

# Analýza deformace plechů spojovaných technologií lepení

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B2301 Strojní inženýrství

*Studijní obor:*

Strojní inženýrství

*Autor práce:*

**Tomáš Trepák**

*Vedoucí práce:*

doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie

*Konzultant práce:*

Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie





## Zadání bakalářské práce

# Analýza deformace plechů spojovaných technologií lepení

*Jméno a příjmení:* **Tomáš Trepák**  
*Osobní číslo:* S18000127  
*Studijní program:* B2301 Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* Strojní inženýrství  
*Zadávací katedra:* Katedra strojírenské technologie  
*Akademický rok:* **2021/2022**

### Zásady pro vypracování:

1. Přehled technologií spojování plechů pomocí lepení
2. Možnosti bezkontaktní analýzy deformace, základy fotogrammetrie
3. Návrh metodiky pro hodnocení zbytkových deformací lepených plechů v automobilovém průmyslu
4. Experimentální zjištění zbytkových deformací plechů při aplikaci různých typů lepidel
5. Závěr



*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

obrázky, tabulky, grafy  
cca 30 stran textu  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- [1] SILVA, Lucas Filipe Martins da, Andreas ÖCHSNER a Robert D. ADAMS, ed. Handbook of adhesion technology. Heidelberg: Springer, 2011. Springer reference. ISBN 978-3-642-01168-9.
- [2] ADAMS, Robert D., ed. Adhesive bonding: science, technology and applications. Boca Raton: Cambridge: CRC Press; Woodhead Pub, 2005. ISBN 978-0-8493-2584-7.
- [3] DWIVEDI, DHEERENDRA KUMAR. FUNDAMENTALS OF METAL JOINING: processes, mechanism and performance. S.l.: SPRINGER, 2021. ISBN 9789811648182.
- [4] LUHMANN, Thomas, Stuart ROBSON a Stephen KYLE, ed. Close-range photogrammetry: principles, methods and applications. Dunbeath: Whittles, 2006. ISBN 978-1-870325-50-9.
- [5] NEUBAUER, Jiří, Marek SEDLAČÍK a Oldřich KŘÍŽ. Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5786-5.

*Vedoucí práce:*

doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie

*Konzultant práce:*

Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie

*Datum zadání práce:*

30. listopadu 2021

*Předpokládaný termín odevzdání:*

30. května 2023

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

L.S.

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
vedoucí katedry

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

28. června 2022

Tomáš Trepák

# Analýza deformace plechů spojovaných technologií lepení

## Deformation analysis of sheets joined by gluing technology

### Anotace

Bakalářská práce se zabývá analýzou deformace plechů spojovaných pomocí technologie lepení. Teoretická část se zabývá základním rozdělením lepidel, principem vzniku lepeného spoje a způsobem nanášení lepidel. V práci jsou dále uvedeny základní principy fotogrammetrických metod pro bezkontaktní analýzu deformace. Cílem řešení bakalářské práce byl návrh metodiky pro hodnocení zbytkových deformací lepených plechů v automobilovém průmyslu při aplikaci lepidel v pohledových částech karoserie automobilu a ověření této metodiky na zvolené kombinaci lepidla a hlubokotažného plechu.

**Klíčová slova:** Lepidlo, spoj, plech, karoserie, bezkontaktní metody měření, Fotogrammetrie, Deformační analýza

### Annotation

The bachelor's thesis deals with the analysis of deformation of sheets joined by gluing technology. The theoretical part deals with the basic division of adhesives, the principle of gluing and the method of applying adhesives. The work also presents the basic principles of photogrammetric methods for non-contact deformation analysis. The aim of the bachelor's thesis was to design a methodology for evaluating the residual deformation of bonded sheets in the automotive industry in the application of adhesives in the visible parts of the car body and verify this methodology for the selected combination of adhesive and deep-drawn sheet.

**Key words:** Glue, joint, sheet metal, body, contact measurement methods, photogrammetry, deformation analysis

## Poděkování

Velké dík patří vedoucímu této bakalářské práce doc. Ing Pavlu Solfroňkovi, Ph.D. který byl vždy nápomocen a ochotný řešit zadanou problematiku. Nelze opomenout poděkovat rodině, známým a přátelům kteří mě při studiu podporovali.

# Obsah

<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>2 Teoretická část.....</b>	<b>12</b>
2.1 <i>Technologie lepení.....</i>	<i>12</i>
2.1.1 Teorie lepených spojů .....	13
2.1.2 Výhody a nevýhody lepených spojů.....	15
2.1.3 Požadavky pro vznik kvalitního lepeného spoje .....	15
2.1.4 Zásady návrhu lepeného spoje.....	16
2.1.5 Rozdělení lepidel .....	16
2.1.6 Lepidla pro automobilový průmysl .....	18
2.1.7 Hlavní výrobci lepidel pro automobilový průmysl .....	18
2.1.8 Proces lepení karoserie .....	20
2.2 <i>Fotogrammetrie .....</i>	<i>25</i>
2.2.1 Úvod do problematiky bezkontaktního 3D měření.....	25
2.2.2 Výhody a nevýhody .....	26
2.2.3 Terminologie a základní pojmy .....	26
2.2.4 Princip bezkontaktních metod .....	27
2.2.5 Úvod do fotogrammetrie .....	28
2.2.6 Historie fotogrammetrie a bezkontaktních měřících metod .....	29
2.2.7 Rozdělení fotogrammetrie .....	29
2.2.8 Základní pojmy .....	30
2.2.9 Princip fotogrammetrie.....	31
2.2.10 3D skener ATOS III Triple scan.....	31
<b>3 Experimentální část.....</b>	<b>33</b>
3.1 <i>Měření deformace ve speciálním přípravku.....</i>	<i>33</i>
3.1.1 Konstrukce přípravku .....	33
3.1.2 Testované materiály.....	34
3.1.3 Testované lepidlo .....	36
3.1.4 Proces měření deformace v přípravku.....	37
3.1.5 Měření deformace před vytvrzení lepidla.....	43
3.1.6 Ohřátí lepidla na teplotu vytvrzení .....	46
3.1.7 Měření deformace po vytvrzení lepidla .....	47
3.2 <i>Analýza silových a deformačních účinků lepidla .....</i>	<i>49</i>
3.2.1 Návrh metody měření .....	49

3.2.2 Vytvoření měřících přípravků.....	51
3.2.3 Příprava na proces měření .....	52
3.2.4 Měření vyvolané síly.....	56
3.2.5 Měření deformace .....	57
<b>4 Diskuse výsledků.....</b>	<b>59</b>
4.1 <i>Vyhodnocení výsledku měření ve speciálním přípravku .....</i>	<i>59</i>
4.1.1 Zhodnocení použité metody .....	61
4.2 <i>Vyhodnocení výsledků měření na trhačím stroji .....</i>	<i>61</i>
4.2.1 Výsledky měření vyvolané síly.....	62
4.2.2 Výsledky měření deformace.....	62
4.2.3 Zhodnocení použité metody .....	63
<b>5 Závěr .....</b>	<b>64</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>65</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>66</b>

## Seznam použitých zkratk a symbolů

$A_g$	Tažnost	[%]
$A_{80mm}$	Tažnost při počáteční délce	[%]
F	Síla	[N]
$R_m$	Mez pevnosti	[MPa]
$R_{p0.2}$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
t	čas	[s]
T	Teplota	[°C]
X	Posunutí	[mm]
$\varepsilon$	Poměrná deformace	[-]
CAD	Computer-aided design	
CAM	Computer-aided manufacturing	
LED	Light emitting diode	
MAG	Metal active gas	
MIG	Metal inert gas	
PUR	polyuretan	
STL	Stereolitografie	





## 1 Úvod

Spoje jsou nedílnou součástí všech výrobních procesů. S novými poznatky v oblasti materiálů se stále více dostává do popředí dříve pouze okrajově užívaná technologie lepení. Ukazuje se, že tato technologie spojování je schopna v mnoha oblastech nahradit dosud využívané konvenční metody, například svařování, šroubování nebo nýtování. Navíc přináší benefity, které nemohou konvenční metody poskytnout, jde třeba o schopnost utěsnit spoj proti vniku vody, možnost tlumit vibrace, nebo ve spojení s běžnými metodami ještě zvýšit pevnost spoje. Díky těmto vlastnostem se lepení stalo nedílnou součástí automobilového průmyslu, pro který vznikají stále dokonalejší lepidla, která svojí pevností dovedou zcela nahradit původní technologie. Na druhou stranu nalezneme i negativní vlastnosti lepidel mezi které jednoznačně patří deformace vzniklá během vytvrzování. Lepidla používaná pro stavbu karoserie automobilu se vytvrzují za zvýšené teploty během vypalování laku [1]. Vytvrzované lepidlo má tendenci měnit svůj objem a vyvolávat silové účinky které se mohou negativně odrazit na deformaci pohledových dílů vozu. Proto je snahou přijít na to, jakým způsobem se používané lepidlo deformuje a jaký vliv má na plechový díl. Cílem je vymyslet metodiku měření a zjistit, jak se lepidlo se spojem chová. Pro měření deformací bude použito bezkontaktních měřících metod, které dovedou změřit průběh celé deformace.

## 2 Teoretická část

Prvním tématem teoretické části bakalářské práce je popis technologie lepení. O lepení je zde uveden jeho princip použití a vlastnosti. S přihlédnutím k zaměření práce jsou zde popsána především lepidla využívaná k lepení karosářských dílů. Dále má teoretická část čtenáře seznámit se způsoby bezkontaktního měření deformací mezi které patří fotogrammetrie. K této problematice je zde popsán její princip, základní pojmy a další informace.

### 2.1 Technologie lepení

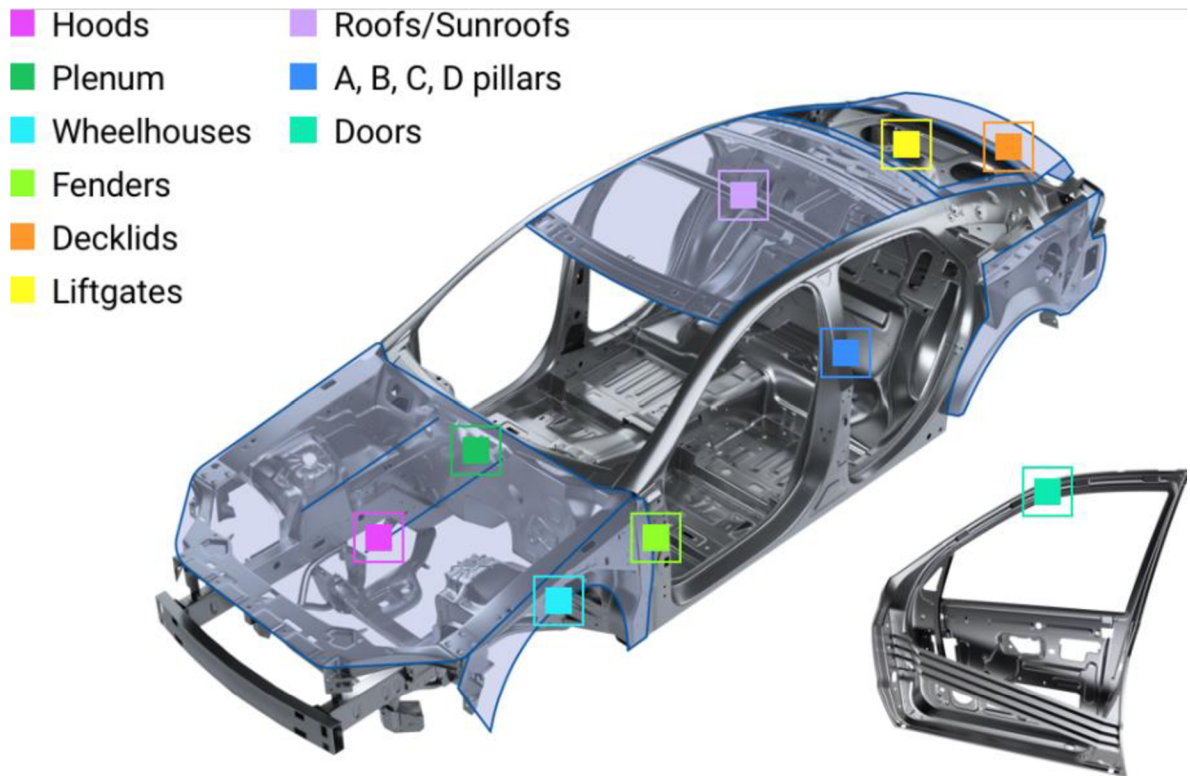
Lepení je technologie spojování součástí pomocí přídavných látek tzv. lepidel. Spoje vzniklé lepením se řadí mezi nerozebíratelné nebo částečně rozebíratelné. V současnosti jde o velmi produktivní technologii, která nalézá uplatnění v široké škále průmyslových odvětví [1].

Jedná se o velmi starou metodou, jejíž kořeny sahají hluboko do minulosti. Jako první se používala lepidla z přírodních látek (smůla, vaječný bílek), později se objevily první klišy. Revoluční pro lepení byl objev fenolformaldehydové pryskyřice, díky tomu se stalo lepení vyhledávanou doplňkovou technologií, která se vhodně kombinovala s tradičními spojovacími metodami. Například při výrobě potahových konstrukcí se lepením dosahovalo vyšší tuhosti. Dalšímu zdokonalení lepení přispěl vývoj plastických hmot. Postupem času se začalo lepení stále více prosazovat v průmyslové praxi, z původně jen doplňkového využití se stalo lepení technologií, která je pro dnešní průmysl nepostradatelnou [1]. O narůstajícím významu lepení se lze přesvědčit například při porovnání podílu lepených spojů na karoserii osobního automobilu Škoda Fabia II a Škoda Fabia III (Tab.1) [2].

**Tab.1** Generační rozdíl v aplikaci jednotlivých svařovacích technologií a lepení [2].

Technologie	Fabia II	Fabia III	$\Delta$
Svařovací body [ks]	3820	3884	+64
Tavné svařování MAG [mm]	3050	1658	-1392
Pájení MIG [mm]	1115	903	-212
Laserové pájení a svařování [mm]	4398	4425	+27
Lepení [mm]	27657	35399	+7742

Je zřejmé že v tuzemsku je největším odběratelem průmyslových lepidel automobilový průmysl. Pro požadavky tohoto odvětví je k dostání přes 50 druhů pevnostních lepidel od renomovaných výrobců (3M, Henkell AG, Sika...). Zvyšující se nároky na bezpečnost a celkové zdokonalování konstrukce automobilu vede k potřebě stále dokonalejších karoserií. Pro pevnou ale zároveň lehkou karoserii se perfektně hodí právě lepení. Dnes již ani nelze postavit automobil bez použití lepení, lepidlo totiž neplní pouze spojovací funkci zároveň funguje i jako těsnící a tlumící prvek [1]. Na (Obr.1) je vidět kde se používá lepených spojů na karoserii automobilu [3].



**Obr.1** Využití lepidla pro jednotlivé části karoserie [3].

### 2.1.1 Teorie lepených spojů

Existuje několik teorií popisujících lepené spoje, základem těchto teorií jsou pojmy adheze a koheze [1]:

#### Adheze

Čili přilnavost vyjadřuje schopnost materiálů k sobě přilnout. Jde o přitažlivou sílu lepidla na kontaktních plochách, tato síla má souvislost s Van Der Walsovými silami přitažlivosti a absorpce. Pro dobrou únosnost lepeného spoje je zásadní dobré přilnutí lepidla k lepenému povrchu což přímo souvisí se smáčivostí tohoto povrchu. Jedním z faktorů dobré smáčivosti je stejná polarita lepidla a lepeného povrchu, dalším faktorem je čistota povrchu. [1][4].

#### Koheze

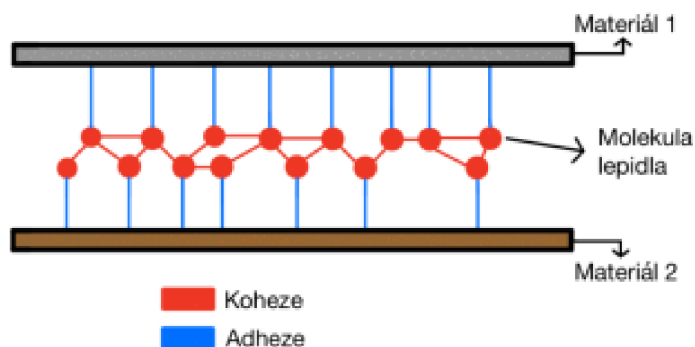
Neboli soudržnost materiálu v tomto případě vyjadřuje vlastní pevnost lepidla (obr.2). Lepidlo není namáháno pouze na stykových plochách ale v celém svém objemu. Velikost koheze se udává kohezní energií což je energie potřebná pro oddělení částic lepidla od sebe. Zde se vyskytuje mezimolekulární přitažlivá Van Der Waalsova síla a síla vzájemného propojení mezimolekulárních řetězců [1][4].

*Adhezní a kohezní síly by měly být v přibližné rovnováze, protože každý řetězec je tak pevný, jak pevný je jeho nejslabší článek [1].*

Pevnost lepeného spoje závisí na následujících faktorech:

- Adheze, přilnavost lepidla na lepený povrch (obr.2)
- Koheze, soudržnost lepidla neboli vnitřní pevnost lepidla (obr.2)

- Smáčivost lepeného povrchu
- Pevnost lepeného materiálu [1]



**Obr.2** Adheze a Koheze v lepidle [5].

### Molekulová teorie

Dnes nejvíce uznávaná teorie. Adhezi lepidla popisuje Van der Walsovými silami. Tyto síly působí mezi povrchovými molekulami lepidla a spojovaného materiálu. Vznik adhezivního spoje je rozdělen do dvou fází. V první fázi migrují makromolekuly z roztoku k povrchu lepeného substrátu vzniká adsorbční rovnováha. Ve druhé fázi začínají působit Van der Waalovi síly. Podle této teorie musí mít dvojice lepených materiálu funkční polární skupinu [1].

### Elektrostatická teorie

Základem této teorie je jev takzvané kontaktní elektrizace, který nastává při těsném dotyku dvojice dielektrik či dvojice dielektrikum-kov. Systém lepidlo substrát (lepený povrch) zde představuje analogii kondenzátoru a elektrické dvojvrstvy. Podle této teorie spoj představuje kondenzátor, jehož opačně nabyté desky se přitahují [1].

### Mechanická Teorie

Teorie založená na představě pronikání kapalného adheziva do nerovností lepeného povrchu. Potom co adhezivum zaschne dojde k zaklínění v nerovnostech a vznikne pevné spojení. Podle této teorie by mělo vyšší proniknutí adheziva do lepeného povrchu znamenat i vyšší pevnost spoje, praxe však občas ukazuje přesný opak. Využití mechanické teorie je dnes pouze ve speciálních případech [1].

### Difusní teorie

Tato teorie předpokládá že pevnosti lepeného spoje je dosaženo vzájemnou difuzí polymerů napříč rozhraním ve spoji. Teorie je omezena pouze na materiály, které mají mezi sebou vzájemnou difuzi. Nelze použít pro popis spojení nedifundujících materiálů. Teorii nelze použít ani pro výpočet pevnosti spoje [1].

### Chemická a reologická teorie

Nejnovější teorie, která se využívá především pro syntetická lepidla. Vhodná pro porézní i hladké povrchy. Je nutná reakce lepených materiálů, vytvořením primárních chemických vazeb napříč rozhraním [1].

### 2.1.2 Výhody a nevýhody lepených spojů

Mezi nejvýraznější výhody technologie lepení se řadí schopnost spojovat rozdílné materiály. Další výhodou je nulové tepelné ovlivnění materiálu spoje, stejně tak není potřeba vrtat otvory nebo jiné prvky které konstrukci mechanicky oslabují. Nedochozí k poškození povrchové úpravy lepených dílů v blízkosti spoje. Výhodou je úspora hmotnosti a ekonomičnost této technologie. Při spojování plechových dílů karoserie se projevují další klady této technologie, mezi které můžeme zařadit možnost vytvářet těsné spoje, lepidlo má schopnost tlumit vibrace a hluk, lze spojovat plechy rozdílné tloušťky [1][6].

**výhody** lepení:

- Možnost spojovat různé druhy materiálů
- Nedochozí k tepelnému a mechanickému ovlivnění materiálu spoje
- Rovnoměrné rozložení napětí v celé ploše spoje
- Nedochozí k poškození povrchové úpravy v místě spoje
- Lze spojovat i velmi tenké materiály
- Spoj má těsnící funkci
- Lepidlo tlumí vibrace a hluk
- Úspora hmotnosti
- Snížení výrobních nákladů [1][6]

Tato metoda má ovšem i svoje nevýhody, vhodnou konstrukcí spoje lze ale tyto nevýhody minimalizovat [1][6].

**nevýhody** lepení:

- Spoj nelze ihned po vytvoření zatěžovat
- Je nutná vytvrzovací doba
- Malá odolnost lepidla za zvýšené teploty
- Horší odolnost vůči některým chemikáliím
- Někdy je nutno spojované plochy očistit
- Některá lepidla vyžadují vytvrzovací přípravky
- Lepidla mohou být zdraví škodlivá [1][6]

### 2.1.3 Požadavky pro vznik kvalitního lepeného spoje

Obecně lze říct že správný výběr lepidla pro danou aplikaci ještě nezaručuje kvalitní spoj. Pro návrh lepeného spoje je zásadní znát vlastnosti spojovaných materiálů, především pak kvalitu povrchu, jeho drsnost čistotu a také nasákavost. Zdrsněný povrch bude lépe vázat lepidlo než povrch leštěný, stejně tak je pro řadu lepidel nepřipustné lepit na mastný nebo jinak znečištěný povrch [1][7].

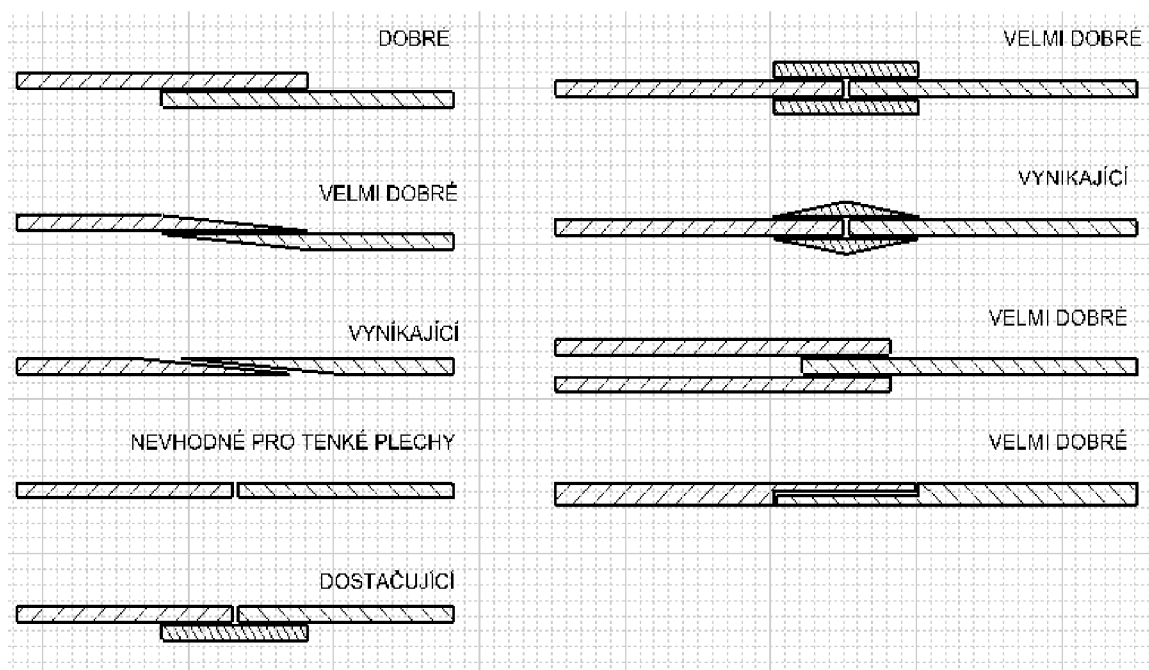
Lepení karosářských výrobků je však kategorie sama pro sebe kde nelze většinu obecných zásad aplikovat. Již z podstaty spojovaných plechu jde jasně poznat, že tyto materiály nejsou nasákové a mají špatnou smáčivost. Technologie výroby výlisků přináší další rušivé faktory, jakými jsou například mastnota nebo drsnost povrchu. Odmašťování nebo zdrsnění lepených ploch by bylo ekonomicky neefektivní, a proto je složení lepidel vytvořeno tak že jsou schopna fungovat i při zvýšené mastnotě (množství oleje na plochu bývá přibližně 3 g/m<sup>2</sup> ale i více). V případě drsnosti povrchu nelze zcela zobecnit vliv kvality povrchu na výsledný spoj, svojí roli zde hraje množství a druh lepidla [1].

Obecně lze shrnout zásady pro kvalitní spoj takto:

1. Návrh správné konstrukce spoje
2. Dodržení technologického postupu podle výrobce lepidla
3. Volba vhodného lepidla pro danou aplikaci [1]

#### 2.1.4 Zásady návrhu lepeného spoje

Pro dobrou únosnost lepeného spoje je klíčový návrh jeho konstrukčního provedení (obr.3). Nejvyšší pevnosti dosahují lepené spoje namáhané na smyk, pevnost v tahu je podstatně nižší. Nejhůře na tom jsou ale spoje namáhané na odloupení a rozštěp, to je způsobeno působením zatížení pouze v přímce kdežto u smykového namáhání je napětí rozloženo v celé ploše spoje [1][6][7].



**Obr.3** Porovnání únosnosti lepených spojů [zdroj vlastní]

Je snahou co nejvíce redukovat namáhání spoje tahem nebo na odloupení. Pokud je konstrukce nevhodně zatěžována a nelze ji optimalizovat kombinuje se lepení a jiné technologie spojování, například lepení s bodovým svařováním [1][6].

Zásady návrhu lepeného spoje lze shrnout v následujících bodech:

1. Je snahou spoj namáhat pouze na smyk, zatížení by mělo působit ve směru nejvyšší pevnosti
2. Tvar spoje by měl být jednoduchý
3. Tuhost lepidla má být nižší než tuhost lepených dílů
4. Provádíme lepení ve všech místech najednou
5. Úpravy povrchu jako třeba otvory pro nýty se mají dělat před úpravou povrchu pro lepení
6. Nelze-li jinak provádíme dodatečné spojovací operace až po konci lepení
7. Vhodně volíme úpravu lepených povrchů
8. Je třeba zajistit optimální tloušťku lepidla ve spoji [1]

#### 2.1.5 Rozdělení lepidel

Lepidla můžeme dělit podle několika kritérií [1].

### **Podle principu tuhnutí ve spoji**

- Lepidla vodná roztoková
- Lepidla vodná disperzní
- Lepidla roztoková – tuhnoucí odtékáním organických rozpouštědel
- Lepidla kaučuková
- Lepidla reaktivní – tuhnoucí vlivem zvýšené teploty
- Lepidla reaktivní – tuhnoucí vlivem vlhkosti okolního prostředí
- Lepidla reaktivní – tuhnoucí kontaktem s kovy
- Lepidla reaktivní – tuhnoucí přidáním tvrdidel
- Lepidla tavná
- Stále lepivá lepidla
- Lepidla vytvrzována ultrafialovým zářením [7]

### **Podle chemického složení**

Toto rozdělení je velmi rozsáhlé ale také nepřehledné. Pro lepidla určená k lepení kovů se příliš nepoužívá. Zjednodušeně lze lepidla dělit do těchto skupin tří skupin z níž každá obsahuje ještě další podskupiny lepidel [1].

- Polymerná lepidla
- Elastomerná lepidla
- Plast měrná lepidla [1]

### **Podle konzistence**

Toto dělení je důležité hlavně proto aby uživatel věděl, jaké zařízení má pro přípravu a nanášení lepidla zvolit [9].

- Pevná (lepící folie)
- Polopevná (trval lepivé hmoty)
- Tekutá (roztoky, disperze, pasty, pěny) [9]

### **Podle počtu složek**

Je též podstatné především pro uživatele. Složky se musí chápat jakožto smíchatelné komponenty pro vytvoření lepidla [8].

- jednosložková (1-K) -již připravená na aplikaci výrobcem lepidla
- dvousložková a vícesložková (2-K) -k vytvrzení dojde smícháním složek uživatelem lepidla [8]

### **Podle vytvrzovací teploty**

Praxe dělí lepidla na studená a horká, toto dělení ale není zcela přesné, například pro urychlení tuhnutí studených lepidel lze použít zvýšené teploty. Lepidla, která se používají pro stavbu karoserie osobního automobilu se řadí mezi horká lepidla jednosložková (1-K). Studená lepidla bývají často zároveň dvousložková (2-K) [8].

- Studená lepidla
- Horká lepidla [8]

### 2.1.6 Lepidla pro automobilový průmysl

Tato část práce je podrobněji zaměřena na lepidla používaná pro montáž plechových karosářských výlisků. Tato lepidla se aplikují ve svařovně karoserie, a proto se lze setkat s označením tzv. **lepidla svařovenská** [1].

Existuje ještě druhá neméně důležitá kategorie lepidel označovaná jako **lepidla montážní**. V případě těchto lepidel se aplikace provádí až po vypálení laku karoserie budoucího automobilu, tudíž se nevytvrzují teplem. Uplatnění nachází při montáži ostatních celků konstrukce, kupříkladu lepení skel [1].

#### Polyuretanová lepidla

Původní lepidla na bázi polyuretanu měla vážný problém s adhezí k mastnému povrchu, modifikací polyuretanu epoxidovou pryskyřicí se problém podařilo eliminovat. Modifikovaná lepidla se řadí do kategorie strukturních lepidel. Pokud k modifikaci nedojde v roli konstrukčního lepidla se používají pouze pro specifické spoje, jedním z příkladů je lepení autoskel nebo doplňků karoserie [10]. Žádanou vlastností je schopnost tlumit hluk a fungovat jako těsnění. Velké portfolio této kategorie lepidel nabízejí společnosti Sika a Henkel [1].

#### Kaučuková lepidla

Pro tato lepidla je typická vysoká tolerance k povrchové mastnotě. Aby bylo možno dosáhnout vyšších hodnot modulu pružnosti v tahu je nutností provést vulkanizaci neboli zasítování. Vulkanizací dojde ke zvýšení teploty skelného přechodu což má za následek vysokou pevnost. Pevnost lepidla ve smyku pohybuje okolo hodnoty 12 MPa. Na druhou stranu má proces vulkanizace i negativní dopad, a to sice snížení snášivosti lepidla s oleji. Zvýšení významu této kategorie lepidel lze přepisovat především moderními postupy řízení procesu vulkanizace [1].

#### Epoxidová lepidla

Základním problémem epoxidové pryskyřice je její křehkost. Proto je nutno učinit kroky které přinesou zvýšení houževnatosti lepidla. Existuje několik možností, jak houževnatost zvýšit. Mluví se o chemické modifikaci hlavního řetězce, dále jsou tu možnosti zvyšování molekulární váhy, snižování hustoty vazby mezi řetězci matrice nebo začlenění anorganických plniců do čisté pryskyřice. Nejpoužívanější cestou vylepšující pryskyřici je však rozptýlení houževnaté fáze v matrici polymeru. To znamená přidání reaktivního nebo nereaktivního kaučuku, což zvýší houževnatost za cenu snížení ostatních mechanických vlastností lepidla. Houževnatost lze ještě navýšit přidáním nano plnidel, je to moderní a efektivní způsob výroby rázově odolného lepidla [1].

Vlastnosti této kategorie lze shrnout následovně. Vysoká pevnost, dobrá tolerance k mastnotě lepených dílů a dlouhá doba skladovatelnosti. Díky těmto schopnostem si epoxidová lepidla vysloužila první příčku v kategorii konstrukčních lepidel. Nejvýznamnější výrobci jsou Dow Automotive a Sika [1].

### 2.1.7 Hlavní výrobci lepidel pro automobilový průmysl

Trh lepidel využívaných v automobilovém průmyslu je velmi rozsáhlý, v této bakalářské práci budou proto uvedeni pouze nejvýznamnější výrobci. Sortiment firem je tvořen v úzké spolupráci s uživateli lepidel v automobilovém průmyslu tak aby dané výrobky co nejlépe plnili své poslání. Každý výrobce rozděluje svoje lepidla odlišným způsobem, což je problematické zejména pro zpracovatele lepidla, pro něhož je v současnosti složité se v nepřehledném sortimentu orientovat. Pokud by došlo k sjednocení způsobů rozdělení všech produktů, bylo by možné snadno



porovnávat jednotlivá lepidla od různých výrobců. To by vytvořilo větší konkurenci, tudíž i snahu firem o zdokonalení produktů [1].

### Dow Automotive

Tato firma je součástí jedné z největších agrochemických společností na světě Dow Chemical. Samotná firma Dow Chemical vyrábí široké spektrum výrobků od plastů až po pesticidy. Dow Automotive poskytuje svým zákazníkům produkty pro interiér exteriér i bezpečnost automobilů. Sem patří i několik druhů lepidel které firma produkuje [11].

Tato firma rozděluje svoje strukturní lepidla do tří kategorií:

- Nárazupevná (crashová)
- Polo-nárazupevná (semi-crashová)
- Standardní lepidla [1]

Další dělení je podle druhu základního polymeru:

- Polyuretany
- Kaučuky
- Akryláty
- Epoxidy [1]

Dosahované vlastnosti jednotlivých druhů lepidel jsou uvedeny v technickém listu každého z nich. Zkoušení těchto charakteristických vlastností je předepsáno normou, pouze modul pružnosti se stanovuje dle platných předpisů pro zkoušení technických plastů [1].

### Henkel KG a A

Německá společnost zabývající se chemickým a spotřebitelským zbožím. *Společnost Henkel působí na celém světě se svými předními inovačními značkami a technologiemi ve třech divizích: Adhesive Technologies (Lepidla a technologie), Beauty Care (Kosmetika) a Laundry & Home Care (Prací a čisticí prostředky)* [12]. Firma na svých webových stránkách dále uvádí že její vysoce pokročilá lepidla a tmely umožňují zákazníkům stavět lehké ale přitom pevné konstrukce [12].

Sortiment společnosti Henkel KG a A je opravdu rozsáhlý, zahrnuje lepidla pro velké množství aplikací, ať už se jedná o lepení papíru nebo spojování plechů. Lepidla používaná v automobilovém průmyslu vyrábí tato firma pod názvem TEROSON. Henkel dělí své produkty následovně [13]:

- 1-K nereaktivní
- 1-K vytvrzovaná teplotou
- 1-K vytvrzovaná vzdušnou vlhkostí
- 2-K reaktivní [13]

### Sika Schweiz AG

Stejně jakou u předešlého výrobce je i zde typický široký sortiment, navíc jsou produkty firmy často používány ve stavebním průmyslu. Pro automobilový průmysl společnost Sika připravila řady lepidel SikaForce, SikaPower a SikaFlex. Největší význam má řada SikaPower, produkty spadající do této řady jsou na bázi epoxy-PUR. Zbýlé dvě řady nedosahují takových

vlastností jako SikaPower a jsou na bázi 1-K PUR nebo 2-K PUR. Produkty společnosti sika lze rozdělit takto [14]:

- Konstrukční 1-K lepidla
- Lepidla na bázi polyuretanu pro lepení autoskel
- Lepidla na bázi polyuretanu hybrid
- Teplem urychlovaná lepidla
- Lepidla pro zasklívání
- Flexibilní lepidla
- Rychlá lepidla
- Laminární lepidla
- Tavná lepidla
- Kyanoakrylátová lepidla
- UV lepidla [14]

### 3M

V nabídce firmy 3M lze nalézt lepidla pro zdravotnictví až po letecký průmysl, patří proto k jednomu z nejvýznamnějších producentů lepidel v USA. Zajímavostí sortimentu jsou takzvaná „zelená lepidla“ která se vyznačují šetrností k životnímu prostředí. Co se týče výrobků pro automobilový průmysl je to řada lepidel Scotch-Weld. Řada zahrnuje lepidla vhodná pro lepení plastů až po vysokopevnostní lepidla pro použití ve spojování karoserie. 3M dělí svá lepidla takto [10]:

- Strukturní lepidla (vysokopevnostní lepení plechů karoserie)
- Plastová lepidla (lepení plastů)
- Instantní lepidla (lepení kovů nebo plastů, rychlé vytvrzení, vysoká pevnost)
- Polyuretanová reaktivní lepidla (lepení kovů a plastů, tuhé a pružné spoje)
- Kaučuková a těsnící lepidla (lepení plastů, tuhé a pružné spoje)
- Kontaktní lepidla (lepení kovů, různé aplikace, vysoká pevnost, ekologické) [10]

## 2.1.8 Proces lepení karoserie

### Volba vhodného typu lepidla

Díky široké paletě výrobků na trhu, nebývá problém nalézt pro konkrétní aplikaci to pravé lepidlo. Úkolem konstruktéra je v této části komplexní vyhodnocení dané aplikace z několika pohledů, konstrukčního, technologického a také ekonomického. Základní hledisko výběru tkví v podobnosti vlastností lepeného materiálu a lepidla. Pokud se spojuje dvojice odlišných materiálů mělo by lepidlo představovat kompromis obou z nich. Důležitým aspektem je znalost vlastností lepidla. Prvně nemá takovou pevnost jako kovy, zvýšení pevnosti spoje se dosáhne zvětšením lepené plochy. Dalším problémem je se zvyšující teplotou klesající pevnost lepeného spoje. Komplikace mohou představovat také oxidační činidla nebo rozpouštědla. Na rozdíl od svařovaných a nýtovaných konstrukcí nelze ihned po vytvoření lepený spoj zatěžovat [1].

proces volby vhodného typu lepidla lze shrnout do následujících bodů [1]:

1. Koheze a adheze lepidla k podkladu by měla být maximální. Neměla by být nižší než 1/10 pevnosti lepeného materiálu.
2. Modul pružnosti lepidla má být co možná nejpodobnější modulu pružnosti lepeného materiálu
3. Stálost lepidla ve velkém rozmezí teplot, přibližně od -30 do +80 °C

4. Odolnost vůči vnějším vlivům
5. Minimální smršťování při vytvrzování
6. Vhodné elektrické a izolační vlastnosti
7. Při tvrdnutí nesmí docházet k uvolňování korozivních látek
8. Jednoduchá možnost vytvrzení
9. Snadná aplikovatelnost a dlouhá doba skladování [1]

Přes obrovský výběr lepidel nelze nalézt lepidlo které by splňovalo stoprocentně všechny uvedené požadavky, vždy se tedy hledá určitý kompromis. Možností je slevit z některých požadavků a zvolit rozhodovací kritéria kterými se bude volba řídit [1]:

- Podmínky využití spoje
- Požadované vlastnosti spoje
- Lepené materiály
- Způsob výroby spoje [1]

Podle těchto kritérií lze provést průzkum trhu a zvolit nejvhodnější lepidlo, nesmí se ale opomenout aspekt ceny a dostupnost produktu. Volba lepidla je také velmi závislá na zkušenostech konstruktéra [1].

#### Příprava materiálu spoje na lepení

Dominantní význam pro správné vytvoření spoje má vysoká adheze. Tato schopnost, je závislá na smáčivosti lepeného povrchu (rozhraní podklad lepidlo). Mastnota lepeného povrchu snižuje smáčivost, a tudíž i kvalitu spoje. V určitých odvětvích, kde jsou kladeny zvýšené nároky na bezpečnost spoje (letectví) se proto provádí odmašťování. U lepení karosářských dílů se odmašťování neprovádí, vedlo by to k enormním nákladům výroby. Daleko efektivnější je použít lepidla schopná mastnotu tolerovat. Při zkouškách lepených spojů karosářských výlisků se musí zahrnout i vliv mastnoty. Drsnost lepeného povrchu je důležitá pro zakotvení částic lepidla v povrchových nerovnostech materiálu, nelze zobecnit vliv drsnosti na vlastnosti spoje [1].

#### Příprava lepidla

Obecně závisí způsob přípravy lepidla na čtveřici faktorů:

- Druh lepidla
- Stav lepidla po uskladnění
- Způsob nanášení
- Způsob vytvrzení [1]

**Stav lepidla po uskladnění**, je přímo spojen s **životností** (skladovatelností) lepidla. Životnost je udávána výrobcem lepidla, je velmi závislá na druhu lepidla, chemickém složení a také podmínkami skladování. Pro lepidla je charakteristické samovolné reagování během doby uskladnění, tyto změny by ale neměly mít vliv na konečné vlastnosti lepidla ani lepeného spoje. Lepidla, jež jsou těkavá mívají problém s vytěkáním rozpouštědla a následným zhoustnutím, pokud toto nastane lze problém vyřešit použitím vhodného rozpouštědla a opětovným naředěním na vhodnou hustotu. U starších lepidel docházelo k sedimentaci neboli usazování rozpouštědel u dna nádoby, ve které bylo lepidlo uskladněno. Moderní lepidla jsou na tak vysoké úrovni že k sedimentaci nedochází. Způsob vytvrzování lepidla má vliv na dobu skladování. Lepidla vytvrzovaná chemickým iniciátorem (dvousložková lepidla) nevykazují v průběhu skladování skoro žádné změny. Problematické je skladování lepidel vytvrzovaných tepelným účinkem, tato lepidla postupem času stárnou. Zvýšená teplota skladování má také negativní vliv na stárnutí lepidla [1].

## Nanášení lepidla na lepený povrch

Cílem nanášení je vytvoření rovnoměrné vrstvy lepidla určité tloušťky. Běžně lepidlo se nanáší na obě poloviny slepovaných dílů. Při spojování karosářských dílů se nanáší lepidlo pouze na jedenu ze slepovaných součástí. Jak bude lepidlo nanášeno určuje konzistence použitého lepidla, tvar a velikost spojovaných ploch. Lepidlo lze nanášet ručně nebo strojně [1].

**Ruční nanášení** se využívá v kusové výrobě nebo při opravárenské činnosti. V dřívějších dobách se lepidla natírala štětcem nebo válečkem, dnes je možné používat vytlačovací pistole (obr.4). Lepidla jsou uskladněna v kartuších, ze kterých se za pomoci vytlačovací pistole přímo aplikují. Existují vytlačovací pistole pro jednokomponentní lepidla nebo pro dvoukomponentní. U dvoukomponentních lepidel se používá speciální směšovací hrot, který po ukončení práce nelze znovu využít. Ruční nanášení je levné a jednoduché, problém činí rovnoměrnost nanášeného množství lepidla [1].



**Obr.4** ruční vytlačovací pistole [zdroj vlastní]

**Strojní nanášení** se používá v sériové výrobě, lze jej proto hojně nalézt při výrobě automobilů. Dávkovací zařízení sestává z těchto částí: nanášecí trysky (obr.5) sloužící jako aplikátor a pumpy (obr.6) která přivádí lepidlo z přepravního barelu přímo do trysky. Nanášecí tryska bývá nejčastěji upevněna na robotickém rameni [1].



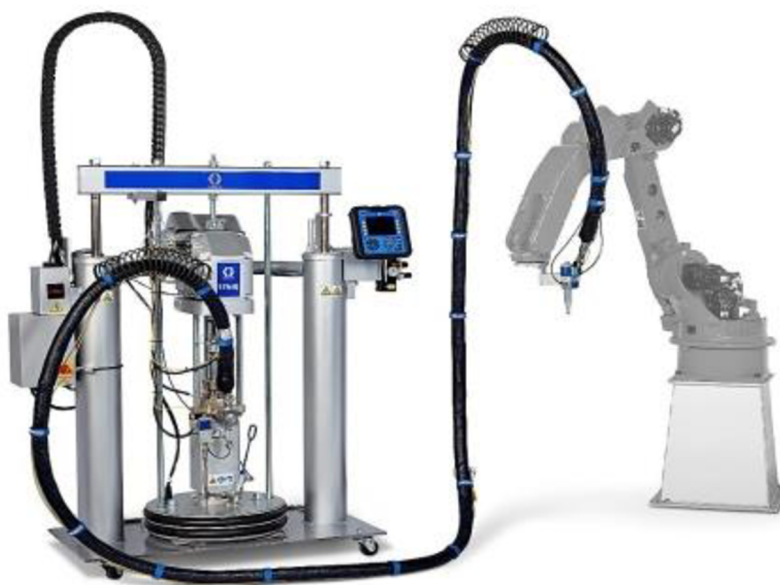
**Obr.5** nanášecí tryska [15]



**Obr.6** pumpa [15]

Stroj je schopen korigovat teplotu, tlak a další vlastnosti dopravovaného lepidla (obr.7). Hlavním parametrem nanášecího zařízení je velikost a tvar housenky lepidla. Díky pokročilé automatizaci celého systému lze snadno dosáhnout ideálních parametrů. Nanášené množství lze řídit v rozmezí počínaje malými kapkami až po souvislou několikacentimetrovou housenku. Tvar nanášené housenky ovlivňuje teplota a tlak lepidla, množství se koriguje nastavením celého zařízení. Schopností trysky nanášet lepidlo krouživými pohyby, je možno využít ke zvětšení plochy při stejném množství lepidla. Pokud vznikne potřeba pokrýt lepidlem velkou plochu využívají se rozprašovací trysky, pro kruhové plochy slouží rotační tryska [1].

Strojní nanášení je velmi přesná a efektivní metoda. Vyráběná zařízení jsou koncipována jako modulární pro snadnou upravitelnost k danému využití, pokud je potřeba změnit aplikované lepidlo, lze tak učinit bez nutnosti složitých modifikací celého zařízení [15].



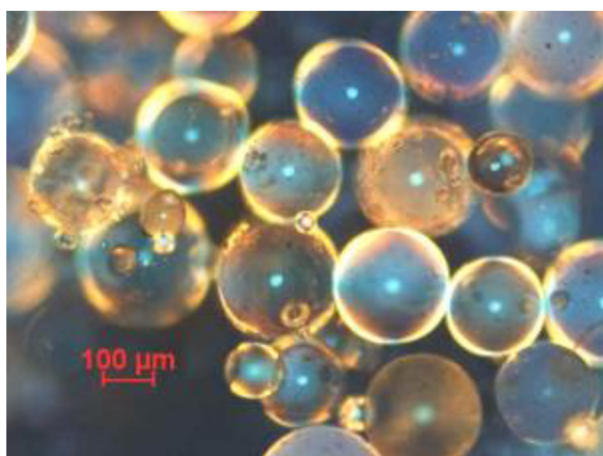
**Obr.7** celkové zařízení na strojní nanášení lepidla [15]

## Vytvoření spoje

Slepované díly se musí zafixovat k sobě v určité vzdálenosti a pod určitým tlakem, pro vznik fyzikálních a chemických podmínek vytvoření pevných vazeb. Je potřeba nechat působit přitlačnou sílu po celou dobu tvrdnutí spoje, někdy se nechává síla působit i po dotvrdnutí lepidla. Přitlačná síla může být vyvozena speciálními přípravky nebo vhodnou konstrukcí lepeného spoje. Druhá z uvedených možností je typická u lepení karosářských dílů. Při lepení lemů je přitlak vytvořen již při lisování lemu. Tlak vyvozený samotným lemem nesmí být příliš velký, to by způsobilo vytlačení lepidla ze spoje, malý tlak je také nevyhovující. Pokud nedovoluje konstrukce použití lemu, musí se tlak vytvořit jinou cestou, možností je bodové svařování, mechanické spojení nebo slisování dílů dohromady. Pro případ, kdy chceme využít lepidlo i v roli tlumícího prvku není potřeba nikterak součásti fixovat. Lepidla určená pro tyto aplikace disponují schopností několikrát zvětšit svůj objem, to způsobí celkové vyplnění spár a také vyvození přitlačné síly [1].

Mezi spojovanými díly je potřeba dodržet optimální tloušťky vrstvi lepidla, to má přímou souvislost s pevností lepeného spoje. Jednou z podmínek maximální pevnost spoje je dodržení vhodné tloušťky lepidla po celé ploše tvořeného spoj. Tloušťka lepidla je vymezena typem lepidla, tlakem při spojování a časem přitlaku. Disperzní nebo rozpouštědlová lepidla vyžadují nižší tloušťku ve spoji. Opakem jsou lepidla na bázi kaučuku, pryže nebo pěn, zde je tloušťka lepidla několikanásobně větší než jinde. Hodnotu tloušťky lepidla ve spoji určuje výrobce nebo ji lze hledat v příslušné normě [1].

Existuje několik způsobů, jak dodržet optimální tloušťku vrstvy lepidla. Používají se distanční prolisy nebo se používá distančních tělísek (obr.8). Těmito tělísky jsou například sklokeramické kuličky definovaných rozměrů nebo jiné nerozpustné elementy zamíchané přímo v lepidle. V celkovém objemu lepidla bývá obsaženo okolo 1 % distančních tělísek, parametry elementů jsou tajemství každého výrobce. Například pro strukturní lepení je ideální tloušťka spáry 0,2 mm, tomu také odpovídá velikost distančních elementů. V případě, kdy lepidlo tato tělíska neobsahuje je možnost použít plastové destičky, dráty nebo ocelový prach, tuto nahrazení nelze při lepení karoserie použít [1].



**Obr.8** Distanční kuličky přidávané do lepidel pro lepení karoserie [1]

## Předvytvrzení lepidla



Operace předvytvrzování se provádí z několika důvodů. Předvytvrzené lepidlo má určitou minimální pevnost a stabilitu, to je dobré pro zvýšení pevnosti karoserie při manipulaci a zabránění vyplavení lepidla při máčení v lakovně. Další předností takto upraveného lepidla je relativně jednoduché odstranění přetoků lepidla z míst, kde nemá být. Dochází k zrychlení, usnadnění výroby a ekonomickým úsporám [1].

Operace je na principu lokálního ohřívání plechů, na kterých již bylo nanášeno lepidlo. Používá se indukčních cívek, důvod pro použití indukčního předehřevu je velmi rychlé dosažení požadované teploty a možnost přesné regulace procesu. Plechový díl se založí do speciálního přípravku, dojde k zahřátí lepidla a poté se opět díl vyjme a pokračuje dál na montáž [1].

### Vytvrzení lepidla

Svařovenská lepidla se využívají ve svařovně, tedy před tím, než karoserie projde lakovací linkou. Lakování je komplexní proces, v němž prochází karoserie několika stanovišti, na kterých dochází k čištění, fosfátování, lakování a vypálení laku karoserie. Vypalování probíhá při teplotě 180 °C po dobu 20 minut, za těchto podmínek musí lepidlo ztvrdnout. [1].

## 2.2 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je souhrnný název optických měřících metod využívající k měření světelných záznamů (nejčastěji fotografie). Lze tak měřit rozměry, polohu nebo deformaci objektu zachyceného na snímku [16]. Tato bezkontaktní měřící metoda našla uplatnění v široké škále odvětví od kartografie architektury až po strojírenství [17].

### 2.2.1 Úvod do problematiky bezkontaktního 3D měření

3D skenery jsou zařízení schopná snímat tvary fyzického objektu a převádět je do formy počítačového 3D modelu. Surová data tohoto modelu jsou ve formě mraku bodů (point cloud) resp. optimalizované polygonové sítě (\*.STL). Tato data lze částečně modifikovat, vyhlazovat plochy, opravovat trhliny, měnit měřítko nebo různě zrcadlit. Speciální počítačové software dokáží vytvořit plošný nebo objemový model který je použitelný pro CAD/CAM software [18].

3D měřících metod ve strojírenství lze použít pro [18]:

#### Inspekce

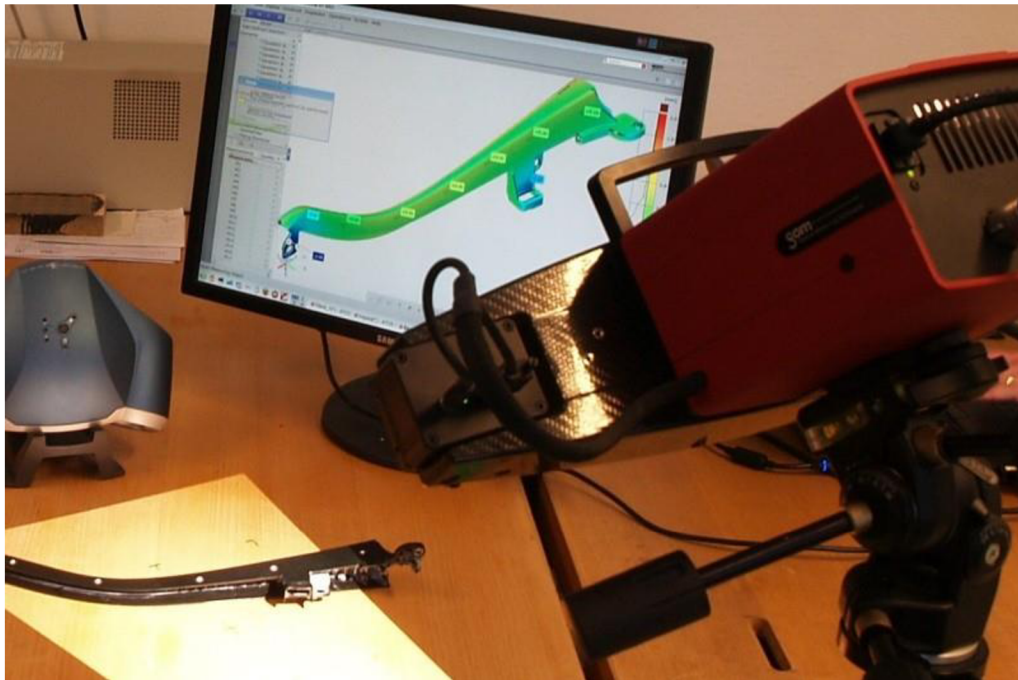
Tedy rozměrová a tvarová kontrola dílů. Realizuje se na virtuálním modelu tak že se porovnávají CAD data s naskenovanými daty. Porovnáním vznikne barevná mapa odchylek, lze provádět inspekční řezy a jiné kontroly. Dále lze měřit deformace a posunutí vzniklé tepelně nebo mechanicky. Jedním ze systémů, který to umožňuje je zařízení TRITOP. Systém využívá pasivní triangulace (fotogrammetrie), výsledky zobrazuje ve formě vektorů posunutí v měřených bodech [18].

#### Reverzní inženýrství

Opačný postup návrhu určitého dílu. Z existujícího fyzického modelu získáme naskenováním model virtuální, který lze upravovat (obr.9). Tento proces se používá při návrhu designu automobilů nebo v sochařství. Další použití je pro získání chybějící výkresové dokumentace nebo pro vytvoření formy odlitku [18].

#### Přímý 3D tisk

Díky tomu že mohou být data virtuálního modelu ve formátu (\*.STL), dá se je přímo použít pro 3D tisk [19].



**Obr.9** ukázka skenování [18]

### 2.2.2 Výhody a nevýhody

3D skenování se dá do určité míry porovnávat s konvenčními měřicími metodami, má však svoje specifika pro co se hodí a kde je vhodnější zůstat u kontaktních metod [18].

#### Výhody

- Vysoká rychlost měření
- Schopnost měřit tvarově komplikované objekty
- Možnost měřit předměty velké několik mm až po desítky metrů
- Mnoho typů skenerů je možno snadno transportovat
- Bezkontaktní metody umožňují měřit i poddajná tělesa [18]

#### Nevýhody

- Problémy při měření průhledných nebo lesklých předmětů (nutno zmatnit povrch)
- Zařízení nejsou schopna měřit hluboké otvory, drážky, vnitřní kapsy
- Horší přesnost než kontaktní metody
- Citlivost na světelné podmínky [18]

### 2.2.3 Terminologie a základní pojmy

*Přesnost udává rozdíl mezi skutečnou a změřenou hodnotou [18].*



Rozlišení je nejmenší možná vzdálenost, jakou dané zařízení dokáže změřit. Čím je rozlišení skeneru (tedy hustota změřených bodů) vyšší, tím má systém lepší schopnost zachytit drobné detaily na měřeném objektu [18].

Měřicí objem je měřicí rozsah pro jeden záběr nebo sekvenci záběrů. Vymezuje tedy aktivní oblast v prostoru, ve které je možno provést digitalizaci [18].

Pracovní rozsah se používá u skenerů, které jsou připevněny robotickém rameni [18].

Pracovní prostor pojem používaných u skenerů, kde je snímací hlava v prostoru lokalizována trackerem [18].

#### 2.2.4 Princip bezkontaktních metod

Pro určení souřadnic bodu v prostoru používají 3D skenery několik principů [18]:

##### Optická interferometrie

pro laserové skenery je typické určovat vzdálenost objektu měřením doby letu světla nebo fázovým posunutím světla [18].

##### Optická triangulace

Pasivní triangulace což znamená bez použití zdroje světla, stereo vidění díky více kamerám nejčastěji dvěma (fotogrammetrie) [18].

Aktivní triangulace s rastrovou projekcí světla. Odražené světlo od objektu je zaznamenáno snímačem. Vzdálenost je dopočítána ze známé pozice světelného bodu na snímači a vzdálenosti přijímače od zdroje světla [18].

##### Souřadné systémy

Body získané naskenováním jsou vztaženy k lokálnímu souřadnému systému skeneru. Skenovaný díl je nutno při snímání různě polohovat, aby došlo k zachycení všech detailů a vznikl kompletní virtuální model. Změnou polohy dílu vůči skeneru nastává nutnost transformovat lokální souřadnice do globálního souřadného systému dílu. Pro určení absolutní polohy skeneru vůči dílu existuje několik metod [18].

- **Měřicí ramena:** poloha skeneru určena díky natočení kloubů ramene, na kterém je skener upevněn (podobá se principu kontaktní metody) (obr.10)
- **Tracker systém:** optický nebo laserový systém snímající neustále polohu skenovací hlavy v prostoru
- **Referenční body:** jednoduše poziční značky umožňující skeneru díky znalosti pozice těchto bodu převádět jednotlivé snímky do celkového globálního souřadného systému [18].



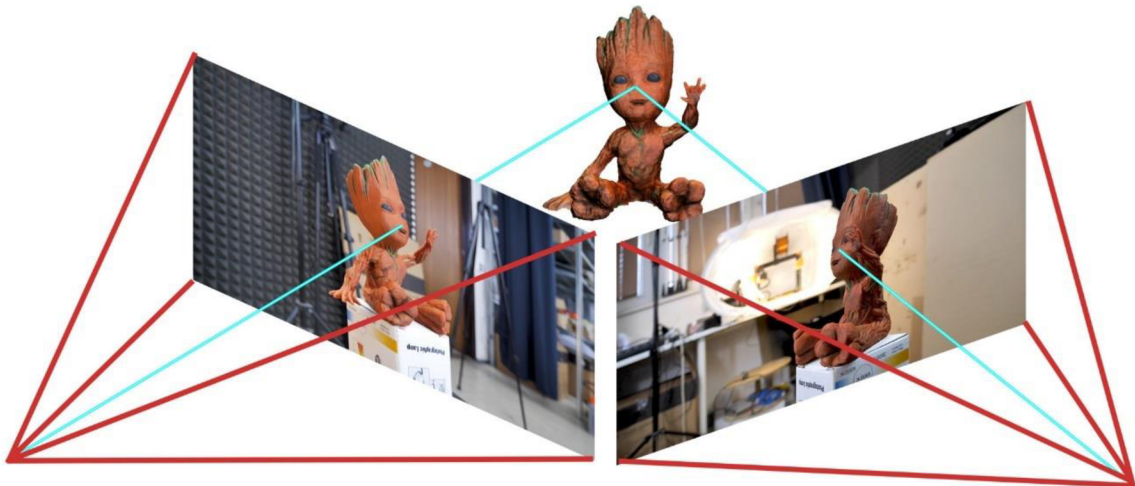
**Obr.10** skener na robotické paži [20]

### 2.2.5 Úvod do fotogrammetrie

Fotogrammetrie je určena k bezkontaktnímu měření objektů zachycených pomocí fotografie. Existuje široká škála optických měřících zařízení. Často se lze setkat s 3D skenery využívající principů fotogrammetrie nebo kombinující fotogrammetrii s dalšími metodami (laserem ultrazvukem...). Bezkontaktní metody se hodí k měření tvarově komplikovaných součástí, pro které by bylo konvenční měření komplikované a zdlouhavé. Další použití je pro měření poddajných těles [17].

Historicky první uplatnění fotogrammetrie bylo pořizování mapových podkladů. Významně se také prosadilo použití v architektuře, například pro snímkování historických fasád domů. K využití fotogrammetrie ve strojírenství došlo v posledních letech [17].

V domácí sféře lze pro fotogrammetrii použít i mobilní telefon s fotoaparátem a speciální SW v počítači (obr.11). Lze tak nasnímat určitý objekt a ten si vyrobit pomocí 3D tisku. Přesnost a kvalita dat pořízených fotoaparátem mobilního telefonu je mnohem nižší než u profesionálních skenerů za miliony [21].



**Obr.11** Fotogrammetrie v hobby sféře [21]

### 2.2.6 Historie fotogrammetrie a bezkontaktních měřících metod

Za zakladatele fotogrammetrie se považuje francouzský důstojník Laussedat, který jako první využil fotografické snímky pro účely měření. Stalo se tak nedlouho po vynalezení fotografie [16].

V Čechách se fotogrammetrii jako první zabýval Dr. K.Kořistka. Využil tuto metodu pro určení polohy významných staveb v Praze. Použil dvou stanovišť na Hradčanech a Petříně, získané fotografie poté vyhodnotil průsekovou metodou (1867) [17].

Významným průkopníkem fotogrammetrie byl Dr. C.Pulfriech. Roku 1901 vytvořil první stereokomparátor, přístroj na stereoskopické měření souřadnic, tím byl položen základ pro analogové přístroje. V období válek se rozvinula letecká fotogrammetrie [16].

Další pokrok zaznamenala fotogrammetrie s příchodem prvních počítačů v 60. letech 20.století. Nové programy umožnily snímání obrazu z libovolných pozic [17].

Osmdesátá léta 20.st znamenala další revoluci, fotogrammetrie expandovala do nových oblastí. Vzniká digitální fotogrammetrie. Rozšíření bylo umožněno především příchodem nových opticko-elektrických obrazových sensorů a zvýšení výpočetního výkonu počítačů. Vyskytlo se například měření karoserii osobních automobilů pomocí analytických plotrů [16].

Současné přístroje jsou stále přesnější, nově umožňují například měření online [18].

### 2.2.7 Rozdělení fotogrammetrie

Fotogrammetrie lze dělit podle různých kritérií [16]:

**Podle polohy snímacího zařízení.** Určuje vzdálenost mezi snímaným objektem a zařízením které jej snímá [16].

- Satelitní (vesmírná)
- Letecká
- Pozemní

- Blízká
- Makro [16]

**Podle konfigurace snímků**, udává počet snímacích zařízení, takže počet snímků, které jsou najednou pořízeny [16].

- 1 snímek
- 2 snímky
- Více snímků [16]

**Podle druhu výstupních hodnot**. Rozděluje fotogrammetrii podle formy výstupních dat pořízených snímků [16].

- Grafické
- Numerické [16]

**Podle technologického postupu zpracování** [16]

- Snímky pořízené měřicími přístroji
- Analogová fotogrammetrie
- Analytická fotogrammetrie
- Digitální fotogrammetrie
- Video fotogrammetrie [16]

**Podle časové dostupnosti snímků** [16]

- V reálném čase
- Offline
- Online [16]

### 2.2.8 Základní pojmy

Pro pochopení základů fotogrammetrie je nutno stanovit pojmy využívané v tomto oboru.

#### Teorie optického zobrazení

Deskriptivní geometrie vnímá fotografické zobrazení jako středové promítání. To je definováno středem promítání a průmětnou, v tomto případě snímkovou rovinou. Každému bodu fotografovaného objektu náleží bod ve snímkové rovině. Mezi bodem objektu a tím ve snímkové rovině probíhá paprsek, všechny paprsky mezi všemi body procházejí právě středem promítání. V praxi se navíc používá soustava čoček, proto se nejedná čistě o středové promítání [17].

#### Souřadnicový systém

Souřadné systémy, které se využívají ve fotogrammetrii jsou vždy kartézské. Využívá se několik různě definovaných systémů souřadnic [16].

- Souřadný systém snímaného objektu
- Souřadný systém snímku
- Komorový souřadný systém
- Modelový souřadný systém [16]

#### Vnitřní orientace

Prvky vnitřní orientace definují vztah mezi rovinnou snímku a promítaného objektu. Pro prohlášení fotografického snímku za měřičský je potřeba znát právě vnitřní orientaci. Fotogrammetrická praxe využívá zařízení s neměnnou vnitřní orientací, fotoaparát s touto neměnností vnitřní orientace se nazývá měřičská komora. Současnost umožnila využívat i zařízení u kterých není známa konkrétní hodnota vnitřní orientace. Pokud nastane tento fakt je potřeba tuto neznámou zahrnout k ostatním do výpočtů při zpracovávání fotografií. Při kalibraci měřičské komory hraje vnitřní orientace důležitou roli [16].

### Vnější orientace

O určení polohy paprskového trsu v prostoru se stará vnější orientace. Pojem fototeodolit označuje takovou měřičskou komoru, která je schopna určit prvky vnější orientace. Přesné určení kamery v prostoru určuje šest prvků, tři souřadnice středu promítání a tři úhly [16].

## 2.2.9 Princip fotogrammetrie

### Proces pořízení a vyhodnocení snímků

#### Snímání

Jako první je nutno definovat a označit body, toto se provádí z důvodu zvýšení přesnosti a automatizace. Další krok je vytvoření souřadného systému. Završením první fáze je pořízení snímků pomocí fotogrammetrického zařízení [16].

#### Příprava

Očíslování pořízených snímků z důvodu snadné identifikace a uložení snímků do paměti [16].

#### Orientace

Změření a identifikování zaznamenaných bodů, dále aproximace bodů určených k porovnání. Porovnávání bodů z jednotlivých snímků a vyřazení nepodstatných bodů [16].

#### Vyhodnocení

Požadovaný cílem je získání 3D souřadnic bodů pro následné numerické zpracování. Dále je zde grafické vyhodnocení charakteristik jako například deformace. Pro požadovaný souřadný systém se transformují výsledky měření [16].

### 2.2.10 3D skener ATOS III Triple scan

Při měření deformace plechu pro tuto bakalářskou práci byl využíván 3D skener ATOS III triple scan který je v majetku Katedry výrobních systémů a automatizace (dále jen KSA) při TU v Liberci.

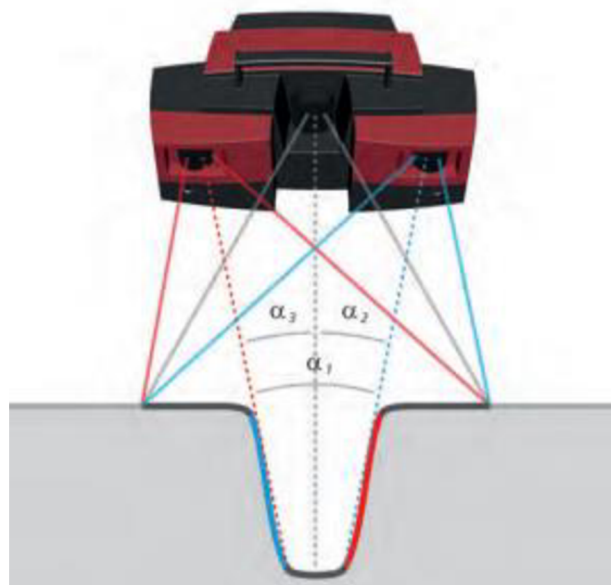
Firma GOM vyvíjí svoje skenery typu ATOS již od roku 1995, má bohaté zkušenosti v tomto oboru a její výrobky jsou neustále inovovány. Skenery ATOS se používají jako měřicí zařízení v mnoha průmyslových odvětvích. Pracují v roli systémů pro kontrolu kvality lisovaných plechů, odlitků nebo plastových dílů, najdou se i speciální aplikace typu kontrola turbínových lopatek a další. Získaná data mohou posloužit jako kontrola dobrý/špatný díl nebo jako podklad pro optimalizaci procesu výroby. Umístění zařízení může být ve speciální měřicí místnosti nebo přímo ve výrobě [18].

Přesnost skeneru zajišťuje špičková optoelektronika, inteligentní zpracování obrazu a matematické algoritmy. Zařízení při provozu nepřetržitě kontroluje stav kalibrace, před měřením lze kalibraci provést v řádu minut. Pro kontrolu nejistoty měření se používá speciální etalon daných rozměrů [18].

Práci skeneru lze plně automatizovat pomocí ATOS ScanBox, nebo používat ručně na studiovém stojanu. Existuje ještě možnost poloautomatického měření při použití tříosé polohovací jednotky [19].

#### Princip vícenásobné perspektivy skenování (Triple Scan)

Skener promítá na povrch měřeného objektu přesné rastrové vzor, ty jsou zaznamenány dvojicí kamer na principu stereo snímání (obr.12). Známými hodnotami jsou polohy obou kamer a projektoru vůči sobě, z těchto všech údajů lze dopočítat 3D povrchové body pro kombinaci 3 perspektiv. Zařízení tyto perspektivy do sebe skládá (levá kamera/projektor, pravá kamera/projektor, levá kamera/pravá kamera). Výhodou metody je schopnost snímat i tvarově složité díly a vyrovnat se s lesklým povrchem. Když nastane problém s chybějícím snímkem jedné z kamer, data ze zbylých ho dokážou efektivně nahradit. Výsledek je přesné proměření povrchu dílu [20].



**Obr.12** ATOS III TripleScan [17]

#### Technologie modrého LED světla (Blue Light)

Projekce modrého světla má za cíl odfiltrovat během skenování rušivé vlivy okolního světla. Dalším benefitem je jednodušší skenování lesklých nebo tmavých ploch. LED technologie přináší dlouhou životnost zařízení. [20]

#### System automatického monitorování

Tento systém dohlíží na nepřetržitou kalibraci skeneru během své práce. Zařízení je schopno reagovat na vnější světelné podmínky a podle toho kompenzovat měření.[20]

## 3 Experimentální část

Cílem řešení předkládané bakalářské práce byl návrh metodiky pro hodnocení deformace plechů způsobené procesem vytvrzování lepidla u pohledových dílů karoserie automobilu. Pro tyto účely byl navržen postup řešení, který je možné zahrnout do dvou kroků:

- a) konstrukce a výroba přípravku pro hodnocení deformací plechů s následným ověřením funkčnosti navržené metodiky pomocí bezkontaktní analýzy deformace
- b) návrh metodiky pro hodnocení silových a deformačních účinků lepidla při vytvrzení

Základním problémem spojování částí karoserie (nejčastěji plechů) lepením je deformace celé sestavy způsobená tepelným procesem vytvrzování lepidla. Zvýšená teplota působí zaprvé na lepidlo, které se tím vytvrzuje a zadruhé způsobuje i deformace karoserie vlivem teplotní roztažnosti materiálů ze kterých je složena. Každé strukturální lepidlo používané pro tuto aplikaci, vykazuje při procesu tvrdnutí významné změny objemu, kdy dochází k jeho smršťování i expanzi. Vlastnost zvětšení objemu je ideální pro utěsnění spoje což je jedním z důvodů použití lepení. Změna objemu lepidla má negativní vliv na deformaci plechů karoserie.

Cílem bylo zjistit, jak přesně se lepidlo chová během tohoto tepelného cyklu a jak se změny objemu lepidla projeví na deformacích plechových dílů z kterých se karoserie skládá. Poznatky o tvarových změnách při vytvrzení lepidla pak ideálně použít pro eliminaci deformací na karoserii vozidla.

Karoserie automobilu sestává ze strukturálních dílů tvořených plechy o větší tloušťce (1,3mm a více) a vysoké pevnosti, které vytváří pevnou kostru budoucího vozu. Na tento vnitřní skelet přiléhá vnější pohledová část karoserie vyrobená z plechu nižší tloušťky. Procesem lepení vzniká pevná vazba mezi těmito dvěma druhy dílů tak, aby následně vznikla celá karoserie. Problém nastává v tom, že strukturální díly vykazují již ze svojí podstaty minimální deformace, kdežto díly pohledové se dají deformovat celkem snadno. Není tedy překvapením, když se změna lepidla vytvrzením promítne i do deformace pohledových dílů karoserie. Typický příklad můžeme nalézt na střeše vozu, která je tvořena jedním velkým pohledovým dílem, který je vsazen mezi konstrukci tvořenou pevnostními díly. Z důvodu těsnosti střechy se stále častěji používá technologie lepení. Lepené spoje na střeše jsou dlouhé a díl střechy s velkou plochou je náchylný na deformace zapříčiněné lepidlem. Navrhovaný způsob měření deformací by proto měl simulovat popsany případ spojení dvou dílů. Vytvořit tedy jeden díl strukturální, který bude mít velkou tuhost s malou deformací a druhý díl představující pohledový kus, který snadno podléhá deformacím.

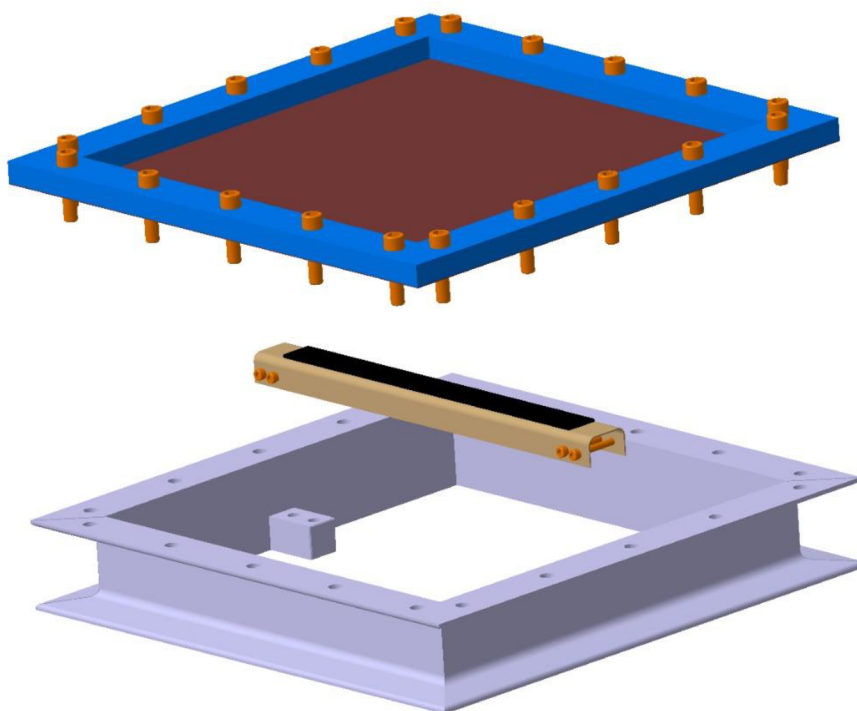
### 3.1 Měření deformace ve speciálním přípravku

#### 3.1.1 Konstrukce přípravku

Z poznatků o konstrukci lepených spojů automobilové karoserie byl navržen testovací přípravek, který měl být schopen simulovat přesně takováto spojení. Strukturální díl představoval do U ohnutý profil z plechu HX260. Roli pohledové části zařídil do čtverce ustřižený plech DC05. Mezi tuto dvojici bylo nanášeno určené množství lepidla, takže vznikl požadovaný lepený spoj. Problémem lepení je minimální únosnost spoje před vytvrzením lepidla, spoj by se mohl různě hýbat a deformovat nebo se i rozpadnout. Proto je nutné zajistit fixaci obou dílů vůči sobě v požadované vzdálenosti. Fixaci zařídil ocelový rám zpevňující spoj během celého procesu.



Přípravek sestává z ocelového rámu svařeného z U profilů typu U80/B ČSN 42 5570 (spodní díl) a příložky vyřezané z ocelové desky o tloušťce 20 mm (vrchní díl). Oba díly jsou opatřeny po obvodu rovnoměrně rozloženými otvory průměru 12,5mm, do kterých se vkládají šrouby M12x30 ISO 4762. Zkoumaný plech se vkládá mezi rám (spodní díl) a příložku (vrchní díl). Na spodní díl jsou navíc navařeny proti sobě ležící hranoly s celkem čtyřmi otvory průměru 11 mm. Otvary prochází závitové tyče M10, které jsou napevno součástí opěrných kostek. Opěrné kostky plní funkci upevnění plechového U profilu vytvořeného ohnutým plechem tloušťky 1,3 mm. Druhou funkcí kostek je ustavení plechového U profilu do správné vzdálenosti vůči plechu, a tedy dodržení požadované vrstvy lepidla. Nastavení se dělá pomocí již zmíněných závitových tyčí a dvojice matek proti sobě. Tato sestava měla simulovat lepený spoj na karoserii osobního automobilu. Konstrukce byla zvolena vcelku masivní z důvodu zajištění dostatečné tuhosti. Navržený přípravek je vidět na obrázku 13.



**Obr. 13** CAD model měřícího přípravku

### 3.1.2 Testované materiály

Pro účely měření této bakalářské práce byly použity dva druhy plechů DC05 a HX260. Oba tyto typy se využívají pro stavbu karoserie automobilu. Plechy prošly statickou zkouškou tahem EN ISO 6892-1 v laboratoři Katedry strojírenské technologie (dále jen KSP). Vzorky byly z původního plechu odebrány pod úhly 0°, 45°, 90° z důvodu přesného popsání chování v různých směrech. Tento způsob odebrání vzorků přímo vychází z dané normy, stejně jako parametry zkoušky a rozměry testovaných vzorků. Pro každý tento směr bylo vytvořeno pět vzorků, z pěti měření se statisticky vypočítala průměrná hodnota jednotlivých veličin. Výstupem měření byl protokol obsahující tabulky hodnot a graf. Veškeré protokoly jsou součástí příloh k této práci.

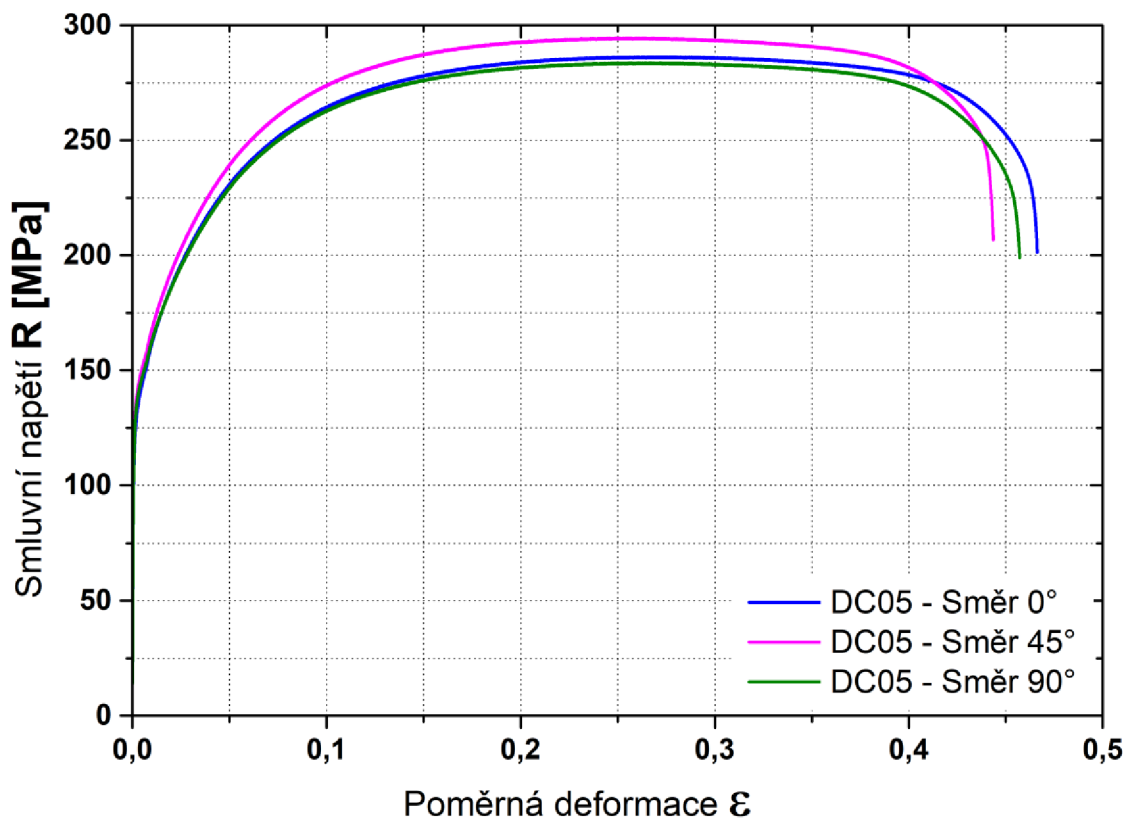
#### DC05



Tento plech o tloušťce 0,7 mm se běžně používá na vnější (pohledové) díly karoserie. Pro náš účel testování deformace byl vystřižen čtverec o velikosti 420x420 mm. Právě na tomto dílu se měřila deformace způsobená procesem vytvrzení lepidla. Vlastnosti testovaného plechu (tab.2) (obr.14).

**Tab.2** Výsledky měření plechu DC05

vzorek	Průměrná hodnota a směrodatná odchylka			
	$R_{p0.2}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$A_g$ [%]	$A_{80mm}$ [%]
Směr 0°	132.4±2.7	285±2.1	27.3±0.7	46.6±0.9
Směr 45°	142±0.6	294.5±0.8	25.4±0.6	44.2±0.5
Směr 90°	138.7±0.4	283.6±0.9	26.4±0.4	45.3±0.7



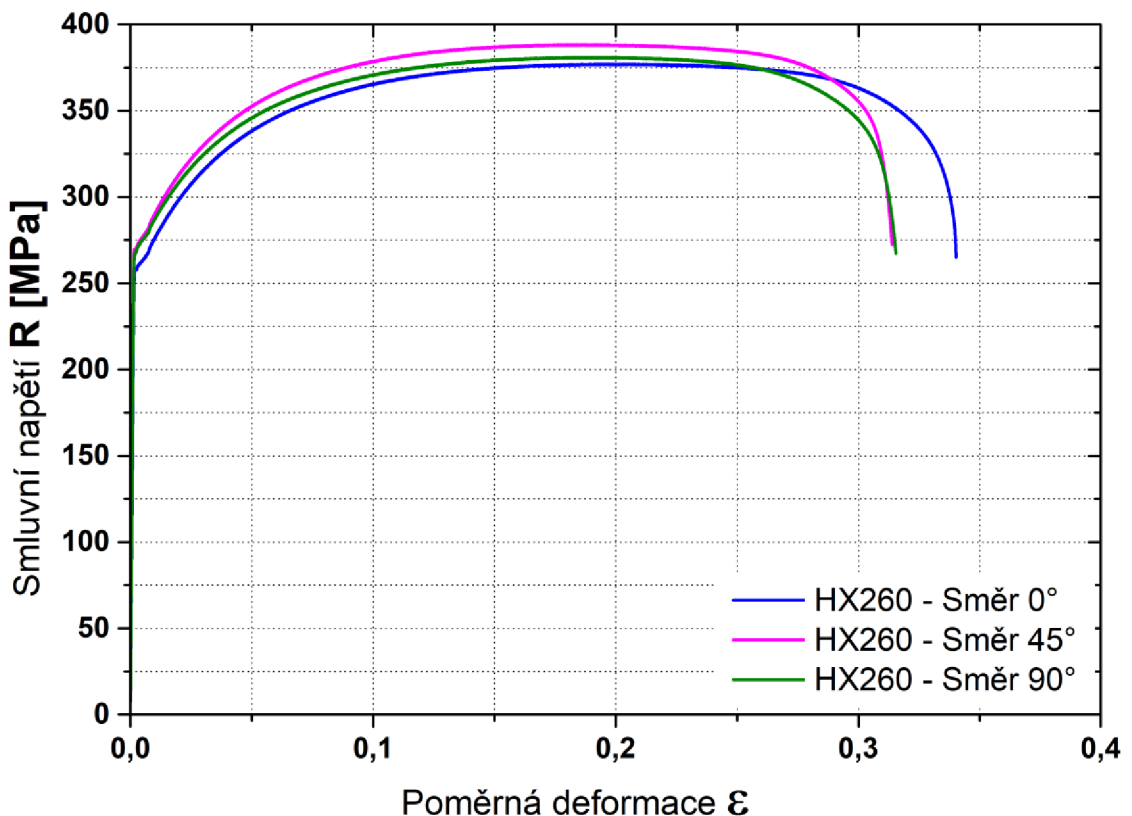
**Obr.14** Grafická závislost poměrné deformace na smluvním napětí [zdroj vlastní]

### HX260

Používá se na strukturální části karoserie. Z tohoto plechu o tloušťce 1,3mm byl stvořen U profil dlouhý 410 mm a široký 32 mm, který se vkládal pod pohledový díl a soužil jako podpora lepidla. Vlastnosti testovaného plechu (tab.3) (obr.15).

**Tab.3** Výsledky měření plechu HX260

Vzorek	Průměrná hodnota a směrodatná odchylka			
	$R_{p0.2}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$A_g$ [%]	$A_{80mm}$ [%]
Směr 0°	261.6±1.3	377.5±1.4	19.2±0.2	33.8±0.4
Směr 45°	273.3±0.7	388.4±0.9	18.4±0.2	31.4±0.3
Směr 90°	272.2±0.6	381.2±0.9	19±0.2	31.4±0.3

**Obr.15** Grafická závislost poměrné deformace na smluvním napětí [zdroj vlastní]

### 3.1.3 Testované lepidlo

Pro řešení bylo zvoleno lepidlo TEROSON RB 3220 od společnosti Henkel KG a A. Toto lepidlo je přímo určeno k lepení karosářských dílů. V materiálovém listě pro dané lepidlo bylo uvedeno:

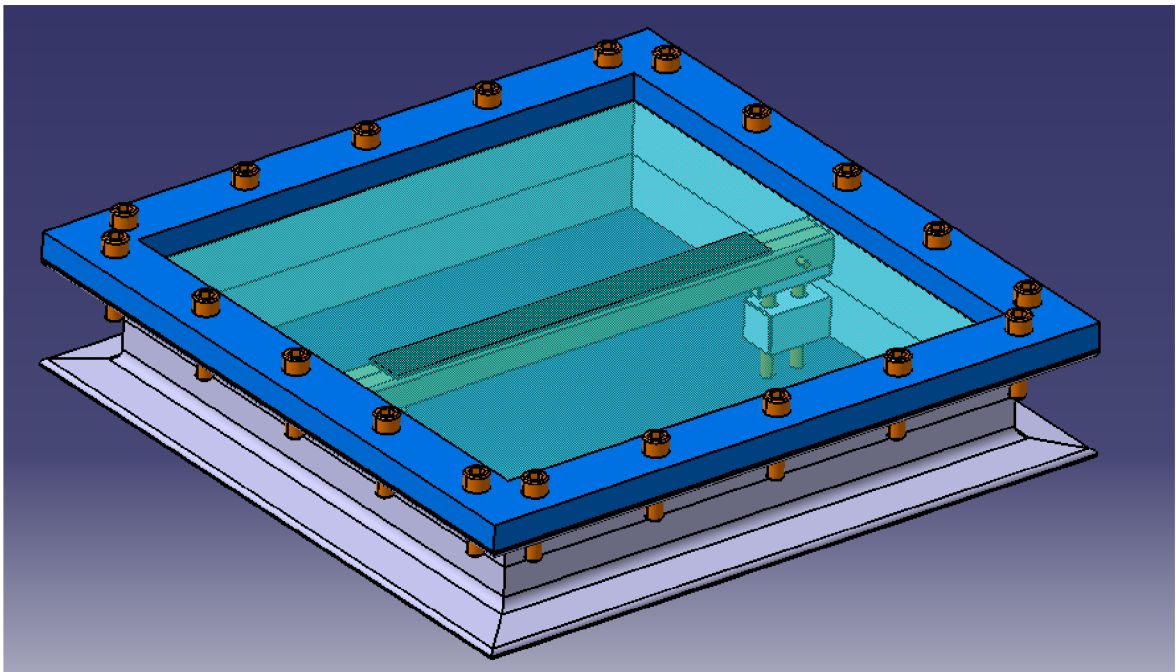
Toto lepidlo je tuhnoucí za zvýšené teploty jednosložkové na bázi kaučuku. Optimální teplota vytvrzování je 175 °C, minimální teplota je 160 °C po dobu 20 minut. Teplota vulkanizace (zasíťování) je 140 °C. Lepidlu lze nanášet na mastné povrchy s přípustným množstvím oleje do 3 g/m<sup>2</sup>. Dokáže dobře přilnout na hliníkové nebo pozinkované plechy. Zajišťuje ochranu proti korozi a lze jej přelakovat. Další hodnoty vlastností testovaného lepidla jsou v (tab.4). Materiálový list tohoto lepidla je součástí příloh této práce.

**Tab.4** Přehled vlastností testovaného lepidla

Barva	Černá
Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	1,5
Konzistence	Pastovitá
Sušina [%]	>99
Viskozita (DIN 54458) [Pa.s]	350
Změna objemu [%]	10
Pevnost ve smyku (DIN EN 1465) [MPa]	1,5
Tvrdost Shore A (DIN 53505)	55 až 60
Teplotní stabilita krátkodobá (1 hodina) [°C]	200
Provozní teplota [°C]	-40 až 90

### 3.1.4 Proces měření deformace v přípravku

Na základě CAD návrhu tvaru přípravku byl tento přípravek vyroben. Přípravek je vidět na obrázku (obr.16).

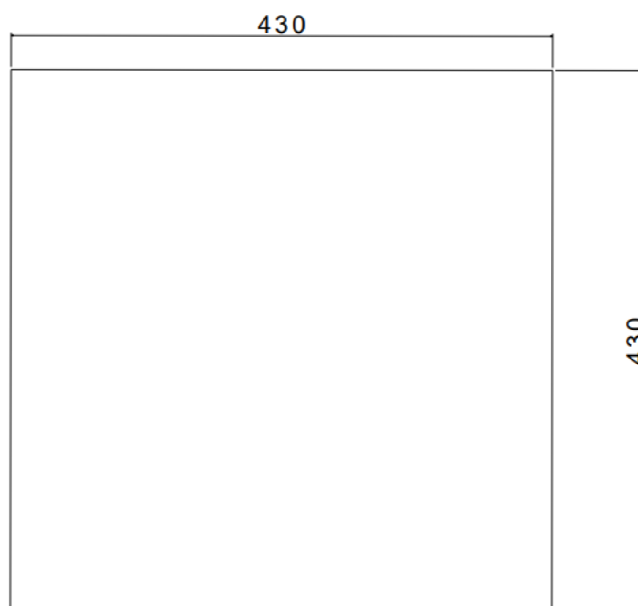


**Obr.16** model navrženého přípravku

Plech **DC 05** byl ustřižen na tabulových nůžkách DURMA MS2504 (obr.17) do tvaru čtverce o délce strany 430 mm (obr.18). Tímto způsobem bylo vytvořeno několik plechů, pro každé měření byl použit nový plech.



**Obr.17** tabulové nůžky DURMA MS2504



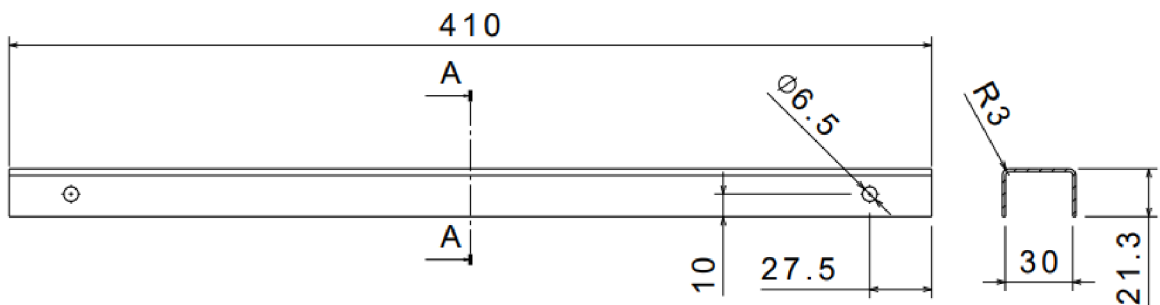
**Obr.18** rozměry testovaného plechu DC 05

Plech HX 260 byl ustřižen na stejných tabulových nůžkách (obr.17) jako plech DC 05, do tvaru obdélníku 73x410 mm. Na sloupové vrtačce (obr.19) byly vyvrtány otvory o průměru 6,5 mm.



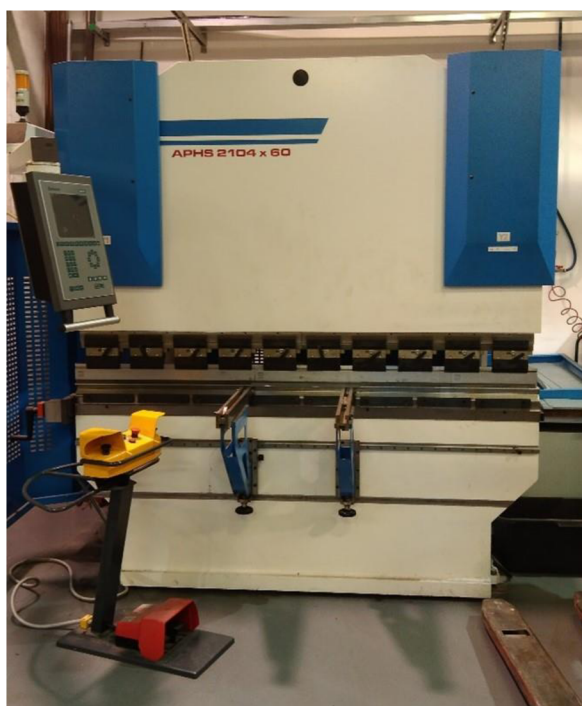
**Obr.19** sloupová vrtačka

V posledním kroku přípravy plechu HX 260 došlo k ohnutí plechu do požadovaného U profilu (obr.20). Pro ohnutí plechu byla využita ohýbačka APHS 2104x60 (obr.21). Bylo vytvořeno několik takto upravených plechů, pro každé měření byl použit nový plech.



**Obr.20** U profil z plechu HX 260





**Obr.21** Ohýbačka APHS 2104x60

Následně došlo k přípravě na proces měření.

Mezi dvojicí opěrných kostek ve spodní části přípravku (obr.22) byl šrouby M6x70 připevněn plechový U profil (obr.23). Stavícími šrouby se vymezila správná velikost mezery pro budoucí lepidlo stanovená jeho výrobcem (pro náš případ 4 mm).

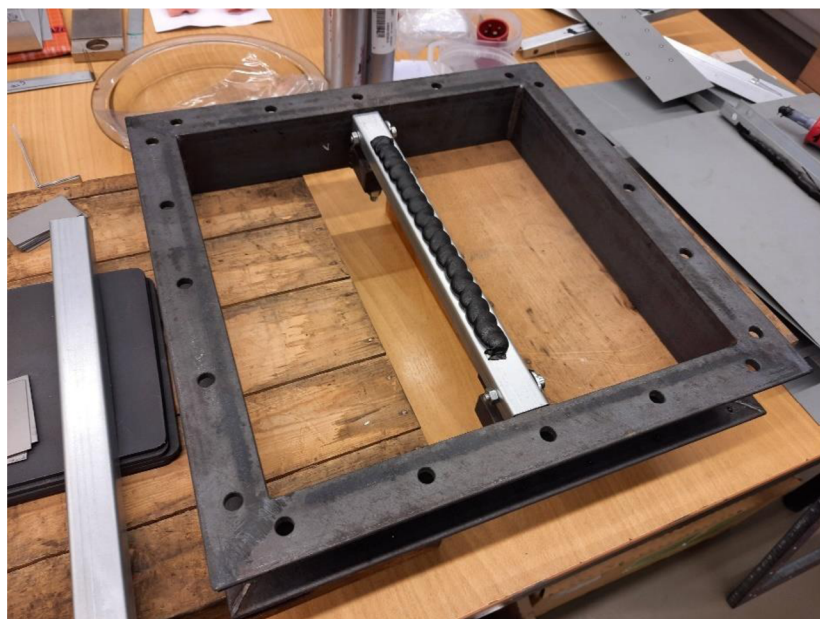


**Obr.22** rám

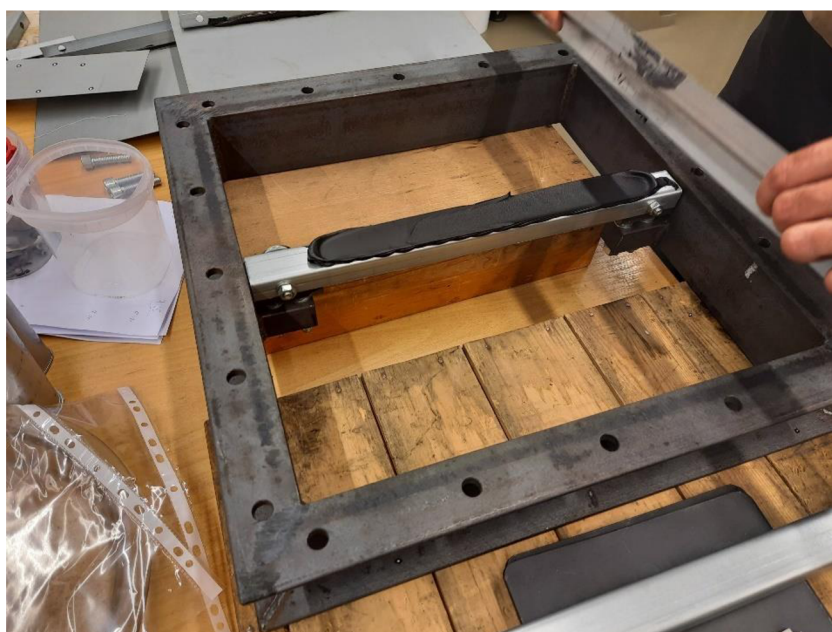


**Obr.23** vložení a připevnění plechového U profilu

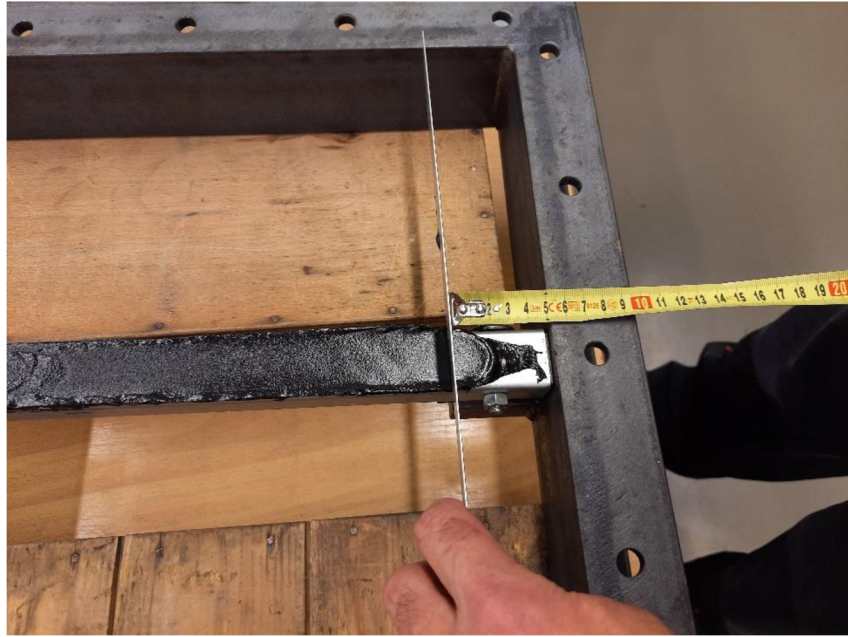
Na profil z plechu HX 260 bylo naneseno testované lepidlo (obr.24). Toto lepidlo se muselo upravit rozhrnutím do požadované tloušťky (obr.25). Rozhrnutí lepidla bylo provedeno z důvodu rovnoměrné vrstvy, která je pro únosnost lepeného spoje zásadní. Z každé strany byla nechána mezera 50 mm (obr.26). Stejné mezery jsou používány i při lepení plechů karoserie automobilu, z tohoto důvodu bylo takto lepidlo upraveno i zde.



**Obr.24** nanesení lepidla na plechový profil

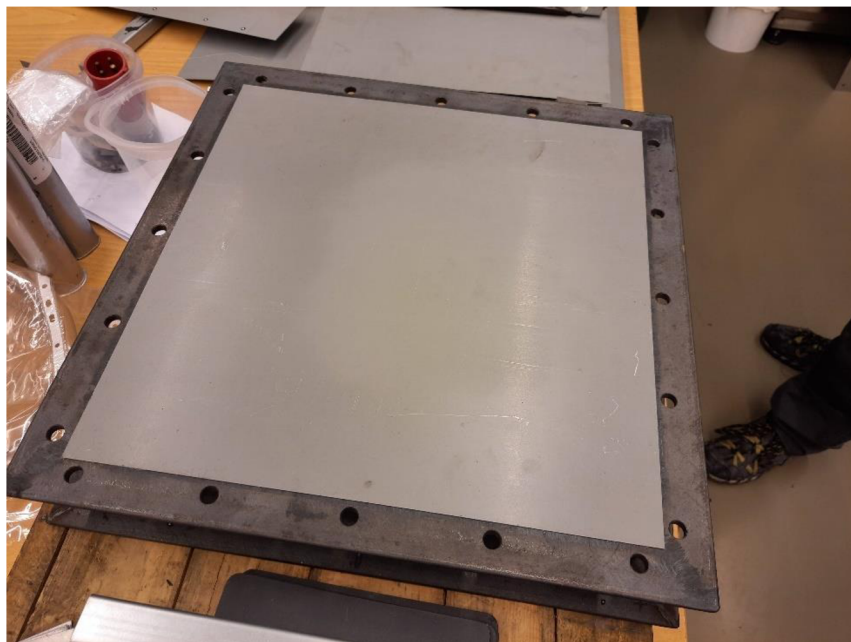


**Obr.25** úprava tloušťky lepidla rozhrnutím



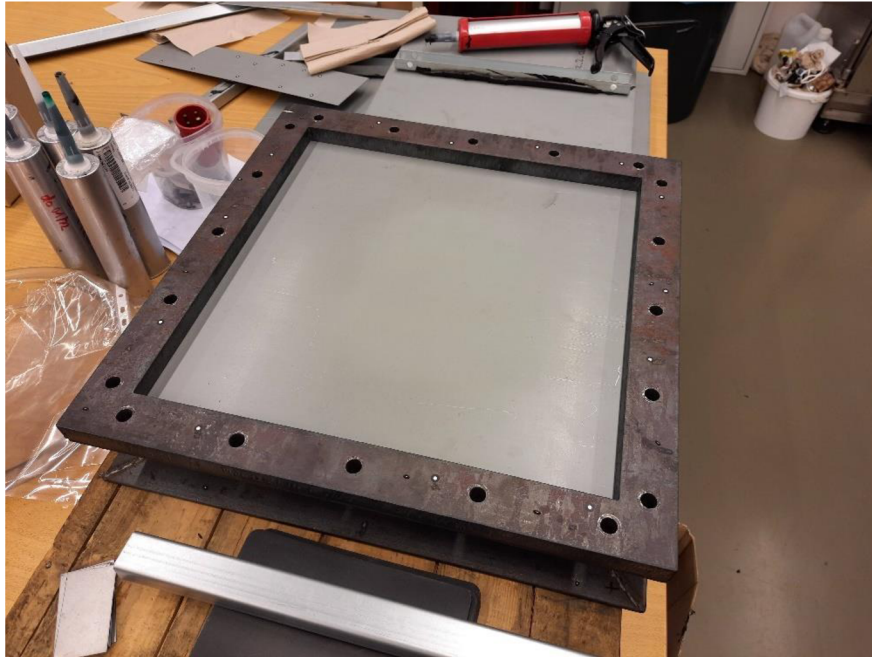
**Obr.26** odstranění přetoku lepidla

V průmyslové praxi se pevnostní lepidla aplikují pouze na jeden ze slepovaných dílů, stejně tak tomu bylo i v tomto případě. V dalším kroku byl na lepidlo přiložen plech DC 05 představující pohledový díl (obr.27). A na plech byla položena příložka (obr.28).



**Obr.27** vložení plechu do přípravku





**Obr.28** přidání příložky

Do otvorů v přípravku se vložily šrouby. Zde mohly nastat dvě varianty:

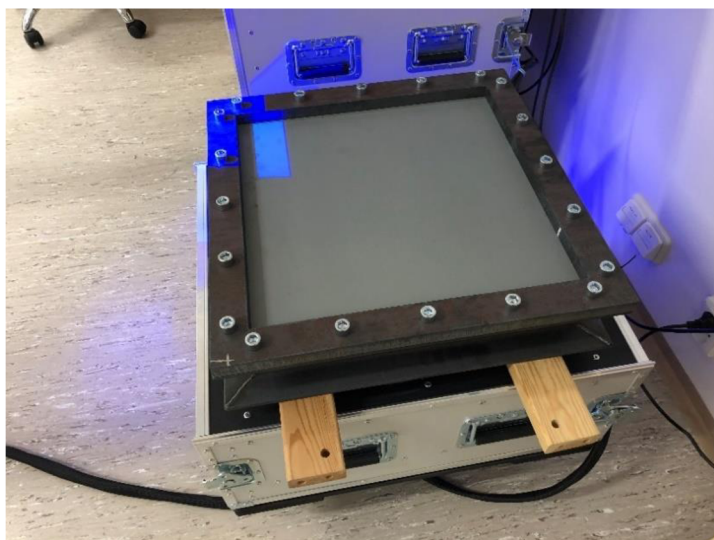
- Utáhnout šrouby momentem 20 Nm (obr.29)
- Neutahovat šrouby vůbec a nechat tak plech bez upevnění



**Obr.29** utahení šroubů na požadovaný utahovací moment

### 3.1.5 Měření deformace před vytvrzení lepidla

Sestava byla přesunuta do laboratoře 3D měření a digitalizace Katedry výrobních systémů a automatizace (dále jen KSA). Zde byl umístěn měřicí přípravek na otočný stůl (obr.30), který je součástí vybavení skeneru ATOS III TripleScan (obr.31)

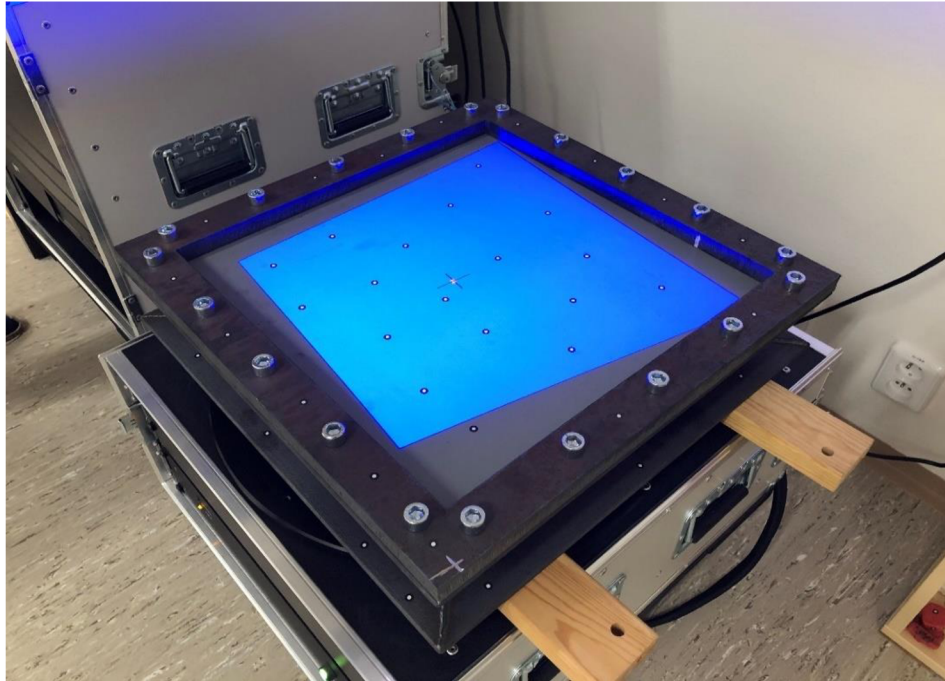


**Obr.30** měřicí přípravek na otočném stole skeneru



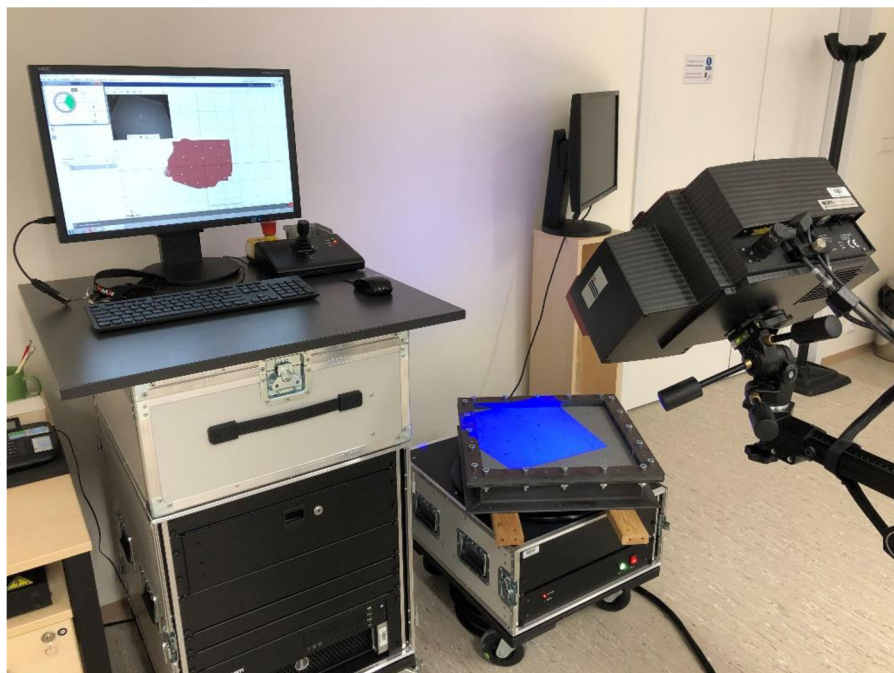
**Obr.31** ATOS III TripleScan na mobilním stativu

Na měřený plech i rám došlo k nanesení referenčních bodů (poziční značky) (obr.32) z důvodu schopnosti skeneru transformovat jednotlivé snímky do společného globálního souřadného systému a sestavit výsledný model. Následovalo správné umístění měřeného objektu od skeneru. Pomocí dvojice laserových značek byla správně ustavena vzdálenost mezi skenerem a měřeným objektem, projekce modrého světla na měřený předmět byla ustavena tak aby bylo v jednom snímku skeneru zabráno co nejvíce.



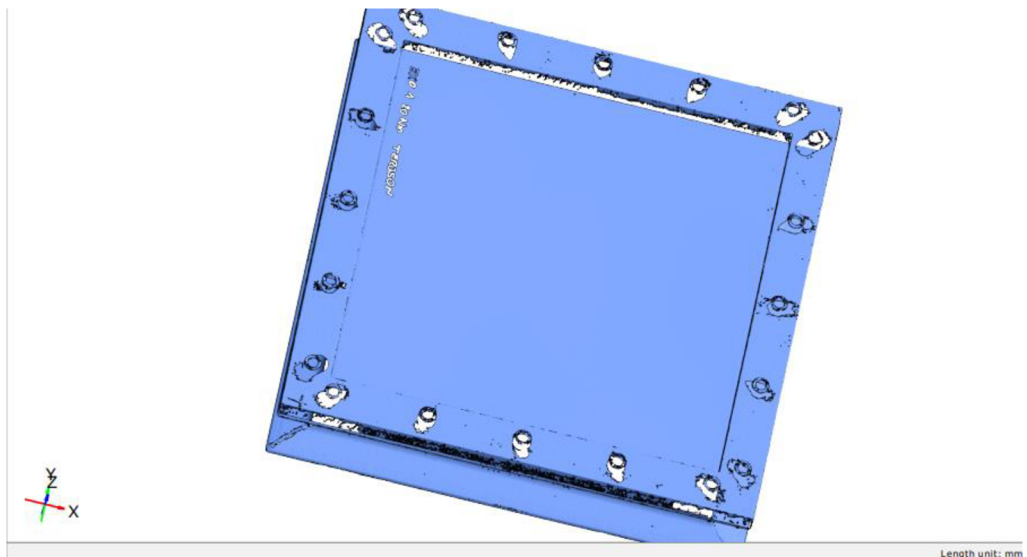
**Obr.32** měřicí sestava s nanesenými referenčními body

Celý proces skenování byl automaticky proveden skenerem (obr.33). Objekt byl naskenován z jednoho pohledu a potom potočilo stolem do další polohy pro následující snímek. Zde se vyskytl problém spočívající v přílišné hmotnosti měřicího přípravku a vysoké úhlové rychlosti stolu které dohromady způsobovalo přejíždění správné polohy měřicího stolu a kmitání celého dílu. Problém byl vyřešen snížením úhlové rychlosti otočného stolu. Zařízení tak postupně nasnímalo měřený plech ze všech potřebných úhlů, nakonec složilo jednotlivé snímky do jednoho celkového 3D modelu (obr.34).



**Obr.33** proces skenování





**Obr.34** virtuální model skenované sestavy

### 3.1.6 Ohřátí lepidla na teplotu vytvrzení

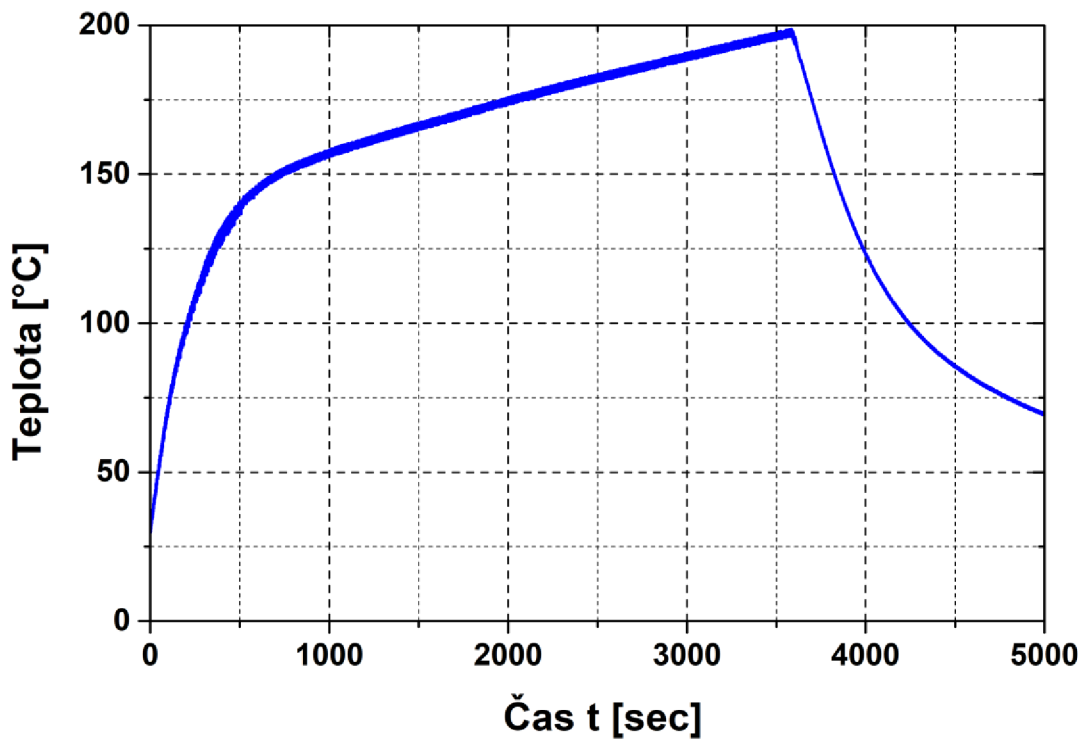
V laboratoři KSP byl celý měřicí přípravek vložen do skříňové sušárny (pece) Venticell 222 (obr.35) (obr.36). Zde bylo možné simulovat proces vytvrzování lepidla tak jak tomu je při vypalování laku karoserie v lakovně. Závislost teploty na čase je uvedena v grafu (obr.37)



**Obr.35** Zařízení Venticell 222



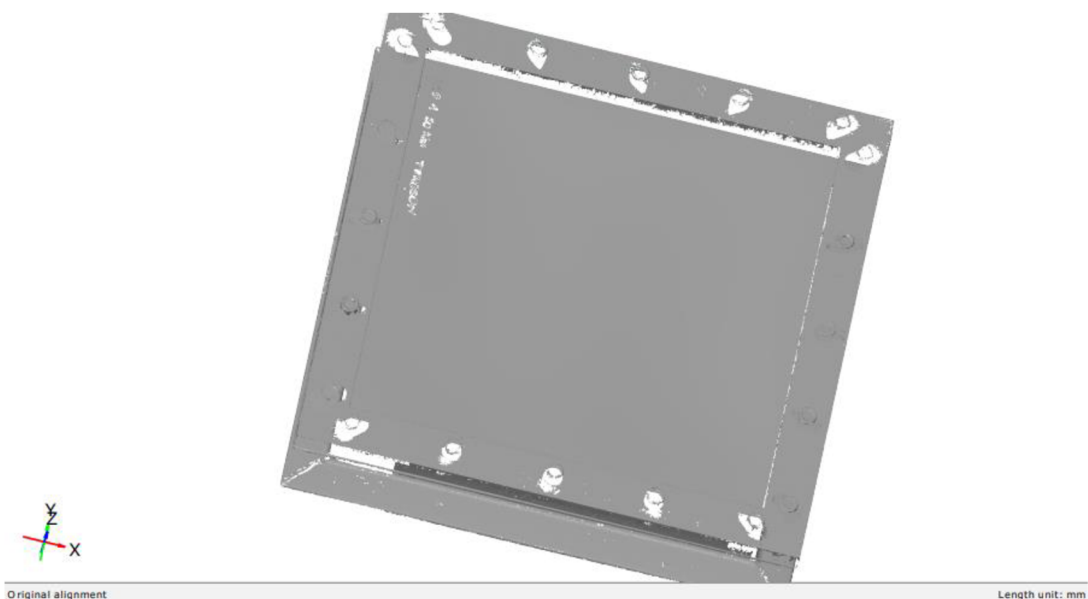
**Obr.36** vložení přípravku do pece



**Obr.37** Průběh teploty ohřevu testovaného lepidla v závislosti na čase

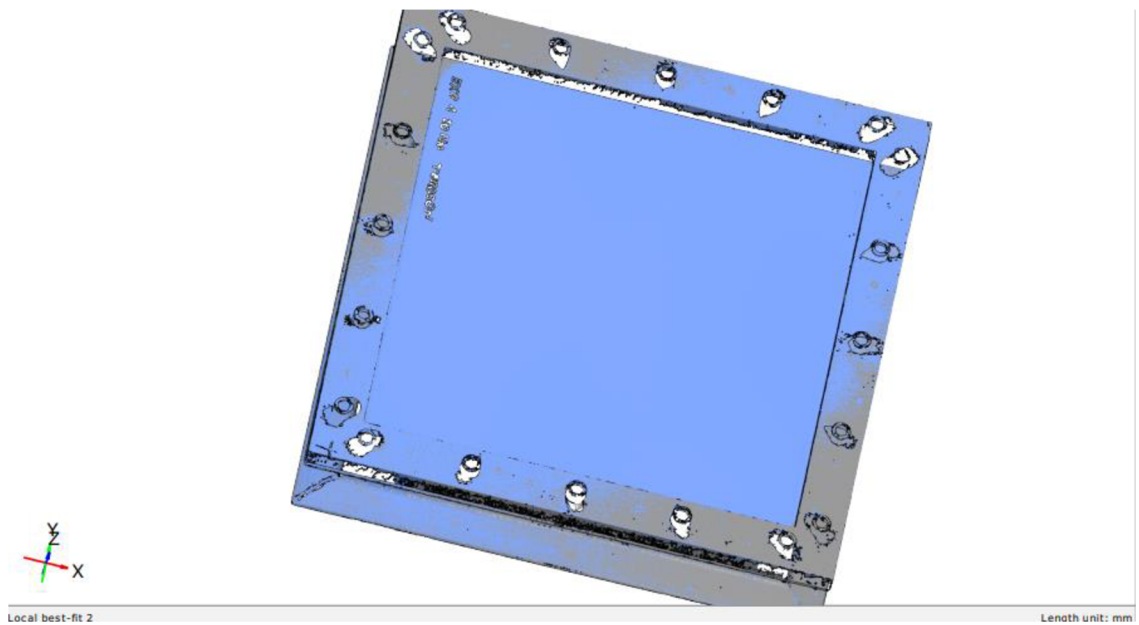
### 3.1.7 Měření deformace po vytvrzení lepidla

Přípravek s vytvrzeným lepidlem byl přesunut do laboratoře KSA. Protože vysoká teplota při procesu vytvrzování lepidla způsobila zničení pozičních značek, došlo k nanesení nových. Postup skenování byl zcela identický s postupem měření lepidla před vytvrzením. Vznikl další virtuální model měřeného plechu (obr.38).

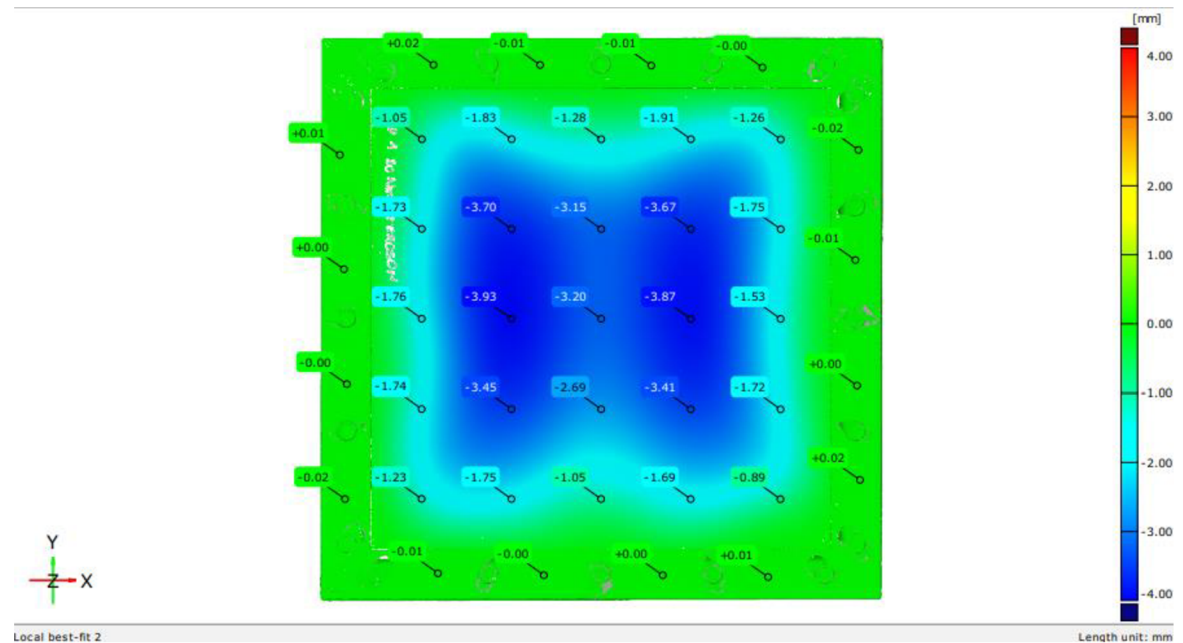


**Obr.38** virtuální model plechu po vytvrzení lepidla

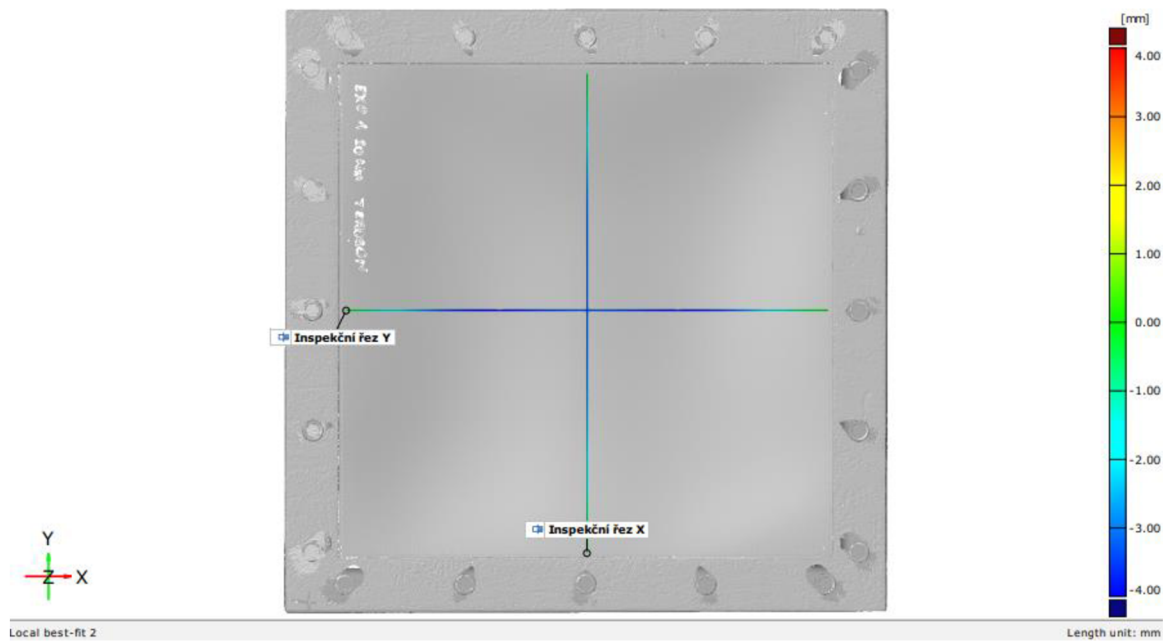
Porovnával se stav plechu před vytvrzováním lepidla a konečný stav po vytvrzení (obr.39). Toto porovnání bylo prováděno v software GOM Inspect Profesional. Deformace bylo možno poznat díky barevné mapě odchylek (obr.40) a z inspekčních řezů v osách x a y virtuálního modelu plechu (obr.41) (obr.42). Výsledky každého měření byly zpracovány do výstupních protokolů.



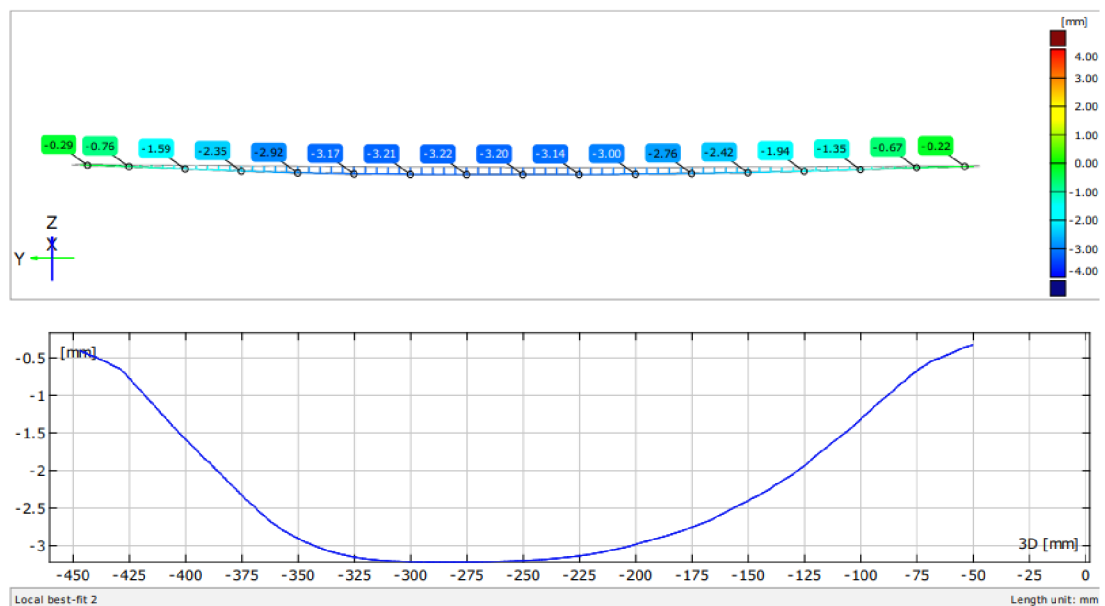
**Obr.39** porovnání stavu před (modrá) a po (šedivá) vytvrzení



**Obr.40** barevná mapa odchylek



Obr.41 vyznačení inspekčních řezů na měřeném plechu



Obr.42 inspekční řez

### 3.2 Analýza silových a deformačních účinků lepidla

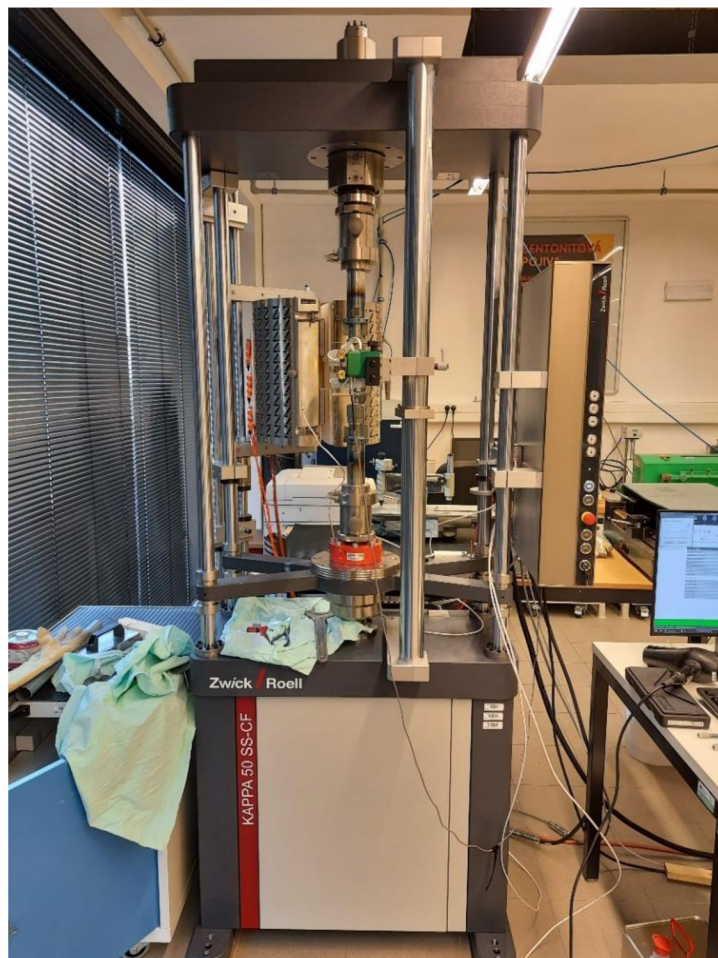
Porovnání výsledků měření deformace plechů ve speciálním měřícím přípravku nepřineslo kvalitní výsledky. Diskuze důvodů je uvedena v kapitole 4.1. Bylo tedy nutné vytvořit jiný způsob měření deformace lepidla. Klíčové bylo pochopit jakým způsobem se lepidlo při procesu vytvrzování chová. Pokud by se podařilo přesně zjistit chování lepidla dala by se zjištěná data použít pro další analýzu chování lepených plechů.

#### 3.2.1 Návrh metody měření

Lepidlo podléhající procesu tepelného vytvrzování mění během tohoto tepelného cyklu zásadně svůj objem. Vznikají i určité síly které jsou zodpovědné za deformace lepených dílů. Pro

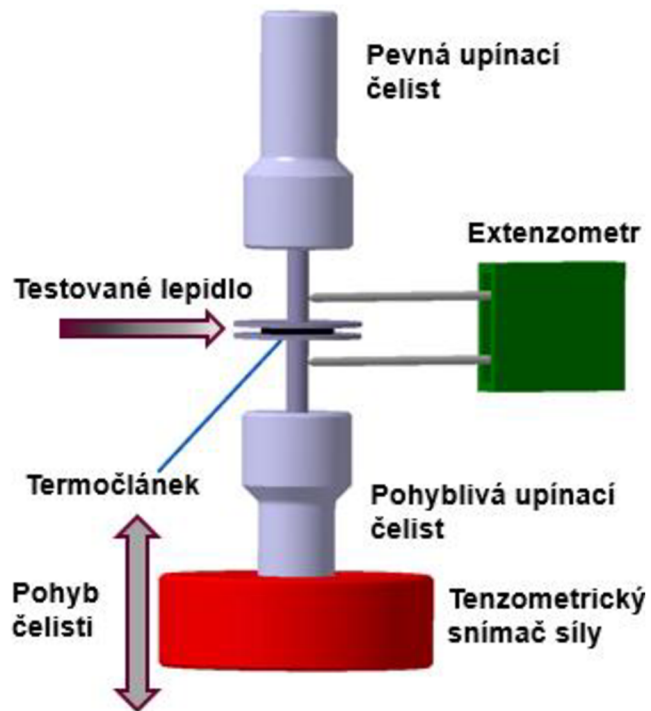
určení deformací a síly bylo potřeba přijít s metodou která bude schopna dané hodnoty dostatečně přesně měřit. Nejvhodněji se jevílo použití trhacího stroje, který se obvykle používá pro měření zkoušky tahem (obr.43). Zařízení je schopno průběžně zaznamenávat změny síly a délky měřeného vzorku a z nich vytvářet výstupní protokoly. Bylo nutné použít stroj vybavený tepelnou komorou pro možnost vytvrzení testovaného vzorku. Modifikací bylo nahrazení běžného zkušebního vzorku za zkušební přípravek opatřený testovaným lepidlem.

Byly navrženy dva způsoby měření. První z nich měl měřit sílu vyvolanou během vytvrzování lepidla. Druhý způsob měl zjistit jaké deformace během vytvrzování vznikají. Průběh teploty zaznamenával termočlánek, který se přímo dotýkal měřícího přípravku v komoře. Sílu vyvolanou lepidlem měřil tenzometrický snímač na spodní čelisti stroje. Pro měření posunutí byl použit extenzometr dotýkající se měřícího přípravku (obr.44).



**Obr.43** Trhací stroj ZwickRoell KAPPA 50 SS-CF

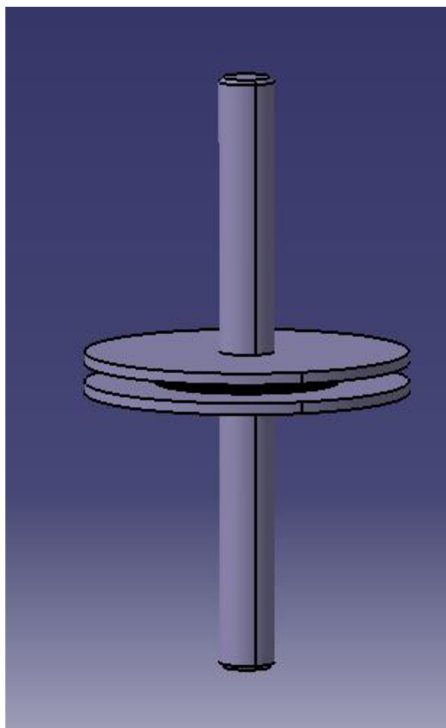




Obr.44 Schéma metody měření na trhacím stroji

### 3.2.2 Vytvoření měřících přípravků

Měřící přípravek představoval dvojici kruhových ocelových desek s doprostřed přivařeným šroubem M10x50 pro upevnění do čelistí trhacího stroje (obr.45).



Obr.45 měřící přípravek

### 3.2.3 Příprava na proces měření

Jako první bylo nutno připravit trhací stroj na měření. To znamenalo vyměnit závitové vložky v čelistích, tak aby závit v čelisti seděl se závitem na přípravku pro lepidlo.

Plochy pro nanesení lepidla na přípravku bylo nutno důkladně očistit, nejprve mechanicky odstranit zbytky lepidla z předchozího měření a potom dočistit a odmastit acetonem.

Na závit měřícího přípravku byla nanesena speciální keramická vazelína, která je schopna odolat vysokým teplotám. To bylo provedeno z důvodu snazšího vyjmutí přípravku z čelistí po ukončení měření.

Horní polovina přípravku, která byla bez lepidla se mohla našroubovat do vrchní čelisti stroje. Spodní byla zvážena (obr.46) a váha s ní byla vynulována (obr.47).

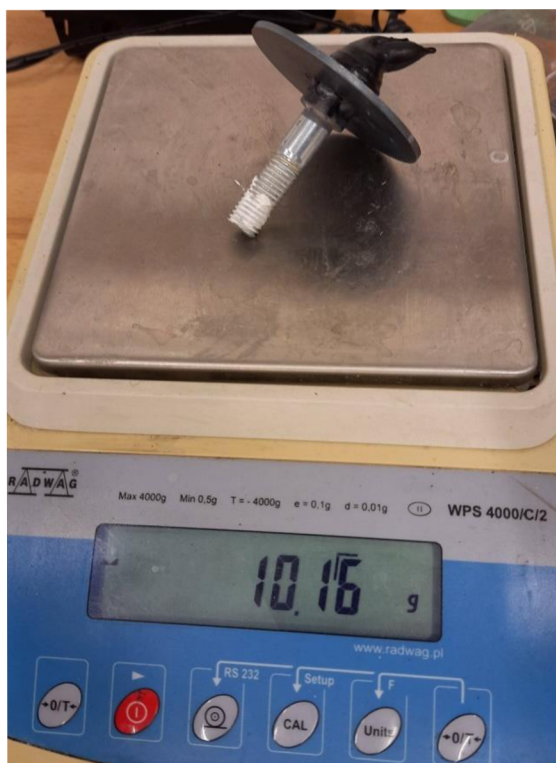


**Obr.46** zvážení jedné poloviny přípravku



**Obr.47** vynulování váhy

Následně bylo naneseno lepidlo TEROSON RB 3220, v množství 10 g (obr.48). Bylo snahou nanést lepidlo co nejvíce doprostřed desky přípravku.



**Obr.48** přípravek s lepidlem

Takto připravená polovina s lepidlem se našroubovala do čelistí trhacího stroje (obr.49). Pomocí kontramatek na čelistech došlo k pevnému dotažení a vymezení vůle v závitech pro obě poloviny přípravku. To bylo důležité pro přesnost výstupních dat.



**Obr.49** přípravek s lepidlem v čelistech stroje

V Dalším kroku byla vymezena správná vzdálenost obou desek tak aby vzdálenost odpovídala technologickým předpisům výrobce lepidla (správná vzdálenost je v praxi důležitá pro maximální únosnost spoje). To se provedlo najetím desek blíže k sobě, změřením vzdálenosti posuvným měřidlem, porovnáním hodnoty z měřidla s hodnotou ukazující programem v počítači a konečným posunutím na hodnotu 4 mm (obr.50).



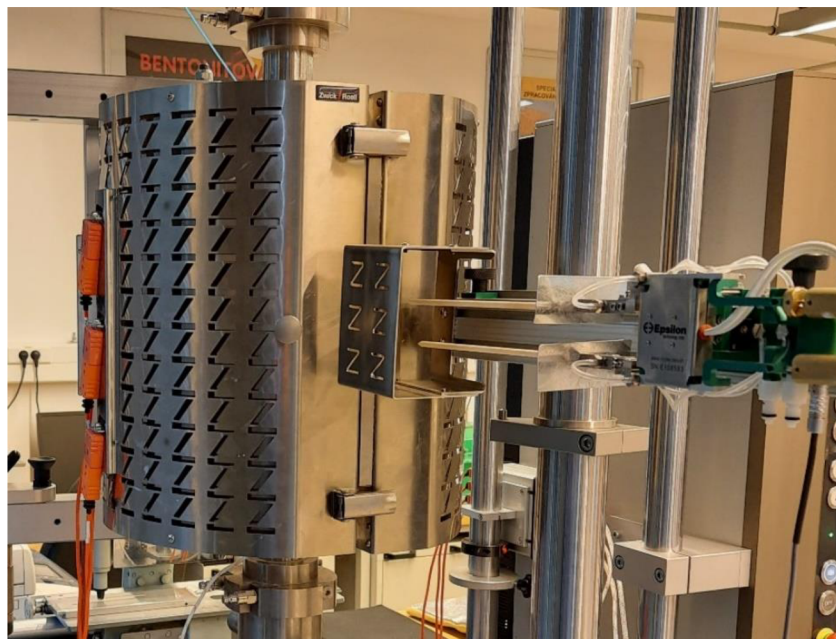
**Obr.50** přiblížení desek na požadovanou vzdálenost

Jako další se pod spodní desku drátkem připevnil termočlánek pro přesné měření teploty v komoře zařízení (obr.51).



**Obr.51** umístění termočláneku na spodní desku

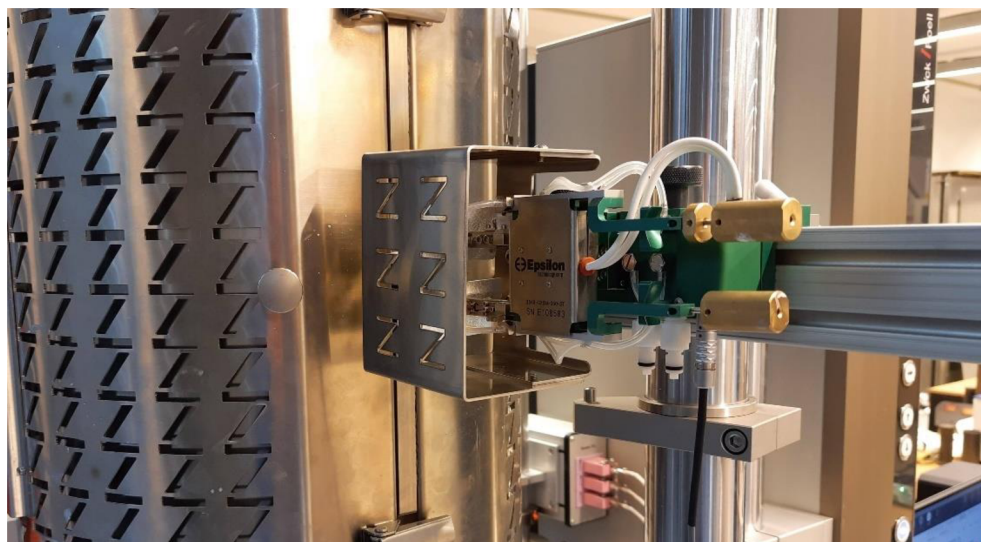
Potom došlo k uzavření celé této sestavy do tepelné komory trhačího stroje (obr.52).



**Obr.52** uzavřená tepelná komora



Do takto uzavřené komory byla speciálním otvorem vsunuta dvojice keramických tyček kontaktního extenzometru Epsilon kontrolující vzdálenost čelistí (tloušťka vrstvy lepidla). Tyto tyčky se dotýkaly přípravků s lepidlem. Zde se muselo postupovat obezřetně aby nedošlo ke kontaktu extenzometru s tepelnou komorou (obr.53).



**Obr.53** zasunutí měřicích tyček extenzometru do komory

Další přípravy na měření byly prováděny na počítači obsluhující trhací stroj. Pomocí software testXpert III ovládající proces měření došlo k nastavení průběhu zkoušky. Software rozdělil tepelný cyklus do tří bloků

1. Zahřátí z 20°C na 200°C
2. Výdrž 20 minut na teplotě 200°C
3. Chlazení na teplotu 30°C

Proces chlazení byl v konečné fázi urychlen otevřením komory stroje. To mělo představovat stav ke kterému dochází při konečné fázi procesu v lakovně automobilky.

Byly prováděny dvě metody měření:

#### 3.2.4 Měření vyvolané síly

Pro tento případ bylo zařízení nastaveno tak že vzdálenost desek, mezi nimiž bylo lepidlo se udržovala stále stejná a stroj zaznamenával sílu vyvolanou procesem vytvrzování lepidla (obr.54).

SET UP TESTING SYSTEM   **CONFIGURE TEST**   RUN TEST   EXPORT TEST DATA

---

Test to ASTM F1624

Number of load and temperature stages 3

Number of block cycles 10

Repeat sequence until break

---

Set temperature 25,0 °C

Temperature ramp 5 °C/min

Point of load application Standard force 0,00 N

Speed, point of load application Force controlled 2 N/s

Regulated positioning, point of load application

Action after reaching the point of load application Hold force controlled

Hold time 10 s

Point of load removal Standard force 0,000 N

---

Set temperature 2 200 °C

Temperature ramp 2 15 °C/min

Point of load application 2 Standard force 0,000 N

Speed, point of load application 2 Force controlled 2 N/s

Controlled positioning, point of load application 2

Action after reaching the point of load application 2 Hold force controlled

**Obr.54** nastavení průběhu zkoušky

### 3.2.5 Měření deformace

Pro měření deformace bylo zvoleno nulové zatížení čelistí. Vzdálenost desek od sebe se mohla měnit v závislosti na cyklu vytvrzování lepidla (obr.55).

Test to ASTM F1624

Number of load and temperature stages

Number of block cycles

Repeat sequence until break

---

Set temperature  °C

Temperature ramp  °C/min

Point of load application   %

Speed, point of load application   mm/min

Regulated positioning, point of load application

Action after reaching the point of load application

Hold time  s

Point of load removal   %

---

Set temperature 2  °C

Temperature ramp 2  °C/min

Point of load application 2   %

Speed, point of load application 2   mm/min

Controlled positioning, point of load application 2

Action after reaching the point of load application 2

**Obr.55** nastavení průběhu zkoušky



## 4 Diskuse výsledků

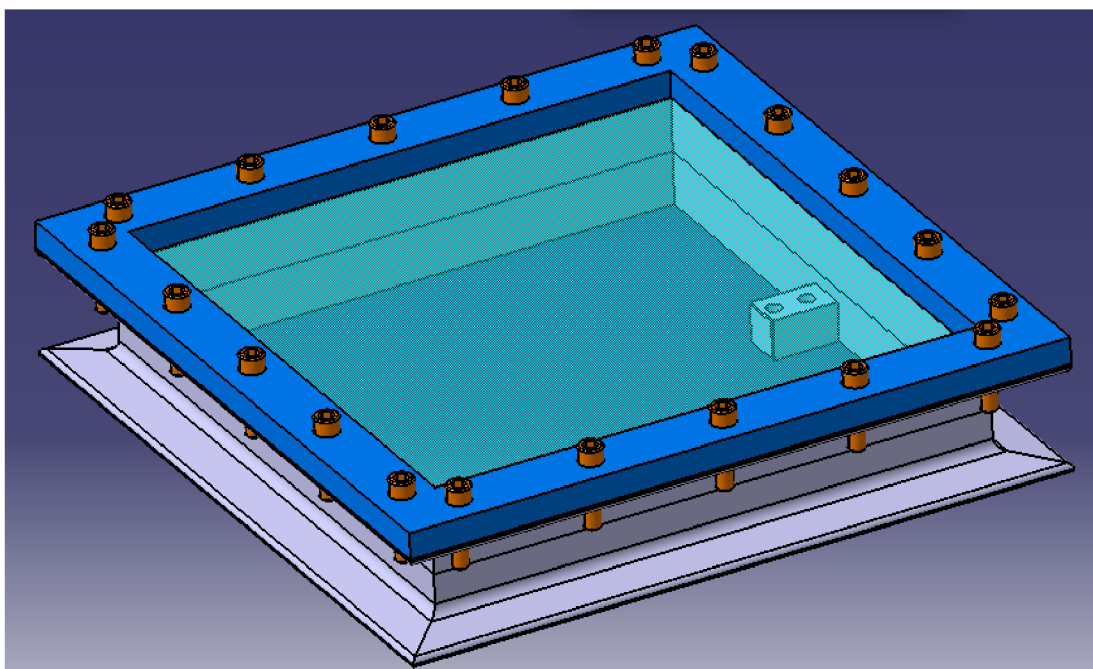
V této části jsou prezentovány poznatky získané v bakalářské práci. Zaměření je na data pocházející z měření deformace plechů ve speciálním přípravku a následně na výsledky měření deformací a sil vyvolaných lepidlem na trhacím stroji.

### 4.1 Vyhodnocení výsledku měření ve speciálním přípravku

Cílem tohoto pokusu bylo přijít na charakteristiku deformací vyvolaných procesem vytvrzování lepidla. Za tímto účelem byl vytvořen speciální měřicí přípravek simulující lepený spoj na karoserii osobního automobilu. Měření bylo prováděno bezkontaktní metodou, konkrétně pomocí 3D skeneru ATOS III Triple Scan. Zařízení poskytovalo výsledky v podobě barevné mapy odchylek, kterou bylo možno detailněji prozkoumat pomocí inspekčních řezů.

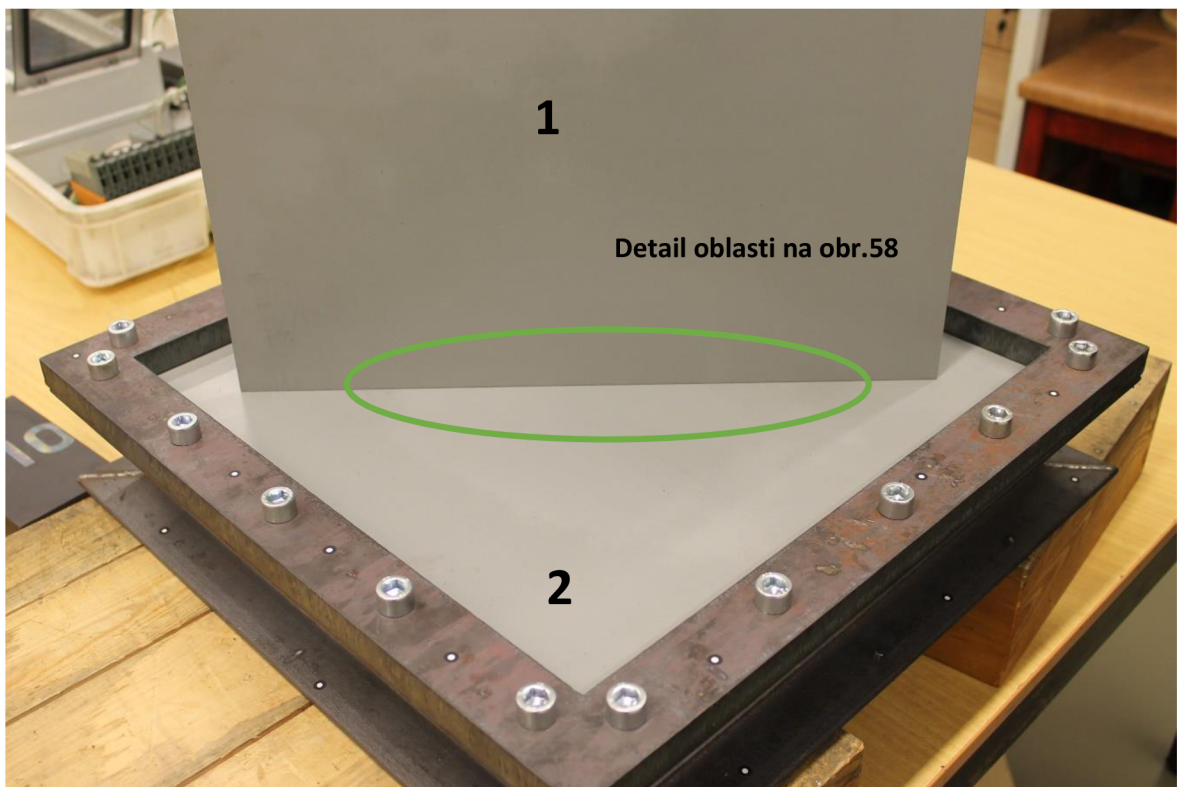
Byly porovnávány dva stavy, první před vytvrzením lepidla s druhým po ukončení procesu vytvrzení. Takto bylo provedeno několik měření.

Měření ve speciálním měřicím přípravku nepřineslo kvalitní výsledky. Při vyhodnocování výsledků série několika měření se nepodařilo dojít k zjištění, jak se lepidlo ve spoji chová. Každé měření přineslo jiné výsledky, ze kterých nebylo možné získat přesvědčivá data. Vzniklo podezření na ovlivnění výsledků měření teplotní roztažností měřicího přípravku a plechu. Pro ověření hypotézy tepelného ovlivnění bylo provedeno speciální měření. Do měřicího přípravku byl upevněn samotný měřený plech bez lepidla, bylo provedeno první měření před tepelnou úpravou a poté druhé po „vytvrzení“ (obr.56). Porovnáním výsledků tohoto pokusu se potvrdilo podezření na teplotní ovlivnění výsledků měření.

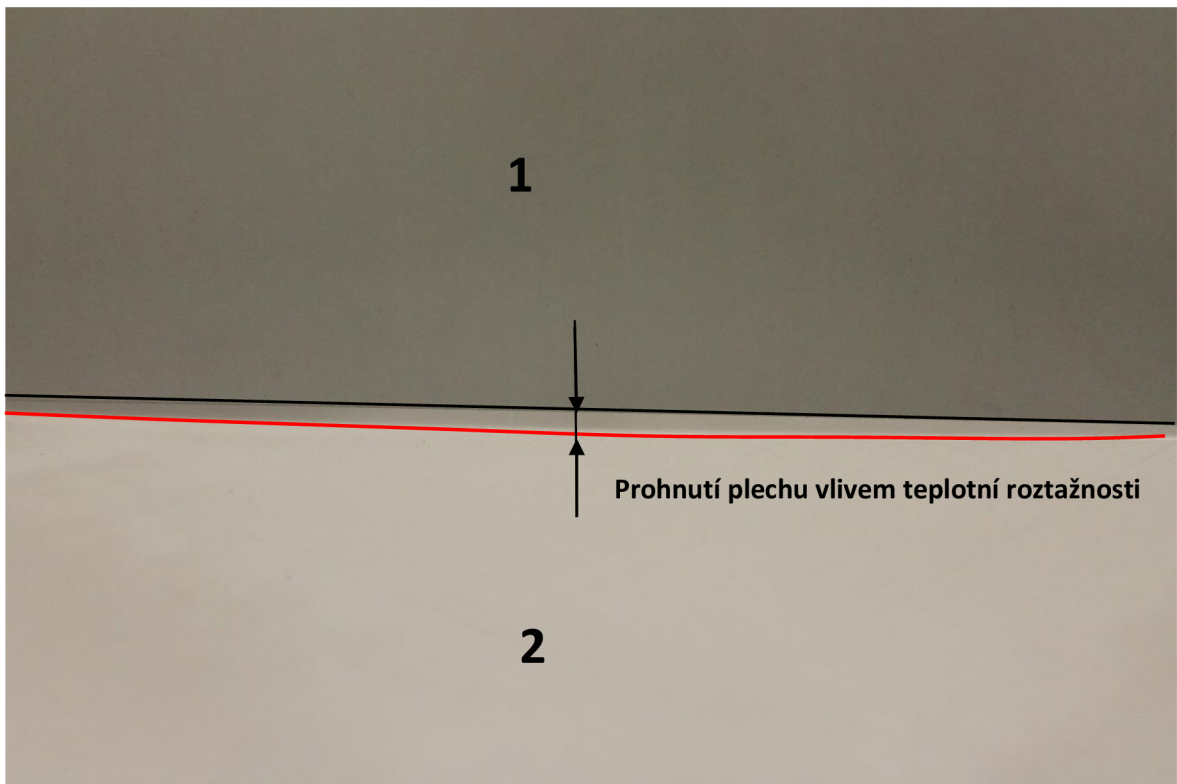


**Obr.56** CAD model přípravku bez lepidla

Teplotní roztažnost měřeného plechu byla tak výrazná že plech se zdeformoval sám ještě před vytvrzením lepidla. Lepidlo tedy nebylo schopno nijak ovlivnit deformace plechu. Deformaci bylo možno pozorovat i přiložením jiného plech hranou na plech upevněný v přípravku (obr.57), velikost deformace byla výrazná (obr.58).



**Obr.57** kontrola deformace přiložením jiného plechu



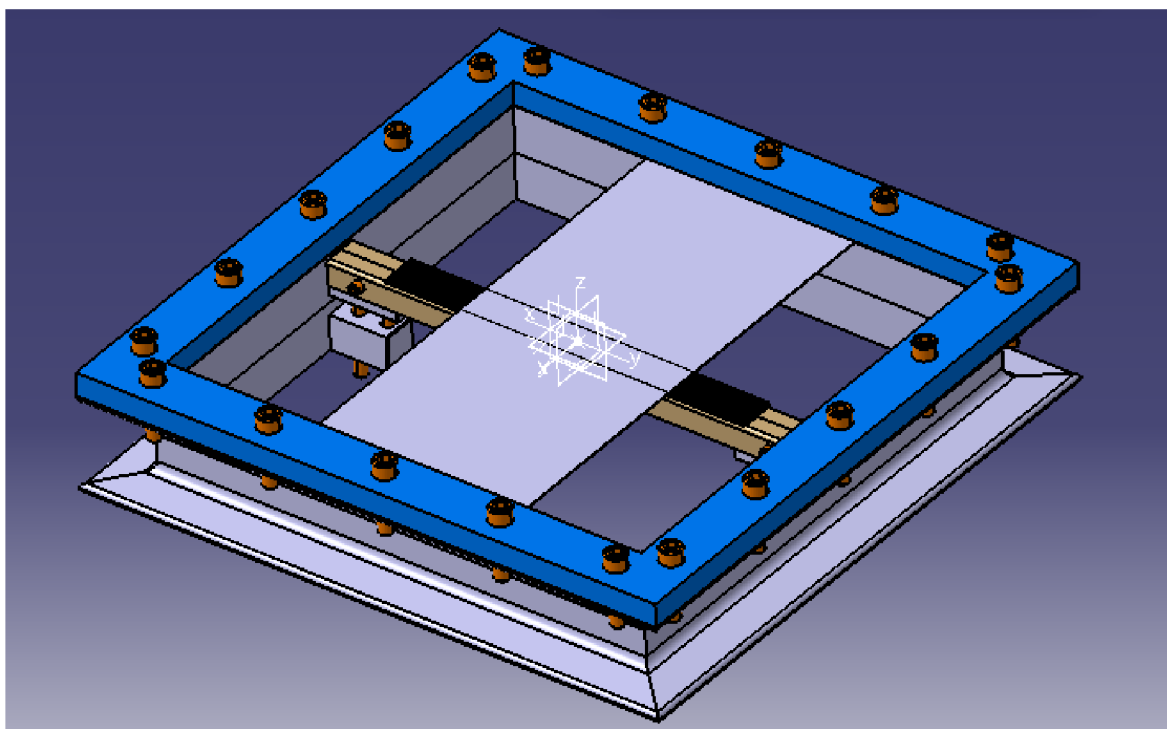
**Obr.58** detail deformace

Pro eliminaci vlivu teplotní roztažnosti byl navržen druhý způsob ukotvení plechu v přípravku. Místo původní fixace plechu utáhnutím šroubů na moment 20 Nm byly šrouby ponechány bez utažení. Uťahovací moment 0 Nm měl zajistit větší volnost plechu a umožnit kompenzovat jeho teplotní roztažnost. Pro ověření správnosti tohoto návrhu bylo provedeno několik měření. Postup měření byl stejný jako v kapitole 3.1 pouze uťahovací moment byl nulový. Analýzou výsledků tohoto měření bylo zjištěno že uťahovací moment neměl na výsledná data žádný vliv

#### 4.1.1 Zhodnocení použité metody

Tato metoda nepřinesla hodnotné výsledky, byl vytvořen návrh, jak tuto metodu zdokonalit pro zkvalitnění měřených dat.

Pro úplné odstranění vlivu teplotní roztažnosti na výsledky měření bylo nutné umožnit měřenému plechu volnost do stran. Z tohoto důvodu byla navržena další modifikace měření (obr.59) Byla vytvořena vůle mezi plechem a přípravkem vložením distančních podložek. Další úprava byla zaměřena na tvar pohledového plechu. Původní čtvercoví tvar byl změněn na obdélníkový o rozměrech 430x150 mm. Touto cestou by mělo jít měření ve speciálním měřicím přípravku do budoucna.



**Obr.59** modifikace metody měření

#### 4.2 Vyhodnocení výsledků měření na trhačím stroji

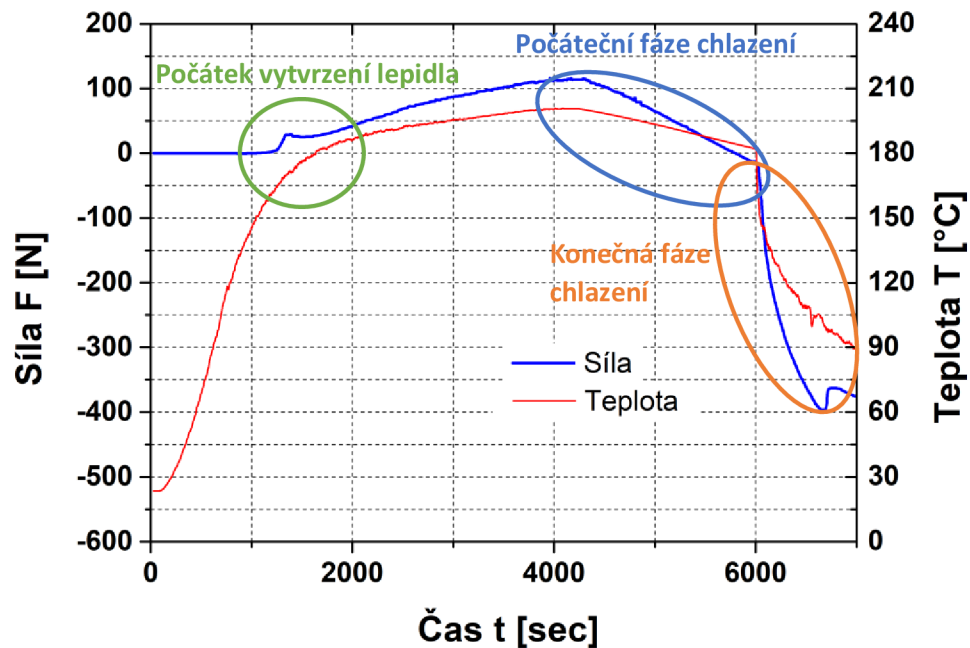
Protože výsledná data měření z předchozí metody nepřinesla informace o chování lepidla a spoje byla navržena druhá metoda měření. Tato metoda měla za cíl hlouběji prozkoumat chování lepidla při procesu tepelného vytvrzování. Veškeré tyto testy se prováděly na zařízení ZwickRoell Kappa 50 SS-CF v 3-zónové teplotní komoře. Zařízení bylo schopno průběžně měřit posunutí a sílu vzniklou během procesu vytvrzování.

#### 4.2.1 Výsledky měření vyvolané síly

Zařízení nastaveno na udržování konstantní vzdálenosti čelistí. Vzdálenost čelistí vůči sobě kontroloval extenzometr. Tenzometrickým snímačem trhačím stroje byla měřena **silová odezva** testovaného lepidla. Teplotní zatížení zkoumaného vzorku bylo 200 °C po dobu 20 minut.

Z grafu popisující závislost vyvolané síly a teploty na čase (obr.60) lze vypočítat tato zjištění.

- V zeleně zakroužkovaném úseku byl patrný stav kdy došlo k aktivaci procesu vytvrzování lepidla, v tomto stavu vzrostl gradient síly.
- Síla dále rostla společně s teplotou až do okamžiku započetí chlazení
- V počátečním stavu chlazení (modře vyznačeno) došlo k ukončení růstu síly, s klesající teplotou nastal i záporný gradient síly. Hodnoty síly se ke konci tohoto úseku dostali až do záporných hodnot (snaha lepidla přitahovat díly k sobě)
- Konečná fáze chlazení lepidla byla způsobena otevřením tepelné komory, tedy rychlým poklesem teploty. Na tento stav lepidlo zareagovalo prudkým poklesem síly.



Obr.60 závislost vyvolané síly a teploty na čase

Z výsledků tohoto měření je zřejmé, jak velkou sílu je lepidlo schopno v konečné fázi chlazení vytvořit. Je nutné podotknout že sílu 400 N vytvořilo pouze 10g lepidla na ploše 1960 mm<sup>2</sup> přípravku, v praxi se používá mnohem více lepidla a délka spojů je mnohem větší, z toho plyne i enormní silové zatížení lepených dílů. Toto zjištění může být příčinou deformací plechů na karoserii automobilu.

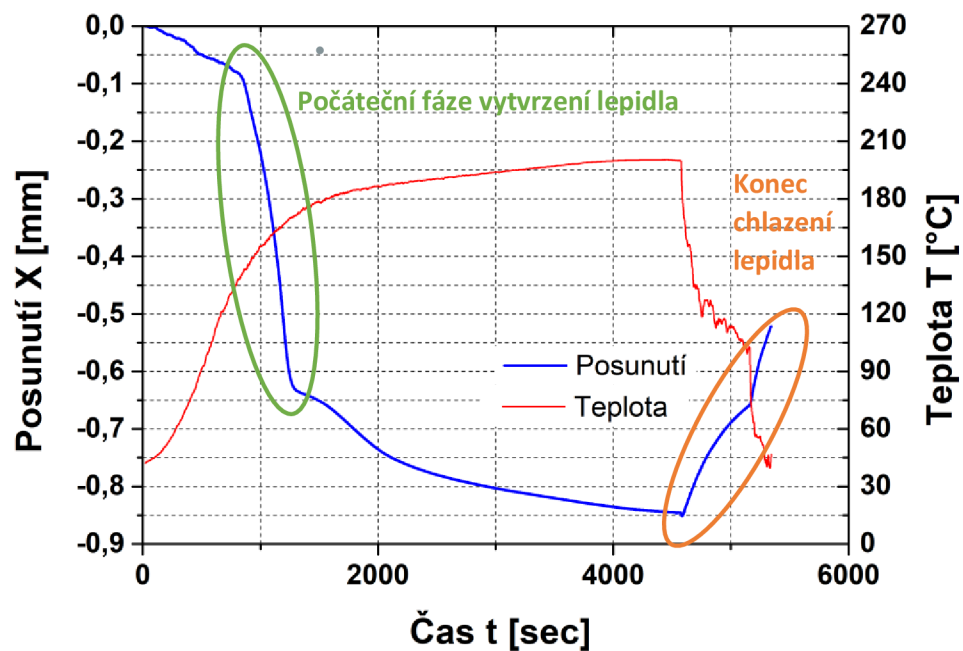
#### 4.2.2 Výsledky měření deformace

Principem měření bylo „zatížení“ nulovou silou. Měřenou hodnotou byla **deformační odezva**. Teplotní zatížení zkoumaného vzorku bylo 200 °C po dobu 20 minut. Protože bylo měření prováděno na trhačím stroji bylo růst vzdálenosti čelistí v realitě zaznamenán v grafu stroje záporně (jde o kompresní test).



Z grafu výsledků (obr.61) lze vypožorovat následující zjištění:

- V počáteční fázi vytvrzování lepidla byl patrný prudký růst vzdálenosti, a tedy objemu lepidla.
- Jak se teplota postupně ustálila snížil se i gradient růstu posunutí.
- Ukončení zahřívání lepidla a následný prudký pokles teploty znamenal i změnu v posunutí lepidla. Tato změna ale již nebyla schopna vykompenzovat počáteční rychlý nárůst vzdálenosti.
- V konečném důsledku tedy došlo k nárůstu objemu lepidla a tedy vzdálenosti



Obr.61 závislost posunutí a teploty na čase

Tento experiment dále potvrdil snahu lepidla expandovat. Je patrná souvislost mezi silovým působením a posunutím způsobeným lepidlem. Toto může být příčinou deformace lepených plechů.

#### 4.2.3 Zhodnocení použité metody

Tato metoda se ukázala jako funkční a data z ní by se dala použít pro další zkoumání vlivu lepidla na plechy karoserie. Existuje mnoho směrů, jak metodu dále zdokonalit. Bylo by vhodné zlepšit nanášení lepidla na testovací přípravek tak aby byla výsledná vrstva více rovnoměrná například použitím šablony. Dále by se dal modifikovat průběh vytvrzování lepidla, vyzkoušet jiné vytvrzovací teploty a jiný čas výdrže na teplotě. Krom toho se nabízí vyzkoušet i jinou vzdálenost čelistí od sebe anebo použít pro testování zcela jiná lepidla.

## 5 Závěr

Cílem řešení bakalářské práce bylo navrhnout metodiku pro hodnocení deformačních účinků lepidel při procesu vytvrzení. Vývoj metodiky byl zaměřen především na lepidla používaná v automobilovém průmyslu pro lepení částí pohledových dílů karoserie. V rámci řešení byly navrženy dva způsoby pro hodnocení lepených spojů, jejichž využití je diskutováno v kapitole 4. Z výsledků je patrné, že metodika hodnocení lepidel pomocí tvarových změn plechu umístěného v rámu navrženého přípravku nepřináší relevantní výsledky a pro zajištění kvalitních výsledků by bylo vhodné tuto metodiku upravit, tak jak je uvedeno v diskuzi výsledků v kapitole 4.1.1. Pro ověření tohoto tvrzení by bylo nutné provedení dalších validačních testů s různými technologickými parametry vytvrzování lepidel. Výsledky měření chování lepidla pomocí druhé metodiky, kdy byl využit stroj ZwickRoell KAPPA 50 SS-CF, potvrdily vhodnost použití této metodiky pro hodnocení deformačních a silových účinků testovaného lepidla a doporučuji tuto metodiku dále používat a rozvíjet.

## Seznam použité literatury

- [1] DOUBEK Pavel KOLNEROVÁ Michaela. *Základy lepení karosářských výlisků*. Liberec 2014 ISBN 978-80-7494-170-2
- [2] PILVOUSEK Tomáš. *Lepení ve výrobě karoserie* [online].MM Průmyslové spektrum 2017 [cit 1.3.2022] Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/lepeni-ve-vyrobe-karoserie>
- [3] L&L Products. *Strukturovaná, semistrukturovaná a elastická lepidla* [online]. [cit 7.3.2022] Dostupné z: <https://www.lproducts.com/cs-cz/trhy/automobilovy-prumysl/>
- [4] MRŇA Libor. *Lepení materiálů* [online]. [cit 15.3.2022] Dostupné z: [https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_lepeni\\_materialu\\_mrna.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_lepeni_materialu_mrna.pdf)
- [5] ŠTEFÁNEK Pavel. *Srovnání pevnostních charakteristik polyuretanových a akrylátových lepidel na různých typech adherendů* [online]. [cit 30.3.2022] Univerzita Pardubice 2020 Dostupné z: Digitální knihovna UPCE-Univerzita Pardubice
- [6] PLASTUM. *Lepení technických plastů* [online]. [cit 8.5.2022] Dostupné z: <https://plastum.cz/lepeni/>
- [7] LEPIDLA.CZ. *Technologie a technika lepení – základní informace* [online]. [cit. 8.5.2022] Dostupné z: <https://www.lepidla.cz/clanky/technologie-a-technika-lepeni---zakladni-informace>
- [8] PETERKA.J: *lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. 1.vyd. Praha STNL 1980
- [9] ČADA.O.,FALDÍK.L.,KOLÍNSKÝ.A.,aj. *lepení plastických hmot a pryže*. VÚGPT 1964
- [10] 3M. *3m™Scotch-Weld™ strukturální lepidla* [online]. [cit 8.5.2022] Dostupné z: [https://www.3mcesko.cz/3M/cs\\_CZ/bonding-and-assembly-ctl/structural-adhesives/](https://www.3mcesko.cz/3M/cs_CZ/bonding-and-assembly-ctl/structural-adhesives/)
- [11] DOW. *Adhesives and Sealants*. [online]. [cit 10.5.2022] Dostupné z: <https://www.dow.com/en-us/product-technology/pt-adhesives-sealants.html>
- [12] HENKEL. *Adhesives Technologies (Lepidla a technologie)*. [online]. [cit 10.5.2022] Dostupné z: <https://www.henkel.cz/znacky-a-obchodni-divize/lepidla-a-technologie>
- [13] HENKEL. *Lepící technologie*. [online]. [cit 10.5.2022] Dostupné z: [Henkel Adhesives \(henkel-adhesives.com\)](https://www.henkel-adhesives.com)
- [14] SIKA. *SIKA Automotive*. [online]. [cit 10.5.2022] Dostupné z: <https://automotive.sika.com/>
- [15] WATECH *1K systémy pro aplikaci lepidel, tmelů a past* [online]. [cit 10.5. 2022] Dostupné z: <https://www.watech.cz/wagner-group-produkty/technologie-pro-aplikaci-lepidel-tmelu-past-reinhard-technik.html>
- [16] VOLEK Aleš *Metodika ustavení souřadného systému pro optické měřicí zařízení*. Brno 2008
- [17] CIBULKA Miloš. *Fotogrammetrie laserové skenování* [online]. [cit 13.4.2022] Mendelu 2018 Dostupné z: [http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/geodezie/geodezie\\_2018/fotogrammetrie.pdf](http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/geodezie/geodezie_2018/fotogrammetrie.pdf)
- [18] MENDŘICKÝ Radomír. *3D digitalizace a reverzní inženýrství*

[19] MENDŘICKÝ Radomír, KELLER Petr. *Obsluha měřících zařízení bezkontaktní metody* [online]. Liberec 2015. [cit 13.4.2022]. Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:2520>

[20] GOM\_Bouchure\_ATOS\_TripleScan\_CZ [cit 13.4.2022] Dostupné z: [https://www.mcae.cz/wp-content/uploads/2020/10/GOM\\_Brochure\\_ATOS\\_TripleScan\\_CZ\\_nahled.pdf](https://www.mcae.cz/wp-content/uploads/2020/10/GOM_Brochure_ATOS_TripleScan_CZ_nahled.pdf)

[21] JOSEFPRUSA. *fotogrammetrie-3D skenování s použitím fotoaparátu či mobilu*. [online] [cit 14.4.2022] Dostupné z: <https://josefprusa.cz/fotogrammetrie-3d-skenovani-s-pouzitim-fotoaparatu-ci-mobilu/>

## Seznam příloh

Příloha 1: statická zkouška tahem DC05 směr 0°

Příloha 2: statická zkouška tahem DC05 směr 45°

Příloha 3: statická zkouška tahem DC05 směr 90°

Příloha 4: statická zkouška tahem HX260 směr 0°

Příloha 5: statická zkouška tahem HX260 směr 45°

Příloha 6: statická zkouška tahem HX260 směr 90°

Příloha 7: materiálový list lepidla TEROSON RB 3220 1.strana

Příloha 8: materiálový list lepidla TEROSON RB 3220 2.strana

Příloha 9: 0Nm Inspekce

Příloha 10: 0Nm Před tepelnou úpravou

Příloha 11: 0Nm Po tepelné úpravě

Příloha 12: 0Nm Oblast Local BestFit 2

Příloha 13: 0Nm Porovnání Před t.u. – Po t.u

Příloha 14: 0Nm Barevná mapa odchylek

Příloha 15: 0Nm Označení řezů

Příloha 16: 0Nm Inspekční řez X

Příloha 17: 0Nm Inspekční řez Y

Příloha 18: 20Nm Inspekce

Příloha 19: 20Nm Před tepelnou úpravou

Příloha 20: 20Nm Po tepelné úpravě

Příloha 21: 20Nm Oblast Local BestFit 2

Příloha 22: 20Nm Porovnání Před t.u. – Po t.u

Příloha 23: 20Nm Barevná mapa odchylek



Příloha 24: 20Nm Označení řezů

Příloha 25: 20Nm Inspekční řez X

Příloha 26: 20Nm Inspekční řez Y

# Přílohy

Příloha 1: statická zkouška tahem DC05 směr 0°

## STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

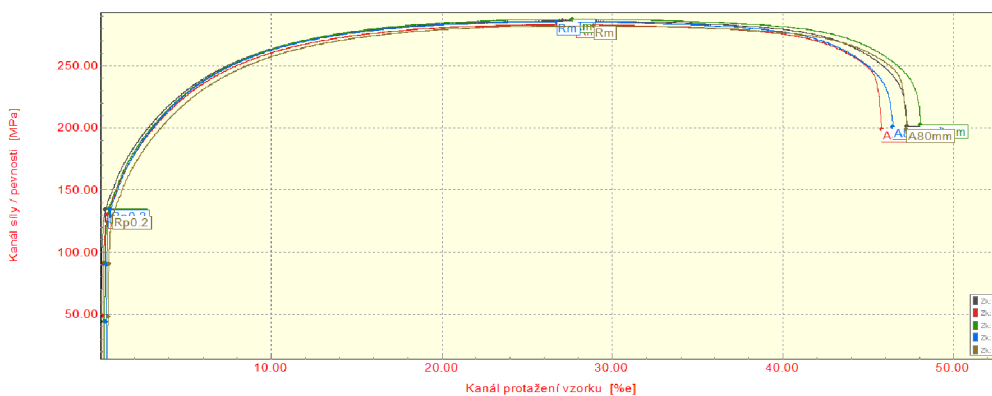
### VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05 + ZE75/75 BPO  
Rozměry vzorku : [0.7 x 20] mm  
Směr odebrání vzorku : 0°  
Teplota : RT  
Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.  
Vypracoval : Tomáš Trepák  
Datum provedení testu : 14.1.2022  
Pozn. :

### VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
1	0.70	20.15	134.28	286.34	26.92	47.15	151870	2.047
2	0.70	20.15	129.96	283.26	27.54	45.51	122049	2.056
3	0.70	20.15	134.83	287.57	27.26	47.75	150614	2.033
4	0.70	20.15	133.98	285.53	26.26	46.00	155225	2.051
5	0.70	20.15	129.07	282.45	28.25	46.68	118660	2.062

Statistika	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
Počet zkoušek	5	5	5	5	5	5	5	5
Průměrná hodnota	0.70	20.15	132.42	285.03	27.25	46.62	139683	2.050
Směrodatná odchylka	0.00	0.00	2.69	2.13	0.74	0.89	17766	0.011
Minimální hodnota	0.70	20.15	129.07	282.45	26.26	45.51	118660	2.033
Maximální hodnota	0.70	20.15	134.83	287.57	28.25	47.75	155225	2.062



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů  
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

# STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

## EN ISO 6892-1

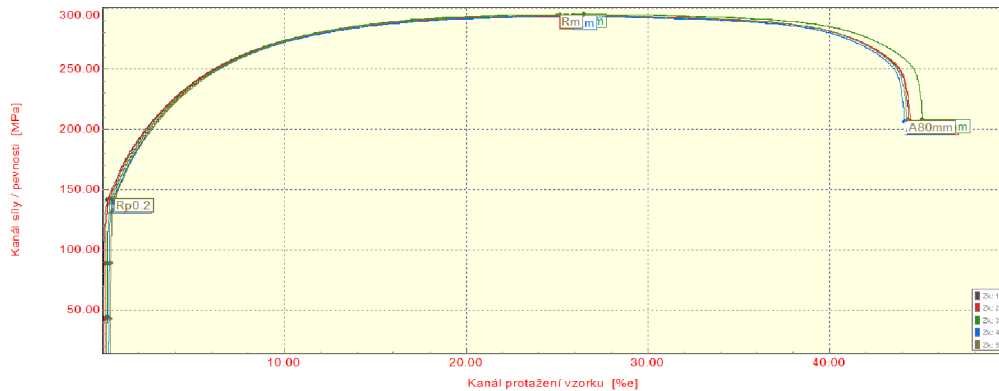
### VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05 + ZE75/75 BPO  
 Rozměry vzorku : [0.7 x 20] mm  
 Směr odebrání vzorku : 45°  
 Teplota : RT  
 Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.  
 Vypracoval : Tomáš Trépák  
 Datum provedení testu : 14.1.2022  
 Pozn. :

### VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
1	0.70	20.15	141.58	294.40	25.77	44.25	178903	1.783
2	0.70	20.15	142.47	294.25	24.87	44.24	189260	1.759
3	0.70	20.15	142.10	295.66	26.10	44.81	177424	1.762
4	0.70	20.15	141.38	293.56	25.46	43.71	180626	1.752
5	0.70	20.15	142.65	294.67	24.61	43.78	191543	1.766

Statistika	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
Počet zkoušek	5	5	5	5	5	5	5	5
Průměrná hodnota	0.70	20.15	142.04	294.51	25.36	44.16	183551	1.764
Směrodatná odchylka	0.00	0.00	0.55	0.76	0.62	0.45	6406	0.012
Minimální hodnota	0.70	20.15	141.38	293.56	24.61	43.71	177424	1.752
Maximální hodnota	0.70	20.15	142.65	295.66	26.10	44.81	191543	1.783



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
 Katedra strojírenské technologie  
 Oddělení tváření kovů a plastů  
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

# STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

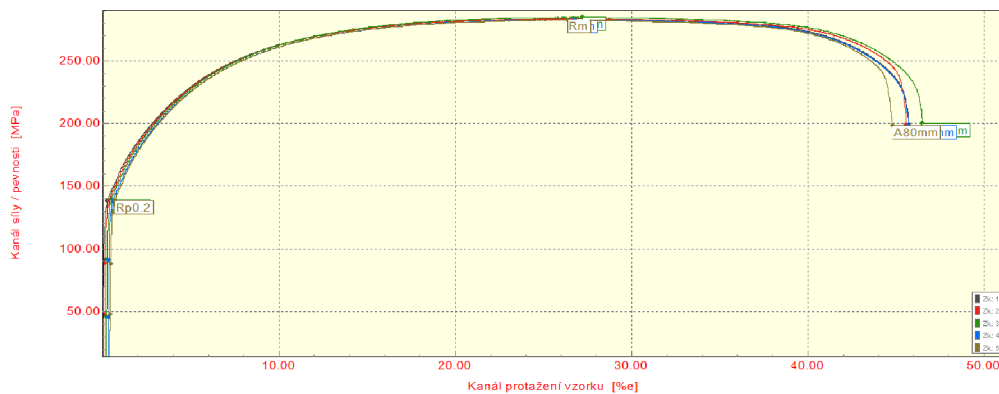
## VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : DC05 + ZE75/75 BPO  
 Rozměry vzorku : [0.7 x 20] mm  
 Směr odebrání vzorku : 90°  
 Teplota : RT  
 Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.  
 Vypracoval : Tomáš Trépák  
 Datum provedení testu : 14.1.2022  
 Pozn. :

## VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
1	0.70	20.15	138.80	283.66	26.50	45.61	158130	2.537
2	0.70	20.15	138.81	283.78	26.45	45.36	162418	2.512
3	0.70	20.15	139.29	284.87	26.83	46.18	156822	2.541
4	0.70	20.15	138.45	282.85	26.31	45.28	158824	2.549
5	0.71	20.15	138.32	282.58	25.80	44.25	165771	2.528

Statistika	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
Počet zkoušek	5	5	5	5	5	5	5	5
Průměrná hodnota	0.70	20.15	138.73	283.55	26.38	45.33	160393	2.533
Směrodatná odchylka	0.00	0.00	0.38	0.90	0.37	0.70	3652	0.014
Minimální hodnota	0.70	20.15	138.32	282.58	25.80	44.25	156822	2.512
Maximální hodnota	0.71	20.15	139.29	284.87	26.83	46.18	165771	2.549



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
 Katedra strojírenské technologie  
 Oddělení tváření kovů a plastů  
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

# STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

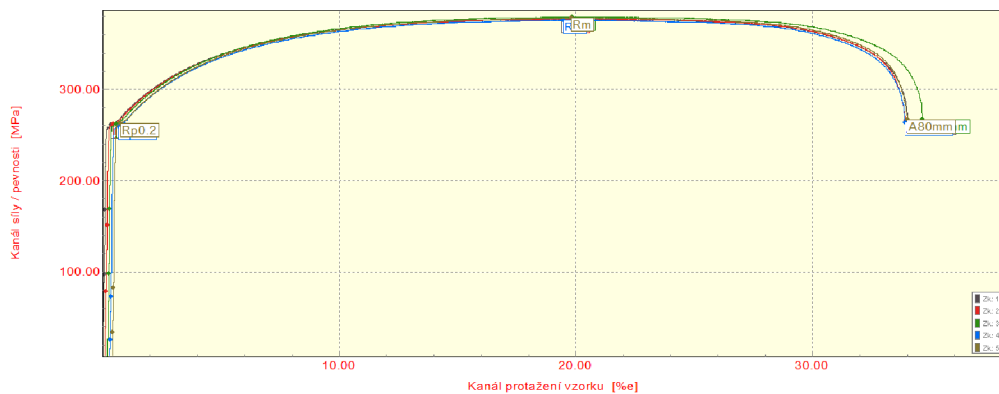
## VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260BD + Z100 MB  
 Rozměry vzorku : [1,3 x 20] mm  
 Směr odebrání vzorku : 0°  
 Teplota : RT  
 Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.  
 Vypracoval : Tomáš Trepák  
 Datum provedení testu : 14.1.2022  
 Pozn. :

## VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
1	1.29	20.17	260.65	377.15	19.20	33.88	179656	1.468
2	1.29	20.17	262.24	377.17	19.31	33.69	184635	1.456
3	1.28	20.17	262.29	379.49	19.44	34.31	178513	1.472
4	1.30	20.17	259.79	375.69	18.96	33.46	178239	1.462
5	1.29	20.17	262.95	378.05	19.19	33.47	178446	1.471

Statistika	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
Počet zkoušek	5	5	5	5	5	5	5	5
Průměrná hodnota	1.29	20.17	261.58	377.51	19.22	33.76	179898	1.466
Směrodatná odchylka	0.00	0.00	1.31	1.39	0.18	0.35	2705	0.007
Minimální hodnota	1.28	20.17	259.79	375.69	18.96	33.46	178239	1.456
Maximální hodnota	1.30	20.17	262.95	379.49	19.44	34.31	184635	1.472



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
 Katedra strojírenské technologie  
 Oddělení tváření kovů a plastů  
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

# STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

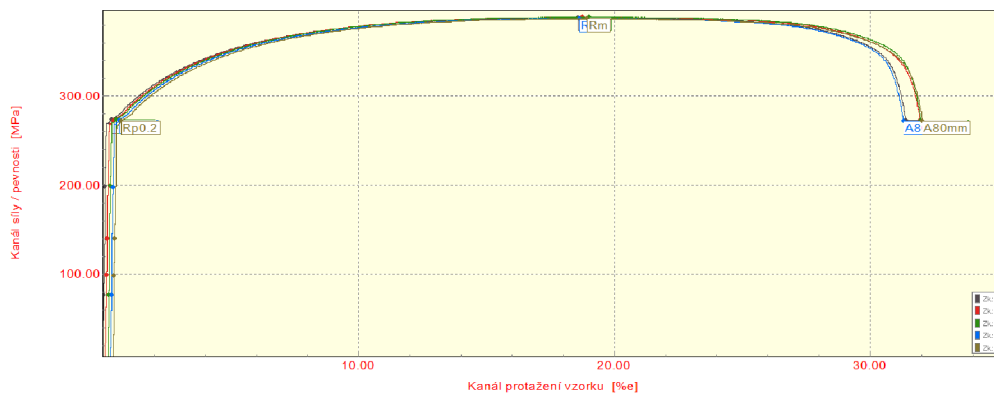
## VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260BD + Z100 MB  
 Rozměry vzorku : [1,3 x 20] mm  
 Směr odebrání vzorku : 45°  
 Teplota : RT  
 Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.  
 Vypracoval : Tomáš Trépák  
 Datum provedení testu : 14.1.2022  
 Pozn. :

## VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
1	1.29	20.17	273.61	388.40	18.37	31.25	199537	1.347
2	1.29	20.17	273.49	389.20	18.46	31.71	191100	1.336
3	1.29	20.17	274.10	389.30	18.60	31.64	197502	1.352
4	1.30	20.17	273.06	387.50	18.14	30.86	201564	1.331
5	1.30	20.17	272.24	387.40	18.34	31.51	191407	1.355

Statistika	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
Počet zkoušek	5	5	5	5	5	5	5	5
Průměrná hodnota	1.29	20.17	273.30	388.36	18.38	31.39	196222	1.344
Směrodatná odchylka	0.00	0.00	0.70	0.90	0.17	0.34	4759	0.010
Minimální hodnota	1.29	20.17	272.24	387.40	18.14	30.86	191100	1.331
Maximální hodnota	1.30	20.17	274.10	389.30	18.60	31.71	201564	1.355



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
 Katedra strojírenské technologie  
 Oddělení tváření kovů a plastů  
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ



# STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

## EN ISO 6892-1

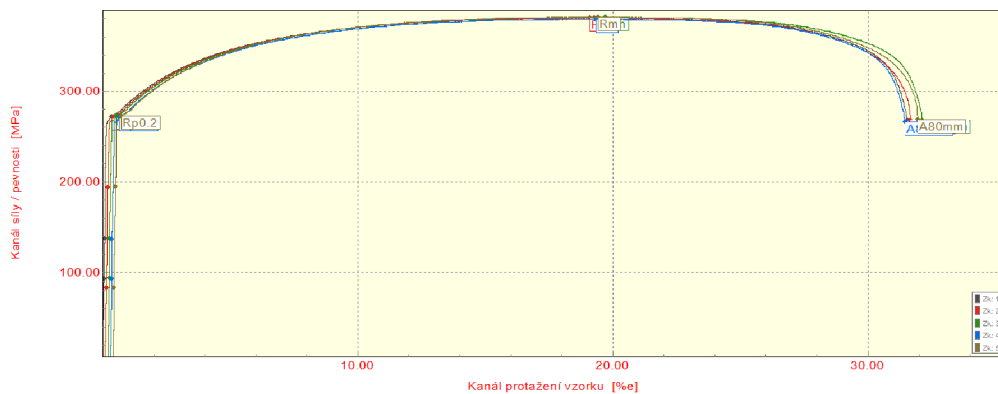
### VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : HX260BD + Z100 MB  
 Rozměry vzorku : [1,3 x 20] mm  
 Směr odebrání vzorku : 90°  
 Teplota : RT  
 Rychlost posuvu : 1 [15] mm/min.  
 Vypracoval : Tomáš Trépák  
 Datum provedení testu : 14.1.2022  
 Pozn. :

### VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
1	1.29	20.17	272.13	381.03	19.07	31.41	194231	1.825
2	1.29	20.17	271.94	381.00	18.81	31.43	194476	1.816
3	1.29	20.17	272.64	381.91	19.32	31.81	192249	1.832
4	1.30	20.17	271.33	379.85	18.84	31.02	196053	1.840
5	1.29	20.17	272.78	382.19	18.81	31.43	195080	1.822

Statistika	a0 mm	b0 mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
Počet zkoušek	5	5	5	5	5	5	5	5
Průměrná hodnota	1.29	20.17	272.16	381.20	18.97	31.42	194418	1.827
Směrodatná odchylka	0.00	0.00	0.58	0.92	0.22	0.28	1401	0.009
Minimální hodnota	1.29	20.17	271.33	379.85	18.81	31.02	192249	1.816
Maximální hodnota	1.30	20.17	272.78	382.19	19.32	31.81	196053	1.840



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
 Katedra strojírenské technologie  
 Oddělení tváření kovů a plastů  
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

**TEROSON**

## TEROSON RB 3220

Oktober 2013

### PRODUKTBESCHREIBUNG

Technologie	Kautschuk
Produktart	Unterfütterungsklebstoff

TEROSON RB 3220 ist ein wärmehärtender und lösemittelfreier 1-Komponenten-Klebstoff auf Kautschukbasis. Aufgrund der speziellen Viskosität ist das Material standfest und gegenüber den Vorbehandlungsbädern der Automobilindustrie auswaschbeständig. TEROSON RB 3220 haftet gut auf beöhlten Blechen, wie z.B. Aluminiumlegierungen und verzinkten Oberflächen. Das Material ist flexibel und unempfindlich gegenüber Temperaturschwankungen. Bei Temperaturen oberhalb 140 °C vernetzt TEROSON RB 3220 chemisch. Aufgrund der guten Verträglichkeit mit KTL Lacken, wird ein sicherer Korrosionsschutz, selbst an Grenzflächen, gewährleistet. TEROSON RB 3220 kann nach der Aushärtung überlackiert werden.

### ANWENDUNG

TEROSON RB 3220 wird im Karosseriebau als Unterfütterungsklebstoff eingesetzt. Das Material haftet gut auf beöhlten Oberflächen. Es wird für Anwendungen empfohlen, bei denen gute Auswaschbeständigkeiten ohne Vorhärtung sowie ein hohes Maß an Elastizität über ein weites Temperaturfenster gefordert werden.

### TECHNISCHE DATEN

(Typische Testergebnisse)

Ungehärtet	
Farbe	schwarz
Dichte	ca. 1,5 g/cm <sup>3</sup>
Konsistenz	pastös
Trockenrückstand	> 99 %
Viskosität (DIN 54458)	ca. 350 Pa.s
Equipment	P/P 25 mm
Frequenz	10 Hz
Deformation	10 %
Temperatur	45 °C
Ausgehärtet (25 min. bei 175 °C)	
Volumenänderung	ca. 10 %
Zugscherfestigkeit (DIN EN 1465)	ca. 1,5 MPa
Schichtstärke	2 mm
Klebefläche	25 x 20 mm
Substrat	HDG/EGS 0.75 mm
Härte nach Shore A (DIN 53505)	55 bis 60
Temperaturstabilität	
kurzfristig (bis 1 h)	200 °C
Gebrauchstemperatur	-40 bis 90 °C

### VORBEMERKUNG

Vor Beginn der Anwendung ist es erforderlich, sich anhand des Sicherheitsdatenblattes über Vorsichtsmaßnahmen und Sicherheitsratschläge zu informieren. Auch bei nicht kennzeichnungspflichtigen Produkten sind die bei chemischen Erzeugnissen üblichen Sicherheitsmaßnahmen zu beachten.

### VERARBEITUNG

TEROSON RB 3220 wird aus Hobbocks oder Fässern mit Hilfe von Hochdruckpumpen mit einem Übersetzungsverhältnis von mindestens 50:1 verarbeitet. Für die besten Anwendungsergebnisse wird der Einsatz von volumenkontrollierten Dosierern empfohlen. Die beheizte Verarbeitungspistole kann entweder manuell oder auf einer festen Spannvorrichtung angewendet werden. Häufiger wird ein automatisches Verarbeitungssystem angeschlossen (Roboter, CNC). Bei Produktionsunterbrechungen von mehr als 1 Stunde, empfehlen wir die Heizung abzuschalten. Bei einer Unterbrechung von mehr als 15 Minuten, sollte die Anlage drucklos geschaltet werden. Die Temperaturführung sollte an unabhängig voneinander regelbaren Heizungen so eingestellt werden, dass die niedrigste Temperatur an der Folgeplatte anliegt und die höchste an der Verarbeitungsdüse. Um eine optimale Benetzung des Materials zu gewährleisten, sollte TEROSON RB 3220 bei erhöhten Temperaturen angewendet werden. Das Produkt hat eine offene Zeit im gefügten Zustand von mindestens 4 Wochen (Hallenlagerung bei maximal 30°C und einer Luftfeuchtigkeit von maximal 70%). Das Material wird direkt auf ölige Oberflächen appliziert, die mit einer Ölmenge von bis zu 3 g/m<sup>2</sup> beölt sein dürfen. Bei Bedarf informieren wir Sie gerne über geeignete Verarbeitungsanlagen.

### Empfohlene Verarbeitungstemperatur:

Folgeplatte und Pumpe:	25 bis 35 °C
Applikationsdüse:	35 bis 60 °C

### AUSHÄRTUNG

TEROSON RB 3220 härtet beim KTL-Ofendurchlauf aus, beispielsweise 15 Minuten bei 175 °C. Die minimal erforderlichen Aushärtungsbedingungen liegen bei 20 Minuten und 160 °C. Diese Angaben beziehen sich auf Objekttemperaturen.

### REINIGUNG

Frisches, nicht polymerisiertes Material kann mit Hilfe von Ethylacetaten oder Benzin entfernt werden. Ausgehärteter Klebstoff kann nur noch mechanisch entfernt werden.



**TEROSON**

**TEROSON RB 3220**

Oktober 2013

**LAGERUNG**

Frostempfindlich	nein
Empfohlene Lagertemperatur	5 bis 25 °C
Haltbarkeit	6 Monate

**Haftungsausschluss**

**Hinweis:**

Die vorstehenden Angaben in diesem technischen Datenblatt (TDS), insbesondere Vorschläge für die Verarbeitung und den Einsatzbereich unserer Produkte, beruhen auf unseren derzeitigen Kenntnissen und Erfahrungen. Auf Grund der unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten und der außerhalb unseres Einflussbereiches liegenden Einsatz- und Arbeitsbedingungen übernehmen wir keine Haftung für die Eignung unserer Produkte für die relevanten Produktionsverfahren unter den konkreten Arbeitsbedingungen sowie die beabsichtigten Verarbeitungszwecke und Ergebnisse. Um eine solche Eignung sicherzustellen empfehlen wir in jedem Fall ausreichende vorherige Eigenversuche und Tests.

Jede aus den Hinweisen in diesem technischen Datenblatt und jede aus sonstiger schriftlicher oder mündlicher Beratung für das vorliegende Produkt resultierende Haftung ist ausdrücklich ausgeschlossen, es sei denn, dass individualvertraglich etwas anderes vereinbart wurde, ein Fall der Verletzung von Leib, Leben oder Gesundheit vorliegt, uns Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit zur Last fällt oder eine Haftung nach zwingendem Produkthaftungsrecht besteht.

**Bei Lieferung unserer Produkte durch Henkel Belgium NV, Henkel Electronic Materials NV, Henkel Nederland BV, Henkel Technologies France SAS und Henkel France SA beachten Sie bitte zusätzlich folgendes:**

Für den Fall, dass Henkel dennoch, aus welchem Rechtsgrund auch immer, in Anspruch genommen wird, ist die Haftung von Henkel in jedem Fall beschränkt auf den Wert der jeweils betroffenen Lieferung.

**Bei Lieferung unserer Produkte durch Henkel Colombiana, S.A.S. findet Folgendes Anwendung:**

Die vorstehenden Angaben in diesem technischen Datenblatt (TDS), insbesondere Vorschläge für die Verarbeitung und den Einsatzbereich unserer Produkte, beruhen auf unseren derzeitigen Kenntnissen und Erfahrungen. Wir übernehmen keine Haftung für die Eignung unserer Produkte für die relevanten Produktionsverfahren unter den konkreten Arbeitsbedingungen sowie die beabsichtigten Verarbeitungszwecke und Ergebnisse. Um eine solche Eignung sicherzustellen empfehlen wir in jedem Fall ausreichende vorherige Eigenversuche und Tests.

Jede aus den Hinweisen in diesem technischen Datenblatt und jede aus sonstiger schriftlicher oder mündlicher Beratung für das vorliegende Produkt resultierende Haftung ist ausdrücklich ausgeschlossen, es sei denn, dass individualvertraglich etwas anderes vereinbart wurde, ein Fall der Verletzung von Leib, Leben oder Gesundheit vorliegt, uns Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit zur Last fällt oder eine Haftung nach zwingendem Produkthaftungsrecht besteht.

**Bei Lieferung unserer Produkte durch Henkel Corporation, Resin Technology Group, Inc. oder Henkel Canada Corporation, findet Folgendes Anwendung:**

Die hierin enthaltenen Daten dienen lediglich zur Information und gelten nach bestem Wissen als zuverlässig. Wir können jedoch keine Haftung für Ergebnisse übernehmen, die von anderen erzielt wurden, über deren Methoden wir keine Kontrolle haben. Der Anwender selbst ist dafür verantwortlich, die Eignung von hierin erwähnten Produktionsmethoden für seine Zwecke festzustellen und Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen, die zum Schutz von Sachen und Personen vor den Gefahren angezeigt wären, die möglicherweise bei der Handhabung und dem Gebrauch dieser Produkte auftreten. **Dementsprechend lehnt die Firma Henkel im besonderen jede aus dem Verkauf oder Gebrauch von Produkten der Firma Henkel entstehende ausdrücklich oder stillschweigend gewährte Garantie ab, einschließlich aller Gewährleistungspflichten oder Eignungsgarantien für einen bestimmten Zweck. Die Firma Henkel lehnt im besonderen jede Haftung für Folgeschäden oder mittelbare Schäden jeder Art ab, einschließlich entgangener Gewinne.**

Die Tatsache, dass hier verschiedene Verfahren oder Zusammensetzungen erörtert werden, soll nicht zum Ausdruck bringen, dass diese nicht durch Patente für andere geschützt sind, bzw. unter Patenten der Firma Henkel lizenziert sind, die solche Verfahren oder Zusammensetzungen abdecken. Wir empfehlen jedem Interessenten, die von ihm beabsichtigte Anwendung vor dem serienmäßigen Einsatz zu testen und dabei diese Daten als Anleitung zu benutzen. Dieses Produkt kann durch eines oder mehrere in- oder ausländische Patente oder Patentanmeldungen geschützt sein.

**Verwendung von Warenzeichen**

Sofern nicht anderweitig ausgewiesen sind alle in diesem Dokument genannten Marken solche der Henkel Corporation in den USA und in anderen Ländern. Mit © gekennzeichnet sind alle beim US- Patent- und Markenamt registrierte Marken.

**Henkel AG & Co. KGaA**

D-40191 Düsseldorf. Germany

Telefon: +49-211-797-0

www.henkel.com

**Henkel Central Eastern Europe GmbH**

A-1030 Wien. Austria

Telefon: +43-1711-040

www.henkel.com

**Henkel & Cie AG**

CH-4133 Pratteln. Switzerland

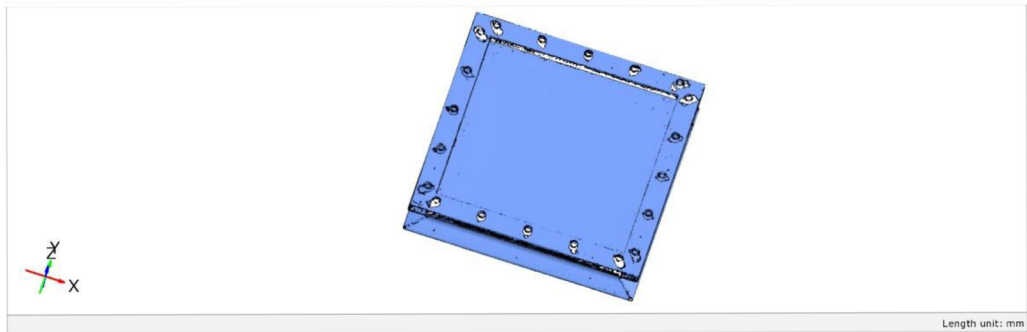
Telefon: +41-61-825-7000

www.henkel.com



## Příloha 9: 0Nm Inspekce

### Inspekce



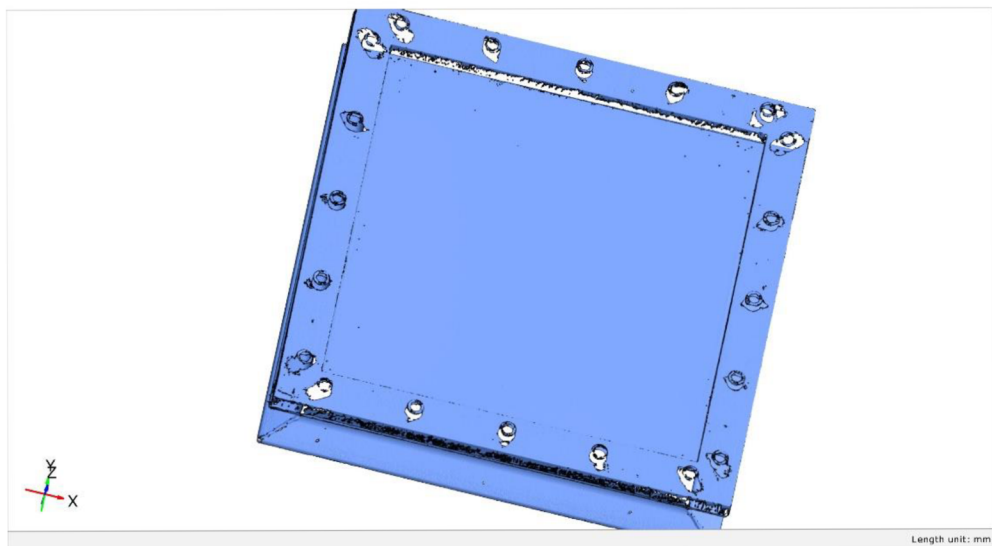
<b>Inspector:</b> Mendřický Radomír	<b>Part:</b> Plech
<b>Company:</b> Technická univerzita v Liberci	<b>Part no.:</b> 04
<b>Department:</b> www.ksa.tul.cz	<b>Version:</b> Teroson RB 3220
<b>Location:</b> Liberec	<b>Charge no.:</b> 0 Nm (Po t.u. vs před t.u.)
<b>Date:</b> 10.02.2022	<b>System:</b> GOM Inspect Professional
<b>Project:</b>	

Plech\_04\_Teroson RB 3220\_0 Nm (Po t.u. vs před t.u.)  
Cor\_02po

1/26  
Generated with GOM Inspect Professional

## Příloha 10: 0Nm Před tepelnou úpravou

### Před tepelnou úpravou

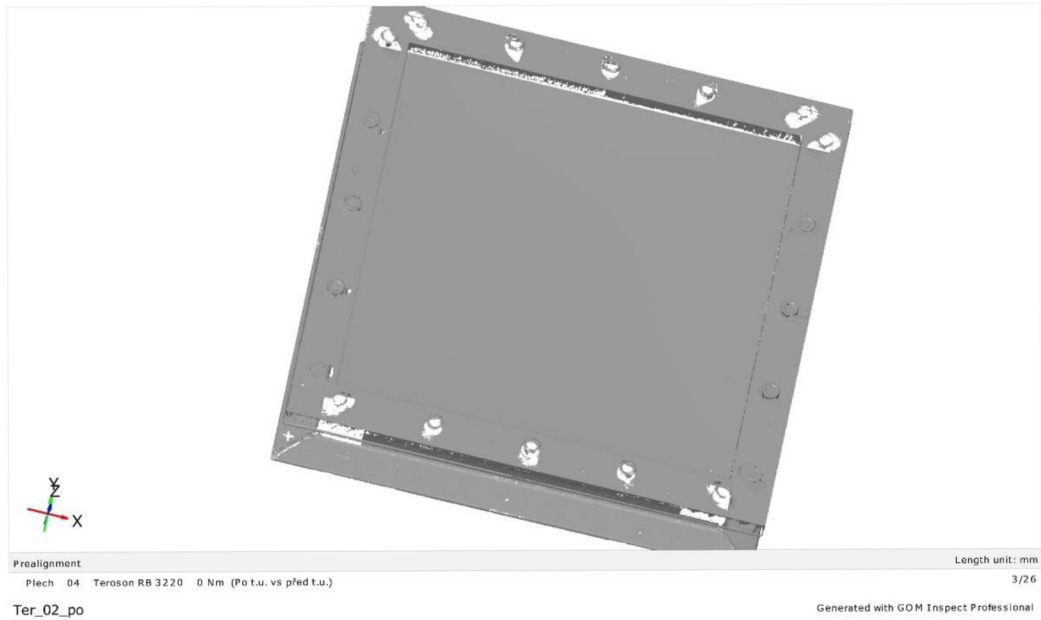


Plech\_04\_Teroson RB 3220\_0 Nm (Po t.u. vs před t.u.)  
Cor\_02po

2/26  
Generated with GOM Inspect Professional

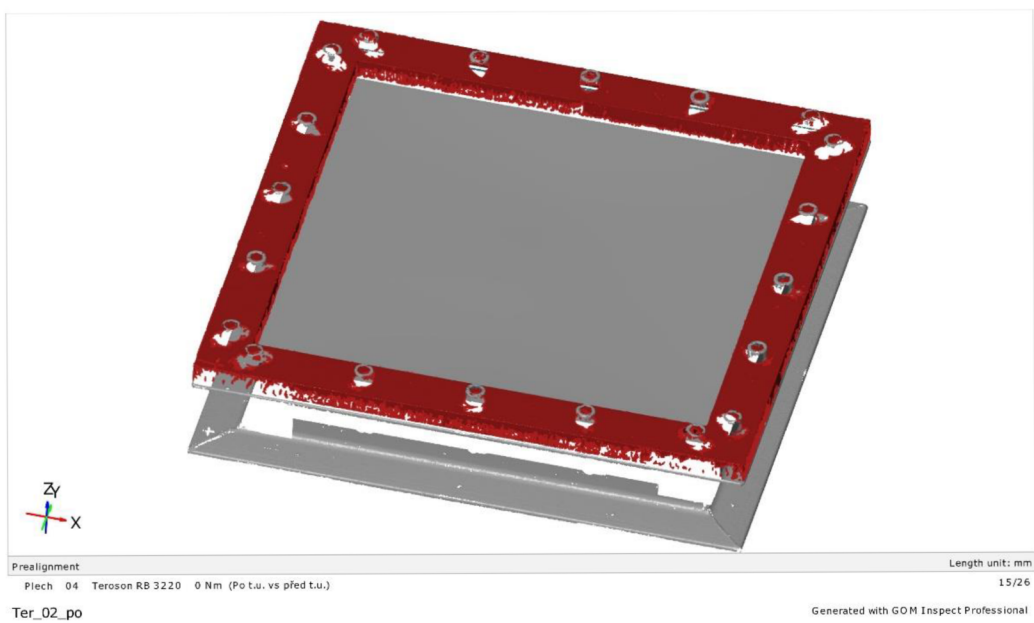
## Příloha 11: 0Nm Po tepelné úpravě

Po tepelné úpravě



## Příloha 12: 0Nm Oblast Local BestFit 2

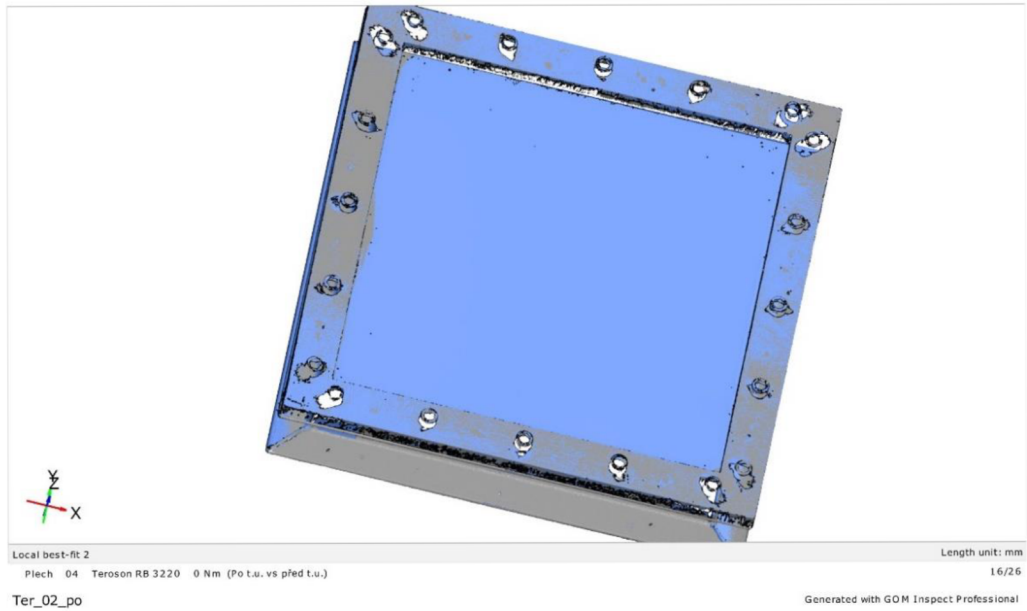
Oblast pro Local BestFit 2





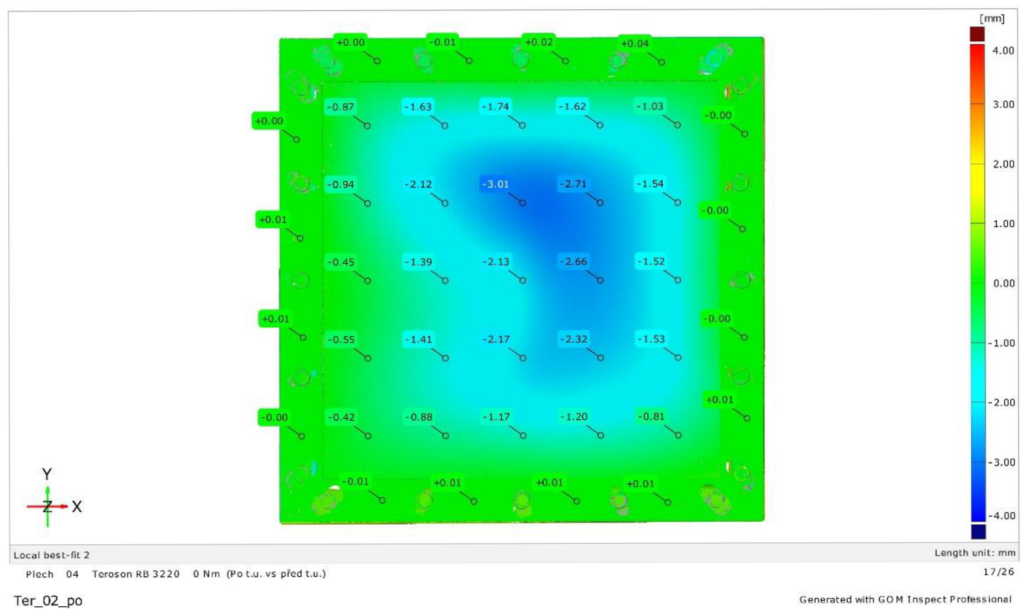
## Příloha 13: 0Nm Porovnání Před t.u. – Po t.u

Porovnání (PŘED t.u. - modrá, PO t.u. - šedá)



## Příloha 14: 0Nm Barevná mapa odchylek

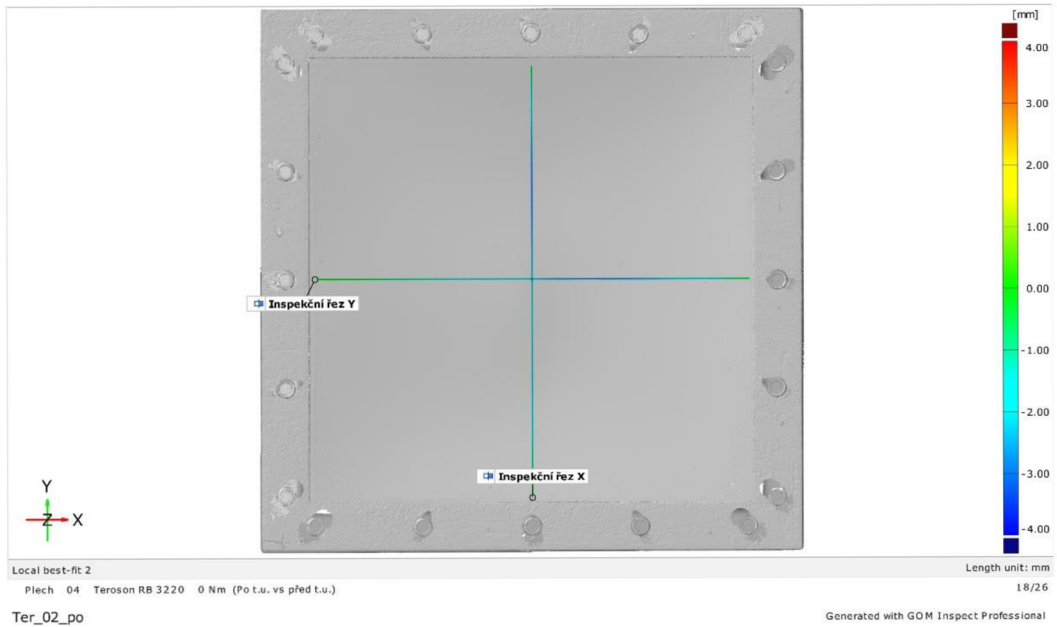
Barevná mapa odchylek (PO t.u. vs. PŘED t.u.)





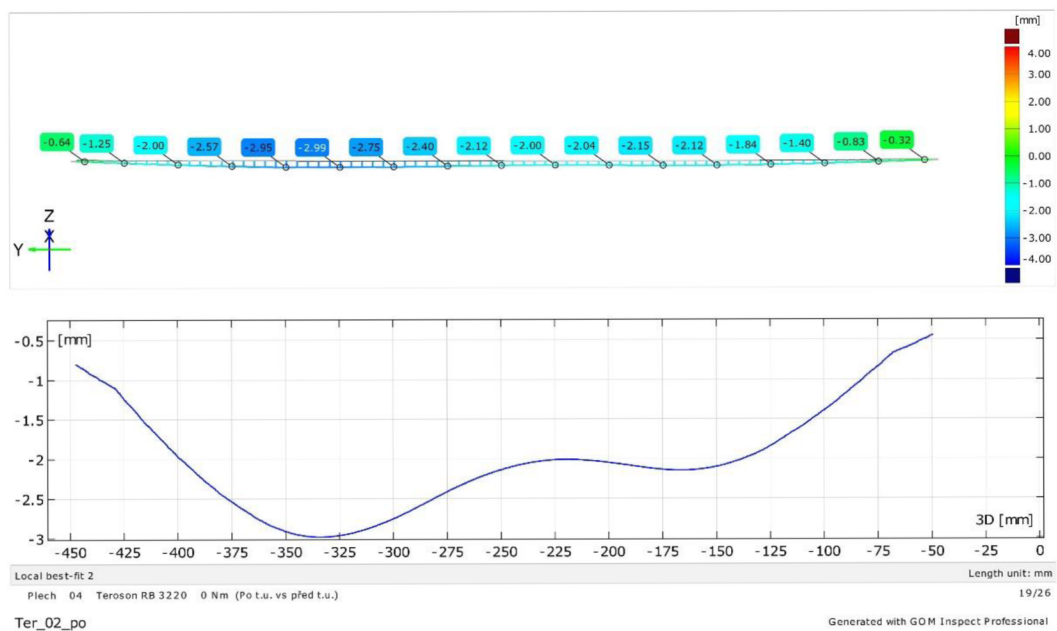
## Příloha 15: 0Nm Označení řezů

### Označení řezů



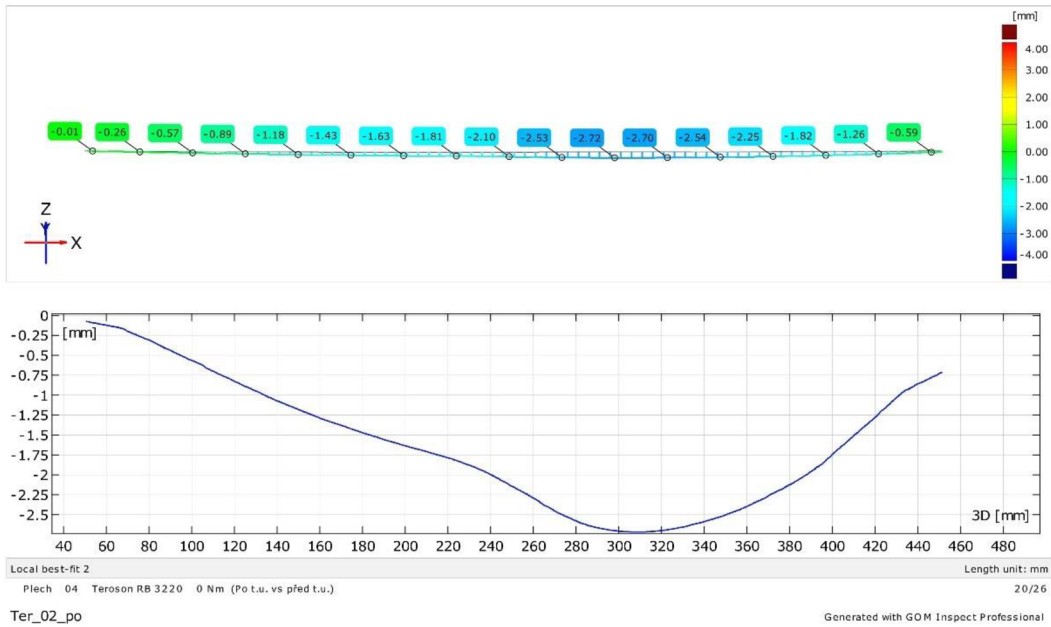
## Příloha 16: 0Nm Inspekční řez X

### Inspekční řez X



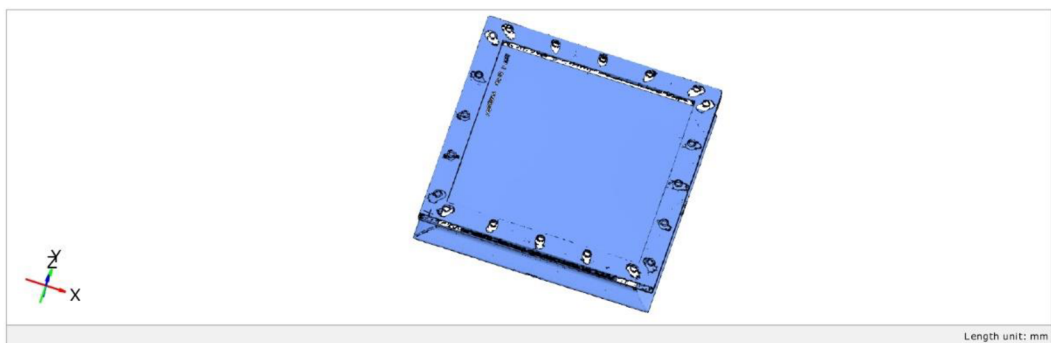
## Příloha 17: 0Nm Inspekční řez Y

### Inspekční řez Y



## Příloha 18: 20Nm Inspekce

### Inspekce

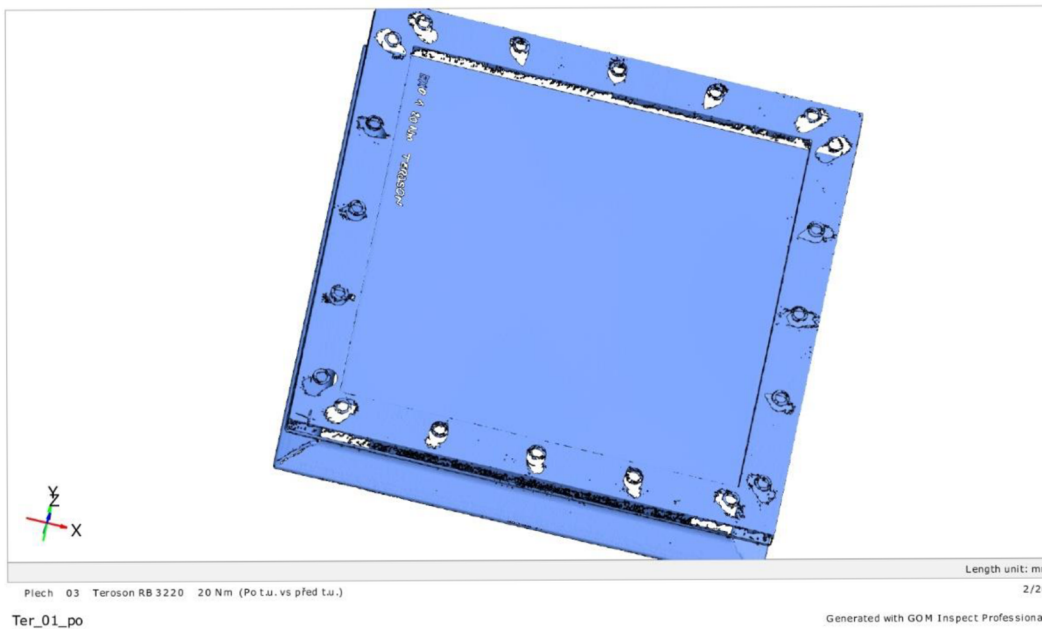


**Inspector:** Mendřický Radomír  
**Company:** Technická univerzita v Liberci  
**Department:** www.ksa.tul.cz  
**Location:** Liberec  
**Date:** 07.02.2022  
**Project:**

**Part:** Plech  
**Part no.:** 03  
**Version:** Teroson RB 3220  
**Charge no.:** 20 Nm (Po t.u. vs před t.u.)  
**System:** GOM Inspect Professional

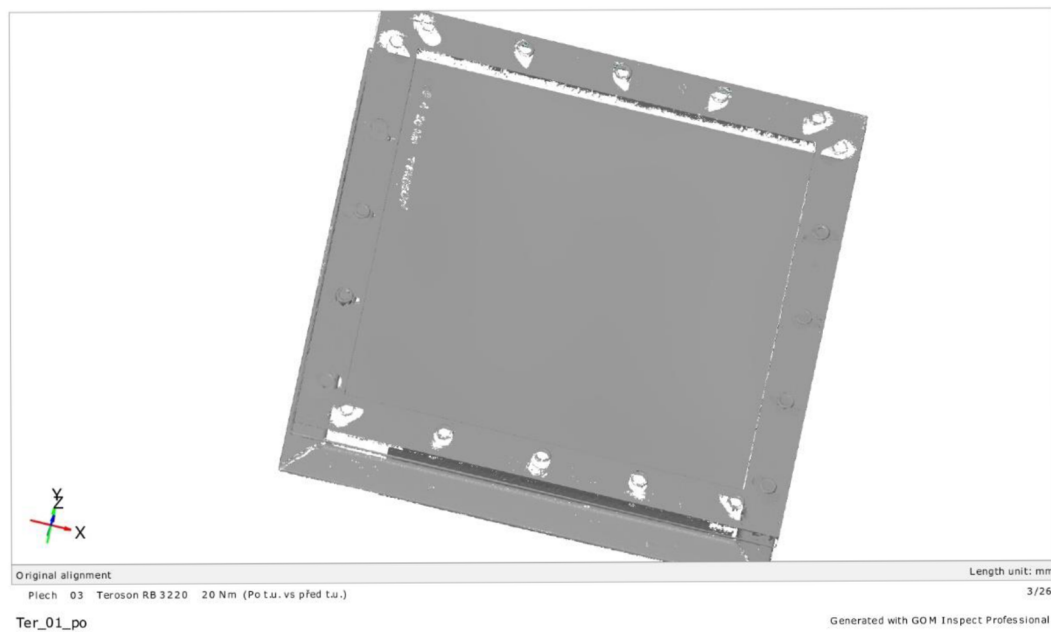
## Příloha 19: 20Nm Před tepelnou úpravou

Před tepelnou úpravou



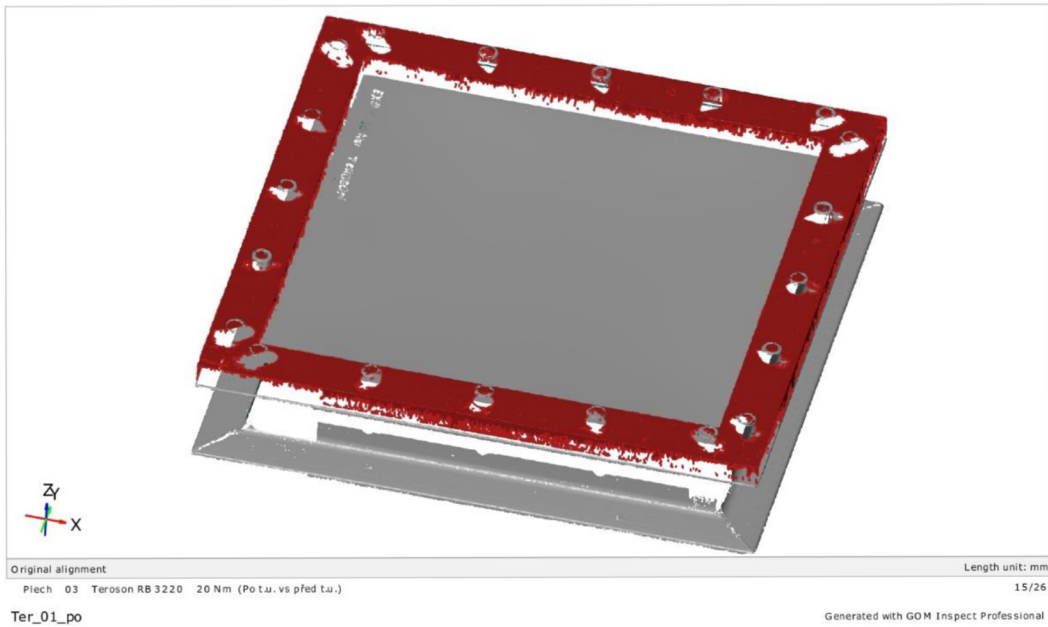
## Příloha 20: 20Nm Po tepelné úpravě

Po tepelné úpravě



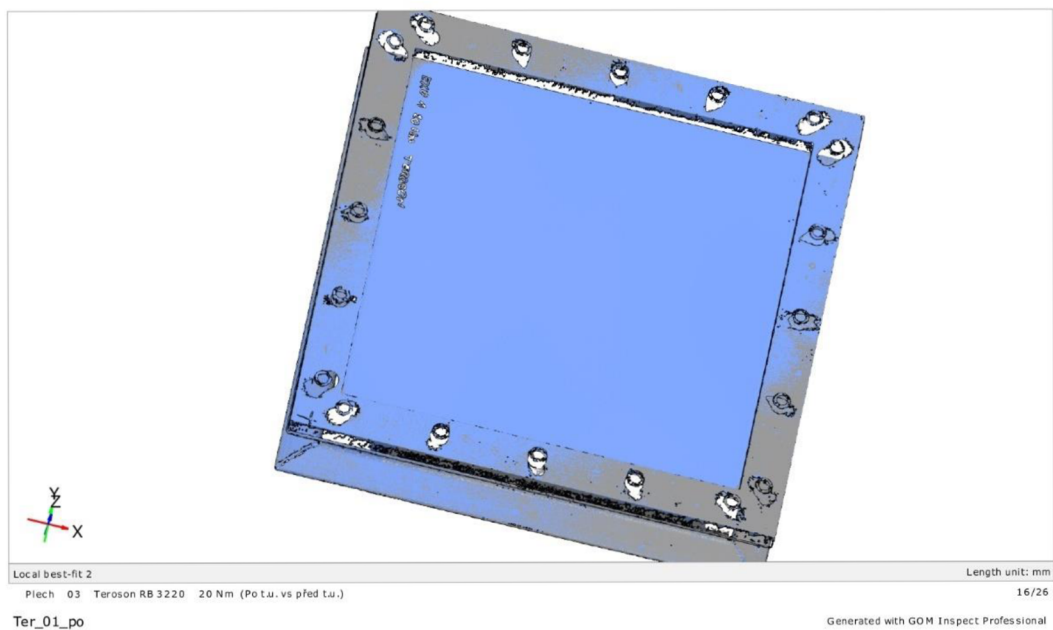
## Příloha 21: 20Nm Oblast Local BestFit 2

Oblast pro Local BestFit 2



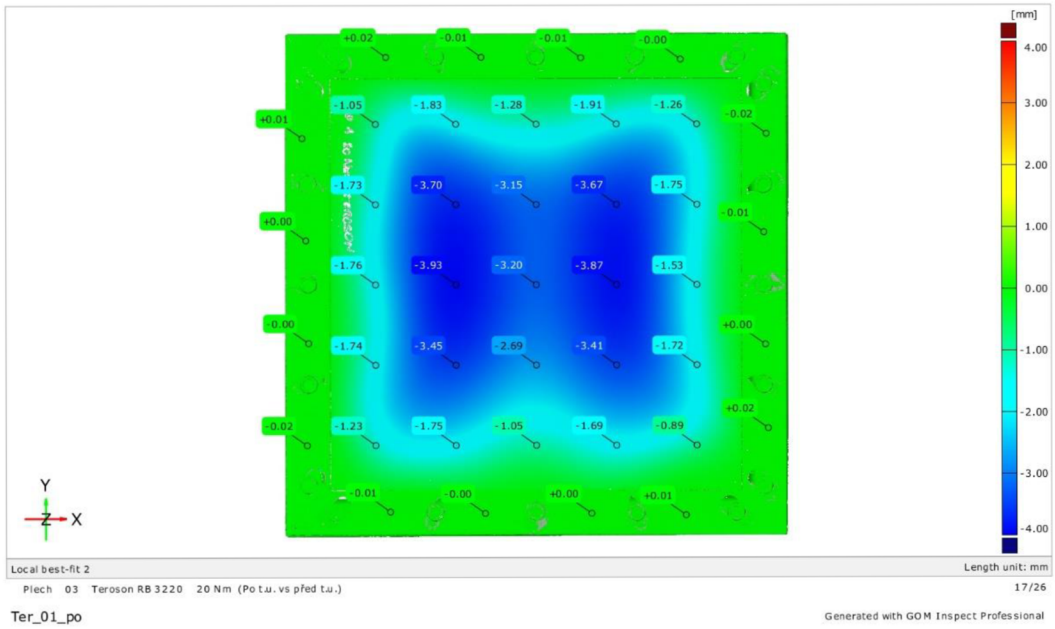
## Příloha 22: 20Nm Porovnání Před t.u. – Po t.u

Porovnání (PŘED t.u. - modrá, PO t.u. - šedá)



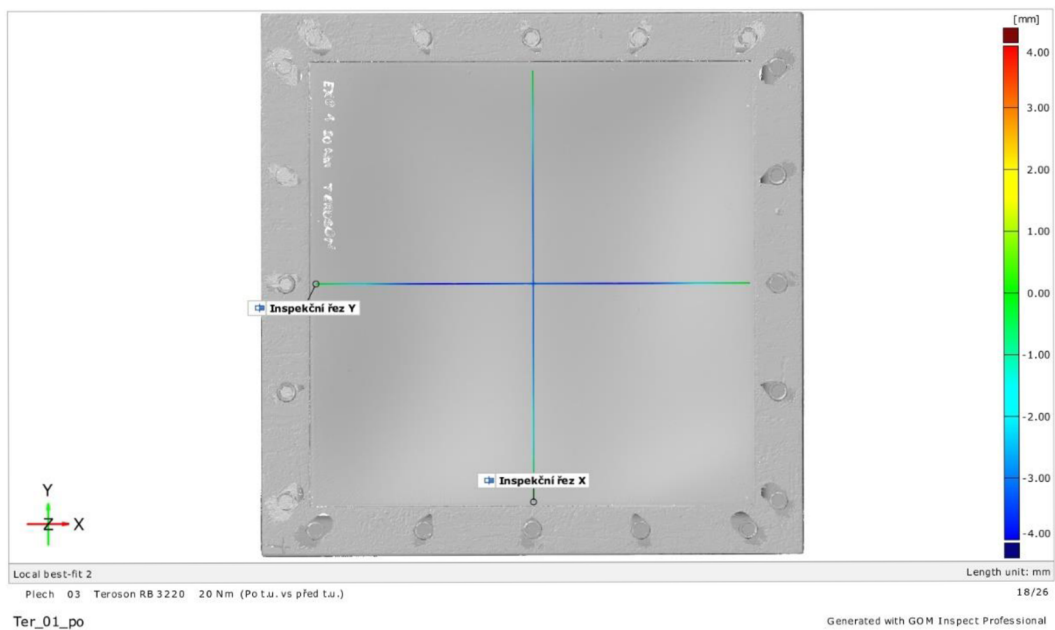
## Příloha 23: 20 Nm Barevná mapa odchylek

Barevná mapa odchylek (PO t.u. vs. PŘED t.u.)



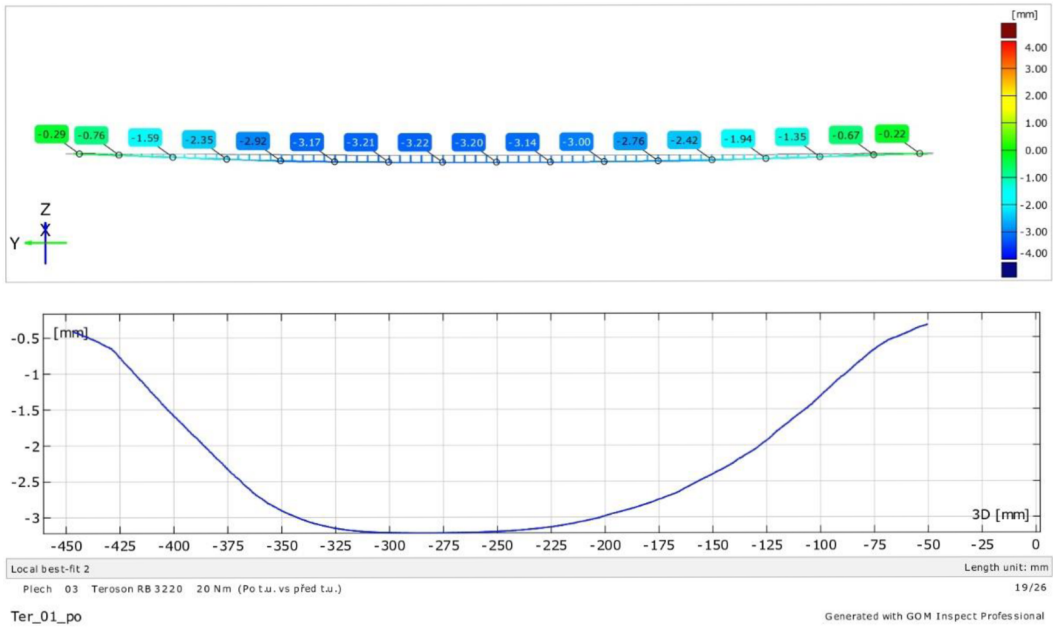
## Příloha 24: 20Nm Označení řezů

Označení řezů



## Příloha 25: 20Nm Inspekční řez X

### Inspekční řez X



## Příloha 26: 20Nm Inspekční řez Y

### Inspekční řez Y

