ušlechtilá ocel pro kalení ve vodě i oleji, vhodná též pro povrchové kalení. Ocel lze použít i ve stavu normalizačně žíhaném, nebo ve stavu tepelně nezpracovaném. Ve stavu normalizačně žíhaném pro rozměrnější součásti, jako jsou zalomené hřídele, excentry, pístnice apod. Ve stavu zušlechtném na menší, výše namáhané díly motorových vozidel, spojovací součásti apod.

### 1.3.4 Materiál H220P

Tab. 1.5 Hlubokotažná mikrolegovaná ocel H220P

Označení H220P – dle normy DIN 1.0358							
Chemické složení [hmot. %]	C	Mn	Si	P	S	Al	Ti
	max. 0,06	max. 0,7	max. 0,05	max. 0,08	max. 0,025	min. 0,02	max. -
Barevné označení	černá – světlemodrá		Třída odpadu		002		
Mechanické vlastnosti							
Výrobek	Tloušťka (mm)	Mez kluzu $R_{p0,2}$ (MPa)	Pevnost $R_m$ (MPa)	Tažnost $A_{80}$ (%)			
Tenké plechy	0,4 ÷ 2,00	220 ÷ 270	320 ÷ 400	32			

Charakteristika oceli a vhodnost použití: ocel s vyšší mezí kluzu k žárovému pokovení. Ploché výrobky s ochranným pokovením učené k ohýbání za studena pro použití např. v automobilovém průmyslu, elektronickém průmyslu a lehkém strojírenství. Tato ocel má rovněž zvýšený obsah fosforu, který zvyšuje pevnost feritu a tím je vyšší i mez kluzu.

### 1.3.5 Materiál St 52 – 3

Tab. 1.6 Hlubokotažná ocel St 52 – 3

Označení St 52 - 3 – dle normy ČSN 11 483							
Chemické složení [hmot. %]	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr
	max. 0,20	max. 1,40	max. 0,055	max. 0,045	max. 0,045	max. 0,30	max. 0,30
Barevné označení	černá – světlemodrá		Třída odpadu		002		
Mechanické vlastnosti							
Výrobek	Tloušťka (mm)	Mez kluzu $R_e$ (MPa)	Pevnost $R_m$ (MPa)	Tažnost $A_5$ (%)			
Tlusté plechy	3,00 ÷ 16,00	373	471 ÷ 608	22			
Široká ocel	do 16,00	373	471 ÷ 608	22			

Charakteristika oceli a vhodnost použití: ocel pro všeobecné použití, konstrukční na svařované konstrukce a zařízení, pro snížené teploty, pro běžné atmosférické teploty, pro zvýšené teploty.

#### 1.4 Návrh vhodného materiálu pro zadaný výtazek a jeho vlastnosti

Nejvhodnějším materiálem pro tvarově různorodé výtazky je materiál H220P označován také ZStE220P. Tento materiál nejen, že má nejvýhodnější udávanou tažnost, ale i výborné mechanické vlastnosti. V porovnání tažnosti a mechanických vlastností je tento materiál nejvhodnějším pro tvářenou součást v automobilovém průmyslu.

Jedná se o mikrolegovanou ocel válcovanou za studena s vyšší mezí kluzu určenou pro tváření zastudena. Oceli se mohou dodávat ve vyžíhaném a tepelně zpracovaném stavu. Povrch je kvalitní a hladký s kvalitou povrchu  $R_a = 0,6 \div 1,9 \mu\text{m}$ . Povrch plechu je naolejovaný, pokud není dohodnuto jinak. Ocel je dobře tvářitelná v porovnání s běžnou ocelí ke tváření. Ocel je rovněž dobře svařitelná pomocí běžných metod svařování. Chemické a mechanické vlastnosti udávané normou EN 10268 (viz 1.3.4). Zkoušky mechanických vlastností a porovnání byly provedeny ve firmě PWO UNITOOLS CZ, a. s. (viz níže). Ocel se dodává ve svitcích o šířce dle potřeb zákazníka, přičemž je šířka odstupňována, v rozmezí tloušťky 500 ÷ 1000 mm, po 5 mm. Délka pásu je dána hmotností jednoho svitku. Pro tloušťku materiálu 0,8 mm a šířce 600 mm (viz určení přístřihu 4.2) se svitky dodávají v hmotnostech 3500 ÷ 5000 kg. Vše dle normy EN 10268/98.



## 1.5 Stanovení mechanických vlastností zvoleného materiálu

Zkouška tahem se ve firmě PWO UNITOOLS CZ, a. s. provádí za účelem ověření užitečných vlastností dodaného materiálu jako vstupní kontrola. Takto ověřený materiál, pokud vyhoví zkoušce, je dále zpracováván. V opačném případě je podstoupen reklamaci. Ověřuje se vždy každý dodaný svitek materiálu.

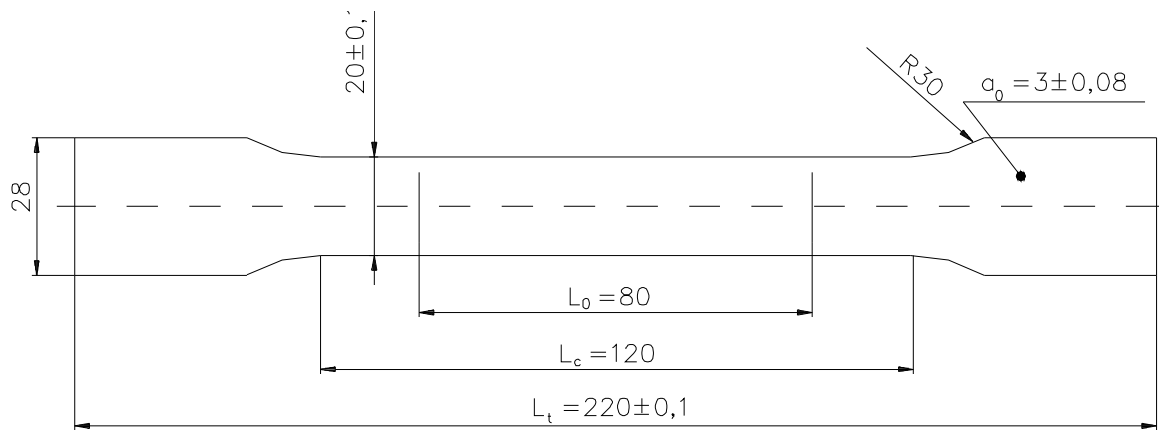
Zkouška tahem dle ČSN EN 10002-1 (420310) byla provedena ve firmě PWO UNITOOLS CZ, a. s., na zkušebním trhacím stroji (viz příloha A1) Lab Test 5.10SP1 (viz obr. 1.5), výrobní číslo 025/07, jmenovité zatížení 10 kN, se softwarem Test&Motion, jako kompletním softwarem pro testování materiálů v tahu a tlaku. Poslední kalibrace zkušebního trhacího stroje byla provedena 18. ledna 2009 s platností jednoho roku akreditovanou kalibrační laboratoří, oblastní inspektorát Opava, Gudrichova 41, 746 01 Opava.



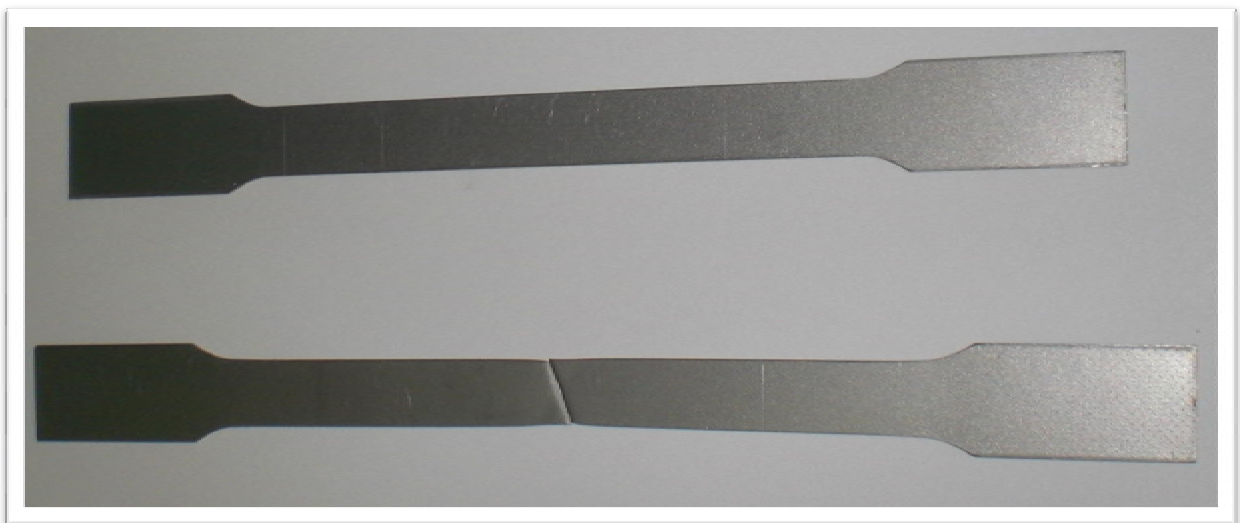
Obr. 1.5 Trhací stroj Lab Test 5.10SP1 ve firmě PWO UNITOOLS CZ, a. s.

Ze svitku o šířce 555 mm, hmotnosti 5000 kg materiálu H220P ČSN EN 485-4 materiálu 42 4005.12 byly vystřiženy plechové tabulky o rozměrech 29,9 x 500 mm na hydraulickém tažném lisu ZDH 400 16.1.3 (technické parametry stroje viz příloha A2), orientované v příčném vůči směru válcování. Odběr tabulek byl proveden v souladu s ČSN EN ISO 377, která stanovuje zásady umístění a přípravu zkušebních vzorků pro mechanické zkoušení.

Z plechových tabulek bylo následně vystřiženo ve stříhacím nástroji na hydraulickém tažném lisu ZDH 400 16.1.3 (technické parametry stroje viz příloha A2) tři ploché zkušební tyče v příčném směru s rozměry dle ČSN EN 10002-1 (viz obr. 1.6 a obr. 1.7).



Obr. 1.6 Rozměry zkušební tyče pro zkoušku jednoosým tahem



Obr. 1.7 Plochá zkušební tyč pro zkoušku jednoosým tahem

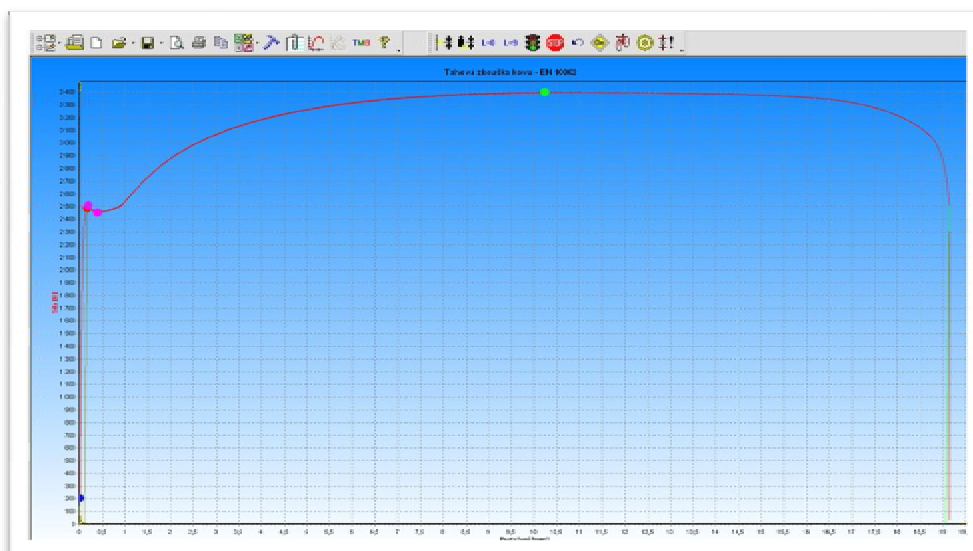
Každá zkušební tyč byla na hlavách označena vyražením číselného kódu pomocí razidel (výška čísel = 5 mm). Dále byla označena ryskami na stojánkovém výškoměru MITUTOYO HS 30 (Made in Japan) počáteční měřená délka  $L_0 = 80$  mm s přesností na 1 %. Každá tyč se rovněž zbavuje ostřin po celém svém obvodu, z důvodu odstranění oblastí, ve kterých došlo při obstřihnutí ke zpevnění materiálu a vyloučení chyb měření, tato úprava povrchu zkušebních tyčí se provádí na leštičce (technické parametry stroje viz příloha A3).

Na takto připravených zkušebních tyčích byla jednotlivě provedena zkouška jednoosým tahem dle ČSN EN 10002-1 na zkušebním trhacím stroji. Na počítači se softwarem Test&Motion, jako kompletním softwarem pro testování materiálů v tahu a tlaku, které je dodáno jako součást zkušebního trhacího stroje, byly zjištěny z každé zkušební tyče hodnoty (viz tab. 1.7) modulu pružnosti v tahu  $E$ , velikosti nevýrazné smluvní meze kluzu  $R_{p0,2}$ , horní meze kluzu  $R_{eH}$ , dolní meze kluzu  $R_{eL}$ , pevnosti v tahu  $R_m$ , tažnosti  $A$ .

Tab. 1.7 Naměřené hodnoty trhací zkoušky softwarem Test&Motion

č. zkušební tyče	Měřené veličiny					
	$E$ (kN/mm <sup>2</sup> )	$R_{p0,2}$ (MPa)	$R_{eH}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$R_{eL}$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	$A$ (%)
1.	193,00	252,00	254,23	249,00	344,00	32,80
2.	195,00	253,00	254,79	247,00	345,00	34,70
3.	198,00	252,00	253,32	246,00	342,00	34,10

Přičemž pro každou zkušební tyč je vyhotovena křivka zpevnění (viz obr 1.8) jako součást výsledku měření softwarem Test&Motion. Výsledné křivky zpevnění ze zkoušky tahem viz příloha D protokol zkoušky tahem (list 1 ÷ 3).



Obr. 1.8 Křivka zpevnění zkoušeného materiálu H220P

## 1.6 Vyhodnocení mechanických vlastností materiálu H220P

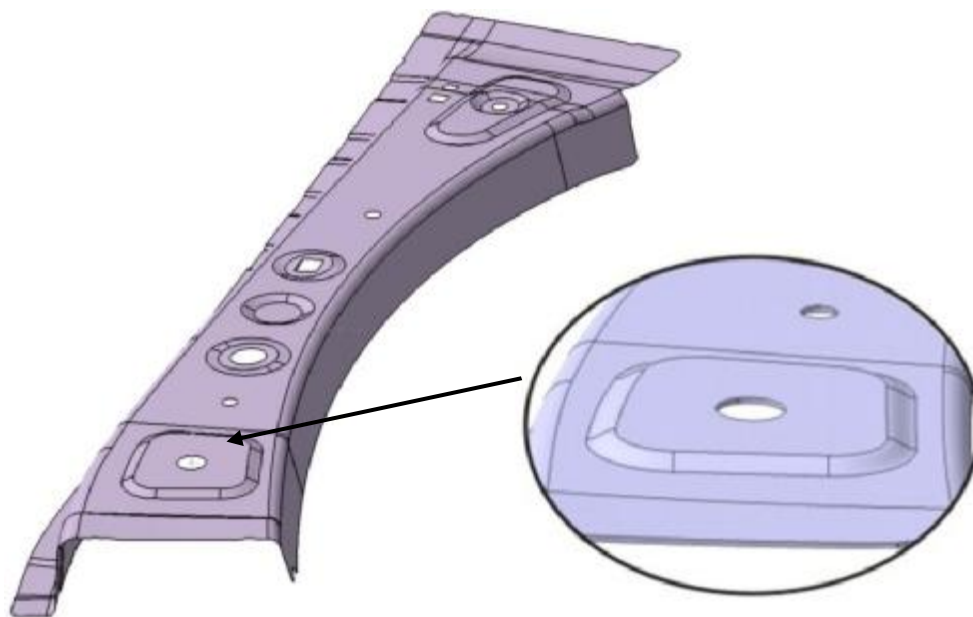
Všechny měřené hodnoty, modul pružnosti v tahu  $E$ , velikost nevýrazné smluvní meze kluzu  $R_{p0,2}$ , horní mez kluzu  $R_{cH}$ , dolní mez kluzu  $R_{cL}$ , pevnosti v tahu  $R_m$  a tažnosti  $A$  (viz tab. 1.7), zjištěné pomocí trhačického stroje Lab Test 5.10SP1 a softwarem Test&Motion, vyšly s porovnáním materiálovou normou (viz 1.3.4) jako vyhovující (viz tab. 1.8). Zkoušený svitek materiálu je tedy vyhovující a může se použít pro výrobu výtažku. Pro simulaci tváření i pro volbu přístřihu se tedy můžou použít i materiálové vlastnosti zkoušeného plechu.

Tab. 1.8 Porovnání naměřených hodnot a materiálové normy

Materiálové hodnoty dne normy DIN 1.0358			
	$R_{p0,2}$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	$A_{80}$ (%)
	220 ÷ 270	320 ÷ 400	32,0
Naměřené hodnoty			
č. zkušební tyče	$R_{p0,2}$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	$A_{80}$ (%)
1.	252,0	344,0	32,8
2.	253,0	345,0	34,7
3.	252,0	342,0	34,1

## 2 Návrh tahových ploch s využitím 3D CAD systému

Pro návrh tahových ploch výtažku a další úpravy s tím spojené se v této diplomové práci využívá software CATIA V5 R16 (viz 1.2.1). Pomocí tohoto počítačového programu byl otevřen soubor s názvem DIL\_VNITRNI-T208110.model (viz CD příloha), který byl dodán od zadavatele projektu (automobilky). Nyní se načte objemový 3D model výtažku, který se má dále zpracovávat. Takto otevřený výtažek má rozměrové i tvarové vlastnosti, které má mít i skutečný vytažený díl (viz obr. 2.0).

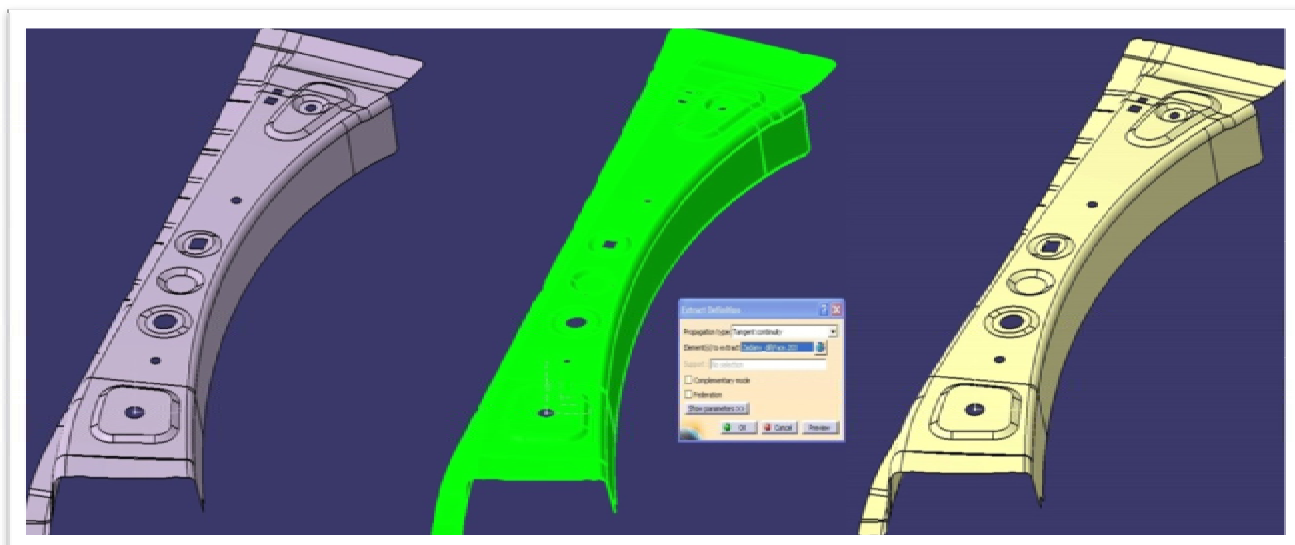


Obr. 2.0 Zadaný objemový výtažek s tloušťkou 0,8 mm

### 2.1 Vytvoření plošného tělesa a ustavení do souřadného systému

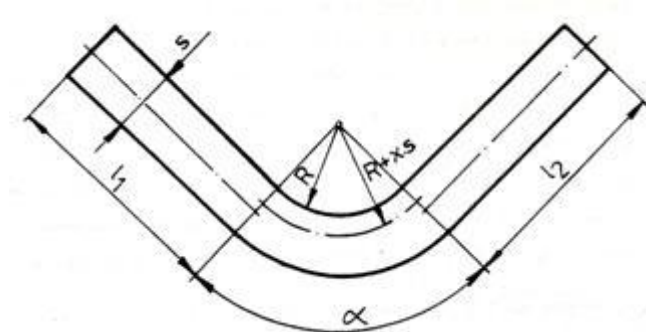
Pro další zpracování a úpravy dílu je v následujících krocích používán modul Shape design (viz 1.2.1 c) v programu CATIA V5 R16.

Model výtažku je otevřen v tomto modulu a prvním krokem je takzvané vyselektování (vytvoření) plochy z objemového modelu výtažku. Jedná se o vytvoření prostorové plochy pomocí funkce „*Extract*“, která slouží k získání plochy, nebo hranic křivek z objemového i plošného tělesa. Pomocí této funkce s volbou „*Tangent continuity*“ se označí jakákoli plocha a následně i plochy, které tečně navazují na tuto vybranou první plochu (viz obr. 2.1).



Obr. 2.1 Použití funkce „Extract“ k dosažení prostorové plochy

Nyní je vytvořena plocha z objemového tělesa. U výtažků s větší tloušťkou materiálu ( $t \geq 3\text{mm}$ ) musíme tuto plochu umístit do polohy, která je totožná s polohou neutrální vrstvy. Protože z délky neutrální vrstvy v ohýbaných částech a z délek rovných úseků se určuje rozvinutá délka polotovaru před ohybem (přístřih). U plechů tenčích než 3 mm není tento rozdíl patrný, ale při tažení tlustých plechů se však s tímto musí počítat a vytvořená plocha se musí dále upravit.



Obr. 2.2 Posunutí neutrální vrstvy v místě ohybu

Kde je	$R$	– vnitřní poloměr ohybu	(mm),
	$x$	– součinitel posunutí neutrální osy	(-),
	$s$	– tloušťka materiálu	(mm),
	$l_{1,2}$	– délka nedeformované části výtažku	(mm),
	$\alpha$	– úhel ohybu výtažku	(°).

Jelikož se u našeho výtažku jedná o tloušťku materiálu 0,8 mm. Tloušťka tvářeného materiálu je tedy menší než  $t \geq 3\text{mm}$ , proto daný problem odpadá a vyextrahovanou plochu ponecháváme.

Nyní se pracuje pouze s vytvořenou plochou dílu, ale před dalším zpracováním se provede jeho ustavení do jednotného 3D souřadného systému.

Výtažek je součástí automobilu a konstrukční pracoviště v automobilce ho proto ustavuje do svého souřadného systému auta, který je orientován pro celý automobil v jednom místě. Zde je celý automobil a jeho součásti vytvořeny k jednomu tzv. „nulovému“ bodu souřadného systému. Protože je výtažek umístěn v souřadném systému auta, proto se musí ustavit do vhodného souřadného systému, který je výhodný pro návrh nástroje, pro simulaci procesu tažení apod.

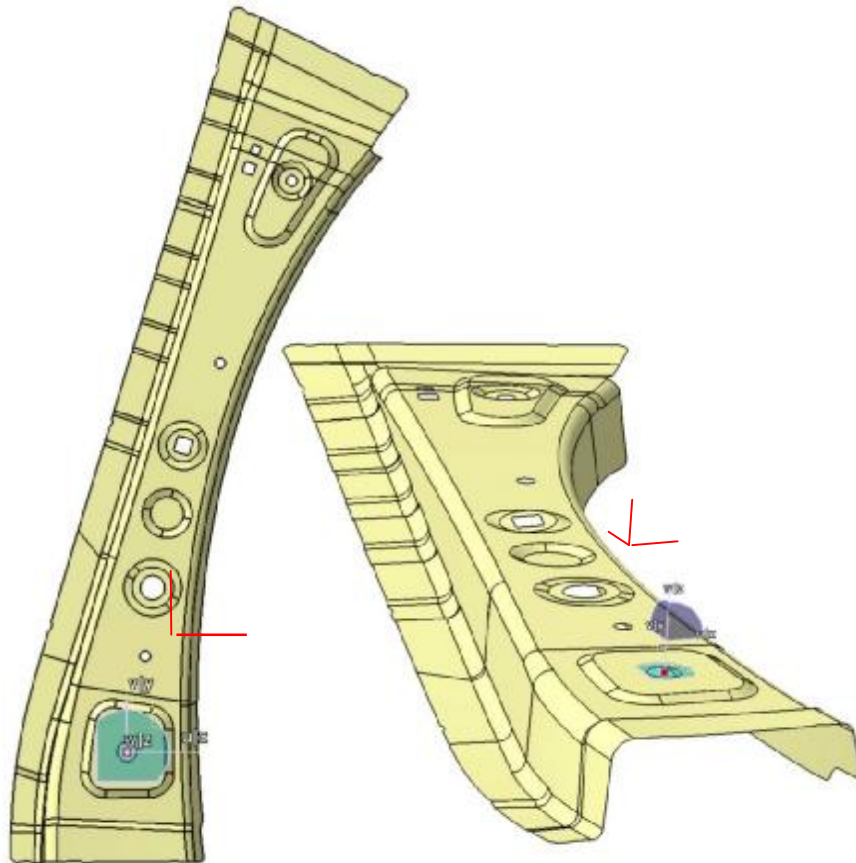
Souřadný systém se umísťuje do stanoveného počátku podél tří vzájemně kolmých os, označených X, Y a Z.

Souřadný systém u výtažku je vhodné volit tak:

- aby osa Z byla zároveň osou tažníku,
- aby byl výtažek co nejvíce otevřen vůči směru lisování,
- aby tvar tažníku a tažnice byl co nejjednodušší,
- aby bylo možné využít zrcadlení dílu (pro postupový a transferový nástroj),
- prostorově umístěn optimálně z hlediska co nejefektivnějšího využití materiálu,
- aby ustavení dílu bylo vhodné s rovinou pásu (postupové nástroje),
- s ohledem na použití a tvary přídržovačů.

V praxi se výtažek ustavuje do více souřadných systémů dle použité technologie a zvolených technologických operací.





Obr. 2.3 Umístění výtažku do absolutního souřadného systému

Ustavení výtažku do absolutního souřadného systému (výchozího) je docíleno pomocí zvolené roviny a okraje výtažku (viz obr. 2.3). Volená rovina je rovinou nejhlubšího tahu a osu Y tvoří spodní okraj výtažku, který může dále sloužit jako rovina zrcadlení v následném metodickém návrhu tváření. Osa Z je i osou tažníku a výtažek je v tomto směru i nejvíce rozevřen a nevznikají zde ani žádné záhyby. Osa Y je kolmá na osu X a Z. Nulový bod celého souřadného systému je volen otvor v nejvyšším bodě výtažku. Tento otvor je zároveň jeden z ustavovacích RPS bodů používaných při odladování kritických rozměrů za účelem dodržení tolerancí předepsaných na výkresu součásti.

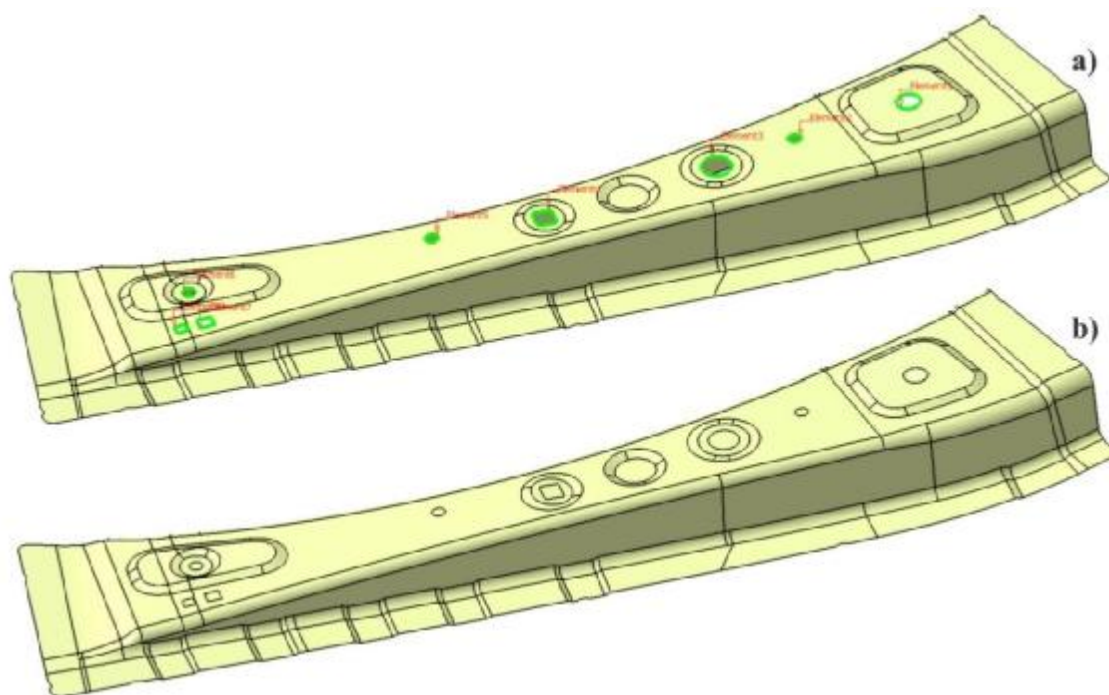
K ustavení osového kříže je použita funkce (v CATII V5) „Axis to Axis“. Nyní je tažený díl připraven k dalším úpravám, ustaven pro simulace a návrh nástrojů.



## 2.2 Vyplnění otvorů výtažku

Pro vyhodnocení procesu tváření a simulace tažení není ještě výtažek dostatečně upraven. Následují operace, kdy je nutné daný díl zbavit všech děr a úprav výtažků, které se dotvářejí dodatečně po tažení. Všechny otvory a díry nepravidelného tvaru se musejí vyplnit. Tato úprava ploch se provádí, aby nedocházelo při simulaci tažení k nepřesným výsledkům a nesrovnalostem, dále aby nedocházelo k deformaci a zmenšení při návrhu přístříhu.

Vyplnění děr se provádí pomocí příkazů „Fill“. Jedná se o vyplnění skupiny křivek, nebo hranic plochy. Jednotlivé křivky musejí uzavírat obrazec (viz obr. 2.4), ale nemusí být navzájem ořezány. Okraje vyplňovaného obrazce se můžou vybírat postupně, nebo najednou příkazem „Boundary“. Při použití této funkce je třeba křivky vybírat v takovém pořadí aby na sebe křivky navazovaly (nemusejí být ořezány), ale není možné např. vybrat protilehlé křivky a poté ostatní, které je spojují.



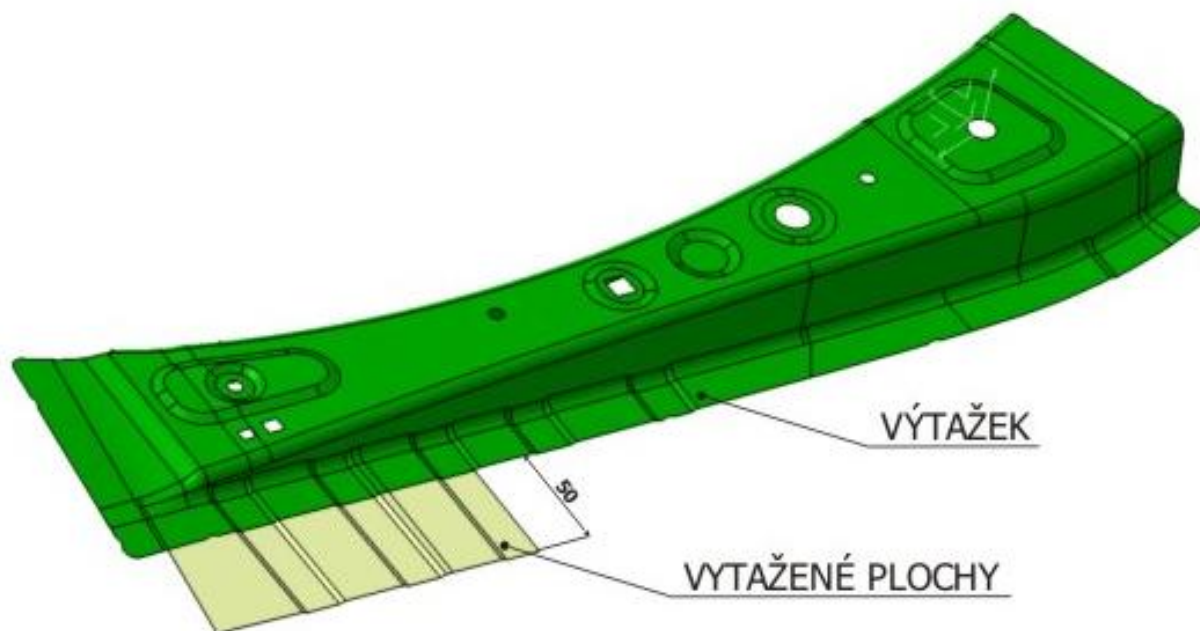
Obr. 2.4 Vyplnění děr a otvorů  
(a – označení otvorů k vyplnění b – součást po vyplnění otvorů)

Při vytváření plochy je možné zvolit i způsob napojení (tečné, bodové, křivostní) na sousedící plochy.

Po vytvoření ploch, které vyplňují nerovnosti, nebo díry u výtažku je nutné tyto plochy připojit k ploše dílu. To se provádí funkcí „Join“ (spojení křivek, nebo ploch). Tato funkce má za úkol spojovat plochy, nebo křivky, které na sebe navazují. Výsledkem je jedna plocha, nebo křivka. Při spojování ploch, je v této diplomové práci, dále dopisována do dialogového okna „Merging distance“ (hranice propojení) hodnota 0,02 mm. Tato hodnota zaručuje, že dvě navzájem spojované plochy budou k sobě natolik přiblíženy a dojde k jejich spojení.

### 2.3 Vytažení okrajových ploch

Vytažení okrajových ploch výtažku je nezbytné pro další tvorbu ploch, jakými je plocha tahu, plocha přidržovače a plocha po prvním tahu (viz níže). Provádí se vytažením okrajových ploch výtažku (viz obr. 2.5). Jednotlivé plochy se využívají pro simulace tažení, pro návrh přístřihu, návrh nástrojů atd.

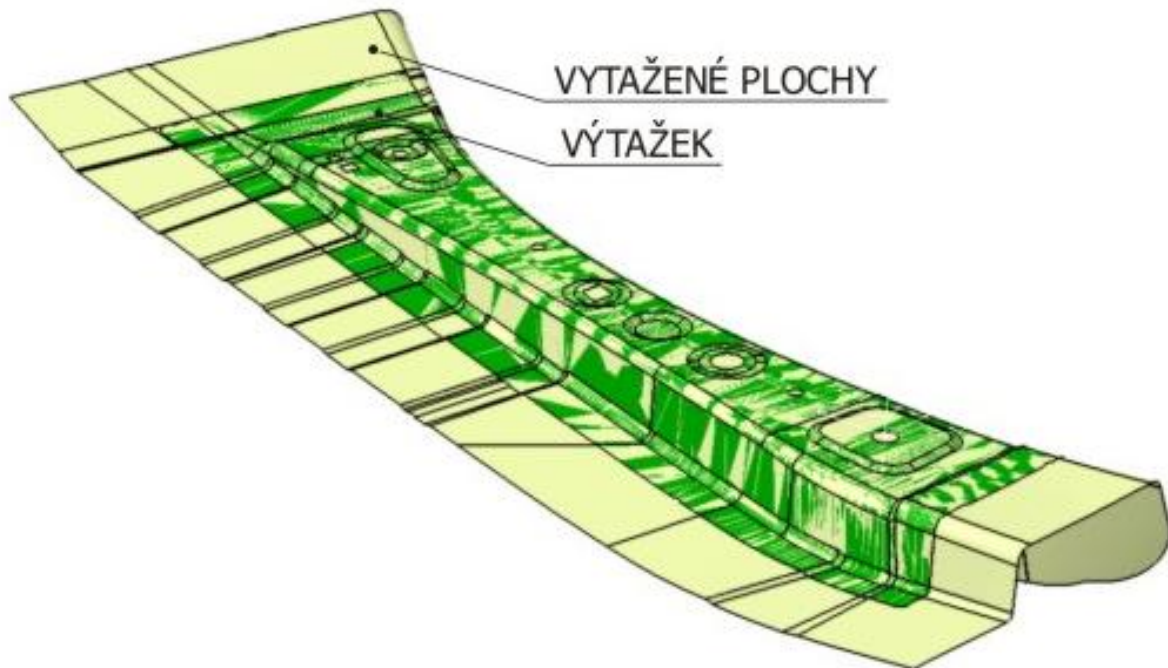


Obr. 2.5 Část vytažených okrajových ploch.

Vytažení jednotlivých okrajových ploch výtažku je v této diplomové práci 50 mm (viz obr. 2.5). Tato vzdálenost je volena s ohledem na další postup tvorby plochy tahu a plochy přidržovače. V případě potřeby je možnost tuto vzdálenost libovolně měnit pomocí funkce „Extrude“ (viz níže).

Prodloužené plochy musí mít tyto vlastnosti:

- a) musí navazovat na zadaný díl,
- b) spojované plochy musí na sebe tečně navazovat,
- c) mezi vytaženým okrajem a okrajem dílu nesmí být žádný úhel,
- d) musí se kopírovat poloměry zaoblení a tvarové plochy (viz obr 2.6).



Obr. 2.6 Prodloužené okrajové plochy

K vytvoření prodloužení byly použity následující funkce v aplikaci Generative Shape Design:

- *Extrude* (tažená plocha), slouží k vytvoření plochy vytažením křivky ve zvoleném směru. Směr tažení se může zvolit „ručně“, výběrem hrany tělesa, plochy, výběrem roviny, přímkou. V této funkci se zadávají dva parametry. První parametr je „*Profile*“ je to křivka, ze které bude tažena plocha. Druhým parametrem je *Direction* to je přímkou, rovina nebo hrana, která určuje směr tažení (při výběru roviny bude plocha tažena kolmo na tuto rovinu),

- *Extrapolate* (protažení elementu), slouží k protažení plochy nebo křivky. Zde se zadává hranice plochy, která se má protáhnout, případně koncový bod křivky, je-li úkolem protáhnout křivku. Nutné je ještě zadat velikost protažení, způsob napojení původního elementu na protaženou část (tangentní nebo křivostní návaznost),
- *Untrim Surface of Curve* (obnovení původní velikosti elementu), tato funkce je výhodná tam, kde se vyplatí obnovit původní velikost křivek, nebo ploch po jejich předchozím oříznutí funkcemi *Split*, nebo *Trim* (viz níže). Touto funkcí se obnovují i elementy bez historie, to znamená, že se můžou obnovit elementy vytvořené jiným uživatelem,
- *Split* (ořezání elementů), slouží k oříznutí jednoho elementu (plocha, křivka) druhým, případně skupinou elementů. Zde se volí element, který se má oříznout, dále element, nebo skupinu elementů kterými se má ořezávat,
- *Trim* (ořezání elementů a jejich současné spojení), slouží k vzájemnému oříznutí dvou elementů, nebo dvou skupin elementů např. elementy spojeny funkcí „*Join*“ (viz 2.2). Výsledkem oříznutí je jedna výsledná plocha označená ve stromě vlastností jako „*Trim*“.
- *Fill, Join Boundary* (viz 2.2)

## 2.4 Tvorba plochy přídržovače

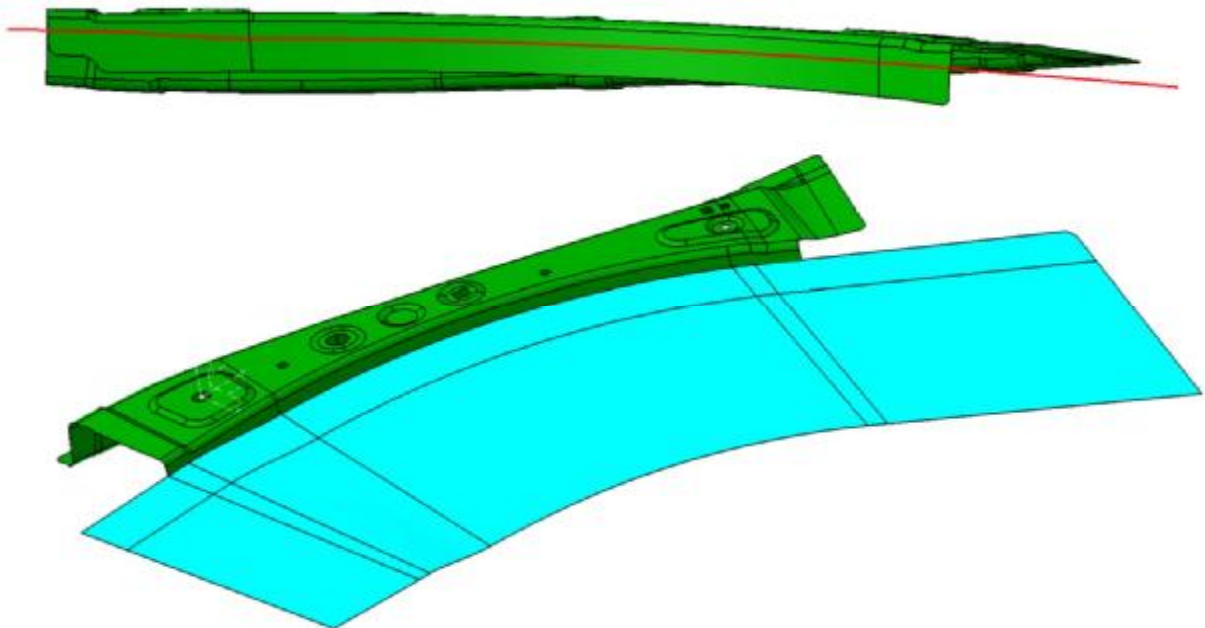
Plocha přídržovače je plocha (rovina), ze které se bude výtažek tvářet do výsledného požadovaného tvaru. Rovina přídržovače je rovina, ze které se vychází při simulacích tažení dílu. Z této roviny bude vycházet simulace tváření do konečné podoby výtažku. Nejprve se

rovina navrhne v polovině výtažku s ohledem na složitosti a nepravidelnosti dílu a poté se plocha posune do roviny přídržovače.

Při návrhu a tvorbě plochy přídržovače by se mělo uvažovat s tím, že:

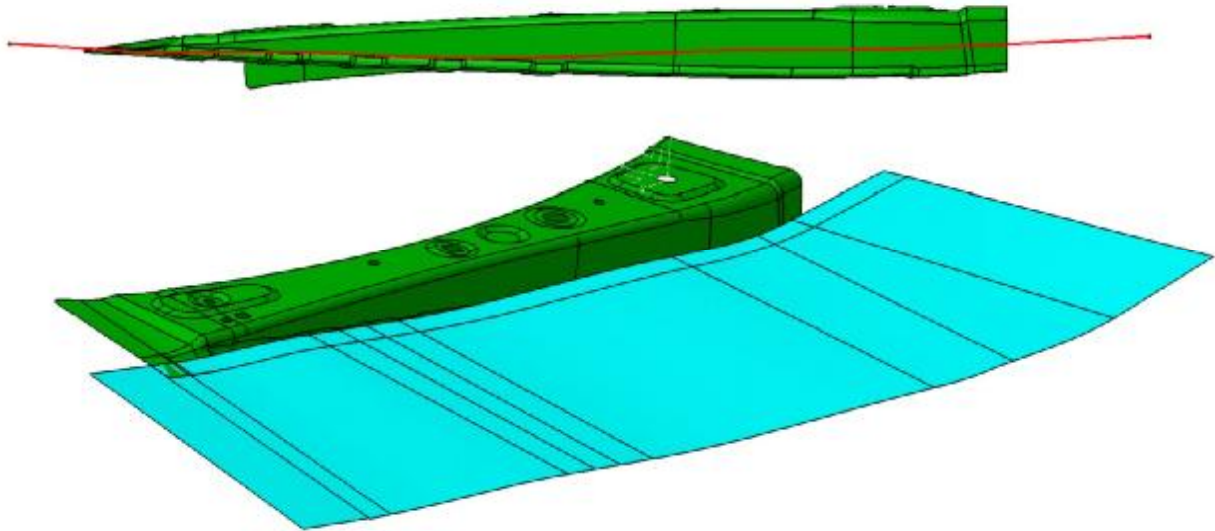
- rovina přídržovače se ztotožňuje s tvarovými odlišnostmi a kopíruje změny tvaru,
- velké tvarové odchylky nekopíruje přesně dle jejich tvaru, ale křivka lineárně tyto nerovnosti kopíruje,
- vychází se z bočního pohledu výtažku a tvořená křivka plochy se umísťuje do poloviny hloubky výtažku (viz obr 2.7).

Pravý bokorys (viz obr. 2.7) linie plochy přídržovače byla jednoduše vytvořená, nejsou zde žádné velké tvarové nerovnosti. Tato křivka byla vytvořena vyextrahováním spodního okraje výtažku. Jediná nerovnost, kterou tvoří lem v levé části, byla vykompenzována mírným zvednutím křivky plochy přídržovače. Vytažení křivky do plochy je provedeno pomocí funkce „*Extrude*“ (viz 2.3).



Obr. 2.7 Okrajová linie plochy tahu a vytažená plocha pravého bokorysu

Levý bokorys (viz obr. 2.8) má složitější, tvarově nerovnoměrný tvar. Proto při návrhu tahové plochy se vycházelo ze spodního lemu výtažku, přičemž tvarové prolisy a nerovnosti byly nahrazeny lineární křivkou (viz obr. 2.8, červená křivka), která končí v nejvyšší rovině výtažku. Vytažení křivky do plochy je provedeno obdobně, jako u předešlé křivky viz výše.

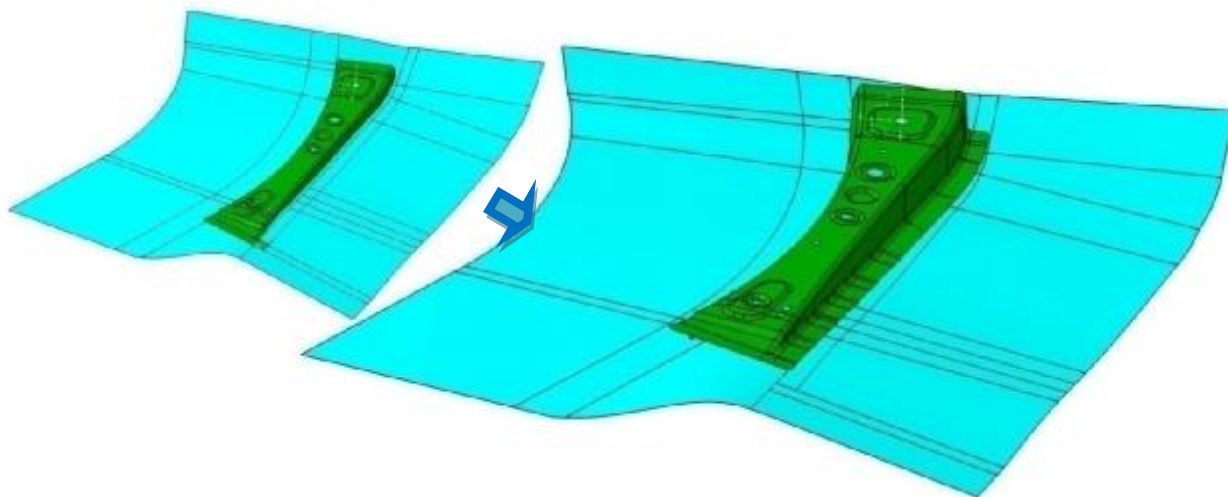


Obr. 2.8 Okrajová linie plochy tahu a vytažená plocha levého bokorysu

Nyní jsou vytvořeny dvě samostatné části, které byly spojeny na okrajích křivkami pomocí funkce „*Connect Curve*“. Tato funkce slouží k tvorbě přechodové křivky mezi dvěma elementy. Vzniklá křivka je tečně navázána na oba elementy. Definice se provádí výběrem koncových bodů elementů, přičemž spojující křivku mezi oběma elementy tvoří přechodová křivka. Po vytvoření křivek uzavírající oba elementy byla použita funkce „*Fill*“ (viz 2.2), která spojí oba elementy plochou. Pomocí funkce „*Join*“ jsou tyto plochy spojeny do výsledné plochy tahu (viz obr. 2.9), která byla ještě posunuta pomocí funkce „*Offset*“.

Tato funkce slouží k vytvoření paralelní plochy ve zvolené vzdálenosti od referenční (původní) plochy. Tato paralelní plocha je posunuta v ose Z (v ose tažníku). Tato plocha je posunuta na spodní okraj výtažku, odkud začíná tvářecí proces. Tímto je vytvořená plocha přidržovače.





Obr. 2.9 Posunutí plochy přidržovače v ose tažníku (osa Z)

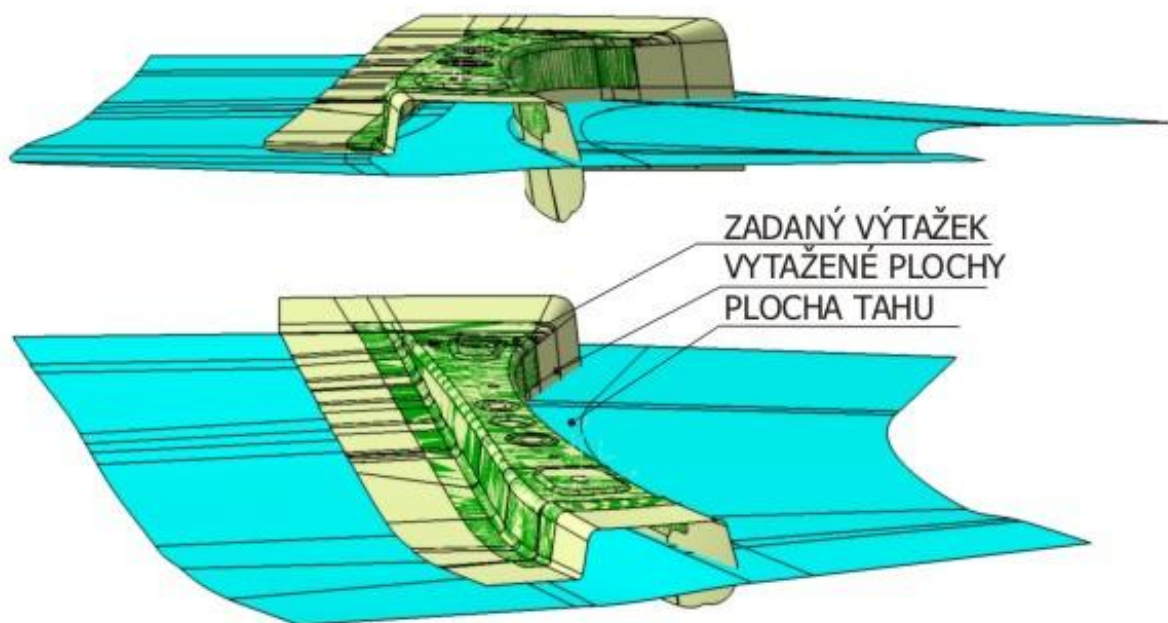
## 2.5 Tvorba ploch po první operaci

Plocha po prvním tahu, je plocha vzniklá z tváření přístříhu do požadovaného tvaru. Tato plocha je dále využita jako finální rovina při simulacích procesu tažení v softwaru AutoForm (viz 1.2.2). Při návrhu a tvorbě této plochy se vychází z předešlé plochy tahu (viz 2.4) a vytažených okrajových ploch (viz 2.3).

Pomocí těchto ploch (viz obr. 2.10) je vytvořena plocha vzniklá po první operaci, která musí splňovat podmínky:

- nově vytvořené plochy rovnoběžné s osou Z (osou tažníku) nesmí mít úhel  $90^\circ$ , ale větší (úhel se zvětšuje dle zkušeností o  $7 \div 10^\circ$ ) s ohledem na vyjmutí výtažku z nástroje,
- s ohledem na vystřížení výtažku z přístříhu, v některé z operací technologického postupu, se umísťují střížné hrany do osy Z (osy tažníku). Tím odpadá použití bočních střížných klínů a tím zvýšení nákladů na nástroje,
- volit optimální velikost střížné mezery, pro snadné ostřížení hotového výtažku,

- výsledná plocha je uzavřená po celém obvodě výtažku (pro simulaci tažení),
- počítat s dalšími operacemi (finálními) jakými jsou například dolemování, dotahy apod.,
- volit optimální zaoblení (rádius) při napojování jednotlivých ploch, tak aby při simulacích nedocházelo k praskání, napěchování, nebo ke zvlnění tvářeného materiálu.



Obr. 2.10 Vytvořené pomocné plochy

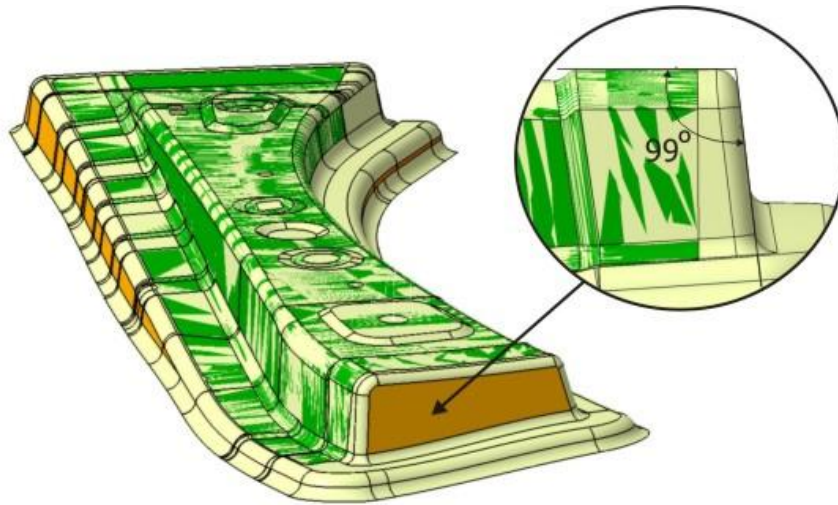
### 2.5.1 Volba úhlu rozevření

V této diplomové práci je volen úhel rozevření  $9^\circ$  od osy Z, tedy osy rovnoběžné s osou tažníků (viz obr. 2.11). Tato hodnota je volena s ohledem na snadné stažení výtažku z tažnice při tvářecích operacích. Hodnota je volena dle zkušeností v podniku PWO UNITOOLS CZ, a. s., kde mají ověřeno, že úhel rozevření při zadané tloušťce materiálu (0,8 mm) se může pohybovat od  $7 \div 10^\circ$ .

Výhodou u tohoto druhu zpracování je, že se může kdykoli navrátit, po simulaci tažení

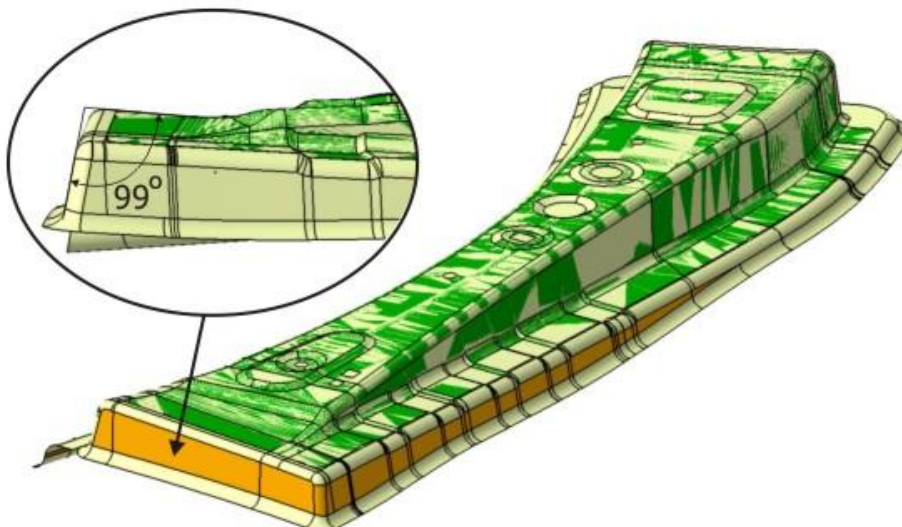


v programu AutoForm (viz 1.2.2), zpět a při nevyhovujících, nebo nechtěných výsledcích se můžou tyto úhly upravit.



Obr. 2.11 Rozevření v tahové ploše, která není součástí výtažku (oranžově – stejně upravené plochy)

Tyto plochy byly vytvořeny pomocí nástrojů a funkcí v CATII modulu Generative Shape Design. Funkce byly použity obdobně jako při tvorbě ploch (viz 2.2, 2.3). Například u funkce „*Extrude*“ (tažená plocha), aby bylo dosaženo vytažení v ose Z, musí se zadat v nabídce „*Direction*“ osa Z, nebo úhel ve kterém se daná plocha vytáhne. Kombinací těchto funkcí se dosáhne uzavření výtažku po celém obvodu a jeho rozevření v ose tažníku (viz obr. 2.11 a obr. 2.12).



Obr. 2.12 Rozevření v tahové ploše, která není součástí výtažku

## 2.5.2 Volba střížných mezer

Při navrhování plochy po prvním tahu se musí počítat, se zvětšením okrajů plochy pro obstřih hotového výtažku (v ose Z), nebo výtažku, který se v dalších operacích dotahuje. Střížná vůle mezi střížníkem a střížnicí s přihlédnutím ke stříhanému materiálu a běžné stříhání se volí  $3 \div 20 \%$  z tloušťky materiálu.

Minimální střížná vůle pro materiál H220P (viz 1.4) a tloušťku materiálu  $t = 0,8$  mm je (při volbě 10 %) 0,08 mm. Tato volba je ověřena výpočtem velikosti střížné mezery pro tenké plechy o tloušťce do 3 mm:

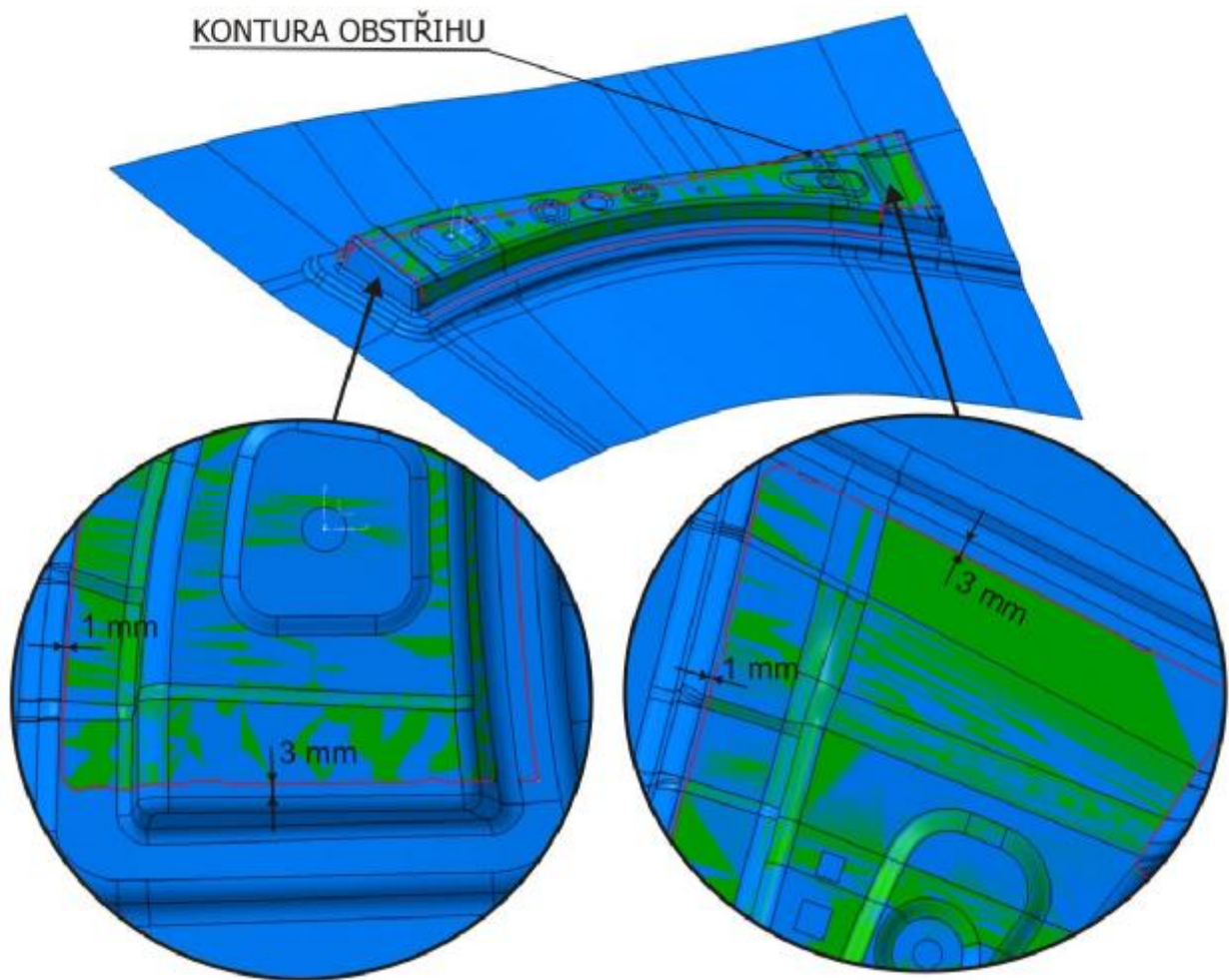
Volba střížné mezery  $Z_m$ :

$$Z_m = c \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} = 0,005 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 340} = 0,024 \text{ mm} \quad (2.1)$$

kde jsou:	$Z_m$	– velikost střížné mezery	(mm),
	$c$	– koeficient závislý na druhu stříhání (0,005 – pro dosažení kvalitního povrchu střížné plochy)	(-),
	$s$	– tloušťka plechu	(mm),
	$R_{ms}$	– pevnost materiálu ve stříhu	(MPa),

V této diplomové práci je střížná vůle na čelech výtažku volena 3 mm z důvodů různé výšky stříhání a po stranách výtažku 1 mm (viz obr. 2.13).

Zvětšení okrajů výtažku o střížnou vůli je docíleno díky funkcím „*Extrude*“ (viz 2.3), „*Extract*“ (viz 2.1), „*Join*“ a „*Boundary*“ (viz 2.2).



Obr. 2.13 Určení obstřihových mezer

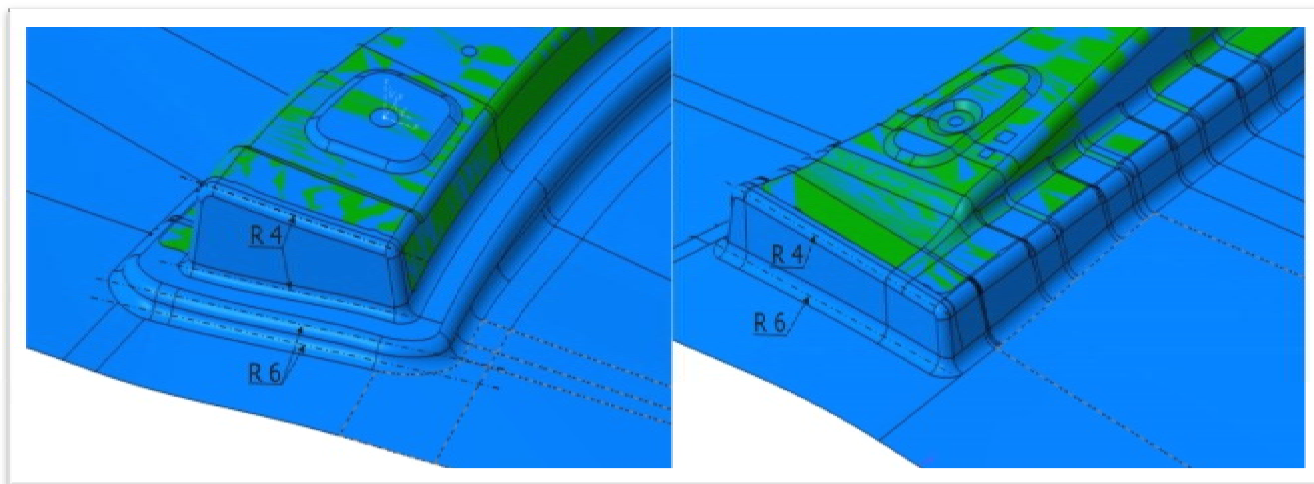
### 2.5.3 Volba zaoblení tažných hran

Při tvorbě plochy po první operaci je dále potřeba volit přechody mezi jednotlivými plochami, tak aby byl proces tažení plynulý a bezproblémový. V diplomové práci je volen rádius u dna výtažku, tam kde nezasahuje výtažek do vytvořených ploch, 4 mm. Větší rádius je potom volen u okrajů výtažku, který je volen 6 mm (viz obr. 2.14). Zelenou barvou je zde zobrazena plocha výtažku a modrou barvou pak vytvořená plocha potřebná pro simulaci tažení.

Pro vytvoření zaoblení mezi jednotlivými vytvořenými plochami byly použity nástroje a funkce v modulu Generative Shape Design (viz 1.2.1 c). Tyto funkce udělají ze spojených ploch ostrou hranou, plochy spojené požadovaným přechodem.

Funkce pomoci kterých se vytvoří zaoblené přechody jsou:

- *Blend* (přechodová plocha), slouží k vytvoření přechodové plochy mezi dvěma plochami, nebo křivkami. Touto funkcí je možné vytvářet plynulé přechody mezi otevřenými i uzavřenými profily. Při tomto propojování lze využít spojení bodů, ale i jiných možností pro docílení optimálního tvaru přechodové plochy,
- *Shape Fillet* (zaoblení mezi plochami), slouží k tvorbě zaoblení mezi samostatnými plochami, kde můžeme volit zaoblení mezi dvěma plochami i třemi plochami, přičemž se neořezává automaticky přebytečná plocha,
- *Edge Fillet* (zaoblení na hranách ploch), slouží k vytvoření zaoblení na hranici plochy (spojených ploch například funkcí „Join“)



Obr. 2.14 Volba přechodů mezi plochami

## 2.6 Návrh brzdicích drážek a tvarových ploch

Brzdící drážky a žebra mají za úkol úpravu a optimalizaci tvářecího průběhu a napětí tak, aby bylo dosaženo přetvoření přístříhu do konečného tvaru součásti. Při tažení jsou u výtažků nerovnoměrné stavy napjatosti a deformací, protože je materiál podroben komplexním deformacím (hluboké tažení, vypínání a narovnávání).

### **2.6.1 Význam brzdících členů při tažení součástí složitého tvaru a technologické zásady navrhování brzdění plechu**

Tváření tenkých hlubokotažných výtažků složitého tvaru je speciální oblastí technologie tváření. Takto zpracované výrobky se nejvíce využívají v automobilovém, leteckém průmyslu, strojírenství atd. Tato technologie je svým charakterem výrazně odlišná od hlubokého tažení symetrických součástí.

Z rozborů stavu napjatosti a deformaci při tažení symetrických výtažků válcového tvaru vyplývá, že zlepšení podmínek tažení se dosáhne zmenšením tření v celé oblasti přidržovače a tažné hrany [5].

U součástí složitých tvarových ploch je nutné pro zajištění rovnoměrného a symetrického tvarování usilovat o místní brzdění plechu tak, aby docházelo k rovnoměrnému přetváření výtažku.

Brzdění plechu pomocí brzdících žeber a brzdících lišt způsobuje změnu podmínek vytahování tvářeného plechu do prostoru tažnice. Pomocí následujících technologických zásad dosahujeme nejvýhodnějších vlastností při brzdění [6]:

- a) místním nebo celkovým zvýšením tlaku přidržovače na tvářenou součást,
- b) změnou tvaru přístřihu (zvětšením plochy tvářeného materiálu pod přidržovačem),
- c) úpravou tažné hrany tažnice (změnou poloměru zaoblení nebo zvýšením tažné hrany),
- d) použitím brzdících žeber zvolených rozměrů, tvarů, počtu a způsobu rozmístění v oblasti přidržovače po celém obvodě výtažku.

## 2.6.2 Úkol a vlastnosti brzdících žeber během procesu tažení součástí nepravidelného tvaru

Brzděním plechu v oblasti přidržovače se vhodně ovlivňuje tok materiálu z oblasti přidržovače a tím i celkové tváření výtažku do finální podoby. K nejúčinnějším způsobům, jak regulovat intenzitu brzdění plechu a v potřebném rozsahu zvyšovat tahová napětí, patří brzdící žebra. Použitím brzdících žeber lze odstranit tvoření vln, zvrásnění, praskliny a jiné vady a chyby vyskytující se během plošného tváření výtažků složitých tvarů.

Hlavní vlastnosti brzdících žeber, které pozitivně ovlivňují proces tažení výtažků složitých tvarů, jsou následující [6, 10, 11]:

- a) brzdící žebra zvyšují intenzitu přibrzdění přemísťovaného materiálu v jednotlivých částech tažnice, eventuálně dále i v určité fázi tahu, což způsobuje zvýšení tahového napětí na úkor tlakového napětí. Se zmenšením tlakového napětí se také zmenšuje možnost vzniku vln či záhybů a zvyšuje se tedy jakost povrchu výtažků. Intenzitu brzdění lze ovlivnit různým tvarem, uspořádáním a počtem brzdících žeber,
- b) brzdící žebra přinášejí do schémat deformace polotovaru, sevřený přidržovačem a tažnicí, významný součinitel – ohybu materiálu. Při tažení výtažků složitých tvarů nová složka vhodně působí, protože vyrovnává nerovnoměrnosti přibrzdění polotovaru na různých částech obvodu přidržovače,
- c) při tažení výtažků složitých tvarů dovolují brzdící žebra získat v jednotlivých místech výtažků potřebný stav napjatosti a stupeň deformace za účelem maximálního využití plasticity plechu a dokonalého tvarování výtažku,
- d) u dvojčinných lisů brzdící žebra dovolují zvyšovat interval regulace (nastavení) polohy přidržovače a rozšiřují tak přípustné rozmezí optimálního tlaku přidržovače,

- e) u složitých zborcených prostorových ploch přidržovače brzdící žebra dovolují snížit nároky na přesnost obrobení povrchu přidržovače.

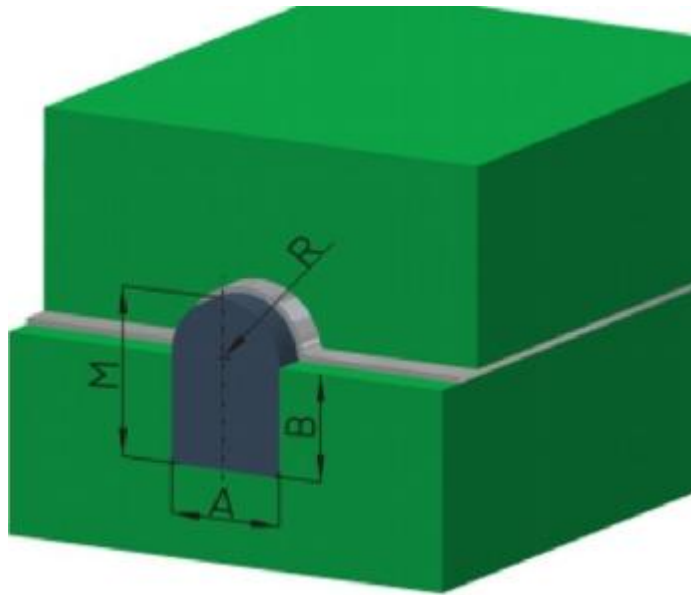
S použitím brzdících žebor při tažení výtažků složitých tvarů jsou však spojeny i určité nevýhody a rizika, které jsou popsány v následujících čtyřech bodech [6, 10]:

- a) v důsledku intenzivního brzdění a velké citlivosti na zvyšování tahových napětí dochází k mytnímu zpevnování plechu. To je zvláště nebezpečné, následují-li po operaci tažení ještě další operace jako např. ohýbání, prostřihování, lemování, rovnání apod.,
- b) tvar, velikost, počet a umístění brzdících žebor se volí experimentálně s využitím metod konečných prvků a z výsledků simulací tažení. Což je oproti dřívějším metodám, které byly časově a značně finančně nákladné, výrazné zjednodušení,
- c) nesprávně a nevhodně zvolené umístění brzdících žebor značně zhoršuje proces tváření. Dochází pak k vyčerpání plasticity a ke ztrátě stability procesu plastické deformace při tažení, tím se ovlivňují vlastnosti i samotný tvar výtažku což má za následek nedodržení požadovaných rozměrových vlastností výtažku,
- d) zvyšování intenzity brzdění je provázeno ztenčením stěny výtažku a to především u částí, procházejících přes brzdící žebra.

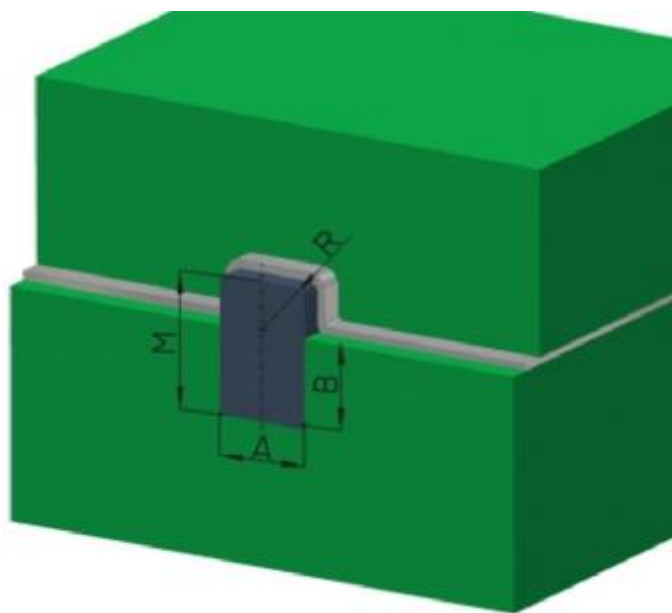
### **2.6.3 Rozdělení brzdících žebor**

Rozdělení brzdících žebor podle tvaru:

- a) zaoblená brzdící žebra (viz obr. 2.15),
- b) pravouhlá brzdící žebra (viz obr. 2.16).



Obr. 2.15 Tvar zaobleného brzdícího žebra



Obr. 2.16 Tvar pravoúhlého brzdícího žebra

Rozdělení brzdících žebor podle umístění (viz obr. 2.17):

- a) v přidrřovači,
- a) v tařnici.





Obr. 2.17 Rozdíl v umístění brzdících žeber na výtažek

Při konstruování tažidel pro dvojčinné lisy se obvykle dává přednost umístění brzdících žeber v přídržovači, protože takové umístění zjednodušuje slícování žeber se zaoblenými drážkami v tažnici, ulehčuje seřízení nástroje a zaručuje větší trvanlivost žeber. Zároveň však hrozí nebezpečí uvolnění žeber během zdvihu žeber. Proto při tomto umístění nestačí pouhé zalisování brzdících žeber, které se používá u tažidel s brzdícími žebry ve spodní části nástroje, ale je nutno brzdící žebra upevnit šrouby.

U jednočinných lisů se brzdící žebra umísťují ve spodní části nástroje, tedy v tažnici. V tomto případě však na menším poloměru každého brzdícího žebra dochází k zadírání plechu v důsledku místního vzrůstu měrného tlaku, který je způsoben vytlačáním maziva. To má za následek vznik rýh, které znehodnocují povrch výtažků. Proto se u dílů, kde se vyžaduje velmi kvalitní povrch, doporučuje umístění brzdících žeber v přídržovači.

Rozdělení brzdících žeber z hlediska konstrukčního:

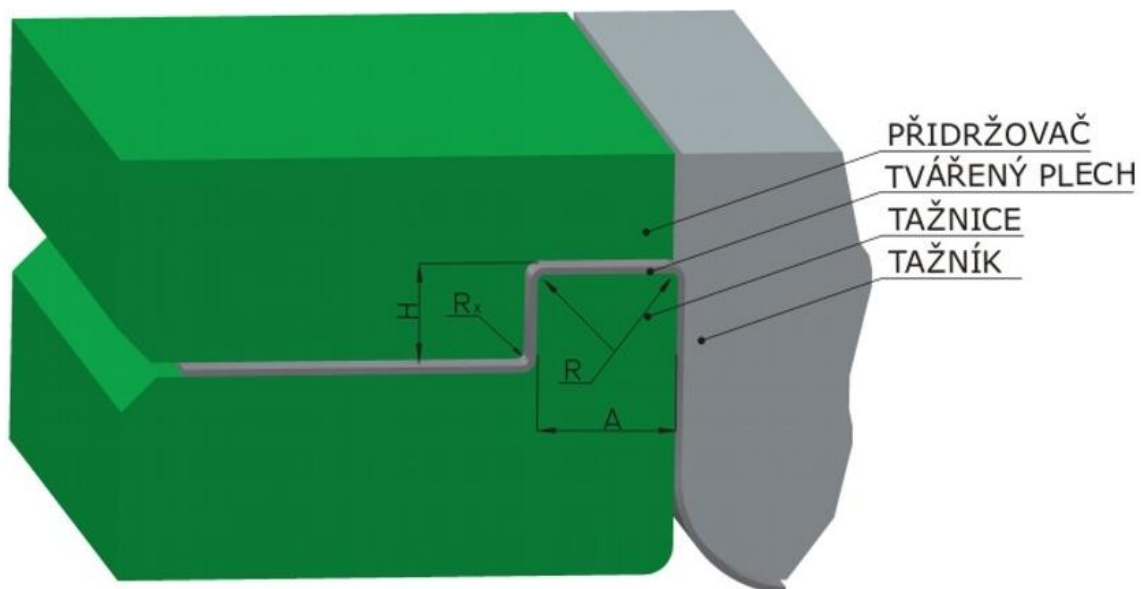
- a) pevná brzdící žebra – plní svou funkci během celého procesu tažení,
- b) ponorná brzdící žebra – plní svou funkci pouze v určité fázi jednotlivého tahu.

Ponorná žebra se používají u některých složitých tvarů výtažků, které se vyskytují např. při výrobě karosérií automobilů, protože vyžadují, aby byl přídržovací tlak zvýšen nejen v některých místech, ale zároveň i v určité fázi tahu. Posunutí je zabezpečeno hydraulicky, nebo mechanicky. Ponorná brzdící žebra tak umožňují regulovat stavy napjatosti a stupně deformace během celého procesu tažení.

Rozdělení brzdících žebor podle délky:

- a) brzdící lišta – účinně působí po celém obvodu tažnice (bez přerušení),
- b) brzdící žebro – pouze v místech, ve kterých je žádoucí zvýšení intenzity brzdění plechu (různé délky brzdících žebor dle potřeby).

Brzdící lišta bývá na rozdíl od brzdícího žebra ve většině případů [4, 10, 11, 12] pravoúhlého tvaru, umístěná na tažné hraně (viz obr. 2.18). Proto bývá brzdící lišta někdy zařazována mezi tvarové úpravy tažné hrany.



Obr. 2.18 Brzdící lišta pravoúhlého tvaru, umístěná na tažné hraně

Tvarová úprava tažné hrany má pro tažení výtazků složitého tvaru stejný význam, jako používání brzdících žebor. Liší se především tím, že se používá k celkovému brzdění, protože se provádí po celém obvodu tažnice. Výhodou je použití menších přídavek, čímž se snižuje procento odpadu, zvyšuje účinek brzdění a hlavně jeho stabilita, která je často ještě výhodnější než při použití brzdících žebor. Tím, že je tvar přímo proveden na vlastním nástroji nebo tažné vložce, odstraňuje se nebezpečí vylomení tažné hrany v případě, že brzdící žebro je nutné v místech blízko k tažné hraně. Uvedená úprava je však nákladnější, vzniká větší odpad materiálu a jsou větší nároky a požadavky na slícování nástroje.

## 2.6.4 Půdorysné rozmíst'ování brzdících žeb'er

Vzhledem k tomu, že neexistující zdůvodněné podklady, které by vymezovaly použití vhodných tvarů, počtu, umístění brzdících žeb'er popř. braly v úvahu i další vlivy z hlediska konstrukce a výroby nástroje i ovlivňování mechanických vlastností tvářeného plechu, postupuje se při umíst'ování brzdících žeb'er tak, že se podle zkušeností odhadnou místa, ve kterých bude nutné plech brzdít.

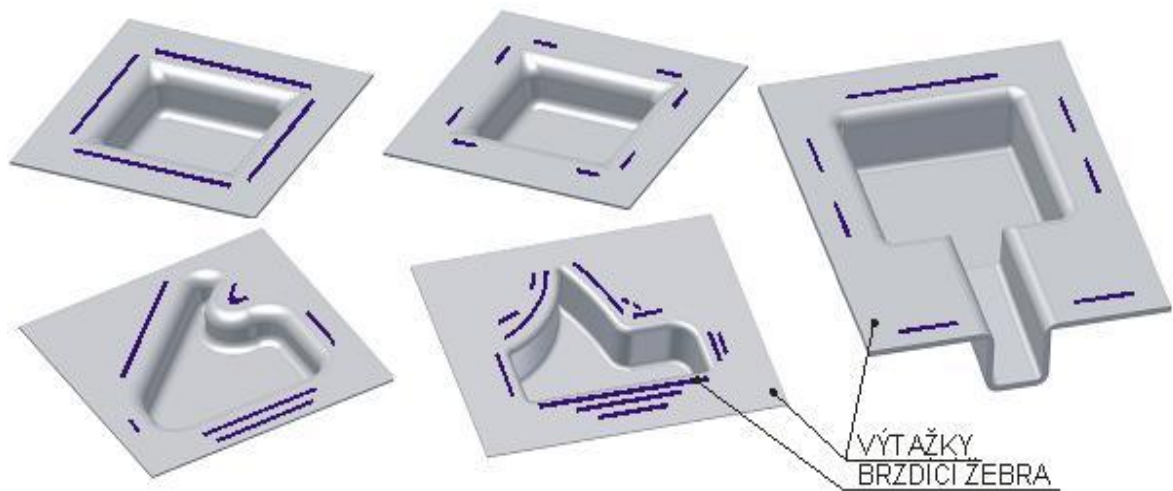
Podle dřívější praxe se u výtažků složitějších tvarů bez předcházejícího zkoušení používaly brzdící lišty (po celém obvodu výtažku). Postupným zkoušením se dodatečně zjišťovalo, ve kterém místě (na jakém úseku) není třeba tak intenzivního brzdění a část lišty se vysadila. Naopak, v místech s nedostatečnou intenzitou brzdění plechu se umístilo více brzdících žeb'er tak, že byla postupně kladena za sebe, do doby než byla intenzita brzdění optimální.

Pro ověření správnosti odhadu se vkládá mezi plech a přidržovač smirkové plátno, kterým se částečně modeluje vliv brzdícího žebra [10]. Podle výsledků opakovaných zkoušek se doporučí místa, ve kterých je nutno brzdící žebra umístít. Aby účinek brzdícího žebra byl co nejefektivnější, je nutné brát v úvahu kromě polohy, také geometrický tvar brzdícího žebra. Při nevhodné volbě tvaru nebo umístění brzdících žeb'er se totiž lisovatelnost výtažků nápadně zhoršuje.

Příklady půdorysného umíst'ování u různých tvarů výtažků [15] jsou schématicky znázorněny na obrázku 2.19.

Při tažení hlubších velkorozměrných výtažků, kde je plocha pod přidržovačem mnohonásobně menší, než tvarovaná plocha, se používá několika brzdících žeb'er za sebou, jak je znázorněno na obrázku 2.19. Doporučená vzdálenost mezi jednotlivými žebry bývá  $25 \div 35$  mm [4]. Vzdálenost žebra od tažné hrany závisí na provedení tažnice, doporučená vzdálenost je  $20 \div 30$  mm [4]. Ukončení brzdícího žebra se doporučuje vždy  $10 \div 15^\circ$  před počátkem zaoblení rohu. Pro zakřivený tvar obrysu výtažku (viz obr. 2.19) lze

pro přibrzdění plechu použít jak brzdící žebra křivková, sledující tvar obrysu výtažku, tak i žebra přímá.



Obr. 2.19. Příklady různých tvarů výtažků a půdorysného umístění brzdících žeber [15]

Vlastnosti tažení výtažků složitého tvaru:

- k deformaci plechu dochází převážně za působení tahových napětí (tahová napětí jsou převážně v oblasti přidržovače),
- pro získání výtažku bez zvlnění, nebo jiných poruch, je třeba plech brzdít s různou intenzitou po obvodu tažné hrany,
- průběh tažení lze ovlivňovat pomocí technologických prolisů, otvorů v přístříhu, orientací přístříhu v nástroji, tvarem plochy přidržovače a někdy i seskupením výtažků.

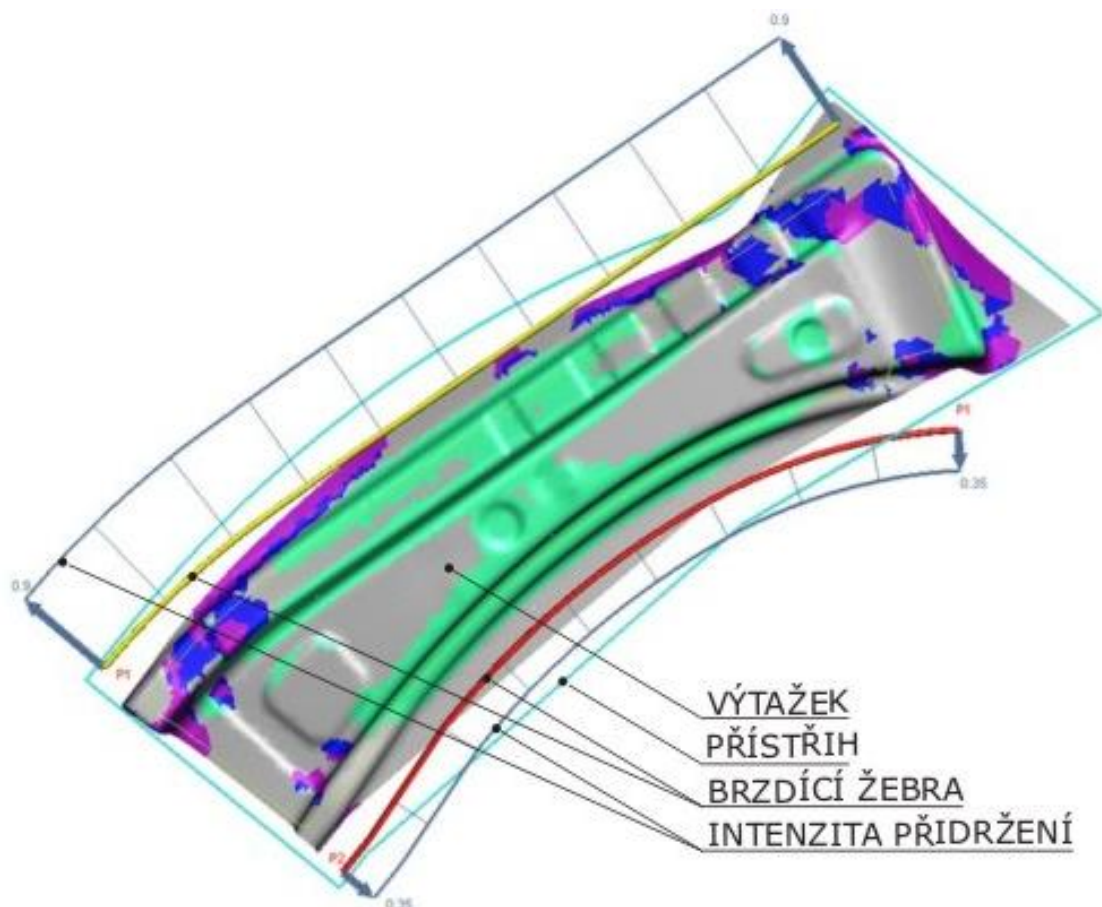
## 2.7 Volba a definice brzdících žeber pro výtažek

Brzdící žebra se nemodelují do ploch pro simulaci v programu CATIA V5, ale tvar brzdících žeber a jejich rozměry se odladí a volí přímo v programu AutoForm v simulaci tažení.

Při simulaci tažení v programu AutoForm se musí nejdříve určit materiál a jeho vlastnosti, poté definice nástrojů a definice jmenovitých ploch (viz 3). Definice brzdících žebér následuje v další operaci společně s volbou mazání a definice dalších procesních vlastností tváření.

Autor diplomové práce navrhl tvar brzdících žebér tak, aby kopírovala boční křivky výtažku a tím tak dosáhl vyššího přetvoření výtažku. Přetvoření výtažku je důležité zejména pro dosažení kvality výsledného výtažku, ploch bez odpružení (zvlnění).

Jednotlivá žebra jsou vytvořena pomocí funkce „*Extrude*“ a „*Offset*“ (viz 2.3, 2.4) kde jsou vytvořeny kontury boku výtažku, které slouží jako půdorysné tvary žebér (viz obr. 2.20). Ty jsou umístěny do plochy přidržovače (viz 3). Následuje jejich rozměrová definice a další faktory jako stupeň (intenzita) přidržení, mazání atd.



Obr 2.20 Návrh půdorysného tvaru brzdících žebér

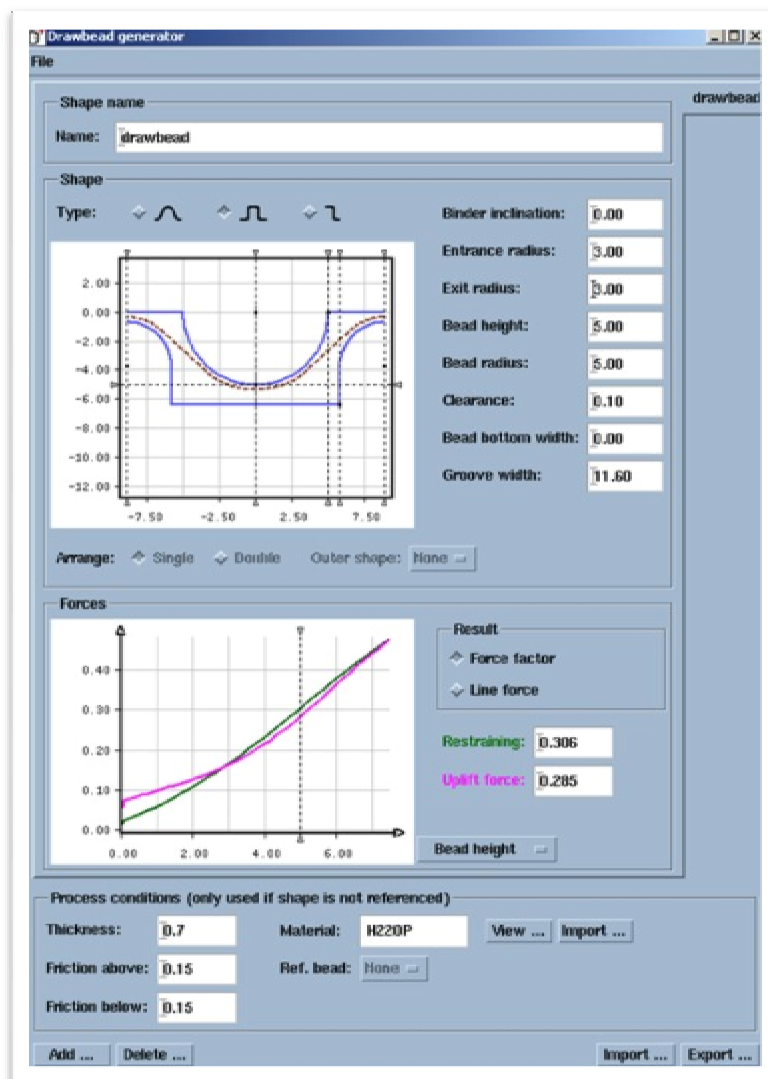
Pro návrh a tvorbu brzdících drážek se využívá v programu AutoForm funkce „*Drawbead generator*“.

Pomocí této funkce (viz obr. 2.21) se nadefinují rozměrové vlastnosti žebra, jakými jsou:

- úhel sklonu žebra vůči ose Z (osa tažníku),
- vstupní a výstupní rádius,
- výška spodní obruby a rádius obruby,
- vůle a výška drážky.

Dále se nadefinují materiálové a silové vlastnosti žeber, jakými jsou:

- maximální ztenčení plechu,
- Force factor (viz níže),
- minimální a maximální tření,
- vlastnosti tvářeného materiálu.



Obr. 2.21 Volba tvaru žeber a jejich charakteristika

Jednou z nejdůležitějších funkcí je určení správné intenzity brzdění (Force factor), který se může po proběhnutí simulace měnit libovolně tak, až výsledný stupeň přetvoření výtažku je přijatelný (viz 3.1).

Tato intenzita brzdění se volí v rozsahu  $F_f = 0 \div 2$  (-). Vlastnosti a rozsah jednotlivých pásem je rozlišen v tabulce 2.1 (viz níže).

Tab. 2.1 Rozsah pásem intenzity brzdění

Název	Rozsah $F_f$ (-)	Vizualizace
Slabý lem	0,2 ÷ 0,3	
Střední lem	0,4 ÷ 0,6	
Silný lem	0,8 ÷ 1,0	
Uzavřený lem	1,0 ÷ 2,0	

Po nadefinování vlastností tvářecího procesu (viz 3) i rozměrů a charakteristiky brzdících žeber, se provádí simulace tváření. Výsledky simulace se mohou zpětně ovlivnit proměnlivými faktory, kterými jsou:

- rozměrové vlastnosti brzdících žeber,
- tvarem brzdících žeber,
- mazáním, a intenzitou přibrzdění.

V tabulce 2.2 jsou uvedeny rozměrové a procesní veličiny, které byly použity pro simulaci tváření v této diplomové práci. Srovnání výtazku, který byl tvářen s použitím brzdících žebor a výtazku tvářeného bez brzdících žebor je v kapitole 3.

Tab. 2.2 Rozměrové a procesní vlastnosti brzdících žebor

Žebro 1 (červené)		Žebro 2 (žluté)	
Název	Hodnota	Název	Hodnota
vstupní rádius	3,000 (mm)	vstupní rádius	3,000 (mm)
výstupní rádius	3,000 (mm)	výstupní rádius	3,000 (mm)
výška spodní obruby	5,000 (mm)	výška spodní obruby	5,000 (mm)
rádius obruby	5,000 (mm)	rádius obruby	5,000 (mm)
vůle	0,100 (mm)	vůle	0,100 (mm)
šířka drážky	11,600 (mm)	šířka drážky	11,600 (mm)
intenzita brzdění	0,306 (-)	intenzita brzdění	0,285 (-)
ztenčení	0,700 (mm)	ztenčení	0,700 (mm)
tření	0,150 (-)	tření	0,150 (-)

Výsledné hodnoty ze simulace tažení výtazku jsou uvedeny v kapitole Simulace tažení výtazků (viz 3).

### 3 Simulace tažení výtazku

Simulace tažení výtazku se ve firmě PWO UNITOOLS CZ, a. s. provádí pomocí softwaru AutoForm 4.06. Tento software patří do výpočtových programů, založených a pracujících na základě metody konečných prvků (Finite Element Method - dále jen FEM) je to numerická metoda pro analýzu struktur a těles. Metoda má celou řadu fyzikálních aplikací a řeší se s ní problémy ve statice, dynamice, energetice, elektrostatice apod. Existuje mnoho specializovaných programů na různé konkrétní technické problémy, jakými jsou například simulace havárií, simulace technologických procesů. Pomocí programu AutoForm, je v této



diplomové práci, řešen problém simulace tažení plechů a s ním spojeny problémy jakými jsou ztenčení plechů, výskyt trhlin, návrh brzdících žebek, výskyt zvlnění, lisovatelnost plechu, návrh přístříhu apod.

Princip metod FEM spočívá v rozdělení (diskretizaci) spojitého elementu (výtažku) do určitého (konečného) počtu prvků (viz obr. 3.0), přičemž zjišťované parametry a výpočty jsou určovány v jednotlivých uzlových bodech. Zde platí, že s rostoucím počtem prvků, na které je daný výtažek rozdělen, roste i počet uzlů a tím pádem i přesnost a objektivnost výsledku. Rostou ovšem i nároky na kapacitu a výkon výpočetní techniky.

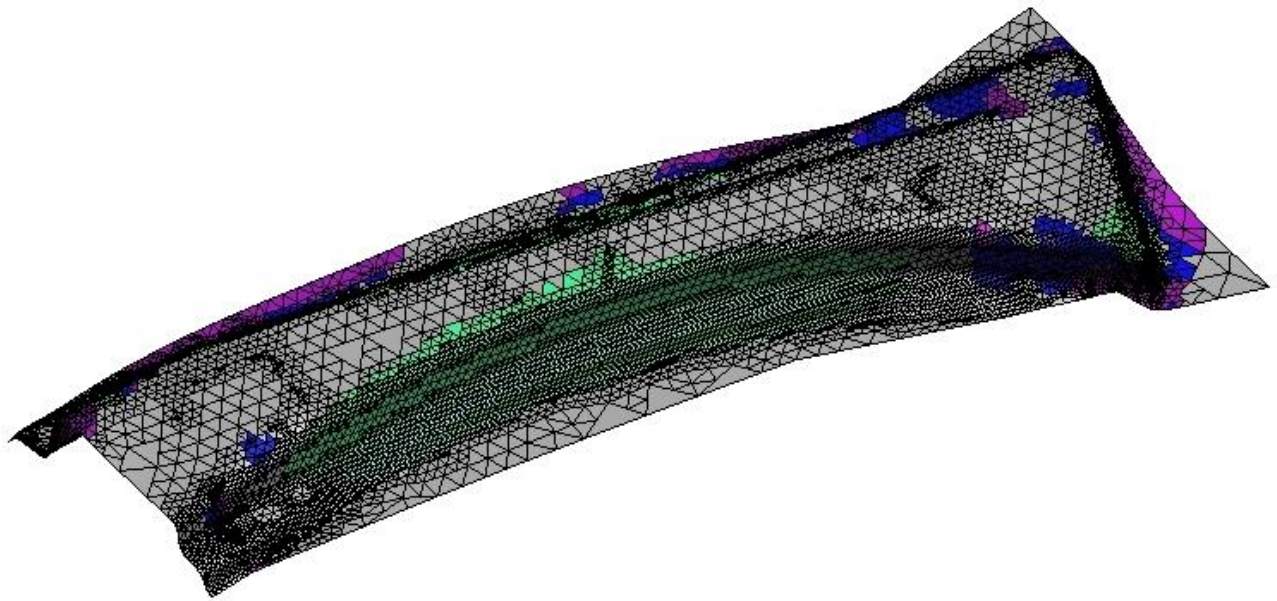
### **3.1 Definování tvářecích parametrů**

Správným definováním tvářecích parametrů a odladění akčních členů (brzd, mazání, rychlost deformace apod.) je rozhodující pro odladění kritických míst a tolerancí výtažku. Snahou je dosáhnout co největšího přetvoření celého materiálu.

#### **3.1.1 Rozdělení tělesa do systému konečných prvků**

Před samotnou simulací tvářecího procesu se musí nadefinovat způsob tváření a jeho parametry. Nejprve se importují (vloží) všechny vytvořené plochy v programu CATIA V5 (viz 2) do programu AutoForm. Zde se po načtení těchto ploch nejprve rozdělí do systému konečných prvků. K tomu slouží funkce „Title“, která je prvním odkazem v definování tvářecího procesu „Process generátor“. To spočívá v rozdělení popisovaného tělesa (zpravidla složitěho tvaru) na malé části (prvky), které jsou matematicky snadno popsatelné. Existuje více možností rozložení tělesa na prvky, ty mohou být nejčastěji trojúhelníkového, obdélníkového, nebo osmiúhelníkového tvaru. Jeden prvek může dát více či méně přesný výsledek v závislosti na tvaru, okrajových podmínkách a druhu analýzy. Obecně platí, že s rostoucím počtem uzlů prvku roste přesnost výsledků měření.

Velikost a tvar jednotlivých prvků jsou v základním nastavení předdefinovány (viz obr. 3.1) a podle potřeby se dají měnit, pokud je potřeba zpřesnit výsledky simulace.



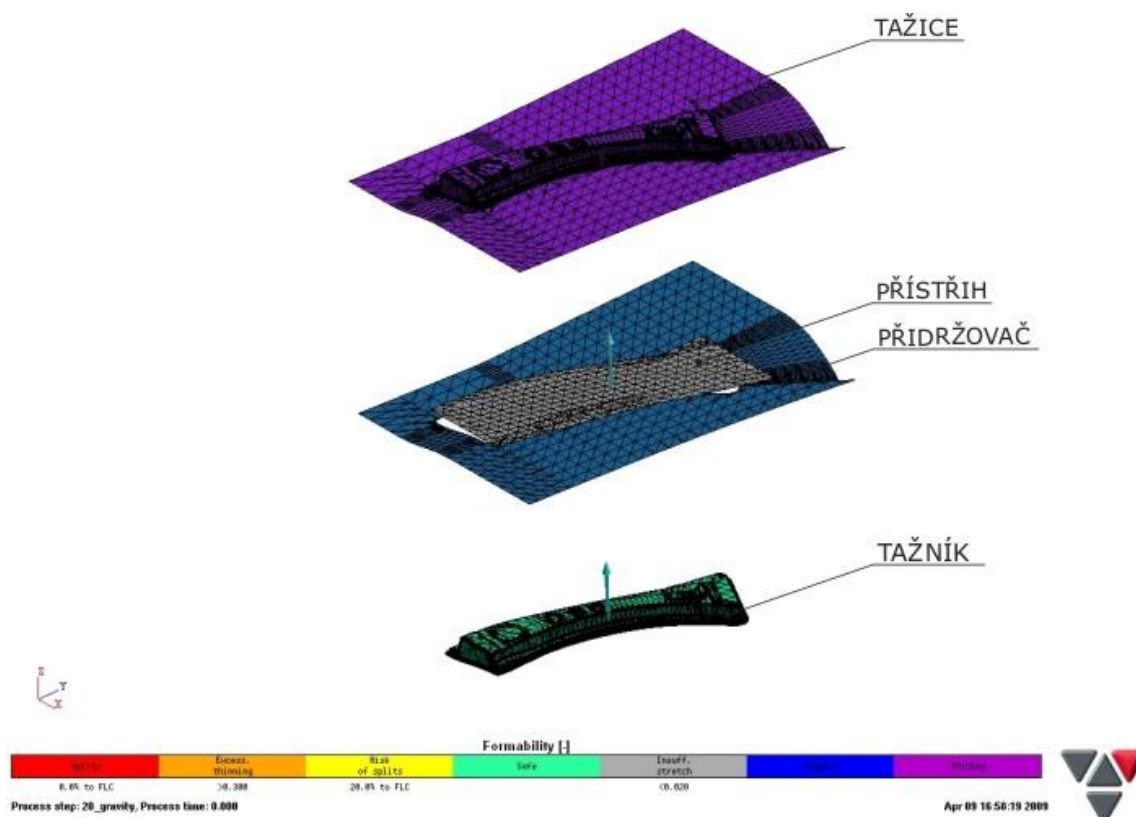
Obr. 3.1 Příklad rozdělení výtažku do systému konečných prvků (FEM)

### 3.1.2 Definování technologických vlastností

Po diskretizaci ploch na prvky systému FEM, se v dalším kroku musí jednotlivým plochám přiřadit pozice tvářecího procesu (viz obr. 3.2). Nejprve se označí pozice přídržovače, tažnice a tažníku a importuje (nahraje) se, plocha přístříhu.

Jednotlivé plochy (viz výše) jsou vytvořeny v programu CATIA V5 v jednotném souřadném systému a proto odpadá jejich další ustavování vůči sobě tak, aby byly vůči sobě osově vystředěny. Na obrázku 3.2 je zobrazeno určení jednotlivých ploch.

Plocha označená jako tažnice (viz 3.2), je plochou po prvním tahu (viz 2.5) vytvořená v programu CATIA V5 ze základního modelu výtažku. Přídržovač je plocha přídržovače (viz 2.4) a plocha označená jako tažník je plocha upraveného výtažku (viz 2.2). Poslední plochou je plocha vytvořená rozvinem základního výtažku a jedná se o přístříh (viz 4.2), který je nahrán do AutoFormu z aplikace OneStep (viz. 1.2.2). Tyto plochy se určují a importují v záložce s názvem *Tools* v aplikaci „*Process generátor*“. V této záložce se definuje dále pracovní osa souřadného systému, ve kterém se provádí tažení.

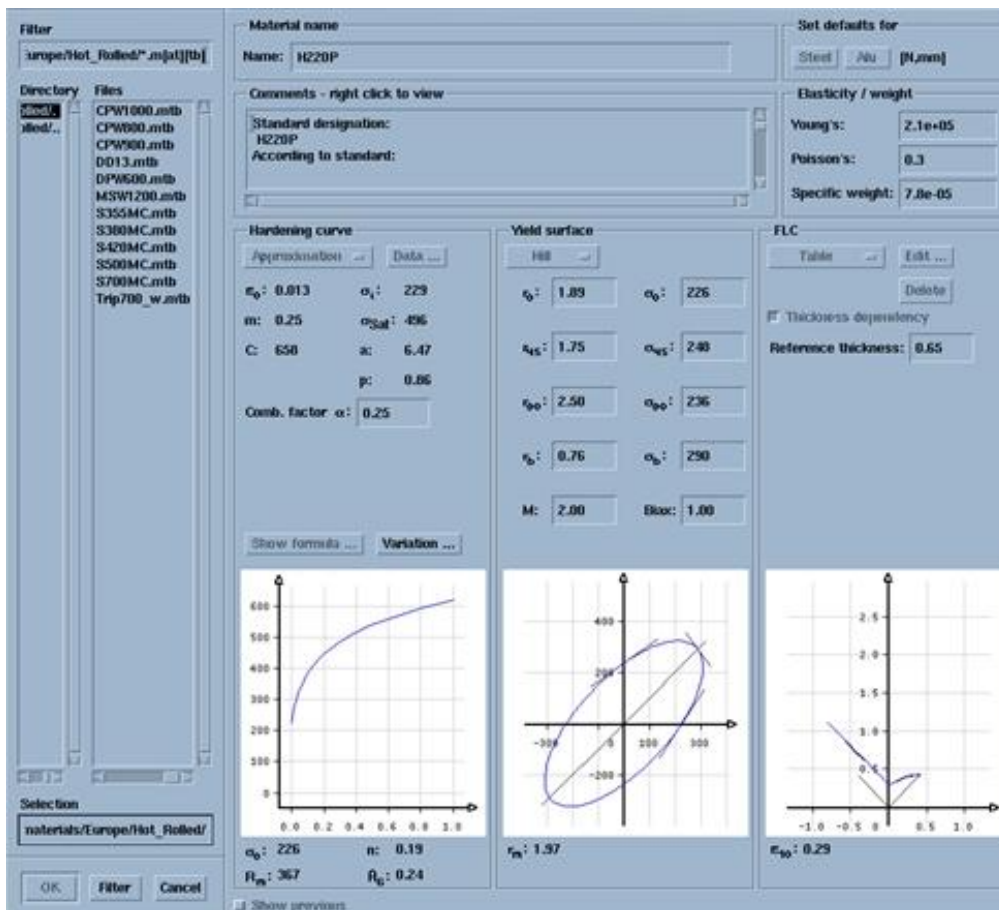


Obr. 3.2 Definice tvářecího procesu

### 3.1.3 Definování materiálových vlastností

Definování materiálových vlastností je dalším krokem, který musí být určen v aplikaci „Process generátor“. V záložce „Blank“ se tedy vybere tvářený materiál. Výběr se provádí z materiálové databáze, která je pravidelně aktualizována. Materiálové vlastnosti uložené v této databázi jsou ověřeny zkouškami. Jednou metodou zjišťování materiálových vlastností je zkouška hloubení Erichsen, patentována již v roce 1913. Tato zkouška spočívá v deformaci vzorku materiálu (prohloubením), tvrzeným kulovým nástrojem. Tato zkouška probíhá za předem předepsaných rychlostí deformace, dokud nezpůsobí jemnou trhlinu. Výsledkem této zkoušky jsou materiálové vlastnosti zkoušeného vzorku.

V této diplomové práci je zvolen materiál H220P, jehož mechanické vlastnosti jsou ověřeny v kapitole stanovení mechanických vlastností (viz 1.5). Na obrázku 3.3 je protokol materiálu H220P zvoleného v programu AutoForm. Mimo základních mechanických vlastností je zde uveden i FLD diagram (křivka mezních deformací), křivka plasticity dle kritéria HMH a křivka zpevnění pro daný materiál. Youngův modul pružnosti, Poissonovo číslo spolu s měrnou hmotností dotváří úplnou charakteristiku zvoleného materiálu.



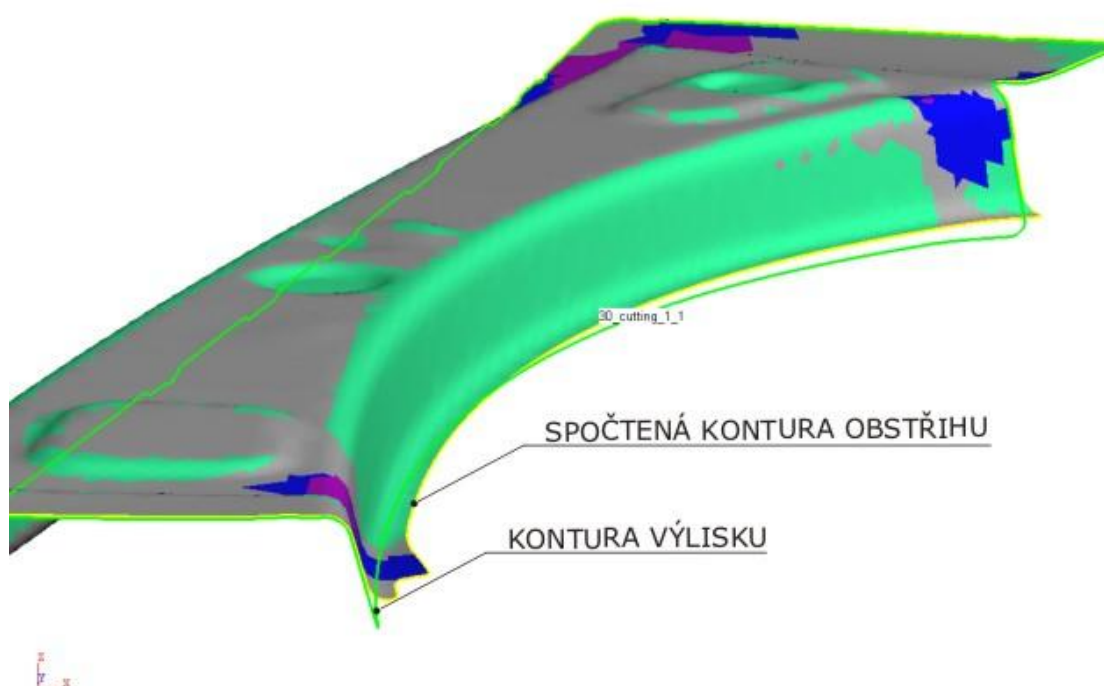
Obr. 3.3 Karta materiálu H220P v databázi softwaru AutoForm

### 3.1.4 Definování brzdících členů

Určení brzdících žebíř a jejich vlastností, v záložce „*Drwbeds*“ („*Draw bead*“), je popsáno v kapitole 2.7. Vytvořená žebra jsou jakýmsi matematickým modelem, který se umísťuje do plochy přidržovače (viz 3.1.2). Díky tomu, že se simulace může vícekrát opakovat a měnit při tom vstupní parametry brzdících žebíř, můžeme tak volit vhodné typy a rozměry jednotlivých brzdících členů. Poslední co se musí ještě definovat, jsou procesních veličiny. Do této záložky pod názvem „*Process*“, spadá určení druhu mazání, způsob tažení, hloubka tahu apod. V této diplomové práci je volen jednočinný způsob tažení bez mazání. Hloubka tahu odpovídá celkové hloubce výtažku (tažení na jeden zdvih nástroje).

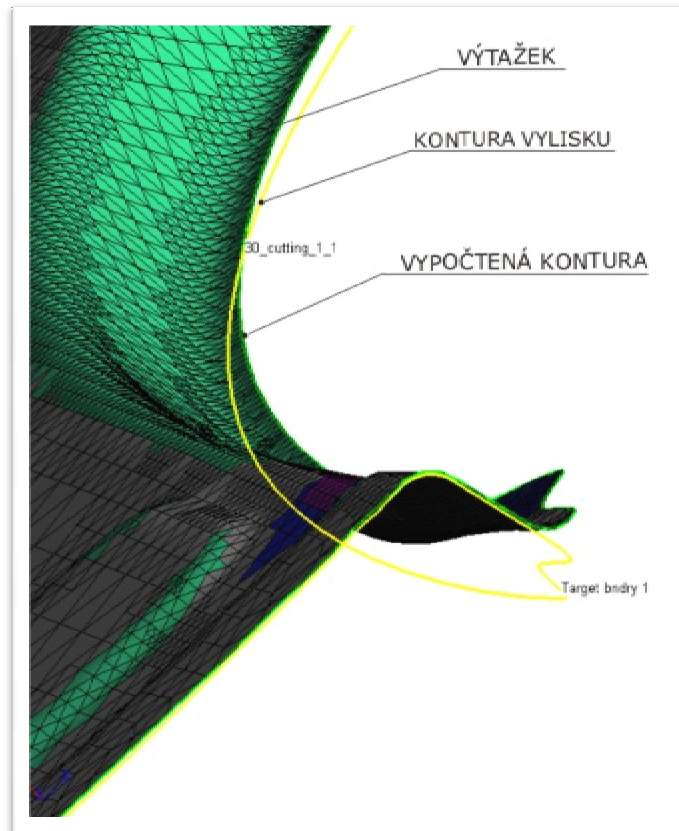
### 3.1.5 Definice obstřihové kontury pro vystřížení výtažku

Výpočet obstřihové kontury je funkce sloužící k vytvoření okraje výtažku, který je promítnut do vytvořené plochy tahu (viz obr. 3.4). Jelikož výtažek není tvářen na jednu operaci, ale následuje dotah pravé strany výlisku (viz 4.3 - číslo operace 40), musí se definovat obstřihová kontura, která je kolmá na osu tváření (osa Z). Na obrázku 3.4 je výpočet rozvinu kontury okraje výlisku (zelená), do plochy přídržovače (viz 2.4). Výsledkem je poté spočtená kontura obstřihu (žlutá) kontura, která po ostřížení je ve čtvrté operaci dotažena nahotovo do konečné pozice výtažku.



Obr 3.4 Výpočet obstřihové kontury

Tento výpočet se provádí pomocí funkce „*Cut couture*“ v programu AutoForm. Nejprve se musí označit obrys výtažku a poté plocha, do které chceme okraj vyřezat (viz obr 3.5). Simulace tažení se tedy provádí do takto upraveného výtažku. Samotný dotah boční strany dílce je odsimulován samostatně.



Obr 3.5 Vizualizace výpočtu obstříhové kontury

### 3.2 Výsledky simulace tažení výtažku

Definováním procesu tažení jsou vymezeny okrajové podmínky simulace tváření. Spuštěním simulace se přístřih přetvoří do konečného tvaru výtažku. Jednotlivé kroky a průběh simulace jsou zaznamenávány tak, aby bylo možno se k jednotlivým krokům simulace vracet a sledovat jednotlivé změny deformace, ztenčení stěny, přetvoření, porušení apod. Díky diskretizaci výtažku do FEM prvků je možno sledovat i určitou dílčí část výtažku a ne jen celý výtažek jako komplexní díl.

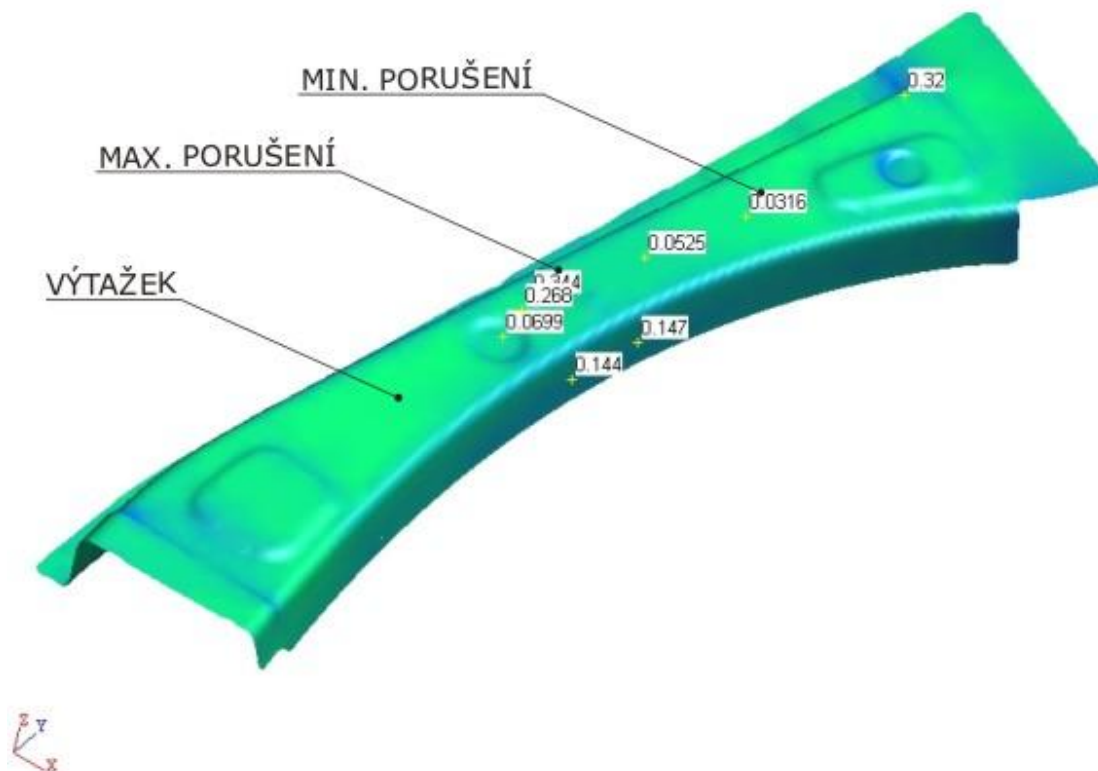
Výsledkem, simulace tažení plechového výtažku, je získání vlastností dílce po procesu tváření. Jedná se o lisovatelnost výtažku, ztenčení plechu, výskyt zvlnění, porušení dílu. Tyto vlastnosti jsou rozhodujícím faktorem, který ovlivňuje celkovou jakost výtažku, jeho použití a životnost. V této fázi simulace je možné, pokud díl nevyhoví, upravit okrajové podmínky tak, aby došlo k lepším výsledkům. Toto je bezesporu výhodou programů pracujících na základně metody FEM, protože až po optimalizování okrajových podmínek (procesních veličin)



se může konstruovat nástroj. Závěrečné odladění kritických rozměrů a tolerancí součásti je pak mnohem jednodušší.

### 3.2.1 Porušení výtažku

Porušení dílu – „*Max. Failure*“, díky této analýze je vidět, které místo výlisku je nejnáchylnější na porušení výtažku. Označením je možno si vyvolat hodnotu, ve kterém místě chceme (viz obr. 3.6). Pomocí funkce hledání maxima a minima se nám osvětlí minimální a maximální hodnota zkoumaného výtažku. V příloze E2, protokol simulace tažení (list 3), jsou kompletní výsledky z této analýzy.



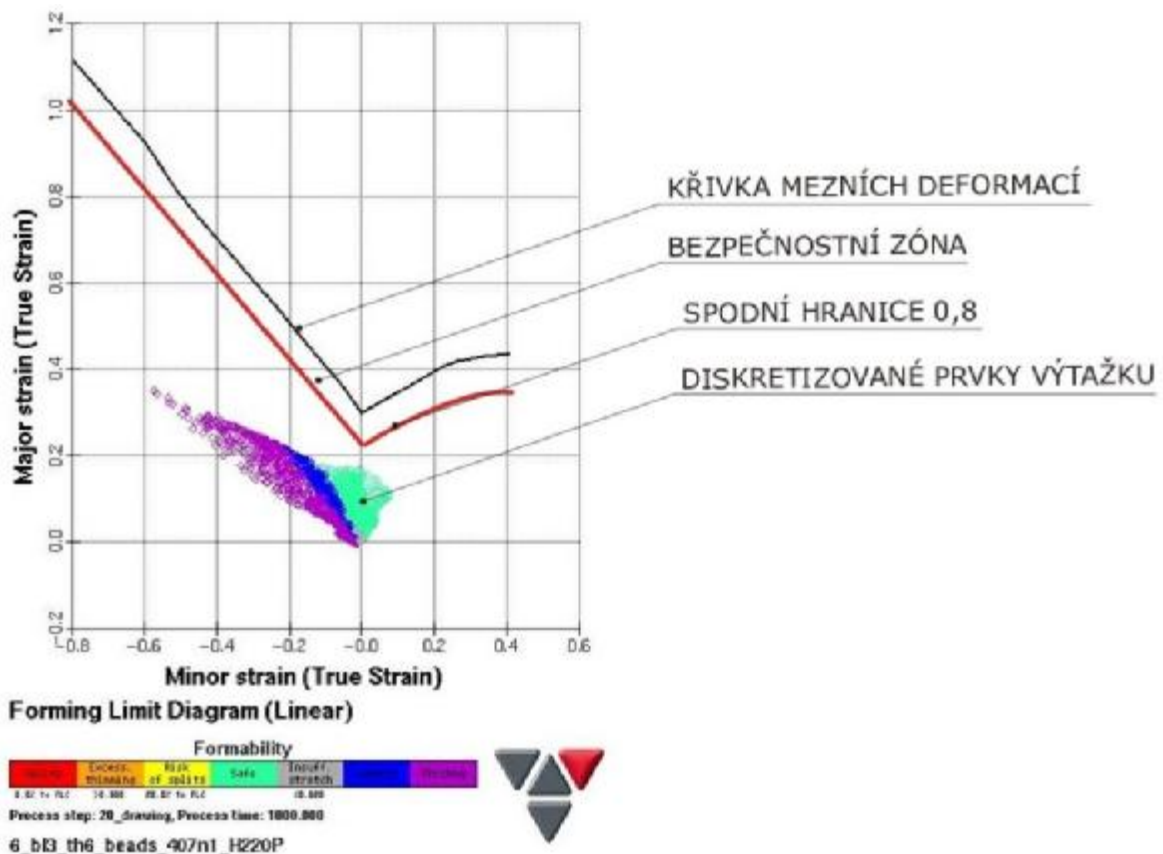
Obr. 3.6 Zobrazení výsledků simulace s hodnotami maximálního porušení výtažku

Součástí funkce „*Max. Failure*“ je zobrazení jednotlivých FEM prvků, prezentující body, do FLD diagramu (viz obr 3.7).

Nejdůležitější v této části výsledku je maximální porušení, které je dáno číselnou hodnotou, tato hodnota je 0,344. Tato hodnota reprezentuje nejvyšší stupeň deformace a podle této hodnoty se posuzuje porušení výtažku. Pokud by tento výsledek dosáhl hodnoty 1,

znamenaloby to, že leží na křivce mezních deformací (FLD) a došlo by k porušení výtažku. Ve firmě PWO UNITOOLS CZ, a. s. nesmí toto kritérium nabýt hodnoty 0,8, protože při závěrečném odlaďování kritických rozměrů a tolerancí součásti za účelem dodržení tolerancí předepsaných na výkrese (viz 5), může docházet ke změnám nástroje, který zpětně ovlivní deformaci výtažku. Touto hodnotou je zajištěna dostatečně velká vůle, protože při úpravě nástroje a při neovlivnitelných vnějších vlivů může dojít k dalším deformacím výtažku.

Maximálnímu porušení výtažku, simulovaného v této diplomové práci, odpovídá hodnotě 0,344 což je hodnota hluboko pod stanovenou hranici 0,8. Proto výtažek tomuto kritériu vyhovuje.



Obr. 3.7 Zobrazení křivky mezních deformací v programu AutoForm 4.06



### 3.2.2 Ztenčení plechu výtažku

Ztenčení výtažku – „*Thinning*“, výsledkem této analýzy je hodnota vypovídající o kolik procent se daný výtažek ztenčil, nebo napěchoval. Jelikož se jedná o technologii tažení se ztenčením stěny, je tento výsledek důležitý při hodnocení tváření výtažku. Mezní hodnoty ztenčení materiálů jsou uvedeny v tabulce 3.1. Záporné hodnoty ve výsledku simulace znamenají ztenčení stěny výtažku, naopak kladné hodnoty znamenají napěchování stěny výtažku v tom místě. Maximální a minimální hodnoty se opět vyvolají pomocí funkce zobrazení maximálních hodnot v simulované soustavě.

Tab. 3.1 Kritéria hodnocení ztenčení plechu

Ztenčení (%)	Hodnocení
do 20	Vyhovující
20 ÷ 30	Nutnost přezkoumání okrajových podmínek, případně jejich úprava.
nad 30	Nevyhovující

V příloze, protokol simulace tažení (viz příloha E3 list 4), je kompletní výsledek kritéria ztenčení výtažku. Zapnutím funkce maximálních a minimálních hodnot, vybere program AutoForm, prvky výtažku, které vyhovují požadovaným kritériím (viz obr. 3.8). Maximální hodnota ztenčení plechu výtažku je 9,83 % a maximální hodnota napěchování je 5,67 %.



Obr. 3.8 Vizualizace výsledku ztenčení materiálu v programu AutoForm 4.06

Porovnáním výsledných hodnot s požadovaným kritériem (viz tab 3.1) vychází, že maximální hodnota ztenčení je do 20% tloušťky plechu, proto je tato analýza vyhodnocena za vyhovující.

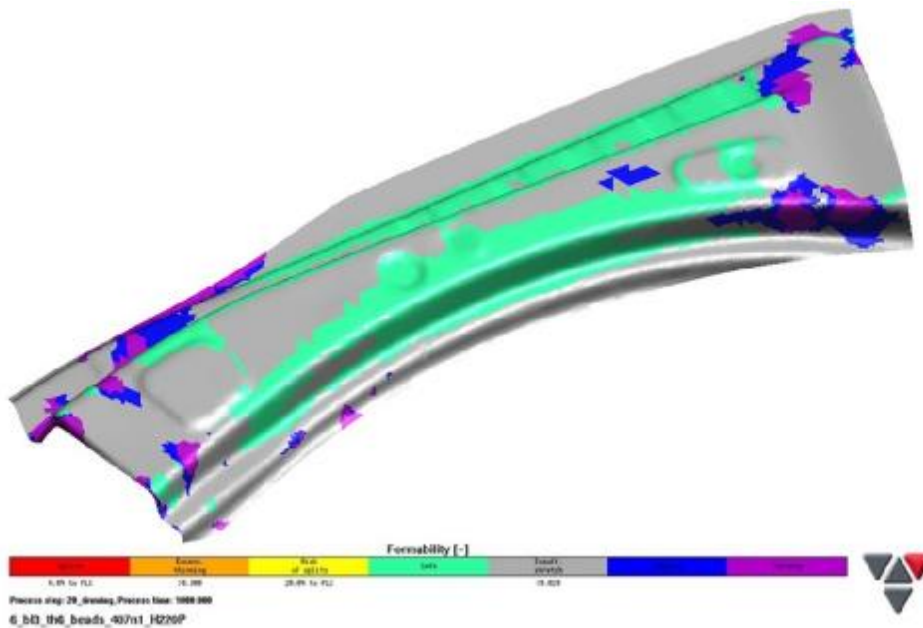
### 3.2.3 Lisovatelnost výtažku a stupeň přetvoření

Lisovatelnost – „*Formability*“, výsledkem této analýzy je znázornění přetvoření daného výtažku. Naší snahou je docílit u výtažku co nejvyššího stupně přetvoření při splnění ostatních podmínek simulace (porušení, ztenčení, zvlnění). Větší přetvoření výtažku znamená výhodnější vlastnosti výtažku vzhledem k vyladění kritických rozměrů a tolerancí součástí za účelem dodržení tolerancí předepsaných na výkrese.

Přetvořená hrana výtažku znamená menší pravděpodobnost odpružení. Součástí této analýzy je barevná mapa označující stupeň přetvoření jednotlivých prvků (FEM) na výtažku (viz 3.9 a 3.10). V tabulce 3.2 je popsán význam barevných označení jednotlivých prvků výtažku.

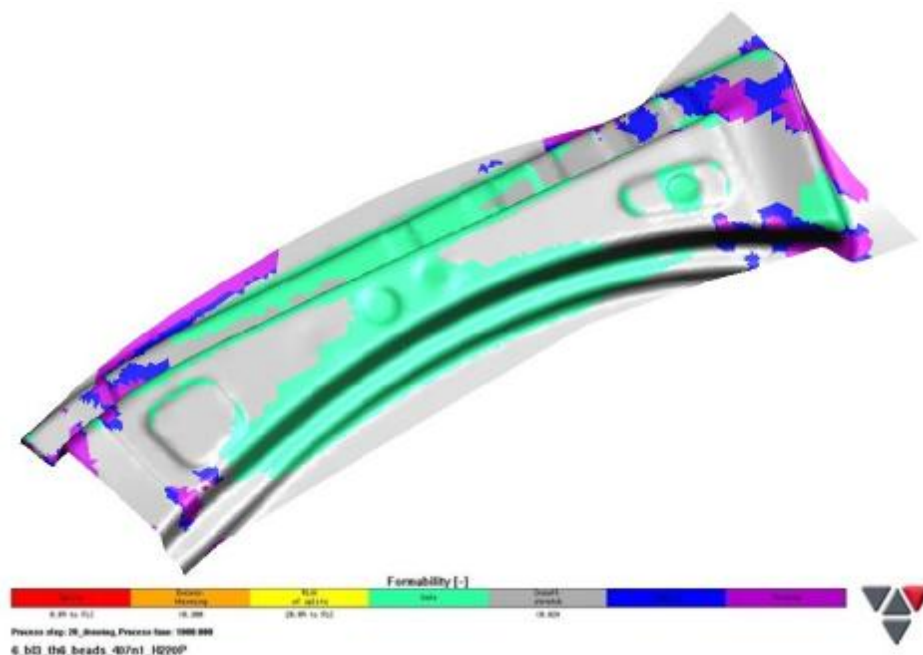
Tab. 3.2 Barevné označení analýzy lisovatelnosti

Název	Význam
Splits	roztržení materiálu
Excess. thinning	přemíra ztenčení materiálu
Risk of splits	riziko roztržení plechu
Safe	bezpečně přetvořený materiál
Instuff stretch	nepřetvořený materiál
Compress	stlačení materiálu
Thicking	pěchování materiálu



Obr 3.9 Vizualizace lisovatelnosti výtažku bez použití brzdících žeber

Při lisování za studena se snižuje plasticita kovu (kov se zpevňuje) a snese bez porušení pouze určitý mezní stupeň přetvoření, proto se provádí tato analýza. Na obrázku 3.9 (viz výše) je analyzován výtažek bez použití brzdících žeber a je zde vidět přetvoření pouze na poloměrech ohybu výtažku. Zatímco na obrázku 3.10 je patrný větší stupeň přetvoření, zejména na okrajích celého výtažku a na celém obvodu. Proto je výhodnější varianta kde jsou použity brzdící žebra (viz 3.10). Výsledky z této analýzy jsou zpracovány v příloze E4 (viz příloha za textem), protokol simulace tažení (list 5).

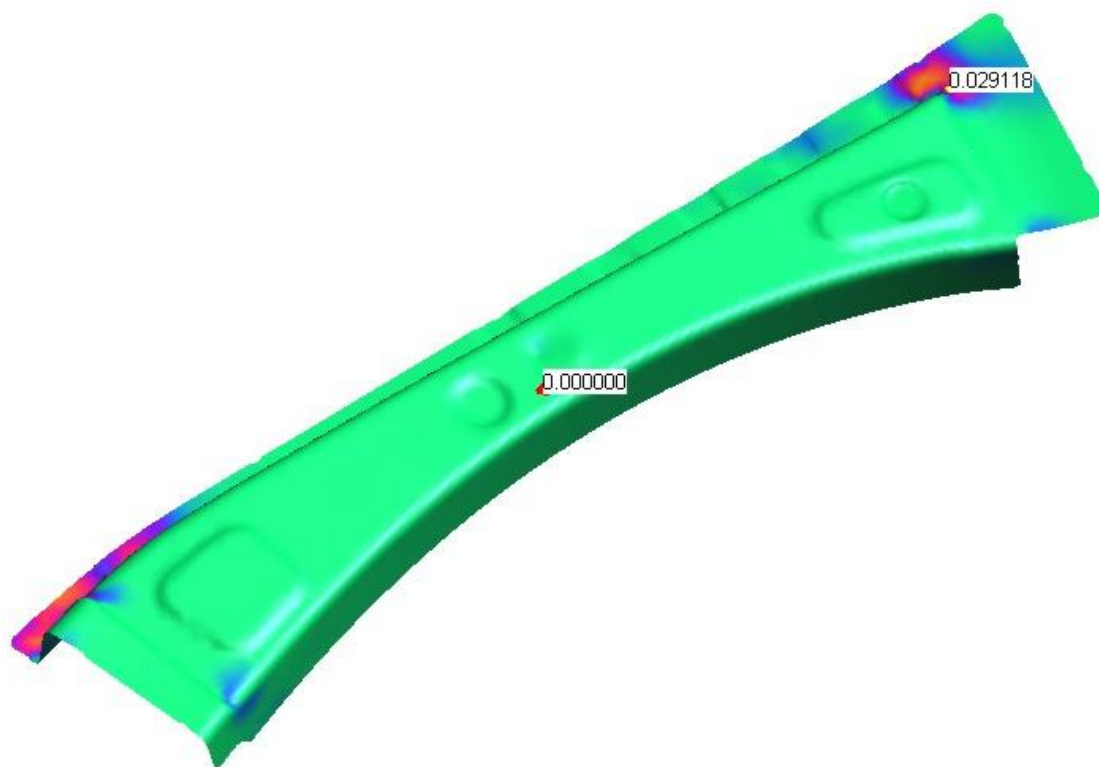


Obr 3.10 Vizualizace lisovatelnosti výtažku s použitím brzdících žeber

### 3.2.4 Výskyt zvlnění

Výskyt zvlnění – „*Max. Wrinkling*“, poslední analýzou, která je součástí přílohy E5, protokol simulace tažení (list 6), je analýza velikosti a umístění zvlnění. Zvlnění výtažku vzniká místním napěchováním materiálu. Ve skutečnosti se tloušťka plechu u dna zmenšuje a právě u okraje výtažku se napěchováním zvětšuje (zákon stálosti objemu). Tomuto jevu částečně zabraňuje přidržovač a použití brzdících žeber. Zvlnění a místní napěchování materiálu vznikají zpravidla tam, kde se větší množství materiálu napěchovává do menších rozměrů. Jedná se o větší hloubky výtažku s malým poloměrem zaoblení hran apod. Analýza „*Max. Wrinkling*“ programu AutoForm 4.06 dokáže takové případy odhalit a pomocí metody FEM vypočítat místní napěchování a zvlnění.

Na obrázku 3.11 jsou znázorněny maximální a minimální hodnoty napěchování daného výtažku. Barevná mapa výtažku znázorňuje oblasti s předpokládaným výskytem zvlnění. Maximální hodnota výtažku je 0,029. Největší ztenčení materiálu nabývá maximálně hodnoty 0,1, tato hodnota znamená, že materiál je v tomto místě napěchován, zvlněn.



Obr 3.11 Vizualizace výsledku zvlnění

Mezními hodnotami, které jsou maximálně přípustné pro toto kritérium, jsou:

- a) pro zvlnění na rovinných plochách maximálně 0,03 (-),
- b) pro zvlnění na ohnutých, nakloněných, zahnutých rovinách 0,05 (-).

Maximální zvlnění výtažku, u této analýzy je hodnota 0,029 (-), což vyhovuje kritériu, kde maximální hodnota na rovinné ploše má být max. 0,03 (-). Zadaný výtažek tedy tomuto kritériu vyhovuje.

Ze všech analýz simulace tažení vyplývá, že zadaný výtažek je lisovatelný, protože vyhověl všem kritériím v jednotlivých analýzách. Výtažek je tedy lisovatelný za podmínek vytvořených v této diplomové práci.

#### **4 Metodický plán lisování součásti**

Metodický plán lisování součásti je návrh postupu výroby technologií tažení s ohledem na velikost výtažku, možné výrobní postupy a výběr strojů a zařízení ve firmě, kde se budou výrobky zpracovávat. V metodickém postupu se bere ohled také na velikost série 29 000 kusů, která je požadována a na možné technologie výroby výtažku.

Ve firmě PWO UNITOOLS CZ, a. s., se výrobky vyrábí technologiemi:

- a) technologie výroby postupovým tažením: Jedná se o postupový lisovací nástroj pro levý a pravý díl výtažku. Do nástroje vstupuje pás plechu, který se v jednotlivých krocích postupně přetváří. Nástroj je vybaven několika čidly pro zjištění prostříženého otvoru. Výsledkem výrobního postupu je kompletní vyrobení plechového výrobku a to vše pomocí jednoho nástroje,
- b) technologie transferového lisování výtažku: Jedná se o lisovací linku, ve které jsou zabudovány transferové systémy, sloužící k přesunu výlisků v lisech s více operačními nástroji, nebo i mezi samostatnými lisy. Výsledkem výrobního postupu

je kompletní vyrobení plechového výlisku a to vše pomocí několika nástrojů (viz příloha B2),

- c) technologie ručního zakládání na lisech: Jedná se o technologii lisování výtažku, kde je každá operace prováděna na jiném stroji. Výlisek je do lisu zakládán ručně. Technické vybavení firmy tvoří dva hydraulické 400 tunové lisy od firmy Schuler (viz příloha B1).

#### **4.1 Volba technologie výroby**

Při návrhu technologie výroby výlisku zadaného složitého tvaru je u této diplomové práce vycházeno z tabulky pro volbu technologie výroby (viz tab. 4.1). Tato tabulka slouží jako průvodní ukazatel technologie výroby.

Tab. 4.1 Volba technologie výroby

Metoda tváření		Ruční zakládání	Transferový lis	Postupový lis
1.	Hodinová sazba lisu [Kč/hod]	1000	5000	2900
2.	Počet lisů [-]	2	1	1
3.	Počet zdvihů na lisu [zdvihů/min]	7	20	25
4.	Sazba lisu na zdvih [Kč/zdvih]	4,76	4,17	1,93
5.	Rozdíl [Kč]	-	-0,60	-2,83
6.	Zadaný počet výlisků [ks/rok]	29 000		
7.	Životnost [rok]	5		
8.	Velikost přístřihu			
9.	Krok [mm]	396,0	396,0	390,0
10.	Šíře [mm]	555,0	555,0	600,0
11.	Tloušťka plechu [mm]	0,8		
12.	Cena materiálu [Kč/kg]	23,0		
13.	Hmotnost přístřihu [kg]	1,3802	1,3802	1,4695
14.	Procentuální nárůst [%]	-	0,0%	6,5%
15.	Cena přístřihu [ks/Kč]	31,75	31,75	33,80
16.	Nárůst ceny [Kč]		0,00	2,05
17.	Cena nástroje [Kč]	4 000 000	5 000 000	5 500 000
18.	Cena nástroje na jeden kus [Kč/ks]	19,70	24,63	27,09
19.	Nárůst ceny [Kč]		4,93	7,39
20.	Celková cena jednoho výrobku [Kč]	<b>56,21</b>	<b>60,54</b>	<b>62,83</b>

1. Hodinová sazba lisu: jsou zde zahrnuty náklady na provoz strojů, náklady na mzdy pracovníků, údržbu a náklady na přeastřování nástrojů. Proto lze použít na každou operaci stejná mzda. Tato hodnota se mění dle metod tváření,
2. Počet lisů: mění se dle použité metody tváření. Tyto stroje jsou v podniku PWO UNITOOLS CZ, a. s.,
3. Počet zdvihů na lisu: jedná se o maximální počet zdvihů beranu na lisu,
4. Sazba lisu na zdvih: udává, kolik stojí jeden zdvih lisu při tváření materiálu při dané hodinové sazbě lisu,

Sazba lisu na zdvih  $L_Z$ :

$$L_Z = \frac{S_L}{Zd \cdot 60 \cdot L} \quad (4.1)$$

kde jsou:  $L_Z$  – sazba lisu na jeden zdvih (Kč/zdvih),  
 $Zd$  – maximální počet zdvihů za minutu (zdvih/min),  
 $L$  – počet lisů dané technologie (-),  
 $S_L$  – hodinová sazba lisu (Kč/hod),

Výsledné hodnoty sazby lisu na jeden pracovní zdvih jsou uvedeny v tabulce 4.1 (viz výše),

5. Rozdíl: jedná se o rozdíl jednotlivých technologií v ceně sazby lisu,
6. Zadaný počet výlisků: počet výlisků je součástí poptávky od zadavatele projektu, automobilka pro tento výtažek požaduje 29 000 kusů výrobků,
7. Životnost: jedná se o zaručenou životnost lisovacích nástrojů, za kterou zodpovídá a ručí firma PWO UNITOOLS CZ, a. s.,



8. Velikost přístřihu: v bodech tabulky 9. 10. a 11. Jsou rozměrové požadavky na jednotlivé přístřihy, které se odlišují rozměrovými vlastnostmi dle použité technologie lisování (viz níže 4.2),
12. Cena materiálu: cena materiálu H220P (viz 1.4), v současné době je jeden kilogram tohoto materiálu dodavatelem do podniku prodáván za cenu 23 Kč/kg,
13. Hmotnost přístřihu: pro získání této hodnoty byly využity hmotové funkce v programu CATIA V5 (viz 1.2.1). Pomocí funkce „*Measure Inertia*“, se označí objekt, který má být zvážen a zadá se hustota daného materiálu a tloušťka materiálu. Program poté vypočítá hmotnost daného objektu. Výsledné hodnoty hmotnosti přístřihu jsou uvedeny v tabulce 4.1 (viz výše),
14. Procentuální nárůst: jedná se o procentuální vyjádření navýšení hmotnostního nárůstku přístřihu při jednotlivých technologiích výroby,
15. Cena přístřihu: jedná se o cenové vyjádření jednoho kusu přístřihu,

Cena přístřihu  $C_P$ :

$$C_P = \frac{H_P}{C_M} \quad (4.2)$$

kde jsou:  $C_P$  – celková cena jednoho kusu přístřihu (Kč/ks),  
 $H_P$  – hmotnost jednoho kusu přístřihu (kg),  
 $C_M$  – celková cena jednoho kilogramu materiálu (Kč/kg),

Výsledné hodnoty cen přístřihu jsou uvedeny v tabulce 4.1 (viz výše),

16. Nárůst ceny: jedná se o nárůst ceny od nejmenší hodnoty ceny jednoho přístřihu, rozdíly jsou dány použitou technologií,

17. Cena nástroje: se mění dle použité technologie, tyto sumy jsou voleny dle zkušeností v podniku PWO UNITOOLS CZ, a. s. (viz 6), cena nástroje závisí ještě na metodickém postupu a na složitosti výtažku,
18. Cena nástroje vztažená na jeden kus výrobku: jedná se o rozdělení ceny nástroje do ceny jednoho kusu výtažku, závisí na počtu kusů výrobku za rok.

Cena nástroje rozpočtená na jeden kus výtažku  $C_K$ :

$$C_K = \frac{C_N}{K_R \cdot Z_Z} \quad (4.3)$$

kde jsou:  $C_N$  – celková cena jednoho nástroje (Kč),  
 $K_R$  – počet výlisků na jeden rok (ks),  
 $Z_Z$  – životnost jednoho nástroje (rok),  
 $C_K$  – cena nástroje rozpočtená na jeden kus výtažku (Kč/ks),

Výsledné hodnoty cen přístřihu jsou uvedeny v tabulce 4.1 (viz výše),

19. Nárůst ceny: jedná se o nárůst ceny výlisku, která vznikne rozpočtením ceny nástroje na jeden kus výlisku. Rozdílné ceny jsou různé vzhledem k použité technologii,
20. Celková cena jednoho výrobku: je cena vzniklá součtem ceny sazby lisu na jeden zdvih (4.1) ceny přístřihu (4.2) a ceny nástroje rozpočtené na jeden kus (4.3),

Celková cena jednoho kusu výtažku  $C_c$ :

$$C_c = L_Z + C_P + C_K \quad (4.4)$$

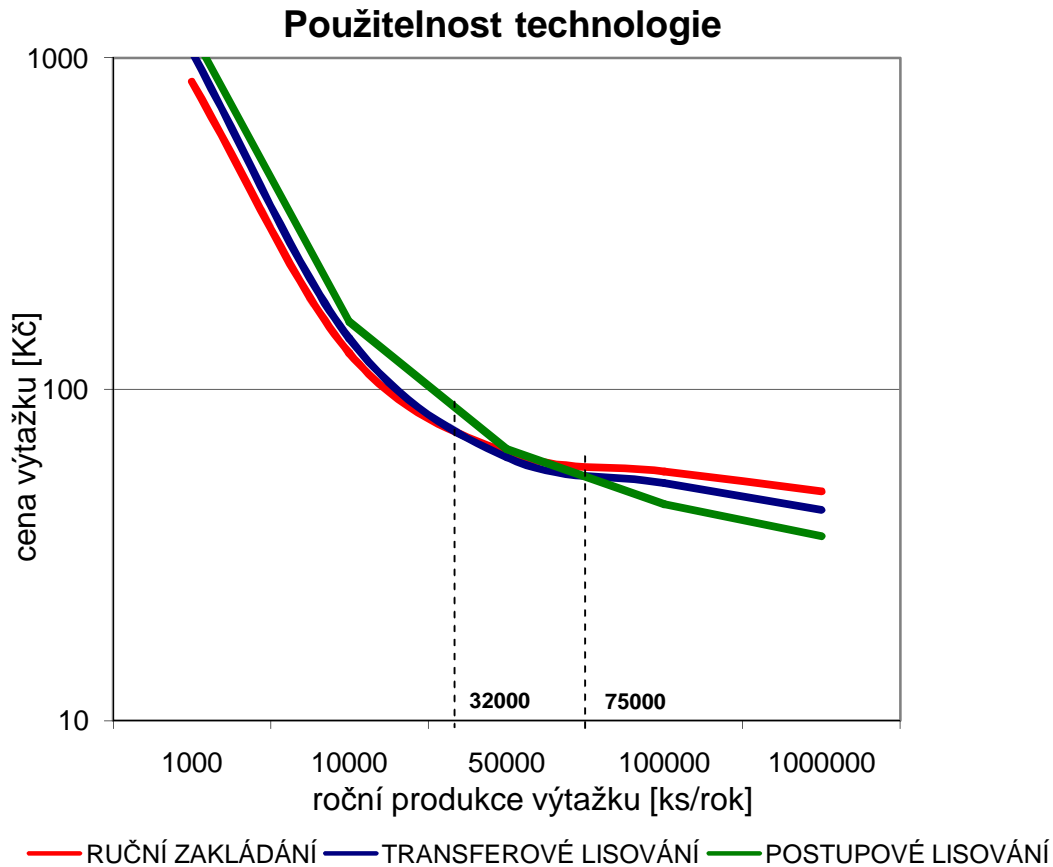
kde jsou:  $C_c$  – celková cena jednoho výtažku (Kč),

Výsledné celkové cenové náklady na jeden kus výtisku jsou uvedeny v tabulce 4.1 (viz výše).

Při volbě technologie výroby výtažku ve firmě PWO UNITOOLS CZ, a. s. dosazením a vypočtením tabulky 4.1 byla jako nejvýhodnější technologií, pro zadaný počet kusů a daný materiál, zvolena technologie ručního zakládání (viz 4 c). Touto technologií je dosažena cena jednoho výtažku, při poptávané sérii 29 000 kusů, (viz tab. 4.1) 56,21,-- Kč.

Výroba 29 000 kusů výtažku odpovídá malosériové výrobě. Na grafu (viz obr. 4.0) je vidět, při kolika kusech výtažku se vyplatí použít technologii ručního zakládání výtažku, technologii transferového tažení a technologii postupového tažení výtažku. Jedná se o technologie ručního zakládání, technologie transferového lisování a technologie postupového lisování. Při určování jaká technologie je výhodná pro jaký typ technologie se vycházelo s tabulky 4.1 (viz výše). Při maloobjemové výrobě cca do 32 000 kusů výtisku je nejvýhodnější technologií technologie ručního zakládání.

Od 32 000 kusů výtisku zhruba do 75 000 kusů je výhodnější použít technologii transferového lisování, která je nejvýhodnější v tomto rozmezí. Pokud je produkce výtažku větší, než zhruba 75 000 kusů výtažku za rok je nejvýhodnější technologií technologie postupového tažení. Náklady na technologii transferového a postupového lisování extrémně stoupají s ubývajícím roční produkcí, protože se musí pokrýt výroba a seřízení nákladných tvářecích nástrojů pro tyto automatické linky.



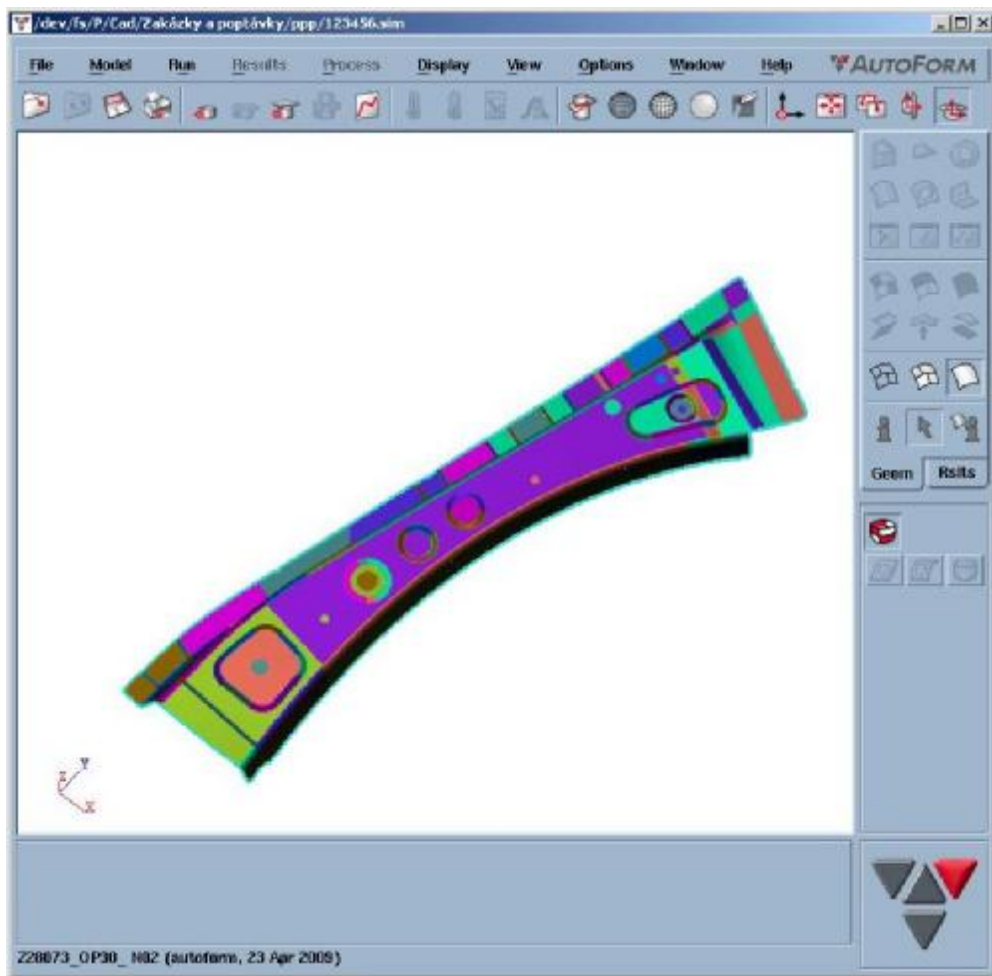
Obr. 4.0 Graf použitelnosti technologií

## 4.2 Přístřih

Velikost a tvar přístřihu u výtažku složitěho tvaru není jednoduché optimálně zvolit. Existují různé metody zjišťování optimálního tvaru přístřihu, jakými jsou např. metoda řezů, nebo metoda využívající trajektorií maximálních smykových napětí. V této diplomové práci byl využit software AutoForm 4.06, modul OneStep (viz 1.2.2 b), který má speciální funkce, které přímo umožňují vytvořit ze zadaného výtažku (zpracovaného v programu CATIA V5) velikost i rozměry přístřihu. Jako výchozím členem pro získání přístřihu je použit výtažek s upravenými plochami (viz obr. 2.2), kde jsou vyplněny všechny otvory.

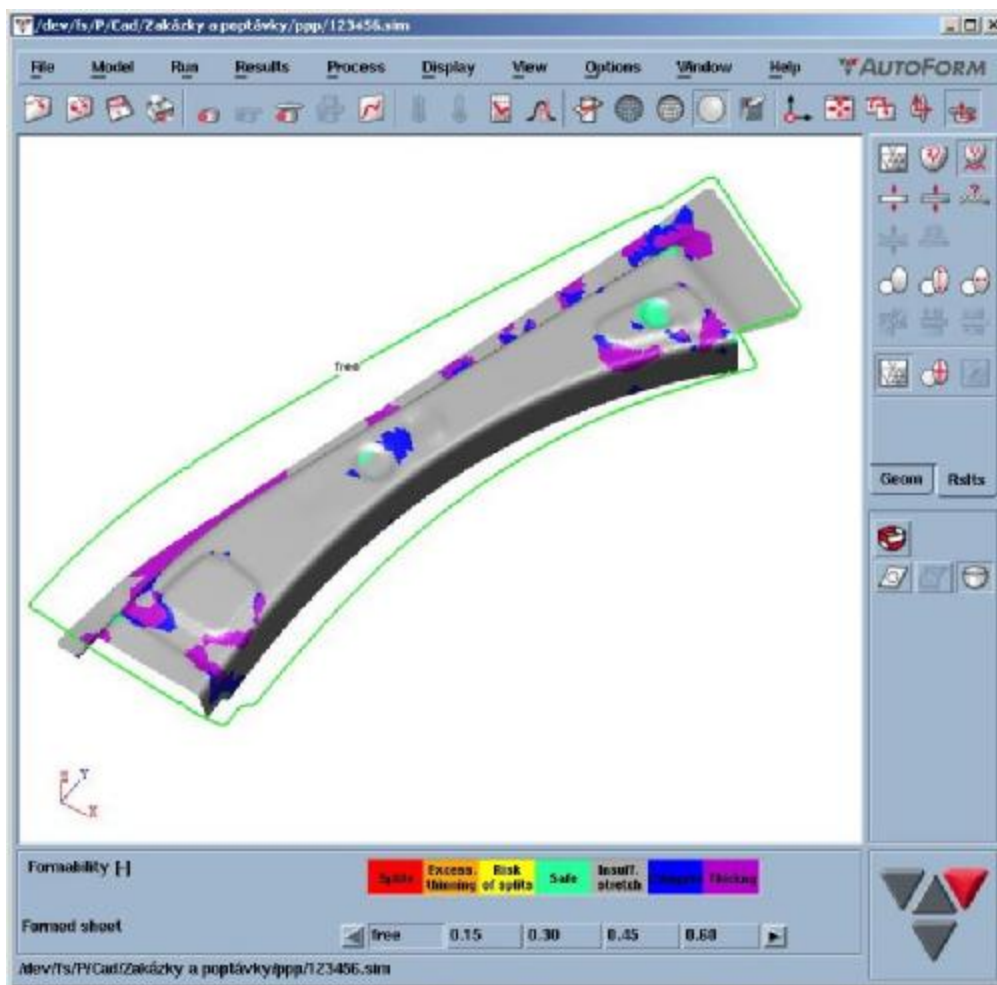
Program AutoForm 4.06, při navrhování přístřihu, počítá s materiálovými vlastnostmi a mechanickými dle použitého materiálu, dále počítá se zvětšením o technologický přídavek na ostřížení. Pokud se jedná o tažení bez ztenčení stěny výtažku, jedná se o zákon zachování

ploch. Program dokáže vytvořit z vymodelovaného výtažku, dle zvolené osy, rozvin daného výtažku do plochy.



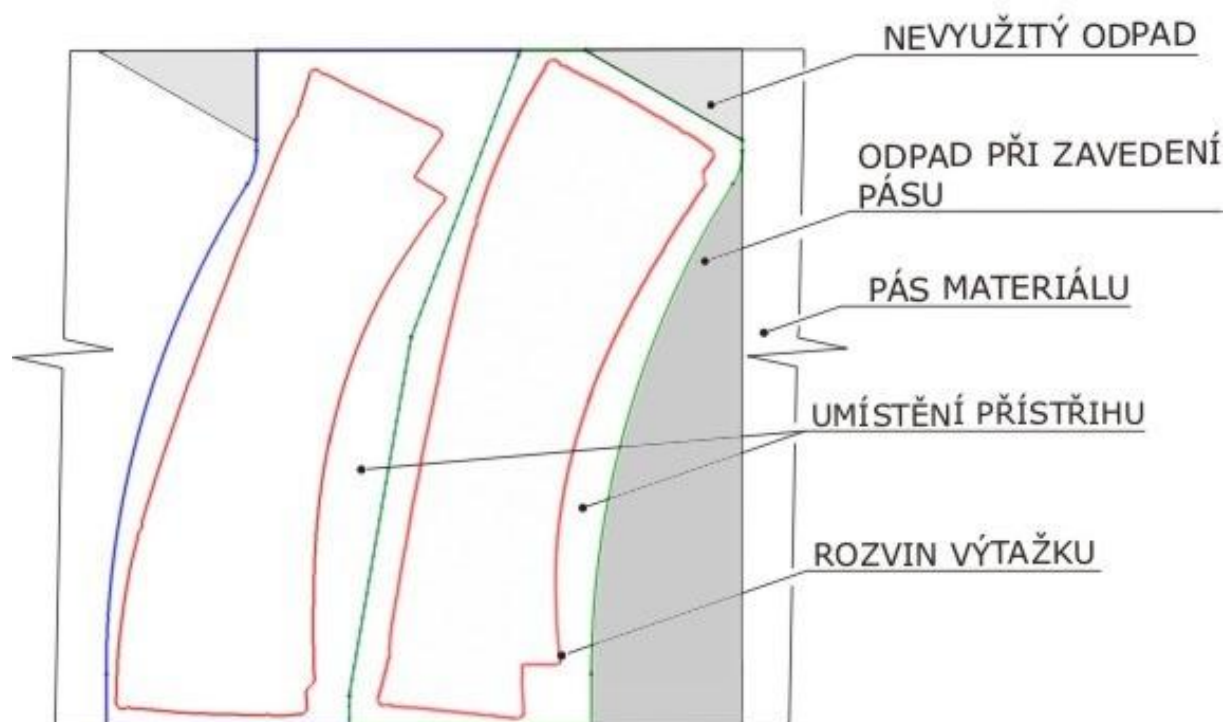
Obr. 4.1 Upravený výtažek připravený pro rozvin materiálu do přístříhu

Pro rozvin materiálu do přístříhu se musí dále zadat materiál výtažku, jeho tloušťku, rotaci přístříhu kolem nějaké z os a například jestli má být výtažek někde přidržen. Pokud je použita funkce přidržení „*Wrap surface*“, tak je po označení hrany (bodu) přidržení, vytvořen rozvin kolem této hrany (bodu). V této diplomové práci nebyla použita funkce přidržení, to znamená, že se vytvořil rozvin bez jakýchkoli omezujících podmínek. Výsledný rozvin výtažku (bez přidržení) do přístříhu je zobrazen na obrázku 4.2 (viz níže). V simulaci rozvin materiálu se může také počítat s přidržením materiálu a tím pádem se zmenší i přístřih. Přidržení se volí pomocí funkce „*Formed sheet*“ (viz obr. 4.2), kde jsou přednastavené hodnoty přidržení. Pro prvotní určení platiny se nezadává žádná hodnota přidržení („*free*“), ta se může upravovat později, podle výsledků simulace.



Obr. 4.2 Výsledný tvar přístříhu, po simulaci rozvinu výtažku

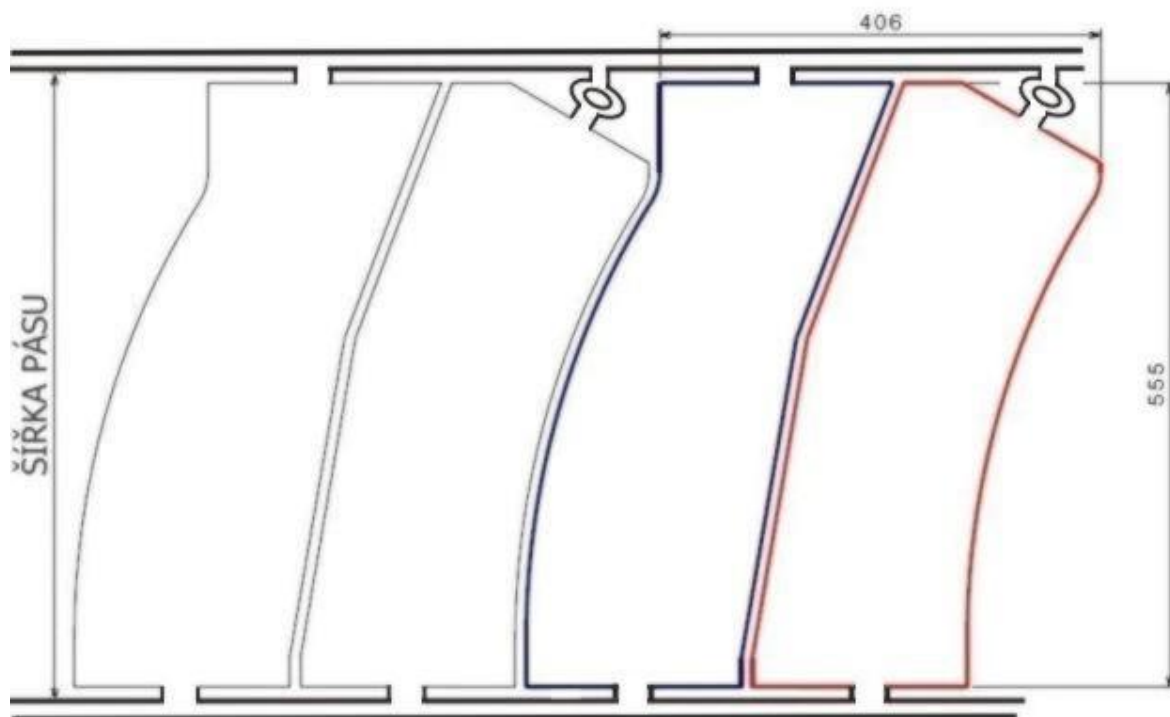
Výslednou křivku znázorňující rozvin materiálu do přístříhu je možno uložit do souboru, který je kompatibilní se softwarem CATIA V5, ve které se přístřih dále upravuje. Okraje vytvořeného přístříhu se dále zvětšují o přídavek na ostřížení. Toto zvětšení je o 5 mm po hranách výtažku, při tloušťce materiálu do 1 mm, dle zvyklostí firmy PWO UNITOOLS CZ, a. s. Na obrázku 4.3 (viz níže) je znázorněná poloha zvětšených přístřihů (o přídavek na ostřížení) v pásu materiálu. Přístřihy jsou vzájemně vodorovně převráceny kvůli úspoře materiálu a optimalizování nástřihového plánu. Jediný odpad co vzniká při vystřihování přístříhu, je rovněž znázorněn na obrázku 4.3, jedná se o odpad vzniklý při zavádění nového svitku a nevyužitý odpad vzniklý při stříhání přístříhu.



Obr. 4.3 Nástřihový plán pro výsledný tvar přístřihu

Velikost přístřihu pro technologie ručního zakládání a technologie transferového lisování je stejná, protože odpadá nutnost navýšení okrajů plechu o střížné můstky.

- a) u technologie postupového lisování dochází k rozšíření vstupního pásu, protože jsou výtažky drženy v pásu jen úzkými můstky, které dovolují deformaci výtažku. Výtažek je veden pomocí můstku a okrajů (viz obr. 4.4), až do poslední operace kde je ze svitku materiálu vystřižen výsledný výtažek,



Obr. 4.4 Nástřihový plán pro technologii postupového tažení

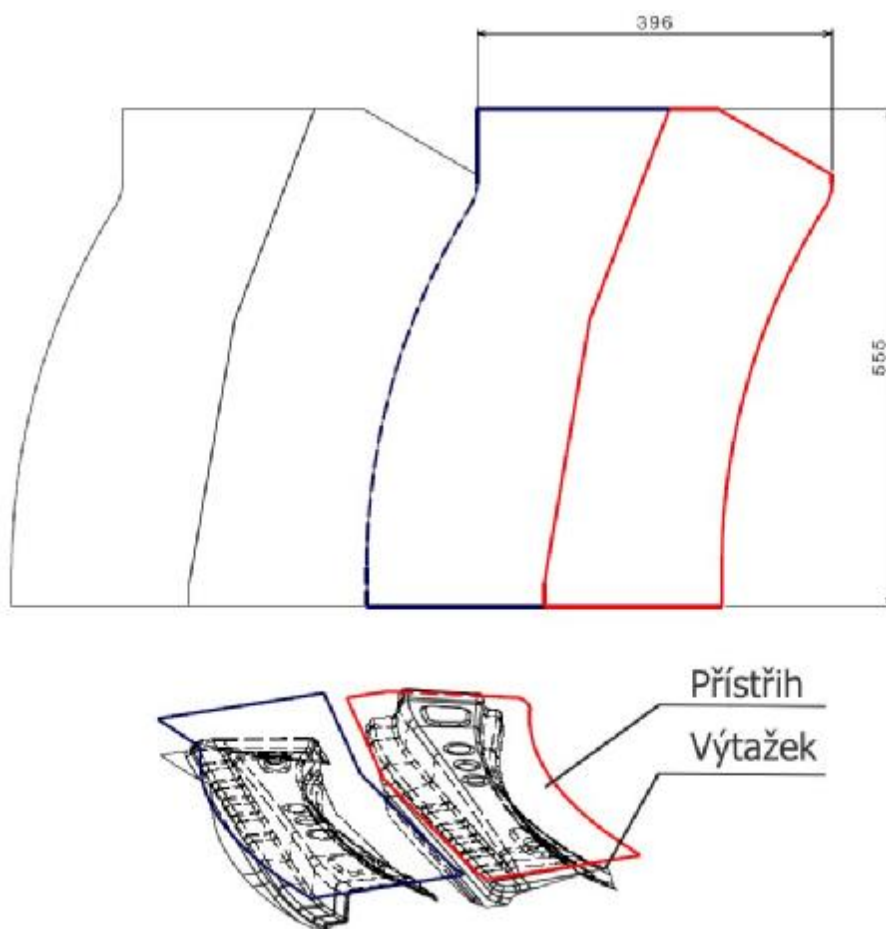
b) u technologie ručního zakládání a technologie transferového lisování odpadá nutnost použití můstek a okrajů, narůstá tak využitelnost a hospodárnost materiálu. Nástřihový plán (viz obr 4.5) obsahuje dva přístřihy pro dva díly, které jsou zrcadlově symetrické. Jedná se o levý a pravý výtažek,

Výhody stanovení optimálního tvaru a velikosti přístřihu:

- optimální kinematické poměry při tažení, lze využít i materiál horší jakosti,
- snížení zmetkovitosti při procesu tažení,
- malá plocha přístřihu, racionálnější nástřihový plán, úspory materiálu,
- menší tažná síla, úspory energie,
- snížení opotřebení nástrojů, snížení vnitřních pnutí a vyšší přesnost výtažků,
- zvýšení produktivity práce.



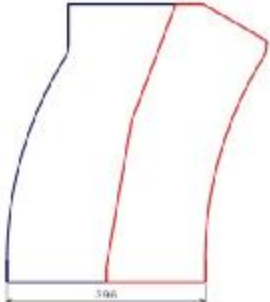
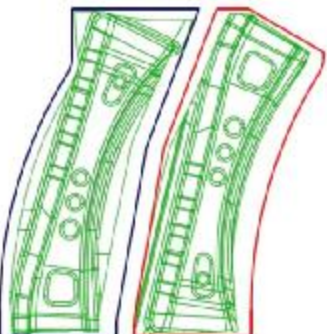
Pro zvolenou technologii ručním zakládáním je výsledná velikost přístřihu znázorněna na obrázku 4.5 (viz níže). Tato velikost přístřihu vznikla rozvinutím výtažku do roviny a zvětšením okrajů o přídavek na ostřížení (viz obr 4.3). Výsledná výška přístřihu je 555 mm při tloušťce plechu 0,8 mm. Délka jednoho kroku (jedné dvojice výtažku) je 396 mm (viz obr 4.5). Pro technologii ručním zakládáním přístřihu je do firmy PWO UNITOOLS CZ, a. s. dodáván materiál H220P ve formě svitků o hmotnosti 5 tun (viz 1.4), ze kterého jsou stříhány jednotlivé přístřihy, viz nástřihový plán.

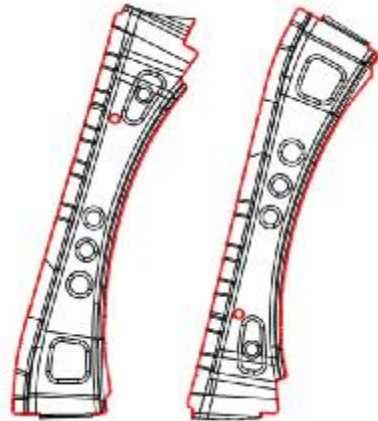
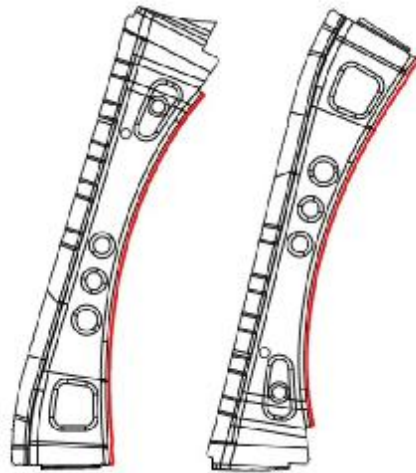


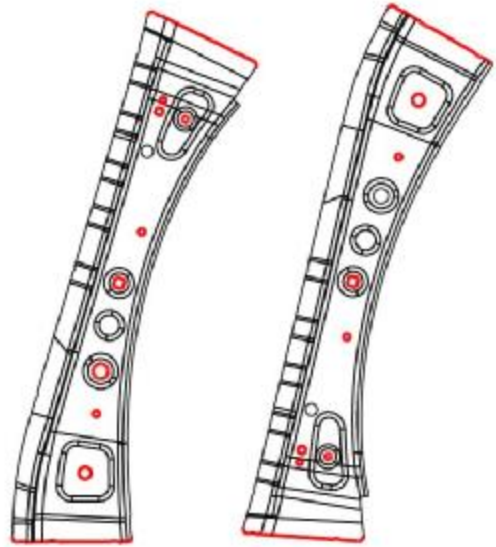
Obr. 4.5 Velikost přístřihu pro technologii ručního zakládání výtažků

### 4.3 Technologický postup výroby výtažku technologií ručního zakládání

Název výrobku	Číslo materiálu	Použitý materiál ČSN	Výkres
DÍL VNITŘNÍ	H220P	DIN 1.0358	Nástřihový plán lisování

Číslo operace	Výrobní dílna	Pracoviště	Popis operace	Poznámka
				Vizualizace
10	2220	Lisovna	Příprava svitků (555 x 0,8) mm. Balení 5 tun, před automatickou vystřihovací linku. Stříhání přístřihů ze svitku.	
20	2220	Lisovna	Výdej a seřízení příslušných lisovacích nástrojů pro hydraulický lis. Tažení dílů z přístřihu.	

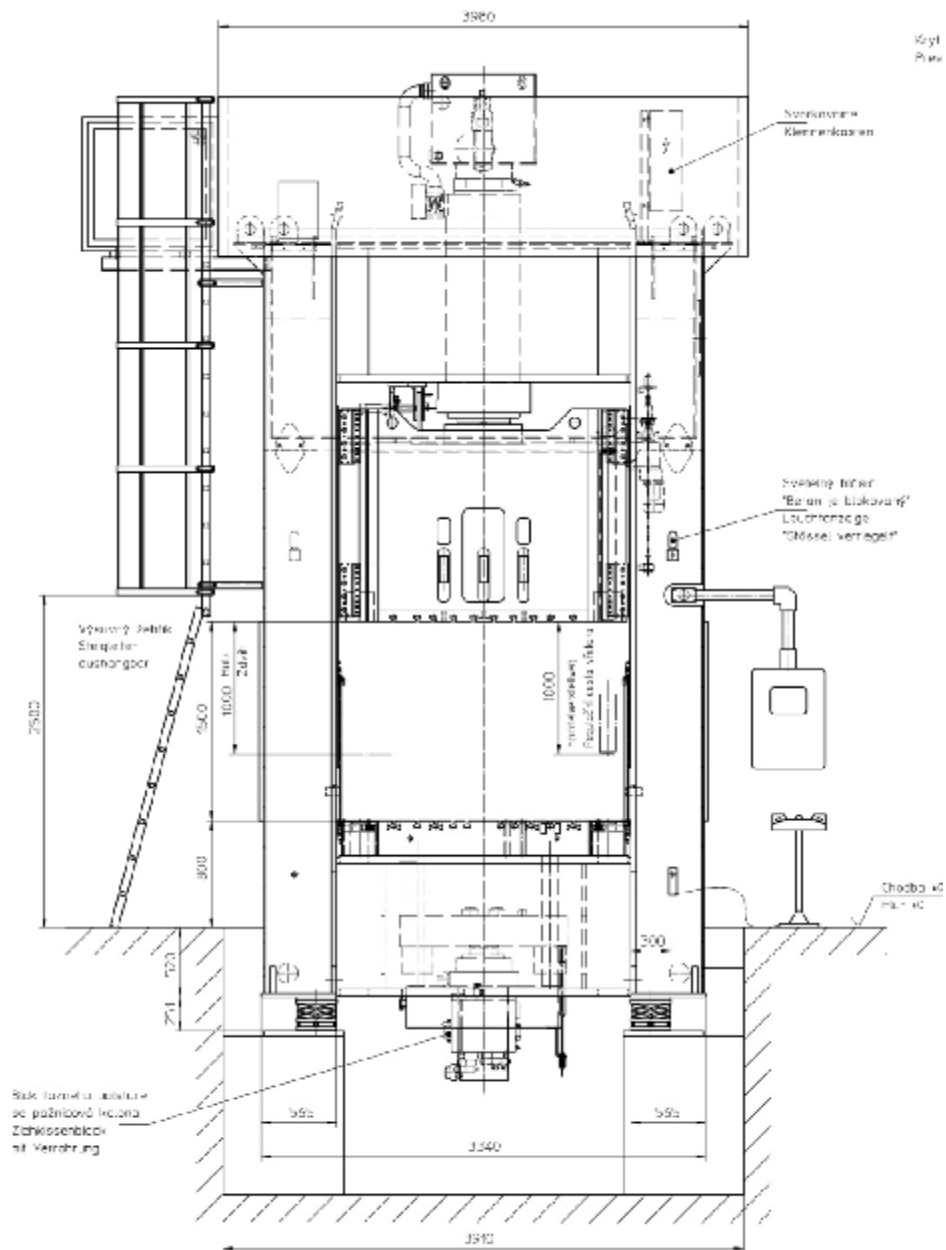
Číslo operace	Výrobní dílna	Pracoviště	Popis operace	Poznámka
				Vizualizace
30	2220	Lisovna	<p>Z vytažených výtažků se ostříhnou boční hrany, které jsou zvětšeny o přídavek na dotažení.</p> <p>Vystřížení otvorů sloužící jako hledáček a pro vystředění výtažků pro další operace.</p>	
40	2220	Lisovna	<p>Pomocí hledáček ustavení výtažků do nástroje, dotah bočních ploch a vystřížení otvorů.</p>	

Číslo operace	Výrobní dílna	Pracoviště	Popis operace	Poznámka
				Vizualizace
50	2220	Lisovna	Ustavení výtažků do nástroje a vystřížení funkčních otvorů a obstřih výtažků nahotovo.	

Metodický plán výroby pro ruční zakládání viz příloha (Technologický plán lisování v kapse práce).

#### 4.4 Návrh lisu, nástroje a vhodného typu stroje

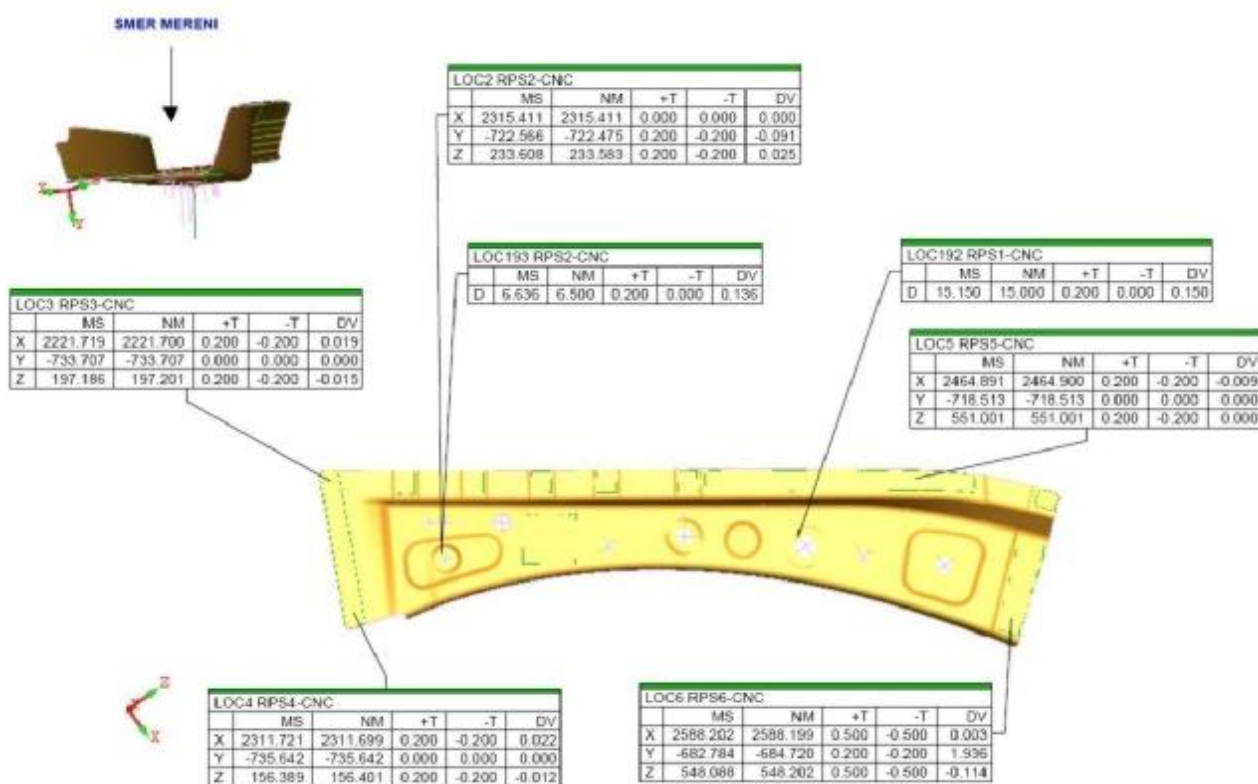
Nástřihový plán (viz příloha) byl navržen pro nejvýhodnější zvolenou technologii ručního zakládání. Pro tuto technologii se ve firmě PWO UNITOOLS CZ, a. s. používá dvojice hydraulických tažných a střížných lisů od firmy SCHULER s obchodní značkou SHC – 400 (viz obr 4.2). Charakteristika stroje a jeho technické parametry viz příloha B1.



Obr. 4.2 Schéma hydraulického lisu

## 5 Odladění kritických rozměrů a tolerancí za účelem dodržení tolerancí předepsaných na výrobním výkresu

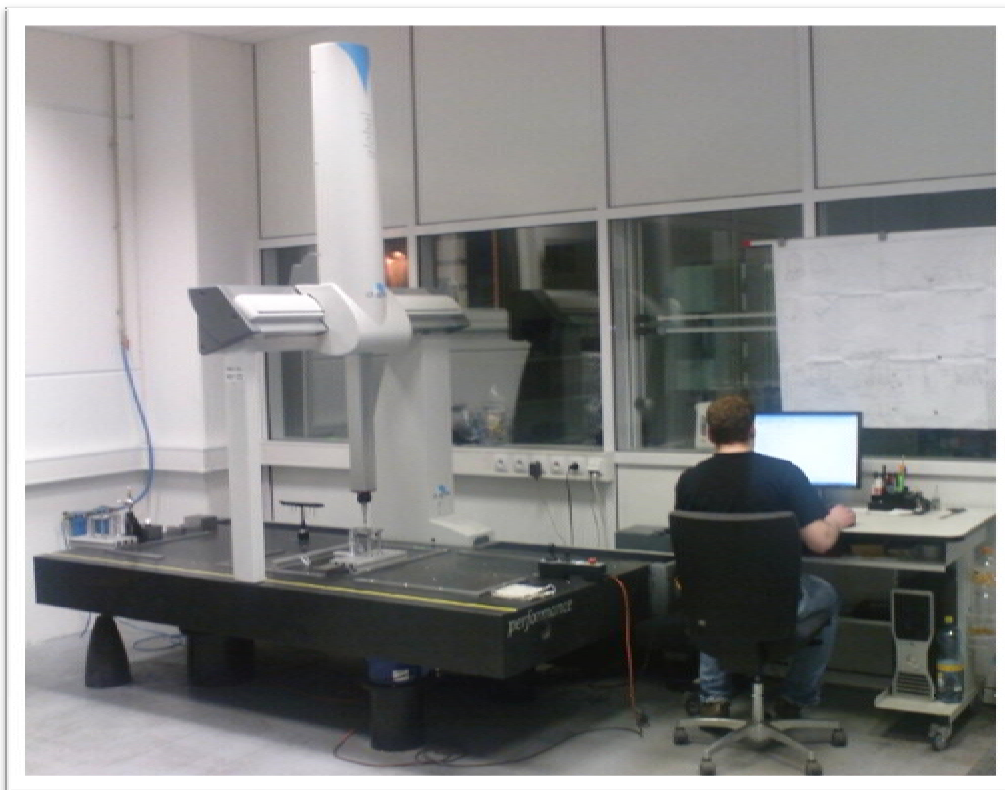
Na základě analýzy procesu tváření, volby technologie výroby se vyrobí ve firmě PWO UNITOOLS CZ, a. s. nástroj pro lisování výtažků. Po výrobě nástroje a jeho funkčním sladěním se odlišuje první řada výtažků. Ty jsou proměřené na kontrolním přípravku, který je speciálně vyroben pro tento výtažek. Měří se tvarové úchyly, poloha otvorů, rozměr otvorů a úchyly kontur. Hodnoty povolených úchylek jsou předepsány na výkresu dílu (viz příloha v kapse práce výkres díl vnitřní - č. 3T9 809 407). Výtažek je na přípravek umístěn na RPS plochy a vycentrován na RPS otvory, ty jsou pro výlisek výchozí. RPS body a plochy jsou pomocné, referenční body, které slouží pro stejné ustavení výtažku vůči měřicímu systému. Tyto body jsou voleny do technologické základny výlisku tak, aby bylo zajištěno stejné ustavení všech dalších kontrolovaných výtažků. Soustava RPS bodů vymezuje technologickou základnu, od které se měří ostatní rozměry. Na obrázku 5.1 je soustava RPS bodů, které vymezují ustavení dílu pro měření.



Obr. 5.1 Určení RPS bodů pro ustavení výtažku pro měření

Nejprve se odladí tvarové úchytky a následně polohy otvorů a kontury výtažku. Při korekci rozměrů se vychází vždy z více naměřených protokolů a počítá se s průměrnými hodnotami úchylek.

Měření a protokoly naměřených hodnot se zpracovávají v oddělení řízení kvality, které je součástí firmy PWO UNITOOLS CZ, a. s. Měření probíhá na 3D CNC měřícím stroji MISTRAL 15.10.9 (viz příloha C1). Tento přístroj (viz obr. 5.2) je určený pro 3D rozměrovou kontrolu ve výrobě, právě tak jako v měrových laboratořích. Univerzální design a technické parametry umožní použití tohoto stroje pro měření širokého výrobního sortimentu v různých průmyslových odvětvích jako například v elektronickém průmyslu, ve výrobě plastů, nebo kdekoli jinde ve strojírenství.

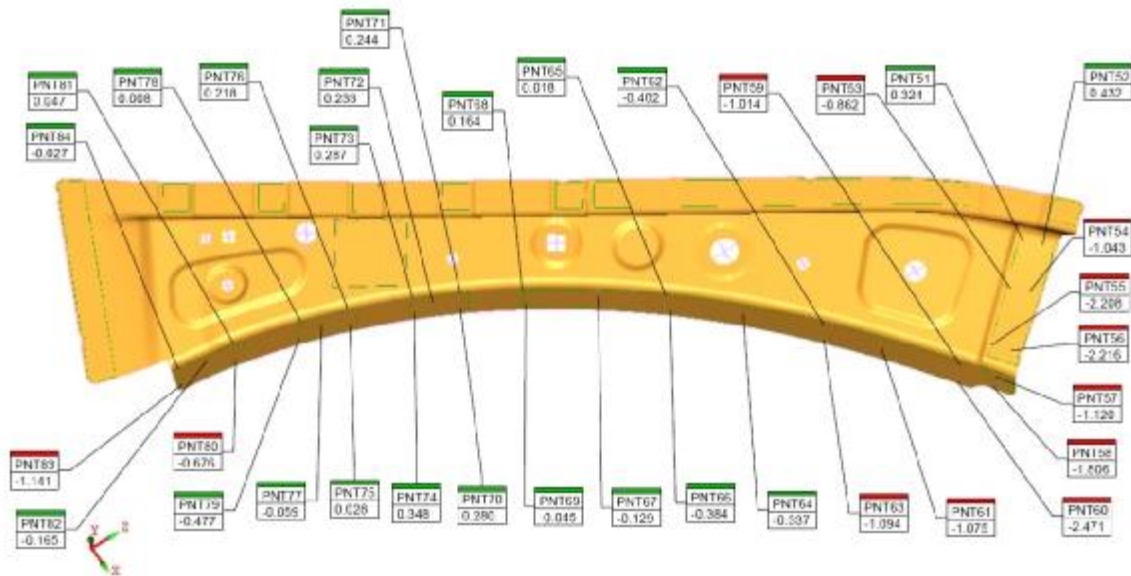


Obr. 5.2 3D CNC měřící stroj MISTRAL 15.10.9

Výsledkem měření je přehledný formulář, který ukáže měřená místa na výtažku a jejich hodnoty. Tyto hodnoty jsou označeny barevnými symboly (viz 5.3) a číselnou hodnotou ukazující odchylku od skutečných rozměrů. Zelené hodnoty ukazují hodnoty, které vyhovují předepsané hodnotě (toleranci), žluté hodnoty jsou hraniční a červené hodnoty jsou nevyhovující a musí se opravit.



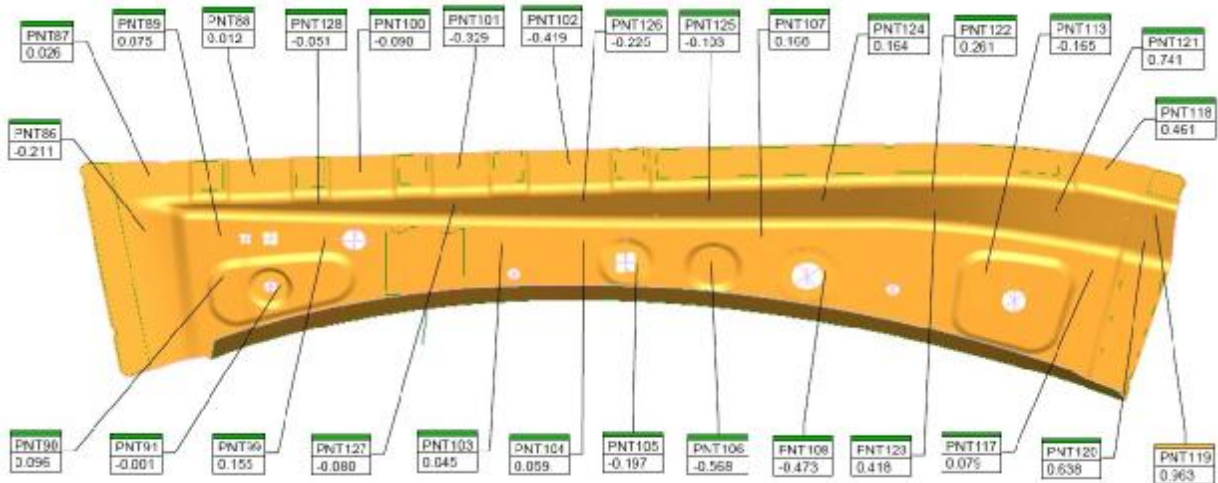
Na obrázku 5.3 je znázorněn výsledek měření pomocí 3D souřadnicových strojů. Prvním měřením se zkoumají tvarové úchytky od požadovaných tolerancí na výkrese. Červeně vyznačené úchytky, vyhodnocené jako nevyhovující, se musí upravit. Tato úprava se provádí tvarovou změnou nástroje. Tato úprava nástroje se provádí u kladných úchytek frézováním, (zbrúšením) nástroje a u záporných úchytek navařením svarové housenky pomocí speciálních elektrod (tvrdokovových) a následným frézováním (přebroušením) lisovacího nástroje.



Obr. 5.3 Výsledky z měření tvarových úchytek první sady výlísků

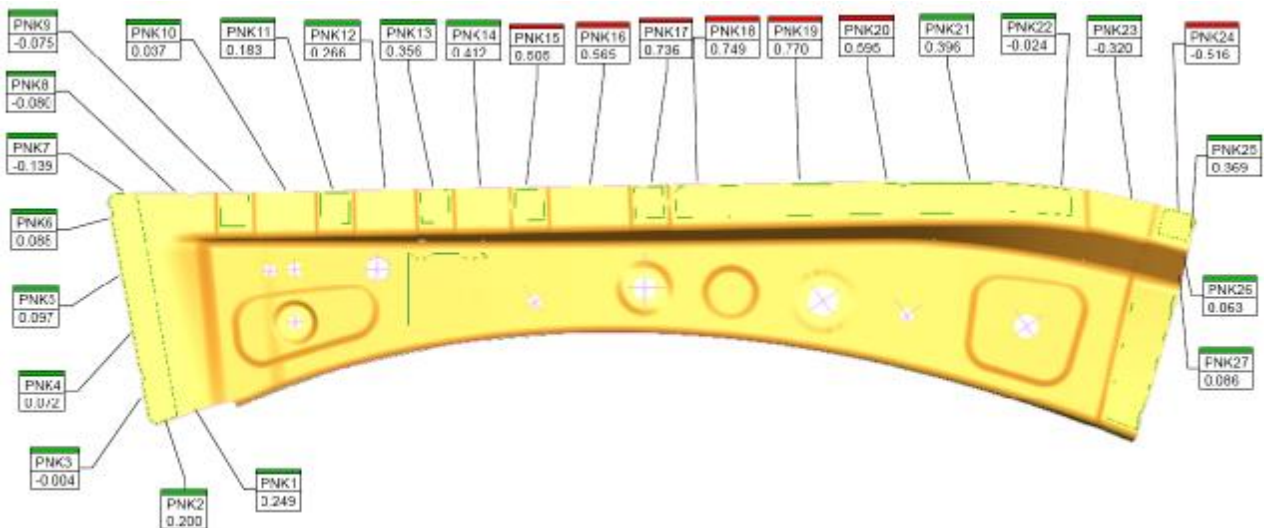
Odpružení se řeší v odlaďování simulace pomocí většího stupně přetvoření (3.1.4). Pokud i přesto dochází k odpružení výtažku, řeší se daný problém zmenšením úhlu mezi výtažkem a nástrojem tak, aby se daná hrana po odpružení dostala do požadované tolerance předepsané na výkrese.





Obr. 5.4 Výsledky měření tvarových úchylek po korekci nástroje

Po korekci nástroje a vyhovujícím výsledkům z měření tvarových úchylek výtažku (viz obr. 5.4), přichází na řadu měření obrysových kontur a poloh otvorů. Na obrázku 5.5 je znázorněn první výsledek měření výtažku. Nevyhovující rozměry kontury výtažku se řeší úpravou obstříhových kontur vylisku (viz 3.1.6) a následným upravením střížných hran nástroje. Hranu se upravují frézováním, nebo řezáním drátem.



Obr. 5.5 Výsledky měření obvodové kontury výtažku

Po odladění všech tolerancí je nástroj připraven pro expedici, nebo pro lisovnu, pokud se jedná o lisování vylisků přímo ve firmě.

## 6 Cenová kalkulace nástroje

Správné určení ceny nástroje, při dodržení přesnosti a kvality výtažku, je rozhodujícím faktorem v konkurenčním boji o zákazníka. Cenová kalkulace nástroje je závislá na několika parametrech. Pro správné určení ceny nástroje se musí počítat s:

- použitou technologií lisování (viz 4.1),
- velikostí výtažku resp. velikosti přístříhu,
- počtem lisovaných dílů,
- životností nástroje,
- složitostí tvářeného dílce,
- materiálovými vlastnostmi výtažku.

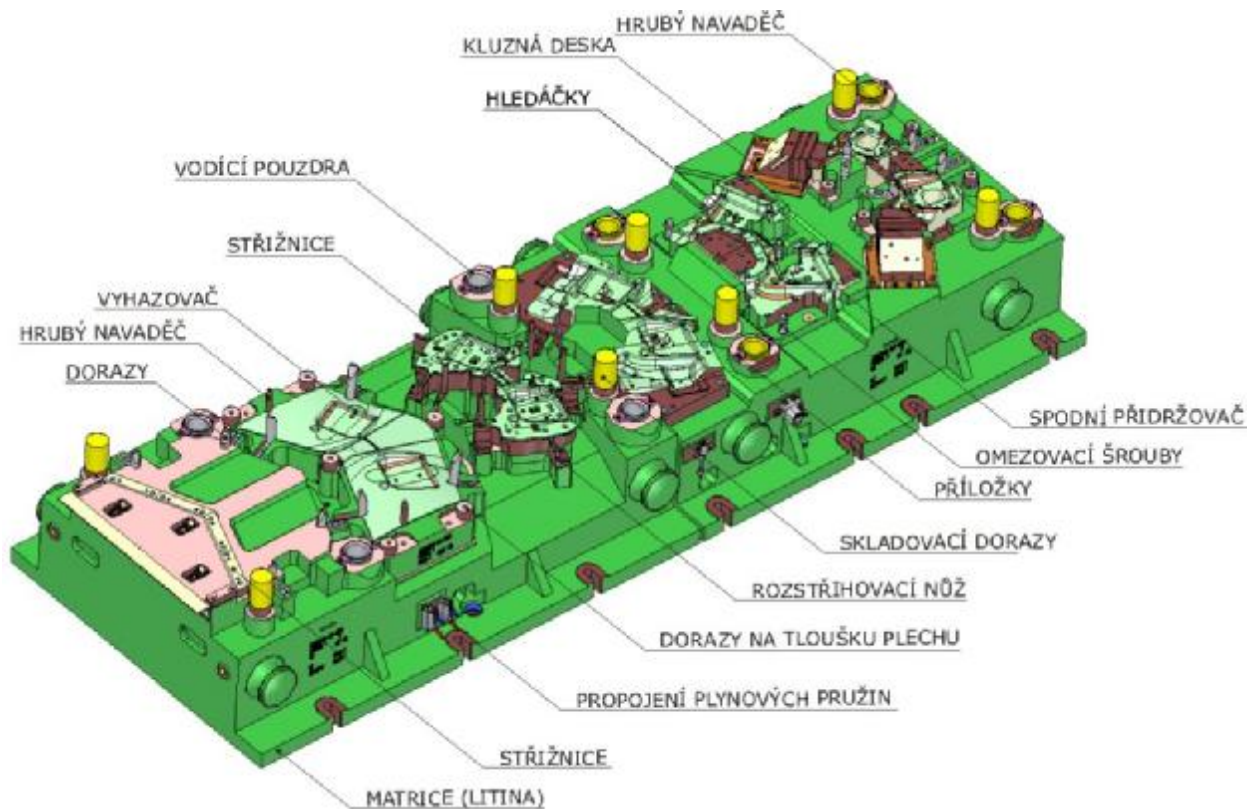
Každý nástroj je složen s aktivních a pasivních prvků. Aktivní prvky jsou činné součásti nástroje, přímo se podílející na tváření, nebo stříhání výtažku. Tyto aktivní prvky jsou navrhovány s kvalitních materiálů, které odolávají přímému kontaktu nástroje s tvářeným materiálem. Mezi nejpoužívanější materiály patří nástrojové materiály s povrchovou úpravou, nebo kalené od 50 ÷ 60 HRC (viz tab. 6.1). Pasivní prvky jsou ty části nástroje, které se přímo nepodílejí na tváření výtažku. Tyto prvky jsou sekundárními částmi nástroje, které nepřicházejí s tvářeným materiálem do kontaktu, ale podílí se na správné fungování nástroje. Mezi nejpoužívanější materiály těchto pasivních prvků patří litiny a speciální slitiny kovů. Mezi nejpoužívanější litiny patří litiny s označením GGG-50 ÷ 70 normy ČSN 42 2306 ÷ 08, zvláště vhodné pro matrice nástrojů. Většinu pasivních prvků tvoří normalizované díly, které se v podniku nevyrábí, ale objednávají u firemních partnerů.

V dnešní době, je běžným standardem, že zadávající automobilka dodá spolu se zadáním projektu i požadavky na materiály, ze kterých se skládá nástroj. Tyto požadavky jsou vytvořeny pro synchronizování výrobních linek v automobilkách. Automobilky tedy pracují s nástroji a materiály, které mají stále stejné vlastnosti a životnost, i když jsou dodávány různými nástrojárnami.

Tab. 6.1 Používané nástrojové materiály, pro tvářecí nástroje a jejich použití

POUŽITÍ A TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ OCELÍ		
OCEL	KALENÍ	POUŽITÍ
19 312	58 ± 2 HRC	atypické vyhazovače u forem, tažníky a tažnice menších a středních nástrojů
19 312	50 ± 2 HRC	opěrné desky pod hlavy střížníků a tažníků
19 421	54 ± 2 HRC	hledáčky, odlepovací kolíky, drobné rotační dílce
19 436	60 ± 2 HRC	střížníky a střížnice vcelku, nebo skládané
19 573	60 ± 2 HRC	střížníky a střížnice vcelku, nebo skládané
19 552 / 19 554	52 ± 2 HRC	tažníky a tažnice i větších rozměrů, díly forem
19 559	60 ± 2 HRC	střížníky, střížnice, tažníky, tažnice i větších rozměrů
19 655	52 ± 2 HRC	tvarové vložky forem (s požadavkem na vysoký lesk)
19 830	62 ± 2 HRC	střížníky, střížnice, tažníky, tažnice u zvláště namáhaných lisovacích nástrojů
14 220	58 + 2 HRC	vodící kolíky
14 220	62 ± 2 HRC	vodící pouzdra

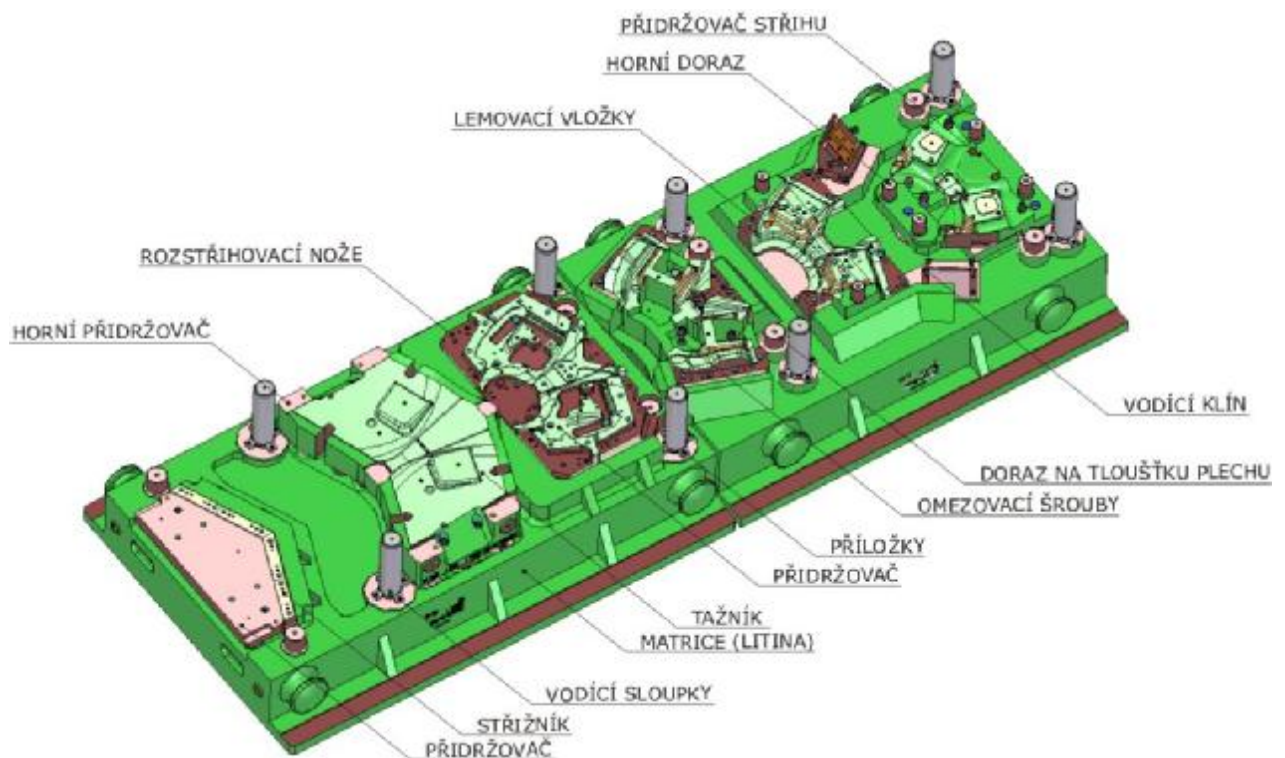
Na obrázku 6.0 je znázorněn příklad spodní části transferového nástroje, vytvořený konstrukční kanceláří firmy PWO UNITOOLS CZ, a. s., kde jsou vyznačeny jednotlivé díly daného nástroje. Tento nástroj je vytvořen pro hydraulický transferový lis (viz příloha B2). Všechny aktivní a pasivní prvky nástroje jsou umístěny do jednotné matrice, která je formou přesného odlitku dodána do nástrojárny firmy. Celý nástroj reprezentuje výrobu celého výtažku, to znamená, že jsou v nástroji umístěny všechny operace potřebné pro vyhotovení kompletního výtažku.



Obr. 6.0 Schéma spodního dílu transferového nástroje vytvořeného v programu CATIA V5

Druhou částí nástroje, který je umístěný v beranu lisu, je vrchní část nástroje. Schéma této části nástroje je zobrazeno na obrázku 6.1 (viz níže).

Rozdíl mezi nástroji pro transferové lisování a technologií ručního zakládání je v tom, že nástroj pro transferové lisování je v jednom celku (viz obr. 6.0 a 6.1) a jednotlivé operace jsou v této matici umístěny jako „*hnízda*“. Zatímco u technologie ručního zakládání výtahu je pro každou operaci vytvořen menší nástroj, který prezentuje jednu operaci jedno „*hnízdo*“ u transferového nástroje. Cena transferového nástroje je větší v porovnání s cenou nástrojů, pro technologii ručního zakládání, protože se zde řeší vzájemná návaznost mezi jednotlivými operacemi, během jednoho zdvihu lisu. Vyladění jednotlivých návazností, přesunem výtahu do další operace, problémů s odvodem odpadu, odvod hotových výlisků, se největší mírou podílí na prodražení nástroje oproti nástrojům pro ruční zakládání.



Obr. 6.1 Schéma horního dílu transferového nástroje vytvořeného v programu CATIA V5

Cena nástroje pro tažení výlisku zahrnuje celou řadu úkonů, postupů a dalších činností projevujících se do konečné ceny nástroje.

Největší vliv mají na cenu nástroje tyto položky:

- materiál jednotlivých součástí nástroje spolu s normovanými díly, náklady na tepelné zpracování, zkoušky materiálu a dodatečně požadované povrchové úpravy,
- vývoj spolu s konstrukcí nástroje pro zvolený typ technologie výroby, plus náklady na změny nástroje, nebo výtažku požadované zadavatelem projektu,
- náklady na výrobu nenormovaných dílů, spolu s cenou výroby dílů v kooperaci s partnerskými firmami,
- náklady na montáž a sestavení kompletního nástroje pro danou technologii,
- doladění chodu nástroje spolu s kontrolou výlisku a odladění kritických rozměrů za účelem dodržení tolerancí předepsaných na výrobním výkrese součástí,
- předpokládaný zisk za zhotovení nástroje a garanci životnosti spojené s reklamačními požadavky.

V tabulce 4.1 jsou uvedeny ceny nástrojů pro jednotlivé technologie výroby. Tyto ceny jsou stanoveny ze zkušeností podniku a upravují se dodatečně dle složitosti a náročnosti výtažku, vývoje cen materiálů na trhu a dalších tržních podmínek. Pro zvolenou technologii výroby tj. technologii ručním zakládáním je cena nástroje navržena na 4 000 000,-- Kč. U technologií transferového lisování a postupového tažení se cena nástroje zvedá z důvodu větších nákladů na konstrukci nástroje a náklady na montáž a seřízení nástroje. Pro technologii transferového lisování byla cena stanovena 5 000 000 Kč,-- a u technologie postupového tažení se cena vyšplhala na 5 500 000,-- (viz 4.1).

## **7 Doporučení k racionalizaci návrhů technologií výroby analogických součástí**

Z diplomové práce „*Návrh technologie lisování plechové součásti nepravidelného tvaru*“ vyplývají následující doporučení k racionalizaci technologie lisování analogických součástí:

- a) U návrhu součástí analogického tvaru musí být materiál výtažku volen dle přání zákazníka, pokud je od něj požadován. Konstrukteři se musí řídit jeho doporučeními a pracovat pouze s ověřenými materiály. Pokud tomuto kritériu vyhoví více materiálů, volí se ten, který vyhoví jak mezí tažností, tak i mechanickými vlastnostmi, které jsou zákazníkem požadovány. Materiálové vlastnosti se dále ověří příslušnými zkouškami, a výsledná data se použijí při dalším zpracování, jakým je například simulace tažení výtažku.
- b) Dalším krokem je vytvoření pomocných ploch, s využitím 3D CAD/CAM systémů – CATIA V5 (viz 1.2.1) a AutoForm 4.06 (viz 1.2.2). Tyto plochy jsou nezbytné pro další postup simulace procesu tažení výtažku a návrhu výroby nástroje.

Při tvorbě pomocných ploch výtažku se nejvýhodněji postupuje takto:

- Výtažek se ustaví do jednotného souřadného systému (viz 2.1) tak, že nejprve se vytvoří z modelu objemového tělesa, tělese složené z ploch. Musí se ovšem přihlídnout k tloušťce výtažku kvůli určení neutrální vrstvy. Ustavení do základního souřadného systému je vhodné volit tak, aby osa Z byla rovnoběžná s osou tažníku, aby výtažek v této ose byl co nejvíce rozevřen. Výhodné je taky umístit výtažek tak aby výsledný nástroj byl co nejjednodušší (tažník i tažnice) s ohledem na použití přidržovačů a brzdících žeber.
- Plocha výtažku se musí upravit tak, jak vypadá tvar výtažku po tažení (viz 2.2) – jedná se o zaslepení otvorů, děr nepravidelného tvaru, funkčních otvorů apod.
- U výtažku se vytáhnou okrajové plochy (viz 2.3). Okraje výtažku se musí pomocí softwaru rozšířit a vytáhnout tak, aby tvořily plochy, které jsou důležité pro simulaci procesu tažení a pro návrh přístříhu. Tyto vytažené plochy musí tečně navazovat na okraj výtažku, musí respektovat poloměr zaoblení hran výtažku. A úhel mezi vytaženými plochami výtažku a okrajem výtažku musí být  $180^\circ$ .
- Plocha tahu (viz 2.4) by měla být navržena tak, aby kopírovala tvarové nerovnosti výtažku. Velké tvarové přechody se nekopírují přesně dle tvaru výtažku, ale tvořící křivka (plochy tahu) tyto nerovnosti lineárně kopíruje. Tvořící křivka (plochy tahu) kopíruje výtažek v polovině jeho výšky.
- Poté se vytvoří plocha tahu po první operaci (viz 2.5). Při tvorbě nových ploch, které mají směr rovnoběžný s osou Z (osou tažníku) musí mít úhel větší než  $90^\circ$  a to o  $7 \div 10^\circ$  kvůli snadnému vyjmutí výtažku z nástroje. Snahou je stříhat výtažek v ose tažníku, tedy v ose Z, odpadá tak použití bočních střížných klínů, což by prodražilo nástroj. Volit vhodné střížné



mezery, která se volí  $3 \div 20$  % tloušťky materiálu. Výsledná plocha tahu musí být uzavřená po celém obvodu výtažku.

- Nadefinují se brzdící žebra (viz 2.7).
- c) V dalším bodě se u analogických součástí složitého tvaru se postupuje obdobně, jako u výtažku řešeného v této diplomové práci. Nejprve se rozdělí výtažek do systému konečných prvků, poté se definují technologické vlastnosti. Ty se definují pomocí vytvořených rovin, které jsou vytvořeny v programu CATIA V5 R16 (viz 2). Určí se tedy rovina tažnice, přístřihu, přídržovače a tažníku. Dále se nadefinují materiálové vlastnosti (viz 3.1.3), které vychází z použitého materiálu pro výtažek. Pokud bude analogický výtažek při svém tváření brzděn žebry, tak se musí nadefinovat i způsob brzdění a tvar brzdících žebor (viz 2.7). Po zadání těchto vstupních podmínek se může spustit simulace a po proběhnutí se vyhodnotí lisovatelnost výtažku (viz příloha E Protokol simulace tažení).
- d) Při návrhu metodického plánu lisování součásti analogicky podobných výtažků se nejdříve musí určit technologie výroby dle vstupních parametrů (viz 4), jakými jsou například počet vyráběných kusů za rok, použitelné metody tváření, tvarová složitost výtažku atd. Dále je nutné vytvořit metodický postup lisování výtažku, který co nejefektivněji a nejúsporněji obsáhne celou technologii výroby výtažku.
- e) Při odlaďování kritických rozměrů a tolerancí výtažku za účelem dodržení tolerancí předepsaných na výrobním výkresu by se mělo postupovat tak, že nejprve se na měřícím stroji vytvoří ustavovací body (viz 5), které zajistí vždy stejnou polohu výtažku vůči měřicímu stroji. Poté se vylisuje sada výtažku, která se proměří na měřícím stroji. Nejprve se odlaď tvarové úchyly a následně pak úchyly polohy otvorů a nakonec úchyly kontury výtažku. Tato korekce se provádí přímo na hotovém nástroji, kdy se u kladných úchyly nástroj frézuje (brousí) do požadované hodnoty a u záporných úchyly se na nástroj navařuje svarová housenka a následně frézuje a brousí.



- f) Cena nástroje závisí na použité technologii, počtu výtažků, počtu operací, složitosti výtažku a dalších veličin podílejících se na výrobě a technologii výroby součásti. Cenu nástroje si každá firma určuje podle svých zkušeností a možností.

## 8 Závěr

Z dosažených výsledků diplomové práce „*Návrh technologie lisování plechové součásti nepravidelného tvaru*“ vyplývají tyto závěry:

- a) Z rozboru nejpoužívanějších materiálů, nejvhodnějších pro automobilový průmysl (viz 1.3), vyplývá, že nejvhodnějším materiálem je hlubokotažná mikrolegovaná ocel s označením H220P. Tento materiál H220P (viz 1.4) v porovnání tažnosti a mechanických vlastností je nejvhodnějším materiálem pro zadanou tvářenou součást výztuhy karosérie. Mechanické vlastnosti použitého plechu k výrobě výtažku, byly ověřeny zkouškou tahem (viz 1.5, příloha D – protokol zkoušky tahem), které jsou potřebné pro simulaci tažení.
- b) Vyhodnocené mechanické vlastnosti zvoleného materiálu byly dále použity při tvorbě optimálního přístřihu výtažku (viz 4.2), dále byly použity i při definování materiálových vlastností v simulaci procesu tažení (viz 3.1.3).
- c) Pomocí 3D CAD systémů – CATIA V5 (viz 1.2.1) a AutoForm 4.06 (viz 1.2.2), bylo vytvořeno, z objemového 3D modelu tělesa, plošné těleso (viz 2.1), které bylo ustaveno do nového souřadného systému. Dále byly u tohoto tělesa vyplněny otvory (viz 2.2), což je důležité pro správnou volbu rozměrů přístřihu (viz 4.2) a pro simulaci tažení. Rovněž byly vytvořeny nové plochy výtažku (viz 2.2), které vychází ze zásad pro lisování tenkých plechů, jedná se o vytvořenou plochu přidržovače (viz 2.4) a plochu vzniklou po první operaci (viz 2.5). Vhodně zvolené vytvoření těchto ploch je nezbytné pro simulaci tažení výtažku, pro konstrukci nástrojů a volbu přístřihu.

- d) Na základě porovnání analýzy lisovatelnosti výtažku (viz 3.2.3) bylo zvoleno, že při tváření výtažku budou použity brzdící žebra. Po rozboru významu brzdících žeber při tažení a zásad navrhování brzdících žeber (viz 2.6.1), byla provedena volba a definice brzdících žeber pro zadaný výtažek (viz 2.7).
- e) Na základě provedených analýz simulace tažení (viz 3.2), kterými jsou – analýza porušení výtažku (viz 3.1.1), ztenčení plechu výtažku (viz 3.1.2), lisovatelnost výtažku a stupeň přetvoření (viz 3.1.3), výskyt zvlnění (viz 3.1.4), byl výtažek vyhodnocen jako lisovatelný, protože vyhověl všem jednotlivým kritériím. Znamená to tedy, že zadaný výtažek nepravidelného tvaru může být tvářen bez jakýchkoli změn tvaru, materiálu apod.
- f) Pomocí rozvinu výtažku do přístřihu v programu AutoForm 4.06 (viz 4.2) byla vytvořena optimální velikost přístřihu a jeho umístění do nástřihového plánu pro různé druhy technologií výroby, tak aby bylo zajištěno maximální využití materiálu. To je dosaženo zrcadlovým otočením přístřihu vůči sobě (viz 4.2).
- g) Z cenového porovnání (viz 4.1) vyplývá, že navržená technologie ručního zakládání výtažku je úspornější a při předpokládané roční produkci 29 000 kusů výtažku je výhodnější, než technologie transferového lisování a technologie postupového lisování. Pro zvolenou technologii ručního zakládání plechů byl navržen vhodný typ stroje (viz 4.4).
- h) Na základě zvolené technologie výroby výtažku (viz 4.1), typu stroje, umístění přístřihu byl vytvořen technologický postup výroby výtažku technologií ručního zakládání (viz 4.3). Jednotlivé operace jsou vytvořeny tak, aby byl výtažek vyroben v nejmenším počtu operací. Ty jsou detailně zpracovány v technologickém plánu lisování (viz příloha v kapse práce).
- i) Na základě ustavení a měření první sady výtažku zadaného dílu je v této diplomové práci vytvořen postup při odladování kritických rozměrů a tolerancí za účelem dodržení tolerancí předepsaných na výrobním výkresu (viz 5). Tento

postup byl vytvořen pro moderní 3D CNC měřicí stroj MISTRAL 15.10.9 (viz příloha C1).

- j) Pro možné technologie výroby výtažku, kterými jsou technologie ručním zakládáním, transferovým lisováním a postupovým tažením, byly rozebrány faktory ovlivňující celkovou cenu nástroje (viz 6), dále byly popsány hlavní součásti každého nástroje, vlivy mající největší vliv na cenu nástroje a postup při kalkulaci nástroje. Dále byla stanovena cena nástroje pro každou technologii výroby. Tato cena nástroje je jedním z faktorů ovlivňující volbu technologie výroby výtažku (viz 4.1) a na základě i této ceny byla zvolena jako nejvýhodnější technologie výroby, technologie ručním zakládáním.
  
- k) V kapitole 6 byly shrnuty doporučení k racionalizaci návrhů technologií výroby analogických součástí. Tato doporučení a zásady jsou vytvořeny na základě postupů a návazností jednotlivých kroků tak, jak bylo postupováno při vypracování této diplomové práce. Tato doporučení jsou vytvořená, pro technologii ručním zakládáním výtažku, a pro tvarově nesymetrické a složitě tvarované plechové součásti z tenkých plechů (do tloušťky 3 mm) určené pro automobilový průmysl.

## 9 Seznam použité literatury

- [1] ČADA, R. *Plošná tváritelnost kovových materiálů : skriptum 1.* – vyd. Ostrava : REPRONIS, 2001. 346 s. ISBN 80-86122-77-8.
- [2] ČADA, R. *Technologie I – část tváření a slévání (návody do cvičení): skriptum.* Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 188 s. ISBN 80-7078-540-3.
- [3] BŘEZINA, R. a ČADA, R. *Speciální technologie – technologie tváření: skriptum.* 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1992. 257 s. ISBN 80-7078-122-X.
- [4] HRUBÝ, J., RUSZ, S. a ČADA, R. *Strojírenské tváření : skriptum.* 1. – vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1993. 160 s. ISBN 80-7078-201-3.
- [5] ČADA, R. *Tváritelnost kovových materiálů: Plošná tváritelnost: návody do cvičení: skriptum.* 1. vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1997. 78 s.
- [7] FOREJT, M. *Teorie tváření a nástroje: skriptum.* 1. – vyd. Brno : VUT v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
- [8] NOVOTNÝ, J. a LANGER, Z. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů.* 1. – vyd. Praha: SNTL, 1980. 216 s. Bez ISBN.
- [9] ČADA, R. *Příspěvek k řešení lisovatelnosti výtažků nepravidelných tvarů z hlubokotažných plechů (kandidátská disertace),* Ostrava : VŠB v Ostravě, 1989. Bez ISBN
- [10] BŘEZINA, R. *Speciální technologie – technologie tváření: skriptum.* Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1985. 234 s. Bez ISBN
- [11] DOBROVOLNÝ, B. *Konstrukce nástrojů pro lisy:* Praha : Nakladatelství Josef Horký Praha, 1964. 815 s. Bez ISBN

- [12] EVIN, E., HRIVŇÁK, A. a KMEC, J. Získavanie materiálových údajov pre numerickú simuláciu. In *Zborník prednášok 7. – medzinárodnej konferencie TECHNOLÓGIA 2001 : I. diel.* Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2001, s. 281-284. ISBN 80-227-1567-0.
- [13] KOTOUČ, J. *Nástroje pro tváření za studena: skriptum.* 3. – vyd. Praha: ČVUT v Praze. 1982. 158 s. Bez ISBN.
- [14] PETRŽELA, Z., KUČERA, J. a BŘEZINA R. *Technologie slévání, tváření, svařování:* 1. – vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1984. 329 s. Bez ISBN.
- [15] PETRŽELA, Z. *Základy teorie a technologie strojírenského tváření: skriptum.* 1. – vyd. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1980. 378 s. Bez ISBN.
- [16] PETRŽELA, Z. *Tváření I – základy teorie a technologie tváření : skriptum.* 2. – vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1977. 173 s. Bez ISBN.
- [17] PETRŽELA, Z. *Tváření II – strojírenská technologie a tvářecí stroje : skriptum.* 1. – vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1975. 335 s. Bez ISBN.
- [18] PEŠINA, E. *Základy užité teorie plasticity:* 1. – vyd. Praha, SNTL 1966. 188 s. Bez ISBN.
- [19] TIŠNOVSKÝ, B a MÁDLE, L. *Hluboké tažení plechu na lisech:* 1. – vyd. Praha : SNTL, 1990. Bez ISBN.
- [20] ŠPAČEK, J. a ŽÁK, L. *Speciální technologie I a II – návody do cvičení – část plošné tváření : skriptum.* 1. – vyd. Brno: VUT v Brně, 1991. 109 s. ISBN 80-214-0259-8.

## 10 Seznam příloh

### **Přílohy za textem práce:**

Příloha A	Technické parametry strojů použité při zkouškách materiálu
Příloha B	Technické parametry strojů pro lisování výtažku
Příloha C	Technické parametry strojů použité pro měření výtažku
Příloha D	Protokol zkoušky tahem
Příloha E	Protokol simulace tažení

### **Přílohy v kapse práce:**

Technologický plán lisování

Výkres díl vnitřní – č. 3T9 809 407

## Příloha A – Technické parametry strojů použité při zkouškách materiálů

V příloze A jsou uvedeny obrázky strojů s technickými parametry, které byly použity pro získání a ověření materiálových vlastností plechu (viz 1.5).

### A1 Zkušební stroj LabTest5.10SP1

výrobce: LABORTECH s.r.o. Rolnická 130a, 747 05 Opava, Česká republika



Obr. A1 Univerzální zkušební stroj LabTest5.10SP1

Jedná se o univerzální zkušební stroj ve stojanovém provedení se dvěma pracovními prostory. Tento stroj je určen pro mechanické zkoušky v tahu, tlaku i ohybu, dále pro statické namáhání a zkoušky vzorků i celých výrobků. Používají se při kontrole kvality výroby, při vstupních i výstupních kontrolách materiálů a zboží ve strojírenském, automobilovém průmyslu a ve výzkumu a vývoji. Tento stroj je ve firmě PWO UNITOOLS CZ, a. s. doplněn

standardním softwarem Test&Motion, který je nedílnou součástí univerzálních zkušebních strojů. Jedná se o kompletní software pro testování materiálů v tahu, tlaku, ohybu, střihu i cyklickém zatěžování, který podporuje normy ČSN, DIN, EN, ISO, ASTM a jiné průmyslové testovací metody. Součástí programu je přenos dat, řízení stroje, grafický záznam o provedené zkoušce, tabulka naměřených hodnot a statický výpočet. Program je vyvinut pro použití na operačních systémech MS Windows XP.

Měřicí a řídicí elektronika stroje LabTest5.10.SP1:

- a) Rozlišovací úroveň analogických signálů  $\pm 180000$  dílků,
- b) Komunikační procesor AMD 520 133 MHz,
- c) Rozhraní RS 485 pro externí klávesnici,
- d) Rozlišovací úroveň pro IRC TTL max. 8 MHz,
- e) DA převodník  $\pm 9$  bit, AD převodník  $\pm 18$  bit,
- f) Připojení k PC pomocí Ethernet, USB,
- g) Přenosová rychlost 115 kBaud,
- h) Interní taktovací kmitočet 1000 Hz,
- i) Plně digitální výkonová AC jednotka.

Specifikace:

- a) Přenos měření síly:  $\pm 0,3$  % z čtené hodnoty v rozsahu 1/100 – ČSN EN 7500-1,
- b) Přenos dráhy: 1  $\mu\text{m}$  – ČSN EN 7500-1,
- c) Přesnost měření napětí (deformace):  $\pm 0,5$  % z čtené hodnoty průtahoměru.



Tab. 10.1 Technická data zkušebního stroje LabTest5.10SP1

<b>Technická data</b>	<b>Jednotky</b>	<b>Hodnota</b>
Jmenovité zatížení tah/tlak	kN	10
Max. zkušební rychlost	mm/min	1000
Min. zkušební rychlost	mm/min	0,001
Návratová rychlost	mm/min	1000
Přesnost řízení rychlosti	%	± 0,5
Výška pracovního prostoru	mm	1215
Šířka pracovního prostoru	mm	462
Výška/šířka/hloubka stroje	mm	2053/940/620
Teplota pracovního prostředí	°C	20 ÷ 70
Napájecí napětí	V	230V 50/60 Hz
Hmotnost stroje	kg	112

## A2 Hydraulický tažný lis ZDH 400 16.1.3

výrobce: Müller Weingarten, Weingarten, 1985



Obr. A3 Hydraulický tažný lis ZDH 400 16.1.3

Tab. 10.2 Technická data hydraulického tažného lisu ZDH 400 16.1.3

Technická data	Jednotky	Hodnota
Lisovací síla	4000	kN
Hnací výkon	110	kW
Rozloha stolu	1600 x 1300	mm
Zdvih beranu	800	mm
Lisovací tlak	315	bar
Výška	6505	mm
Šířka	3860	mm

### A3 Bruska a leštička KOMPAKT 1031

KOMPAKT 1031 Je vhodná jak pro broušení pod vodou, tak i pro leštění suspenzemi nebo diamantovými pastami, na všechny kovové i nekovové materiály. Stavebnicová konstrukce umožňuje použití pro různé účely. Samostatný přístroj KOMPAKT 1031 lze použít na ruční broušení a leštění, nebo ho lze doplnit o automatický nástavec APX 020 pro přípravu až šesti vzorků najednou. Brusné a lešticí kotouče lze pohodlně vyměňovat pouhým vytažením, bez použití nástrojů. Bruska a leštička KOMPAKT 1031 je poháněna motorem s plynulou regulací otáček a s další elektronickou výbavou. Celokovová skořepina s integrovanou vyspádovanou miskou a s jednoduchým rovným odpadem zajišťuje dokonalé vyplavování brusných částic a snadné čištění.



Obr. A3 Bruska a leštička KOMPAKT 1031

Tab. 10.3 Technická data brousícího stroje KOMPAKT 1031

<b>Technická data</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotky</b>
Průměr kotouče	230	mm
Otáčky	30 ÷ 600	ot./min
Napájení	24	V
Hlučnost	49	dB
Rozměry	470 x 380 x 220	mm
Hmotnost	13	kg

## **Příloha B – Technické parametry strojů pro lisování výtažků**

V příloze B jsou uvedeny obrázky strojů s technickými parametry, které se používají ve firmě PWO UNITOOLS CZ a. s. pro lisování výtažků.

### **B1 Hydraulický tažný a střižný lis SHC - 400**

výrobce: SCHULER HYDRAP GMBH & CO. KG



Obr. B1 Hydraulický tažný a střižný lis SHC – 400

Tab. 10.4 Technická data Hydraulického tažného a střížného lisu SHC - 400

<b>Technická data</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotky</b>
<b>Beran</b>		
Tlačná síla	400 ÷ 4000	kN
Síla zpětného pohybu	578	kN
Zdvih	1000	mm
Rychlost zdvihu dolů	500	mm/s
Rychlost zdvihu se zátěží	20 ÷ 61	mm/s
Rychlost zdvihu nahoru	450	mm/s
Hnací výkon	110	kW
<b>Tažná polštář</b>		
Tlačná síla	1600	kN
Zdvih	400	mm
Hnací výkon	37	kW
<b>Tlumič střížného rázu</b>		
Tlumící síla	4000	kN
Tlumící zdvih	15	mm
Pomocné pohony	7	kW
<b>Stroj</b>		
Hmotnost	54500	kg
Hmotnost nástroje max.	4000	kg
Výška	6415	mm
Šířka	3980	mm

## B2 Hydraulický trasférový lis

výrobce: SCHULER HYDRAP GMBH & CO. KG



Obr. B2 Transferový tažný a střížný lis

Tab. 10.5 Technická data Hydraulického transferového lisu

Technická data	Hodnota	Jednotky
<b>Stroj</b>		
Lisovací síla	12500	kN
Rozměry strojního stolu	6000 x 1600	mm
Rozměry beranu	6000 x 1600	mm
<b>Beran</b>		
Zdvih beranu pevný	450	mm
Nastavení zdvihu	250	mm
Max. výška mezi stolem a beranem	1450	mm
Min. výška mezi stolem a beranem	750	mm
Počet zdvihů plynule regulovatelný	8 ÷ 30	1/min
<b>Údaje o nástroji</b>		
Preferována výška nástroje zavřená	900	mm
Výška upínacího okraje spodní část	75	mm
Výška upínacího okraje horní část	47	mm
Max. jednotlivá hmotnost horní a spodní části	5000	kg
Max. hmotnost nástroje na modul	10000	kg
Max. hmotnost na upínací desku popř. základní lože včetně nástroje	10000	kg
<b>Podavačový systém</b>		
Max. hmotnost dílu, včetně podavače / na vedení	120	kg
Uzavírací dráha podavače programovatelná	0 ÷ 250	mm/stranu
Zvedací posuv podavače programovatelný	0 ÷ 150	mm

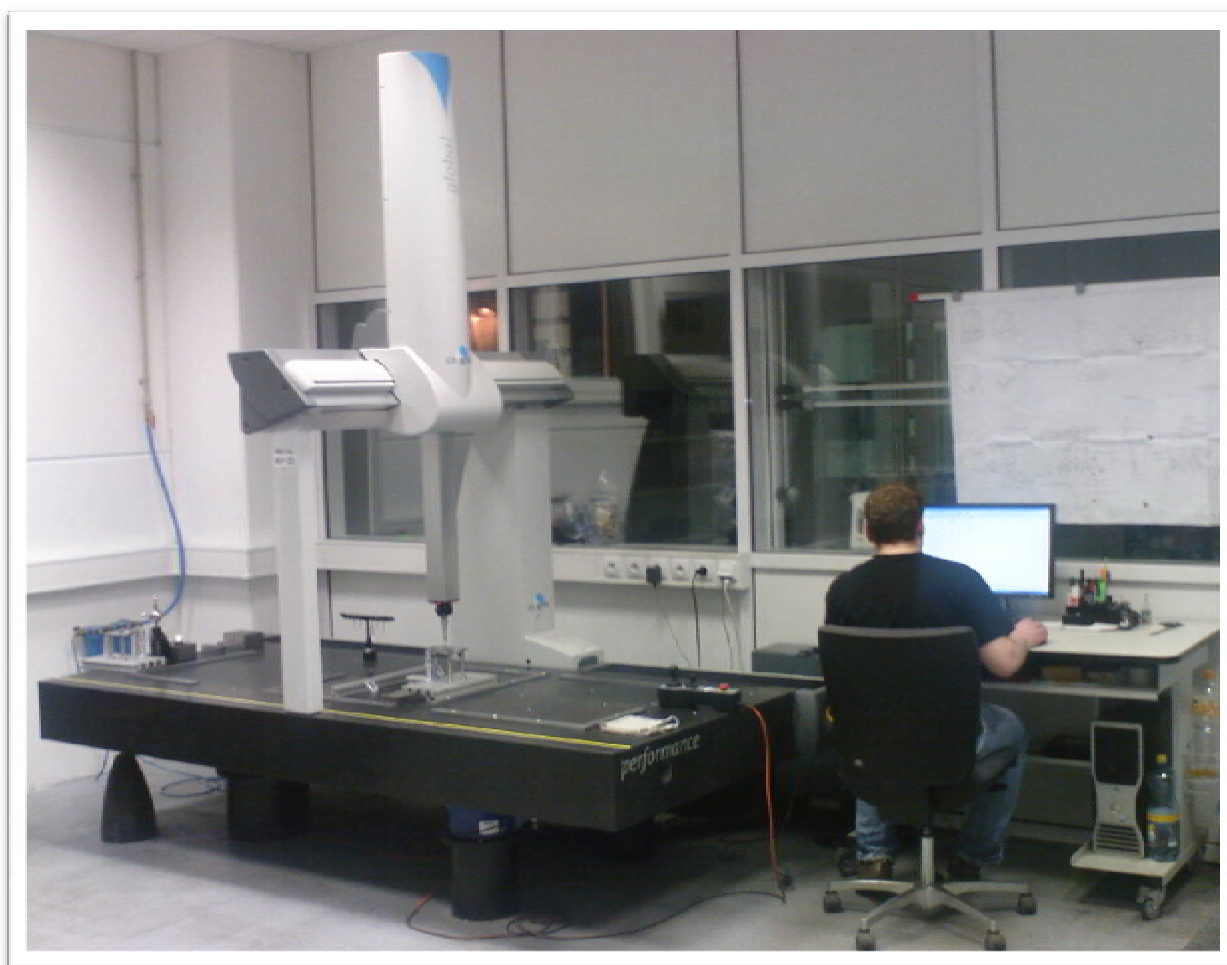


## **Příloha C – Technické parametry strojů použité při zkouškách materiálů**

V příloze C jsou uvedeny obrázky strojů s technickými parametry, které byly použity pro měření, při odlaďování kritických rozměrů a tolerancí za účelem dodržení tolerancí předepsaných na výrobním výkrese (viz 5).

### **C1 Zkušební 3D CNC měřicí stroj MISTRAL 15.10.9**

výrobce: DEA GLOBAL PERFORMANCE



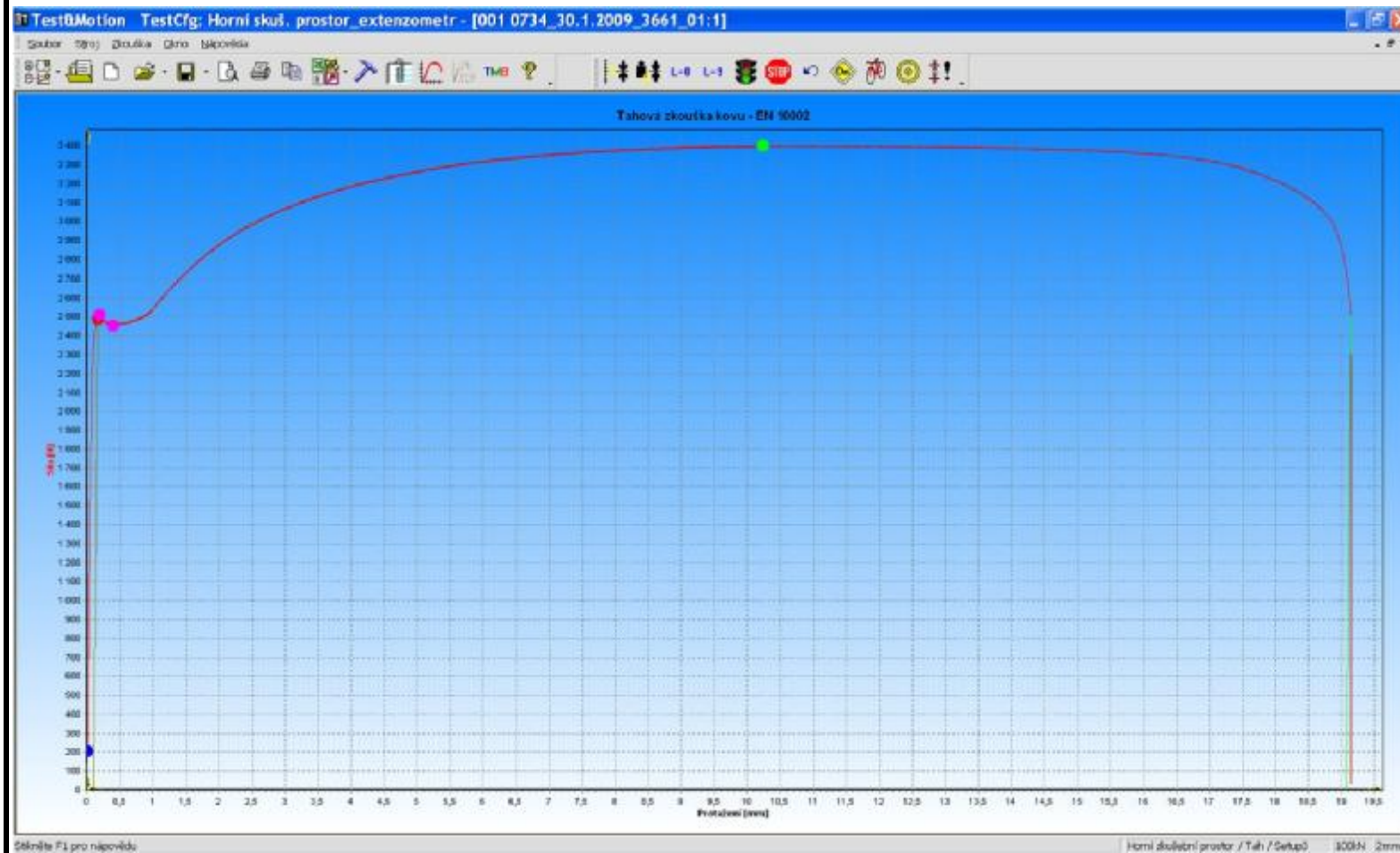
Obr. C1 3D měřicí stroj MISTRAL 15.10.9

Tab. 10.6 Technická data 3D měřicího stroje MISTRAL 15.10.9

<b>Technická data</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotky</b>
Měřicí rozsah	X x Y x Z	
	1500 x 900 x 800	mm
Měřicí přesnost	6+6L/1000	
Výška	3650	mm
Šířka	2635	mm
Délka	1855	mm
Hmotnost granitu	3815	kg
Maximální hmotnost kusu	3400	kg

# PROTOKOL ZKOUŠKY TAHEM

Název dílu:	Výztuha karosérie	Materiál:	H220P – vzorek 01	List:	1/3
Simulace:	Test&Motion	Protokol zpracoval:	Bc. Jakub Machálek	Hodnocení:	VYHOVUJE



## Naměřené hodnoty

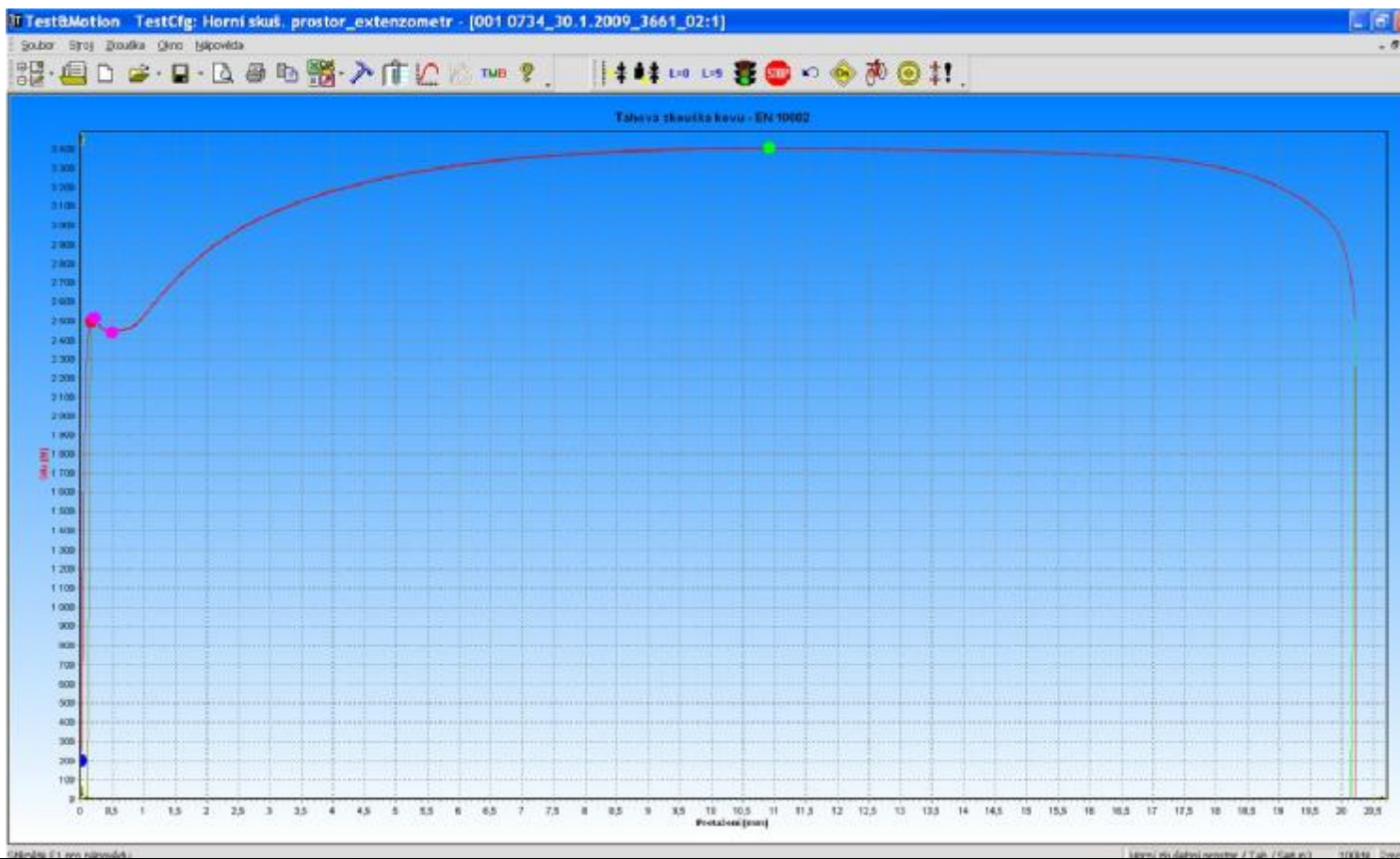
$E$ [kN/mm <sup>2</sup> ]	193,00
$R_{p0,2}$ [MPa]	252,00
$R_{eH}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	254,23
$R_{eL}$ [MPa]	249,00
$R_m$ [MPa]	344,00
$A$ [%]	32,80

## Hodnoty dle normy

$R_m$ [MPa]	320 ÷ 400
$A$ [%]	32
$R_{p0,2}$ [MPa]	220 ÷ 270

# PROTOKOL ZKOUŠKY TAHEM

Název dílu:	Výztuha karosérie	Materiál:	H220P – vzorek 02	List:	2/3
Simulace:	Test&Motion	Protokol zpracoval:	Bc. Jakub Machálek	Hodnocení:	VYHOVUJE

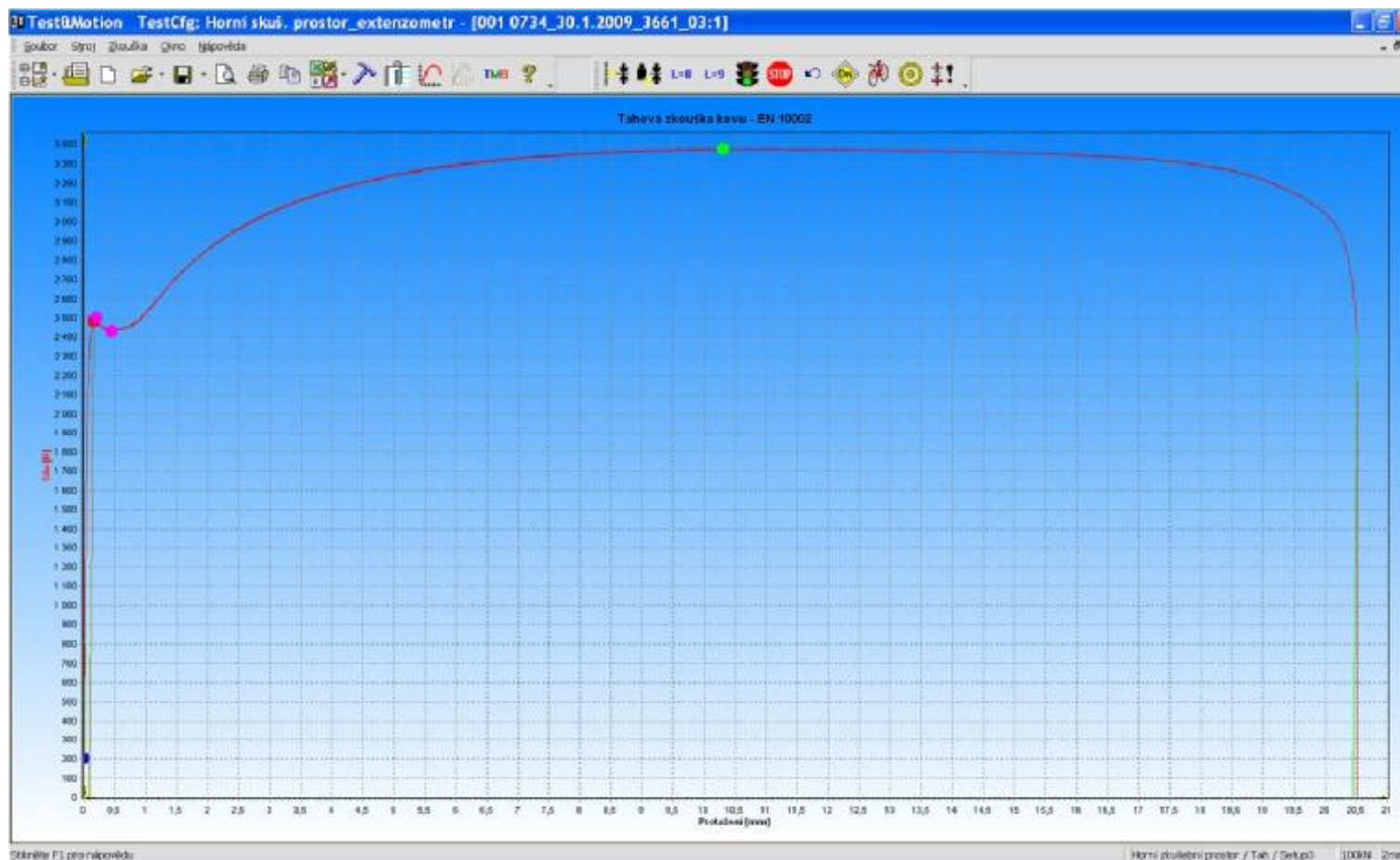


Naměřené hodnoty	
$E$ [kN/mm <sup>2</sup> ]	195,00
$R_{p0,2}$ [MPa]	253,00
$R_{eH}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	254,79
$R_{eL}$ [MPa]	247,00
$R_m$ [MPa]	345,00
$A$ [%]	34,70
Hodnoty dle normy	
$R_m$ [MPa]	320 ÷ 400
$A$ [%]	32
$R_{p0,2}$ [MPa]	220 ÷ 270



# PROTOKOL ZKOUŠKY TAHEM

Název dílu:	Výztuha karosérie	Materiál:	H220P – vzorek 03	List:	3/3
Simulace:	Test&Motion	Protokol zpracoval:	Bc. Jakub Machálek	Hodnocení:	VYHOVUJE



## Naměřené hodnoty

$E$ [kN/mm <sup>2</sup> ]	198,00
$R_{p0,2}$ [MPa]	252,00
$R_{eH}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	253, 32
$R_{eL}$ [MPa]	246,00
$R_m$ [MPa]	342,00
$A$ [%]	34,10

## Hodnoty dle normy

$R_m$ [MPa]	320 ÷ 400
$A$ [%]	32
$R_{p0,2}$ [MPa]	220 ÷ 270

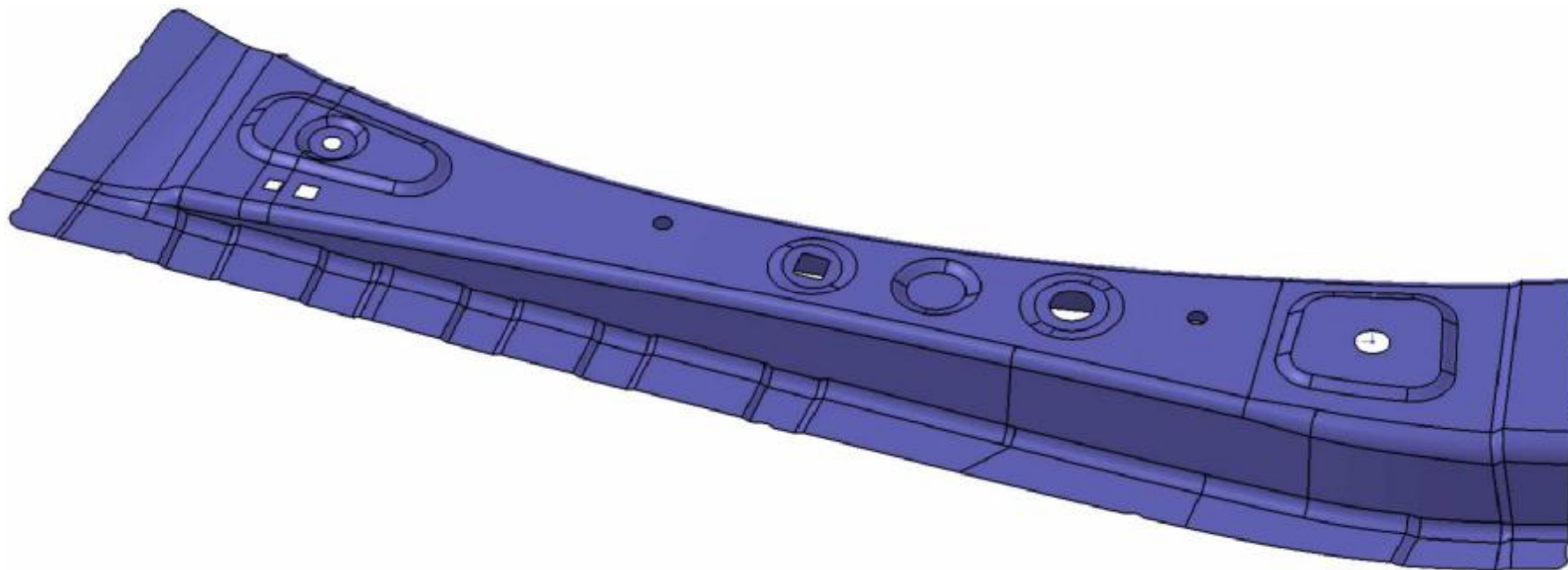
Příloha E

# PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ



Název dílu:	<b>Výztuha karosérie</b>	Číslo dílu:		List:	1/6
Simulace:		Protokol zpracoval:	Bc. Jakub Machálek	Datum:	9. 4.2009
Vstupní data:		Výpočet provedl:	PWO UNITOOLS a. s.	Simulační software:	AutoForm 4.06
<b>Technologická data</b>					
Materiál:	H220P	Technologie výroby:	Ruční zakládání	Přidržovací síla:	200 kN
Tloušťka plechu:	0,8 mm	Způsob tažení:	jednočinné	Síla na tažníku:	450 kN
Brzdící žebra:	ANO	Lis:	Hydraulický lis SHC - 400	Poznámka:	

Vizualizace:

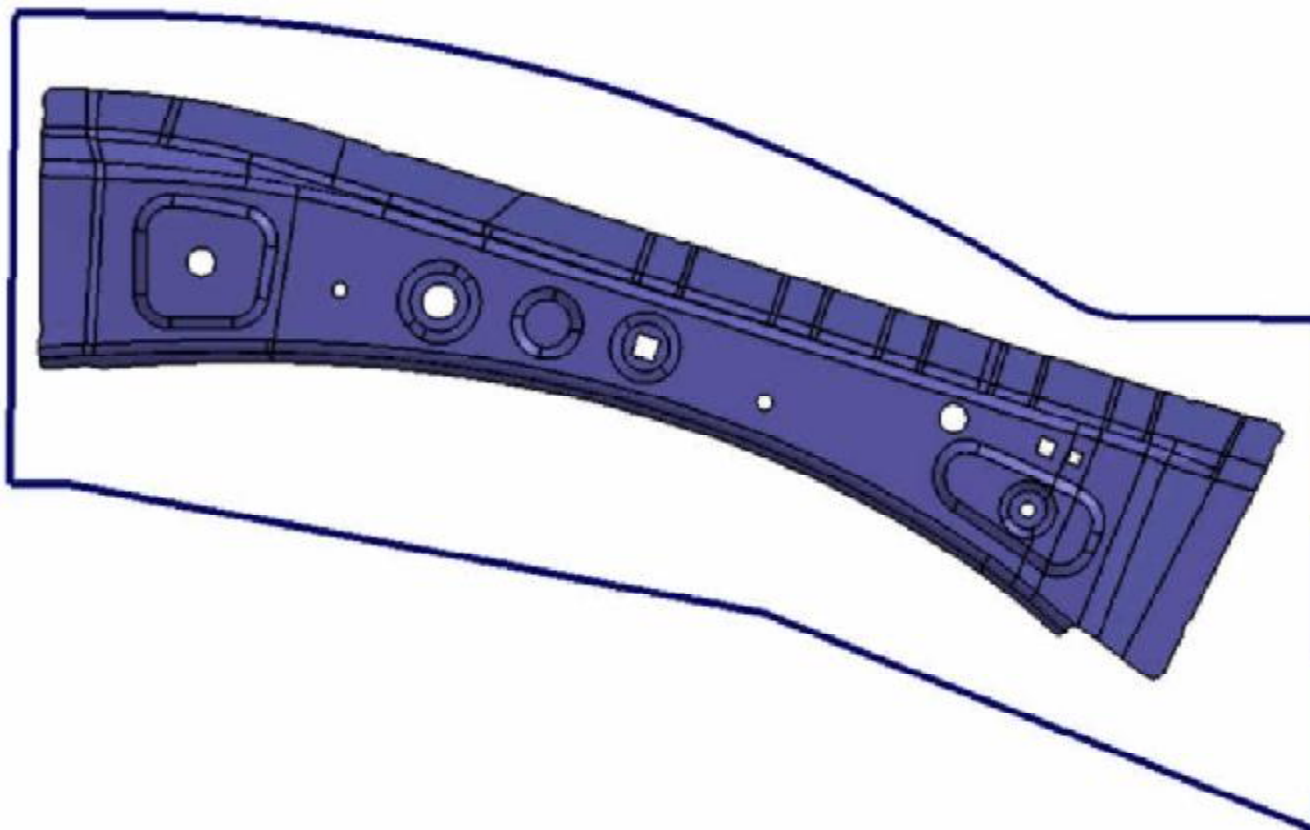


Příloha E1

# PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ



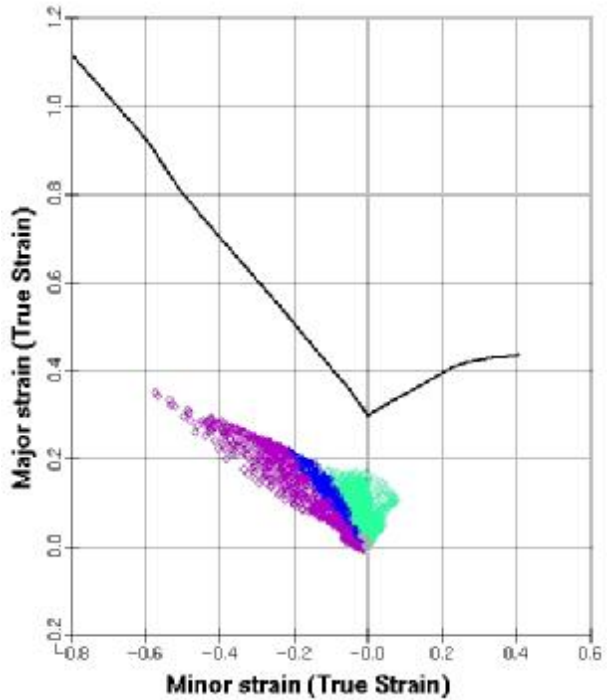
Název dílu:	Výztuha karosérie	Číslo dílu:		List:	2/6
Simulace:	Rozvin přístříhu	Protokol zpracoval:	Bc. Jakub Machálek	Hodnocení:	



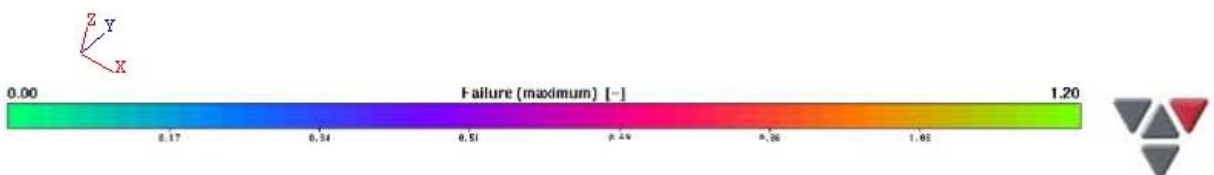
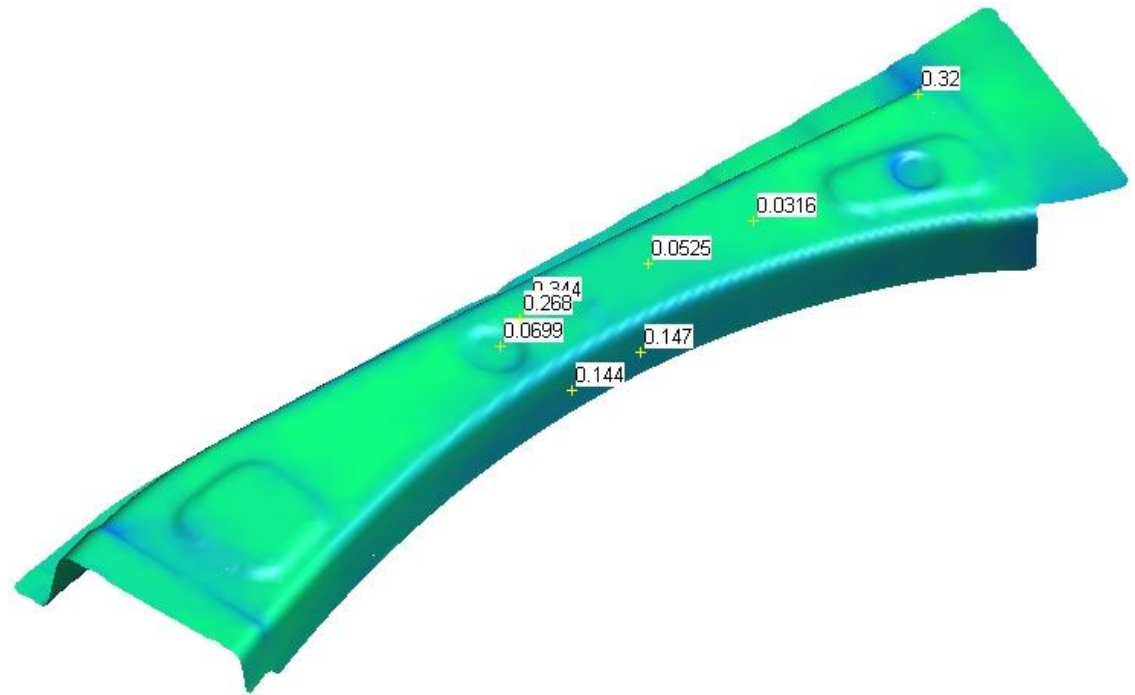
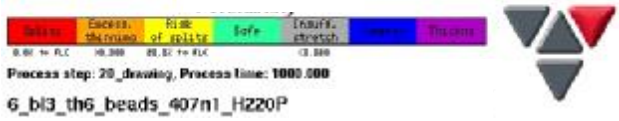
Poznámka:

# PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ

Název dílu:	Výztuha karosérie	Číslo dílu:		List:	3/6
Simulace:	Max. Failure (Porušení výtažku)	Protokol zpracoval:	Bc. Jakub Machálek	Hodnocení:	VYHOVUJE



Forming Limit Diagram (Linear)

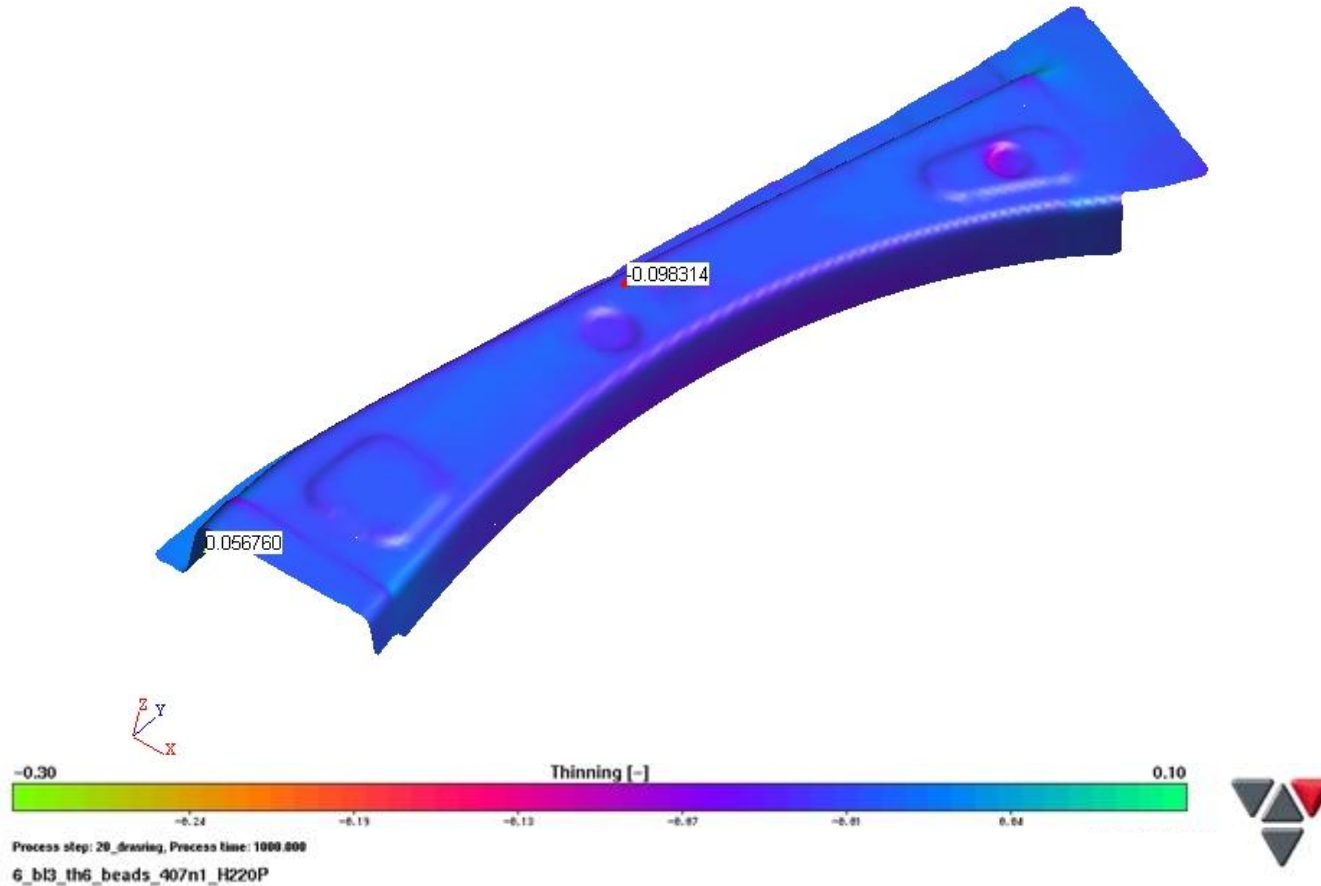


Poznámka: max. failure (max. porušení výtažku) = 0,344



# PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ

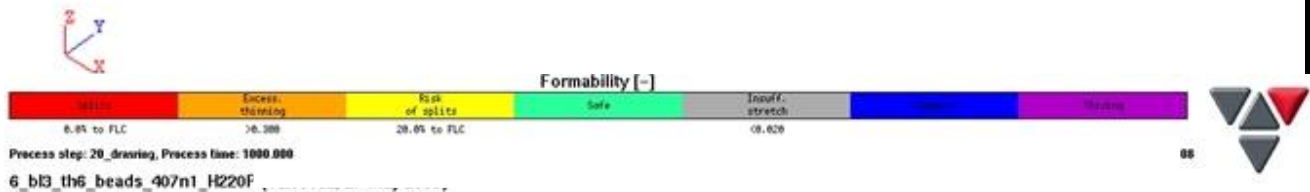
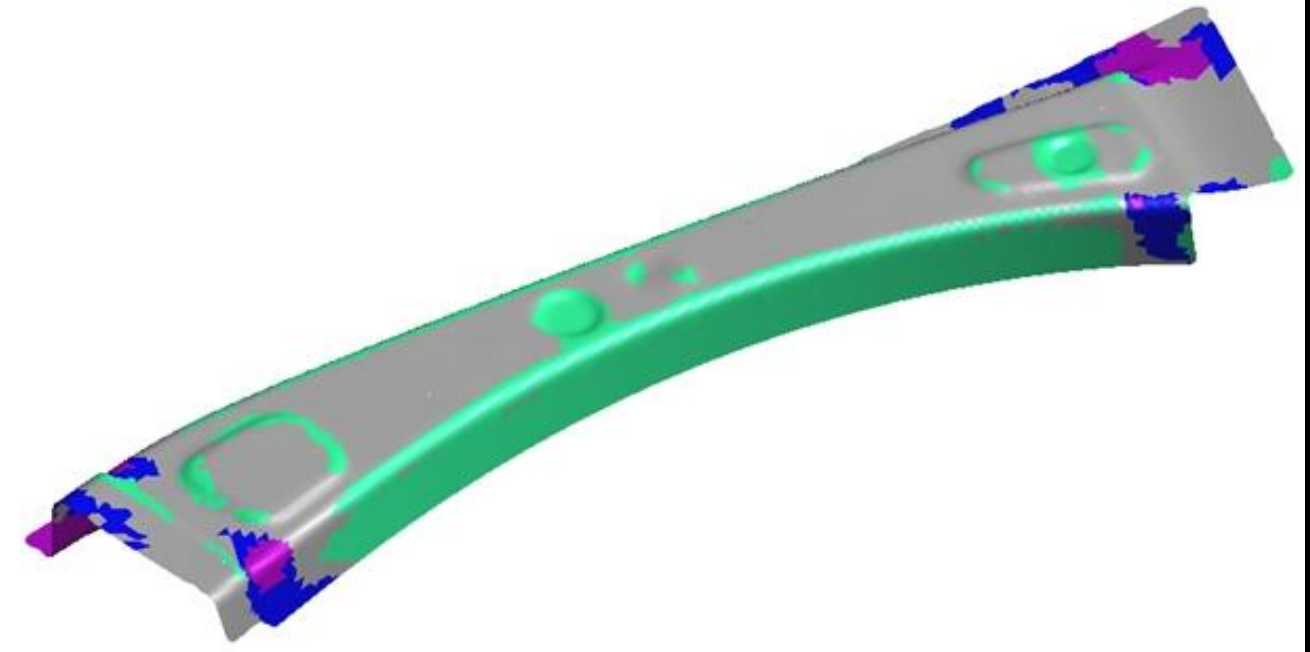
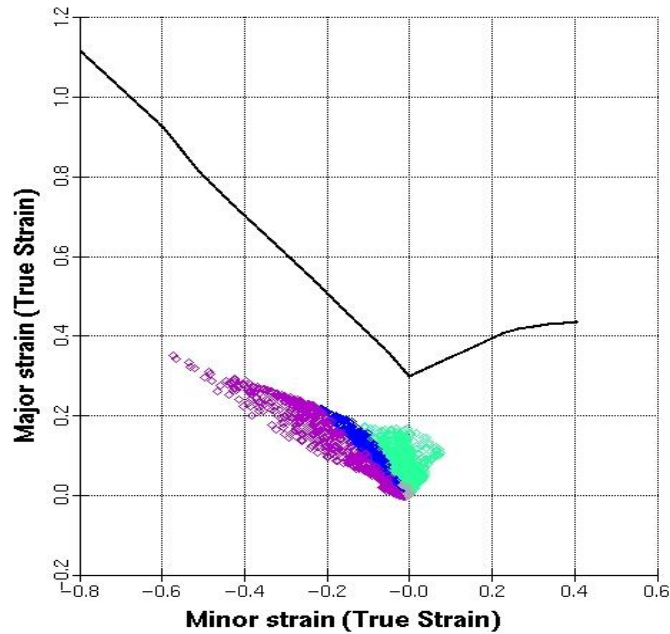
Název dílu:	Výztuha karosérie	Číslo dílu:		List:	4/6
Simulace:	Thinning (Ztenčení výtažku)	Protokol zpracoval:	Bc. Jakub Machálek	Hodnocení:	VYHOVUJE



Poznámka: max. thinning (maximální ztenčení) = 9,831 %

# PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ

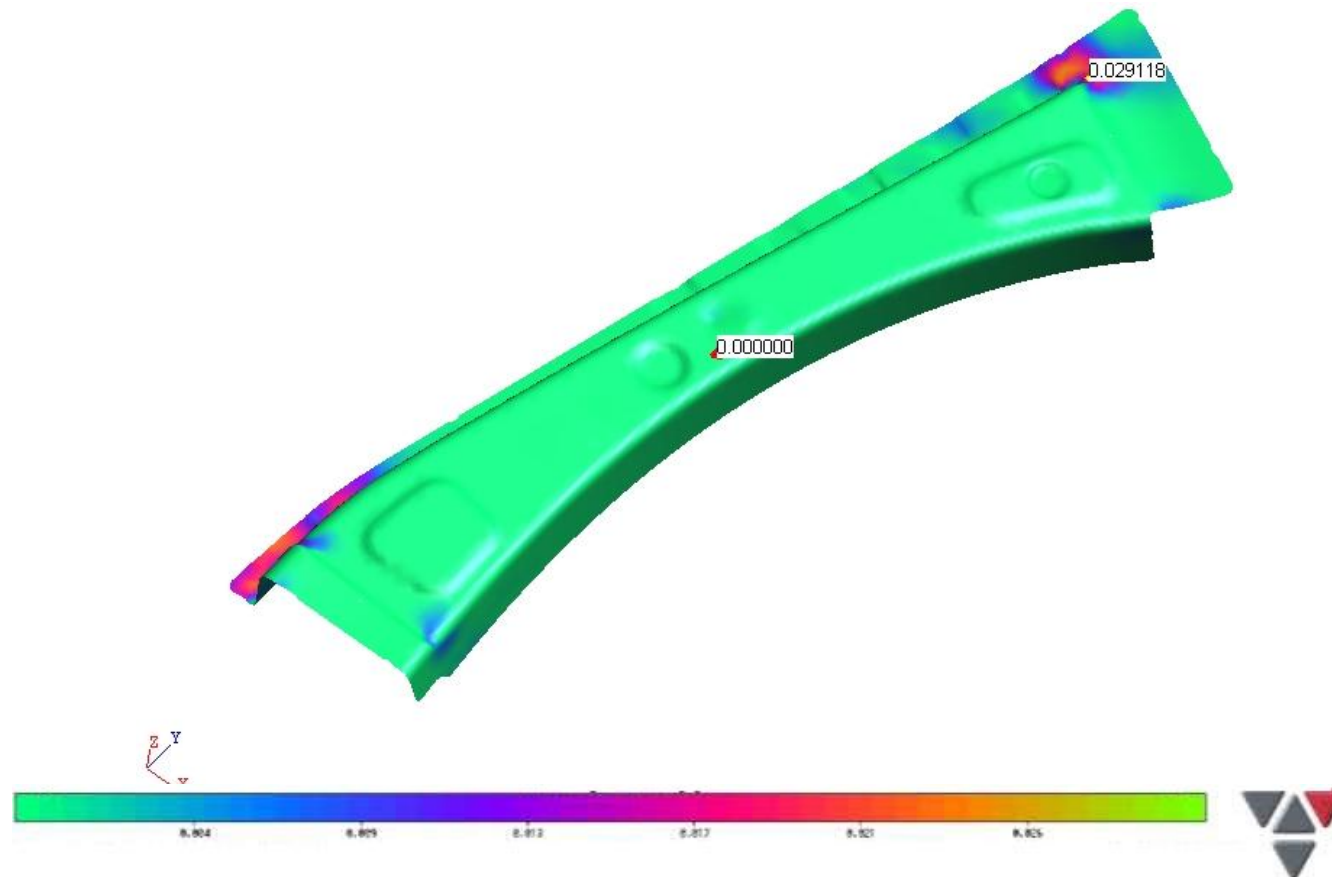
Název dílu:	Výztuha karosérie	Číslo dílu:		List:	5/6
Simulace:	Formability (Lisovatelnost)	Protokol zpracoval:	Bc. Jakub Machálek	Hodnocení:	VYHOVUJE



Poznámka:

## PROTOKOL SIMULACE TAŽENÍ

Název dílu:	Výztuha karosérie	Číslo dílu:		List:	6/6
Simulace:	Max. Wrinkling (Zvlnění)	Protokol zpracoval:	Bc. Jakub Machálek	Hodnocení:	VYHOVUJE



Poznámka: max. wrinkling (maximální zvlnění) = 0,029

## Seznam použitých značek a symbolů

API	rozhraní pro programování aplikací	(-)
CAD	počítačem podporované projektování	(-)
CAE	počítačem podporovaná analýza	(-)
CAM	počítačem podporované navrhování	(-)
CAT	počítačem podporovaný překlad	(-)
FEM	metoda konečných prvků	(-)
FLD	diagram mezních deformací	(-)
OLE	distribučovaný systém objektu	(-)
PLM	řízení životního cyklu výrobku	(-)
RPS	pomocné, referenční body	(-)
<i>A</i>	šířka brzdícího žebra	(mm)
<i>A</i> <sub>80</sub>	tažnost	(%)
<i>B</i>	výška zapuštění brzdícího žebra	(mm)
<i>C</i> <sub>C</sub>	celková cena jednoho kusu výtažku	(Kč)
<i>C</i> <sub>K</sub>	cena nástroje rozpočtená na jeden kus výtažku	(Kč)
<i>C</i> <sub>M</sub>	celková cena jednoho kilogramu materiálu	(Kč/kg)
<i>C</i> <sub>N</sub>	cena jednoho nástroje	(Kč)
<i>C</i> <sub>P</sub>	celková cena jednoho přístřihu	(Kč/ks)
<i>E</i>	modul pružnosti v tahu	(kN/mm <sup>2</sup> )
<i>F</i> <sub>f</sub>	intenzita přidržení	(-)
<i>H</i> <sub>P</sub>	hmotnost jednoho kusu přístřihu	(kg)
<i>K</i> <sub>R</sub>	Počet výtažků za jeden rok	(ks)
<i>L</i>	počet lisů dané technologie	(-)
<i>L</i> <sub>0</sub>	počáteční měřená délka	(mm)
<i>L</i> <sub>1</sub>	celková délka vzorku	(mm)
<i>L</i> <sub>C</sub>	vzdálenost krajních rysek vzorku	(mm)
<i>L</i> <sub>Z</sub>	sazba lisu na jeden zdvih	(Kč/zdvih)
<i>M</i>	výška brzdícího žebra	(mm)
<i>R</i>	vnitřní poloměr ohybu	(mm)
<i>R</i> <sub>a</sub>	drsnost povrchu	(μm)
<i>R</i> <sub>eH</sub>	horní mez kluzu	(N/mm <sup>2</sup> )
<i>R</i> <sub>eL</sub>	dolní mez kluzu	(MPa)

$R_m$	Mez pevnosti v tahu	(MPa)
$R_{ms}$	pevnost materiálu ve stříhu	(MPa)
$R_{p0,2}$	nevýrazná smluvní mez kluzu	(MPa)
$S_L$	hodinová sazba lisu	(Kč/hod)
$Z$	velikost střížné mezery	(mm)
$Z_z$	předpokládaná životnost jednoho nástroje	(rok)
$Z_d$	maximální počet zdvihů za minutu	(zdvih/min)
$Z_m$	střížná mezera	(mm)
$a_0$	tloušťka plechu	(mm)
$c$	koeficient závislý na druhu stříhání	(-)
$l_{1,2}$	délka nedeformované části výtažku	(mm)
$m$	hmotnost	(kg)
$o$	šířka okraje	(mm)
$s$	tloušťka materiálu	(mm)
$t$	tloušťka tvářeného výtažku	(mm)
$x$	součinitel posunutí neutrální osy	(mm)
$\alpha$	úhel ohybu výtažku	(°)