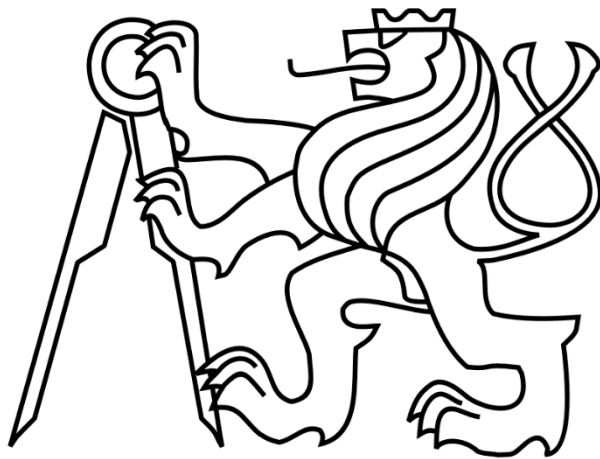


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie



# Diplomová práce

**Sledování životnosti nástroje s ostrou designovou hranou**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Bc. Jana MECU


Program: Strojní inženýrství

Obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Název: Sledování životnosti nástroje s ostrou designovou hranou

Název anglicky: Lifetime monitoring of tool with a sharp edge design

### Zásady pro vypracování:

1. Seznámení s problematikou
  2. Popis zkušebního nástroje a způsobu přípravy funkční plochy nástroje
  3. Navržení metodiky zkoušení
  4. Vyhodnocení provedených experimentů
  5. Závěrečné zhodnocení
- 

Vedoucí diplomové práce: Ing. František Tatíček, Ph.D.

Konzultant:

Datum zadání diplomové práce: 10. 4. 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 19. 6. 2015

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodní a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

*Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou nebo bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové nebo bakalářské práci.*

Zadání diplomové práce převzal dne: 26. 6. 2015



Student



Vedoucí ústavu



Děkan

V Praze

dne 8. 4. 2015

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne 10. 6. 2015

.....

Bc. Jan Meca

## Poděkování

Úvodem bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Františkovi Tatíčkoví, Ph.D. za vedení mé diplomové práce a za jeho podnětné rady a připomínky, které mi po celou dobu práce uděloval.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Liborovi Beránkoví, Ph.D. za věcné rady a za pomoc při měření tažníku a výtažků na konturografu.

## Anotace

Autor:	Bc. Jan Meca
Název DP:	Sledování životnosti nástroje s ostrou designovou hranou
Rozsah práce:	68 stran, 47 obrázků, 4 tabulky
Školní rok vyhotovení:	2015
Škola:	ČVUT – Fakulta strojní
Ústav:	12133 – Ústav strojírenské technologie
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. František Tatíček, Ph.D.
Zadavatel:	Škoda Auto, a. s.
Využití:	Měření geometrie tvářecího nástroje
Klíčová slova:	Tvářecí nástroj, opotřebení tvářecího nástroje, povrchové úpravy tvářecího nástroje, měření za pomoci konturografu, tváření plechů
Anotace:	Tato diplomová práce se zabývá návrhem metodiky měření opotřebení tvářecího nástroje na ostrém designovém přechodu. V práci jsou popsány možnosti výroby ostrých hran a jejich úpravy. Dále pak jsou popsány možné metody měření tvaru nástroje a je navržena metodika měření ostrých hran v tvářecím nástroji a navržen nejvhodnější způsob měření nástroje. V závěru práce je doporučena metoda měření nástroje s ohledem na požadavky měření ostrých přechodů.

# Annotation

Author:	Bc. Jan Meca
Title of Bachelor Thesis:	Lifetime Monitoring of a Tool with a Sharp Edge Design
Extent:	68 pages, 47 pictures, 4 tables
Academic year:	2015
University:	Czech Technical University in Prague Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12133 – Department of Manufacturing Technology
Supervisor:	Ing. František Tatíček
Submitter of the Theme:	Škoda Auto, a. s.
Application:	Measuring the geometry of a forming tool
Key words:	forming tool, wear of forming tool, surfacing of forming tool, measuring by conturograph, plate forming
Annotation:	The diploma thesis deals with the design of methodology of measuring the wear of a forming tool on a sharp design edge. The work describes the possibilities of sharp edges manufacture and finishing procedure. Possible methods of measuring the shape of the tool are described and the methodology of sharp edges measuring in forming tool is designed and the most suitable method of tool measuring is suggested. In the conclusion, the thesis proposes method of tool measuring with respect to the requirements of sharp edges measuring.

# Obsah

Prohlášení .....	3
Poděkování.....	4
Anotace .....	5
Annotation .....	6
Použité veličiny a jednotky .....	9
1 Úvod.....	10
2 Cíl diplomové práce .....	14
3 Technologie výroby výlisků .....	15
3.1 Operace tváření.....	15
3.2 Faktory ovlivňující tvářecí proces.....	15
3.3 Tvárnost.....	16
3.4 Materiály vhodné pro hluboké tažení.....	18
3.4.1 Materiály, které používá Škoda Auto, a.s. ....	19
4 Lisovací nástroje a materiál výlisku .....	20
4.1 Popis lisovacího nástroje.....	20
4.2 Konstrukce nástroje .....	26
4.2.1 Spodní část nástroje.....	26
4.2.2 Horní část lisovacího nástroje.....	31
4.3 Úprava povrchových vlastností činných částí nástrojů .....	33
4.3.1 Indukční kalení .....	34
4.3.2 Laserové kalení .....	34
4.3.3 Ruční navařování.....	35
4.3.4 Laserové navařování .....	36
4.4 Specifikace lisu .....	38
5 Metody měření nástroje.....	39



5.1	Souřadnicové měřicí systémy .....	40
5.1.1	Dotyková spínací sonda .....	41
5.1.2	Kontaktní skenovací hlava .....	42
5.1.3	Strategie měření .....	44
5.1.4	Konturograf.....	44
5.2	Snímací systémy optické – bezdotykové.....	46
5.2.1	Bodové měření ve 2D.....	47
5.2.2	Skenovací měření ve 3D.....	48
5.3	Výběr metody.....	49
6	Návrh měření geometrie výlisku.....	50
6.1	Princip měření dotykem.....	50
6.2	Postup měření na konturografu.....	50
7	Ověření vybrané metody měření.....	54
8	Návrh metodiky měření.....	60
9	Závěr .....	63
10	Seznamy.....	65
10.1	Seznam použité literatury .....	65
10.2	Seznam obrázků.....	67
10.3	Seznam tabulek .....	68

## Použité veličiny a jednotky

Označení	Název	Jednotky
$A_{80}$	Tažnost (80 mm dlouhého vzorku)	[%]
$Al$	Hliník	[-]
$C$	Uhlík	[-]
$Cr$	Chrom	[-]
$Cu$	Měď	[-]
$Mn$	Mangan	[-]
$Mo$	Molybden	[-]
$N$	Dusík	[-]
$Nb$	Niob	[-]
$Ni$	Nikl	[-]
$P$	Fosfor	[-]
$\bar{r}$	Součinitel plastické anizotropie	[-]
$Re$	Mez kluzu	[MPa]
$Rm$	Mez pevnosti	[MPa]
$Si$	Křemík	[-]
$Sn$	Cín	[-]
$Ti$	Titan	[-]
$V$	Vanad	[-]
$Zn$	Zinek	[-]

# 1 Úvod

Vzhled automobilů neboli jejich design, je otázkou především doby, ve které byly automobily vyrobeny. Design automobilů do jisté míry rozhoduje o jejich úspěšnosti na trhu. Automobilky se proto snaží, aby vzhled automobilů byl jedinečný. Na karoseriích automobilů proto vznikají různé prolisy anebo výstupky tak, aby zaujaly kupující. Výjimkou není ani Škoda Auto, a.s. v Mladé Boleslavi.

Vzhled automobilů se mění společně s tím, jak se lidstvo vyvíjí a jak se zdokonaluje výrobní proces. Současná podoba automobilu je dílem Henryho Forda, který jako první začal sériově vyrábět automobily. Karosérie byly tepané ručně, vše bylo kulaté a zaoblené, protože jiná výroba nebyla možná a ještě neexistovala možnost tváření plechů ve velkých rozměrech s dostatečnou přesností. Později automobily začaly dostávat tvar, který známe z dnešní doby a to především tím, že se odstoupilo od tepání jednotlivých plechů a plechy se začaly na karoserie automobilů lisovat na tvářecích strojích. Protože ještě neexistovaly numerické simulační metody a bylo těžké vzhled karosérie převést z rýsovacího prkna nebo modelu přesně na skutečné díly karosérie, automobilky přizpůsobovaly své představy možnostem výroby. Byly nuceny použít zaoblené hrany a vyhnout se extrémním prolisům na karoserii. Přesto v té době vznikaly neuvěřitelně krásné tvary karosérií a to především ve Spojených státech, kde nebyly omezovány velikostí auta a například vznikly automobily jako Chevrolet Biscayne nebo Ford Fairlane Crown Victoria vyrobený v roce 1956.



Obr. 1.1 Chevrolet Biscayne



Obr. 1.2 Ford Fairlane Crown Victoria

Na těchto automobilech je vidět, jak je karoserie hladká a zaoblená bez vnějších výstupků. Velkým designovým prvkem bylo tzv. křídlo na konci vozu, které bylo inspirováno lety na měsíc a mělo připomínat raketoplán.

Později se z těchto zaoblených hran staly ostré hrany a automobily si byly hodně podobné. Například Opel Astra nebo Kia Ceed.



Obr. 1.3 Opel Astra



Obr. 1.4 Kia Ceed

Dnes se snaží automobilky daleko více odlišit jedna od druhé. Design jednotlivých automobilů je proto odlišný a hned na první pohled je patrný rozdíl mezi jednotlivými vozy. Škoda Auto, a.s. v Mladé Boleslavi se nyní stylizuje ostrými rysy tzv. hranami, které dělají vůz nevšední a jedinečný oproti konkurenci. Tyto designové prvky se označují jako tornádolinie.



Obr. 1.5: Škoda Fabia třetí generace

Dnešní doba má mnohé možnosti numerické simulace, bez kterých by výroba karoserie byla obtížně uskutečnitelná, protože nároky na bezpečnost a kvalitu samotného výrobku, tvarové požadavky, vlastnosti dnes používaných materiálů apod., je na takové úrovni, že by bylo jen velmi složité dosáhnout požadované kvality bez těchto numerických simulací.

Speciální designové prvky ale přinášejí do výroby mnohá úskalí a to především problematiku vyrobitelnosti. Na Obr. 1.5 je vidět hrana, která vystupuje přes celou délku vozu. Vypadá to velmi hezky a dynamicky, ale vnáší to do výroby určité komplikace a to v podobě potencionálně rychlého opotřebení tvářecího nástroje, což může komplikovat výrobu jednotlivých dílů, resp. jejich geometrické a povrchové vlastnosti. Je zapotřebí v dostatečné míře kontrolovat opotřebení funkčních částí nástroje, na kterých dochází k výrazně rychlejšímu opotřebení než na zbytku nástroje. S tímto souvisí i zvýšená potřeba údržby tohoto nástroje.

Na začátku je potřeba definovat výraz ostrá hrana. Ostrou hranou při tváření plechů se myslí část výlisku, která je vytažena a ohnuta do tvaru V s téměř až nulovým zaoblením. Pro praxi se udává, že minimální zaoblení plechu odpovídá tloušťce plechu. Ostré hrany neboli designové prvky mají častokrát menší zaoblení než je tloušťka plechu. Tyto prvky mají ale za následek nadměrné opotřebování formy. Například na obrázku Obr. 1.5 je příklad ostrého zaoblení – designové hrany, které se táhne od vnějšího horního rohu světlometů po obou bocích vozu až ke kraji zadních světlometů. Tento designový prvek s ostrou hranou není na autě jediný, je však nejvíce patrný a člověk si ho všimne hned na první pohled. Dále je například umístěný na víku v zavazadlovém prostoru, kde po krajích pátých dveří tvoří zkosení, které připomíná diamant.

Je potřeba si uvědomit, že tyto ostré hrany velmi zatěžují – opotřebovávají lisovací nástroje, které určují charakteristický tvar karoserie. Proto je velmi důležité, aby lisovací nástroj měl stále stejné parametry a postupem času nedocházelo k jeho nadměrnému opotřebení, což by mělo za následek výraznou změnu tvaru vylisovaného dílu. Lisovací nástroje pro tažení karoserií jsou specifické v tom, že jejich rozměry jsou značné (v metrech) a jejich hmotnost je také velká (až v desítkách tun) a bylo by tedy neekonomické komplikované formy obrábět z plného materiálu. Lisovací nástroje větších rozměrů se odlévají z litiny s lupínkovým grafitem a slouží pro méně namáhané

součásti a nástroje vyrobené z litiny s kuličkovým grafitem jsou používány pro nástroje, které jsou více dynamicky namáhané, jako například tažníky, tažnice, klíny. Formy vyrobené z litiny ovšem nedosahují požadovaných mechanických vlastností, aby při lisování obstály bez poškození. Je tudíž zapotřebí je dále upravit, aby získaly potřebnou tvrdost a otěruvzdornost. Používají se metody povrchového kalení a navařování. Při kalení se používá indukčního a laserového ohřevu, pro navařování se používají klasické metody s tavící i netavící elektrodou, ale navařuje se i laserem.

Výroba jednotlivých výlisků karoserie je velmi složitá a zdlouhavá. Musí se vyrobit nástroje pro více operací. Z výše napsaného vyplývá, že existuje nepřeborná řada kombinací a způsobů, jak dané místo upravit a proto vznikla myšlenka vytvořit zkušební nástroj, na kterém bude možné porovnat jednotlivé kombinace opotřebení.

## 2 Cíl diplomové práce

Cílem mé diplomové práce je vytvořit metodiku měření opotřebení tvářecího nástroje, která bude mít dobrou opakovatelnost a její vyhodnocení bude rychlé a snadné. Je velmi důležité, aby metodika měření opotřebení nástroje byla vypovídající a schopná přesně stanovit a popsat opotřebení konkrétního místa na experimentálním nástroji. Výsledky by měly být aplikovatelné i na reálné lisovací nástroje, aby tato problematika nemusela být na reálných nástrojích zkoušena. Musí se brát v úvahu několik faktorů, které celé měření komplikují. V první řadě jde o nový požadavek při výrobě karosářských dílů a tak není tato technologie prozkoumána do velké hloubky.

Dalším faktorem, který je potřeba brát v úvahu při vytváření metodiky, je velká rozmanitost tvarových ploch. Zkušební nástroj má sice předem definovaný tvar, ale bylo by chybou vytvářet složitou metodiku měření jen pro jeden konkrétní tvar.

Velký požadavek na přesnost vyrobených výlisků klade i velké nároky na jejich nástroje, tento důležitý faktor je nutné při metodice brát v úvahu. Je zapotřebí měřit opotřebení nástroje v setinách milimetrů a omezit tak maximálně chybu měření, jak lidskou, tak i mechanickou při samotném měření.

Je více možností, jak se dá opotřebení nástroje měřit, porovnávat s původním tvarem, ale jen několik je použitelných. Pro ty vhodné je potřeba vymyslet takový postup měření, aby byl opakovatelný a výsledky měly vypovídací hodnotu.

## 3 Technologie výroby výlisků

### 3.1 Operace tváření

Tváření kovů je výrobní technologie, při které dochází k požadované změně tvaru polotovaru, případně mechanických vlastností materiálu, v důsledku působení vnějších sil. Při tváření musí dojít k překonání meze kluzu u deformovaného materiálu, tedy v oblasti plastických deformací.

Výhodou této technologie je vysoká produktivita práce, velké využití materiálu, velmi dobrá rozměrová přesnost a ve většině případů zpevnění materiálu. Nevýhodou je vysoká cena strojů a nástrojů a omezení dané rozměry konečného výrobku.

### 3.2 Faktory ovlivňující tvářecí proces

Tvářecí proces je ovlivněn mnoha faktory, mezi které patří materiálové vlastnosti, technologické faktory a kinematika procesu.

Nejvíce tvářecí proces ovlivňuje teplota, při které probíhá tváření. Podle této teploty dělíme tváření na tváření za studena, poloohřevu a tepla. Tváření za studena má velké výhody ve zpevnění materiálu, ke kterému dochází při tváření. Tohoto faktu se využívá při tváření plechů, z kterých se skládá karoserie vozu. Plechy jsou poté pevnější a i při relativně malé tloušťce, která je okolo 0,5 mm, snesou velkou zátěž. Nevýhoda tohoto tváření je v tom, že klade daleko vyšší nároky na stroje a především na formy, které musí snášet daleko vyšší mechanické zatížení než při tváření za tepla.

Dalším faktorem je stupeň deformace, který je ovlivněn teplotou a rychlostí deformace bez vzniku trhlin na povrchu. Při tváření se část energie mění na teplo a množství tepla závisí na rychlosti deformace. Toto vzniklé teplo také do jisté míry ovlivňuje tvářený kov. Při vyšších teplotách dochází k rekystalizaci kovu a tím k snížení pevnosti materiálu. Podle toho, kam se teplo odvede při tvářecím procesu, rozeznáváme tváření izotermické, adiabatické a polytropické.

Dalším faktorem je způsob tváření a to tváření objemové – deformace nastává ve všech směrech působení sil anebo tváření plošné, ve kterém deformace převládají pouze ve dvou osách, například tváření plechu.

Záleží i na struktuře kovu a na stavbě krystalové mřížky. Technické kovy mají mřížku krychlovou prostorově (plošně) středěnou, šesterečnou. Na krystalické mřížce závisí

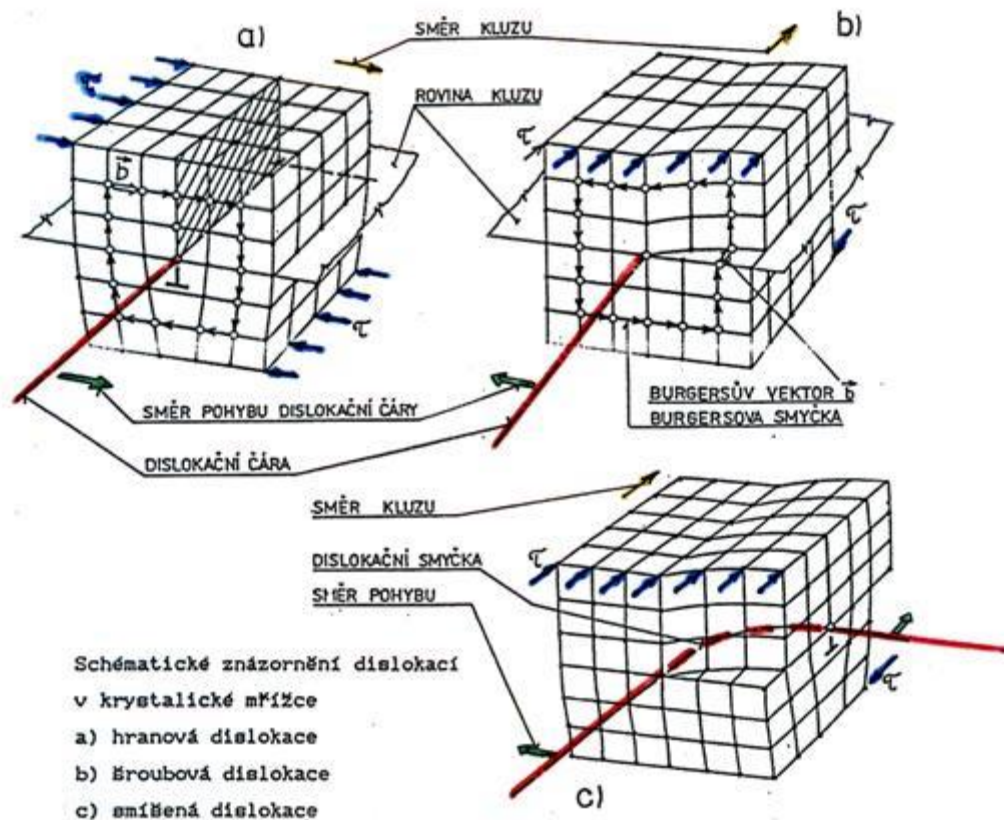


nejen fyzikální a mechanické vlastnosti daného kovu či slitiny, ale z hlediska tváření i tvařitelnost. O této problematice bude více v kapitole tvárnost.

Z předchozího textu je patrné, že tváření plechů je velmi náročná a komplikovaná problematika, kde do procesu vstupuje řada proměnných. Při tváření není ovlivněn jen materiál, ale i nástroj, který se opotřebovává dalšími vlivy. Do procesu nám vstupují faktory, jako je například otěr, odpružení plechu při ohýbání, tření mezi materiálem a nástrojem, kvality povrchu, mazání a další.

### 3.3 Tvárnost

Plastická deformace znamená pohyb jednotlivých částic kovů proti sobě a tento mechanismus je možné vysvětlit na základě pohybu a vzniku mřížkových poruch. V reálných kovech není dokonalá stavba krystalové mřížky. Podle tvaru krystalografické neuspořádanosti a velikosti atomů rozeznáváme mřížkové poruchy bodové (vakance, interstice, substituce), čárové (hranové, šroubové a kombinované), plošné (vrstevné vady, hranice zrn, subzrn, dvojčatní) a prostorové (hranice krystalů, vměstky, amorfni částice, apod.).



Obr. 3.1 rozdělení dislokací [13]

Z hlediska teorie tváření mají největší vliv čárové poruchy – dislokace. Jsou to poruchy, které se projevují vysunutím atomů z pravidelných poloh krystalové mřížky a mohou se pohybovat, vznikat a zanikat. Rozeznáváme dislokace hranové, šroubové a jejich kombinace. Hustota dislokací  $r$  je celková délka dislokačních čar  $L$ , obsažených v jednotce objemu  $V$ .

Změna tvaru mřížky, která se navenek projevuje změnou tvaru bez vzniku trhlin, nazýváme deformací. Podle fyzikální povahy je možné deformaci rozdělit na elastickou deformaci, kdy se materiál bude vracet do původního tvaru, pokud přestane působit vnější síla a na plastickou deformaci, kdy změna tvaru zůstává zachovaná i když přestane působit vnější síla.

Plastická deformace (překonání meze kluzu) má největší význam u tváření kovů. Při vzniku trhlin a následné destrukci tělesa mluvíme o porušení krystalové mřížky.

Velikost deformace závisí na teplotě, rychlosti zatěžování, napjatosti, chemickém složení, zpevnění a tření, atd. Tyto všechny vlivy se navenek projevují odporem kovu ke změně tvaru – deformačním odporem.

Rozeznáváme dva základní mechanismy plastické deformace a to skluzem a dvojčatěním. Vždy se rozvíjí ten mechanismus plastické deformace, který při daných podmínkách vyžaduje nejmenší energii. U skluzu se nadbytečná vrstva atomů pohybuje ve směru působícího napětí, až vystoupí na povrch, pokud se nezachytí o překážky uvnitř krystalu. Atomy se proti sobě posunují postupně, nikoliv současně. Pokud se pohyb dislokací zastaví, je nutno k další plastické deformaci zvýšit napětí. Při tváření za studena kov klade stále větší odpor a zpevňuje se. Přesuny atomů vážnou, plasticita kovu se postupně vyčerpává a může dojít k porušení materiálu (mez pevnosti). U dvojčatění se přeskupuje část krystalu tak, že se celá mřížka nejdříve natočí do příznivé polohy pro skluz a následně se část natočeného krystalu skluzem deformuje.

### 3.4 Materiály vhodné pro hluboké tažení

Vhodnost materiálu pro hluboké tažení je především ovlivněna chemickým složením, strukturou a texturou materiálu. Tyto vlastnosti patří mezi základní materiálové faktory, které ovlivňují tvářitelnost. Nejčastěji se používá nízkouhlíková hlubokotažná ocel (pásky a plechy), kromě železa, obsahuje C, Mn, Si, P, plyny a další doprovodné prvky jako je Cr, Cu, Ni, Sn, Mo. Oceli se vyrábí jako uklidněné a i neuklidněné. Ocele uklidněné mají malé množství příměsí Al, V, Ti, Nb, Zr a ty mají za následek, že se přebytečný kyslík naváže na tyto prvky (pak hovoříme o uklidněné oceli). Ocel je v celém objemu homogenní a jemnozrnná. U ocele neuklidněné tyto příměsi nejsou a kyslík se shlukuje do míst s nižší hustotou. Tento proces se zastaví až při ztuhnutí ocele.

Struktura materiálu má podstatný vliv na mechanické vlastnosti a tvářitelnost. Základní strukturální složkou nízkouhlíkových hlubokotažných plechů je ferit. Velký vliv na kvalitu hlubokotažné ocele za studena má uhlík, který je u kvalitních ocelí do 0,07%. Ideální mechanické hodnoty u hlubokotažných plechů dosahují přibližně těchto parametrů  $Re < 190 \text{ MPa}$ ,  $Re > 270 \text{ MPa}$ ,  $A_{80} > 36 \%$  a poměr  $Re$  ku  $Rm < 0,65 \%$ .

Záleží i na povrchové úpravě plechů, která ovlivňuje tření materiálu mezi nástrojem a materiálem, ale především chrání materiál proti korozi. Vysoké tření může

negativně ovlivnit tvářecí proces, proto velmi záleží na povrchové úpravě materiálu. Protože se velmi dbá na to, aby karoserie vozu nekorodovala a aby plechy, ze kterých se vyrábí karoserie, měly vždy vysokou kvalitu již před samotným zpracováním (nevyskytovaly se na plechu drobné rez.) je plech dodáván především v pozinkované úpravě. Vrstvu lze nanést dvěma způsoby a to buď žárově anebo elektrolyticky. Žárové nanášení je rychlé, snadné a levné, ale tepelně ovlivňuje materiál. Elektrolytické nanášení je oproti předchozí metodě kvalitnější a neovlivňuje tepelně materiál, zato je podstatně dražší, jelikož to trvá podstatně déle. Realizuje se to ve vanách při výrobě plechu a ty jsou, vzhledem k rychlosti pohybujícího se plechu na linkách, dlouhé. U žárového povrchu je tloušťka vrstvy v rozmezí 5 - 7 mikrometrů. Povrchová vrstva nesmí za žádných okolností popraskat a ulpívat na nástroji.

### 3.4.1 Materiály, které používá Škoda Auto, a.s.

Škoda Auto, a.s. vyrábí pohledové plechy karoserie nejčastěji z materiálových jakostí DC 05, DC 06 a HX 180. Jedná se o hlubokotažné materiály, které jsou stabilizované (uklidněné). Jedná se o legovanou ušlechtilou nízkouhlíkovou feritickou ocel mikrolegovanou titanem. Titan slouží jako karbonitridační stabilizátor k úplnému vyčištění feritu od intersticiálně rozpuštěného C a N. Snížení obsahu těchto prvků zvyšuje hodnotu normálové anizotropie a zaručuje lepší hlubokotažné vlastnosti. Pro lepší představu je uvedeno chemické složení a mechanické hodnoty materiálu DC06 ZE 50/50 BPO. ZE 50/50 znamená, že je materiál elektrolyticky pozinkovaný z obou dvou stran a to na tloušťku 0,05mm.

Tab. 3.1 chemické složení materiálu DC 06 - hodnoty jsou v %

Chemické složení materiálu DC06 ZE50/50 BPO				
C	P	S	Mn	Ti
0,02	0,02	0,02	0,25	0,30

Tab. 3.2 mechanické vlastnosti materiálu DC 06

Mechanické vlastnosti materiálu DC06 ZE50/50 BPO				
Re [MPa]	Rm [MPa]	A 80 [%]	$\bar{r}$ [-]	$\bar{n}$ [-]
120 – 190	270 – 350	min 37	Min 1.8	min 0.2

## 4 Lisovací nástroje a materiál výlisku

### 4.1 Popis lisovacího nástroje

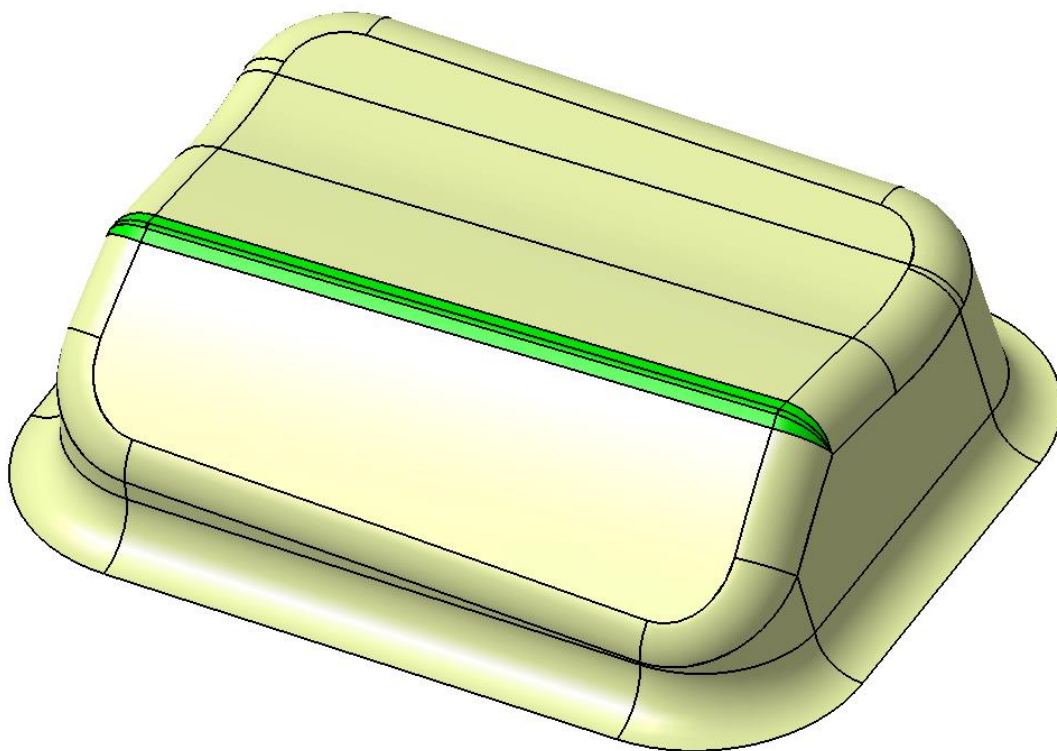
Problematika ostrých rádiusů se v současné době jeví jako problém, neboť dochází k deformacím na výlisku, dále je problém s dodržením geometrických tolerancí výlisku. V oblasti těchto designových hran dochází ke vzniku propadlin, ukazuje se, že také dochází k nadměrnému opotřebením nástroje, což pak následně dále ovlivňuje přesnost a tvar výlisku. Navíc se ukazuje jako problém oprava nástrojů, která je časově náročnější, než bývalo při opravách nástrojů zvykem. Proto bylo v rámci spolupráce přistoupeno k výrobě experimentálního nástroje, který umožňuje simulovat opotřebením nástroje v oblasti designových hran, umožňuje porovnávat funkční část nástroje vyráběné různými metodami, apod. V rámci prováděných experimentů je cílem vyzkoušet, jaké úpravy formy jsou pro její životnost optimální z hlediska nákladů na výrobu, nákladů na údržbu, životnost nástroje, požadované geometrické hledisko výlisku.

Tato diplomová práce navazuje na diplomovou práci, která řešila konstrukční provedení testovacího nástroje, a jejímž cílem bylo navrhnout takový zkušební nástroj, na které by bylo možné problém vyzkoušet a otestovat několik možností zpracování ostré hrany.

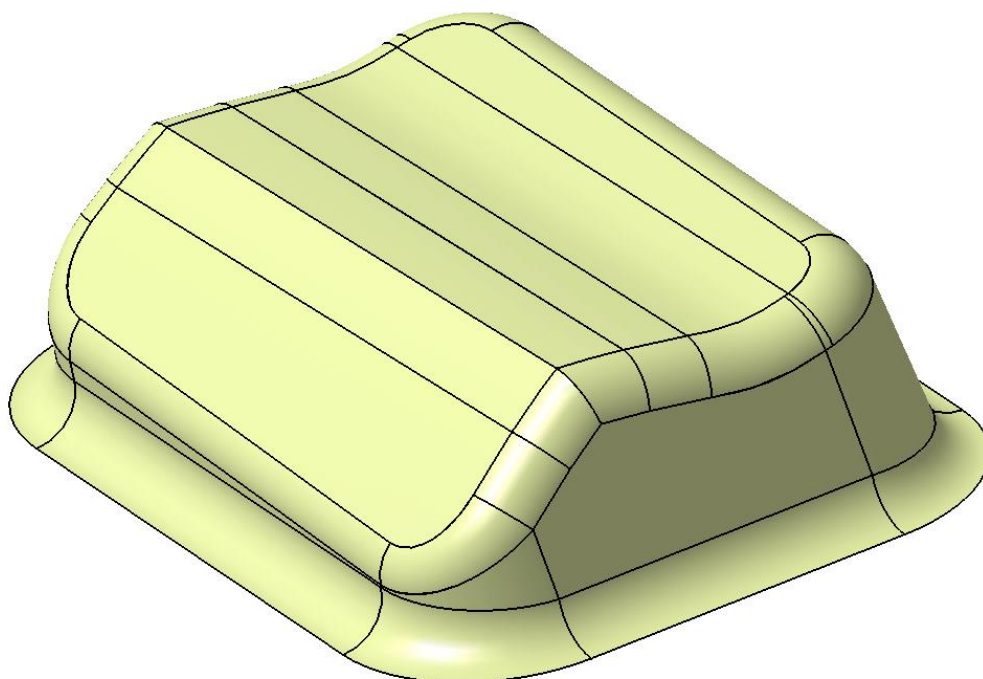
Testování životnosti nástroje na ostrých designových hranách není možné na sériovém nástroji pro značně vysoké výrobní náklady. Navíc vytížení strojů je vysoké a není zde časový prostor zabývat se výzkumem. Proto vznikla myšlenka měřit opotřebením na zkušebním nástroji, kde by se vyrobil takový tvar, který by simuloval skutečnou formu a tím pak docházelo k opotřebením nástroje jako v reálném prostředí. Ovšem navrhnout tento tvar bylo složité. Nešlo jen o vyrobení nástroje, který by ohýbal materiál přes hranu, ale kvůli zpevnění materiálu bylo potřeba, aby se materiál přes hranu přetahoval. Dále pak bylo potřeba zajistit, aby docházelo i k namáhání otlačením. Postupem času se došlo k požadovanému tvaru nástroje, který by dokázal spojit oba dva způsoby namáhání a to jak stlačování, tak přetahování plechu přes ostrou hranu.

Výsledný tvar ostré hrany tvářecího nástroje vychází z reálného vozu koncernu Volkswagen Group. Bohužel v tuto chvíli nelze říci z jakého, protože jde o prototypový vůz.

Následující Obr. 4.1 a Obr. 4.2 znázorňují tvar tažnice a tažníku. U tažnice je zelenou barvou znázorněná hrana, které není „ostrá“ a její poloměr je 1,65 mm. Tato hrana není tou, která dělá konečný tvar výlisku. Konečný tvar ostré hrany dělá na výlisku tažník. Tažnice se pouze domáčkne na tažník a tím kalibruje plech, aby dostal předepsaných hodnot. Tažník má ostrou hranu rádiusu, která definuje tvar ostrého přechodu. Velikost zkušebního tažníku je přibližně 120 x 200 x 121 mm.

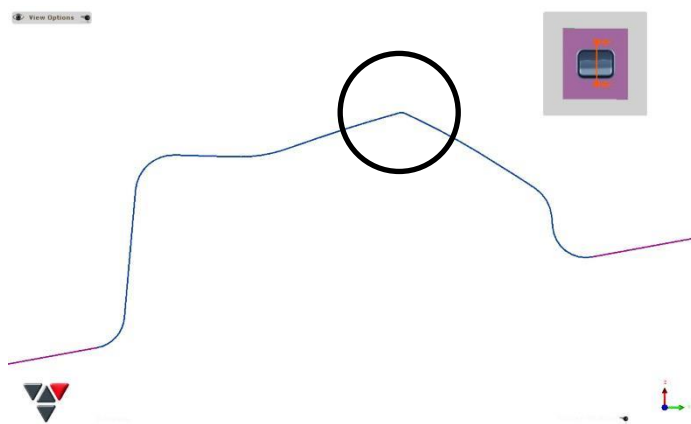


Obr. 4.1 tažnice



Obr. 4.2 tažník

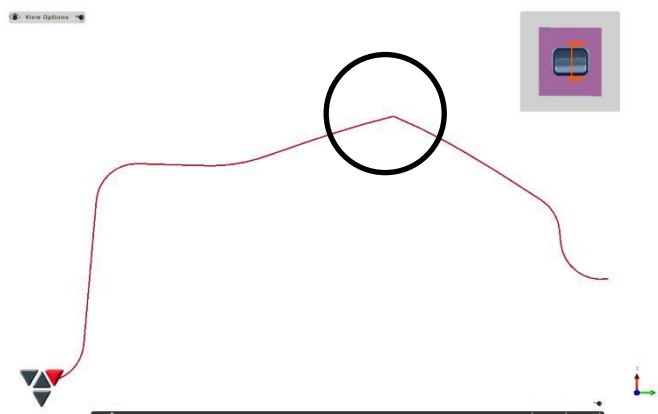
Na následujících obrázcích je řez profilu tažníku a tažnice. Na zvětšených obrázcích je jasně vidět rozdíl poloměrů.



Obr. 4.3: tažnice



Obr. 4.4: detail tažnice



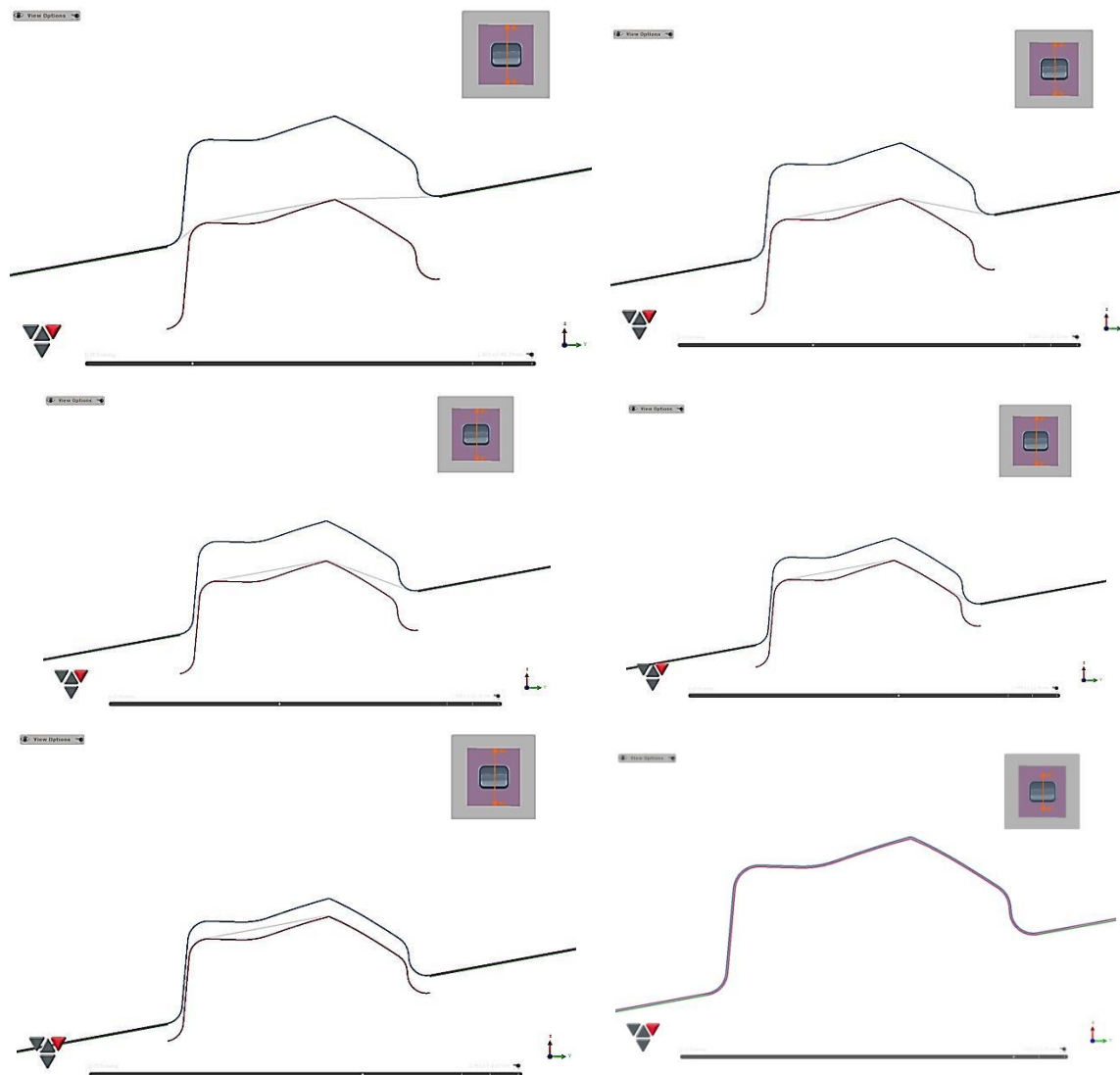
Obr. 4.5 tažník



Obr. 4.6: detail tažníku

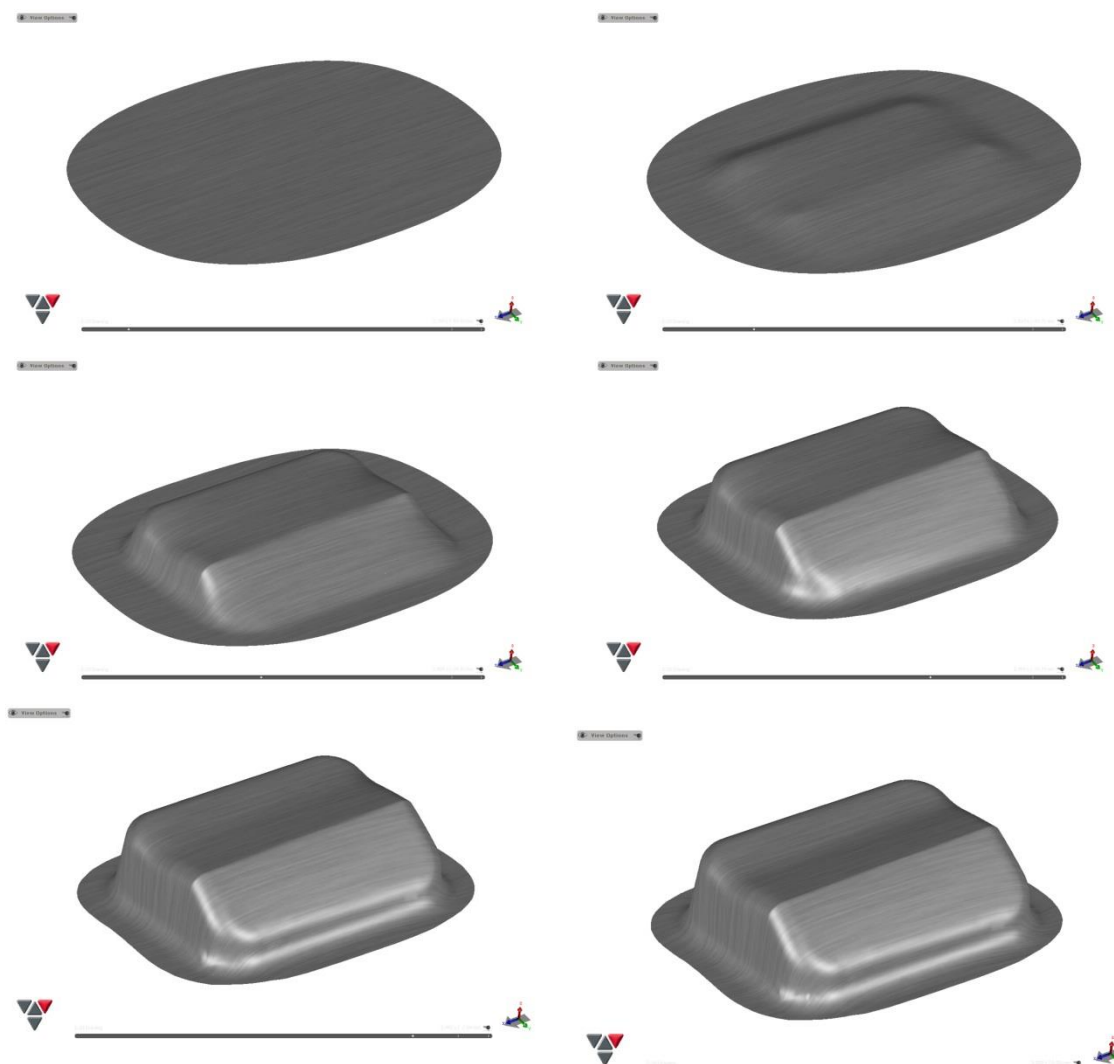


Následující sekce obrázků znázorňuje, jak je ostrá hrana na tažníku (červená barva) zatěžována přetahovaným materiálem (šedá barva), který je postupně tažen přes ostrou hranu a tím dochází k jeho nadměrnému opotřebování



Obr. 4.7 znázornění postupného tváření plechu ve zkušebním nástroji

Následující sekce obrázků graficky znázorňuje postupné tažení plechu na tažník.



Obr. 4.8 grafické znázorňuje tažení plechu na tažník

Obr. 4.1 – Obr. 4.8 jsou vykreslené z programu AutoForm

## 4.2 Konstrukce nástroje

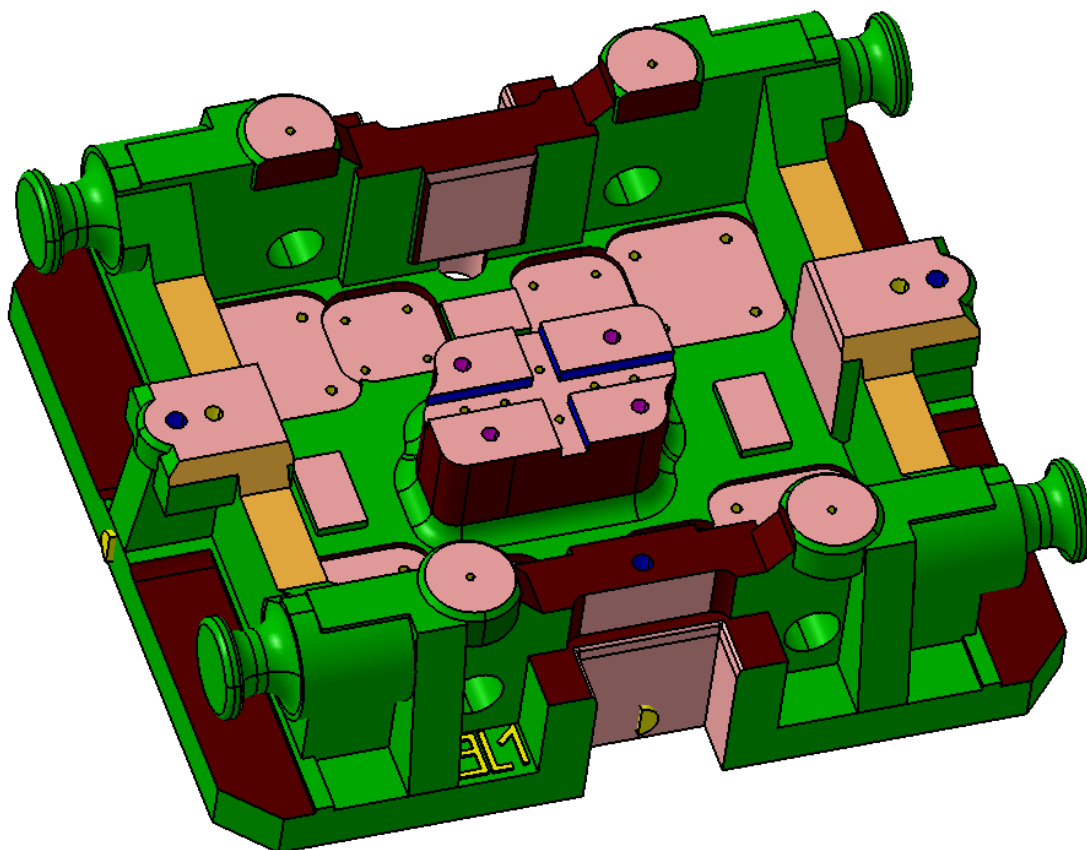
Jak již bylo řečeno, konstrukce zkušební nástroje vychází z části geometrie reálného nástroje. Zkušební nástroj se skládá ze dvou základních částí, ve kterém jsou umístěny tažník, přidržovač a tažnice. Ve spodní části nástroje je umístěn tažník s přidržovačem a v horní části je umístěna tažnice. Horní část nástroje slouží zároveň jako přidržovač.

Těleso nástroje je vyrobeno jako odlitek, který je obroben do požadovaného tvaru. Po obrobení následuje ještě na funkčních částech nástroje (přidrřovač, tažník) zapracování, kontroluje se riziko kolize tažníku s tažnicí, upravuje se nástroj, aby výlisek měl požadovaný tvar bez defektů. Přitom se provádí zabrušování některých ploch nástroje, navařuje se do míst, kde chybí materiál (pro zabránění vzniku propadlin) a podobně.

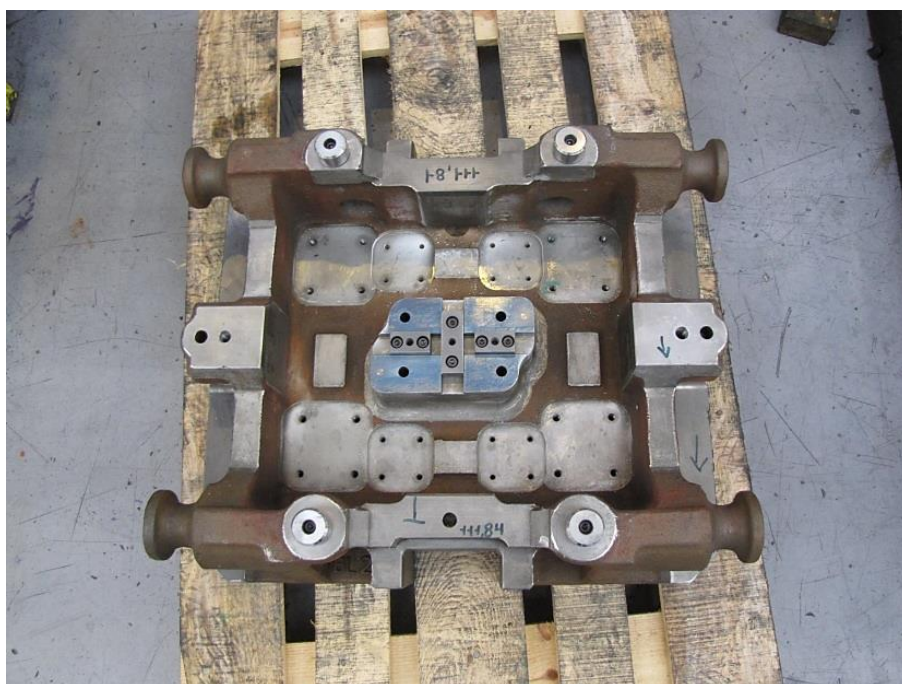
Před samotným vložením tažníku do nástroje se provádí fotometrie na tažníku a tažnici, aby nedošlo k poškození formy.

### 4.2.1 Spodní část nástroje

Konstrukce **spodní části** nástroje se skládá z více dílů. Základem je rám, tělo nástroje, do kterého se postupně vloží a upevní zbylé části potřebné pro funkčnost nástroje. Do této části se vkládá tažník, přidržovač a obslužné komponenty, jako jsou plynové pružiny, kluzné desky, kolíky, distanční prvky a pera.



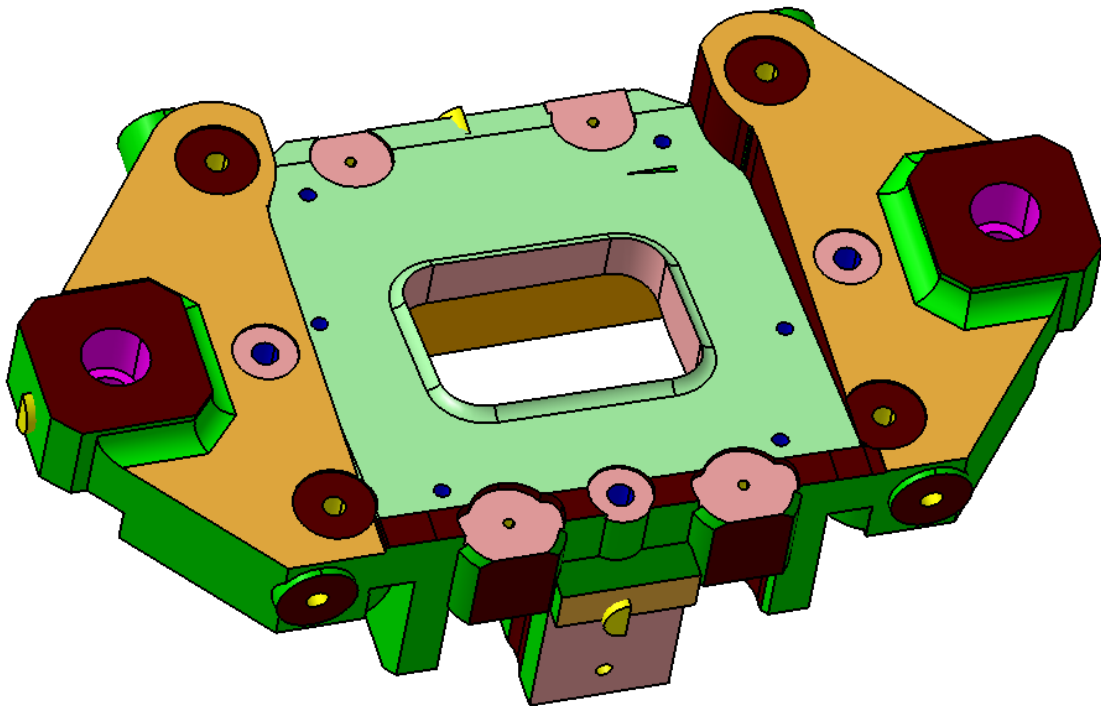
Obr. 4.9 model spodní část tažníku



Obr. 4.10 opravený spodní část nástroje po odlití

Jedná se o odlitek z litiny s lupínkovým grafitem En – JL 1040. Vnější tvar je navržen pro lis, který je v dílnách ČVUT a to LEN 63 C. Rozměry této části nástroje jsou 590 x 680 x 205 mm a hmotnost 235 kg.

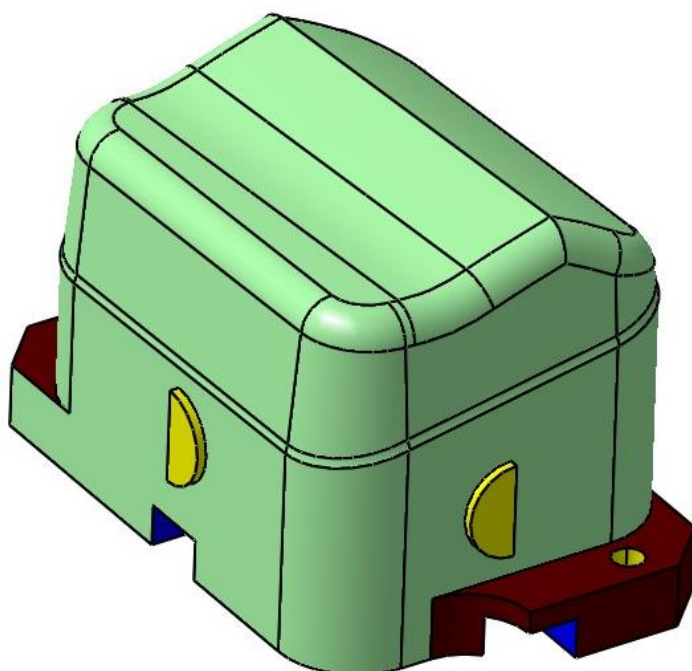
**Přidržovač** je namáhaná součást a proto byla vyrobena z litiny s kuličkovým grafitem EN – JS 2070, které má oproti výše jmenované lepší mechanické vlastnosti. Při návrhu tažníku se brala v potaz potřeba výměny tažníku a proto tažník nemá ideální tvar. Síla přidržovače je zajištěna plynovými pružinami o dvou silách a to 700 kg a 2400 kg. V reálných nástrojích je síla přidržovače nastavena pomocí pneumatického systému v těle formy. Toto nelze realizovat v našem případě z důvodu malé svěrné výšky lisu. Plynové pružiny jsou o celkové přitlačné síle 12 600 Kg. Přidržovač je veden v bronzových kluzných deskách, které jsou pevně umístěny v přidržovači. Přidržovač je zajištěn v těle formy 4 šrouby. Rozměry přidržovače jsou 360 x 650 x 180 mm a hmotnost je 105 kg.



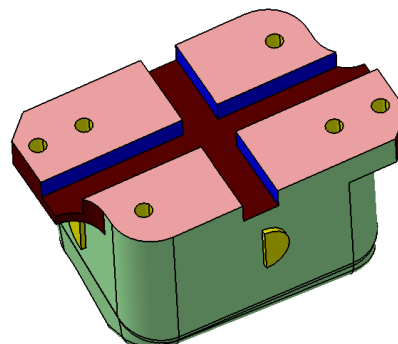
Obr. 4.11 model přidržovače zkušebního nástroje

**Tažník** je nejdůležitější součást na tomto zkušebním nástroji. Budou na ní prováděna veškerá měření a bude se sledovat změna geometrie ostrého přechodu. Tažník je vyroben také z litiny s kuličkovým grafitem EN – JS 2070 a je obroben na požadovanou geometrii. Tažník se k tělu spodního nástroje upevní dvěma šrouby a

poloha je zajištěna přesnými pery. Rozměry tažníku jsou 120 x 200 x cca 121 mm (podle geometrie nástroje) a hmotnost je 15 kg.



Obr. 4.12 model tažníku



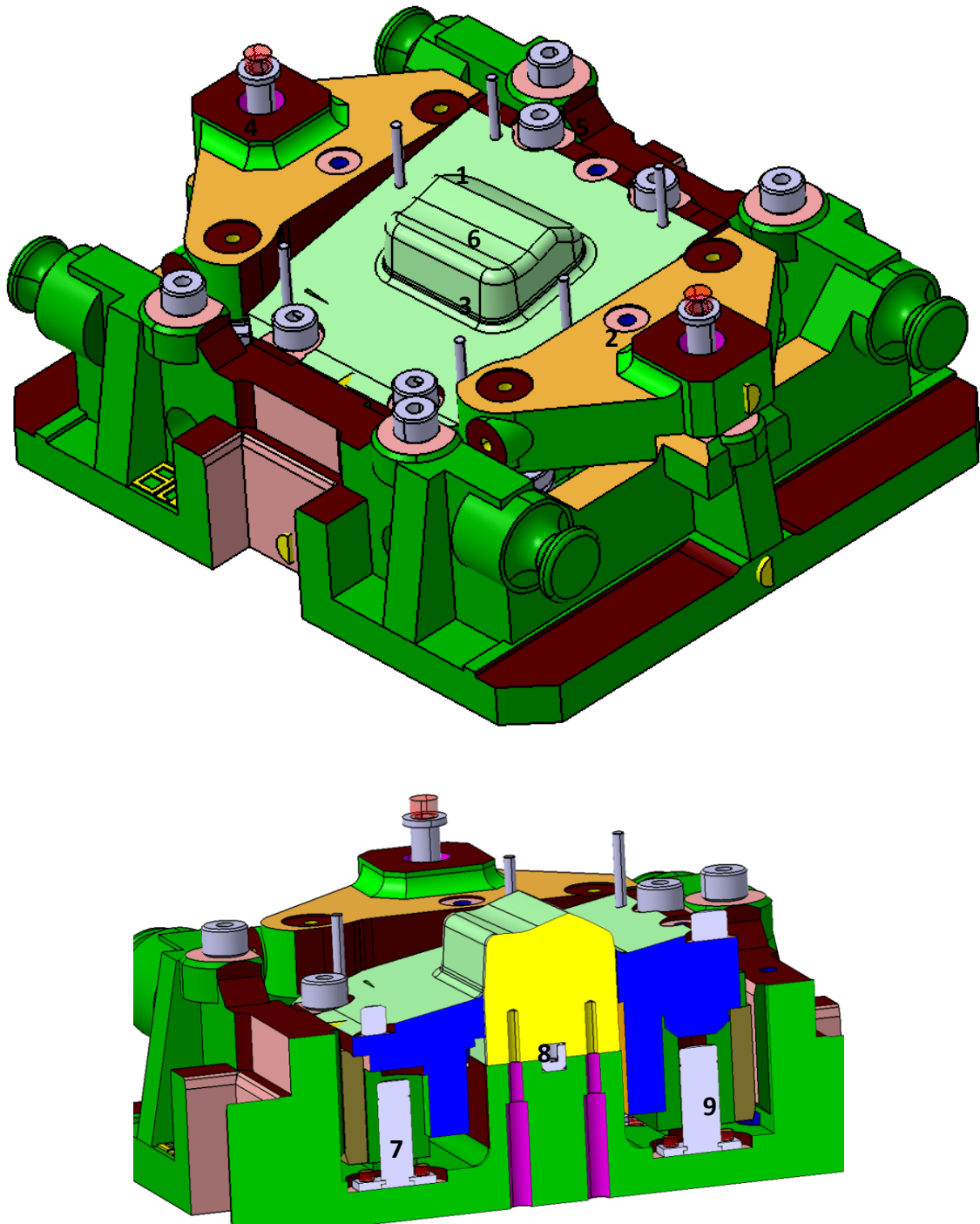
Obr. 4.13 spodní část tažníku je opatřena drážky pro pero



Obr. 4.14 fotografie vyrobeného tažníku



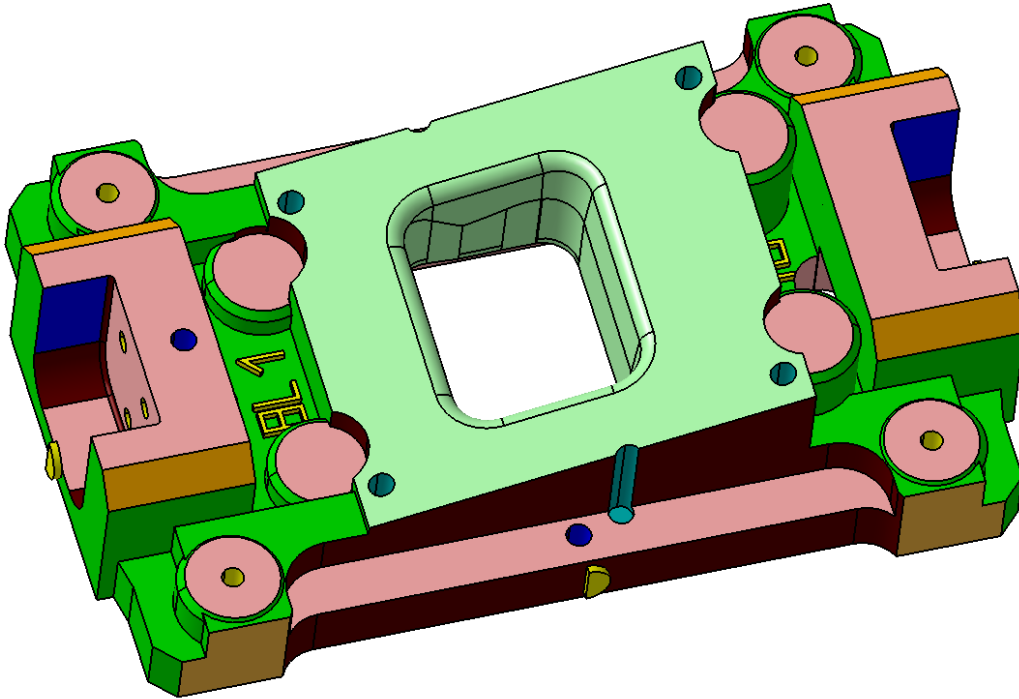
Na Obr. 4.15 je vyobrazena sestava spodní části nástroje (1). Je na ní umístěn tažník (2), přídržovač (3), krokové šrouby (4) – pojištění přídržovače vůči vypadnutí, distanční kostky (5) – vymezení vůle mezi tažníkem a tažnicí, středící kolíky (6), plynové pružiny (7) – nahrazují přítlačnou sílu přídržovače v sériových nástrojích, pera pro zajištění přesné pozice (8) a kluzné desky (9) pro přesné vedení horního dílu do spodního.



Obr. 4.15 spodní část tažníku se všemi prvky

#### 4.2.2 Horní část lisovacího nástroje

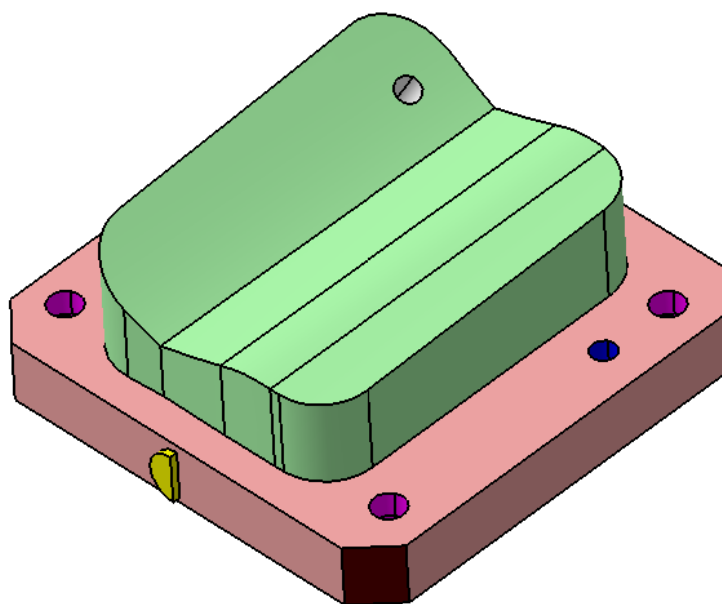
**Horní část** nástroje je opět složena z více částí. Jedná se o kostru, rám, tělo, které je osazeno tažníkem a vodícími lištami. V horní části nástroje se ustavuje tažnice a jsou zde dosedací plochy. Horní část slouží jako protikus přidržovače. Tělo je vyrobeno z litiny s kuličkovým grafitem EN JS 2070 a váží 95 kg.



Obr. 4.16 model horní části nástroje

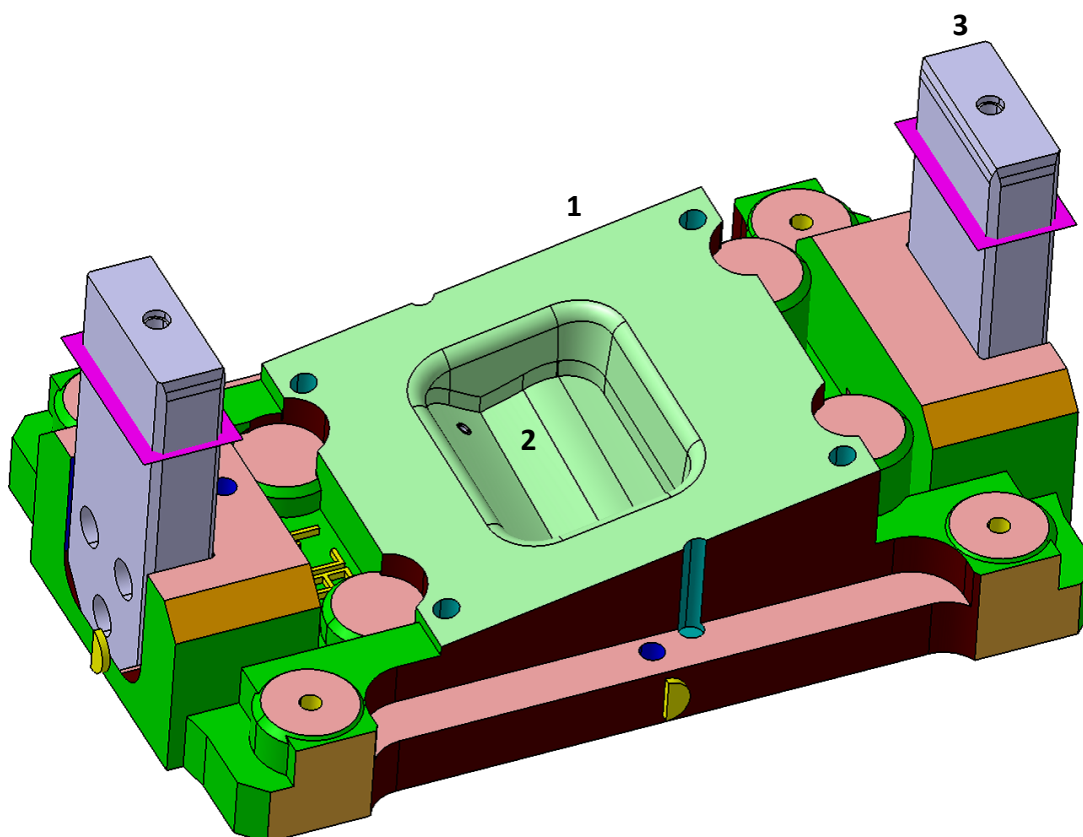
**Tažnice** je odlitek ze šedé litiny s kuličkovým grafitem EN – JS 2070, tvar kopíruje tažník, ale bez jeho bočních stěn ty jsou pro všechny tažníky totožné, z tohoto důvodu jsou součástí horního dílu nástroje. V tažnici je tzv. známka dolisování, to je malý otvor, který pro dolisování na plechu vytvoří malé kolečko.





Obr. 4.17 model tažnice











Na Obr. 4.18 je vyobrazena sestava horní část tažníku (1). Je na ní umístěna tažnice (2) a vodící desky (3) – slouží k vedení nástroje.



Obr. 4.18 sestavená horná část zkušebního nástroje

Jednotlivé barvy nástroje znázorňují drsnost povrchu

Tab. 4.1 význam barev ve 3D modelu

Význam barev 3D modelů nástroje				
Barva	Název barvy	Označení	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]
	Zelená	Neopracované plochy odlitků.		
	Olivově zelená	Činná tvarová část nástroje	4	0,4
	Růžová	Jemné obrábění frézováním.	16	3,2
	Červenohnědá	Hrubé obrábění	100	12,5 - 25
	Medově žlutá	Nefunkční plocha obrobená pro zamezení kolizi.	100	12,5 - 25
	Modrá	Stružené otvory, přesné plochy	6,3	0,8
	Žlutá	Závity		
	Purpurová	Stupňové vrtání (např. otvory pro šrouby)	10	6,3
	Zlatá	Bronzové kluzné desky		
	Šedá	Nakupované komponenty		

Obr. 4.9 – Obr. 4.18 jsou vykreslené z programu Catia V5 R18

### 4.3 Úprava povrchových vlastností činných částí nástrojů

Velmi důležitá je úprava povrchových vlastností nástroje. Je zapotřebí povrch nástroje zpracovat tak, aby byl tvrdý a odolný vůči mechanickému a abrazivnímu opotřebení, ale ne křehký. To se provádí pomocí tepelného zpracování a to kalením. Kalení je změna struktury kaleného materiálu. Toho se dosáhne ohřátím materiálu s následným rychlým ochlazením. Výsledkem je struktura, která má vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení. Je důležité tepelně zpracovat jen povrch nástroje, protože při tvářecím procesu dochází k rázům a příliš tvrdý nástroj by mohl prasknout. Zároveň by bylo prakticky nemožné nebo velmi obtížné tepelně zpracovávat rozměrné odlitky jako jsou nástroje pro tvářeni. Proto se zpracovává jen povrch nástroje a jádro se nechává přirozeně houževnaté a poddajné. Ovšem i při prokalení jen svrchní části nástroje hrozí při velmi vysoké tvrdosti vylomení či odloupenutí části povrchu. Proto je tento krok velmi složitou operací. Pro správnou funkci nástroje je zapotřebí mít malou drsnost povrchu. Ta plní dvě funkce a to malé tření plechu při tvářecím pochodu a současně zabraňuje nadměrnému opotřebení nástroje. Drsnost povrchu by měla být maximálně Ra 0,4, jinak hrozí špatné „tečení“ materiálu mezi tažníkem a tažnici nebo

dokonce k jeho přetržení. Povrchové vlastnosti povrchu mají velký vliv na kvalitu výlsků a na životnost nástroje.

Kalení je proces, kde dochází k přesycení tuhého roztoku uhlíku v železe. Ten je charakteristický svou jemnou strukturou a vysokou tvrdostí. Při rychlém ochlazení se materiál nestíhá vrátit do původní struktury a uchovává si vlastnosti nově vzniklé struktury. Tedy povrch poté zůstane tvrdý a odolný vůči otěru. Nevýhodou je ale jeho křehkost a náchylnost k vylamování. Proto je velmi důležité, aby kalený povrch měl přesné hodnoty tvrdosti. Při kalení dochází k nárůstu objemu, kde je potřeba si nechat přídavek na pozdější obrábění a leštění povrchu.

#### 4.3.1 Indukční kalení

Indukční kalení má velkou výhodu ve vysoké rychlosti ohřátí materiálu. Oproti jiným způsobům ohřívání materiálu je indukční ohřev jednoznačně nejrychlejší a nejlevnější způsob ohřátí materiálu. Ohřívá se přímo daný materiál bez zprostředkování nějakého média. Je založené na principu vířivých proudů, které se indukují v elektromagnetickém poli. Vodivý materiál v tomto poli je rozkmitán vysokou rychlostí a díky působení tření na molekulové bázi dochází k rychlému ohřevu materiálu. Materiál lze ohřívát celý, například v indukční peci, ale toto řešení by nebylo pro náš nástroj příliš ideální, nebo se dá indukčně ohřívát jen malá část formy, například ostrá designová hrana, kde indukční ohřev může mít tvar této části formy a tím nebude tepelně ovlivňovat jiné části nástroje. Tepelné ovlivnění jiných částí formy je nežádoucí. Kalí se na tvrdost  $56 \pm 2$  HRC ve vzdálenosti 10 – 15 mm. Proces lze provádět jak strojně při velkých sériích, tak i ručně při kusové výrobě

#### 4.3.2 Laserové kalení

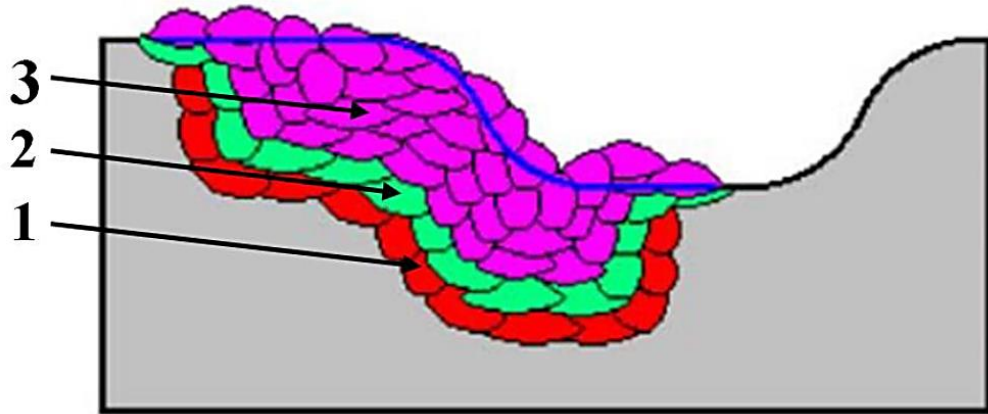
Laserové kalení patří k moderním způsobům kalení. Má velkou výhodu v možnosti kalení jen určité části součásti a také v rychlosti a přesnosti procesu. Bez zmíněné technologie bylo vždy velmi složité tepelně zpracovávat jen určitou část výrobku. Bylo zapotřebí nejprve části nástroje tzv. vymaskovat, aby nedocházelo k tepelnému ovlivnění jiných částí formy. Následně po procesu kalení bylo zapotřebí přidané maskování odebrat. Tento proces byl zdoluhavý a pracný. Indukční a laserové kalení značně proces zrychlily, usnadnily a do jisté míry umožnily, aby nástroje byly členitější. Prokalení jen určité části materiálu nám zajišťuje zbylá masa železa

dostatečný odvod tepla, tím dochází k ochlazení místa kalení. Má to za následek tzv. samokalící proces. Toto je výhodou oproti indukčnímu kalení, není potřeba formu nadále ochlazovat. Zároveň to je i nevýhoda této metody, kde nelze prokalit velkou část materiálu, ale jen vždy menší část – menší hloubku. Lze dosáhnout tvrdosti až 62 HRC. Tento proces je rychlejší než indukční kalení a méně ovlivňuje okolní materiál. Nevýhoda je menší prokalená hloubka.

### 4.3.3 Ruční navařování

Navařování je obdobný proces jako svařování (spojování materiálu nerozebíratelným spojem) s tím rozdílem, že nespojujeme dva materiály, ale přidává se materiál na již vyrobenou součást. Touto technologií můžeme nanášet vrstvičku nového materiálu, který může mít jiné vlastnosti než původní materiál. Navařováním lze změnit mechanické vlastnosti a to především tvrdost. Další podstatné využití je oprava již vyrobených a opotřebovaných nástrojů či kladek. U lisovací formy, vlivem používání, dochází k opotřebování, u takového nástroje může dojít k opotřebení, například k odštípnutí kusu nástroje či změně geometrie. Bylo by velmi neekonomické daný nástroj vyhodit. Proto je vhodné místo, u kterého se vyskytl problém, opravit navařováním. Navařováním dodáme potřebný chybějící materiál a po následném broušení je možno docílit původního tvaru.

Navařování se v tomto případě používá pro zvýšení tvrdosti povrchu v místě, které je velmi exponované a bez dodatečné povrchové úpravy by docházelo k rychlému opotřebení. Navařování probíhá tak, že se nejprve musí očistit dané místo od nečistot, jako jsou mastnoty a zbytky po obrábění. Poté je forma přehřátá na zhruba 200°C (Přehřev je využíván ke spálení grafitu v povrchové vrstvě a k odstranění nečistot). Po zchlazení na přibližných 70°C následuje samotné navařování. Nejprve se navařuje nová vrstvička niklovými elektrodami nebo se používají niklové přídavné materiály. Tento první návar má podobnou tepelnou roztažnost jako litina a dále pak zabraňuje přeměně litiny z kuličkové na lupínkovou. Po dokončení tohoto návaru se používá návar železoniklovými elektrodami nebo materiály. Tato vrstva snižuje riziko vzniku trhlin. Poslední vrstva je samotný tvrdonávar, který má požadované vlastnosti.



Obr. 4.19 tvrdonávar na funkčním rádiusu [3]

1 – Podkladová vrstva, 2 – přechodová vrstva, 3 – tvrdonávar

Vzhledem k předchozím dvěma metodám zpevňování určité části nástroje tato metoda vnáší do lisovacího nástroje velké vnitřní pnutí, které je způsobené vysokou teplotou svařování. Je tedy zapotřebí zajistit určitý postup při navařování, aby nedocházelo k vnášení velkého tepelného pnutí do materiálu. Většinou se aplikuje postup nanášení housenek po 30mm a po zchladnutí se teprve nanáší další housenky za sebou. Důležité je, že je možné takto doplňovat chybějící materiál po opotřebení nástroje.

#### 4.3.4 Laserové navařování

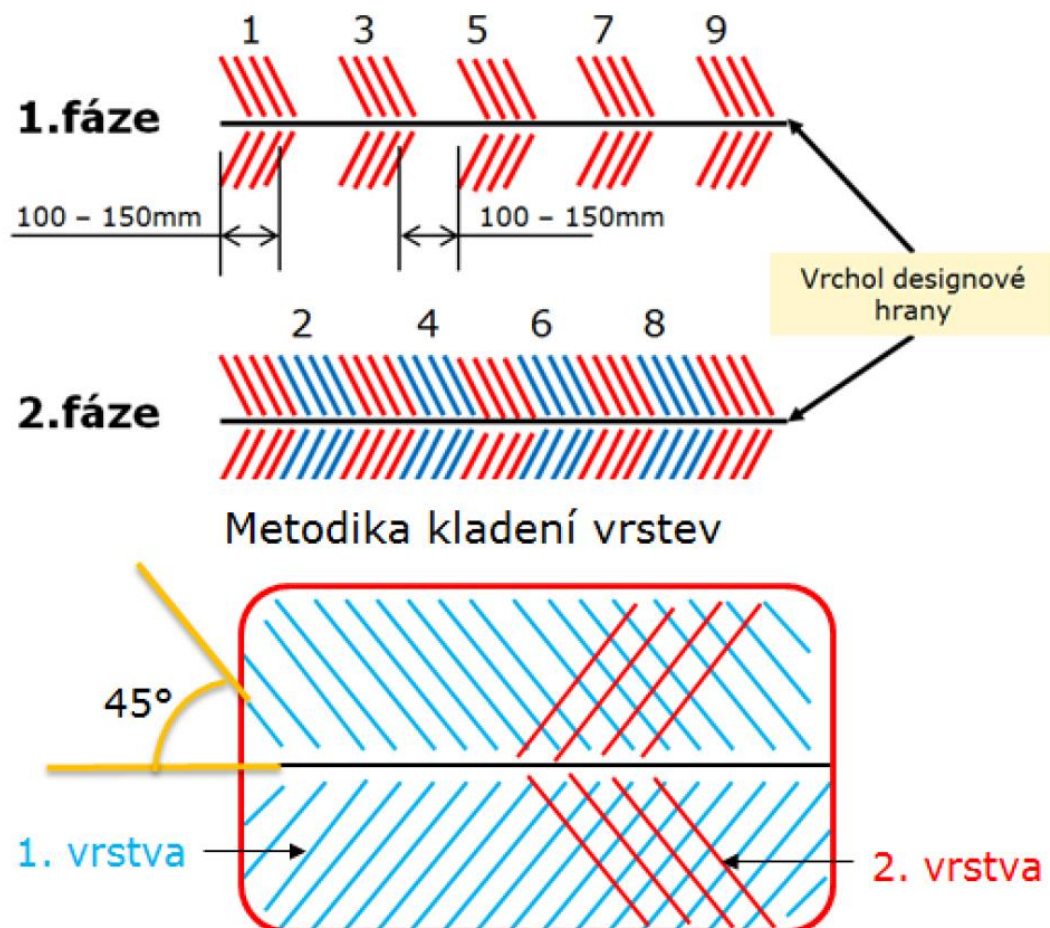
Jak bylo zmíněno v předchozím textu, navařování na litinu (z důvodu vysokého obsahu uhlíku) je obecně problém a může dojít k chybě při navařování z důvodu složitého technologického procesu. Toto pomáhá kompenzovat navařování laserem, kde nepřesné navařování dělníka nahradí stroj. Minimálním přidaným teplem do základního materiálu nemění laserový paprsek vlastnosti kovu a minimalizuje riziko vzniku trhlin. Navařovaným materiálem je buď prášek, nebo drát. Drát se využívá spíše pro ruční navařování laserem. Prášek se používá spíše k navařování, které je automatické. Prášek se do tavicí lázně přidává několika způsoby. Lze ho přidávat boční tryskou, dvěma radiálními tryskami nebo symetrickými tryskami. Jako laser se používá vláknový laser, který má větší účinnost a je rozměrově menší.

V místě, kde je zapotřebí navařit nový, jiný nebo kvalitnější materiál se nejprve odebere původní materiál, který je poté zaplněn návarovým. Materiál se odebrá zhruba do hloubky 1,5 mm a délka návaru se pohybuje okolo 15 mm. Pokud je délka

navářované hrany větší, je třeba ji skládat z částí, které jsou dlouhé max. 15 mm. Je to proto, abychom do materiálu nevnesli velké teplo.

Existují dva způsoby laserového navařování. Jedním z nich je navařování pod úhlem 45 stupňů, u kterého se vynechávají návary, které se vyplní po vychladnutí předchozích housenek. Toto eliminuje vnitřní napětí materiálu, kde by mohlo docházet k trhlinám. Tento způsob se několikrát opakuje s tím, že se vždy otočí směr kladení housenek. Další housenky jsou navařovány napříč těch původních a tím dojde k výraznému zpevnění povrchu a zároveň v povrchové vrstvě se minimalizuje napětí.

Druhý způsob (tzv. křížová metoda) vyžaduje méně přidaného materiálu. Housenky se nanášejí rovnoběžně ve směru s designovou hranou. Opět se nenanášejí najednou, ale nechávají se 10 – 15 mm mezi jednotlivými housenkami, aby nedocházelo k prnutí především v navařovaném materiálu. Tento způsob je rychlejší.



Obr. 4.20 ukázka laserového navařování housenek - křížová metoda [3]

Vzhledem k celkovým nákladům spojené s výrobou lisovacích nástrojů není ekonomické hledisko na prvním místě. Především jde o kvalitu a stálost výroby. Proto ekonomické porovnání jednotlivých technologií nebude provádět, není to primární účel této diplomové práce.

#### 4.4 Specifikace lisu

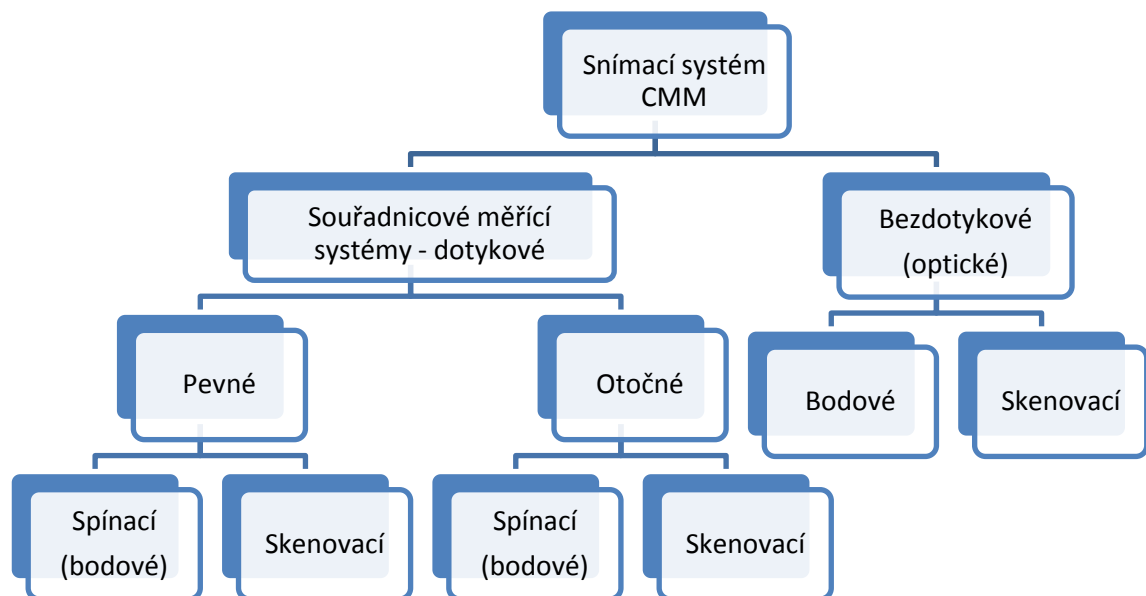
Nástroj byl původně konstruovaný pro výstředníkový lis LEN 63C, ale vzhledem k problémům spojených s instalací, byl nástroj vložen a upnut do hydraulického lisu PEY 250. To lze považovat za výhodu, protože i Škoda Auto, a.s. vyrábí své karoserie na hydraulických lisech a tedy testování bude více reálné. Hydraulický lis po odlisování ještě chvíli zůstává ve spodní úvrati a poté se teprve vrací do horní úvrati, je to výhodné pro tváření plechů.

Tab. 4.2 specifikace hydraulického lisu PEY 250

Hydraulické lis PEY 250	
Jmenovitá tvářecí síla	250 t
Rozměry pracovního stolu	900 x 630 mm (délka x šířka)
Rozměry beranu	750 x 450 mm
Výkon elektromotoru	24 kW
Rozměry tvářecího lisu	2200 x 1250 x 3510
Hmotnost stroje	8,3 t

## 5 Metody měření nástroje

Pro měření opotřebení nástroje lze obecně zvolit více způsobů. Především záleží na typu opotřebení a na požadavku přesnosti vyhodnocení. V zásadě lze opotřebení měřit dotykově a bezdotykovým měřicím systémem. Bezdotykový měřicí systém je optický, jde o princip snímání povrchu za pomoci světla jak dopadajícího, tak odražejícího. Bezdotykové měření není pro tuto aplikaci vhodné z důvodu vysoké kvality povrchu tažníku, který odráží paprsky mimo snímací hlavu. Výhodou je ale rychlost této měřicí metody. Oproti tomu dotykový systém je pro tyto podmínky vhodnější, je ale daleko více pracný a analýza je časově náročnější.



Obr. 5.1 schéma znázorňující možnosti měření CCM [5]

Přesné měření opotřebení nástroje je velmi důležité. Části vnější karoserie na sebe přesně navazují a je tedy potřeba zajistit přesné slícování jednotlivých dílů, v průběhu zkvalitňování a zpřesňování výroby vznikly poměrně vysoké standardy, které je potřeba zachovat po celý výrobní cyklus daného produktu. Nástroj, se poměrně rychle opotřebovává a následkem toho vznikají tvarové a rozměrové nepřesnosti. Mohlo by se stát, že by tvarová plocha, jako je tornádo linie, v přechodu mezi jednotlivými hranami (panely) karosérie nenavazovala. Proto je zapotřebí daný tvářecí nástroj často a správnou metodou kontrolovat.



Ve Škoda Auto, a.s. jsou výlisky kontrolovány průběžně: na začátku, uprostřed a na konci lisovací dávky je odebrán výlisek, který je na 3D souřadnicovém stroji proměřen. Pak jsou prováděny auditové kontroly na vybraných 3 výliscích tzv. brouskovou metodou, kdy se „poškrábe“ výlisek, tím se zviditelní propadliny, a další auditové vady. Každý kus je kontrolován vizuálně, pracovník má k dispozici manuál se způsobem kontroly a seznamem kontrolovaných míst. Následně se výlisek umístí do přepravní kazety.

## 5.1 Souřadnicové měřicí systémy

Souřadnicové měřicí stroje představují jednu z nejvýznamnějších inovací v oblasti měření ve strojírenství. Konstrukce souřadnicových měřících strojů byla vynucena potřebou měření karoserií v automobilovém a leteckém průmyslu a potřebou měření u NC strojů ve strojírenské výrobě.

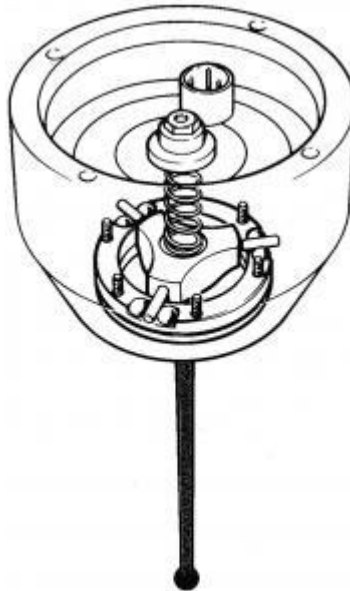
Princip souřadnicového měření spočívá v tom, že stanovíme základní bod v prostoru a polohy dalších bodů na měřené součásti měříme formou souřadnicových rozměrů v osách X, Y, Z. Možnost určení základního bodu v kterémkoliv místě pracovního prostoru měřícího stroje je velkou výhodou oproti konvenčním metodám.

Ve srovnání s tradičními způsoby měření, kde odečítání naměřených hodnot z jemných stupnic je nejen zdlouhavé, ale i namáhavé, představuje číslicový způsob vyhodnocení výsledků u souřadnicových měřících strojů značný krok vpřed. Mimo to je většina číslicových souřadnicových měřících strojů (CMM) uzpůsobena tak, že je možno k nim připojit zařízení pro záznam naměřených hodnot, které automaticky registruje naměřené body.

Záznam výsledku slouží k vyhodnocování naměřených hodnot. Naměřené hodnoty se porovnávají se skutečnými a to za pomoci 3D modelu součásti. Naměřené hodnoty lze porovnávat i bez modelu a to porovnáváním různých hodnot z výkresu, ale metoda není dostatečně produktivní a pro měření karoserií je nevhodná. Pro měření výlisků tak i forem pro lisování je nejvhodnější způsob porovnávání modelu v PC.

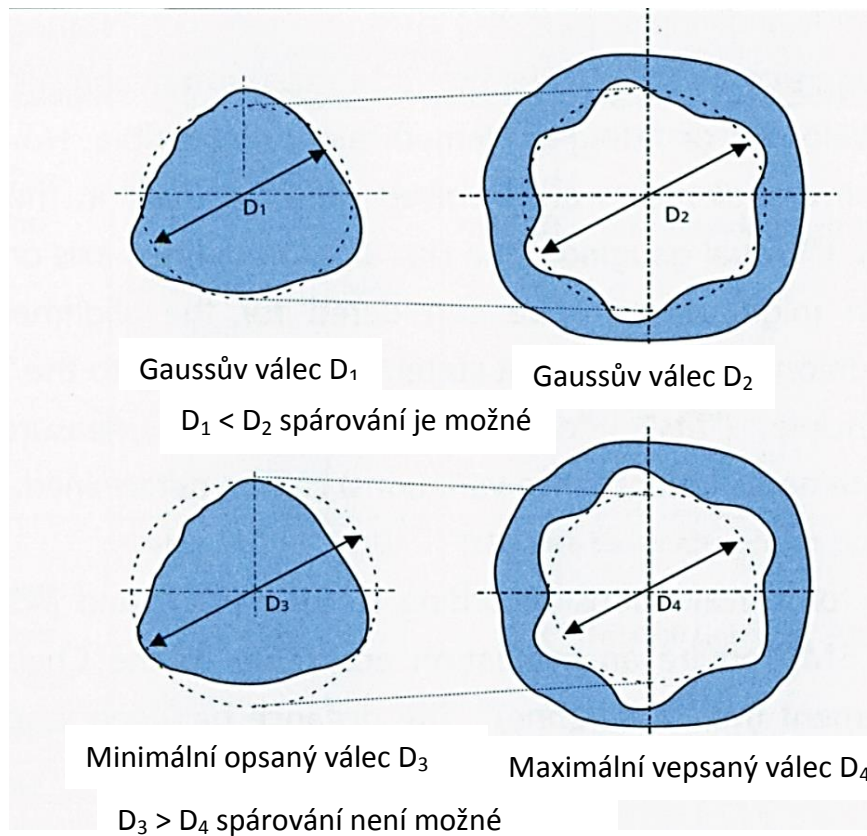
### 5.1.1 Dotyková spínací sonda

Tento princip zaznamenávání bodů je starý již 35 let. Byl to první způsob dotykového měření. V principu jde o to, že při dotyku měřící kuličky, se přeruší obvod v těle sondy a zaznamená se konkrétní poloha. Mechanismus sondy znázorňuje Obr. 5.2.



Obr. 5.2 schéma znázorňující dotykovou spínací sondu

V principu jde o tři dotyková místa, která se skládají ze dvou kuliček a jedné tyčinky, která zapadá mezi přesné kuličky. Pružina přitlačuje vidličky na broušené kuličky. Při odlehčení jednoho ze 3 míst, které jsou od sebe umístěny po  $120^\circ$ , dojde k přerušení obvodu a zaznamená se bod. Z nasnímaných bodů se poté vyhodnotí tvar výrobku. Nevýhodou tohoto měření je to, že při snímání se nemusí nasnímat dostatečný počet bodů nebo se některá extrémní místa do systému měření vůbec nezanesou. Například kruh se může měřit pěti body, které se proloží, ale pokud bude v odlitku staženina nebo vzduchová bublina jen v jedné malé části a sonda se daného místa nedotkne, na vyhodnocených výsledcích se chyba neprojeví. Další nevýhodou tohoto měření je metoda výpočtu geometrického tvaru prvku. Jde o to, že se musí z vybraných naměřených bodů, které se proloží, sestavit kružnice. Používá se metoda nejmenších čtverců anebo Gaussova kružnice. Princip metody je znázorněn na obrázku Obr. 5.3



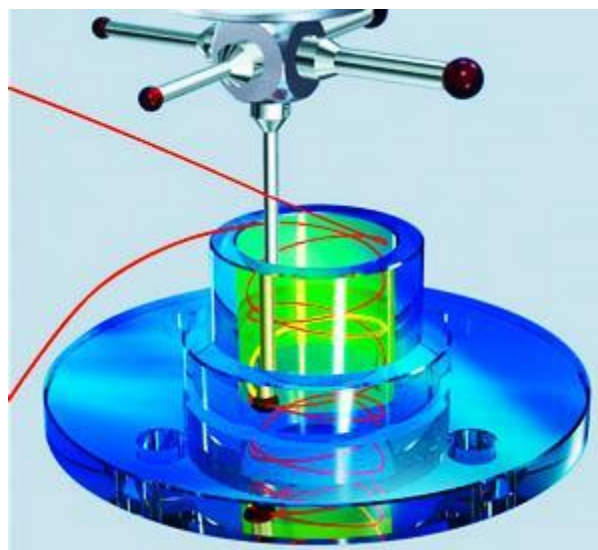
Obr. 5.3: metoda výpočtu geometrického prvku [10]

### 5.1.2 Kontaktní skenovací hlava

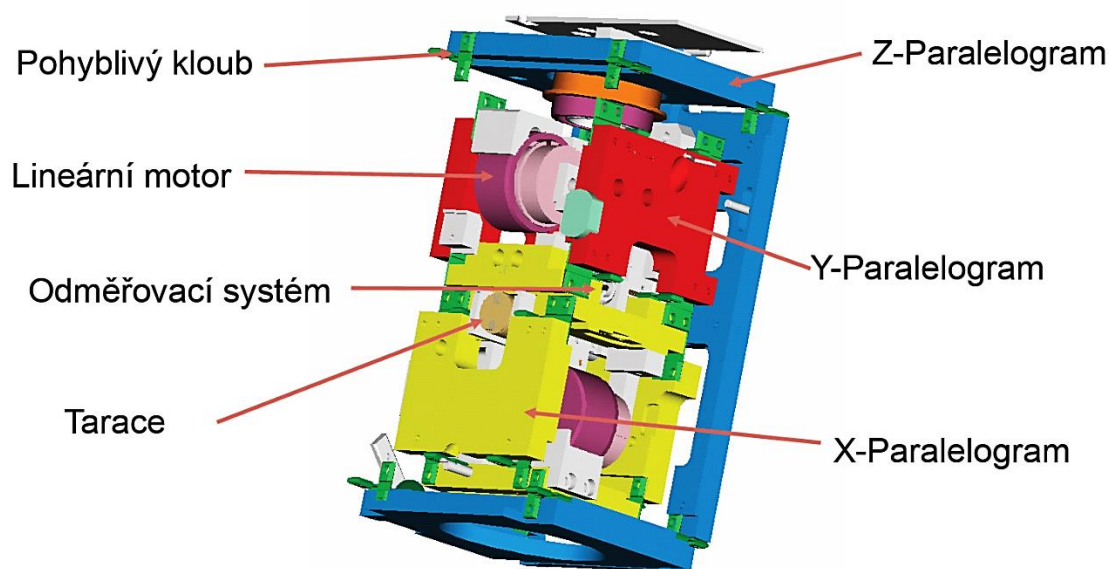
Na rozdíl od dotykové hlavy kontaktní skenovací hlava zaznamenává celou plochu, obrys, tvar zkoumaného předmětu, profilu. Nejsou zaznamenávány jen body, ale celý profil povrchu. To je velká výhoda oproti předešlé metodě. Nedojde k vynechání chyb způsobených při výrobě nebo na povrchu zkoumaného tvářecího nástroje. Hlava pracuje na principu snímání všech 3 os současně ve skenovací hlavě. Nepochází k snímání bodů, ale k průběhu snímání, skenování celého povrchu měřeného předmětu. Souřadnicový měřicí stroj podle souřadnic, které se určí podle modelu nebo výkresu, se přiblíží se skenovací hlavou k dané součásti na určité místo k měřené ploše. Skenovací hlava se pomalu přiblíží k povrchu a dotkne se. Poté souřadnicový stroj projede předem definovanou plochu a zaznamenává celý povrch předmětu. Na skenovací hlavu se dají přidat prodlužovací prvky, které umožňují měření i hůře přístupných místech obrobku nebo ve tvářecí formě. Pro naše měření výlisků a tažnice nám stačí pouze jednoduchý adaptér s jednou dotykovou sondou.



Obr. 5.4: skenovací hlava od firmy Zeiss



Obr. 5.5: princip měření za pomoci sceninku [10]



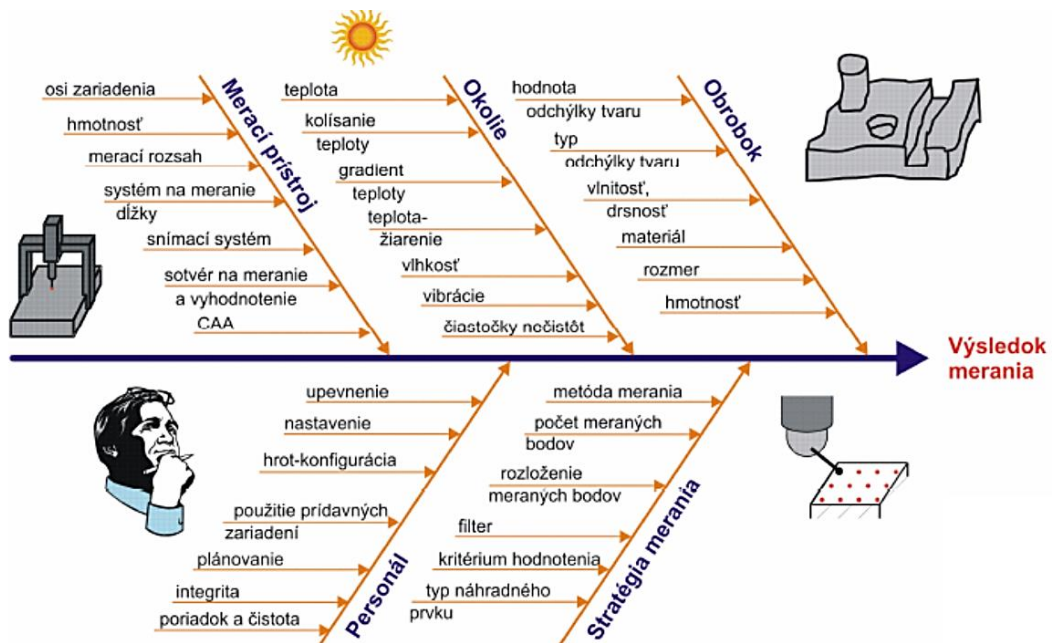
Obr. 5.6: konstrukce pevné skenovací haly [10]

V principu jde o malý měřicí mechanismus v dotykové hlavě, který zaznamenává skenovaný povrchu do souřadnic X, Y, Z pomocí souřadnicového měřicího stroje, a ten vykresluje geometrii snímaného tvaru. Hodnoty jsou poté zaznamenávány do PC a porovnávány s modelem nebo předepsanými hodnotami, tolerancemi a geometrickými polohami.

### 5.1.3 Strategie měření

Strategie měření přímo ovlivňuje naměřené hodnoty. Jak bylo popsáno výše, je velký rozdíl v počtu a poloze snímaných bodů. Velmi snadno se může stát, že do měřené oblasti se neprojeví chyby v povrchu nebo jeho nedokonalost jednoduše tím, že se na problém nenarazí. Proto je velmi důležité kolik a kde se body měří. Tomu se říká strategie měření. Pro náš tažník, potažmo vylišované plechy, je nevhodné měřit plochu tažníku, ale potřebuji kontrolovat ostrou hranu. Proto bude zvolena taková strategie, která bude schopná popsat, co se děje s naměřenou hranou s rostoucím počtem naměřených kusů.

Na Obr. 5.7 je znázorněno, kolik faktorů se projevuje do měření součásti. Nás především z tohoto obrázku zajímá strategie měření, kde jsou vypsaná nejdůležitější kritéria.

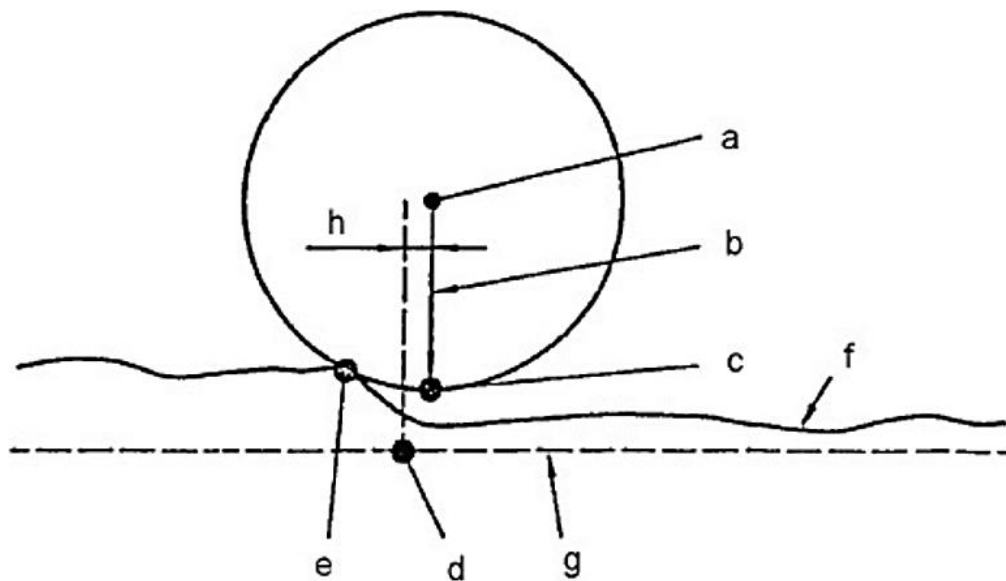


Obr. 5.7: faktory ovlivňující výsledek měření [11]

### 5.1.4 Konturograf

Z výše uvedeného je zřejmé, že metoda měření ostrého přechodu neboli kontury za pomoci kuličky není úplně vhodná. Nedostatečná citlivost dotykového měření za pomoci kuličky má za následek mechanické odfiltrování určitých typů nerovností, geometrických tvarů a podobně. Dotyková metoda by tedy nebyla schopná popsat dostatečně detailně a přesně změnu ostré hrany. Proto bude pro měření kontury, přechodu, používán konturograf, který je k tomuto určený. Následující obrázek Obr.

5.8 znázorňuje chybu měření při dotykové metodě kuličkou. V našem případě by docházelo k podobnému efektu při měření ostrého přechodu na nástroji.

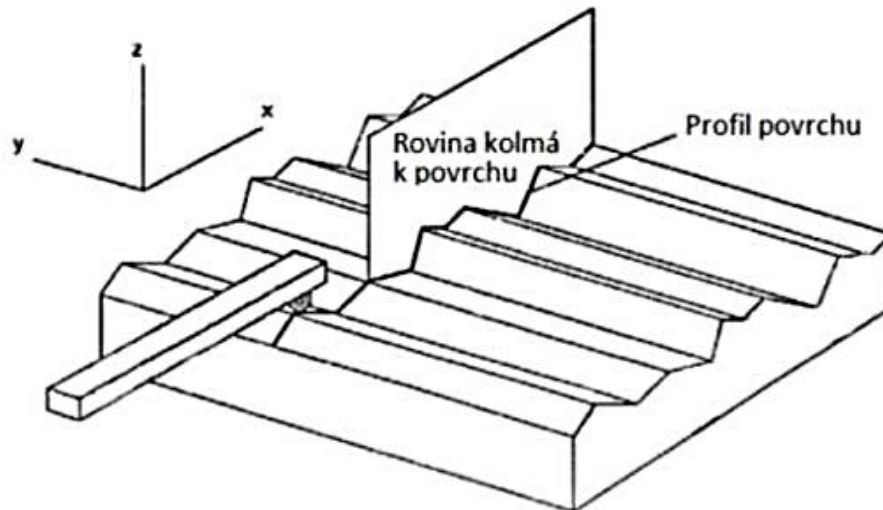


Obr. 5.8 znázornění nepřesnosti dotyku [10]

A – Indikovaný bod měření; b – korekční vektor hrotu; korigovaný bod měření; d- cílový bod dotyku; e – aktuální bod dotyku; f – skutečný bod dotyku; g – jmenovitý prvek, cílová skenovací čára; h – polohová chyba

Konturograf měří na podobném principu jako skenovací dotyková sonda, ale s tím rozdílem, že místo kuličky o definovaném poloměru povrch snímá hrot takřka bez zaoblení. Diamantový hrot, který snímá povrch je zkosen pod úhlem  $12^\circ$  a poloměr na špičce hrotu je 0,025 mm. Hrot se pohybuje po zkoumaném předmětu a následná změna výšky se mnohonásobně zvětší a je zaznamenána ve formě profilografů. Jde o snímání relativní, kde se pohybuje předmětem a hrot generuje měřenou dráhu. Je důležité, aby se s předmětem pohybovalo kolmo přes měřenou konturu, jinak se do měření zanáší chyba. V rovině řezu se získá profil, který je základním zdrojem informace pro vyhodnocování kontury (přechodu).





Obr. 5.9 Zobrazení správného směru snímání kontury [12]

Tato metoda snímání ostrého přechodu na zkušebním nástroji je ideální a bude se s ním měření provádět.

## 5.2 Snímací systémy optické – bezdotykové

Na některé aplikace se dotykové měření nehodí. Jsou to především měkké materiály, které se pod definovaným tlakem dotyku prohnu a tím ovlivňují výsledek měření. Špatně se dotykem měří například plechy, které jsou vyříznuté laserem a mají v sobě hodně menších otvorů s malou tloušťkou plechu. Dotyková kulička nemá dostatek prostoru k sejmutí bodu z plechu. Některé výrobky jsou tak složité, že by se musel měřit velký počet bodů a měření by probíhalo dlouhou dobu. Proto se vyvinuly i jiné metody, které jsou pro měření specifických předmětů vhodnější.

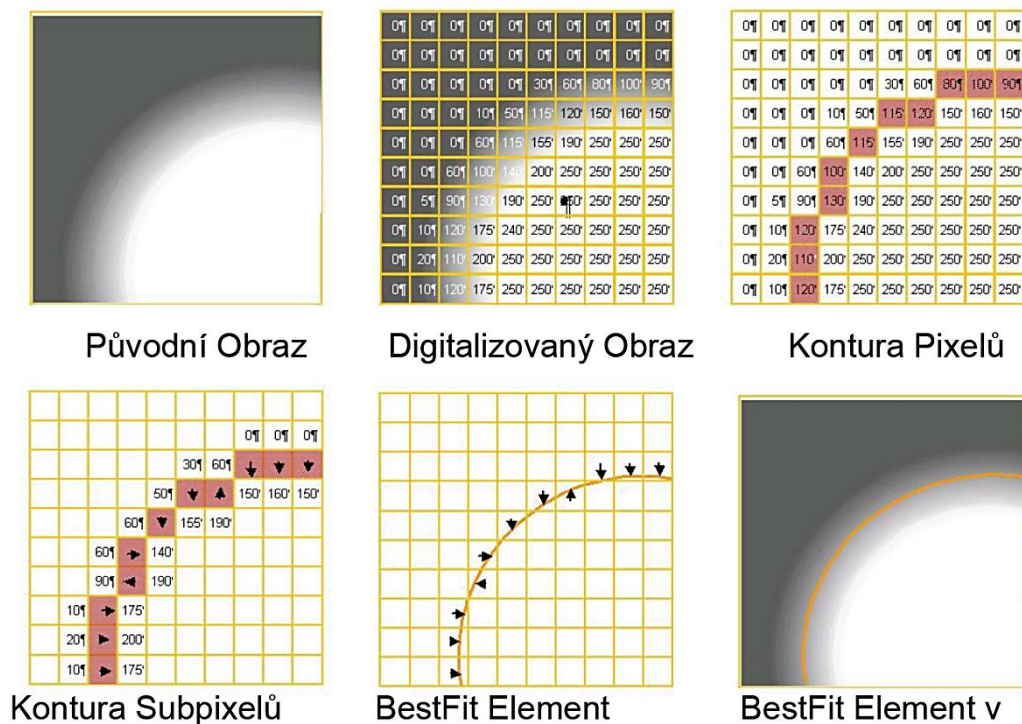
Nejčastěji pracují na optickém nebo laserovém principu. Snímání 3D souřadnic povrchových bodů je mnohem rychlejší, a proto se vyznačuje značnou produktivitou. Jejich předností je vysoký stupeň detailu ploch těžce přístupných mechanické sondě při jakékoliv velikosti kompletních dílů. Měření plochy probíhá bez poškození povrchu a vytváří vysokou hustotu informací (hustou síť bodů). Vytváří v podstatě numerický model z fyzického předmětu.

Problém optickým systémům dělá lesklý povrch, který odráží světlo od povrchu a vytváří tak falešné tvary nebo otvory. Tomuto se dá zabránit zmatněním povrchu,

který poté neodráží světlo, ale nevýhodou je, že se na měřený předmět nanese vrstva povlaku v řádech 20 mikronů, což ovlivňuje naměřené hodnoty.

Ani vyhodnocování obrazu není stoprocentní jako u předešlé dotykové metody. I zde hraje velkou roli, jak obraz vyhodnotíme a jakou k tomu použijeme metodu. Na následujícím obrázku je znázorněn systém analýzy obrazu u kruhového otvoru technologií CCD Kamerou (Charge Coupled Device). Nejprve se sejme obraz předmětu, poté na základě rozdílného kontrastu a za pomoci mřížky se vyhodnotí přechod kontrastu světla. Vyhodnocené body se proloží kružnicí. Právě vyhodnocení bodů a proložení kružnicí vnáší do měření nejistotu. Velmi záleží na to, jakou použijeme metodu k výpočtu kružnice. Lze použít metodu nejmenších čtverců anebo Gaussovu metodu.

Na obrázku Obr. 5.10 je znázorněna analýza obrazu



Obr. 5.10: analýza obrazu [10]

### 5.2.1 Bodové měření ve 2D

Na optický senzor se přenáší informace o poloze za pomoci světla. Z toho lze stanovit příslušné souřadnice. Zde budou zmíněny senzory, které umí zaznamenávat body jen v rovinách, například snímání plechu, který má v sobě vyražené otvory. Jedná se především o vizuální senzory a hranové senzory. U vizuálního snímání záleží na vyhodnocení daného obrazu obsluhou zařízení. Hranová metoda byla popsána jako



vzor pro zpracování obrazu v předchozí kapitole. Principem je snímání přechodu světla na přechodu mezi tmavými a světlými a z následujícího obrazu se poté vyhodnocují geometrické prvky.

### 5.2.2 Skenovací měření ve 3D

Oproti předchozí metodě se objekt snímá ve třech souřadnicích za pomoci optické metody triangulace a interference světla. Mezi tyto metody patří optické skenery, laserové skenery, mechanické skenery, ultrazvukové skenery, rentgenové skenery - počítačová tomografie. Tato technologie snímání zkoušeného předmětu je pro náš zkušební vzorek nejvhodnější. Tento princip měření bude dále více vysvětlen.

Počítačová tomografie je zařízením CT (Computed Tomography) patří mezi nejnovější způsoby měření a funguje na principu rentgenového záření. Před RTG zářič se umístí měřený předmět, který je zachytáván na detektoru, následně je obraz převeden do 2D pro další zpracování. S měřeným předmětem se rotuje kolem vlastní osy o 360° a zaznamenávají se jednotlivé 2D obrázky. Poté se v PC s 2D obrázků složí 3D objekt, který je možné porovnávat s modelem a měřit na něm odlišnosti. Tato technologie bezkontaktního měření je pro naše zkušební vzorky nejvhodnější. Bohužel je měření nákladné a proto bude měřen jen první a poslední kus výtažku a tažník bude měřen jen před tvářením a poté až po skončení celé série.

Škoda Auto, a.s. kontroluje spalitelné modely pro ztracené lití a již hotové a opracované nástroje za pomoci optického 3D skeneru ATOS Triple Scan od firmy GOM. Je to mobilní bezdotykový skener. Široká flexibilita měřících objemů umožňuje přesnou kontrolu kvality výroby, ukládání optimalizovaných dat z design aplikací, skenování poškozených tvarových vložek a celých sestav lisovacích nástrojů. Umožňuje měření reálných objektů a jejich následné srovnání s teoretickým modelem.

Dalším přenosným optickým měřícím systémem je TRITOP, který je určený k přesnému bezkontaktnímu měření polohy diskrétních bodů, kontrastních čar (prostřihů, ostřihových hran plechu, nakreslených čar na objektu) a viditelných značek na měřeném objektu. Proces měření je založen na principech fotogrammetrie. Měřený objekt je označen optickými body (samolepícími, magnetickými nebo speciálními adaptéry) a je snímán digitálním fotoaparátem z různých pozic v prostoru. Na základě digitálních snímků systém TRITOP vypočítá 3D souřadnice měřených bodů na objektu.

### 5.3 Výběr metody

Vzhledem ke specifickým potřebám měření ostrého přechodu dvou ploch na nástroji a jejich relativně malému opotřebení v závislosti k počtu vylisovaných kusů se jeví jako nejvhodnější metoda měření konturografem.

Dotyková skenovací metoda, která je prováděna ve Škoda Auto, a.s. není vhodná pro náš konkrétní typ měření, protože by nezaznamenala malé změny na ostré hraně nástroje. Další metody optického měření také nejsou vhodné. Jejich přesnost a vypovídající hodnota postačuje tam, kde je menší potřeba přesnosti měření.

Nejvhodnější z hlediska efektivity a kvality měření by byla kombinace měření pomocí dotykové skenovací hlavy a konturografu na jednom stroji.

## 6 Návrh měření geometrie výlisku

### 6.1 Princip měření dotykem

Součástí se je vhodné měřit několikrát v průběhu pokusu. Nejprve by měla být změřena před experimentem a následně po vylisování vždy 500 kusů. Předpokládaná dávka jednoho měřeného experimentu by měla být 5 000 ks. To znamená, že je potřeba několik upnutí tažníku do tvářecí formy a opět do měřicího stroje. Součástí je potřeba vždy ustanovit do stejné pozice jako v předešlém měření.

Vylisované plechy je doporučeno měřit až všechny najednou po skončení lisování.

Dalším krokem v procesu měření je konfigurace a kalibrace snímacího systému, která probíhá na měřicí kouli o známém průměru několika definovanými doteky. Příslušný kalibrační software poté vyhodnotí efektivní hodnoty snímacího systému, které ovlivňují výsledky měření. Třetím krokem je vyrovnání součásti, to slouží k určení základních souřadnic měřeného objektu v souřadnicích stroje. Dále pak se extrahovaly body, z kterých se vyhodnotilo měření. Z naměřených hodnot program vyhodnotí za pomoci metody výpočtů a filtrací geometrické a rozměrové nesrovnalosti vůči modelu součásti. V tomto případě by šlo o porovnání tvarové plochy tvářecího nástroje s modelem a následné vyhodnocení naměřených dat a tvorba protokolu.

### 6.2 Postup měření na konturografu

Měření probíhalo ve školní laboratoři měrového střediska za pomoci Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie (Ú 12134). Zkušební nástroj byl vyroben v nástrojárně Škoda Auto, a.s. Před samotným měřením prošel zkušební nástroj složitými kontrolními metodami, které výrobce provádí u všech svých lisovacích nástrojů. Bylo zapotřebí proměřit tažník, aby bylo patrné, jak se na něm v průběhu lisování mění geometrie ostré hrany. Měření bylo prováděno na konturografu MarSurf XCR 20 od firmy Marh před odlisováním první série 500 kusů. Měřil se tažník a zkušební výlisek.

Nejdůležitějším krokem bylo docílit výborné opakovatelnosti měření z důvodu vypovídací hodnoty. Vzhledem k tomu, že se na tažníku sledovala ostrá designová

hrana v závislosti na počtu odlisovaných kusů, bylo potřeba vždy po určitém počtu vyrobených vylisků proměřit ostrý přechod tak, aby bylo patrné, co se s hranou děje. Z toho vyplynula potřeba několikrát tažník upnout na konturograf, aby byla měřené vždy stejné místo designové hrany, aby byla měřena vždy stejná část tažníku.

Proto byly navrženy dvě metody upnutí. První z nich využívá drážky pro pera v tažníku, která slouží k přesnému ustanovení tažníku do nástroje. Je potřeba vyrobit přesný přípravek, který se upne na předem definovaný svěrák, který je připevněný ke stolu konturografu. Přípravek bude mít na sobě dvě pera, do kterých se vloží tažník a v místech, kde se tažník připevňuje k nástroji, budou upínky, které ho přidrží na přípravku. Druhá metoda je jednodušší, ale může vnést do měření lidskou chybu. Tažník se položí na svěrák, který bude mít dvě definované stěny, ke kterým se tažník přitlačí. Vzhledem k hmotnosti tažníku a malé přitlačné síly měření nehrozí odtlačení tažníku z místa přesně definované pozice.

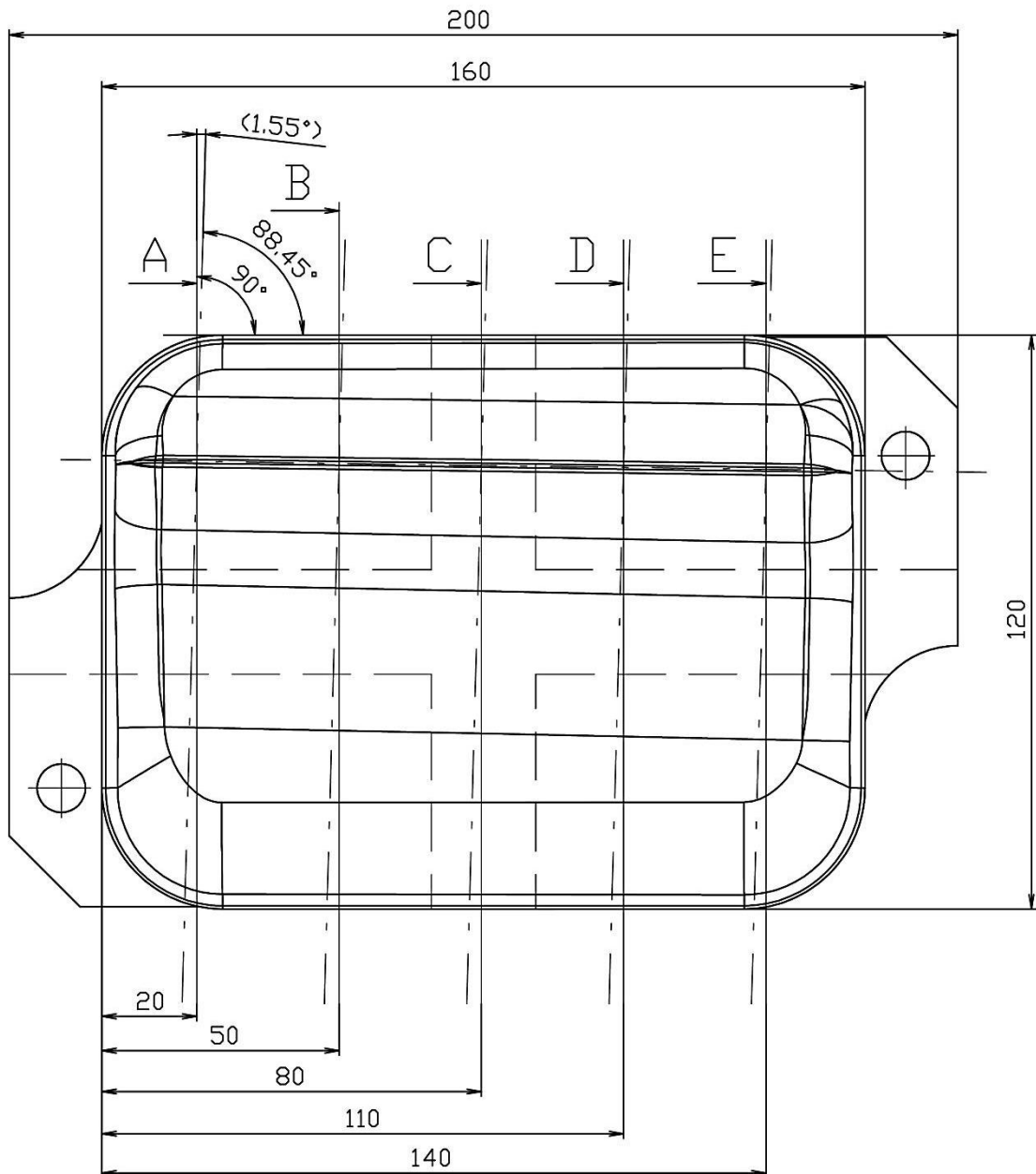
Realizována byla druhá ze zmíněných metod. Měření je potřeba provádět kolmo k ostrému přechodu, aby nedocházelo ke zkreslení při přejezdu nástroje. Proto je nutné svěrák potočit o úhel  $1^{\circ}55'$ . Dále bylo definováno pět míst, ve kterých bude prováděno měření.

Následující Obr. 6.1 měření na konturografu Obr. 6.1 znázorňuje měření ve školních laboratořích.



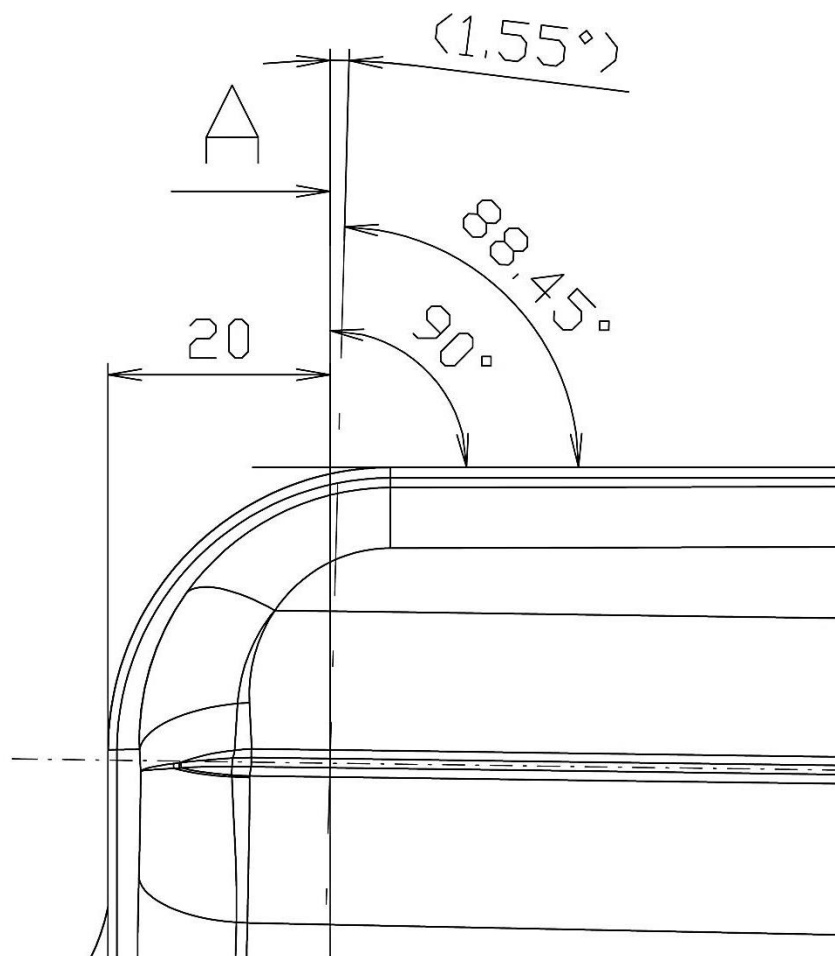
Obr. 6.1 měření na konturografu

Na dalším Obr. 6.2 je schéma, kde jsou vybrána nejvhodnější místa pro měření na konturografu. Jsou přesně definované a okótované roviny měření na tažníku i s natočením jednotlivých řezů. Na Obr. 6.3 je pro lepší představu vyobrazen detail části řezu A.



Obr. 6.2 schéma znázorňující místa měření a jejich natočení

Na Obr. 6.3 je detail řezu A a jeho natočení vůči dvou na sebe kolmým hranám



Obr. 6.3 detail místa snímání jehlou konturografu

## 7 Ověření vybrané metody měření

Nástroj k měření byl vyroben ve Škoda Auto, a.s. Při realizaci nástroje a jeho zapracování bylo nutné se vypořádat s řadou problémů. Jedním z problémů byla preference výroby sériového nástroje před výrobou zkušebního nástroje. Snahou Škoda Auto, a.s. bylo mít funkční sériové nástroje pro výroby vozidel a tím vznikla počáteční prodleva při výrobě zkušebního nástroje.

Dalším zdržením byla výroba odlitku. Vzhledem k požadavkům bylo komplikované najít vhodnou slévárnu a odlitek byl vyroben ve slévárně v Itálii, s tím byli spojené i problémy s dopravou, kdy do slévárny bylo nutné dopravit polystyrenový model a po odlití bylo nutné převést odlitek k dalšímu opracování.

Řešil se i problém s opracováním, kdy některé části nástroje bylo nutné přepracovat. Následně bylo provedeno zapracování nástroje a nástroj byl dopraven do laboratoře Ústavu strojírenské technologie, FS, kde probíhala instalace na lis. Při montáži se ukázalo, že umístění na lis LEN 63, pro který byl nástroj původně konstruován, není možné a bylo nutné hledat jiný lis.

Po zvažování byl nástroj instalován na hydraulický lis PYE 250 a následně bylo prováděno zapracování nástroje. Při zapracování se objevily další komplikace, bylo nutné řešit značné deformace v oblasti tornádolinie

Na obrázku Obr. 7.1 je zkušební výtazek natřený tuširovací barvou. Tuširovací barva znázorní na výtazku problematická místa, která by jinak nebyla patrná. Po odlisování zkušební vzorku bylo zřejmé, že je otlak na designové hraně a na boku výtazku.



Obr. 7.1 zkušební výtazek natřený tuširovací barvou



Dále pak bylo nutné řešit namáčknutí hrany výtažku, toto znázorňuje Obr. 7.2, po pravé straně výtažku si můžeme všimnout prasknutí plechu, k tomuto nesmí za žádných okolností dojít. Proto se musely provádět složité úpravy nástroje jako je broušení, leštění a ruční dokončování.



Obr. 7.2 zkušební vzorek s namáčknutou hranou



Obr. 7.3 zkušební výtažek z boku - je zde patrné otláčení



Další zkušební výtažek Obr. 7.4 je dalším stádiem opracování nástroje. Je zde vidět značné zlepšení, ale i zde je chyba ve formě přetažení konců výtažku – detail na Obr. 7.5 a Obr. 7.6. Tyto problémy se špatně odstraňují, hodně záleží na zkušenosti nástrojaře, který nástroj dokončuje a ze zkušeností ví, kde je potřeba část zbrusit anebo vyleštit.



Obr. 7.4 zkušební výtažek



Obr. 7.5 detail levá části výtažku



Obr. 7.6 detail pravé části výtažku



Obr. 7.7 postupná série jednotlivých zkušebních výtažků

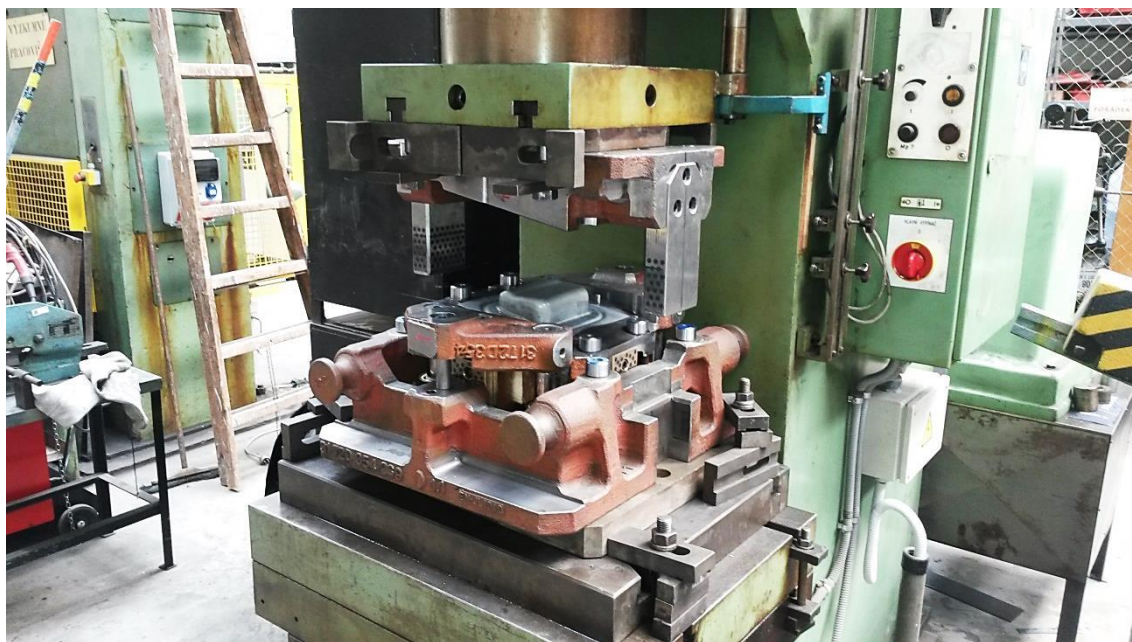
Z těchto důvodů nebylo možné provést naměření plánovaného spektra zkoušek. Vzhledem k problémům spojených s výrobou a instalací nástroje do lisu, byl nástroj k testování připraven těsně před termínem odevzdání této diplomové práce. Z těchto důvodů nemohlo dojít k měření v plném rozsahu, jak bylo plánováno. Pro měření byla vybrána metoda měření na konturografu a tou byl proměřen tažník a výtažek před samotným lisováním. I přes pozdní dodání nástroje se stihla metodika měření ověřit, ale nestihlo se odzkoušet opotřebení ostré hrany dle počtu vyrobených výlisků.

Tažník byl měřen na třech místech a to v řezu A, C a D. Měření ukázalo, že ostrá designová hrana má jiný poloměr, než který byl navrhnout. Je to s největší pravděpodobností způsobené tím, že tažník je dokončován ručně a je velmi složité dodržet přesnou geometrii. Pro naše měření toto zjištění není důležité, protože cílem je porovnání opotřebení původně naměřené hrany.

Dále pak byly změřeny dva zkušební výlisky. Vnitřní poloměr ostrého přechodu u vytažených plechů byl 1,6 mm. Je to důsledek tvaru tažníku a tažnice. Tažnice nemá ostrý přechod, ale jiný tvar, který dotváří ostrou hranu tak, aby měla požadovanou geometrii.



Na Obr. 7.8 je nástroj upnutý na lis PYE 250 pomocí upínek.



Obr. 7.8 zkušební nástroj upnutý v lisu

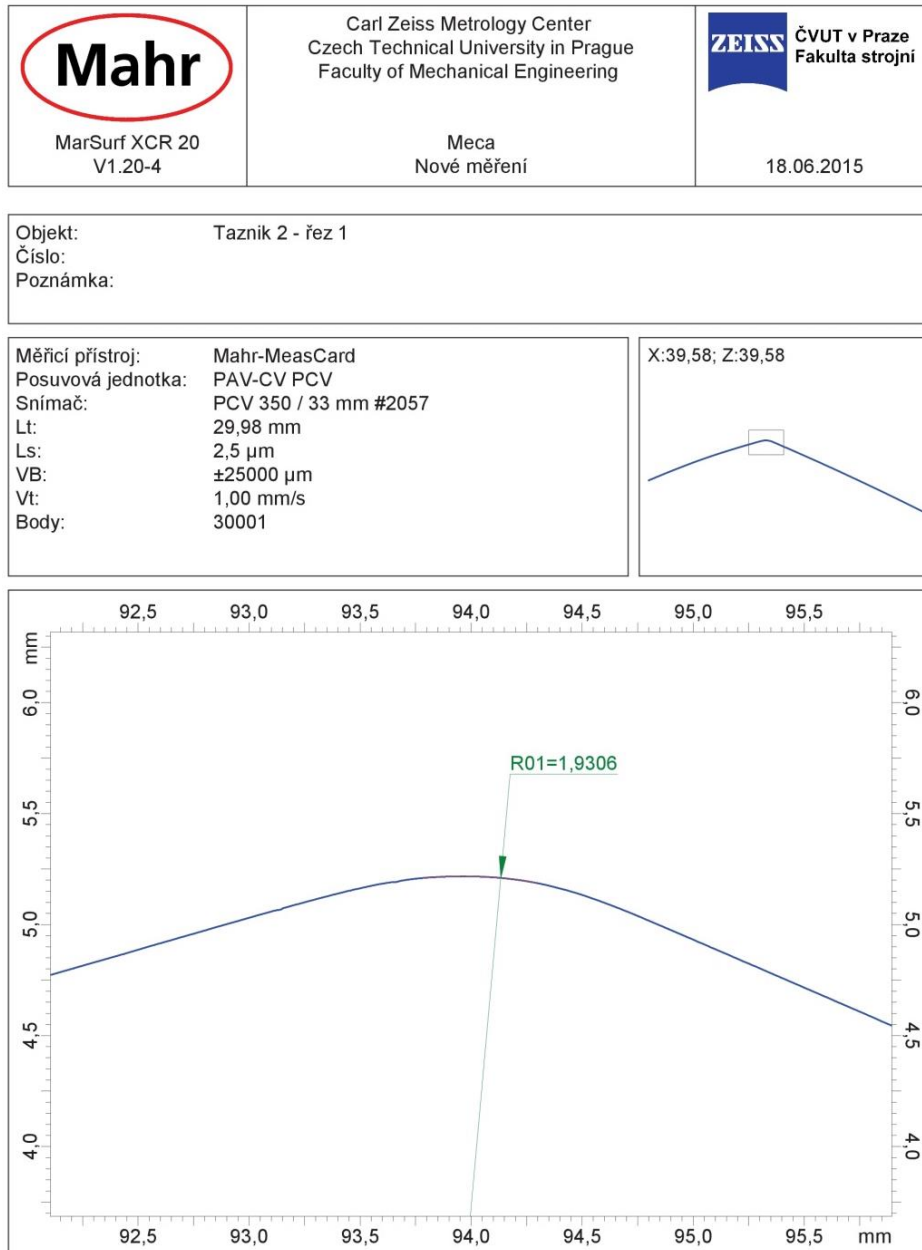
Detail na Obr. 7.9 je přídržovač a spodní část tažníku po odkrytí plechu, který slouží k ochraně tažníku před nečistotami.



Obr. 7.9 detail tažníku a přídržovače umístěného na lisu

Měření na konturografu probíhalo tak, že tažník byl ustanoven a byl naskenován ostrý přechod tornádolinie. Za pomoci software MarWin byl označen z naměřené křivky rádius, z kterého byla odečtena hodnota poloměru. Takto se postupovalo i u ostatních řezů na tažníku. Obr. 7.10 je protokol měření tažníku.

Všechny hodnoty poloměru na tažníky vyšly 1,96 mm. Viz příloha



Obr. 7.10 poloměr naměřený na tažníku řez A

Poté se měřily vnější a vnitřní hodnoty rádiusu zkušebního výtažku. Vnitřní rádius vyšel 1,60 mm a vnější rádius vyšel 2,7 mm. Vnitřní rádius vyšel s menším rádiusem než je poloměr ostré hrany na tažníku.

## 8 Návrh metodiky měření

### 1) Upnutí a zprovoznění nástroje

Nástroj je upínán na lis PYE 250 pomocí upínek. Následně je nutné nastavit polohy koncových spínačů. Jedná se o spínač horní polohy, který musí být nad nástrojem ve výšce nejméně 350 mm. To je z důvodu, aby bylo možné pohodlně zakládat přístřihy a vyjímat výlisky. Spínač pracovního zdvihu musí být v poloze, kdy tažnice dosedne na přidržovač. Snímač dolní polohy musí sepnout v poloze, kdy přidržovač dosedne na dorazy. Míra dosednutí se kontroluje otlakem na barvu.

Před lisováním je třeba funkční části nástroje namazat olejem.

### 2) Příprava přístřihu

Přístřih je stříhán na hydraulických nůžkách na rozměr 250 x 260 mm. Materiálová jakost musí být DC 06 nebo HX 180. Nominální tloušťka plechu musí být 0,7 mm (povolená tolerance je  $\pm 0,03$  mm). Každá dávka přístřihu musí být z hlediska tloušťky kontrolována.

Je důležité, aby plech, který bude používán jako přístřih, byl čistý. Jinak hrozí vnesení nečistoty do tvářecího nástroje a hrozí poškození (zejména vizuální, které se velmi špatně opravuje). A proto je zapotřebí ze svazku materiálu odstranit první a poslední plech, aby do nástroje nebyla zanesena nečistota. Při stříhání musí být zabráněno kontaktu plechu s nečistotami.

### 3) Zakládání přístřihu do nástroje a výroba výlisku

Před vložením přístřihu do nástroje musí být materiál očištěn, na každý 10. kus musí být naneseno lisovací mazivo používané při sériovém lisování ve Škoda Auto, a.s.

Z nástroje musí být odstraněn krycí plech.

Přístřih je zakládán do nástroje bez kolíků. Poté je spuštěn stroj a vyroben výlisek.

Upozornění: vkládání a vyjímání přístřihu zajišťuje pouze 1 člověk

Po skončení práce je provedeno zakrytí nástroje krycím plechem, proveden záznam počtu provedených výlisků.

V případě, že je odlisováno vždy každých 500 ks. výlisků, provede se označení výlisku a tento je odebrán k proměření. Dále je vyjmut tažník a zajištěno jeho proměření dle bodu 6 této metodiky.

#### **4) Příprava nástroje pro měření**

Pro vyjmutí tažníku je třeba uvolnit přidržovač. Následně je třeba na tažníku uvolnit upínací šrouby, opatrně tažník směrem nahoru uvolnit a vyjmout z nástroje. Volné části nástroje je nutné zakrýt zábranou proti prachu. Po proměření tažníku je vložen zpět do nástroje. Při vkládání je třeba dbát na uložení na pera, následně je třeba utáhnout upínací šrouby a vložit zpět díl přidržovače a provést jeho upnutí. V této chvíli je nástroj připraven pro opakování měření (dávka 500 kusů), opakování měření je realizováno nejméně 10 x, po každém měření je provedeno vyhodnocení opotřebení. V případě malého opotřebení je nutné měření opakovat dále.

#### **5) Měření opotřebení**

Po vyjmutí tažníku z nástroje je nejprve potřeba ho očistit a zbavit mastnoty. Toto se provádí pomocí čistících ubrousků a technického lihu. Upozornění - po odmaštění se již nesmí dotýkat měřených ploch nástroje. Poté se vloží tažník do předem nastaveného a připraveného svěráku na příslušném stroji.

Nyní se provede samotné snímání dat (měření) na konturografu nebo skenovací dotykovou hlavou. Naměřené hodnoty se zaznamenávají do PC, ve kterém je příslušný měřicí program. Je potřeba měření provádět za konstantní teploty a vlhkosti, aby nedocházelo k odchýlkám vlivem teploty.

Měření výtažku se bude provádět na předem vyrobeném přípravku, který bude upevněn na předem definovaném svěráku na měřícím stroji. Měření bude probíhat stejně jako u tažníku. S tím rozdílem, že budou měřeny oba dva rádiusy a to vnitřní a vnější – přesné ustanovení tažníku není nutnou podmínkou. Je to z důvodu, že měření probíhá pouze jednou na každém

výtažku a naměřené hodnoty slouží pouze k porovnání s naměřenými hodnotami tažníku.

## 6) Vyhodnocení měření

Vyhodnocení měření se provádí za pomoci příslušného programu na měřícím stroji. Podle typu měření se za pomoci programu odečítají hodnoty z naměřených dat. Vyhodnocení naměřených dat na konturografu probíhat tak, že se v programu označí rádius a odečte se hodnota a je vytvořen protokol o měření. Vyhodnocení měření na dotykovém skenovacím systému se provádí za pomoci programu, kde se porovnávají naměřené hodnoty s požadovaným modelem. Z těchto dat se následně vytvoří protokol o měření.

Vyhodnocování výtažku se bude provádět stejně jako tažníku.

## 7) Obecné informace

Nástroj obsahuje v současné chvíli 3 tažníky a 3 tažnice (jsou popsány čísly). Je třeba dbát na to, aby byl do nástroje vložen odpovídající tažník a tažnice. V případě špatné kvality výlisku je třeba kontaktovat pracovníky nářadovny Škoda Auto, a.s., aby byla provedena úprava pro lisování výlisku bez vad. Přidržovač je pro všechny 3 sady nástrojů identický.

V případě, že bude sortiment tažníků a tažnic rozšiřován, či v případě renovace nástrojů, je třeba jejich upínání do lisovacího nástroje konzultovat s pracovníky nářadovny Škoda Auto, a.s. Doporučuji číslovat výtažky na měření tímto číselným schématem T-Dx00-datum. T – číslo tažníku, D – číslo dávky, x – pořadové číslo tažníku. Poté by mohlo číslování vypadat následovně. 2-401-18.6. druhý tažník čtvrtá dávka a první kus ve čtvrté dávce a měření probíhalo 18.6.

## 9 Závěr

V diplomové práci jsem řešil problematiku tvařitelnosti, materiálů pro výlisky, výrobu a možné úpravy ostré designové hrany, opotřebení tvářecích nástrojů, možnosti a způsoby měření tvářecího nástroje. Následně jsem provedl popis možných metod měření deformace, popsal jejich výhody a nevýhody a vybral metody nejvhodnější.

Práce obsahuje popis lisovacího nástroje se specifikací hydraulického lisu PEY 20.

Provedl jsem prvotní měření výchozího stavu nástrojů a tvaru výlisku, další kontrolu tvaru jsem provedl po vylisování prvotních 200 ks. Větší počet výlisků nebyl možný z časových důvodů. Kontrolou měření jsem zjistil, že po provedených výliscích nebylo opotřebení zaznamenatelné.

Vytvořil jsem na základě zkušeností s provozem nástroje metodiku, podle které by mělo probíhat měření opotřebení nástroje.

Cílem diplomové práce bylo stanovit metodiku měření nástroje s ostrou designovou hranou. Vzhledem ke skutečnostem uvedeným v kapitole XXX nebylo možné provést měření deformace v plném rozsahu. I ve stísněném časovém úseku se stanovená metodika měření otestovala a ukázalo se, že je plně funkční a dostatečná. Za předpokladu dodržení této metody měření nebude docházet k chybě měření a naměřené hodnoty budou mít vypovídající hodnotou, to znamená, že budou popisovat tvar ostrého přechodu nástroje a bude patrný vliv počtu vyrobených kusů.

Zvolené a popsané metody měření tažníku jsou jedny z možných řešení. Proto by bylo přínosné zpracovat měření nástroje pomocí nové technologie a to skenování bílým světlem, které nemá omezení, jako běžné skenovací systémy. Výsledky by se porovnaly s naměřenými hodnotami na konturografu, případně s výsledky měření dotykovou metodou.

Při návrhu metodiky měření bylo uvažováno i o dalších technologiích úpravy ostrého přechodu na tažníku. Z různých možností dalšího upravení tažníku byly uvažovány dvě možnosti a to vložení jiného materiálu do nástroje. Vzhledem k tvarům tažníku by bylo možné uvažovat o vyrobení tornádolinie na tažníku ze slinutého karbidu. Je pravděpodobné, že by tato úprava mohla vykazovat větší životnost než shora uvedené metody úpravy ostrého přechodu. Další možná úprava spolu se



slinutým karbidem, by bylo povlakování ostré hrany za cílem snížit tření na ostrém přechodu.

Pro potřeby vyhodnocování tedy je důležité nejprve zajistit opakované přesné upnutí měřené součásti na měřicí stroj a vhodně zvolit četnost opakování měření. Naměřené hodnoty po té vyhodnotit pomocí grafu, kde na ose x budou počty vylišovaných kusů a na ose y změna poloměru ostrého přechodu.

# 10 Seznamy

## 10.1 Seznam použité literatury

- [1] ANAND K BEWOOR, Vinay A Kulkarni. Metrology. 2009. ISBN 00-701-4000-6
- [2] OREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [3] HULÍN, Radek. *Chování nástrojů při výrobě výlisků v oblastech designových hran*. Praha, 2014. Diplomová Práce. ČVUT FS.
- [4] LAMBERSY, Werner a Miroslav PÍŠKA. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
- [5] KLIBER, Jiří a Miroslav PÍŠKA. *Základy tváření kovů*. 3. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1794-1.
- [6] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [7] NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy technologie I: plošné a objemové tváření*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006, 136 s. Arbre à paroles. ISBN 80-010-3530-1
- [8] PRIMUS, František. *Teorie tváření plechu a trubek*. Praha: ČVUT v Praze, 1980.
- [9] KOTOUČ, Jiří. *Nástroje pro tváření za studena*. Praha: ČVUT v Praze, 1975.
- [10] BERÁNEK, Libor. *Průmyslová metrologie: PMTR\_1*. Praha, 2013. Prezentace. ČVUT FS
- [11] ČEPOVÁ, Lenka a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch: studijní opora* [online]. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011, 125 s. [cit. 2015-05-27]. ISBN 978-80-248-2514-4. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/019/dokumenty/METROLOGIE\\_FINAL.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/019/dokumenty/METROLOGIE_FINAL.pdf).
- [12] ČSN EN ISO 4287 (014450); *Geometrické požadavky na výrobky*. Praha: Český normalizační institut, 1999.

- [13] Technologie II: *Technologie tváření kovů*. Technická univerzita Liberec, FS: katedra strojírenská technologie [online]. [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm)
- [14] SOUŘADNICOVÉ MĚŘÍCÍ STROJE [online]. Technická Universita v Liberci, katedra výrobních systémů [cit. 2015-06-18]. Dostupné z: [http://www.kvs.tul.cz/download/rapid\\_prototyping/rp1\\_skripta.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf)
- [15] Digitalizace - její princip a rozdělení. MM Průmyslové spektrum [online]. 2004 [cit. 2015-06-18]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni.html>
- [16] Počítačová tomografie. CAD.cz [online]. 2010 [cit. 2015-06-18]. Dostupné z: <http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2114-pocitacova-tomografie-pro-presne-mereni-defektoskopii-i-reverzni-inzenyrstvi.html>
- [17] Obr. 1.1 Chevrolet Biscayne [online]. [citace z 2015-05-04]. Dostupné z www: <http://theman268.deviantart.com/art/1959-Chevy-Biscayne-265269964>
- [18] Obr. 1.2 Ford Fairlane Crown Victoria [online]. [citace z 2015-05-04]. Dostupné z www: [https://img.mecum.com/auctions/CA0812/CA0812-134063/images/CA0812-134063\\_2.jpg](https://img.mecum.com/auctions/CA0812/CA0812-134063/images/CA0812-134063_2.jpg)
- [19] Obr. 1.3 Opel Astra [online]. [citace z 2015-05-04]. Dostupné z www: [http://image.automobilemag.com/f/6701085%2Bw750%2Bst0/2003\\_fms\\_02%2B2004\\_opel\\_astra\\_hatchback%2Bfront\\_side\\_view.jpg](http://image.automobilemag.com/f/6701085%2Bw750%2Bst0/2003_fms_02%2B2004_opel_astra_hatchback%2Bfront_side_view.jpg)
- [20] Obr. 1.4 Kia Ceed [online]. [citace z 2015-05-04]. Dostupné z www: [http://www.zavolantem.cz/data/fotky/2009/07/14/kia\\_ceed.jpg](http://www.zavolantem.cz/data/fotky/2009/07/14/kia_ceed.jpg)
- [21] Obr. 1.5: Škoda Fabia třetí generace [online]. [citace z 2015-05-04]. Dostupné z www: [http://eurozpravy.cz/pictures/photo/2014/08/19/140819-20the-20new-20skoda-20fabia\\_front\\_resize-1408432424-ac885600\\_660x371.jpg](http://eurozpravy.cz/pictures/photo/2014/08/19/140819-20the-20new-20skoda-20fabia_front_resize-1408432424-ac885600_660x371.jpg)
- [22] Obr. 5.2 schéma znázorňující dotykovou spínací sondu [online]. [citace z 2015-05-04]. Dostupné z www: <http://www.mmspektrum.com/clanek/snimaci-technologie.html>
- [23] Obr. 5.4: skenovací hlava od firmy Zeiss [online]. [citace z 2015-05-04]. Dostupné z www: [http://www.inspectionengineering.com/Images/CZ\\_vastgold.gif](http://www.inspectionengineering.com/Images/CZ_vastgold.gif)

## 10.2 Seznam obrázků

Obr. 1.1 Chevrolet Biscayne.....	10
Obr. 1.2 Ford Fairlane Crown Victoria .....	10
Obr. 1.3 Opel Astra .....	11
Obr. 1.4 Kia Ceed .....	11
Obr. 1.5: Škoda Fabia třetí generace .....	11
Obr. 3.1 rozdělení dislokací [13] .....	17
Obr. 4.1 tažnice.....	22
Obr. 4.2 tažník.....	22
Obr. 4.3: tažnice.....	23
Obr. 4.4: detail tažnice.....	23
Obr. 4.5 tažník.....	23
Obr. 4.6: detail tažníku .....	23
Obr. 4.7 znázornění postupného tváření plechu ve zkušebním nástroji.....	24
Obr. 4.8 grafické znázorňuje tažení plechu na tažník.....	25
Obr. 4.9 model spodní část tažníku .....	27
Obr. 4.10 opracovaný spodní část nástroje po odlití.....	27
Obr. 4.11 model přidržovače zkušebního nástroje.....	28
Obr. 4.12 model tažníku .....	29
Obr. 4.13 spodní část tažníku je opatřena drážky pro pero .....	29
Obr. 4.14 fotografie vyrobeného tažníku .....	29
Obr. 4.15 spodní část tažníku se všemi prvky.....	30
Obr. 4.16 model horní části nástroje .....	31
Obr. 4.17 model tažnice.....	32
Obr. 4.18 sestavená horná část zkušebního nástroje.....	32
Obr. 4.19 tvrdonávar na funkčním rádiu [3] .....	36
Obr. 4.20 ukázka laserového navařování housenek - křížová metoda [3] .....	37
Obr. 5.1 schéma znázorňující možnosti měření CCM [5] .....	39
Obr. 5.2 schéma znázorňující dotykovou spínací sondu .....	41
Obr. 5.3: metoda výpočtu geometrického prvku [10].....	42
Obr. 5.4: skenovací hlava od firmy Zeiss.....	43

Obr. 5.5: princip měření za pomoci sceninku [10].....	43
Obr. 5.6: konstrukce pevné skenovací haly [10].....	43
Obr. 5.7: faktory ovlivňující výsledek měření [11].....	44
Obr. 5.8 znázornění nepřesnosti dotyku [10].....	45
Obr. 5.9 Zobrazení správného směr snímání kontury [12].....	46
Obr. 5.10: analýza obrazu [10].....	47
Obr. 6.1 měření na konturografu .....	51
Obr. 6.2 schéma znázorňující místa měření a jejich natočení .....	52
Obr. 6.3 detail místa snímání jehlou konturografu .....	53
Obr. 7.1 zkušební výtažek natřený tuširovací barvou.....	54
Obr. 7.2 zkušební vzorek s namáčknutou hranou .....	55
Obr. 7.3 zkušební výtažek z boku - je zde patrné otláčení .....	55
Obr. 7.4 zkušební výtažek .....	56
Obr. 7.5 detail levá části výtažku .....	56
Obr. 7.6 detail pravé části výtažku .....	56
Obr. 7.7 postupná série jednotlivých zkušebních výtažků .....	57
Obr. 7.8 zkušební nástroj upnutý v lisu .....	58
Obr. 7.9 detail tažníku a přidržovače umístěného na lisu .....	58
Obr. 7.10 poloměr naměřený na tažníku řez A .....	59

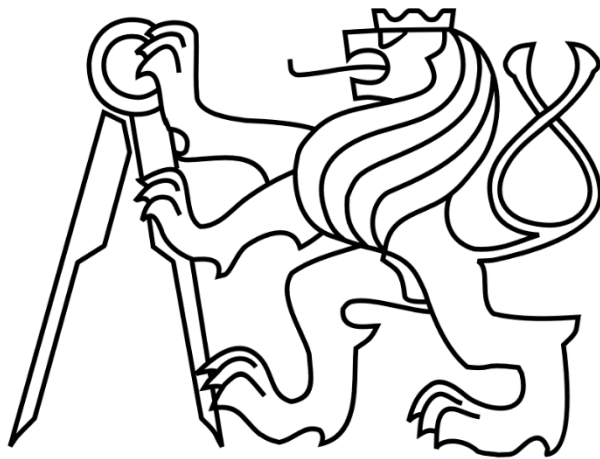
### 10.3 Seznam tabulek

Tab. 3.1 chemické složení materiálu DC 06 - hodnoty jsou v % .....	19
Tab. 3.2 mechanické vlastnosti materiálu DC 06.....	19
Tab. 4.1 význam barev ve 3D modelu.....	33
Tab. 4.2 specifika hydraulického lisu PEY 250 .....	38

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie



# Diplomová práce

**Sledování životnosti nástroje s ostrou designovou hranou**

**PŘÍLOHY**



MarSurf XCR 20  
V1.20-4

Carl Zeiss Metrology Center  
Czech Technical University in Prague  
Faculty of Mechanical Engineering



ČVUT v Praze  
Fakulta strojní

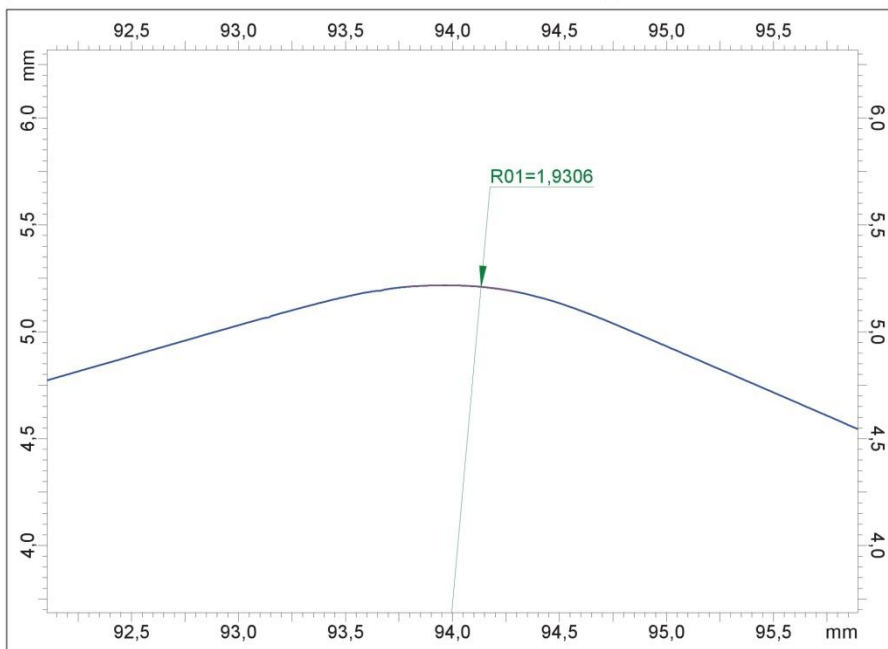
Meca  
Nové měření

18.06.2015

Objekt: Tazník 2 - řez 1  
Číslo:  
Poznámka:

Měřicí přístroj: Mahr-MeasCard  
Posuvová jednotka: PAV-CV PCV  
Snímač: PCV 350 / 33 mm #2057  
Lt: 29,98 mm  
Ls: 2,5  $\mu\text{m}$   
VB:  $\pm 25000 \mu\text{m}$   
Vt: 1,00 mm/s  
Body: 30001

X:39,58; Z:39,58





MarSurf XCR 20  
V1.20-4

Carl Zeiss Metrology Center  
Czech Technical University in Prague  
Faculty of Mechanical Engineering



ČVUT v Praze  
Fakulta strojní

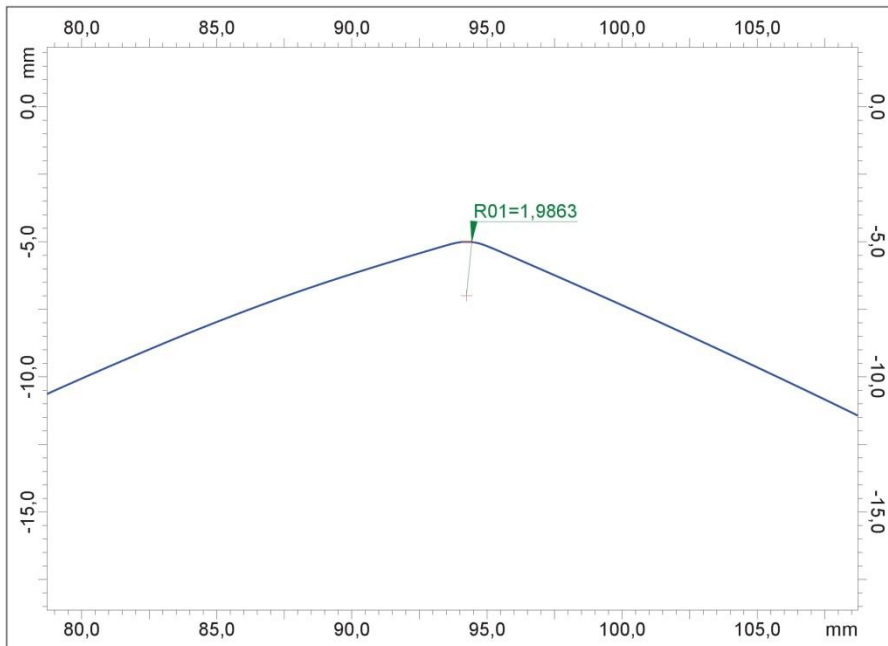
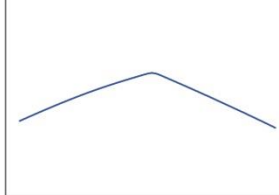
Meca  
Nové měření

18.06.2015

Objekt: Tazník 2 - řez 3  
Číslo:  
Poznámka:

Měřicí přístroj: Mahr-MeasCard  
Posuvová jednotka: PAV-CV PCV  
Snímač: PCV 350 / 33 mm #2057  
Lt: 30,00 mm  
Ls: 2,5  $\mu\text{m}$   
VB:  $\pm 25000 \mu\text{m}$   
Vt: 1,00 mm/s  
Body: 30001

X:5,00; Z:5,00







MarSurf XCR 20  
V1.20-4

Carl Zeiss Metrology Center  
Czech Technical University in Prague  
Faculty of Mechanical Engineering



ČVUT v Praze  
Fakulta strojní

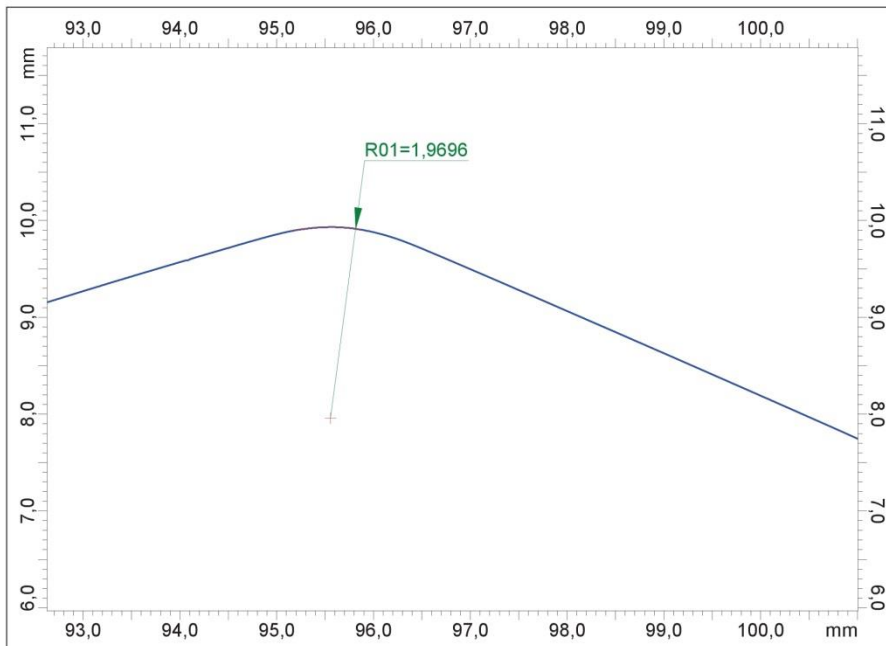
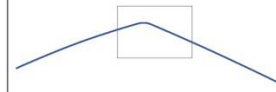
Meca  
Nové měření

18.06.2015

Objekt: Tazník 2 - řez 5  
Číslo:  
Poznámka:

Měřicí přístroj: Mahr-MeasCard  
Posuvová jednotka: PAV-CV PCV  
Snímač: PCV 350 / 33 mm #2057  
Lt: 29,95 mm  
Ls: 2,5  $\mu\text{m}$   
VB:  $\pm 25000 \mu\text{m}$   
Vt: 1,00 mm/s  
Body: 30001

X:17,91; Z:17,91





MarSurf XCR 20  
V1.20-4

Carl Zeiss Metrology Center  
Czech Technical University in Prague  
Faculty of Mechanical Engineering



ČVUT v Praze  
Fakulta strojní

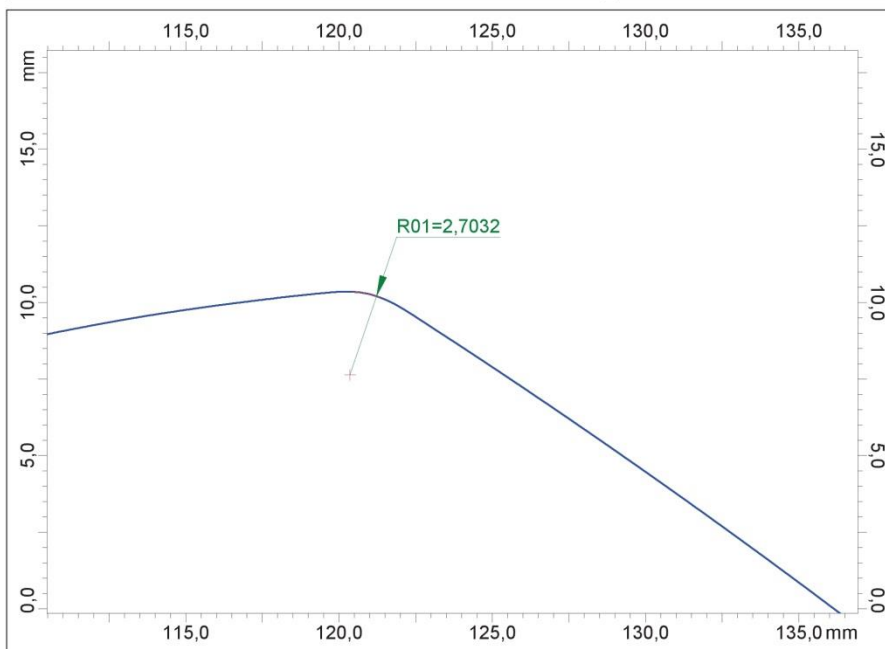
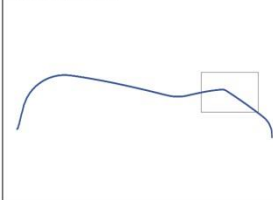
Meca  
Nové měření

18.06.2015

Objekt: Vzorek 1 venkovni radius  
Číslo:  
Poznámka:

Měřicí přístroj: Mahr-MeasCard  
Posuvová jednotka: PAV-CV PCV  
Snímač: PCV 350 / 33 mm #2057  
Lt: 118,38 mm  
Ls: 2,5 μm  
VB: ±25000 μm  
Vt: 1,00 mm/s  
Body: 118242

X:5,67; Z:5,67





MarSurf XCR 20  
V1.20-4

Carl Zeiss Metrology Center  
Czech Technical University in Prague  
Faculty of Mechanical Engineering

Beránek  
Nové měření



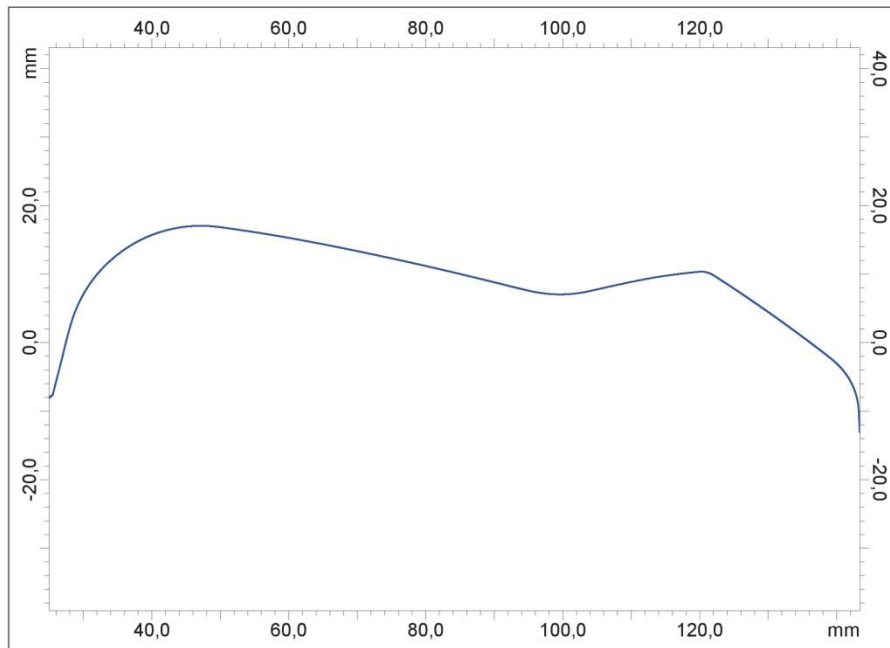
ČVUT v Praze  
Fakulta strojní

18.06.2015

Objekt: Vzorek 1 venkovni  
Číslo:  
Poznámka:

Měřicí přístroj: Mahr-MeasCard  
Posuvová jednotka: PAV-CV PCV  
Snímač: PCV 350 / 33 mm #2057  
Lt: 118,38 mm  
Ls: 2,5  $\mu\text{m}$   
VB:  $\pm 25000 \mu\text{m}$   
Vt: 1,00 mm/s  
Body: 118242

X:1,27; Z:1,27





MarSurf XCR 20  
V1.20-4

Carl Zeiss Metrology Center  
Czech Technical University in Prague  
Faculty of Mechanical Engineering

Meca  
Nové měření



ČVUT v Praze  
Fakulta strojní

18.06.2015

Objekt: Vzorek 1 vnitřní radius  
Číslo:  
Poznámka:

Měřicí přístroj: Mahr-MeasCard  
Posuvová jednotka: PAV-CV PCV  
Snímač: PCV 350 / 33 mm #2057  
Lt: 10,31 mm  
Ls: 2,5  $\mu\text{m}$   
VB:  $\pm 25000 \mu\text{m}$   
Vt: 1,00 mm/s  
Body: 10001

X:13,61; Z:13,61

