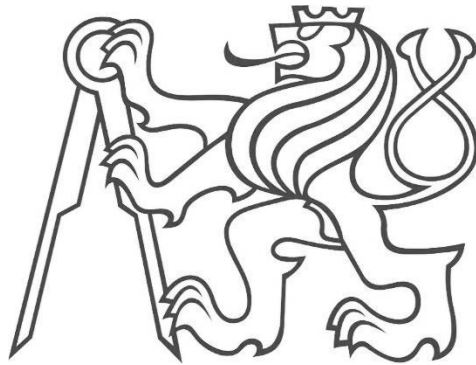


# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

## FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie



## Bakalářská práce

Opotřebení nástroje pro výrobu ostré designové hrany výlisku

**Autor:** Matěj Holeček

**Studijní obor:** Teoretický základ strojírenského inženýrství

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

2016

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro Matěje HOLEČKA

Program: Teoretický základ strojírenského inženýrství

Obor:

Název: Opatření nástroje pro výrobu ostré designové hrany výlisku

Název anglicky: The tool wear in sharp edges production of stamped parts

## Zásady pro vypracování:

1. Seznámení s problematikou
2. Princip výroby výlisku
3. Popis realizovaného experimentu
4. Závěrečné zhodnocení

Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Tatiček, Ph.D.

Konzultant:

Datum zadání bakalářské práce: 25. 4. 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 12. 8. 2016

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil 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 bakalářské práce převzal dne:

  
-----  
Student

  
-----  
Vedoucí ústavu



  
-----  
Děkan

V Praze

dne 24. 4. 2016

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne 8. 8. 2016

.....

Podpis

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Františku Tatíčkoví Ph.D., nejen za cenné rady a připomínky, ale také za jeho vřelý přístup. Dále děkuji zaměstnancům ČVUT v Praze za pomoc s experimentálním lisováním a měřením lisovacích nástrojů. Bez jejich pomoci by tato práce nemohla vzniknout.

## Anotace

Škola:	České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Vedoucí práce:	Ing. František Tatíček, Ph.D.
Zadavatel:	Škoda Auto, a.s.
Autor:	Matěj Holeček
Název práce:	Opotřebení nástroje pro výrobu ostré designové hrany výlisku
Rok vyhotovení:	2015/2016
Rozsah práce:	49 stran
Klíčová slova:	Lisování plechů, designová hrana, opotřebení lisovací formy, měření opotřebení
Anotace:	Tato bakalářská práce se zabývá opotřebením lisovacích forem v místě ostrých designových hran. Jedná se o poměrně mladou a neprozkoumanou problematiku. Se zvyšující se ostrotí těchto hran se zvyšuje jejich namáhání, a tedy i opotřebení. Práce si klade za cíl zjistit, jak je toto opotřebení výrazné a jak rychle k němu dochází. Z výsledků experimentálního měření je možné posoudit změnu geometrických rozměrů nástrojů vzniklou v průběhu lisování.

## Annotation

University:	Czech technical university in Prague Faculty of mechanical engineering
Department:	Department of manufacturing technology
Supervisor:	Ing. František Tatíček, Ph.D.
Submitter:	Škoda Auto, a.s.
Author:	Matěj Holeček
Title:	The tool wear in sharp edges production of stamped parts
Academic year:	2015/2016
Extent:	49 pages
Key words:	Sheet metal forming, edge design, wear of compression mold, wear measurement
Annotation:	This bachelor thesis deals with the wear of compression molds on design sharp edges. This is relatively young and unexplored issue. With increasing sharpness of the tools edges increases their stress and thus wear. The issue of sharp edges design is relatively young and unexplored. The work aims to find out how significant this wear is and how quickly it occurs. From the results of experimental measurements is possible to assess the change in geometric dimensions arising during pressing.

## Obsah

1.	Úvod.....	9
2.	Rozdělení a princip tváření .....	13
2.1.	Rozdělení technologie tváření kovů .....	13
2.2.	Princip tváření.....	14
2.2.1.	Struktura kovů.....	14
2.2.2.	Plastická deformace .....	15
3.	Metody výroby výlisku .....	17
3.1.	Stříhání.....	17
3.2.	Ohýbání .....	19
3.3.	Tažení .....	20
4.	Popis lisovacího nástroje.....	22
4.1.	Úpravy povrchových vlastností nástroje .....	23
4.1.1.	Povrchové kalení.....	23
4.1.2.	Navařování.....	24
4.2.	Popis experimentálního nástroje.....	27
4.2.1.	Spodní část.....	28
4.2.2.	Horní část.....	30
5.	Návrh experimentu a způsoby vyhodnocení .....	31
5.1.	Metodika analýzy opotřebení designové hrany .....	31
5.1.1.	Upnutí a zprovoznění nástroje .....	31
5.1.2.	Příprava přístřihu .....	31
5.1.3.	Zakládání přístřihu do nástroje a výroba výlisku.....	31
5.1.4.	Příprava nástroje pro měření.....	32
5.1.5.	Měření opotřebení.....	33
5.1.6.	Obecné informace .....	33



---

5.2.	Způsob vyhodnocování opotřebení .....	34
5.2.1.	3D Souřadnicový měřicí stroj .....	34
5.2.2.	Konturograf.....	35
6.	Analýza naměřených hodnot.....	37
6.1.	Analýza opotřebení tažníku T-D .....	37
6.2.	Analýza opotřebení tažníku T-S .....	40
7.	Závěr.....	44
8.	Použité zdroje a literatura.....	45
9.	Seznam obrázků .....	48
10.	Seznam příloh na CD .....	49

## 1. Úvod

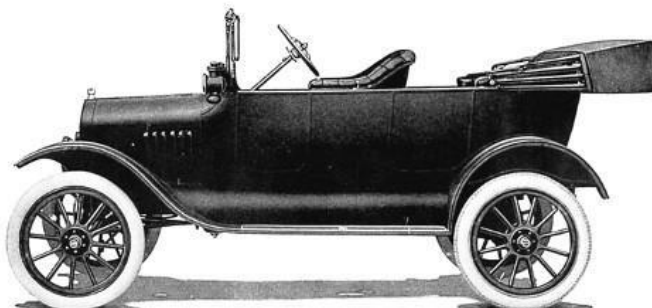
Lidé začali používat kolová vozidla již před tisíci a tisíci lety. Pohon velmi dlouhou dobu zajišťovali koně nebo jiná užitková zvířata. Veliká změna zdroje síly se odehrála v 18. století, kdy se pro pohon strojů začala používat pára. První, kdo sestrojil parou poháněné vozidlo, byl Francouz Nicolas Joseph Cugnot, který se svým vozem vyjel poprvé v roce 1769. Za zmínku stojí i v pořadí druhé takové vozidlo. Uvedl ho roku 1815 Josef Božek, který v té době pracoval na Českém polytechnickém ústavu. Kvůli nepříznivé finanční situaci výrobce skončil parní vůz rozebráním.

Další změnu ve způsobu pohonu přinesl Němec Karl Benz, který si roku 1885 nechal patentovat tříkolové vozidlo poháněné spalovacím motorem. Tento vůz Benz Patent-Motorwagen je označován za první automobil. Benzův tricykkl měl rám svařený z ocelových trubek s pevně přidělaným motorem a cestující seděli na dřevěné lavičce potažené kůží.



Obrázek 1-1 - Benz Patent-Motorwagen [1]

Kvůli ochraně před nepříznivými vnějšími vlivy vznikla potřeba uzavřít prostor pro cestující. Auta získala dřevěný rám, na který se upevňovala látka, kůže, koženka a později plechy. Postupným uzavíráním prostoru tedy vznikla karoserie.



Obrázek 1-2 - FORD T [2]

Za zmínku stojí americký podnikatel Henry Ford, jehož jméno se výrazně zapsalo do historie automobilového průmyslu zavedením pásové výroby a rozšířením automobilů, konkrétně modelu T (1908), mezi lidi. Automobil měl nosný podvozek s přímo namontovanými nápravami,

motorem, převodovkou a dalšími komponenty. Podvozek tedy tvořil jeden celek schopný jízdy. Na podvozek se poté montovala podvozková karoserie, která k němu byla pružně připevněná. Dnes se tento typ konstrukce používá výhradně pro terénní a užitková vozidla.

Historicky významným automobilem z hlediska konstrukce se také stala Lancia Lambda, která byla prvním modelem se samonosnou karoserií, která je v dnešní době nejrozšířenějším typem.

Z konstrukčního hlediska je její tvorba náročnější, protože musí být

dostatečně tuhá i pružná, aby umožnila namontování náprav a motoru přímo na konstrukci.

V dnešní době je tento typ karoserie použitý u většiny aut, které můžeme potkat na silnici.



Obrázek 1-3 - LANCIA Lambda [3]



Obrázek 1-4 - TATRA T77 [4]

modelem automobilky, jenž se testoval v aerodynamickém tunelu a prvním modelem s celocelovou polosamosnou karoserií. Automobil díky nízkému odporu lehce dosahoval maximální rychlosti 145 km/h.

Potřeba přesunu z místa na místo je nedílnou součástí historie. Automobily přinesly do té doby nemožné rychlosti a postupně i nebývalý komfort. Je zřejmé, že lidské potřeby se rozvíjí se schopností tyto potřeby uspokojovat. Od potřeby pouhého přemíst'ování, přes technicky nová řešení, až po stránku vzhledu, který kromě líbivého

Výrazným automobilem ve vývoji vzhledu se stal automobil Tatra T77, jenž byl prvním sériově vyráběným vozem s aerodynamickým tvarem. Návrhář Erich Überlacker přinesl tímto modelem do automobilového průmyslu proudnicový tvar. Vůz byl prvním



Obrázek 1-5 - ŠKODA Vision C [5]

hlediska může být i funkční. Dnešní doba přináší, kromě jiných, potřebu snižování hmotnosti automobilu. Lehčí automobil znamená menší spotřebu pohonných hmot, lepší jízdní vlastnosti a může přinášet i snížení množství použitého materiálu. Vysoké procento váhy tvoří karoserie, která zajišťuje kromě komfortu a již zmíněných jízdních vlastností také pasivní bezpečnost.

Pro snížení hmotnosti karoserie je možné použít materiály s nižší hustotou, ale s mechanickými vlastnostmi takovými, že splní požadavky, které jsou na ně kladeny. Takovými materiály mohou být slitiny hliníku, hořčíku, titanu či jiných kovů, dále to mohou být plasty, kompozity nebo například sendvičové plechy.

Cestou lehčích materiálů se vydala například automobilka Audi, která pro výrobu karoserií začala používat slitiny hliníku. V případě hliníkových slitin však vznikají problémy v podobě vyšší ceny hliníku oproti oceli, spojitelnosti s ocelovým rámem, ekologické zátěže a podobně. I ostatní materiály mají negativa. S výrobou karoserie z plastu je například spojena



Obrázek 1-6 – Karoserie BMW i3 [6]

postupná degradace materiálu či obtížná spojitelnost s ostatními díly automobilu. Některé automobilky se rozhodly jít cestou kompozitů, které jsou opět schopny zajistit snížení hmotnosti při zachování potřebných parametrů. Tato metoda prozatím není příliš vhodná pro sériovou výrobu automobilů, a to zejména kvůli času potřebnému k výrobě jednotlivých dílů. Vysoká pracnost a časová náročnost má za následek vyšší cenu těchto dílů. Moderním materiálem pro výrobu karoserie by mohly být i sendvičové plechy, jedná se však o poměrně mladý materiál, který je teprve v raném stádiu vývoje.

Do současnosti se odlehčování karoserie neslo ve snižování tloušťky plechu. V dnešní době se však s tloušťkou okolo 0,7 mm pravděpodobně blížíme ke spodní hranici, pod kterou už nebude dále možné plech ztenčovat. Další snižování je již velice obtížné. Materiál s menší tloušťkou má horší tvařitelnost a při lisování snadněji vznikají trhliny – vznikají dříve. Snižováním tloušťky dochází ke ztrátě tuhosti, která se kompenzuje vytvářením ostrých hran. Čím je hrana ostřejší, tím má díl vyšší tuhost.

Pro vytvoření takto ostrého přechodu je potřeba vytvořit odpovídající hranu také na formě, která ji vytváří. Kvůli malému rádiusu se tato hrana, v porovnání s ostatními částmi formy, extrémně zatěžuje, a tedy i opotřebovává. Malá styková plocha, na které dochází k přenosu síly, má za následek vznik vysokého napětí. Při



Obrázek 1-7 - ŠKODA Superb [7]

tažení materiálu přes ostrou hranu dochází také ke smýkání plechu vůči nástroji. Kombinací těchto a dalších namáhání může docházet ke změnám na nástroji.

## 2. Rozdělení a princip tváření

Při tváření nedochází k odebírání materiálu, ale pouze k jeho přeskupování. Výhodami tváření je mimo jiné vysoká produktivita, vysoké procento využití materiálu a případně i zlepšení mechanických vlastností.

### 2.1. Rozdělení technologie tváření kovů

Proces je nejvíce ovlivněn teplotou, při které tváření probíhá. S teplotou se mění odpor proti deformaci. Tváření může probíhat za tepla, za studena či za poloohřevu. Toto rozdělení v podstatě vyjadřuje, kde se nachází tvářecí teplota oproti teplotě rekystalizace. Pro výrobu plechů karoserie se především používá tváření za studena, kdy se materiál nachází pod teplotou rekystalizace. Kvůli nízké teplotě nedochází k regeneraci a deformovaná zrna se zpevňují, což má za následek zvýšení meze pevnosti, meze kluzu a nárůst odporu proti dalším deformacím. Zvýšené mechanické hodnoty kladou větší nároky na stroje a nástroje. Výhodou této metody je také vysoká přesnost rozměrů a kvalita povrchu.

Množství tepla, které se uvolňuje při tváření, závisí na rychlosti deformace a odporu proti deformaci. Podle toho kam se teplo odvádí, rozeznáváme tři druhy tváření. Izotermické, při kterém se veškeré teplo odvádí do okolí a teplota materiálu je konstantní (deformace je pomalá). Adiabatické, kdy veškeré uvolněné teplo zůstává ve zpracovávaném materiálu (deformace je extrémně rychlá) a polytropické, při kterém je část tepla odvedena do okolí a část do nástroje (většina případů).

Kritériem pro rozdělení může být také stupeň deformace, určený rychlostí deformace a teplotou, při kterých nehrozí riziko vzniku trhlin na povrchu materiálu. Toto kritérium rozeznává tři druhy procesů, které se liší v síle potřebné k vyvození deformace a poměru velikosti stykové plochy nástroje s materiálem k ploše materiálu.

Z hlediska působení vnějších sil lze rozlišit tváření objemové, při kterém dochází k deformaci materiálu ve všech třech hlavních osách a tváření plošné, u kterého převládají deformace pouze ve dvou směrech. Lisování plechů karoserií automobilů spadá do kategorie plošného tváření. [8] [9]

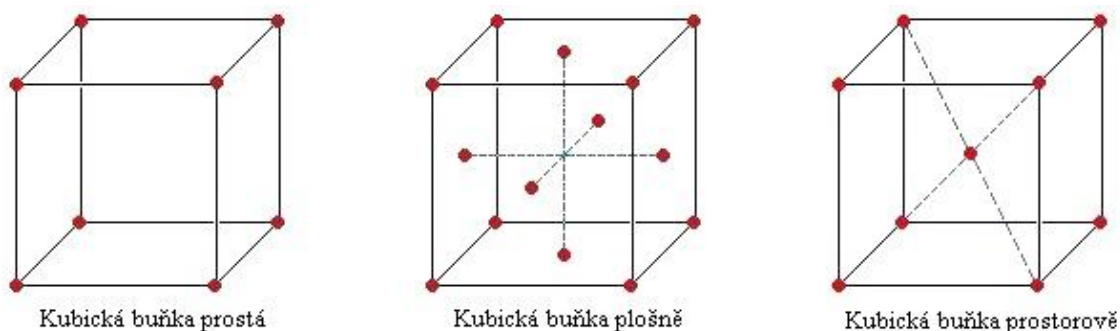
## 2.2. Princip tváření

Pro docílení trvalé změny tvaru je třeba vyvodit vnější silou v materiálu napětí vyšší než mez kluzu, ale nižší než mez pevnosti. Tento děj je provázen změnami struktury a fyzikálních vlastností materiálu.

### 2.2.1. Struktura kovů

V pevném stavu vykazují všechny běžné kovy krystalickou stavbu. Většina kovů krystalizuje z taveniny v plošně či prostorově středěné krychlové soustavě. Kovy krystalizující v šesterečné mřížce nejsou v praxi příliš rozšířené. Krystal je homogenní částice hmoty obsahující přesně uspořádané atomy v krystalické mřížce s určitou strukturou.

Tekutá fáze kovu obsahuje krystalizační jádra, takzvané zárodky. Jedná se o neroztavené částice nebo přísady. Na těchto zárodcích začínají narůstat jednotlivé homogenní krystaly. S postupem tuhnutí na sebe krystaly váží stále více hmoty z tekuté fáze, která je obklopuje. Při vyčerpání veškeré taveniny nedojde k propojení krystalů mezi sebou kvůli jiné prostorové orientaci každého z nich. Nerovnoměrný růst má za následek nepravidelnost výsledných krystalů, které nazýváme zrna. Struktura výsledného tuhého kovu je závislá na množství zárodků, rychlosti krystalizace a rychlosti chladnutí. [10]



Obrázek 2-1 - Krystalické struktury [10]

Krystalická stavba není v reálných kovech ideální. Podle charakteru neuspořádanosti atomů rozeznáváme mřížkové poruchy bodové (vakance, substituce, intersticiály), čárové (hranové, šroubové, kombinované), plošné (vrstevné vady, hranice zrn a subzrn, dvojčatění) a prostorové (hranice krystalů, vměstky, amorfni částice atd.). V běžné praxi se nevyskytují materiály s dokonalou krystalografickou stavbou.

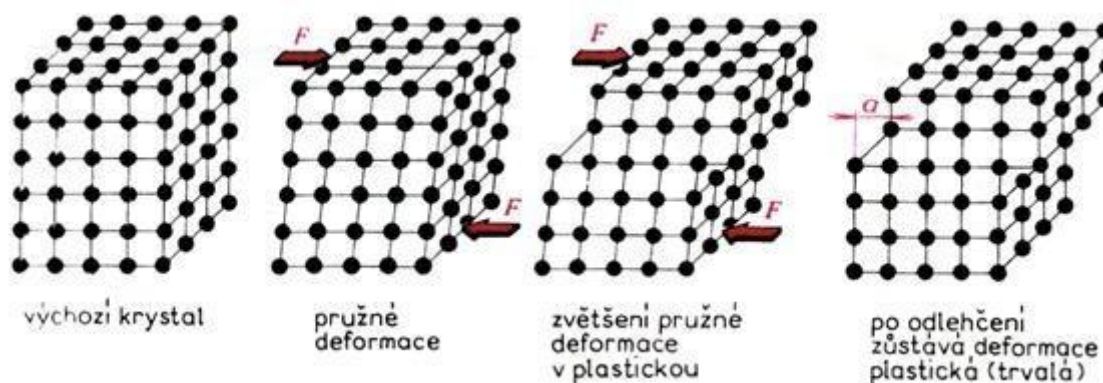


## 2.2.2. Plastická deformace

Pomocí vzniku a pohybu mřížkových poruch je možné vysvětlit mechanismus plastické deformace, pro který jsou nejvýznamnější dislokace z kategorie čárových poruch. Dislokace mohou být hranové, šroubové nebo smíšené. Hustota těchto vad ovlivňuje pevnost kovu. Při tváření roste hustota dislokací a jejich pohyb je stále více omezován, tím dochází ke zvýšení odporu proti dalším deformacím a materiál se takzvaně zpevňuje. [12]

Rozlišujeme dva mechanismy plastické deformace, přičemž se rozvíjí vždy ten, který potřebuje menší energii. [8] [11]

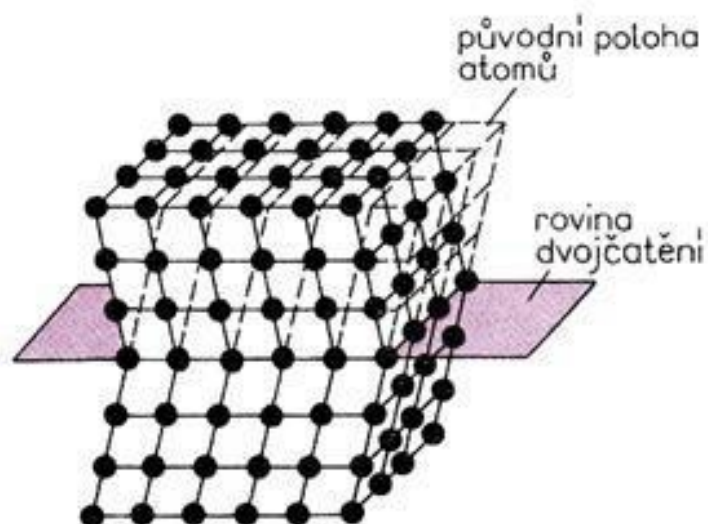
- Prostý skluz, při kterém dochází k posunu jednotlivých rovin atomů vůči sobě. Kluzu se postupně účastní některé z možných kluzových rovin. Dislokační čáry se pohybují ve směru napětí, dokud se nezastaví o překážku uvnitř krystalu, či nedosáhnou povrchu materiálu. Při zastavení pohybu dislokace je pro další deformaci potřeba vyvodit napětí vyšší než doposud, aby se dali do pohybu dislokace nové. Při tváření za studena nedochází k zotavení, zvyšuje se počet dislokací a materiál klade stále větší odpor proti dalším deformacím, dokud nedojde k vyčerpání plasticity.



Obrázek 2-2 - Princip plastické deformace skluzem [8]

- Dvojčatění, ke kterému může docházet při nízkých teplotách a vysokých rychlostech deformace. Vzniká posunem části atomů krystalu pouze o část meziatomární vzdálenosti. Výsledkem je vznik tzv. dvojčete. Tento mechanismus nedosahuje příliš velikých plastických deformací.





Obrázek 2-3 - Princip plastické deformace dvojčatěním [8]

Vlastnost popisující plastické chování materiálu se nazývá tvařitelnost a vyjadřuje jeho schopnost měnit tvar působením vnějších mechanických sil bez porušení celistvosti. Je funkcí mnoha parametrů materiálu: vnitřní stavby a chemického složení, teploty a rychlosti deformace, napětového stavu, způsobu předchozího zpracování, geometrického faktoru a vnějšího prostředí. Tyto parametry se neprojevují stejnou měrou.

### 3. Metody výroby výlisku

Lisování částí automobilové karoserie patří mezi nejkomplicovanější technologie plošného tváření. Kvůli vysoké složitosti a členitosti výsledných výlisků je pro jejich výrobu potřeba použít několika postupných operací. Při návrhu výroby se nejdříve podle požadovaného tvaru výrobku určí množství operací a jejich sled.

První operací je vždy stříhání a vytváří se takzvaný přístřih. Druhá operace je vždy tahová, dochází k největším deformacím tvářeného materiálu a vytvoření hlavního tvaru. Dle konkrétních potřeb může následovat lemování, děrování, kalibrování či ostříhování přebytečného materiálu, který byl potřeba pro operace předchozí a není požadován u výsledného výrobku. [12]

#### 3.1. Stříhání

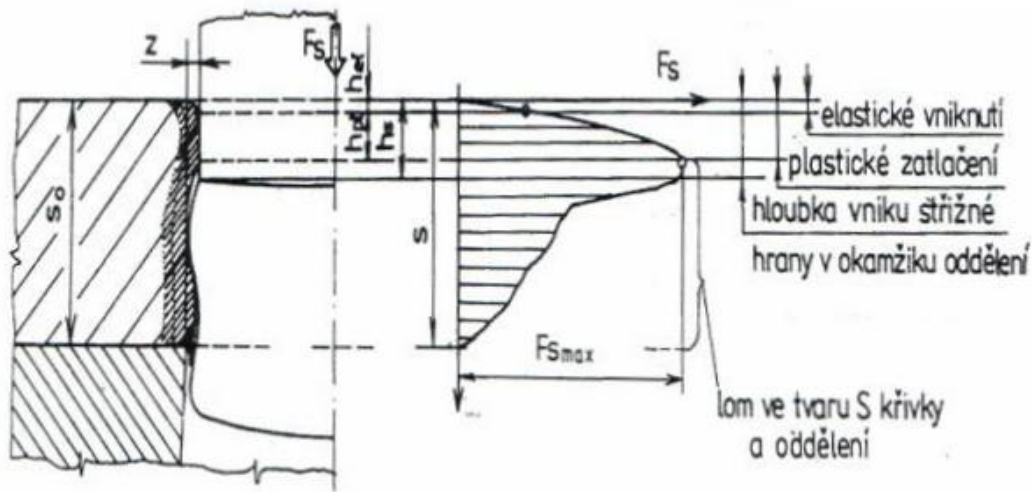
Stříhání je jedním ze způsobů mechanického dělení materiálu, při kterém se využívá dvou střížných hran, které vyvolají v materiálu smykové napětí potřebné k porušení a oddělení materiálu. Nástroj se nazývá stříhadlo a skládá se ze střížníku a střížnice. [1] [17]



Obrázek 3-1 - Stříhání pomocí stříhadla [15]

Můžeme rozlišit tři fáze oddělování materiálu: [3] [13]

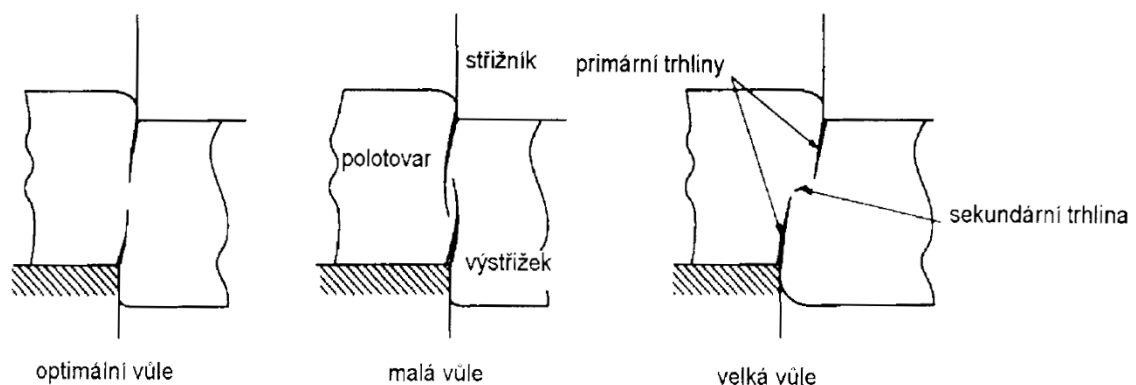
- Pružná fáze začíná dosednutím nástroje na materiál. Nejdříve dochází k jeho stlačování, dále se začíná ohýbat a vtláčuje se do střížnice. Končí dosažením meze kluzu v materiálu. Tato fáze zasahuje do 5 až 8 % tloušťky materiálu.
- Fáze plastických deformací, při které se dosahuje napětí nad mezi kluzu a dochází k trvalým deformacím materiálu. Hloubka vniku nože do materiálu se pohybuje v rozmezí 10 až 25 % tloušťky materiálu. Na konci fáze dochází k dosažení meze pevnosti a vzniku trhlin.
- Fáze porušení, při které napětí nabývá meze pevnosti a trhliny se šíří materiálem, až dojde k jeho oddělení. Hloubka vniku se pohybuje mezi 10 % a 60 % tloušťky.



Obrázek 3-2 - Průběh střižného procesu a střižné síly [14]

Střižná vůle je rozdíl mezi rozměrem střižníku a střižnice. Polovina této hodnoty se nazývá střižná mezera. [13] [16]

Nástroj musí mít tuto vůli, aby nedošlo k jeho kolizi. Ovlivňuje také kvalitu odstřižené plochy, rozměrovou přesnost výrobku, trvanlivost nástroje a množství práce potřebné pro odstřížení. Její nevhodné nastavení může mít za následek vznik otřepu. Při ideálním nastavení dochází k tvorbě trhlin materiálu v místě ostří střižníku a střižnice, které se při šíření propojí v nejmenší možné vzdálenosti. Pokud je mezera příliš malá, či velká, dochází k nárůstu střižné práce, ale potřebná síla se příliš nezmění.

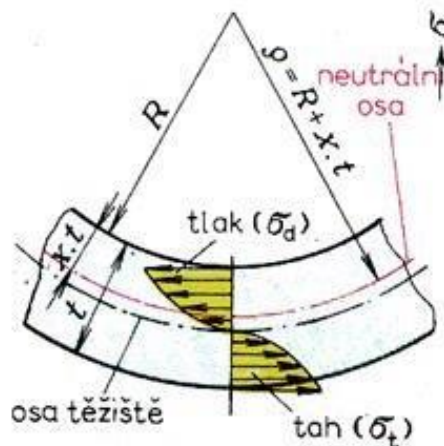


Obrázek 3-3 - Vliv střižné vůle [18]

### 3.2. Ohýbání

Ohýbání je způsob plošného tváření, při kterém se materiál deformuje působením vnějších momentů. Tvary vzniklé ohnutím jsou rozvinutelné. Mechanismus ohýbání se uplatňuje při ohraňování, lemování, navíjení, zakružování, profilování, stáčení a válcování.

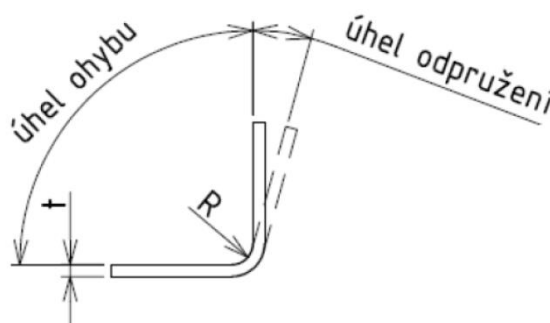
Při ohýbání dochází k nerovnoměrnému zatěžování průřezu. Vlákná na vnější straně ohýbaného materiálu jsou namáhána tahem, naopak vlákna na vnitřní straně ohybu jsou namáhána tlakem. V místě přechodu mezi tahovým a tlakovým napětím se nachází neutrální vrstva (vlákno), ve které je napětí nulové a nedochází k deformaci. Neutrální vrstva je na začátku procesu uprostřed průřezu, při ohybu se posouvá směrem k vnitřní straně ohybu. Není tedy totožná s osou těžiště ohýbaného materiálu. Její praktický význam spočívá především ve výpočtu rozměrů vstupního polotovaru při ohýbání a také v určení minimálního poloměru zaoblení. [19]



Obrázek 3-4 - Rozložení napětí při ohybu [19]

#### Odpružení

Oblast plasticky deformovaná, umožňující trvalé ohnutí, tvoří pouze malé procento objemu materiálu. Pružné deformace v okolí neutrální osy jsou v tomto případě tak výrazné, že po odlehčení momentů dojde k částečnému vrácení materiálu do původního stavu. Tato vlastnost se nazývá odpružení. Úhel odpružení závisí na tvárnosti, poloměru ohybu a způsobu ohýbání. Bývá v rozsahu od 3° do 15°. Snížit jeho vliv lze například ohnutím materiálu o úhel zvětšený právě o tuto hodnotu, zvýšením přitlaku na konci operace, tvorbou prolisů či postupným ohýbáním. [21]

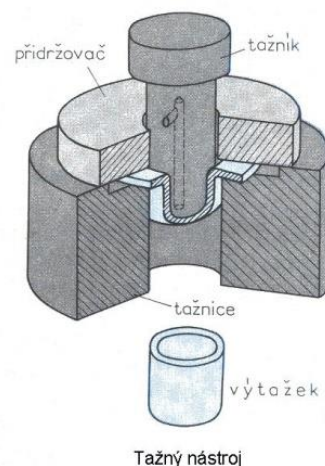


Obrázek 3-5 - Úhel odpružení [19]

### 3.3. Tažení

Tažením se vytváří, v jednom nebo více tazích, z přístříhu nerozvinutelné duté těleso. Princip spočívá v zatlačování plechu pomocí tažníku přes tažnou hranu do tažnice. Lze rozlišit tažení mělké a hluboké, se ztenčením a bez ztenčení, tažení rotačních, nerotačních či nepravidelných tvarů. [18]

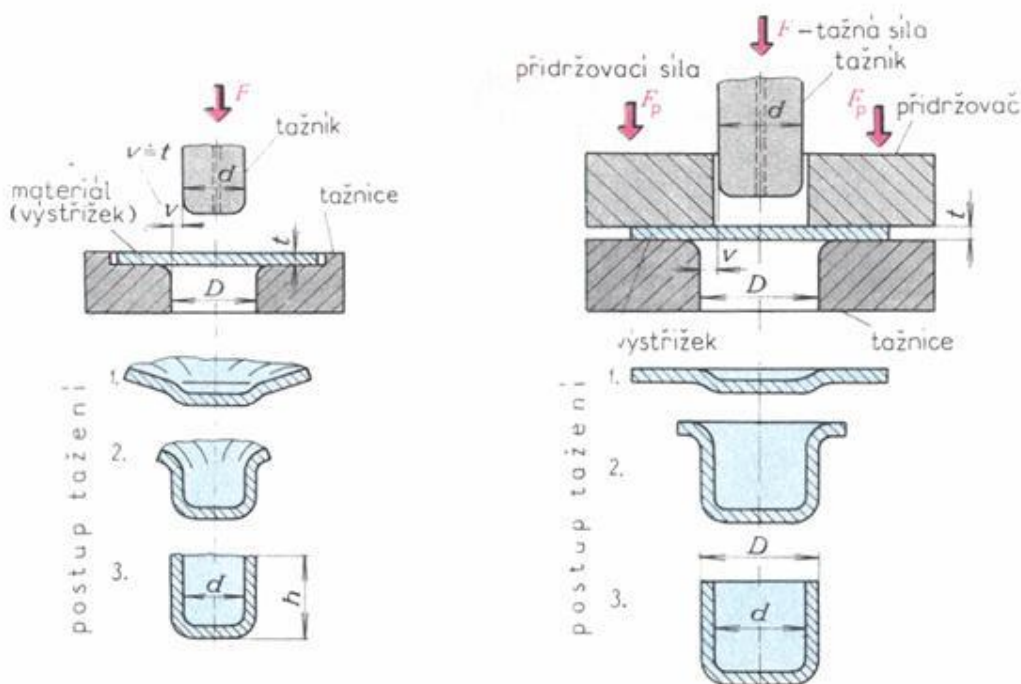
Proces tažení plechů lze zjednodušeně popsat pomocí modelu, který nepočítá se ztenčením stěny. Pro tento model je potřeba dodržet určitou maximální hodnotu ztenčení, která pro ocelový plech bývá určena jako 80% tloušťky původního materiálu.



Obrázek 3-6 - Tažení [19]

#### Přidržovač

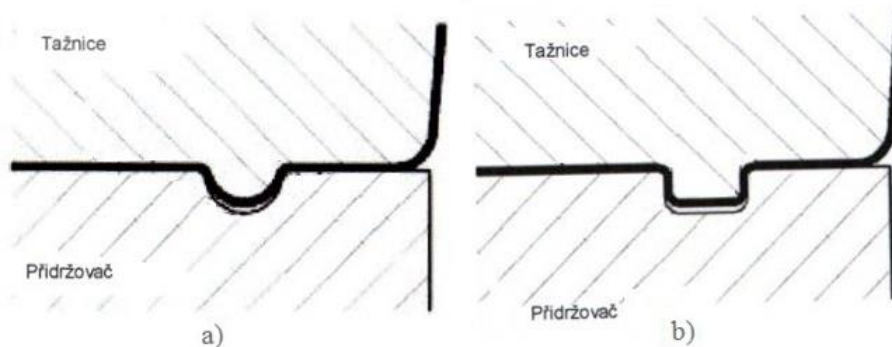
Kvůli výrobě nerozvinutelných tvarů dochází k významnému toku materiálu, což může mít za následek zvlnění plechu. Potlačení zvlnění je možné přidáním přidržovače. Plech sevřený přidržovačem klade odpor proti vtačování do tažnice, materiál napíná a tím napomáhá jeho lepšímu utváření. Pomocí přidržovače lze ovlivnit celý průběh tažení. [18]



Obrázek 3-7 - Vliv přidržovače při tažení

### Brzdné lišty

Pro lepší řízení toku materiálu a zvýšení efektu přidržovače lze použít brzdicí lišty. V přidržovači se vytvoří drážka, do které je pomocí vystouplé lišty na tažnici vtlačen plech. Při tažení je materiál nucen projít touto drážkou, což vyvodí další odpor proti jeho pohybu. Lišty mohou být zaoblené či hranaté. Zaoblené se používají zejména při hlubokém tažení, při kterém dochází k významnému toku materiálu. Hranaté lišty se naopak používají při mělkém tažení, kdy je potřeba materiál dostatečně napnout. Příkladem může být lisování vnějších plechů bočních dveří auta. Při použití brzdných lišt je možné snížit přítlačnou sílu přidržovače a tím i jeho celkové opotřebení, které se přenesse na lištu. Brzdicí lišty jsou nezbytným prvkem pro lisování složitých součástí karoserie.



Obrázek 3-8 – Příklad provedení lišt

a) zaoblená b) hranatá



## 4. Popis lisovacího nástroje

Lisování částí karoserie v automobilce Škoda Auto a.s. probíhá na velikých mechanických lisech. Před strojem je umístěn svitek plechového pásu, který je postupně odvíjen a vtahován do stroje. Nejprve jsou v nástřihové lince z plechového pásu připraveny tvarové polotovary – přístřihy. Nepravidelný pohyb materiálu potřebný pro posun mezi jednotlivými operacemi je kompenzován pomocí tzv. jámy, do které je plech prověšený. Toto prověšení umožňuje plynulé odvíjení svitku a nepravidelné podávání mezi operacemi. Před začátkem zpracování je umístěna myčka, která materiál čistí. Dále je nanášen na povrch tenký olejový film, potřebný pro tvářecí procesy. Vlastní stroj pro výrobu výlisků obsahuje šest pracovních pozic, v kterých je možné provádět jednotlivé operace.



Obrázek 4-1 - Příklad lisovací linky [23]

K vytvoření hlavního tvaru výlisku dochází v operaci OP20, při které vznikají i ostré designové hrany. Tento konstrukční prvek však s sebou nese řadu problémů, mezi které patří nedodržení požadovaných geometrických tolerancí výlisku, v místě hrany mohou vznikat propadliny a může docházet ke zvýšenému opotřebování nástroje.

Znalost opotřebovávání nástroje je nezbytná z důvodu správného plánování výroby. V případě, že začne docházet k výrobě výlisků, které nesplňují předepsané parametry, je potřeba nástroj vyjmout ze stroje a opravit ho. S tím jsou však spojené problémy s odstávkou nástroje. Proto je potřeba se touto problematikou zabývat.

## 4.1. Úpravy povrchových vlastností nástroje

Kvůli zvyšování nároků na lisovací formy přestávají stačit mechanické vlastnosti kuličkového grafitu, který je ve většině případů použit pro jejich výrobu. Jelikož ostrá hrana z tohoto materiálu nemůže vydržet namáhání, kterému čelí, je potřeba v tomto místě formu upravit. Nejčastějšími metodami úprav povrchu je povrchové kalení a navařování materiálu s potřebnými vlastnostmi.

### 4.1.1. Povrchové kalení

Účelem povrchového kalení je zvýšit tvrdost vnějších vrstev materiálu a zachovat houževnatost jádra. Docílí se toho rychlým ohřátím povrchu a jeho následným rychlým zchlazením. Pro zakalení pouze povrchu je potřeba, aby rychlost přivádění tepla do povrchu byla vyšší než rychlost šíření tepla směrem dovnitř materiálu. Tepelný spád, který tímto vznikne, umožňuje zakalení předmětu pouze v požadované míře.

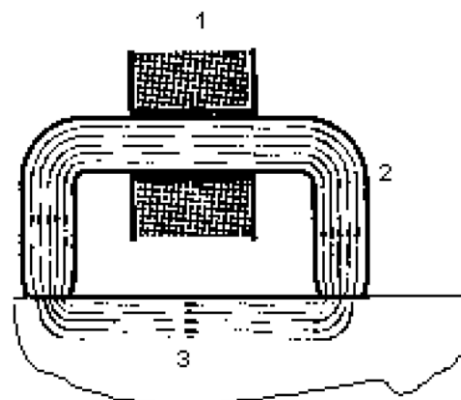
Kalení má za následek změnu struktury základního materiálu na strukturu s vyšší tvrdostí, avšak nižší houževnatostí. V ohřátém materiálu dochází k fázové přeměně, rozpouštění karbidu a homogenizaci austenitu. Všechny tyto procesy nezávisí pouze na dosažené teplotě, ale i na rychlosti ohřívání a době výdrže na kalící teplotě. Dostatečnou rychlost ohřívání je možné zajistit například ohříváním plamenem, indukci, laserem atd. V automobilovém průmyslu se používá indukčního, či laserového kalení. [24] [25]

#### Indukční kalení

Princip indukčního kalení spočívá v ohřátí povrchu pomocí indukovaných proudů. Tento způsob ohřívání lze volit pouze pro feromagnetické materiály, tedy ty, které je možné magnetizovat. Využívá se střídavý proud, který působením přes induktor vyvolává v povrchu vířivé proudy a tím ho ohřívá.

V případě sériové výroby je možné proces automatizovat a zvýšit tím jeho přesnost a rychlost.

Manuální ovládání se používá pro kusovou výrobu a pro zpracování specifických částí dílů, jako jsou lisovací formy v automobilovém průmyslu. V obou případech je potřeba co nejvíce



Obrázek 4-2 - Indukční ohřev

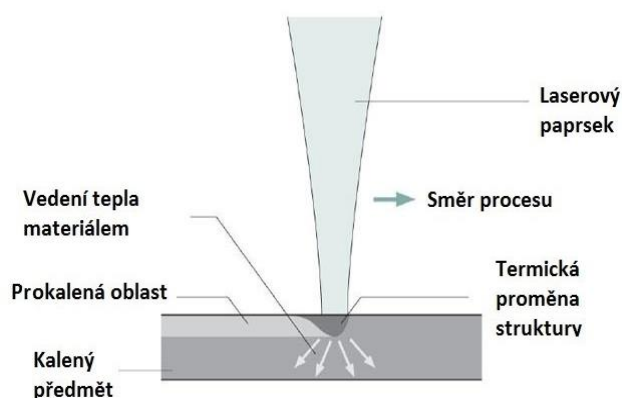
(1) cívka, (2) jádro, (3) základní materiál



přiblížit induktor ke kalenému povrchu, aby docházelo k co nejmenším ztrátám. Výsledné vlastnosti zakalení závisí zejména na základním materiálu, frekvenci procházejícího proudu a časovém průběhu generovaných teplot. [24] [25]

### Laserové kalení

Tato metoda kalení je sice poměrně mladá, ale díky svým vlastnostem se velice rychle rozšířila. Stejně jako u ostatních druhů povrchového kalení je i tato metoda postavena na potřebě rychlého ohřátí konkrétní části předmětu na požadovanou teplotu.



Obrázek 4-3 - Laserové kalení [26]

Jednou z výhod laserového ohřívání

je minimalizace tepelně ovlivněné oblasti. Materiál se prohřívá pouze do určité hloubky a zbylá hmota již dokáže dostatečně rychle přivedené teplo rozptýlit. Díky tomuto odvodu tepla z ohřátého místa dochází k takzvanému samokalení, při kterém není potřeba přivádět na povrch chladicí médium. Na povrchu, díky pomalejšímu chladnutí než pod povrchem, vznikají tlaková napětí zabraňující vzniku trhlin. Nevýhodou je omezená tloušťka prokalené vrstvy, která dosahuje maximálně hodnot okolo 1,5 mm v závislosti na materiálu. [24] [25]

### 4.1.2. Navařování

Navařování je proces přidávání materiálu na předmět pomocí metod podobných, či stejných jako u svařování. Navařováním je možné vytvářet na součásti vrstvy, které mohou mít jiné vlastnosti než materiál základní. V případě lisovacích forem je možné na více exponovaná místa, na kterých nestačí vlastnosti základního materiálu, navařit materiál s potřebnými vlastnostmi. Docílí se tím lepšího chování formy a ušetření prostředků v porovnání s výrobou celého dílu z materiálu, který je schopen splnit požadavky. Technologie je také vhodná pro opravování opotřebovaných či jinak znehodnocených částí lisovacích forem. V tomto případě se vadná část vybrousí a znovu se navaří materiál s požadovanými vlastnostmi. Následným opracováním se znovu docílí potřebného tvaru. Navařování lze provádět klasickými metodami: obalovanou elektrodou, v ochranné atmosféře s tavící, či netavící elektrodou.

### Ruční navařování

Ruční navařování je ovlivněno stejnými parametry jako svařování. Velikou roli při navařování hraje chemické složení základního materiálu, u ocelí a litin zejména obsah uhlíku. Mezi prvky negativně ovlivňující svařitelnost se řadí zejména síra a fosfor, jejichž množství v materiálu by mělo být co nejnižší. Nejčastěji používaná metoda navařování je obalovanou tvrdokovovou elektrodou.



Obrázek 4-4 - Ruční tvrdokovový návar [27]

Proces navařování probíhá tak, že se nejprve řádně očistí a odmastí základní materiál. V případě, že se jedná o opravu, je potřeba nejdříve v daném místě odebrat část materiálu, aby se vytvořil prostor pro návar. Poté je součást přehřáta na teplotu okolo 200°C, při které dochází ke spálení grafitu v povrchových vrstvách a odstranění nečistot. Po proběhnutí tohoto procesu se nechá součást zchladnout na teplotu vhodnou pro navařování, která je okolo 70°C. První vrstva návaru je z materiálu, který se svou tepelnou roztažností podobá základnímu materiálu a zamezuje přeměně kuličkového grafitu na lupínkový. Poté následuje mezivrstva a zbylé vrstvy tvoří takzvaný tvrdonávar, který má potřebné vlastnosti. Pro snížení pnutí vzniklého chladnutím návaru je dobré co nejvíce omezit vnášení velkého množství tepla do malého prostoru. Z toho důvodu se návar provádí pomocí krátkých housenek. Interval jejich nanášení je dán chladnutím poslední housenky, jejíž teplota by neměla přesahovat 70°C. Okolní plochy, na kterých neprobíhá navařování, se pokrývají pastou zabraňující poškození od rozstříkujícího se kovu. V dnešní době je tento způsob navařování na ústupu a je nahrazován moderními způsoby.

### Laserové navařování

Přednost této metody spočívá především v minimalizování množství tepla vneseného do základního materiálu, což snižuje riziko vzniku trhlin. Vrstvy vykazují vysokou přilnavost a nízkou porezitu. Technologie je vhodná jak pro opravy opotřebených míst, tak pro tvorbu vrstev s požadovanými vlastnostmi. Laserové navařování může být prováděno ručně nebo automaticky. Navařovaný materiál může být do místa působení laserového paprsku dodáván v podobě drátu nebo prášku. Pro ruční režim je používán přídatný materiál především ve formě drátu. Prášek se naopak používá při automatickém provozu a jeho přivádění do místa navařování je prováděno pomocí trysek.



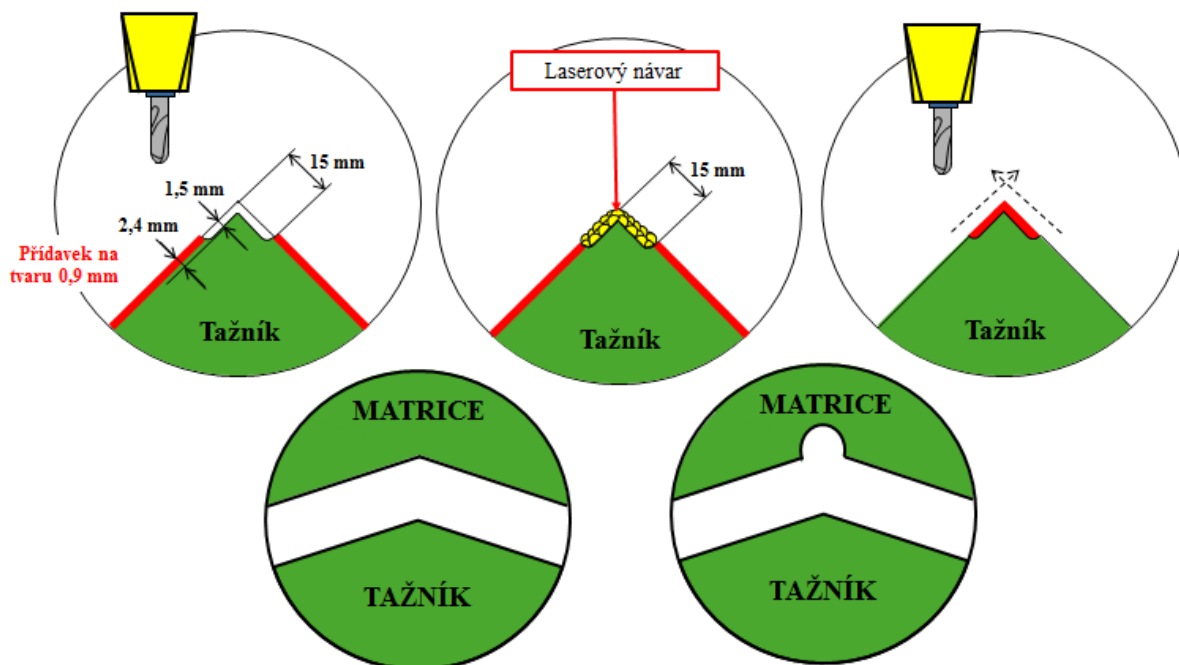
Obrázek 4-5 - Laserové navařování [28]

Na začátku procesu se musí nejdříve odebrat materiál do hloubky 1,5 mm v místě designové hrany a v okolí je ponechán přídavek na obrábění. Obrobený povrch je odmaštěn a zbaven nečistot. Po očištění začíná samotné navařování. Neobrobené okolí se obrábí až po provedení návaru z důvodu odstranění pnutí vneseného přivedeným teplem.

Laserové navařování je v současnosti nejpoužívanější metodou pro zlepšení vlastností ostrých hran na lisovacích formách a používá se také pro renovování opotřebených míst.

Pro docílení požadovaných rozměrů a povrchových vlastností v místě ostré hrany je potřeba provést náležité opracování. Přebytečný materiál na povrchu formy je nejdříve obroben. Po obrobení na čisto se okolí hrany zpracovává tvrdým brouskem v úhlu 45°

k vrcholu hrany a ve směru podél hrany. Při brouskování je nutné dbát velké pozornosti, aby nedošlo ke sražení hrany. Samotná výroba se týká zejména tažníků. Matrice nejsou nijak navářeny nebo tepelně zpracovávány. Ve výjimečných případech se provede pouze vybrání - odlehčení ostré vnitřní hrany řádově o milimetry. [29]



Obrázek 4-6 - Postup výroby ostré hrany a možné varianty matic [29]

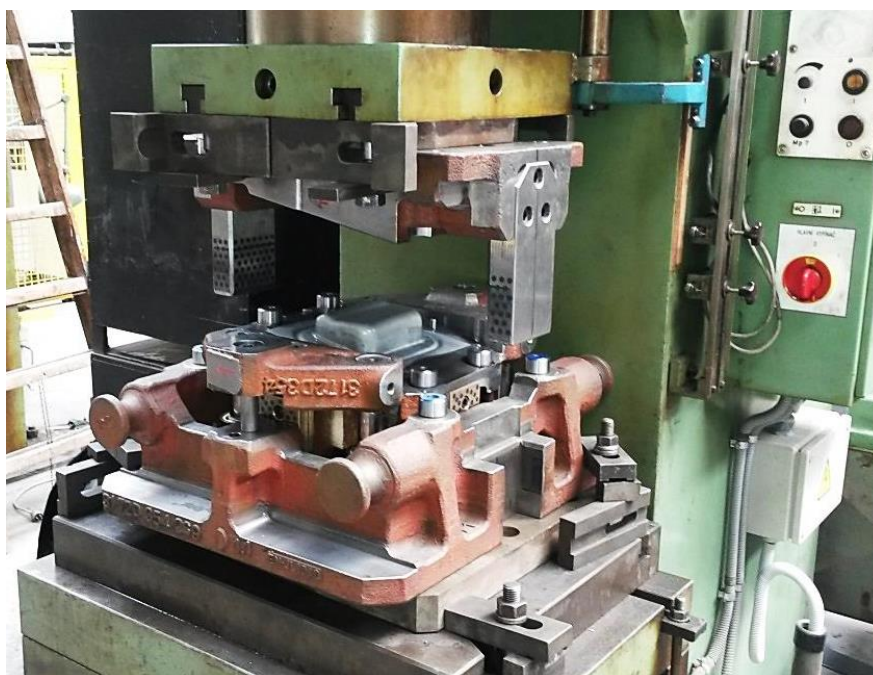
## 4.2. Popis experimentálního nástroje

Kvůli vytíženosti lisovací výrobní linky, nákladům na její provoz a nákladnosti samotných forem není možné provádět experimentální měření přímo na sériovém stroji. Proto byl ve spolupráci Škoda Auto a.s. a ČVUT v Praze vytvořen nástroj experimentální.

Opotřebování lisovací formy probíhá po celé její ploše, avšak v místě designové hrany dochází ke zvýšenému opotřebení. Nástroj je tedy navržen tak, aby toto opotřebení co nejvěrněji simuloval. Ostrá hrana je namáhána otláčením a dochází na ní kromě ohýbání také k přetahování materiálu. Nástroj je zkonstruován tak, aby u něj docházelo ke stejným mechanismům namáhání, jako u reálného lisovacího nástroje. Výsledný tvar formy vyhovuje těmto požadavkům a vychází z designové hrany reálného vozu.

Základními prvky nástroje jsou tažník a tažnice. Konečná podoba ostré designové hrany na výlisku je dána především hranou na tažníku, jejíž poloměr zaoblení je téměř

nulový. Tažnice při formování ostré designové hrany přimačkává plech proti hraně tažníku a kalibruje ho. Pro docílení požadovaných rozměrů, tvarů a přesnosti výsledných výlisků je potřeba kromě tažníku a tažnice použít další prvky, které to umožní.



Obrázek 4-7 - Experimentální nástroj

Lisovací nástroje jsou svou konstrukcí poměrně komplikované. Obsahují množství součástí, musí mít velmi přesné rozměry a vedení umožňující precizní dosednutí jednotlivých částí. Experimentální nástroj se skládá ze spodní a horní části.

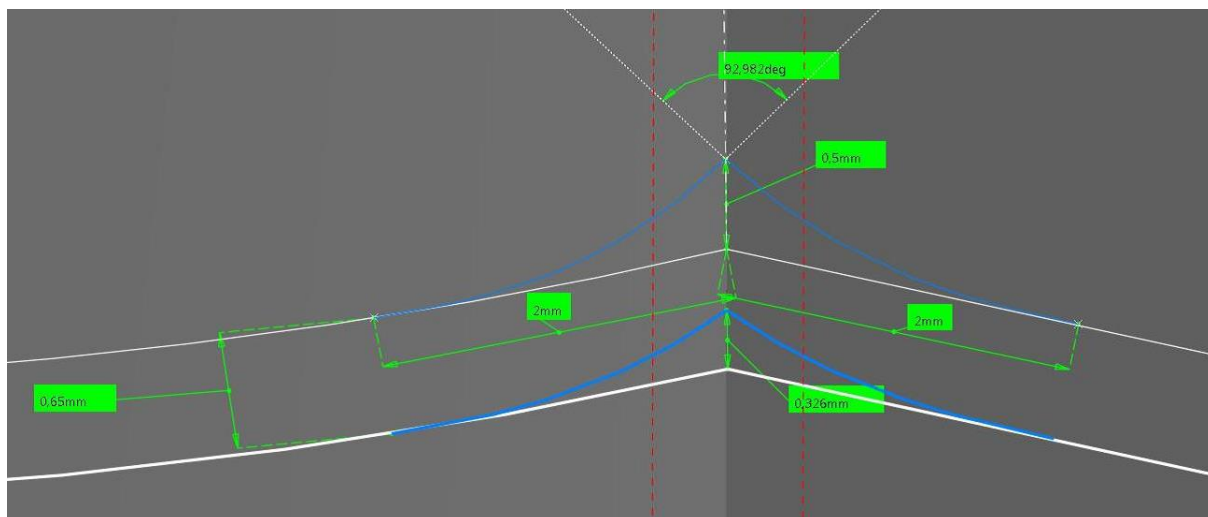
#### 4.2.1. Spodní část

Hlavními díly spodní části nástroje, zapojujícími se aktivně do procesu tváření, jsou tažník a přídržovač. Pro jejich správnou funkci je však potřeba dalších konstrukčních komponentů. Základním prvkem je rám, který umožňuje připevnění celé části nástroje ke stroji. V rámu jsou umístěny díly sloužící k propojení jednotlivých součástí mezi sebou a k zajištění jejich správné funkce.

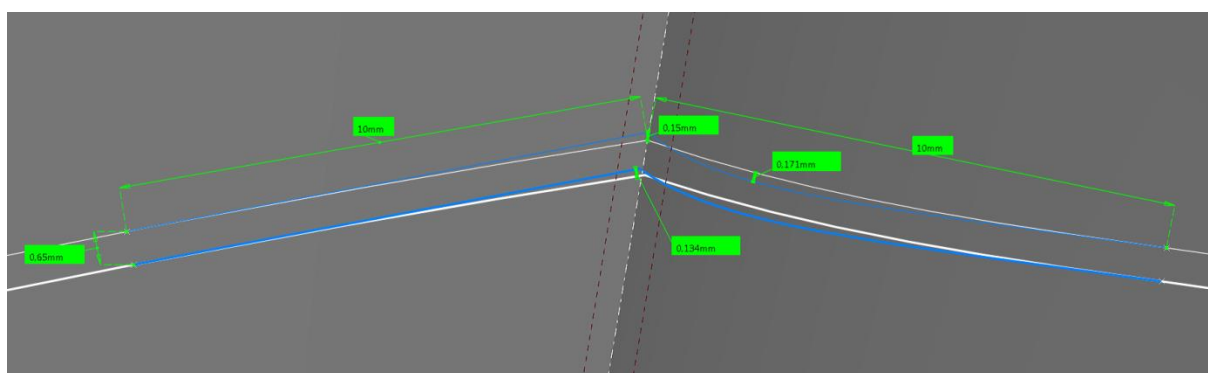
Rám je odlitý z litiny s lupínkovým grafitem EN – JL 1040 a jedná se o nejhmotnější díl nástroje. Výsledný odlitek je obrobený na místech, které slouží jako stykové plochy s dalšími díly, ostatní plochy jsou neobrobené. Na vnějšku rámu jsou vytvořeny 4 úchyty pro manipulaci s celou spodní částí, případně i s celým nástrojem.



Tažník je díl, u kterého budeme sledovat opotřebení. Vyrobený je z litiny s kuličkovým grafitem EN – JS 2070. Místo designové hrany je u tažníku T-D upraveno laserovým navařováním a u tažníku T-S indukčním kalením. Připevněn je pomocí per a šroubů ke spodnímu rámu. Jeho demontování vyžaduje vyjmutí přídržovače a nadsdvihnutí celé spodní části z pracovního stolu lisu.

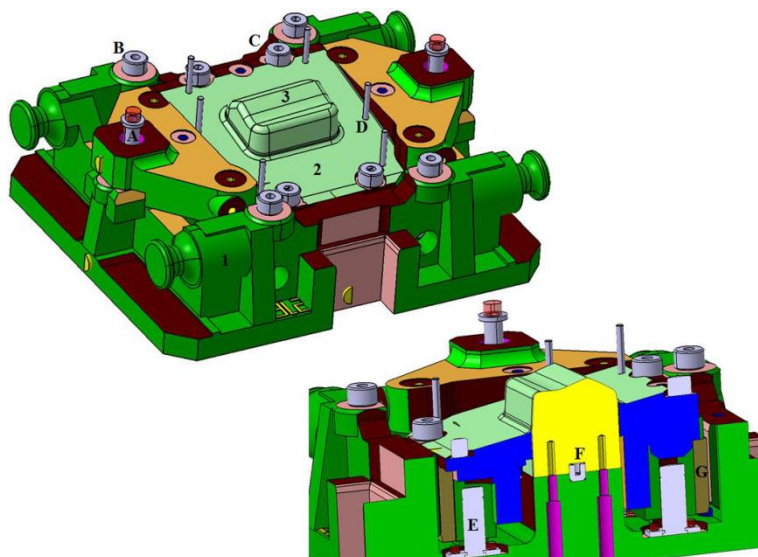


Obrázek 4-8 - specifikace geometrie ostré hrany tažníku T-D [29]



Obrázek 4-9 - specifikace geometrie ostré hrany tažníku T-S [29]

Přidržovač je vyrobený ze stejného materiálu jako tažník, a to z litiny s kuličkovým grafitem EN – JS 2070. Jeho konstrukce umožňuje použití tažníku s jinou geometrií. Umístěn je na plynových pružinách vytvářejících potřebný přítlak. Nástroj obsahuje čtyři pružiny s přítlačnou silou 700 kg a čtyři s přítlačnou silou 2 400 kg. Výsledná síla působící na přídržovač je tedy 12 600 kg. Na přídržovači jsou namontovány 2 krokové šrouby pojišťující přídržovač proti vypadnutí. Přesné vedení zajišťují čtyři pevně připevněné bronzové kluzné desky.



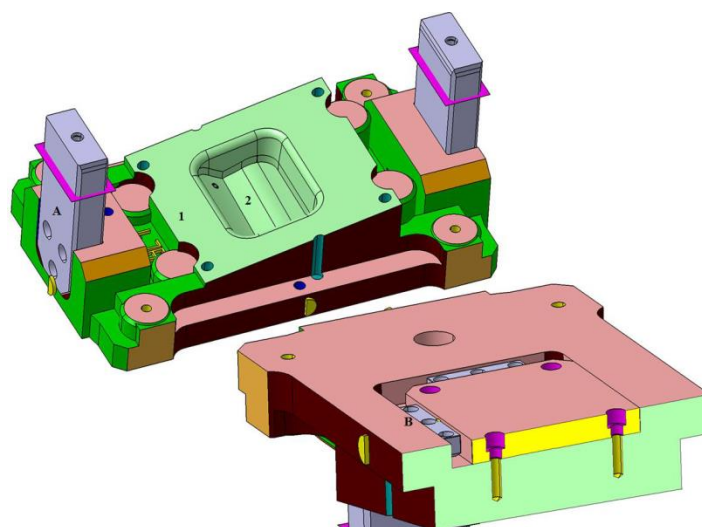
Obrázek 4-10 - Spodní část nástroje

#### 4.2.2. Horní část

Horní část je oproti spodní mnohem jednodušší a neobsahuje žádné pohyblivé díly. Základem je rám připevňující se k pohyblivému beranu lisu.

Rám horní části nástroje je, stejně jako rám spodní části, vyrobený z litiny s lupínkovým grafitem EN – JL 1040. Slouží nejen k připevnění dalších dílů, ale také jako druhá část přidržovače. Na rámu jsou připevněny kluzné desky, sloužící ke správnému nastavení polohy horního a spodního dílu.

Tažnice je vyrobena z litiny s kuličkovým grafitem EN – JS 2070 a její tvar je daný odsazením horní části tažníku o tloušťku plechu.



Obrázek 4-11 - Horní část nástroje

## 5. Návrh experimentu a způsoby vyhodnocení

### 5.1. Metodika analýzy opotřebení designové hrany

Postup práce vychází z metodiky, která byla popsána v diplomové práci [31].

#### 5.1.1. Upnutí a zprovoznění nástroje

Nástroj je upínán na lis PYE 250 pomocí upínek. Následně je nutné nastavit polohy koncových snímačů. Jedná se o snímač horní polohy, který musí být nad nástrojem ve výšce nejméně 350 mm, a to z důvodu, aby bylo možné pohodlně zakládat přístřihy a vyjímat výlisky. Příliš velká výška by znamenala prodlužování lisovací operace. Snímač pracovního zdvihu musí být v poloze, kdy tažnice dosedne na přídržovač. Snímač dolní polohy musí sepnout v poloze, kdy přídržovač dosedne na dorazy. Míra dosednutí se kontroluje otlakem na barvu.

Před lisováním je třeba funkční části nástroje namazat olejem.

#### 5.1.2. Příprava přístřihu

Přístřih je připraven pomocí nůžek na rozměr 265 x 238 mm. Materiálová jakost musí být DC 06 nebo HX 180. Nominální tloušťka plechu musí být 0,65 mm. Každá dávka přístřihu musí být z hlediska tloušťky kontrolována.

Je důležité, aby plech, používaný jako přístřih, byl čistý, jinak hrozí vnesení nečistoty do tvářecího nástroje a jeho poškození (zejména vizuální, které se velmi špatně opravuje a ovlivnilo by výsledky experimentu). A proto je zapotřebí ze svazku materiálu odstranit první a poslední plech, aby do nástroje nebyla zanesena nečistota. Při přípravě přístřihu musí být zabráněno kontaktu plechu s nečistotami.

#### 5.1.3. Zakládání přístřihu do nástroje a výroba výlisku

Před vložením přístřihu do nástroje musí být materiál zkontrolován a na každý 10. kus musí být nanášeno lisovací mazivo používané při sériové výrobě ve Škoda Auto, a.s.

Z nástroje musí být odstraněn krycí plech.

Přístřih je zakládán do nástroje mezi kolíky. Poté je spuštěn stroj a vyroben výlisek. Upozornění: vkládání, vyjímání přístřihu a obsluhu stroje zajišťuje pouze 1 člověk.



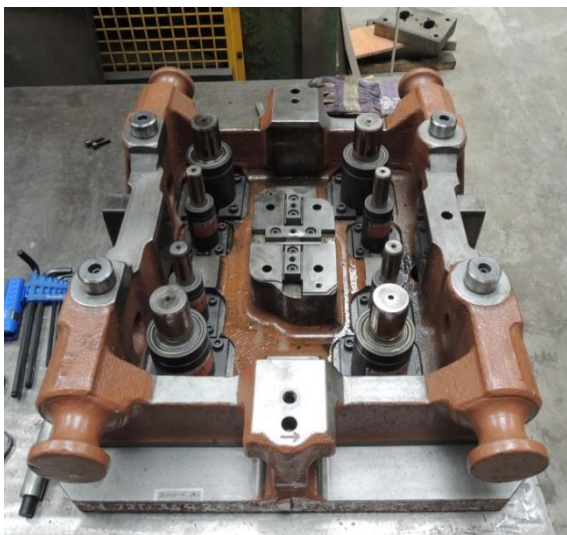
Po skončení práce je provedeno zakrytí nástroje krycím plechem a je proveden záznam počtu vyrobených výlisků.

V případě, že je odlisováno vždy každých 750 ks výlisků, provede se označení výlisku a jeho odebrání k proměření. Dále je po odlisování 1500 ks vyjmut tažník a je zajištěno jeho proměření dle bodu (5.1.5) této metodiky. Po proměření je nástroj opětovně smontován a je možné pokračovat v lisování dalších výlisků.

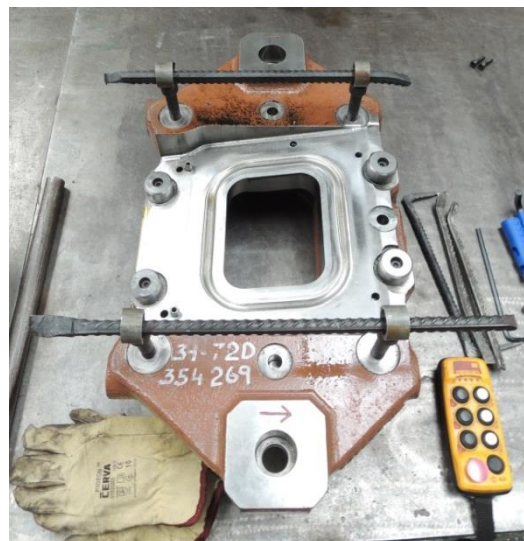
#### 5.1.4. Příprava nástroje pro měření

Pro vyjmutí tažníku i tažnice 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.

Obrázky demontovaného nástroje:



Obrázek 5-3 - Rám spodní části nástroje



Obrázek 5-1 - Přidržovač



Obrázek 5-2 - Horní část nástroje

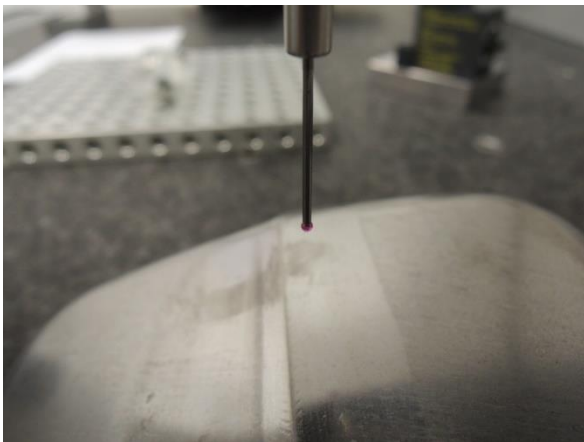
Po proměření je tažník vložen zpět do nástroje. Při vkládání je třeba dbát správného uložení pomocí per. Následně je třeba utáhnout upínací šrouby, vložit zpět díl přidržovače a provést jeho upnutí. V této chvíli je nástroj připraven pro lisování (dávka 1500 kusů). Po každém měření je provedeno vyhodnocení opotřebení.

### 5.1.5. Měření opotřebení

Po vyjmutí tažníku z nástroje je potřeba ho nejprve 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 tažník vloží do předem nastaveného a připraveného upínacího systému na příslušném měřicím stroji.

Nyní se provede samotné snímání dat (měření) na konturografu, či skenovací dotykovou hlavou 3D souřadnicového měřicího stroje. Naměřené hodnoty se zaznamenávají do PC, ve kterém je příslušný měřicí program. Měření je potřeba provádět za konstantní teploty a vlhkosti, aby nedocházelo k odchýlkám.



Obrázek 5-5 - Měření 3D souřadnicovým měřicím strojem



Obrázek 5-4 - Měření pomocí konturografu

### 5.1.6. Obecné informace

Nástroj obsahuje 2 tažníky a 2 tažnice (jsou označeny symboly D a S). Je třeba dbát na to, aby byl do nástroje vložen odpovídající tažník a tažnice. V případě špatné kvality výlisku je třeba kontaktovat pracovníky nářaďovny Škoda Auto, a.s., aby byla provedena úprava pro lisování výlisku bez vad. Přidržovač je pro všechny 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 nářaďovny Škoda Auto, a.s.

## 5.2. Způsob vyhodnocování opotřebení

K měření opotřebení byly, po konzultaci s měřícím střediskem ČVUT v Praze, určeny dvě metody měření.

### 5.2.1. 3D Souřadnicový měřicí stroj

Souřadnicové měřicí stroje představují jednu z nejvýznamnějších inovací v oblasti měření ve strojírenství. Konstrukce souřadnicových měřicích 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 měříme formou souřadnicových rozměrů v osách X, Y, Z. Možnost určení základního bodu v kterémkoliv místě pracovního prostoru měřicího stroje je velkou výhodou oproti konvenčním metodám.



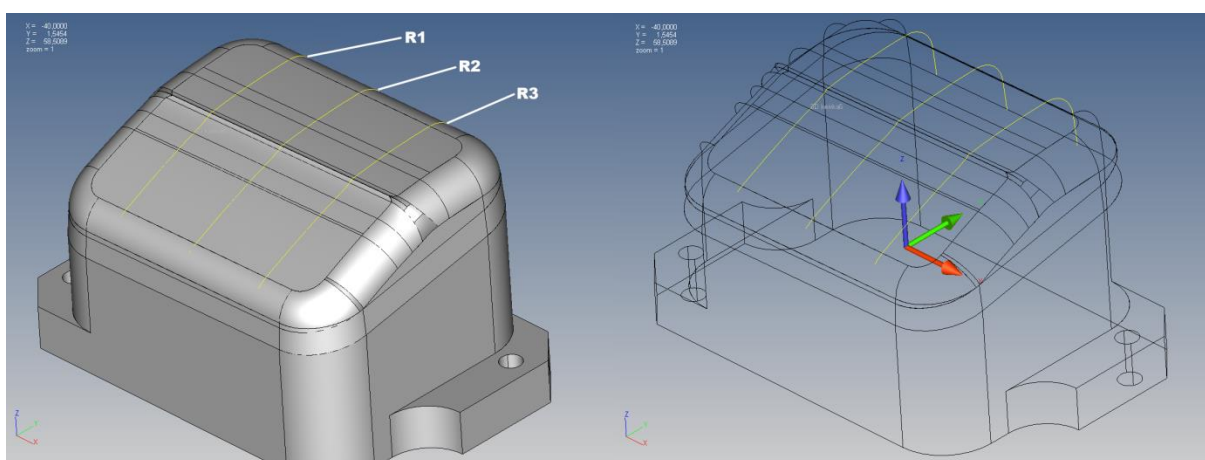
Obrázek 5-6 - 3D souřadnicový měřicí stroj PRISMO

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 měřicích strojů značný krok vpřed. Mimo to je většina číslicových souřadnicových měřicích strojů (CMM) uzpůsobena tak, že je možno k nim připojit zařízení pro záznam naměřených hodnot, které automaticky registruje naměřené body. [30]

Záznam výsledku slouží k vyhodnocování naměřených hodnot. Naměřené hodnoty se porovnávají s hodnotami nominálními, a to za pomoci 3D modelu součásti. Naměřené hodnoty lze porovnávat i bez modelu, a to porovnáváním různých hodnot z výkresu. Tato

metoda však není dostatečně produktivní a pro měření karoserií je nevhodná. Jak pro měření výlisků, tak i pro měření forem pro lisování je nejvhodnější způsob porovnávání modelu v PC.

Měření na 3D souřadnicovém měřicím stroji probíhá ve třech rovinách kolmých na ostrou hranu tažníku. V každé rovině řezu probíhají dvě měření. Jedno měření snímající celou horní část tažníku a druhé snímající pouze okolí ostré hrany. Počet bodů měření je v obou případech 2000. Pro tuto práci je zásadní měření probíhající pouze na okolí hrany. Kvůli stejnému počtu bodů, avšak menší vzdálenosti, získáme hustší a přesnější měření v požadovaném místě.

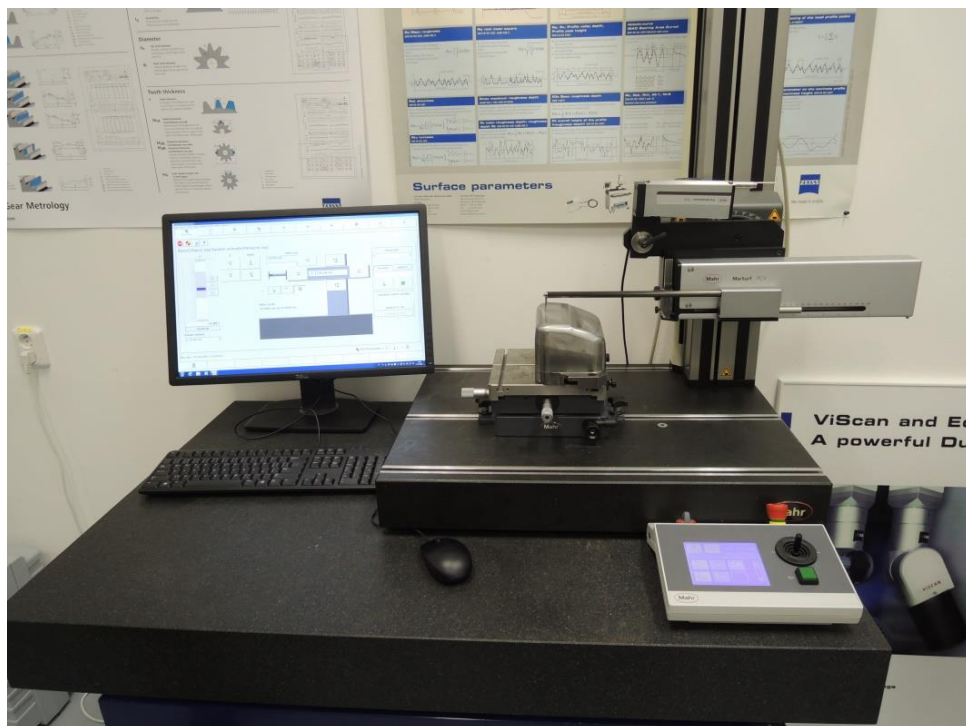


Obrázek 5-7 - Značení řezů pro 3D souřadnicové měření

### 5.2.2. Konturograf

Princip měření konturografu spočívá ve skenování povrchu měřené součásti. Díky kontinuálnímu snímání je eliminována nepřesnost vzniklá vynecháním místa mezi jednotlivými body.

Povrch je snímán pomocí ramena, na jehož konci je umístěna skenovací hlava. Na konci hlavy je diamantový hrot takřka bez zaoblení. Hrot je zkosen pod úhlem  $12^\circ$  a poloměr na špičce je 0,025 mm. Hrot se pohybuje po zkoumaném předmětu. Následná změna výchylky se mnohonásobně zvětší a je zaznamenána ve formě profilografů. Je důležité umístit měřenou součást tak, aby rovina snímání byla 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).



Obrázek 5-8 - Konturograf MAHR

Měření probíhá podobně jako u 3D souřadnicového měření v jednotlivých rovinách kolmých na ostrou hranu. Na tažníku jsou místa těchto rovin vyznačena při prvním měření tak, že se na plochu, která není funkční, nakreslí určující značky. Pomocí konturografu jsou při každém měření získány 4 křivky.



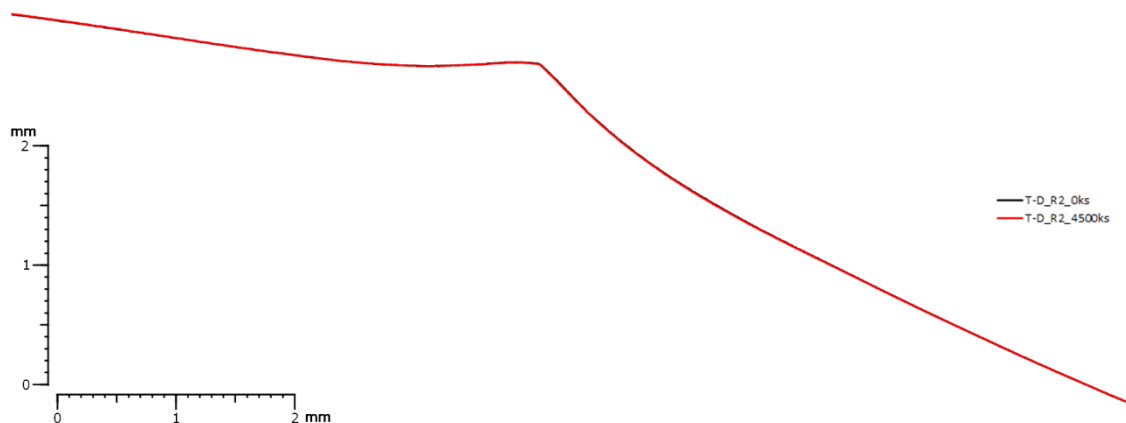
## 6. Analýza naměřených hodnot

Křivky z jednotlivých měření jsem porovnal tak, že jsem je překryl přes sebe a ztotožnil ty části, které odpovídají rovné ploše nástroje. Je to možné z toho důvodu, že opotřebení na těchto plochách je minimální a nedochází tak k jejich výrazné změně.

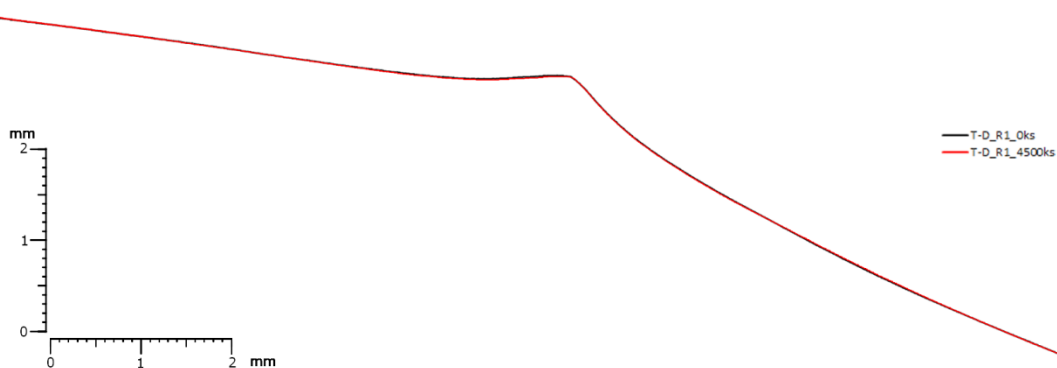
### 6.1. Analýza opotřebení tažníku T-D

#### Konturograf

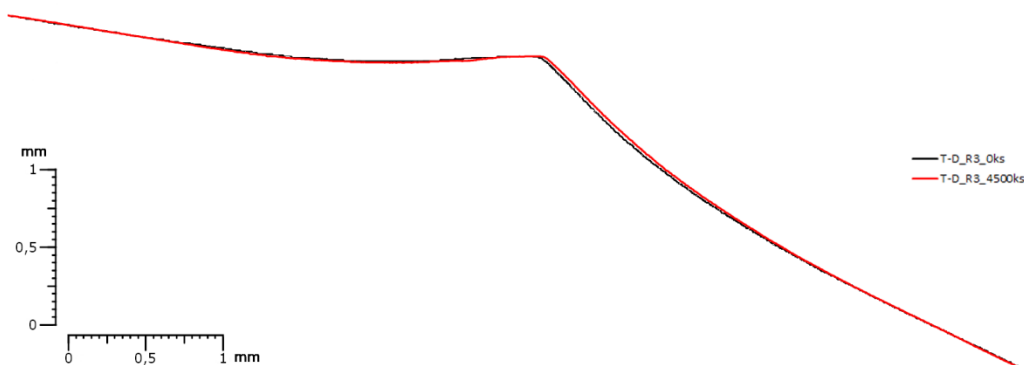
Při porovnání jednotlivých křivek získaných pomocí konturografu po odlisování 0ks, 1500ks a 3000ks nejsou patrné téměř žádné rozdíly. Vyhodnocení jsem proto provedl porovnáním měření po odlisování 0ks a 4500ks.



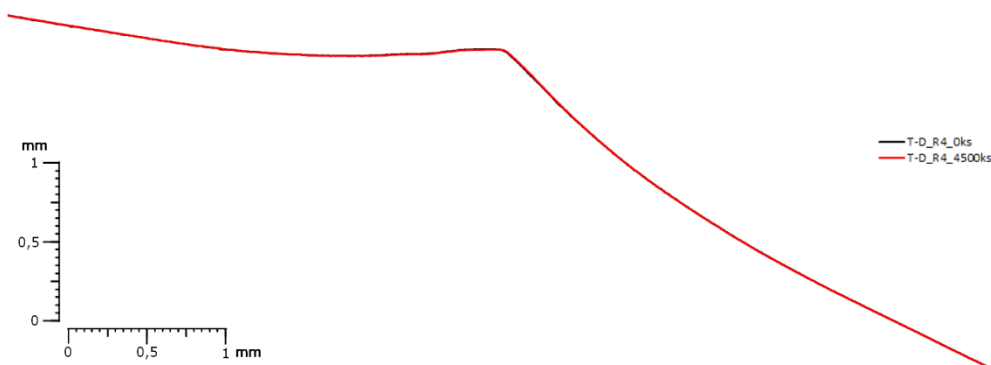
Obrázek 6-1 - tažník T-D, řez R1, konturograf



Obrázek 6-2 - tažník T-D, řez R2, konturograf



Obrázek 6-3 - tažník T-D, řez R3, konturograf



Obrázek 6-4 - tažník T-D, řez R4, konturograf

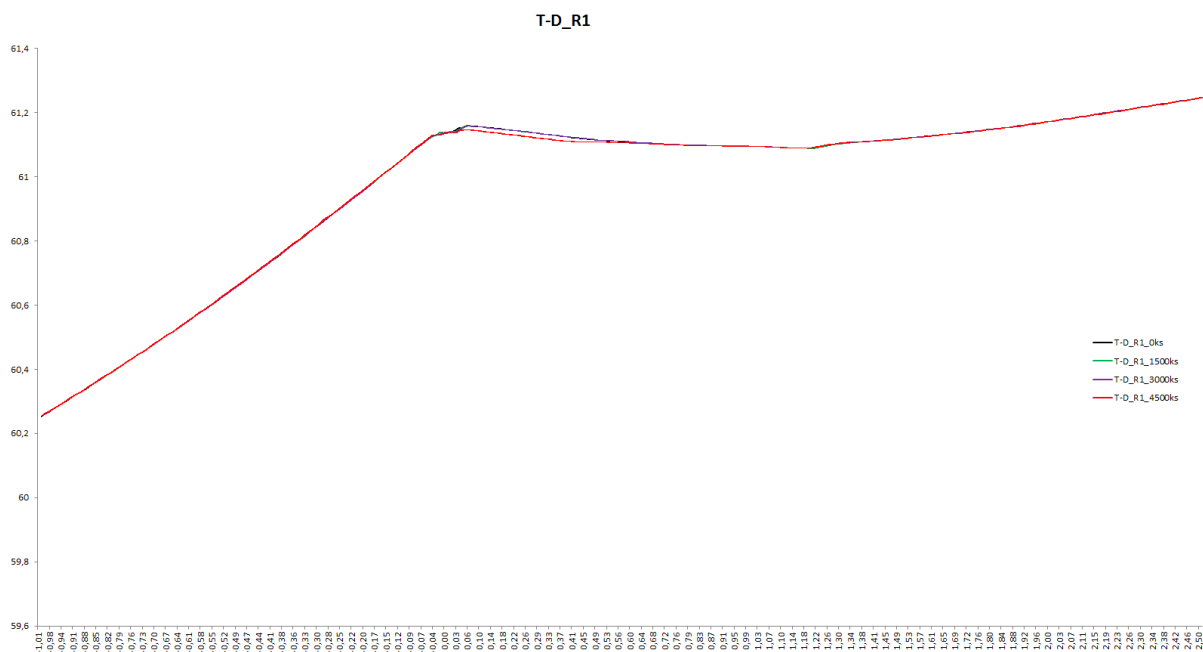
Na obrázcích je černou barvou zobrazena křivka naměřená před lisováním a červenou barvou křivka naměřená po odlisování 4500ks. Černé a červené křivky na řezech R1, R2 a R4 jsou téměř totožné. Rozdíl je patrný pouze na řezu R3. Není však důvod, proč by v průběhu lisování mělo dojít k přidání materiálu v místě pod ostrou hranou. Rozdíl na tomto jednom řezu může být způsoben například rozdílnou rovinou snímání kontury prvního a posledního měření, či nechtěným úhlovým natočením tažníku na stole konturografu.

Měření tažníku na konturografu neprokázalo změnu geometrie po odlisování 4500 ks.

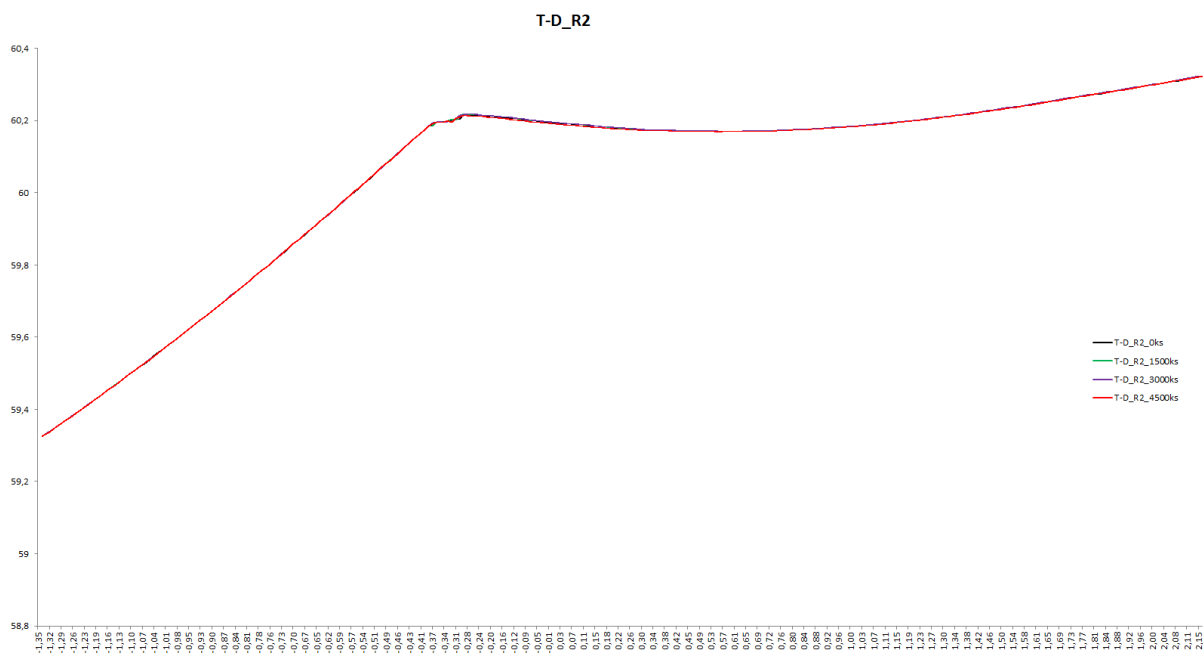
Data získaná měřením jsou uvedena v příloze na CD.

### 3D souřadnicový měřicí stroj

Souřadnice bodů získané měřením jsem spojil a dostal tak z každého měření křivku. Křivky jsem mezi sebou barevně odlišil. Data získaná po odlisování 0ks má černou barvu, po 1500ks zelenou, po 3000ks fialovou a po 4500ks červenou.

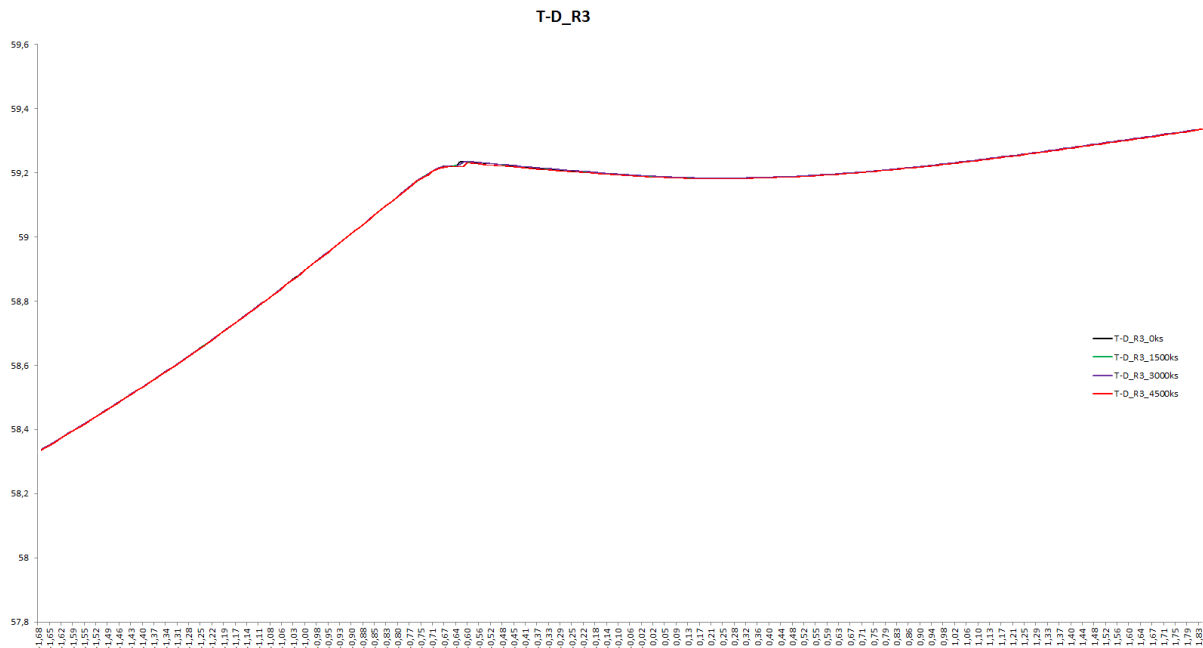


Obrázek 6-5 - tažník T-D, řez R1, 3D souřadnicové měření



Obrázek 6-6 - tažník T-D, řez R2, 3D souřadnicové měření





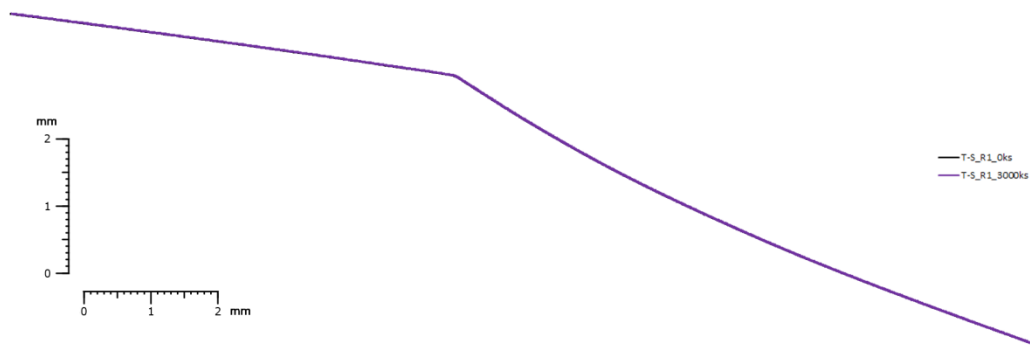
**Obrázek 6-7 - tažník T-D, řez R3, 3D souřadnicové měření**

Data naměřená v řezech R2 a R3 jsou po odlisování jednotlivých dávek v podstatě identická a nevykazují změnu geometrických rozměrů nástroje. Rozdílná data jsou patrná pouze pro řez R1. Doporučuji se touto problematikou dále zabývat a zjistit, zda je tato odchylka ovlivněna nepřesností měření, zda došlo k poškození nástroje, či zda se jedná o počátek opotřebování nástroje.

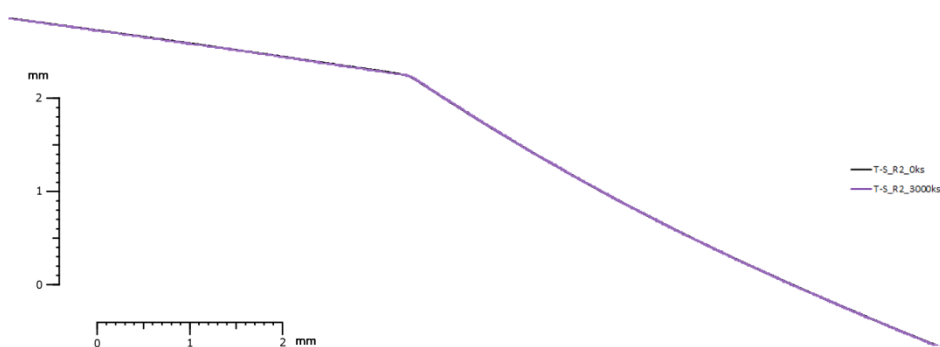
## 6.2. Analýza opotřebení tažníku T-S

### Konturograf

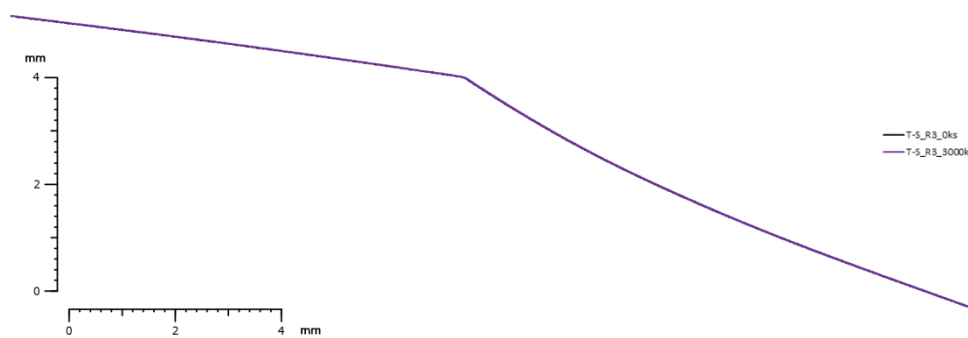
Při porovnání naměřených křivek po odlisování 0ks a 1500ks nejsou patrné žádné rozdíly. Vyhodnocení jsem proto provedl, stejně jako u předchozího tažníku, porovnáním měření před začátkem lisování a na konci lisování.



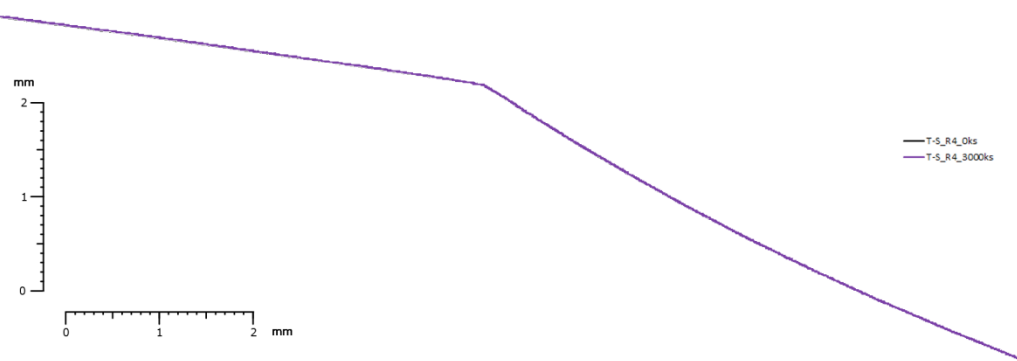
Obrázek 6-8 - tažník T-S, řez R1, konturograf



Obrázek 6-9 - tažník T-S, řez R2, konturograf



Obrázek 6-10 - tažník T-S, řez R3, konturograf

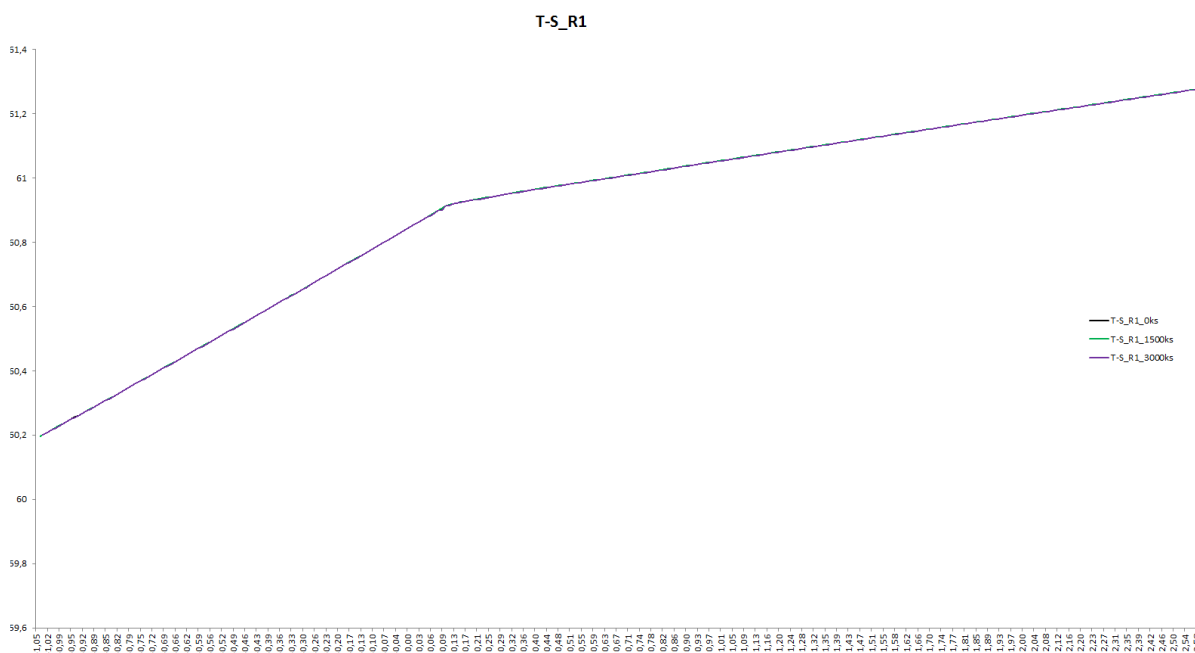


Obrázek 6-11 - tažník T-S, řez R4, konturograf

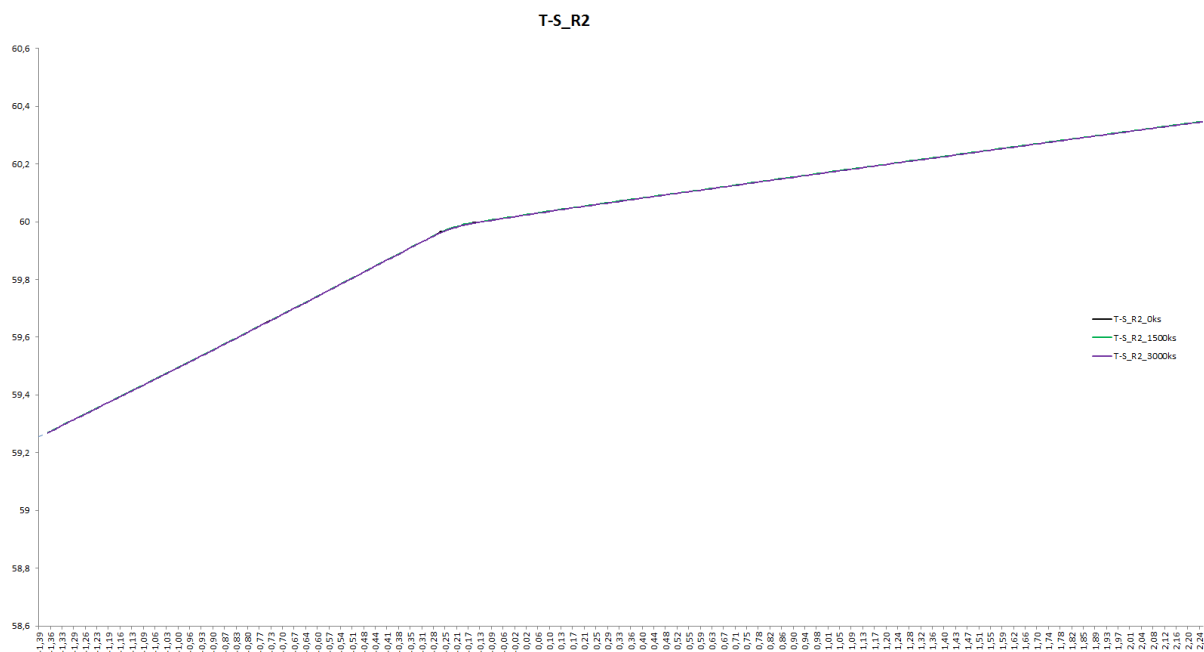
Při porovnání křivek je patrné, že pomocí této metody měření nebyla zjištěna změna geometrie tažníku.

### 3D souřadnicový měřicí stroj

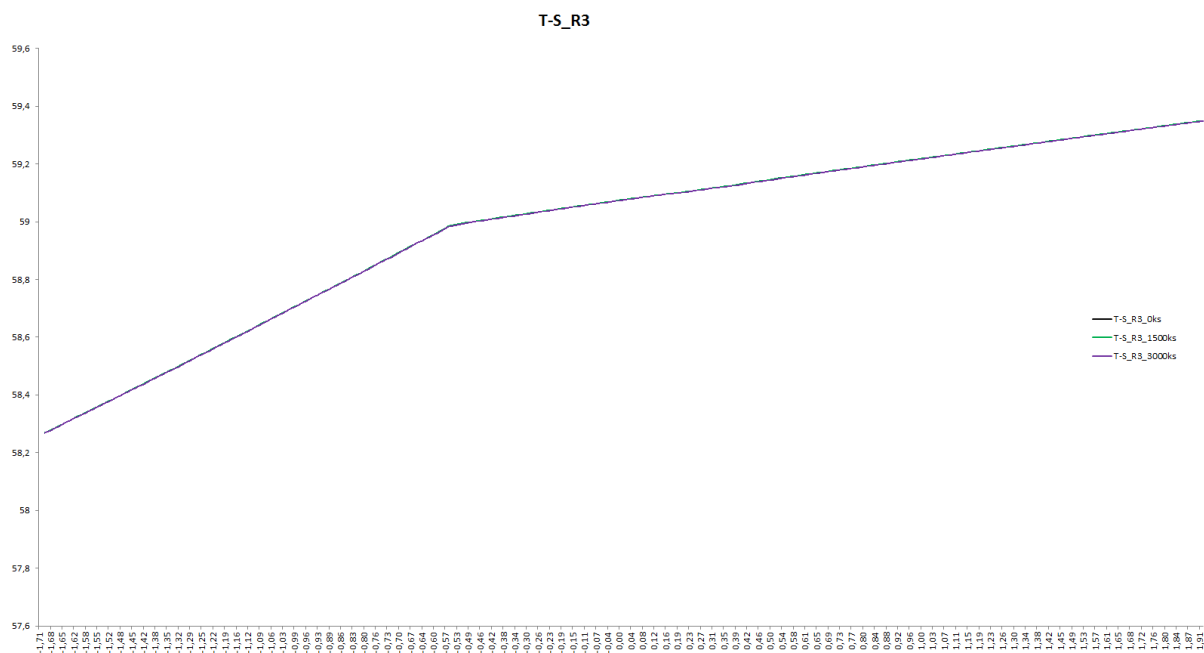
Souřadnice bodů získané měřením jsem zpracoval stejně jako u tažníku T-D. Křivky jsem opět barevně odlišil a to černou barvou po odlisování 0ks, zelenou po 1500ks a fialovou po 3000ks.



Obrázek 6-12 - tažník T-S, řez R1, 3D souřadnicové měření



Obrázek 6-13 - tažník T-S, řez R2, 3D souřadnicové měření



Obrázek 6-14 - tažník T-S, řez R3, 3D souřadnicové měření

Křivky získané po odlisování jednotlivých dávek jsou mezi sebou totožné. Z toho plyne, že v průběhu lisování nebyla naměřena změna geometrických rozměrů nástroje.

## 7. Závěr

V úvodu bakalářské práce popisuji, proč se této problematice věnuji a jaké jsou alternativní cesty snižování hmotnosti karoserie. Dále jsem se věnoval aspektům ovlivňujícím tvářecí proces, rozdělení technologie tváření a jednotlivým metodám výroby výlisku.

V praktické části se zabývám lisovacími nástroji, jejich konstrukcí a možnými úpravami povrchových vlastností, zejména v místech ostré designové hrany. Poté jsem popsal nástroj, na kterém probíhalo experimentální měření. Samotný experiment vycházel z metodiky navržené speciálně pro tuto problematiku a tento nástroj. Metodika specifikuje celý postup prací od zprovoznění nástroje, přes přípravu materiálu a jeho lisování, až po měření nástroje. Pro vyhodnocování opotřebení jsem popsal jednotlivé metody měření a způsob analyzování naměřených hodnot.

Při realizaci práce nebylo prokázáno výrazné opotřebení nástroje.

Na nástroji T-D jsou v jednom řezu patrné známky změny geometrie. Jelikož je tento defekt patrný až v rozmezí 3000 ks a 4500 ks výlisků, je třeba se tímto dále zabývat a zjistit, zda je to způsobeno nepřesností měření, vylomením části nástroje, či zda je to známka opotřebení. U nástroje T-S se, vzhledem k jeho tvaru, předpokládá menší opotřebení, což se také potvrdilo i experimentem.

Doporučuji se touto problematikou dále zabývat a navrhuji v průběhu lisování měřit, kromě geometrie tažníku pomocí konturografu a 3D souřadnicového měření, také drsnost v okolí designové hrany. Je totiž možné, že opotřebení ovlivňující kvalitu výlisku nemusí mít pouze formu změny geometrie nástroje, ale může mít charakter změny povrchových vlastností.

## 8. Použité zdroje a literatura

- [1] KUŠOVÁ, Tereza. Již 125 let můžeme řídit motorový vůz. *Novinky.cz*[online]. 2011 [cit. 2016-08-04]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/veda-skoly/historie/222787-jiz-125-let-muzeme-ridit-motorovy-vuz.html>
- [2] The 1917 Ford Model T Automobiles. *American Automobiles* [online]. [cit. 2016-08-04]. Dostupné z: <http://www.american-automobiles.com/Ford/1917-Ford.html>
- [3] DUCHOŇ, Jiří. Víkendové čtení: Lancia na špici pokroku. *Autorevue.cz*[online]. 2009 [cit. 2016-08-04]. Dostupné z: [http://www.autorevue.cz/vikendove-cteni-lancia-na-spici-pokroku\\_4](http://www.autorevue.cz/vikendove-cteni-lancia-na-spici-pokroku_4)
- [4] Tatra 77. *Wikipedia* [online]. [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Tatra\\_77](https://cs.wikipedia.org/wiki/Tatra_77)
- [5] News. Volkswagen [online]. 2014 [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: [http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info\\_center/en/news/2014/11/SKODA\\_design\\_premiere\\_in\\_China.html](http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/en/news/2014/11/SKODA_design_premiere_in_China.html)
- [6] BMW Has Seen the Future, and It's Carbon. *Bloomberg* [online]. 2013 [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2013-11-21/bmw-bets-on-carbon-fiber-bodies-for-cars>
- [7] SOCHOR, Jakub. Nová Škoda Superb je revolucí v designu značky. *DESIGNMAG* [online]. 2015 [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: <http://www.designmagazin.cz/technika/53852-nova-skoda-superb-je-revoluci-v-designu-znacky.html>
- [8] Skupenství látek. *Absolventi: gymcheb* [online]. [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: [http://absolventi.gymcheb.cz/2007/jajindr/Stranky/skupenstvi\\_latek.html](http://absolventi.gymcheb.cz/2007/jajindr/Stranky/skupenstvi_latek.html)
- [9] ČADA, Radek. *Technologie I: plastická deformace kovů, objemové tváření zastudena, tažení plechu, ohýbání*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2108-5
- [10] Technologie tváření kovů. *Katedra strojírenské technologie TUL* [online]. [cit. 2016-08-05]. 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)

- [11] HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1976.
- [12] PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření I*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 80-707-8877-1.
- [13] BŘEZINA, Richard a Jiří PETRUŽELKA. *Úvod do tváření II*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0068-3.
- [14] NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.
- [15] Technologie plošného tváření: Stříhání. *Katedra strojírenské technologie TUL* [online]. [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/06.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm)
- [16] NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.
- [17] TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum*. 17.5.2010, , 72.
- [18] HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1976.
- [19] Technologie plošného tváření: Ohýbání. *Katedra strojírenské technologie TUL* [online]. [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/06.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm)
- [20] TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Ohýbání. *MM Průmyslové spektrum*. 22.6.2010, , 52.
- [21] TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Odpružení v plošném tváření. *MM Průmyslové spektrum*. 11.5.2011, , 74.
- [22] Technologie plošného tváření: Tažení. *Katedra strojírenské technologie TUL* [online]. [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/09.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm)
- [23] Volkswagen Factory Tour. VWVortex [online]. 2001 [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: [http://www.vwvortex.com/artman/publish/vortex\\_news/printer\\_329.shtml](http://www.vwvortex.com/artman/publish/vortex_news/printer_329.shtml)



- [24] DAŘOUREK, Karel. *Povrchové kalení: Teorie tepelného zpracování*. Technická univerzita v Liberci.
- [25] *Metalurgie - zpracování oceli: Povrchové kalení* [online]. 2013 [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: <https://ometalurgii.wordpress.com/2013/02/14/povrchove-kaleni/>
- [26] Laserové kalení. *LASCAM* [online]. 2015 [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: <http://www.lascam.cz/laserove-kaleni/>
- [27] TIG, MIG navařování (svařování). *MEPAC* [online]. [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: <http://www.mepac.cz/cz/presne-strojirenstvi/tig--mig-navarovani--svarovani->
- [28] Laserové navařování. *ARCRobotics* [online]. [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: <http://www.arc-robotics.cz/laserove-navarovani.html>
- [29] ŠKODA AUTO A.S. Interní podklady. Mladá Boleslav: Nářad'ovna Škoda Auto a.s., 2014.
- [30] Souřadnicové měřicí stroje. *Technická univerzita Liberec* [online]. [cit. 2016-08-05]. Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:2522>
- [31] MECA, Jan. *Sledování životnosti nástroje s ostrou designovou hranou*. Praha, 2015. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. František Tatíček, Ph.D.

## 9. Seznam obrázků

Obrázek 1-1 - Benz Patent-Motorwagen [1] .....	9
Obrázek 1-2 - FORD T [2] .....	9
Obrázek 1-3 - LANCIA Lambda [3] .....	10
Obrázek 1-4 - TATRA T77 [4] .....	10
Obrázek 1-5 - ŠKODA Vision C [5] .....	10
Obrázek 1-6 – Karoserie BMW i3 [6].....	11
Obrázek 1-7 - ŠKODA Superb [7] .....	12
Obrázek 2-1 - Krystalické struktury [10] .....	14
Obrázek 2-2 - Princip plastické deformace skluzem [8] .....	15
Obrázek 2-3 - Princip plastické deformace dvojčatěním [8].....	16
Obrázek 3-1 - Stříhání pomocí stříhadla [15].....	17
Obrázek 3-2 - Průběh střížného procesu a střížné síly [14].....	18
Obrázek 3-3 - Vliv střížné vůle [18].....	18
Obrázek 3-4 - Rozložení napětí při ohybu [19].....	19
Obrázek 3-5 - Úhel odpružení [19] .....	19
Obrázek 3-6 - Tažení [19] .....	20
Obrázek 3-7 - Vliv přídržovače při tažení .....	20
Obrázek 3-8 – Příklad provedení lišt.....	21
Obrázek 4-1 - Příklad lisovací linky [23] .....	22
Obrázek 4-2 - Indukční ohřev.....	23
Obrázek 4-3 - Laserové kalení [26].....	24
Obrázek 4-4 - Ruční tvrdokovový návar [27] .....	25
Obrázek 4-5 - Laserové navařování [28].....	26
Obrázek 4-6 - Postup výroby ostré hrany a možné varianty matric [29] .....	27
Obrázek 4-7 - Experimentální nástroj .....	28
Obrázek 4-8 - specifikace geometrie ostré hrany tažníku T-D [29].....	29
Obrázek 4-9 - specifikace geometrie ostré hrany tažníku T-S [29].....	29
Obrázek 4-10 - Spodní část nástroje.....	30
Obrázek 4-11 - Horní část nástroje.....	30
Obrázek 5-1 - Přídržovač.....	32
Obrázek 5-2 - Horní část nástroje.....	32
Obrázek 5-3 - Rám spodní části nástroje.....	32

Obrázek 5-4 - Měření pomocí konturografu .....	33
Obrázek 5-5 - Měření 3D souřadnicovým měřicím strojem .....	33
Obrázek 5-6 - 3D souřadnicový měřicí stroj PRISMO .....	34
Obrázek 5-7 - Značení řezů pro 3D souřadnicové měření .....	35
Obrázek 5-8 - Konturograf MAHR .....	36
Obrázek 6-1 - tažník T-D, řez R1, konturograf .....	37
Obrázek 6-2 - tažník T-D, řez R2, konturograf .....	37
Obrázek 6-3 - tažník T-D, řez R3, konturograf .....	38
Obrázek 6-4 - tažník T-D, řez R4, konturograf .....	38
Obrázek 6-5 - tažník T-D, řez R1, 3D souřadnicové měření.....	39
Obrázek 6-6 - tažník T-D, řez R2, 3D souřadnicové měření.....	39
Obrázek 6-7 - tažník T-D, řez R3, 3D souřadnicové měření.....	40
Obrázek 6-8 - tažník T-S, řez R1, konturograf.....	41
Obrázek 6-9 - tažník T-S, řez R2, konturograf.....	41
Obrázek 6-10 - tažník T-S, řez R3, konturograf.....	41
Obrázek 6-11 - tažník T-S, řez R4, konturograf.....	42
Obrázek 6-12 - tažník T-S, řez R1, 3D souřadnicové měření .....	42
Obrázek 6-13 - tažník T-S, řez R2, 3D souřadnicové měření .....	43
Obrázek 6-14 - tažník T-S, řez R3, 3D souřadnicové měření .....	43

## 10. Seznam příloh na CD

Příloha 1	- Specifikace hydraulického lisu PYE 250
Příloha 2	- Protokoly měření na konturografu
Příloha 3	- Data naměřená na 3D souřadnicovém měřicím stroji
Příloha 4	- Analýza dat z měření pomocí konturografu
Příloha 5	- Analýza dat ze 3D souřadnicového měření