

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Analýza vlivu provedení a umístění lepených spojů na změnu geometrických
rozměrů kapoty během procesu výroby

Diplomová práce

Martin Tutko

2024

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Tutko**
Osobní číslo: **D22455**
Studijní program: **N0788A040001 Dopravní technika**
Specializace: **Stavba vozidel**
Téma práce: **Analýza vlivu provedení a umístění lepených spojů na změnu geometrických rozměrů kapoty během procesu výroby**
Zadávající katedra: **Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů**

Zásady pro vypracování

Diplomová práce vzniká ve spolupráci s firmou Škoda Auto a.s. Jedním z cílů je analyzovat změny geometrických rozměrů kapoty na konci technologického procesu výroby pro různé varianty provedení a umístění lepených spojů mezi jednotlivými plechovými díly. Předmětná kapota je svařenec z plechových dílů. Jednotlivé části kapoty jsou spojeny pomocí svarových spojů a také pomocí lepených spojů. Svařenec kapoty prochází v závěrečné fázi výroby procesem lakování, který je spojený s průchodem katoforesou, tepelným ohřevem a následným ochlazením svařence. Ohřev svařence je součástí výroby a vede k vytvrzení lepených spojů, případně také k vedlejším změnám mechanických vlastností materiálu (tzv. zpevnění oceli). U lepených spojů dochází před vytvrzením v důsledku průchodu katoforesní lázní a teprve následnému ohřevu, tedy vytvrzení lepeného spoje, ke změnám v geometrii. Provedení a rozmístění svarových spojů má proto vliv na celkové změny geometrických rozměrů kapoty na konci závěrečné fáze výroby.

Vypracovat:

1. Rešerše provedení svarových a lepených spojů v automotive.
2. Popis analyzovaného dílu "kapota" včetně materiálu, svarových a lepených spojů. Popis tepelného ohřevu a následného ochlazení v průběhu lakování.
3. Návrh experimentu ve spolupráci WCD a Škoda Auto a.s. (měření změn v geometrii lepených spojů po vytvrzení) a následné vyhodnocení výsledků. Pro měření použijte sérii zjednodušených vzorků lepených spojů.
4. Verifikace MKP modelu pomocí experimentu ve spolupráci se Škoda Auto a.s.
5. MKP analýzy různých (designových) variant provedení a umístění lepených spojů za účelem stanovení změn v geometrických rozměrech "kapoty" po závěrečné fázi výroby.
6. Vyhodnocení výsledků. A návrh možných úprav, případně technologií pro zvýšení přesnosti výroby.

Rozsah pracovní zprávy: **50 stran**
Rozsah grafických prací: **dle pokynů vedoucího práce**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná /elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] KOREISOVÁ, G., KOREIS, J. a BAYER, Z. Hydromechanika Newtonských kapalin. E-Learningová opora.
- [2] DRÁBKOVÁ, S. a kol. Mechanika tekutin. VŠB-TU Ostrava. ISBN 978-80-248-1.
- [3] KOREISOVÁ, G., KOREIS, J. a BAYER, Z. Termomechanika a tepelné stroje. E-Learningová opora.
- [4] KALČÍK, J. a SÝKORA, K. Technická termomechanika. Academia Praha, 1973.
- [5] BATHE, K. J. a WILSON, E. L. Numerical method in finite element analysis. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1976.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Tomek, Ph.D.**
Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání diplomové práce: **9. února 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Petr Tomek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 9. února 2024

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že 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, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 24. 6. 2024

Martin Tutko v. r.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli pomoc při tvorbě této diplomové práce. Zejména pak panu doc. Ing. Petru Tomkovi, Ph.D. za cenné rady a pomoc při práci na modelech kapoty v programu Solidworks a odborné vedení při tvorbě této práce. Dále bych rád poděkoval všem zaměstnancům společnosti Škoda Auto a.s. za rady a poskytnutí všech potřebných informací, dokumentů a materiálů potřebných pro tvorbu této práce. V neposlední řadě patří poděkování mé rodině, která mi umožnila studium na vysoké škole a byla mi oporou po celou dobu studia.

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá provedením a umístěním lepených spojů a jejich vlivem na geometrické rozměry kapoty. První část je rešerše provedení svarových a lepených spojů a jejich použití v automobilovém průmyslu. Ve druhé části byl proveden experiment se zjednodušenými vzorky kapoty. Poslední částí práce analyzuje několik variant provedení lepených spojů na kapotě výpočtem MKP v programu Solidworks.

KLÍČOVÁ SLOVA

svařování, lepení, svarové spoje, lepené spoje, kapota, karoserie, vytvrzení, výrobní proces, analýza, experiment, výpočet MKP

TITLE

Analysis of the influence of the design and location of glued connections on the change in the geometric dimensions of the hood during the production process.

ANNOTATION

This thesis is about design and location of glued joints and their influence on the geometric dimensions of the hood. The first part of this thesis is an execution research of glued and welded joints and their using in automotive. The second part of this thesis is about practical experiment with samples of the hood. The last part of this thesis analyzes several variants of glued joints on the hood by FEM calculation in Solidworks software.

KEY WORDS

welding, bonding, weld joints, glued joints, hood, bodywork, curing, production process, analysis, experiment, FEM calculation

Obsah

Seznam obrázků	10
Seznam tabulek.....	12
Seznam použitých zkratk.....	13
Seznam použitých symbolů.....	14
Úvod.....	15
1 Použití svarových a lepených spojů v automotive.....	16
1.1 Svařování a svarové spoje.....	16
1.1.1 Rozdělení svařování.....	17
1.1.2 Svařování elektrickým obloukem	18
1.1.3 Odporové svařování	20
1.1.4 Laserové svařování	21
1.1.5 Provedení svarových spojů v automotive	22
1.2 Lepení a lepené spoje.....	25
1.2.1 Dělení lepidel.....	26
1.2.2 Lepidla použitá při výrobě karoserií.....	27
1.2.3 Provedení lepených spojů v automotive	28
2 Popis kapoty modelu Škoda Auto.....	33
2.1 Materiál kapoty Škoda Auto a povrchové úpravy	33
2.1.1 Vnější díl.....	33
2.1.2 Vnitřní díl.....	36
2.2 Lepené spoje na kapotě Škoda Auto.....	38
2.2.1 Vnější díl.....	38
2.2.2 Vnitřní díl.....	39
2.3 Lemování kapoty modelu Škoda Auto	40
2.4 Svarové spoje použité u kapoty modelu Škoda Auto	41
2.5 Průběh teplotního ohřevu a ochlazení.....	42

2.5.1	Kataforézní lakování (KTL)	43
2.5.2	Průběh ohřevu a ochlazení	43
2.5.3	Vlivy na rozměrovou nestabilitu kapoty	44
3	Experiment se zjednodušenými vzorky	45
3.1	Nanesení lepidel na vzorky	45
3.2	Vymezení mezery a slepení	48
3.3	Měřicí zařízení	51
3.4	Data získaná při experimentu	53
3.4.1	Vzorek s lemovým lepidlem	53
3.4.2	Vzorek s tlumícím tmelem	55
3.4.3	Vyhodnocení experimentu se zjednodušenými vzorky	57
4	MKP simulace experimentu	58
5	Analýza provedení a umístění lepených spojů na kapotě Škoda Auto	62
5.1	Varianta provedení lepených spojů č. 1	67
5.1.1	Model kapoty uchycen v místě řezu a v místě výskytu tlumícího tmelu a lemového lepidla na vnitřním plechu	67
5.1.2	Model kapoty uchycen pouze v místě řezu	69
5.1.3	Model kapoty uchycen v místě řezu a v místě výztuh	71
5.2	Varianta provedení lepených spojů č. 2	73
5.3	Varianta provedení lepených spojů č. 3	75
6	Vyhodnocení výsledků a návrh řešení	77
6.1	Varianta provedení č. 1 – vyhodnocení	77
6.2	Varianta provedení č. 2 – vyhodnocení	78
6.3	Varianta provedení č. 3 – vyhodnocení	78
6.4	Návrh řešení	78
7	Závěr	79
7.1	Shrnutí obsahu diplomové práce	79

7.2	Experiment se zjednodušenými vzorky	79
7.3	Uplatnění výsledků v praxi	80
7.4	Cíle budoucího výzkumu	80
	Seznam použitých zdrojů a literatury	81
	Přílohy	84

Seznam obrázků

Obr. 1 Základní typy svarových spojů [3]	16
Obr. 2 Přehled metod svařování [4]	17
Obr. 3 Elektrický oblouk [5]	18
Obr. 4 Svařování MIG/ MAG [6]	19
Obr. 5 Základní metody odporového svařování [8]	20
Obr. 6 Detail bodového svařování [9]	21
Obr. 7 Typy laserového svařování [12]	22
Obr. 8 Ukázka robotického svařování ve Škoda Auto [13]	22
Obr. 9 Generační srovnání použití svařování a lepení [14]	23
Obr. 10 Svařovací robot KUKA [15]	23
Obr. 11 Detail metody VarioPicker [17]	24
Obr. 12 Svarový spoj po svařování laserem	25
Obr. 13 Adheze a koheze lepidla ve spoji [21]	26
Obr. 14 Základní rozdělení lepidel [21]	27
Obr. 15 Distanční kuličky v lepidle [21]	29
Obr. 16 Detail vyplnění lemového spoje lepidlem [13]	30
Obr. 17 Dávkovací zařízení SCA Schucker	31
Obr. 18 Porovnání metod nanášení lepidla [13]	32
Obr. 19 Model vnějšího dílu kapoty [13]	33
Obr. 20 Detail ochranného povlaku na bázi zinku [13]	34
Obr. 21 Model vnitřního dílu kapoty [13]	36
Obr. 22 Jeden z výztužných dílů kapoty	37
Obr. 23 Vnitřní díl kapoty s připevněnými výztuhami	37
Obr. 24 Vnější díl kapoty s naneseným lemovým lepidlem	38
Obr. 25 Vnitřní díl s výztuhami a naneseným lepidlem	39
Obr. 26 Princip lemování rolnou [16]	40
Obr. 27 Nástroj pro konvenční lemování	41
Obr. 28 Umístění VarioPicker svarů na kapotě [13]	42
Obr. 29 Vnější díl kapoty uložený v přípravku	45
Obr. 30 Kapota s naneseným lemovým lepidlem	46
Obr. 31 Detail nanesení lepidla	46
Obr. 32 Vzorek s naneseným lemovým lepidlem	47

Obr. 33 Vyříznuté protikusy	48
Obr. 34 Plíšky pro vymezení mezery mezi plechy	48
Obr. 35 Vzorek s lemovým lepidel a plíšky.....	49
Obr. 36 Vzorek s tlumícím tmelem a plíšky	49
Obr. 37 Měřicí body na vzorku s lemovým lepidlem	50
Obr. 38 Měřicí body na vzorku s tlumícím tmelem	51
Obr. 39 Digitální úchylkoměr Kroeplin	51
Obr. 40 Průmyslová komorová pec použita pro vytvrzení lepidel.....	52
Obr. 41 Změna rozměrů vzorku s lemovým lepidlem	54
Obr. 42 Změna rozměrů vzorku s tlumícím tmelem	56
Obr. 43 Sestava plechů a vrstvy lepidla	59
Obr. 44 Výsledek statické analýzy – lemové lepidlo	60
Obr. 45 Výsledek statické analýzy – tlumící tmel	61
Obr. 46 Modely vnitřního plechu a výztuh v sestavě.....	63
Obr. 47 Sestava polovičního modelu kapoty	64
Obr. 48 Výsledek teplotní analýzy – detail vrstvy lepidla	65
Obr. 49 Body pro konkrétní hodnoty deformace	66
Obr. 50 Varianta č. 1 – výsledná deformace kapoty (horní pohled)	67
Obr. 51 Varianta č. 1 – výsledná deformace kapoty (spodní pohled).....	68
Obr. 52 Varianta č. 1 – výsledná deformace kapoty (horní pohled)	69
Obr. 53 Varianta č. 1 – výsledná deformace kapoty (spodní pohled).....	70
Obr. 54 Varianta č. 1 – výsledná deformace kapoty (horní pohled)	71
Obr. 55 Varianta č. 1 – výsledná deformace kapoty (spodní pohled).....	72
Obr. 56 Varianta č. 2 – odebrané lepené spoje	73
Obr. 57 Varianta č. 3 – odebrané lepené spoje	75

Seznam tabulek

Tabulka 1 Materiálové vlastnosti vnějšího dílu kapoty [26]	35
Tabulka 2 Materiálové vlastnosti vnitřního dílu kapoty [26]	36
Tabulka 3 Parametry VarioPicker svarů [13]	42
Tabulka 4 Parametry procesu KTL [17]	44
Tabulka 5 Naměřené tloušťky vzorku s lemovým lepidlem před a po vytvrzení.....	53
Tabulka 6 Hodnoty rozdílů tloušťky vzorku před a po vytvrzení	54
Tabulka 7 Naměřené tloušťky vzorku s tlumícím tmelem před a po vytvrzení	55
Tabulka 8 Hodnoty rozdílů tloušťky vzorku před a po vytvrzení	56
Tabulka 9 Hodnoty součinitele teplotní roztažnosti a posunutí v ose Z.....	60
Tabulka 10 Deformace ve vybraných místech	68
Tabulka 11 Deformace ve vybraných místech	70
Tabulka 12 Deformace ve vybraných místech	72
Tabulka 13 Deformace ve vybraných místech – uchycení v řezu a na vnitřním plechu	73
Tabulka 14 Deformace ve vybraných místech – uchycení pouze v místě řezu.....	74
Tabulka 15 Deformace ve vybraných místech – uchycení v řezu a v místě výztuh.....	74
Tabulka 16 Deformace ve vybraných místech – uchycení v řezu a na vnitřním plechu	75
Tabulka 17 Deformace ve vybraných místech – uchycení pouze v místě řezu.....	76
Tabulka 18 Deformace ve vybraných místech – uchycení v řezu a v místě výztuh.....	76

Seznam použitých zkratek

ZKRATKA	VÝZNAM
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
MIG	Metal Inert Gas (svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu)
MAG	Metal Active Gas (svařování v ochranné atmosféře inertního plynu)
WIG	Wolfram Inert Gas
KTL	Kathodische Tauchlackierung (kataforézní lakování)
CMT	Cold Metal Transfer
NIT	New Inorganic Treatment
BH efekt	Bake Hardening – dodatečné zpevnění materiálu při vypalování laku
MKP (FEM)	Metoda konečných prvků (Finite Element Method)
CFD	Computational Fluid Dynamics (výpočet dynamiky tekutin)

Seznam použitých symbolů

SYMBOL	JEDNOTKA	VÝZNAM
Q	[J]	teplo
R	[Ω]	Elektrický odpor
I	[A]	Svařovací proud
t	[ms]	Svařovací čas
F	[N]	Přítlačná síla mezi svařovacími elektrodami
MPa	[-]	Megapascal
μm	[-]	Mikrometr
C	[-]	Uhlík
Si	[-]	Křemík
Mn	[-]	Mangan
P	[-]	Fosfor
Cu	[-]	Měď
Al	[-]	Hliník
S	[-]	Síra
Ti	[-]	Titan
Rp _{0,2}	[MPa]	Smluvní mez kluzu
Rm	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
BH ₂	[MPa]	zpevnění BH oceli po dosažení 2% plastické deformace
A ₈₀	[%]	Tažnost (délka měřeného úseku 80 mm)

Úvod

Automobilový průmysl se neustále rozvíjí, největší důraz je kladen na maximální optimalizaci výroby. Cílem je snížení výrobních nákladů při zachování co možná nejvyšší dosažitelné kvality výrobků.

Karoserie automobilu je tvořena mnoha různými díly, které jsou mezi sebou spojeny za použití různých technologií. Nejpoužívanějšími spojovacími technologiemi v automobilovém průmyslu jsou svařování a lepení.

Základní svařovací technologií používanou při výrobě karoserií je odporové bodové svařování. Tato technologie je velmi výhodná z hlediska produktivity práce a možnosti automatizace. Při výrobě karoserie automobilu se vytvoří tisíce bodových svarů. Kromě bodového svařování se při výrobě karoserie využívá také svařování laserem nebo metody svařování elektrickým obloukem.

Lepení bylo v minulosti využíváno spíše jako doplňkový způsob spojování materiálů. V dnešní době jde již o nepostradatelnou a nenahraditelnou spojovací technologii využívanou v automobilovém průmyslu. S každou novou generací vozů se zvyšuje podíl lepených spojů oproti generaci předchozí. Tím se však zvyšují nároky na provedení a kvalitu lepených spojů. Použitím lepených spojů dochází ke zvýšení tuhosti karoserie, což vede k zajištění vyšší bezpečnosti posádky.

Během výrobního procesu jsou jednotlivé díly karoserie vystaveny různým vlivům, které mohou mít vliv na rozměrovou stabilitu daného dílu. Jedním z těchto vlivů může být v případě kapoty také provedení a umístění lepených spojů. S tím je spojen také proces vypalování laku, během něhož dochází k vytvrzení lepidel. Během tohoto procesu dochází k objemové změně lepidel, což může mít vliv na výsledné rozměry kapoty.

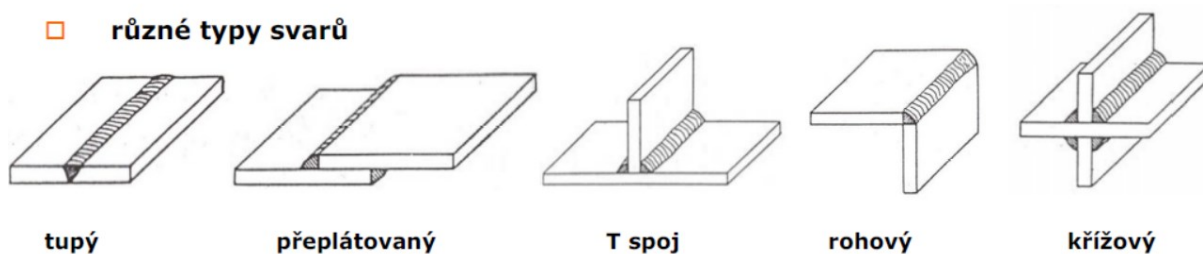
Tato diplomová práce je rozdělena na dvě části. Kapitola 1 je zaměřena na použití a provedení svarových a lepených spojů v automotive. Kapitola 2 popisuje kapotu Škoda Auto z hlediska použitého materiálu a svarových a lepených spojů. Tyto kapitoly jsou tedy teoretické. Dále už práce pokračuje praktickou částí. Kapitola 3 je zaměřena na experiment se zjednodušenými vzorky pro zjištění objemové změny lepidel po vytvrzení. Další kapitoly 4 a 5 se zabývají výpočtovými analýzami provedenými v programu pracujícím na principu metody konečných prvků (dále MKP).

Cílem této diplomové práce je analyzovat provedení lepených spojů na kapotě Škoda Auto pomocí výpočtu MKP v programu Solidworks. Výpočet bude proveden na modelech kapoty poskytnutých od společnosti Škoda Auto. Výpočtem budou zjednodušeně simulovány podmínky vytvrzování lepidel. Výsledkem bude zobrazení deformace kapoty během procesu vytvrzování lepidel.

1 Použití svarových a lepených spojů v automotive

1.1 Svařování a svarové spoje

Svařování je technologický proces, při kterém dochází ke spojení dvou a více součástí materiálovým stykem. Toto spojení je trvalé a nerozebíratelné. V místě styku součástí je nutné přivést materiály spojovaných součástí do plastického nebo tekutého stavu působením tepla, tlaku nebo kombinací tepla a tlaku, aby došlo k jejich spojení a vytvoření homogenní směsi. Většinou musí být prostor mezi svařovanými součástmi vyplněn tzv. přídavným materiálem. Při samotném svařování dochází ke vzájemnému působení různých vlivů, například difuze, rekrytalizace nebo vzniku nových materiálových fází. Vznikne svarový spoj, který není možné rozebrat nedestruktivně. Svařovat lze materiály kovové i nekovové. Podmínkou ovšem je, aby byl materiál svařitelný. Svařitelnost je schopnost materiálu k vytvoření svarového spoje se stejnými nebo podobnými vlastnostmi základního materiálu. [1, 2]



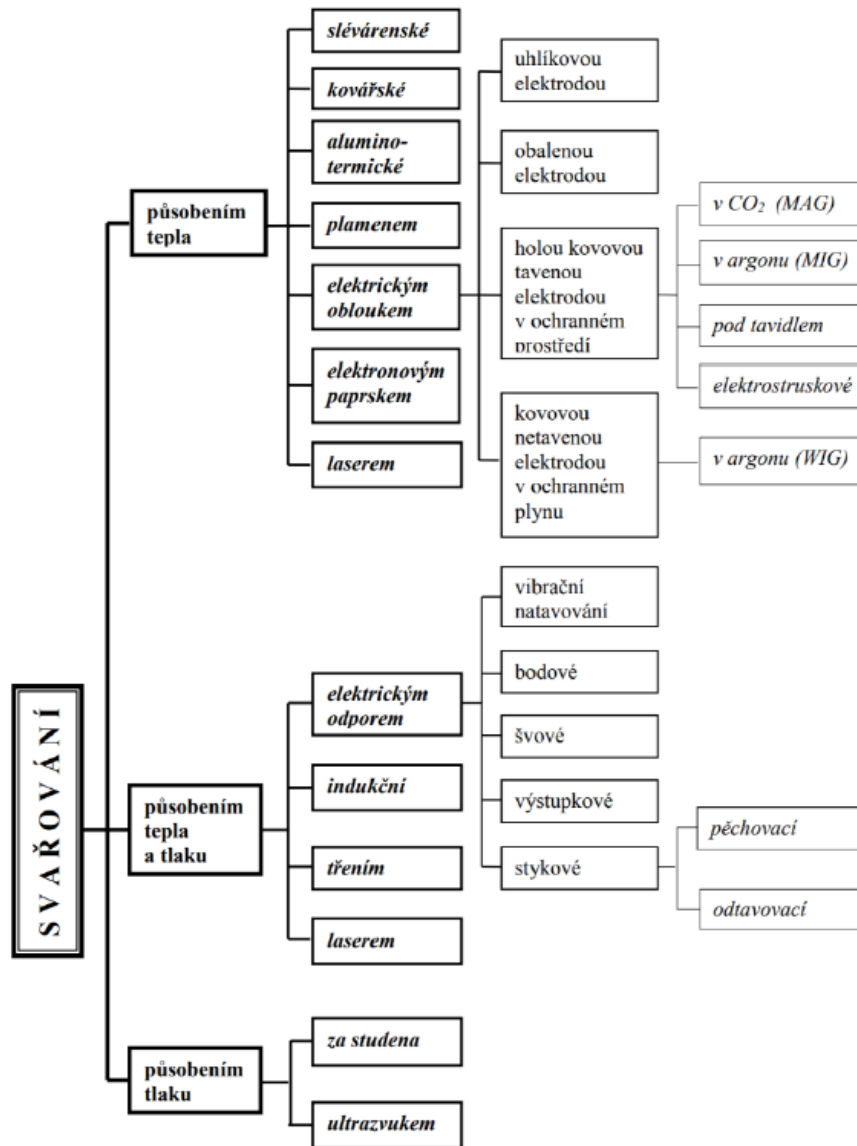
Obr. 1 Základní typy svarových spojů [3]

Proces svařování je možné aplikovat v různých pracovních prostředích, např: na vzduchu nebo pod vodou. K rychlému rozvoji svařování došlo v první polovině 20. století, čemuž výrazně dopomohly obě světové války, kdy bylo třeba rychle a levně produkovat zbraně a vojenskou techniku. V 60. letech 20. století byl pro svařování poprvé použit laser, v 70. letech zase elektronový paprsek. Díky pevnosti a homogenitě svarových spojů je jejich použití při výrobě karoserie automobilu velmi rozšířené. V současné době se v automobilovém průmyslu v drtivé většině využívá automatické robotické svařování bez využití lidské práce. [1, 4]

Výhodou svařování je velká produktivita práce, vysoká trvanlivost a pevnost svarových spojů. Nevýhodou je zejména změna struktury a mechanických vlastností svařovaného materiálu, vznik tepelně ovlivněné oblasti v okolí svarového spoje a vznik vnitřního pnutí v materiálu. Pro různé typy svarů a různé materiály jsou vhodné různé metody svařování. [2]

1.1.1 Rozdělení svařování

Všechny běžné svařovací metody lze rozdělit do tří hlavních skupin – metody tavného svařování, metody tlakového svařování a metody za působení tepla a tlaku. [5]



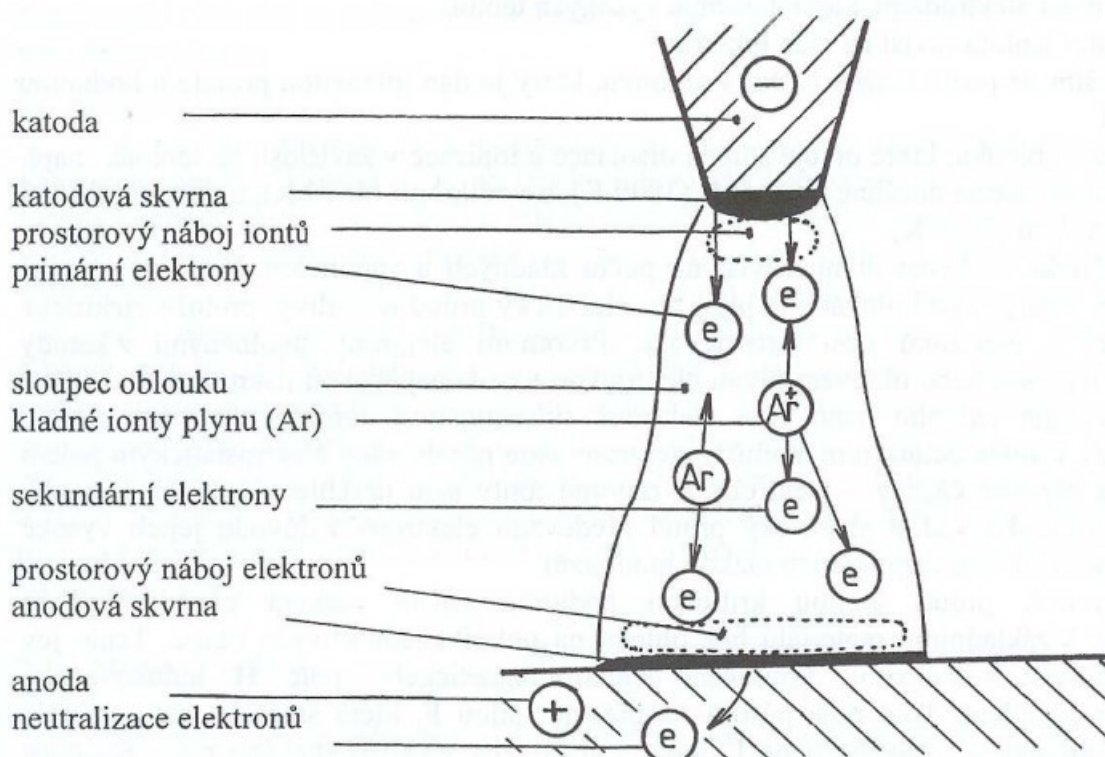
Obr. 2 Přehled metod svařování [4]

Metody svařování je dále možno dělit například podle druhu svařovaných materiálů (kov a plast) nebo podle automatizace (ruční a automatické svařování). [2]

Ve společnosti Škoda Auto, konkrétně ve svařovně v Kvasinách, se při svařování jednotlivých komponent karoserie automobilů využívá automatického robotického svařování. Zaměstnanci jsou při procesu svařování využíváni především k zakládání dílů do přípravků, ze kterých si poté svařovací roboti sami díly odebírají. Při robotickém svařování se využívají hlavně metody MIG/MAG a WIG (svařování elektrickým obloukem), odporové a laserové svařování. Proto budou na následujících stránkách podrobněji popsány pouze výše uvedené metody svařování.

1.1.2 Svařování elektrickým obloukem

Při svařování elektrickým obloukem je zdrojem tepla elektrický oblouk mezi dvěma elektrodami – kladnou anodou a zápornou katodou. Elektrický oblouk je nízkonapěťový vysokotlaký výboj, který hoří v prostředí ionizovaného plynu (plazma). Při svařování elektrickým obloukem dosahuje svařovací proud hodnot jednotek až tisíců ampér. Dále dochází k intenzivnímu vyzařování světelného i ultrafialového (UV) záření. Teplota ve sloupci oblouku (oblast mezi elektrodami) může dosahovat hodnot 4000-7000 °C. K metodám svařování elektrickým obloukem patří MIG, MAG, WIG, svařování pod tavidlem a elektrostruskové svařování. [5]

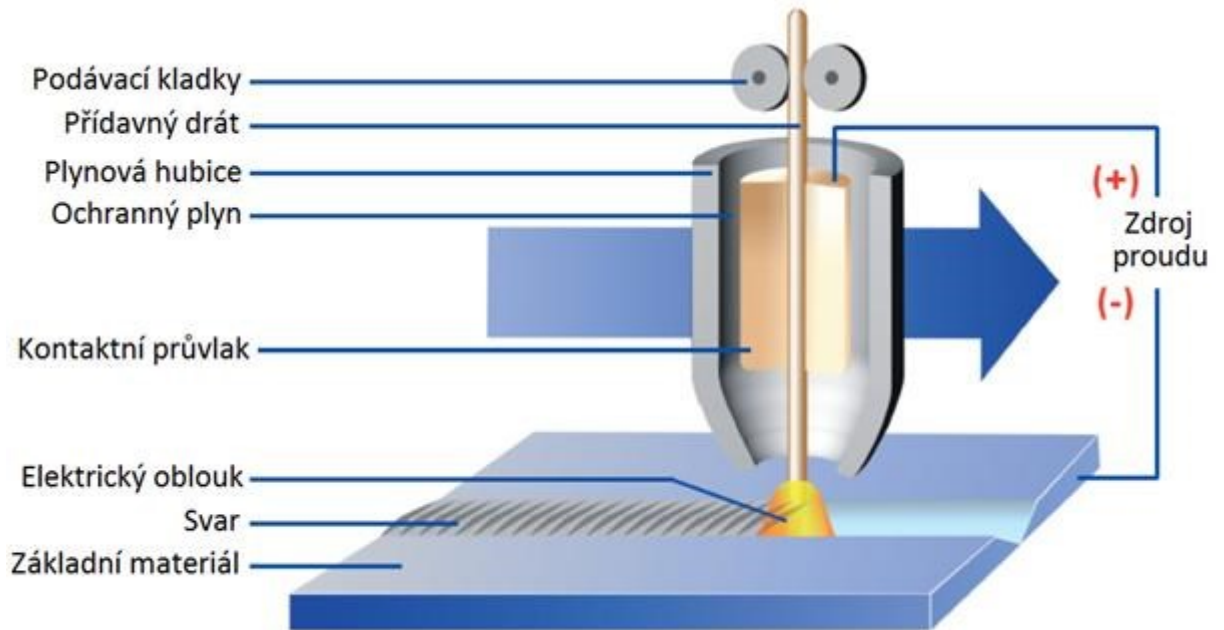


Obr. 3 Elektrický oblouk [5]

1.1.2.1 Svařování v ochranném plynu

Svařování v ochranném plynu zabraňuje přístupu vzduchu k elektrickému oblouku a roztavenému kovu, což by mohlo mít za následek oxidaci a pórovitost svaru. Svařování v ochranném plynu se dále dělí na svařování s tavící se elektrodou (MIG, MAG) nebo netavící se elektrodou (WIG). Volba ochranného plynu závisí na svařovaném materiálu a metodě svařování. Jako inertní (netečné) plyny se používají argon a helium nebo jejich směs, jsou však velmi drahé. Čistota plynů a jejich směšovací poměry jsou dány normou ČSN EN 439. Vzácné inertní plyny se používají pro svařování neželezných kovů a vysokolegovaných ocelí. Levnější aktivní plyny se používají pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Nejčastěji se používá čistý plyn CO₂. Aktivní plyny nejsou stoprocentně inertní, ale téměř nereagují s roztaveným materiálem. [2, 5]

Svařování MAG/MIG (z angl. Metal Active Gas, Metal Inert Gas) jsou metody svařování v ochranném plynu tavící se elektrodou (drátem). Elektrický oblouk hoří mezi holou elektrodou a základním materiálem v ochranném plynu aktivním (MAG) nebo inertním (MIG). Odtavující se elektroda (drát) se odvíjí z cívky a je vysouván regulovanou rychlostí, která odpovídá rychlosti odtavování drátu. V krátké vysunuté části svařovacího drátu je velmi vysoká proudová hustota, u svařování MAG je její hodnota nejvyšší ze všech obloukových metod a dosahuje hodnoty až 600 A/mm^2 . Svařovací proudy dosahují hodnot od desítek až po stovky ampér. MIG se používá pro svařování neželezných kovů, vysoce legovaných ocelí a slitin hliníku. MAG je nejčastěji využito pro svařování nelegovaných ocelí. [2, 5]

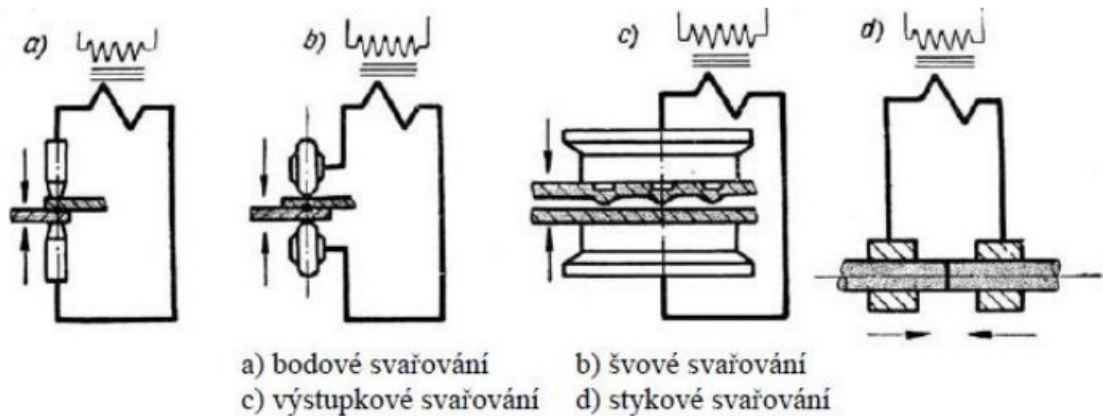


Obr. 4 Svařování MIG/MAG [6]

Svařování WIG (Wolfram Inert Gas), někdy také označované jako TIG, je metoda spadající rovněž do oblasti svařování v ochranném plynu. Na rozdíl od metod MAG a MIG je při svařování WIG použita netavící se pevná wolframová elektroda. Při této metodě musí mít ochranný netečný plyn vysokou čistotu. Používá se argon, helium nebo jejich směs. Při automatizovaném svařování se přídavný materiál ve formě drátu dodává podavačem drátu, rychlost podávání je závislá na postupu svařování. Svařování WIG lze dále rozdělit podle svařovacího proudu na svařování stejnosměrným a střídavým proudem. Svařování stejnosměrným proudem se využívá při svařování neželezných kovů a vysokolegovaných ocelí, svařování střídavým proudem je vhodné pro svařování lehkých kovů (Al, Mg a jejich slitiny). [2, 5]

1.1.3 Odporové svařování

Odporové svařování patří mezi metody svařování za působení tepla a tlaku. Princip odporového svařování spočívá v přitisknutí svařovaných komponentů k sobě v požadovaném místě svaření a následným průchodem proudu mezi elektrodami a svařovanými materiály dojde k natavení materiálů a spojení svařovaných komponentů. Odporové svařování lze rozdělit na svařování bodové, švové, stykové a výstupkové. [2, 7]



Obr. 5 Základní metody odporového svařování [8]

V automobilovém průmyslu je obecně nepoužívanější svařovací metodou odporové bodové svařování, proto bude dále podrobněji popsána pouze tato metoda odporového svařování. Bodové svařování se typicky používá při svařování plechů.

1.1.3.1 Odporové svařování bodové

Pro vznik bodového svaru, tzv. svarové čočky, je nezbytné lokální zvýšení elektrického odporu v místě styku svařovaných dílů. Teplo se v místě styku elektrod se svařovaným materiálem šíří vedením a elektrický odpor svařovaných materiálů narůstá s rostoucí teplotou. Během svařování není elektrický odpor mezi elektrodami konstantní, ale mění se. Celkové vyvinuté teplo je dle Joule-Lenzova zákona dáno rovnicí (1): [7]

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad (1)$$

kde:

Q – celkové teplo [J]

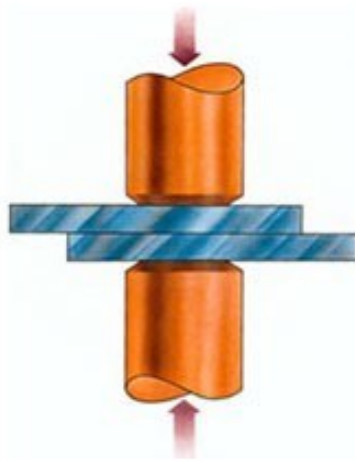
R – celkový odpor [Ω]

I – svařovací proud [A]

t – doba svařování [ms].

Celkový odpor je dán součtem odporu materiálů a přechodového odporu. Na velikost přechodových odporů mezi elektrodami má vliv materiál elektrod a kvalita plochy elektrod v místě styku s materiálem. Stejného množství tepla dodaného do svaru lze dosáhnout tzv. 'tvrdým' nebo 'měkkým' režimem svařování. Tvrdým režimem je myšleno svařování vyšším svařovacím proudem v kratším čase, současně tato metoda vyžaduje také větší přítlačnou sílu.

Měkký režim svařování pracuje s nižším svařovacím proudem v delším čase, je možné pracovat s nižší přítlačnou silou. [5, 7]



Obr. 6 Detail bodového svařování [9]

Bodové svařování může být dále rozděleno na přímé a nepřímé. Při přímém bodovém svařování vznikne svarová čoučka přímo mezi elektrodami, které jsou umístěny v ose proti sobě a zpravidla vznikne pouze jeden svar. Při nepřímém bodovém svařování nejsou elektrody umístěny proti sobě, ale souběžně vedle sebe a proud při přechodu mezi elektrodami prochází ještě přes vodivou podložku nebo můstek. [10]

Mezi základní parametry bodového svařování patří svařovací proud I [A], doba svařování t [ms] a přítlačná síla mezi elektrodami F [N]. Kvalita vzniklého bodového svaru závisí nejenom na těchto základních parametrech, ale je závislá také na dalších vlivech (opotřebení svařovacích elektrod, změny napětí atd.). Mezi další faktory, které ovlivňují kvalitu svaru, lze zařadit tloušťku svařovaných plechů, průměr svařovacích elektrod nebo velikost přeplátování plechů. [11]

1.1.4 Laserové svařování

Svařování laserem patří mezi metody svařování paprskem, kdy se část energie paprsku při dopadu na svařovaný materiál mění v teplo, jedná se tedy o tavné svařování. Při laserovém svařování se část energie paprsku při dopadu na povrch materiálu odrazí, část je absorbována a využita pro ohřátí materiálu a velmi malá část materiálem projde. Materiály působením tepla začnou v místě dopadu paprsku tavit, spojí se a po ochlazení vznikne svarový spoj. [12]

Ohřev, natavení, spojení materiálů i následné ochlazení se děje velmi rychle, což je výhodné z hlediska vzniku malé tepelně ovlivněné oblasti v okolí svaru. Mezi další výhody svařování laserem patří vysoká pevnost svaru, čistota svaru, rychlost svařování a možnost svaření všech svařitelných materiálů. Nevýhodou jsou však vysoké pořizovací a provozní náklady, proto se svařování laserem využívá pouze při sériové výrobě. [12]

V závislosti na výkonu laseru a průměru paprsku je určena velikost hustoty výkonu paprsku, podle níž lze svařování laserem vzhledem k poměru délky a šířky svaru dělit na kondukční, penetrační a keyhole. [12]



Obr. 7 Typy laserového svařování [12]

1.1.5 Provedení svarových spojů v automotive

Svařování je jednou z nejdůležitějších metod při konstrukci karoserie automobilu. Ve společnosti Škoda Auto, přesněji ve svařovně v Kvasinách, se používají automatizované metody svařování. Při robotickém svařování se využívají hlavně metody MIG/MAG a WIG (svařování elektrickým obloukem), odporové a laserové svařování. V automobilovém průmyslu je drtivá většina technologií svařování automatizována a svařování probíhá roboticky. Automatizované svařování zaručuje dobrou kvalitu a shodnost svarových spojů, kratší dobu svařování, rozměrovou přesnost a menší počet zmetkových součástí.



Obr. 8 Ukázka robotického svařování ve Škoda Auto [13]

Odporové bodové svařování je nejpoužívanější technologií spojování plechů při výrobě karoserie automobilu. Výhodou je, že tuto metodu svařování lze snadno automatizovat. Odporové bodové svařování je využito při svařování jednotlivých komponentů karoserie.

Na karoserii automobilu je několik tisíc bodových svarů, tento počet se liší v závislosti na typu vozidla.

Technologie	Fabia II	Fabia III	Δ
Svařovací body [ks]	3 820	3 884	+64
Tavné svařování MAG [mm]	3 050	1 658	-1 392
Pájení MIG [mm]	1 115	903	-212
Laserové pájení a svařování [mm]	4 398	4 425	+27
Lepení [mm]	27 657	35 399	+7 742

Obr. 9 Generační srovnání použití svařování a lepení [14]

Existují různé druhy svařovacích strojů pro bodové svařování. V současnosti jsou v automobilovém průmyslu nejpoužívanějšími stroji pro bodové svařování robotické stroje. Tyto stroje umožňují svařování i v obtížně dostupných místech. Robotické stroje pracují na základě kloubového ramene, ke kterému jsou připevněny svařovací kleště. Přítlak elektrod může být zajištěn mechanicky, pneumaticky nebo hydraulicky.



Obr. 10 Svařovací robot KUKA [15]

Karoserie automobilu je složena z mnoha různých dílů. Velkým problémem je zajištění rozměrové stability plechových dílů, u kterých je možnost vzájemného posuvu během procesu výroby vůči sobě. To se může negativně projevit v navazující fázi výroby, například v průběhu montáže, kde může nastat situace nesprávného lícování dílů. V současné době je jednou z metod zajišťující dostatečnou rozměrovou stabilitu spojovaných dílů během výrobního procesu metoda VarioPicker. [16]

Metoda VarioPicker je určena pro roboticky řízenou fixaci lemových spojů, například u panelových dílů karoserie. Fixace je založena na principu odporového bodového svařování. Nedochozí zde však k přímému sevření spoje svařovacími kleštěmi, jsou zde využity speciální elektrody. Jedna elektroda je svařovací, druhá elektroda je určena pro uzemnění. Princip spočívá v nepřímém bodovém svařování. Elektrody jsou umístěny v různých osách z jedné

strany svařovaných dílů. Tímto způsobem nedojde k provaření všech dílů v místě bodového spoje. Dojde pouze k vytvoření jednostranného bodového svaru, po kterém není na vnější straně dílu viditelné místo svařování. [16, 17]

Další využívanou technologií fixace lemových spojů je CMT neboli Cold Metal Transfer. Jedná se o modifikovanou metodu svařování MIG, která je založena na zkratovém přenosu. Metoda CMT zajišťuje vysoce stabilní oblouk a přesnou regulaci díky integrovanému zpětnému a dopřednému pohybu drátu. Při svařování se drát pohybuje směrem dopředu, jakmile dojde ke zkratu, drát se zatáhne. Oblouk tedy během hoření generuje teplo jen velmi krátkou dobu. Výhodou metody CMT je malé množství vneseného tepla, menší tvorba rozstříků a vyšší svařovací rychlosti. [18]



Obr. 11 Detail metody VarioPicker [17]

MIG se používá pro svařování neželezných kovů, vysoce legovaných ocelí a slitin hliníku. MAG je nejčastěji využito pro svařování nelegovaných ocelí. V dnešní době jsou v automobilovém průmyslu hojně využívané pozinkované plechy, u kterých není použití MIG/MAG svařování vhodné, proto se u pozinkovaných materiálů využívá metoda MIG pájení. Oproti MIG/MAG svařování dochází při MIG pájení k roztavení pouze přídavného materiálu, což vede ke spojení bez natavení základního materiálu. Teplota tavení přídavných materiálů (při MIG pájení se používají zejména měděné dráty) je cca 1060 °C, při MIG/MAG svařování je to cca 1650 °C. Je tak minimalizováno teplo vnesené do svařence a možnost poškození vrstvy zinku. Teplota tavení zinku (cca 910 °C) je však nižší než teplota tavení přídavného materiálu, proto vždy dochází k odpařování zinku. Pokud jsou však dodrženy předepsané podmínky, je odpaření zinku minimalizováno. [19]

Laserové svařování nebo pájení je vhodné pro použití v automobilovém průmyslu, jelikož je zde možnost dobré automatizace a použitelnosti ve výrobní lince. Laserové pájení lze rozdělit na tvrdé (teplota tavení nad 450 °C) a měkké (teplota tavení do 450 °C). V automobilovém průmyslu je využíváno hlavně tvrdé laserové pájení. Příkladem použití v automobilovém průmyslu je spojování ocelí s hliníkem, lze však spojit i další odlišné materiály. Ve svařovně v Kvasínách se technologie laserového pájení a svařování využívá například pro svařování panelového dílu střechy ke zbytku karoserie. Vzniklý spoj má minimální rozměr a po zabroušení a očištění je spoj prakticky neviditelný. [20]



Obr. 12 Svarový spoj po svařování laserem

1.2 Lepení a lepené spoje

Lepení je technologický proces, při kterém dochází ke spojení součástí pomocí lepidla. Lepidlem se rozumí látka umožňující přilnutí povrchů spojovaných materiálů. Lepidlo je nanášeno na povrch materiálu a vniká do povrchových nerovností. Tím je umožněno pevné spojení, vznikne lepený spoj. Tento spoj může být částečně nebo plně nerozebíratelný. Podle požadavků, které má lepený spoj splňovat, je nutné zvolit vhodnou kombinaci lepidla a spojovaných materiálů. V závislosti na umístění spoje v rámci karoserie a požadavcích na pevnost spoje je poté zvolen vhodný typ lepidla. [21]

Pevnost lepeného spoje závisí na těchto parametrech: [21]

- přilnavost lepidla k povrchu (adheze)
- soudržnost lepidla (koheze)
- smáčivost lepeného povrchu lepidlem
- pevnost lepeného materiálu.

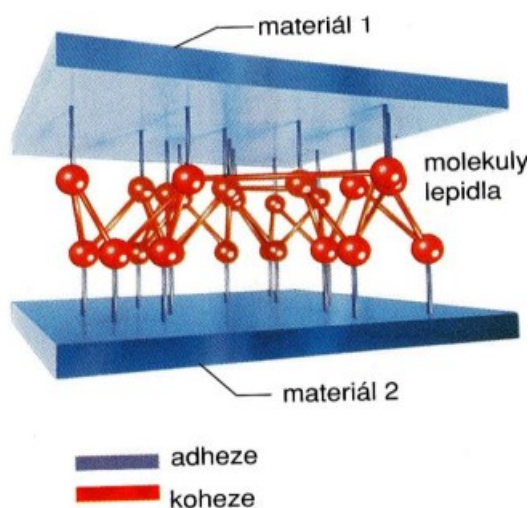
Nejdůležitější pojmy v teorii lepení jsou adheze a koheze. Pro vytvoření lepeného spoje požadované pevnosti je nezbytné mít dobrou jak adhezi, tak i kohezi.

Adheze (přilnavost) je schopnost materiálů (stejných nebo odlišných) k sobě přilnout. Adhezi si lze představit jako přitažlivou sílu lepidla na kontaktních plochách materiálu. Základem adhezního jevu jsou přitažlivé a adsorpční síly, které mají zásadní vliv na lepení. Adheze je závislá na smáčivosti lepeného povrchu tekutým lepidlem. Smáčivost může

být negativně ovlivněna nečistotami na povrchu materiálů, proto je vhodné dbát na vhodnou úpravu lepeného povrchu. Zde se dá poukázat na rozdíl mezi lepením a lepením výlisků při stavbě karoserie automobilu. Lepené výlisky nejsou před samotným nalepením nijak očištěny, jejich povrch je neodmaštěný. [21]

Adhezní vazba vzniká mechanicky nebo chemicky. Mechanická vazba se nejvíce projevuje u materiálu s porézním povrchem, kdy lepidlo zatéká do pórů a nerovností na povrchu materiálu. Chemická vazba má své uplatnění zejména u hladkých materiálů, je založena na chemickém působení lepidla a lepeného povrchu. [21]

Koheze (soudržnost) materiálu určuje vlastní pevnost lepidla a je spojena s tloušťkou vrstvy naneseného lepidla. K namáhání lepidla nedochází pouze na kontaktních plochách, ale také uvnitř hmoty lepidla (filmu). Velikost koheze udává tzv. kohezní energii. Je to energie potřebná k oddělení částic lepidla od sebe. Adhezní a kohezní síly by měly být přibližně v rovnováze. [21]

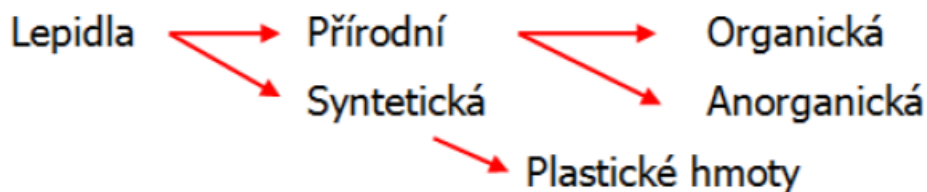


Obr. 13 Adheze a koheze lepidla ve spoji [21]

Lepení a lepené spoje mají jako každá jiná technologie své výhody i nevýhody. Mezi největší výhody patří možnost spojení různých druhů materiálů (bez ohledu na tloušťku), možnost spojení nesvařitelných materiálů, spojení velkých ploch, neovlivnění mechanických vlastností materiálů, útlum vibrací, korozní ochrana spoje, vysoká kvalita vzhledu povrchu v místě spojení, menší hmotnost v porovnání s jinými metodami spojování materiálů a mnohé další. Mezi nevýhody lepených spojů lze zařadit nutnost úpravy ploch před lepením (čistota povrchu), nutnost vytvrzení a nízká odolnost proti odlupování a zvýšení teploty. Nevýhodou je také nižší pevnost v porovnání se svarovými spoji. [21]

1.2.1 Dělení lepidel

Lepidla je možné rozdělit z několika různých hledisek (technologického, chemického atd.). Nejjednodušší pojetí rozdělení lepidel je uvedeno na následujícím obrázku.



Obr. 14 Základní rozdělení lepidel [21]

Dále se lepidla nejčastěji dělí podle následujících hledisek (převzato z interních dokumentů Škoda Auto): [13, 21]

1) Podle chemického základu

- Epoxidy (jedno nebo dvousložkové)
- Kaučuky
- Polyuretany (jedno nebo dvousložkové)
- tzv. Blendy – kombinace předchozích
- Polymery

2) Podle výsledné pevnosti, podle použití

- Crashové – pro extrémně namáhané části karoserie
- Semi-crashové – skelet karoserie, lemy
- Pevnostní – skelet karoserie, lemy
- Tlumící – panelové díly (střecha, dveře, kapota)
- Těsnící – A sloupek

3) Podle způsobu vytvrzení

- Působením zvýšené teploty
- Působením vlhkosti

1.2.2 Lepidla použitá při výrobě karoserií

V této kapitole budou popsána lepidla, která se nejvíce používají ve svařovně Škoda Auto v Kvasinách při výrobě karoserií automobilů. Ve rámci technologického postupu výroby karoserie rozlišujeme dvě základní skupiny lepidel – lepidla svařovenská a lepidla montážní.

Svařovenská lepidla, jak už název napovídá, jsou používána při výrobě karoserie v oblasti svařovny, tedy dříve, než celá svařená karoserie projde procesem kataforézního lakování. K vytvrzení svařovenských lepidel dochází právě při průchodu karoserie lakovnou, respektive při sušení kataforézního lakování. Jedná se tedy o lepidla, u kterých dochází k vytvrzení za zvýšené teploty. Nesmí však docházet k vymývání těchto lepidel při operacích předcházejících kataforéznímu lakování. [21]

Druhou skupinou lepidel jsou lepidla montážní. Tato lepidla jsou použita pro lepení ostatních částí karoserie, ale až po fázi průchodu lakovnou a vypálení laku (např. přední a zadní okno, plastové díly v interiéru). Jako montážní lepidla se používají lepidla, jež nevytvrzují za zvýšené teploty. [21]

1.2.2.1 Epoxidová lepidla

Epoxidová lepidla jsou z hlavní části tvořena dvěma složkami – pryskyřicí a tvrdidlem. Pro výrobu karoserií se používají jednosložková epoxidová lepidla. Ke smíchání pryskyřice a tvrdidla dochází už u výrobce, ale tvrdidlo se aktivuje až při zvýšené teplotě při průchodu lakovnou. Tento druh lepidla má při výrobě karoserií využití hlavně u pevnostních lepených spojů. Jako typický příklad aplikace epoxidových lepidel lze uvést lemový spoj panelových dílů automobilu. Ve společnosti Škoda Auto jsou používána epoxidová lepidla vytvrzovaná za tepla.

Mezi výhody epoxidových lepidel patří vysoká pevnost (více než 30 MPa), dobrá snášenlivost k olejům na povrchu lepeného dílu a dlouhodobá skladovatelnost. Jsou ovšem poměrně náchylná k odlupování. Epoxidová lepidla jsou také poměrně křehká, což je pro použití v automobilovém průmyslu nežádoucí. Křehkost těchto lepidel lze eliminovat použitím změkčovadel. Mezi přední výrobce epoxidových lepidel patří Dow Automotive a Sika. Jejich lepidla plně vyhovují požadavkům Škoda Auto. [14, 21, 22]

1.2.2.2 Kaučuková lepidla

Kaučuková lepidla mají dobrou snášenlivost k oleji. Kaučuková lepidla se vyrábějí rozpouštěním kaučuků (přírodních nebo syntetických) ve vhodném rozpouštědle. V minulosti se kaučuky používaly pouze jako tmely nebo výplňová lepidla, to se však změnilo s možností ovlivnění vulkanizace, což mělo za následek možnost použití jako samostatných lepidel. Vulkanizace je nutná pro dosažení vyšších hodnot modulu pružnosti v tahu.

Ve srovnání s epoxidovými lepidly mají kaučuková lepidla nižší pevnost (do 20 MPa), proto se nejčastěji používají pro lepení vnějších plechů na karoserii nebo jako lepidla těsnící. Jako příklad aplikace kaučukových lepidel je spojení vnitřních výztuh kapoty nebo střechy, kde se využívá jejich tlumících a antivibračních vlastností. Oproti epoxidovým lepidlům jsou také levnější.

Nevýhodou však je horší možnost čištění a odstranění zbytků lepidla z panelových dílů. Společnost Škoda Auto, stejně jako v případě epoxidových lepidel, používá kaučuková lepidla vytvrzovaná za tepla. [14, 21, 22]

1.2.2.3 Polyuretanová lepidla

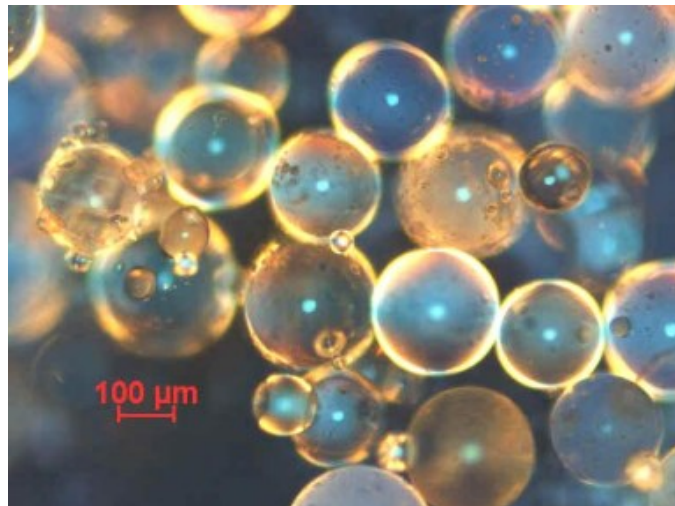
Pro použití při výrobě karoserie nejsou čistě polyuretanová lepidla vhodná, jelikož nemá dobrou snášenlivost s olejem. Využití má například při lepení autoskel a lepení doplňkových dílů na karoserie zejména díky svým tlumícím a těsnícím vlastnostem. Ve společnosti Škoda Auto se tento typ lepidel používá zejména jako lepidlo těsnící. [14, 21, 22]

1.2.3 Provedení lepených spojů v automotive

Lepení má významnou úlohu při stavbě karoserie automobilu. Lepidla už neplní pouze funkci těsnění, jako tomu bývalo v minulosti, dnes se využívají zejména pro pevnostní lepené spoje. Ve společnosti Škoda Auto jsou na skeletu karoserie pevnostní lepené spoje nejčastěji

použity v kombinaci s bodovými svary. Bodové svary v tomto případě plní funkci pojištění, tj. aby se vymeziła poloha mezi slepovanými díly a byla zajištěna polohová a rozměrová stabilita do doby finálního vytvrzení lepených spojů na daném díle. Ve společnosti Škoda Auto se používají lepidla lemová, těsnící a pevnostní. [13]

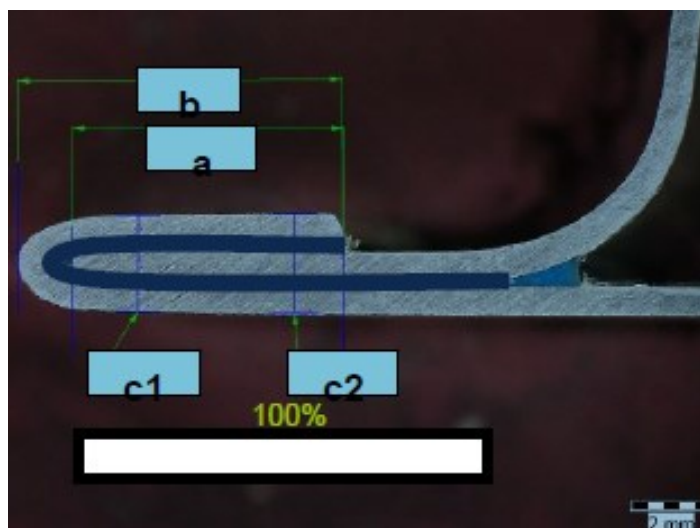
Lemová lepidla se ve svařovně v Kvasinách používají na lemovém spoji u bočních dveří, zadního víka a kapoty. Zvláštností tohoto lemového lepidla je, že jeho objem je naplněn sklokeramickými kuličkami o velmi malém průměru. Obecně tvoří tyto distanční kuličky zhruba 1 % celkového objemu lepidla. [21]



Obr. 15 Distanční kuličky v lepidle [21]

Tyto kuličky zaručují minimální tloušťku vrstvy lepidla mezi plechy, aby nedošlo k vytlačení veškerého lepidla z místa spoje během lemování. Toto lemové lepidlo tedy plní i funkci distanční. Lem musí být lepidlem vyplněn tak, aby vznikl přetok. Tento přetok plní funkci utěsnění spoje. U ostatních panelových dílů (např. kapota) se v lemu jako lepidla používají epoxidová nebo kaučuková.

Ve svařovně v Kvasinách se jako lemová lepidla používají například lepidla SikaPower 492G nebo Elastosol M105. [13]



Obr. 16 Detail vyplnění lemového spoje lepidlem [13]

Těsnící lepidla se používají jako ochrana svarů nebo lemových spojů před korozí. Důležitý význam mají těsnící lepidla u lemových spojů. Lemový spoj není nikdy zcela vodotěsný a může zde dojít k zatečení vody mezi plechy, čímž může dojít ke vzniku koroze.

1.2.3.1 Způsoby nanášení lepidel

Základními parametry pro nanášení lepidel jsou tvar a velikost vrstvy lepidla na povrchu. V praxi se uplatňují tři způsoby aplikace lepidel – ruční, strojní a automatizované.

Ruční nanášení

Ve společnosti Škoda Auto se ruční nanášení lepidel uplatňuje pouze u repasní činnosti. Lepidla jsou dodávána v kartuších, které lze vložit do vytlačovací pistole. Z pistole je poté lepidlo nanášeno přímo na místo, kde má vzniknout lepený spoj. Lepidlo se z pistole vytlačuje ručně, nebo pomocí vzduchového či elektrického posuvu. Množství lepidla a tvar nanášené housenky je závislý na obsluze, zejména na rychlosti posuvu pistole. Množství nanášeného lepidla lze také ovlivnit velikostí vytlačovacího otvoru. Ruční nanášení lepidel je levné a rychlé, ale nelze zaručit přesné potřebné parametry nanášeného množství. [13, 21]

Strojní nanášení

U strojního nanášení lepidla je lepidlo pumpou čerpáno přímo z balení (nejčastěji sud) k nanášecímu zařízení. K vytlačování lepidla k trysce lze využít pneumatické nebo hydraulické systémy. Lepidlo je nanášeno tryskou na díl, kdy pracovník pohybuje dílem a tím určuje, kam bude lepidlo nanášeno. Ve společnosti Škoda Auto v Kvasinách je strojní způsob nanášení lepidla využit v prostorech svařovny a lakovny. Jako příklad lze uvést nanášení lepidla na výztuhy panelových dílů nebo dodatečné dotěsnění.

Automatické nanášení

U automatického nanášení lepidel je proces plně automatizován za použití dávkovacích a nanášecích zařízení. Tato zařízení jsou ve vzájemné spolupráci. Dávkovací systém je tvořen průmyslovou pumpou a hadicemi. Pumpa dopravuje lepidlo k nanášecímu systému přímo

ze sudů, ve kterých je lepidlo dodáváno výrobcem. Nanášecí systém je tvořen dávkovačem a tryskou, která nanáší lepidlo přímo na povrch. Robotizovaná pracoviště umožňují přesné nastavení parametrů nanášeného množství lepidla. [21]

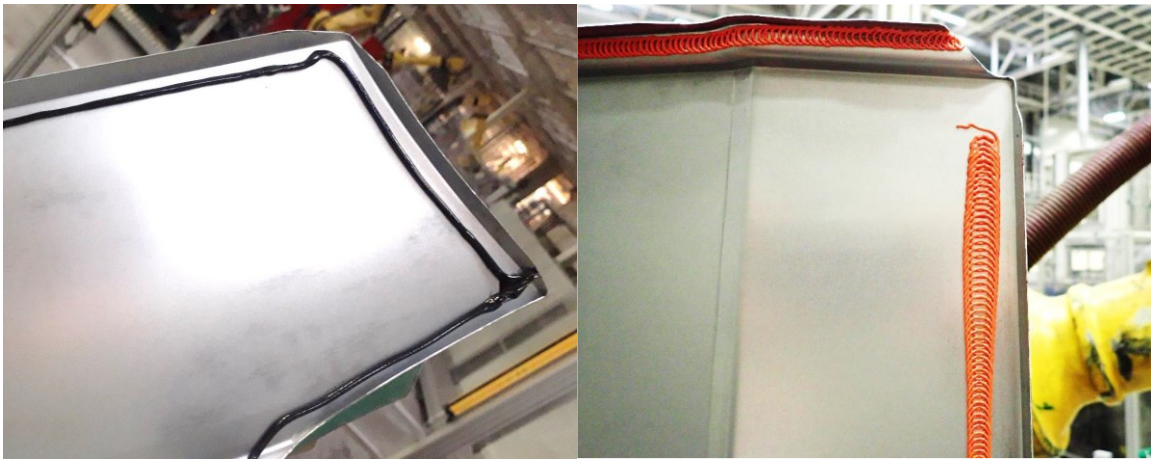
Ve svařovně v Kvasinách jsou používány dvě metody automatického nanášení lepidla – buď je stacionární nanášení zařízení nebo díl, na který je lepidlo nanášeno. Pokud je stacionární nanášecí zařízení, tak je lepidlo nanášeno na díl, který je upevněn v robotickém kloubovém rameni. Rameno pohybuje s dílem pod nanášecí tryskou. Ve druhém případě je stacionární díl, který je upevněn v přípravku. Pohybuje se nanášecí zařízení na robotickém kloubovém rameni a nanáší lepidlo na díl.



Obr. 17 Dávkovací zařízení SCA Schucker

Lepidlo může být nanášeno ve tvaru klasické housenky nebo ve tvaru šroubovice. U první varianty je velikost a tvar housenky ovlivněn rychlostí nanášení a velikostí otvoru trysky. V současnosti se využívá také nanášení lepidla rotační tryskou, kdy je housenka lepidla nanášena ve tvaru šroubovice. Tato metoda nanášení se nazývá E-Swirl. Rotace trysky je docílena využitím stlačeného vzduchu nebo elektrostatického pole. V porovnání s celistvě nanesenou housenkou má metoda E-Swirl jisté výhody. Lze precizněji dávkovat množství lepidla a zároveň lze lepidlo vhodně plošně distribuovat podle potřeby (možnost nanášení širší nebo užší housenky).

Ve svařovně v Kvasinách se nanášení lepidla ve tvaru klasické celistvé housenky při většině standardních operací. Metoda E-Swirl je použita u všech panelových dílů karoserie. [13, 17]



*Obr. 18 Porovnání metod nanášení lepidla [13]
Vlevo: aplikace klasické celistvé housenky, vpravo: aplikace metodou E-Swirl*

2 Popis kapoty modelu Škoda Auto

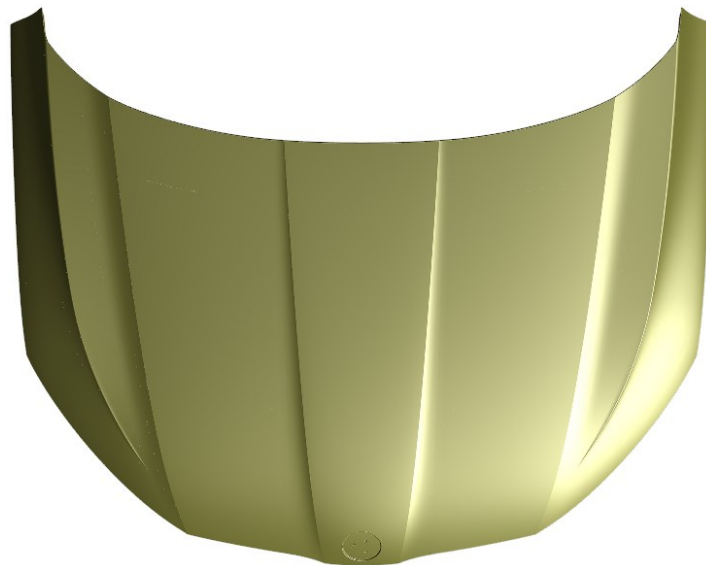
V této kapitole bude detailně popsána kapota Škoda Auto. Bude popsán materiál kapoty, povrchová úprava, druhy použitých lepidel a svarových spojů na kapotě. Následně bude popsán také průběh tepelného ohřevu a ochlazení v průběhu procesu lakování, během něhož dojde k vytvrzení lepidel.

Kapota jako celek je složena ze dvou základních plechových dílů – vnějšího dílu a vnitřního dílu. Tyto plechové díly jsou spolu navzájem spojeny pomocí lepidel, pojistných bodových svarů VarioPicker a také pomocí lemového spoje. Kromě těchto dvou hlavních dílů jsou součástí kapoty také výztuhy. Výztuhy brání promáčknutí kapoty v místě, kde je větší prostor mezi vnějším a vnitřním dílem. Výztuhy jsou s díly spojeny pomocí lepených spojů, bodových svarů a tzv. klinčování (tvarový spoj). Celkem je na kapotě 6 výztuh – 3 na levé a 3 na pravé straně. Umístění výztuh je vidět na Obr. 23.

2.1 Materiál kapoty Škoda Auto a povrchové úpravy

2.1.1 Vnější díl

Vnější díl kapoty je vyroben z žárově pozinkovaného plechu nominální tloušťky 0,65 mm. Materiál má označení jakosti CR180BHGI50/50.



Obr. 19 Model vnějšího dílu kapoty [13]

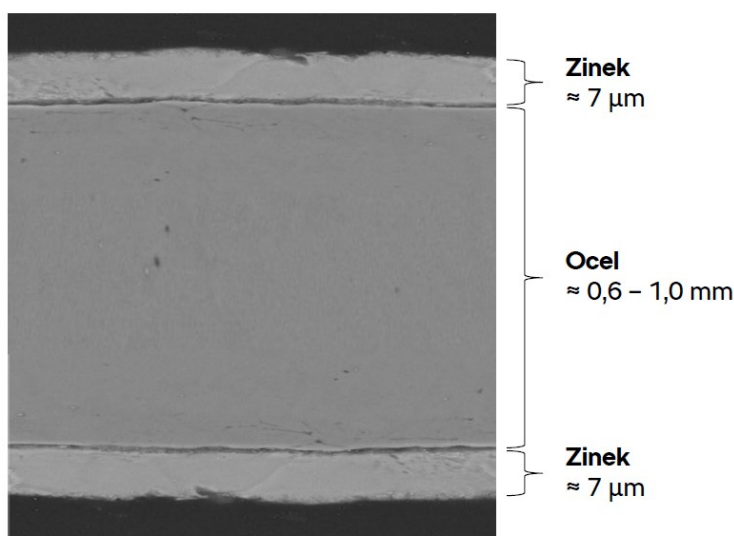
V současnosti jsou u automobilových karosérii vysoké požadavky na protikorozi ochranu, proto jsou při výrobě karosérií použity plechy s ochrannými povlaky. Životnost povlaku a jeho účinnost je závislá na vazbě povlak – materiál a dále také na tvářitelnosti povrchové vrstvy. V automotive jsou nejčastěji používané plechy s ochrannými povlaky na bázi zinku. Žárově pozinkované plechy jsou vhodné pro hluboké i tak náročných dílů, jako jsou karosářské výlisky. Použití zinku má i další důvody – je relativně levný a zaručuje kvalitní ochranu proti korozi a svými elektrochemickými vlastnostmi poskytuje ocelovému podkladu katodickou ochranu. [21]

V praxi jsou používány 3 hlavní metody pro tvorbu ochranných povlaků: [21]

- žárové zinkování, ponoření do roztaveného kovu,
- elektrolytické nanášení povlaku na bázi zinku,
- nanášení organických povlaků s obsahem zinku.

Vzhledem k zaměření tématu diplomové práce bude v dalším textu podrobněji popsána pouze technologie žárového zinkování.

Technologie žárového zinkování plechů patří mezi základní a velmi rozšířené způsoby vytváření ochrany proti korozi. Před zinkováním je potřeba díly připravit (odmaštění, moření, oplach ve vodě, nanášení tavidla). Samotné žárové zinkování spočívá v namáčení ocelových plechů do roztaveného zinku o teplotě 450 °C. Při této teplotě dochází mezi železem a zinkem k metalické reakci, což má za následek vznik ochranného povlaku s podílem slitinových fází zinku a oceli a vnější vrstvou čistého zinku. Tato metoda zinkování je vhodná jak pro vytvoření povlaku na jednotlivých dílech, tak i pro kontinuální zinkování ocelových plechů. Mezi hlavní výhody lze zařadit dlouhou životnost povlaku, rovnoměrné nanášení povlaku a nízké náklady. [21, 23]



Obr. 20 Detail ochranného povlaku na bázi zinku [13]

Kromě základního ochranného povlaku je možné na materiál aplikovat dodatečné povlaky, které jsou na materiál ve formě svitku nanášeny ještě v ocelárně. Dodatečné povlaky jsou nanášeny z důvodu podpory tváření, zlepšují lisovatelnost a snižují otěr zinku při lisování. Vrstva dodatečného povlaku je velmi tenká ($\leq 1 \mu\text{m}$) a jejich množství se udává v mg/m^2 . Na povrchu vnějšího dílu kapoty jsou dodatečné povlaky NIT a ULT (Ultragal). [13]

NIT (New Inorganic Treatment) neboli nová anorganická úprava povrchu je metoda úpravy povrchu, jež byla vyvinuta ve spolupráci Škoda Auto a.s. a společnosti Arcelor Mittal (dodavatel ocelových plechů) v roce 2005. Chemický základ NIT tvoří hydratovaná sůl, která je tvořena zinkem ve formě oxidu nebo hydroxidu ve sloučenině se sulfátem. Zjednodušeně

lze říci, že se jedná o další vrstvu ležící na vrstvě žárového zinkování. Tato další vrstva není na povrchu patrná, ale přináší sebou užitečné vlastnosti jako například nízký koeficient tření (a tím zlepšení tažnosti), menší hodnotu elektrického odporu při svařování a další. Pozinkované plechy s dodatečnou povrchovou úpravou NIT jsou používány například při výrobě bočních dveří nebo kapoty. [24]

Druhým dodatečným povlakem na povrchu vnějšího dílu kapoty je ULT (Ultragal), rovněž od společnosti Arcelor Mittal. Ultragal je povlak, který je doporučen pro aplikaci na povrch viditelných částí vyžadujících bezchybný vzhled, mezi něž kapota rozhodně spadá. Rovněž zajišťuje lepší strukturu a vlnitost povrchu po následném lakování. Dále také poskytuje kvalitní ochranu proti vzniku koroze i v případě mechanického poškození. [25]

V následující tabulce jsou uvedeny materiálové vlastnosti vnějšího dílu kapoty.

Tabulka 1 Materiálové vlastnosti vnějšího dílu kapoty [26]

CR180BHGI50/50, tloušťka 0,65 mm

Označení materiálu	Označení povlaku	Chemické složení [% hmotnosti]						
		C	Si	Mn	P	S	Al	Cu
CR180BH	GI50/50	≤ 0,06	≤ 0,50	≤ 0,70	≤ 0,06	≤ 0,025	≤ 0,015	≤ 0,20

CR – materiál válcovaný za studena

180 – minimální $R_{p0,2}$ [MPa]

BH – BH ocel

Mechanické vlastnosti – teplota 20 °C

	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	BH_2 [MPa]	A_{80} [%]
CR180BH	180-240	290-370	≥ 20	≥ 34

Povrchová úprava

Označení povlaku	Množství nanesené vrstvy [g/m ²]	Tloušťka nanesené vrstvy povlaku na jedné straně dílu [μm]	Hustota [g/cm ³]
GI50/50	50-70	7-10	7,1

GI – žárové zinkování

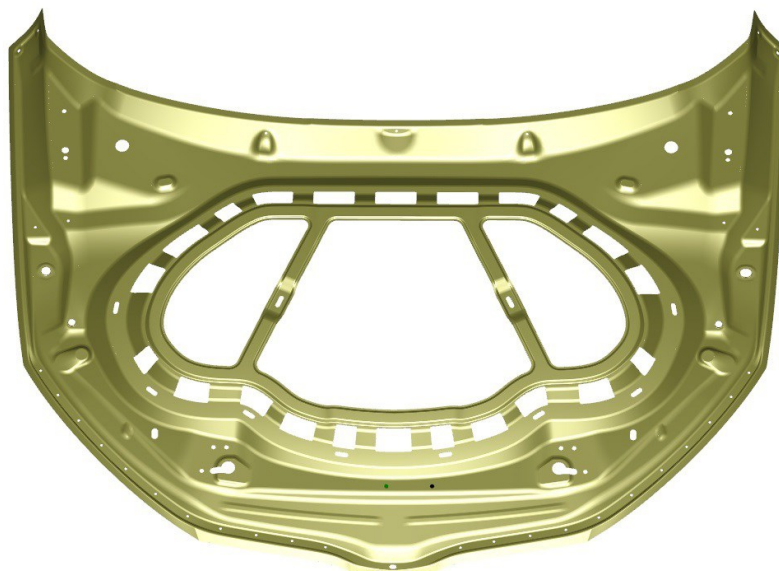
50/50 – množství naneseného zinku na povrchu dílu [g/m²]

Vnější díl kapoty je vyroben z BH oceli. BH oceli jsou oceli s nízkým obsahem uhlíku, mají základní feritickou strukturu. Během vypalování kataforetického laku dochází u tohoto typu oceli k deformačně-teplotnímu stárnutí a zvýšení hodnoty meze kluzu o 30-70 MPa. Díly karoserie vyrobené z BH ocelí jsou odolnější vůči mechanickému poškození (rýhy, otláčení) a mají vyšší dovolené maximální zatížení. Jedná se o tzv. BH efekt.

Optimální podmínky BH efektu jsou dány teplotou $T = 170\text{ }^{\circ}\text{C}$, časem $t = 20$ minut a poměrnou deformací materiálu 2 %. [13, 16]

2.1.2 Vnitřní díl

Vnitřní díl kapoty je vyroben z žárově pozinkovaného plechu nominální tloušťky 0,60 mm. Materiál má označení jakosti CR3GI40/40.



Obr. 21 Model vnitřního dílu kapoty [13]

Co se týče povrchových úprav, jejich průběh a postup byl popsán již výše u vnějšího dílu kapoty. Opět se jedná o plech válcovaný za studena, nejedná se však už o BH ocel. Budou zde vysvětleny pouze odlišnosti v označení materiálu.

Tabulka 2 Materiálové vlastnosti vnitřního dílu kapoty [26]

CR3GI40/40, tloušťka 0,60 mm

Označení materiálu	Označení povlaku	Chemické složení [% hmotnosti]							
		C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Ti
CR3	GI40/40	≤ 0,08	≤ 0,50	≤ 0,50	≤ 0,025	≤ 0,02	≤ 0,01	≤ 0,20	≤ 0,30

Mechanické vlastnosti – teplota 20 °C

	Rp0,2 [MPa]	Rm [MPa]	A80 [%]
CR3	140-210	270-350	≥ 38

3 – označení třídy jakosti (3 = speciální hluboké tažení)

Povrchová úprava

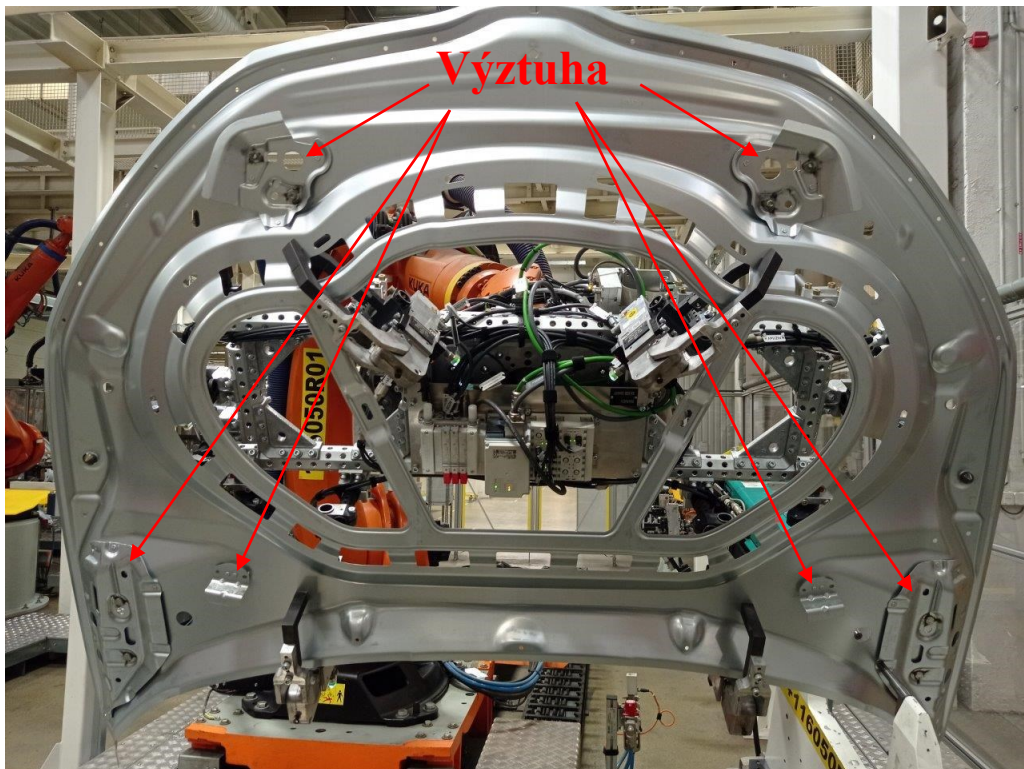
Označení povlaku	Množství nanesené vrstvy [g/m ²]	Tloušťka nanesené vrstvy povlaku na jedné straně dílu [μm]	Hustota [g/cm ³]
GI40/40	40-60	5,6-8,5	7,1

40/40 – množství naneseného zinku na povrchu dílu [g/m²]

Vnitřní díl kapoty není tvořen pouze plechem, ale jeho součástí jsou také výztuhy. Výztuhy jsou ke vnitřnímu plechu připevněny kombinací bodových svarů a klinčování. K vnitřnímu plechu je připevněno celkem 6 výztužných dílů, 3 na každé straně kapoty.



Obr. 22 Jeden z výztužných dílů kapoty



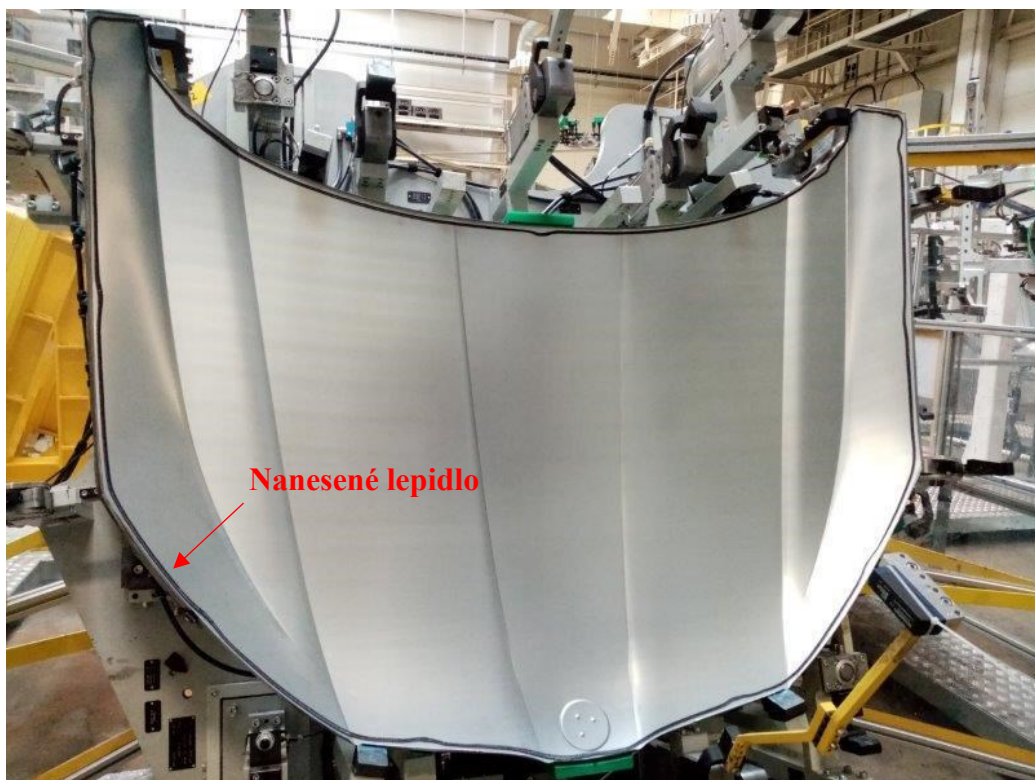
Obr. 23 Vnitřní díl kapoty s připevněnými výztuhami

2.2 Lepené spoje na kapotě Škoda Auto

Lepidlo je automaticky nanášeno samostatně na jednotlivé díly kapoty. Poté dojde k jejich slepení, následně je provedeno ještě lemování a pojištění lemového spoje bodovými svary VarioPicker.

2.2.1 Vnější díl

Vnější díl kapoty je pracovníkem založen do přípravku, odkud si ho odebere robotické rameno. Rameno najede do polohy k rameni s nanášecí tryskou, nanášení lepidla je plně automatické. Rameno s nanášecí tryskou zůstává nehybné, při nanášení lepidla se pohybuje rameno s upnutým dílem. Lepidlo je na vnější díl kapoty nanášeno metodou E-Swirl, která je popsána v kapitole 2.2.3. Lepidlo je naneseno po obvodu vnějšího dílu.



Obr. 24 Vnější díl kapoty s naneseným lemovým lepidlem

Lepidlo aplikované na vnější díl kapoty je Elastosol M105 od firmy Bostik. Jedná se o lepidlo na bázi kaučuku. Má nízkou viskozitu, je vhodné k použití při lepení kovových materiálů v automobilovém průmyslu. Část objemu lepidla tvoří skleněné kuličky, které zajistí minimální vrstvu lepidla mezi plechy při lemování a zároveň brání vymáčknutí přebytečného lepidla. Skleněné kuličky nemají žádný vliv na proces vytvrzování. Dále toto lepidlo také neobsahuje žádná rozpouštědla nebo oleje. K vytvrzení lepidla dochází za zvýšené teploty při vypalování laku. Teplota vytvrzování je udána jako 180 °C po dobu 30 minut. Další vlastnosti jsou uvedeny v datovém listu v příloze. [Příloha 1]

2.2.2 Vnitřní díl

Vnitřní díl je na začátku procesu výroby ve výchozí poloze založen do přípravku, kde si ho odebere robot. Nanášení lepidla opět probíhá zcela automaticky. Stejně jako v případě vnějšího plechu se zde pohybuje díl, nanášecí tryska zůstává v klidu. Lepidlo je na vnitřní díl nanášeno ve tvaru housenky. K vnitřnímu dílu kapoty jsou před spojením s vnějším dílem upevněny výztuhy pomocí bodových svarů a klinčování. Výztuhy mají za úkol zpevnit oblasti kapoty, kde se nachází větší prostor mezi vnějším a vnitřním dílem. Lepidlo není nanášeno pouze na samotný vnitřní díl, ale také na výztuhy. Vnitřní díl kapoty s výztuhami s naneseným lepidlem je zobrazen na Obr. 25. Na obr 25 je zobrazena rozebraná kapota při tzv. sekáčové zkoušce, lepidla už jsou tedy vytvrzená a lepidlo nemá tvar housenky jako při nanášení.



Obr. 25 Vnitřní díl s výztuhami a naneseným lepidlem

Lepidlo použité na vnitřním dílu kapoty je Betaguard KP03 od výrobce Dow Automotive. Jedná se o tlumící tmel na bázi syntetického kaučuku. Je vhodný pro použití v automobilovém průmyslu. Jako příklad použití lze uvést právě kapotu (nebo boční dveře), kdy je potřeba zamezit přímému kontaktu vnějšího a vnitřního výztužného dílu a vymežit velikost mezery mezi díly. V případě kapoty se jedná také o těsnící a tlumící lem, kde zajišťuje tlumení vibrací mezi díly kapoty a chrání před vznikem koroze. K vytvrzení tmelu dochází rovněž při vypalování laku. Další vlastnosti jsou uvedeny v datovém listu v příloze. [Příloha 2]

2.3 Lemování kapoty modelu Škoda Auto

Po nanesení lepidla na jednotlivé komponenty kapoty následuje jejich slepení, po němž následuje lemování, kdy se okraj vnějšího dílu přehne přes vnitřní výztužný díl. Tím dojde ke vzniku lemového spoje. Rozlišují se 2 způsoby lemování – konvenční a rolnové. V případě kapoty jsou použity oba zmíněné způsoby lemování. V případě kapoty Škoda Auto není lemování provedeno najednou. Nejdříve je provedeno předlemování v oblasti A sloupků a v místech s návazností na blatník. Předlemování je provedeno rolnou z důvodu složitosti lemování této části kapoty. Předlemování probíhá na dvou otočných stolech. Po předlemování rolnou na dvou otočných stolech následuje konvenční lemování, kdy dojde k finálnímu zalemování celého dílu kapoty.

Rolnové lemování (Obr. 26) je automatizováno, lemování provádí robotické rameno pomocí rolnové (válečkové) lemovací hlavy. Kapota je nejdříve umístěna do přípravku (otočného stolu), jež tvarem odpovídá kapotě. Lemový spoj vzniká postupným uzavíráním plechu pohybem rolny po vnějším obvodu dílu. Tato metoda lemování se vyznačuje svou flexibilitou, kdy je možné lemovat různé konstrukční díly. Stejnou rolnou lze zalemovat celý díl karoserie, což závisí na složitosti dílu. Dále je zde možnost použití více robotů na lemování jednoho dílu, čímž se urychlí proces lemování. [16]



Obr. 26 Princip lemování rolnou [16]

Při konvenčním lemování je lem vnějšího dílu přeložen po celé délce okraje lemovacím nástrojem. Pro každý díl karoserie je potřeba specifického lemovacího stroje, který je konstruovaný přímo pro konkrétní díl. Velkou nevýhodou tohoto způsobu lemování jsou tedy vysoké investiční náklady. Nástroj používaný pro konvenční lemování, který se používá ve svařovně v Kvasinách, je uveden na Obr. 27. [13, 16]

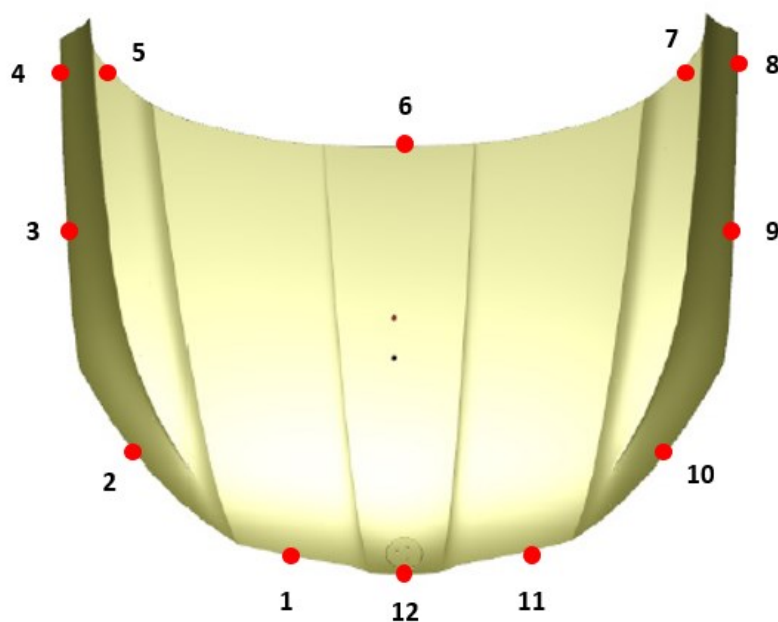


Obr. 27 Nástroj pro konvenční lemování

2.4 Svarové spoje použité u kapoty modelu Škoda Auto

Ke vzniku svarových spojů dochází u kapoty Škoda Auto až po dokončení lepení a lemování, tedy až když jsou vnější a vnitřní výztužný díl zkompletovány do jednoho celku. Na kapotě Škoda Auto je pouze jeden typ svarových spojů, konkrétně pojistné svary VarioPicker. Tento typ svarů zajišťuje pouze fixaci lemového spoje v průběhu výrobního procesu. Tedy v mezičase, kdy je díl přemísťován mezi svařovnou a lakovnou a také při samotném vytvrzování lepidla. Fixace lemového spoje slouží k zamezení pohybu vnitřního výztužného dílu vůči vnějšímu dílu. Po kataforetickém lakování (dále jen KTL) přebírá stabilizační funkci vytvrzené lemové lepidlo.

Hlavním požadavkem na fixaci lemového spoje je zajištění rozměrové stability spojovaných dílů. Vnější pohledové díly karoserie, mezi něž kapota spadá, musí být nezávadné (bez poškození či narušení povrchu dílu). Fixace lemového spoje musí být provedena tak, aby vnější pohledový díl nebyl nijak poškozen. Z tohoto důvodu je fixace metodou VarioPicker vyhovující, jelikož vzniklý svarový spoj je pouze jednostranný (zespodu kapoty). Kapota je rozměrově i hmotnostně velmi rozsáhlý panelový díl, u něhož by bez použití pojistných svarů VarioPicker mohlo dojít k narušení stability lemového spoje pouze za působení vlastní tíhy kapoty. Proto je nutné použití fixace lemového spoje metodou VarioPicker.



Obr. 28 Umístění VarioPicker svarů na kapotě [13]

Na Obr. 28 je vyobrazeno rozmístění pojistných svarů VarioPicker na kapotě, celkem se jedná o 12 pojistných svarů. V následující tabulce jsou uvedeny svařovací parametry pro jednotlivé fixační body 1 až 12.

Tabulka 3 Parametry VarioPicker svarů [13]

VarioPicker svary na kapotě Škoda Auto			
Bod č.	Proud [kA]	Čas [ms]	Síla [N]
1	2,7	100	500
2	3,2	95	500
3	3,5	110	500
4	3,2	110	500
5	2,7	100	500
6	3,1	100	500
7	3,0	105	500
8	2,5	130	500
9	3,1	100	500
10	2,9	85	500
11	3,0	105	500
12	3,0	90	500

2.5 Průběh teplotního ohřevu a ochlazení

Doba a teplota vytvrzování lepidla jsou hlavní podmínky, které rozhodují o vlastnostech lepeného spoje. Svařovenská lepidla vytvrzují během sušení v kataforézní lakovací lince. S ohledem na dosahované teploty během sušení musí vytvrzení lepidel proběhnout při teplotě 170 °C v čase 20 minut. Pro každý lepený spoj není možné optimalizovat vytvrzovací teplotu

a čas, proto musí použitá lepidla být schopna dosáhnout požadovaných hodnot pevnosti lepeného spoje i při mírně odlišných podmínkách vytvrzování. Výrobce lepidel udává optimální podmínky vytvrzování a zaručuje vlastnosti, při jejichž dodržení dosáhne pevnost lepeného spoje předepsaných hodnot. V této kapitole bude popsán princip kataforézního lakování (dále jen KTL) a průběh ohřevu a ochlazení při vytvrzování lepidel během sušení. [21]

2.5.1 Kataforézní lakování (KTL)

KTL je ekologický způsob lakování, který patří k nejehospodárnějším způsobům lakování ocelových, pozinkovaných a hliníkových výrobků. KTL je základní antikorozi ochranná vrstva karoserie automobilu. Obecně je možné proces KTL použít na každý výrobek, který je vodivý, lze ho celý ponořit a snese teploty v rozmezí 160-180 °C. Před samotným KTL je nutné povrch karoserie tzv. předpřipravit. Nejdříve dochází k odmaštění, na odmaštěný povrch se aplikuje aktivátor povrchu ponorem s následným fosfátováním, následuje další oplach. Při KTL je celá karoserie ponořena do základní barvy a elektrochemickým procesem (kataforézou) dojde na povrchu karoserie k vyloučení základové barvy. Tloušťka této vrstvy se pohybuje v rozmezí 15-20 µm. Karoserie je ve vaně ponořena zhruba 3-5 minut. Karoserie a lázeň jsou nabity náboji opačné polarity (karoserie je katoda, lázeň je anoda). Tím, že karoserie a lázeň mají náboj opačné polarity, se na povrch karoserie přitahují částice základní barvy a výsledkem je vytvoření rovnoměrného povlaku na celém povrchu i v těžko přístupných místech. [13, 27]

Po KTL následuje fáze oplachu karoserie, dále je karoserie postupně v podélném směru naklápěna, aby se z dutin karoserie vyplavil zbytek tekutiny. Povlak základní barvy je poté nutno vypálit v peci při teplotě cca 180 °C po dobu cca 30 minut. Během vypalování dochází mimo jiné také k vytvrzení svařovenských lepidel, k jejichž vytvrzení dochází při teplotách nad 140 °C po dobu alespoň 20 minut. Před samotným vypalováním je však karoserie tzv. předsušena, aby nedošlo k velkému teplotnímu šoku. [13]

2.5.2 Průběh ohřevu a ochlazení

V následující tabulce jsou uvedeny údaje procesního postupu předúprav a samotného KTL s důležitými parametry. V příloze (Příloha 3) je uvedena také křivka průběhu teplot při průchodu karoserie lakovnou.

Tabulka 4 Parametry procesu KTL [17]

	Operace	Přibližný čas	Teplota
Předúpravy	Odmaštění – sprcha, ponor	5 min	50 °C
	Oplach – sprcha	0,5 min	25 °C
	Aktivace – ponor	0,5 min	25 °C
	Fosfátování – ponor	3 min	50 °C
	Oplach – sprcha, ponor	1 min	25 °C
	Pasivace	0,5 min	25 °C
	Oplach – ponor	0,5 min	25 °C
KTL	Nanášení základové barvy (KTL)	3 min	30 °C
	Oplachy – ponor, sprcha demi vodou	1,5 min	25 °C
	Sušení a vytvrzení základové barvy	30 min	180 °C

2.5.3 Vlivy na rozměrovou nestabilitu kapoty

Geometrickou rozměrovost a nestabilitu rozměrů kapoty neovlivňuje pouze teplotní ohřev a ochlazení při vytvrzení lepidel. Jedná se pouze o jeden z mnoha možných vlivů, které na díl působí v průběhu celého výrobního procesu.

Díly kapoty jsou nejprve vylišovány, zde hraje roli použití olejů a maziva při lisování, dále také typ povrchové úpravy plechu. Poté je s díly manipulováno buď pomocí robotů nebo samotnými pracovníky. Zde záleží, jak a kde pracovník díl uchopí. Dále jsou díly mezi výrobními operacemi převáženy v přípravných a paletách, i tento proces přemísťování může mít vliv na konstantní rozměrovost. Pak následuje samotné lepení, zalemování a fixace pomocí svarů VarioPicker. Následuje průchod celé karoserie (včetně kapoty) lakovnou. Zde je karoserie oplachována, ofukována, nanese vrstva KTL, teplený ohřev a ochlazení nutný pro vytvrzení svařovenských lepidel, nanášení povrchového laku atd. Co se týče samotné kapoty, vliv na výslednou rozměrovost mají také podpěry (u zámků). Dále následují montážní práce, kde opět záleží na pracovnících a jejich manipulaci s díly.

Vlivů na rozměrovou stabilitu kapoty je tedy velmi mnoho a nelze přesně určit, který vliv má nejzásadnější vliv. Důležité je, aby v rámci průběhu celého výrobního procesu rozměry kapoty odpovídaly rozměrům a tolerancím předepsaným ve výkresové dokumentaci.

3 Experiment se zjednodušenými vzorky

V této části práce bude popsán experiment se zjednodušenými vzorky vhodně zvolených částí kapoty. Data z provedených experimentů budou sloužit jako vstupní parametry pro MKP modely pro numerické analýzy změn rozměrů kapoty během výrobního procesu. Cílem bylo nalézt optimální kombinaci vstupních parametrů MKP modelů pro simulaci objemových změn vrstvy lepidla a tmelu během procesu vytvrzování v lakovně. Tyto parametry bylo nutné stanovit experimentálně, protože nejsou přímo k dispozici a výsledná deformace vzorku závisí nejenom na objemové změně lepidla, ale také na vzájemném poměru tuhostí vrstvy lepidla a ocelových dílů. Vstupní data lze poté použít pro numerický model celé kapoty za účelem stanovení deformace kapoty z důvodu vytvrzení lemového lepidla a tlumícího tmelu během procesu výroby.

Na vzorky byla nanášena lepidla, která se používají při výrobě kapoty modelu Škoda Auto (lemové a tlumící tmel). Cílem experimentu je zkoumat změny nanášené vrstvy lepidel před a po vytvrzení lepidel, tedy zda dojde ke smrštění nebo naopak k expanzi vrstvy lepidla. Pro experiment byly použity dva vzorky – jeden s lemovým lepidlem a jeden s tlumícím tmelem. Vzorky byly získány z vnějšího dílu kapoty, celkem bylo nutné použít dva vnější plechy o tloušťce 0,65 mm.

3.1 Nanášení lepidel na vzorky

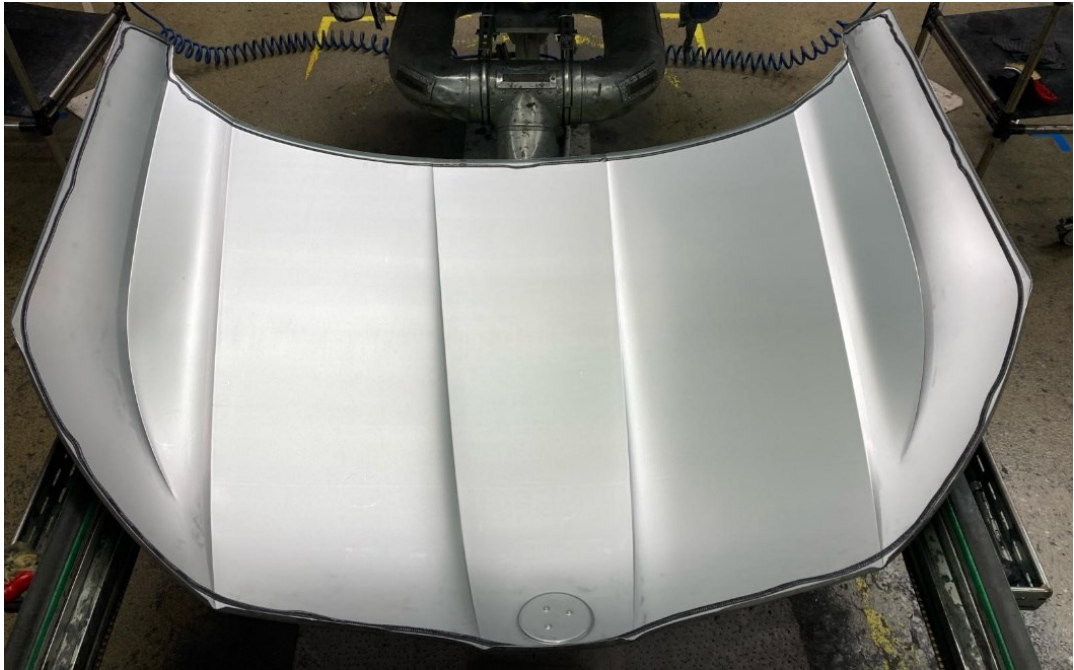
Nejdříve byl vnější díl kapoty upevněn do přípravku, ze kterého si díl odebralo robotické rameno, které přemístilo vnější díl k nanášecí trysce.



Obr. 29 Vnější díl kapoty uložený v přípravku

Na vnější díl bylo nanášeno lemové lepidlo Elastosol M105. Lepidlo bylo nanášeno strojově metodou E-Swirl. Lepidlo je k nanášecí trysce dodáváno pneumatickým pístovým

čerpádem od výrobce SCA Schucker z roku 2015. Tento typ čerpadla může dávkovat lepidlo o teplotě až 100 °C. Lepidlo je nanášeno ve stavu, kdy je přehřáto na určitou teplotu. Od dávkovacího čerpadla je lepidlo dopraveno hadicemi, které jsou také ohřáté, až k nanášecí trysce. Rotační tryska poté nanese lepidlo ve tvaru šroubovice po celém obvodu na vnitřní stranu vnějšího dílu kapoty. Poté byl díl vyjmut z robotického ramene, aby s ním bylo možné dále pracovat.



Obr. 30 Kapota s naneseným lemovým lepidlem

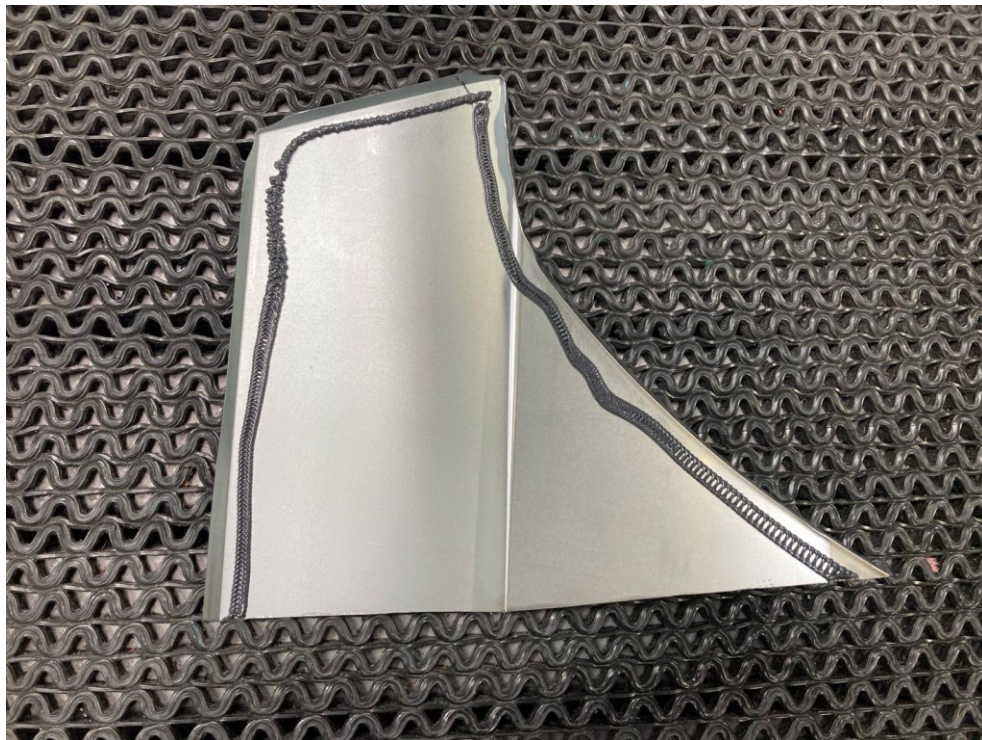


Obr. 31 Detail nanesení lepidla

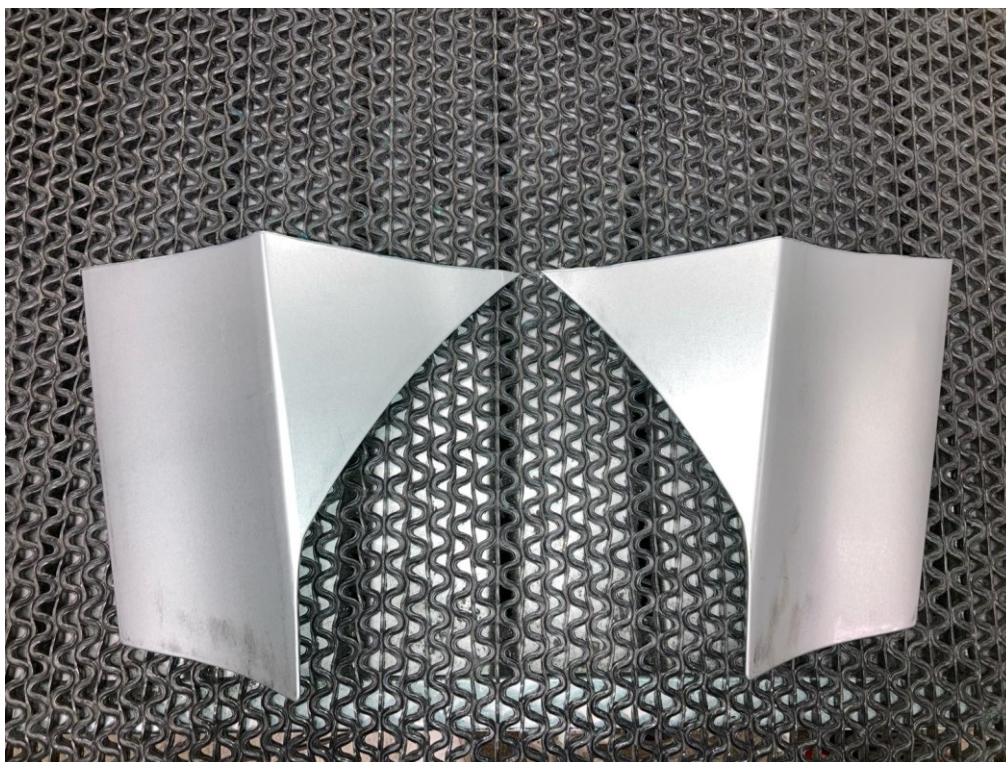
Tlumicí tmel Betaguard KP03 nebyl nanášen strojově, ale ručně z nanášecí pistole. Tento způsob nanášení byl zvolen z důvodu nastavení výrobní linky, kdy není možné zajistit

nanesení tlumícího tmelu na vnější díl kapoty, standardně se totiž nanáší na vnitřní díl. Vnitřní díl kapoty však nebyl při experimentu použit. Vzhledem k tomu, že se jedná o zjednodušený experiment, bylo ruční nanesení lepidla přijatelné a počítalo se s odlišnostmi oproti strojovému nanesení. Před nanesením tlumícího tmelu bylo nejdříve nutné vyříznout vzorek, na který bude tlumící tmel nanesen. Vzorky byly vyříznuty z dílu s naneseným lemovým lepidlem z oblasti A sloupků na levé a pravé straně. Jeden z výřezů byl poté očištěn od lemového lepidla a ručně byl poté nanesen tlumící tmel. Ručně nanesená housenka tlumícího tmelu měla průměr 6-8 mm, což přibližně odpovídá rozměru housenky při automatickém nanášení.

Na Obr. 32 je vidět vyříznutý kus z vnějšího dílu kapoty, který bude použit pro vzorek s lemovým lepidlem. Je vidět, že šroubovice není rovnoměrná po celém obvodu, ale mění se jak její průměr, tak i množství lepidla a hustota nanesení. Na Obr. 33 jsou protikusy, které byly vyříznuty z druhého vnějšího dílu kapoty, rovněž z oblasti A sloupků. Vzorky byly vyříznuty pomocí úhlové brusky. Následně bylo třeba brusným kotoučem odstranit otřepy a ostré hrany z vyříznutých vzorků, aby nedošlo k poranění během manipulace se vzorky a bylo možné slepit plechy k sobě.



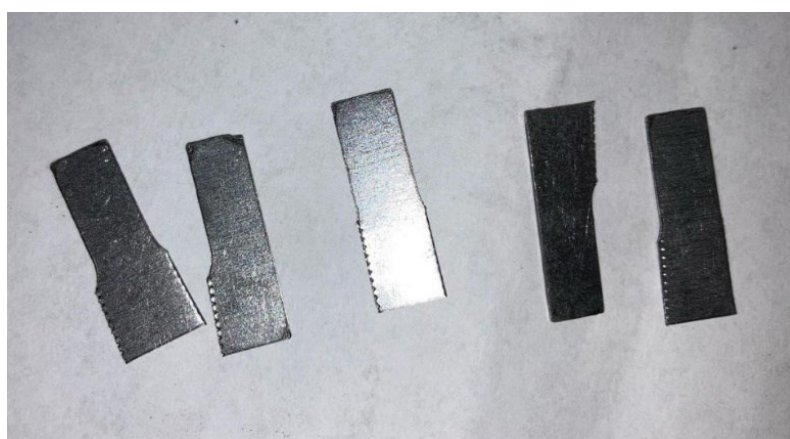
Obr. 32 Vzorek s naneseným lemovým lepidlem



Obr. 33 Vyříznuté protikusy

3.2 Vymezení mezery a slepení

Slepení vzorků nebylo provedeno strojově, jak tomu bývá při standardním výrobním procesu, ale pouze ručně. Bylo však nutné zajistit, aby při slepení nedošlo ke kontaktu plechů a aby byla zajištěna minimálně stejná nebo větší velikost mezery mezi plechy, jako tomu bývá při výrobním procesu. Toho bylo docíleno použitím nastříhaných distančních plíšků o dané tloušťce, které byly umístěny na vrstvu naneseného lepidla po obvodu vzorku.



Obr. 34 Plíšky pro vymezení mezery mezi plechy

Pro vzorek s lemovým lepidlem byly použity plíšky o tloušťce 0,5 mm. Tento rozměr byl zvolen na základě předepsané mezery mezi plechy při lemování kapoty, který je stanoven na 0,2 mm. Pro experiment byla z důvodu absence lemu zvolena mezera mezi plechy 0,5 mm.

V případě vzorku s tlumícím tmelem byly použity plíšky o tloušťce 1 mm. Předepsaná mezera mezi vnějším a vnitřním plechem v oblasti, kde je nanesen tlumící tmel, je však 2 mm, proto byly ve vzorku s tlumícím tmelem použity 2 plíšky o tloušťce 1 mm na sobě.



Obr. 35 Vzorek s lemovým lepidlem a plíšky

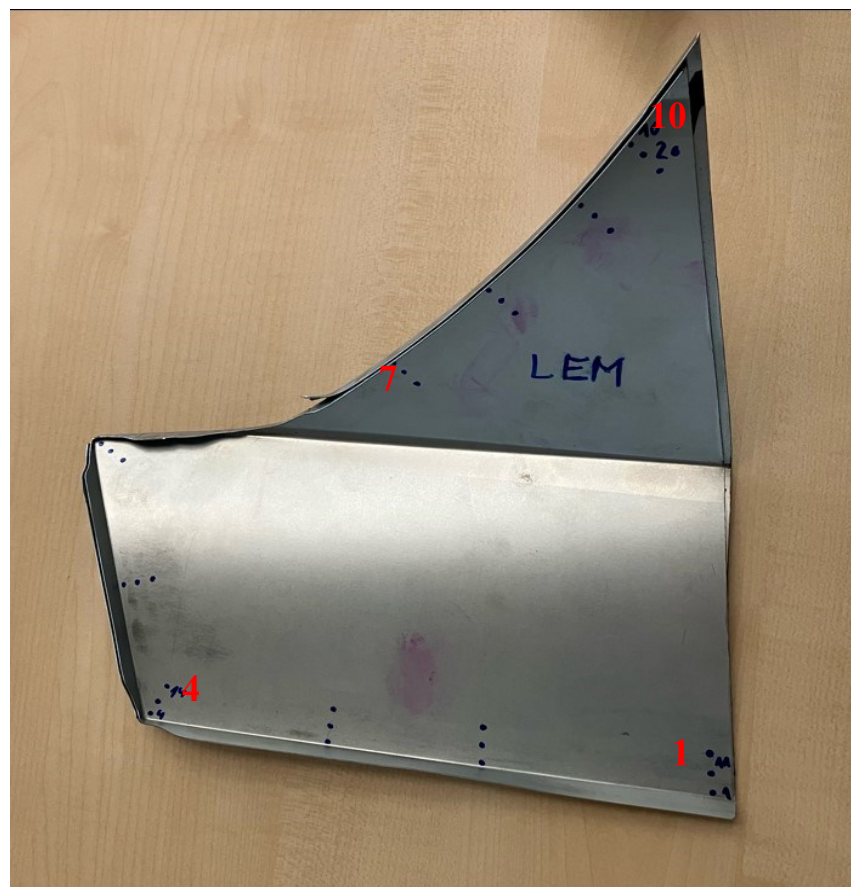


Obr. 36 Vzorek s tlumícím tmelem a plíšky

Po umístění plíšků na oba plechy s naneseným lepidlem zbývalo už pouze slepení s odpovídajícím protikusem. Slepění probíhalo ručně, kdy byl protikus opatrně přitlačen

na plech s naneseným lepidlem. Bylo třeba pár minut počkat, aby došlo ke slepení a plechy držely u sebe. Následně byly fixou vyznačeny body, na kterých budou zkoumány rozměrové změny vrstvy lepidel. Po obvodu bylo vyznačeno 10 měřících míst po obvodu vzorku ve 3 řadách, které přibližně kopírují nanesené lepidlo. 3 řady měřících bodů byly zvoleny z důvodu podchycení případného sklonu naneseného lepidla. Celkem tedy při měření obdržíme 30 hodnot z každého vzorku. Prostřední řada měřících bodů leží přibližně na místech, kde by mělo být lepidla nejvíce.

Řady s vyznačenými měřícími místy byly označeny číslicemi 1 až 3, přičemž číslice 1 odpovídá vnější řadě (nejblíže u okraje vzorku), 2 odpovídá řadě prostřední a číslicí 3 je označena vnitřní řada. Na Obr. 30 a Obr. 31 jsou červeně vyznačeny některé měřící body, aby byl patrný směr číslování. Měřící místa v první řadě jsou označena 1 až 10, ve druhé řadě 11 až 20 a ve třetí řadě 21 až 30.



Obr. 37 Měřící body na vzorku s lemovým lepidlem



Obr. 38 Měřicí body na vzorku s tlumícím tmelem

3.3 Měřicí zařízení

Jak již bylo zmíněno, na každém vzorku bylo vyznačeno 30 měřících míst, na kterých bude měřena tloušťka vzorku v oblasti, kde je naneseo lepidlo. Pro měření tloušťky vzorků byl použit digitální úchylkoměr pro měření vnějších rozměrů od firmy Kroeplin. Měřicí rozsah tohoto úchylkoměru je 0-20 mm s rozlišením 0,01 mm.



Obr. 39 Digitální úchylkoměr Kroeplin

Při měření bylo třeba dbát na to, aby tloušťka vzorku byla měřena co nejlépe měřicími hroty kolmo k plechu. Jelikož bylo při experimentu měření tloušťky vzorku prováděno ručně, je zde možnost určité nepřesnosti. Hodnoty tloušťky vzorků byly měřeny před vytvrzením a následně také po vytvrzení lepidel v průmyslové peci.

K vytvrzení lepidel na obou vzorcích došlo současně při jednom procesu vytvrzování za stejné teploty. Společné vytvrzení lepidel bylo možné provést na základě vytvrzovacích podmínek použitých lepidel. U lemového lepidla Elastosol M105 jsou vytvrzovací podmínky předepsané na min. 180 °C po dobu min. 30 minut. U tlumícího tmelu Betaguard KP03 jsou vytvrzovací podmínky předepsány na min. 160 °C po dobu min. 30 minut. Pro vytvrzení lepidel na zkušebních vzorcích byly nastaveny parametry 180 °C a 30-35 minut.

K vytvrzení lepidel byla použita průmyslová komorová pec s elektrickým topením s označením KRX 15.05.15-2 od výrobce BVD pece spol. s r.o. Při vytvrzování byly vzorky položeny ve spodní části pece, nebyly nijak zavěšeny nebo speciálně uloženy.

Po vytvrzení lepidel a vyndání vzorků z pece bylo nutné cca 15 minut počkat, aby došlo k vychladnutí vzorků a bylo možné s nimi dále manipulovat a provést druhou část měření.



Obr. 40 Průmyslová komorová pec použita pro vytvrzení lepidel

3.4 Data získaná při experimentu

Jak již bylo zmíněno, při experimentu byla měřena tloušťka vzorku s lemovým lepidlem a tlumícím tmelem před a po vytvrzení. Předpokládá se, že během vytvrzení lepidlo a tmel změni svůj objem (smrští se nebo naopak bude expandovat). Data získaná při experimentu budou sloužit jako vstupní parametry pro MKP analýzy.

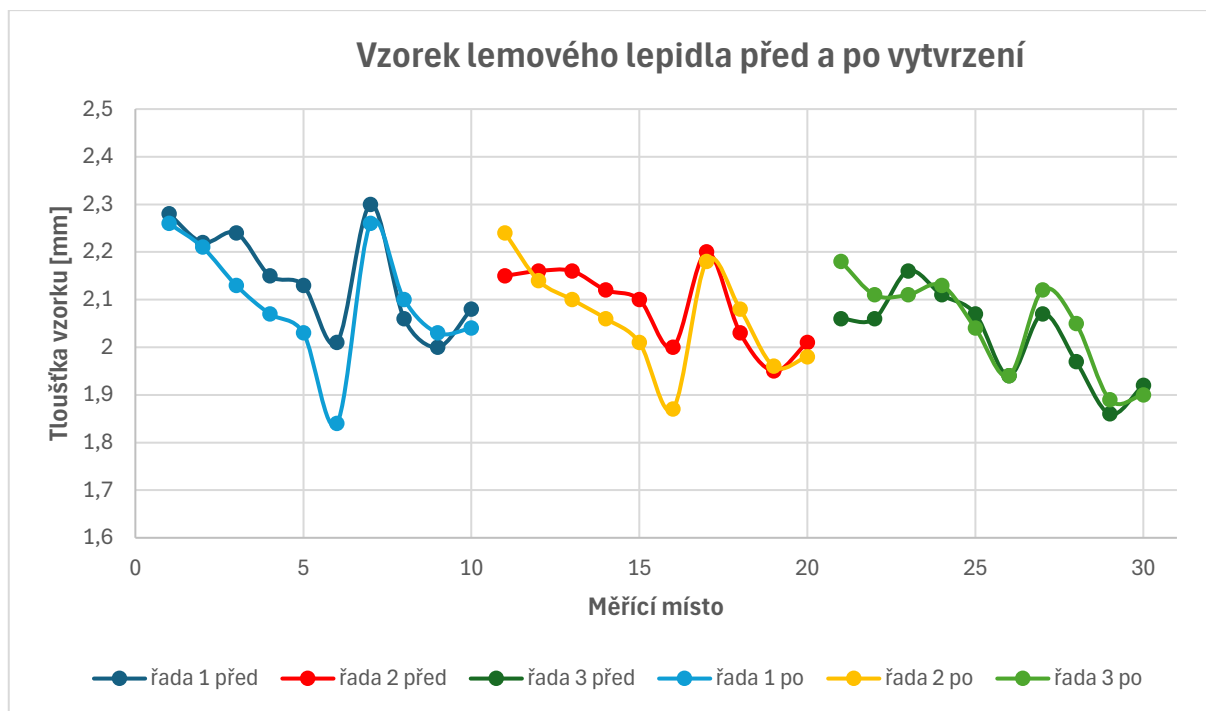
3.4.1 Vzorek s lemovým lepidlem

Naměřené tloušťky vzorku s lemovým lepidlem na jednotlivých měřicích místech jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 5 Naměřené tloušťky vzorku s lemovým lepidlem před a po vytvrzení

Lemové lepidlo – měření před vytvrzením					
Řada 1		Řada 2		Řada 3	
Místo č.	tloušťka [mm]	Místo č.	tloušťka [mm]	Místo č.	tloušťka [mm]
1	2,28	11	2,15	21	2,06
2	2,22	12	2,16	22	2,06
3	2,24	13	2,16	23	2,16
4	2,15	14	2,12	24	2,11
5	2,13	15	2,10	25	2,07
6	2,01	16	2,00	26	1,94
7	2,30	17	2,20	27	2,07
8	2,06	18	2,03	28	1,97
9	2,00	19	1,95	29	1,86
10	2,08	20	2,01	30	1,92
Lemové lepidlo – měření po vytvrzení					
Řada 1		Řada 2		Řada 3	
Místo č.	tloušťka [mm]	Místo č.	tloušťka [mm]	Místo č.	tloušťka [mm]
1	2,26	11	2,24	21	2,18
2	2,21	12	2,14	22	2,11
3	2,13	13	2,10	23	2,11
4	2,07	14	2,06	24	2,13
5	2,03	15	2,01	25	2,04
6	1,84	16	1,87	26	1,94
7	2,26	17	2,18	27	2,12
8	2,10	18	2,08	28	2,05
9	2,03	19	1,96	29	1,89
10	2,04	20	1,98	30	1,90

Pro lepší vizualizaci jsou naměřené hodnoty zobrazeny na následujícím grafu.



Obr. 41 Změna rozměrů vzorku s lemovým lepidlem

Na Obr. 34 jsou zobrazeny hodnoty tloušťky vzorku s lemovým lepidlem na jednotlivých měřících místech. Rovněž jsou viditelně odděleny jednotlivé řady (1 až 3) měřících míst. Porovnávají jsou vždy hodnoty před a po vytvrzení lemového lepidla ve stejné řadě.

Pokud se podíváme pouze na rozdíl hodnot před a po vytvrzení, nelze jednoznačně říci, že došlo k expanzi nebo smrštění lepidla. V případě řady 1 a 2 si z hodnot lze všimnout, že došlo spíše ke smrštění lepidla. Zároveň si však lze u těchto dvou řad všimnout značného rozdílu tloušťky vzorku před a po u měřícího bodu 6. To může mít souvislost s polohou měřícího bodu 6, který se nachází v rohu zkušební vzorku a zároveň v oblasti, kde je přechod mezi množstvím naneseného lepidla. Mohlo tedy dojít k distribuci lepidla blíže více směrem do středu vzorku, což by vysvětlovalo nulový rozdíl mezi tloušťkou vzorku před a po vytvrzení na měřícím bodě 6 u řady 3. U řady 3 je jediná výraznější změna u měřícího místa 1, jinak v celé řadě nejsou patrné výraznější změny.

Co se týče maximálních a minimálních rozdílů tloušťky vzorku s lemovým lepidlem před a po vytvrzení, ty jsou uvedeny v následující tabulce. Rozdíly jsou uvedeny v absolutní hodnotě.

Tabulka 6 Hodnoty rozdílů tloušťky vzorku před a po vytvrzení

	Δ min [mm]	Δ max [mm]
Řada 1	0,01	0,17
Řada 2	0,01	0,13
Řada 3	0,00	0,12

Z tabulky je vidět, že maximální hodnoty rozdílů v jednotlivých řadách se pohybují zhruba kolem 0,1 mm. Největší rozdíl dosáhl hodnoty 0,17 mm (v absolutní hodnotě, ve skutečnosti došlo ke smršťení lepidla). Rozdíly nedosahují větších hodnot zejména z důvodu nanesení lepidla metodou E-Swirl, kdy je rozdílné množství naneseného lepidla v jednotlivých částech vzorku a vrstva lepidla je poměrně slabá, v porovnání s nanesením klasickou housenkou.

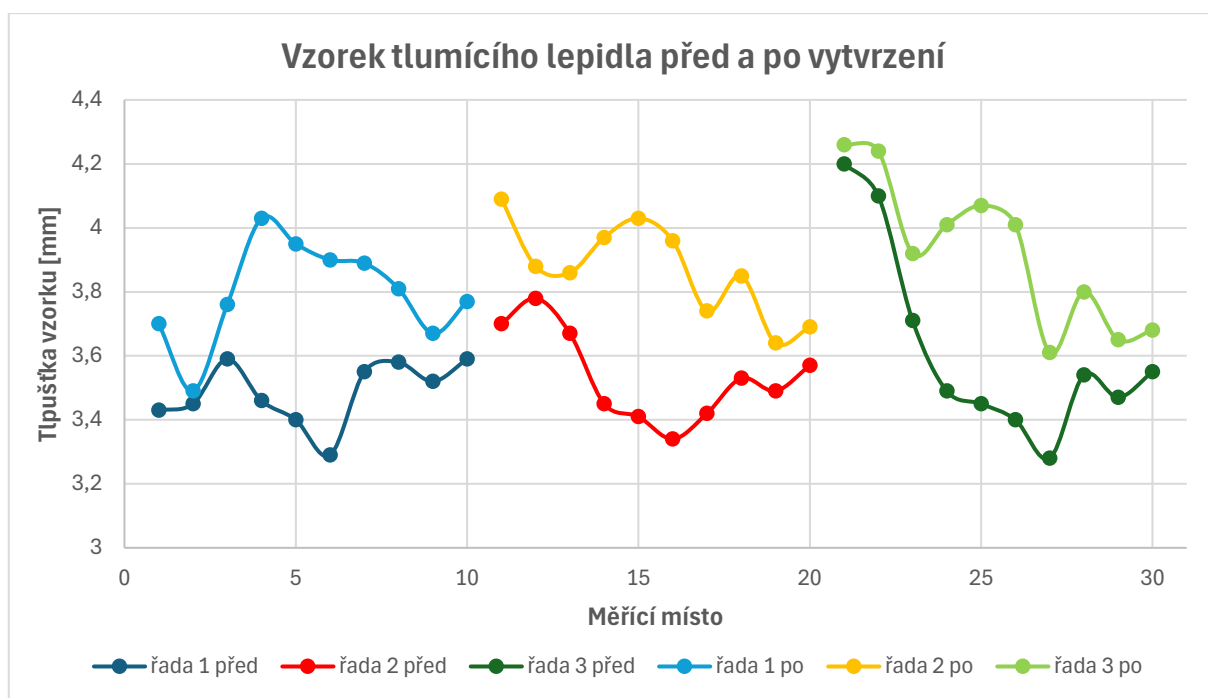
3.4.2 Vzorek s tlumícím tmelem

Naměřené tloušťky vzorku s tlumícím tmelem na jednotlivých měřicích místech jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 7 Naměřené tloušťky vzorku s tlumícím tmelem před a po vytvrzení

Tlumící tmel – měření před vytvrzením					
Řada 1		Řada 2		Řada 3	
Místo č.	tloušťka [mm]	Místo č.	tloušťka [mm]	Místo č.	tloušťka [mm]
1	3,43	11	3,70	21	4,20
2	3,45	12	3,78	22	4,10
3	3,59	13	3,67	23	3,71
4	3,46	14	3,45	24	3,49
5	3,40	15	3,41	25	3,45
6	3,29	16	3,34	26	3,40
7	3,55	17	3,42	27	3,28
8	3,58	18	3,53	28	3,54
9	3,52	19	3,49	29	3,47
10	3,59	20	3,57	30	3,55
Tlumící tmel – měření po vytvrzení					
Řada 1		Řada 2		Řada 3	
Místo č.	tloušťka [mm]	Místo č.	tloušťka [mm]	Místo č.	tloušťka [mm]
1	3,70	11	4,09	21	4,26
2	3,49	12	3,88	22	4,24
3	3,76	13	3,86	23	3,92
4	4,03	14	3,97	24	4,01
5	3,95	15	4,03	25	4,07
6	3,90	16	3,96	26	4,01
7	3,89	17	3,74	27	3,61
8	3,81	18	3,85	28	3,80
9	3,67	19	3,64	29	3,65
10	3,77	20	3,69	30	3,68

Pro lepší vizualizaci jsou naměřené hodnoty zobrazeny na následujícím grafu.



Obr. 42 Změna rozměrů vzorku s tlumícím tmelem

Před vytvrzením byl předpoklad, že dojde ke zvětšení objemu lepidla, jelikož tlumící tmel má za úkol vyplnit prostor mezi vnějším a vnitřním dílem kapoty. Předpoklad se ukázal být jako správný, jak je vidět na Obr. 35, kde jsou uvedeny tloušťky vzorku s tlumícím tmelem na jednotlivých měřicích místech v jednotlivých řadách. Opět jsou porovnávány pouze hodnoty v téže řadě. Je vidět, že všechny naměřené tloušťky po vytvrzení jsou větší než před vytvrzením.

Jak už bylo zmíněno, došlo ke zvětšení objemu tmelu. V některých místech byla expanze docela výrazná (v oblasti měřicích míst 4 až 6). V křivce, která reprezentuje řadu 3, si lze všimnout extrémní hodnoty vrstvy tmelu v měřicím místě 1. Tato skutečnost je zřejmě důsledkem nerovnoměrně nanesené vrstvy tmelu, což je vzhledem k ručnímu nanášení pochopitelné. Ve všech třech řadách došlo k největší expanzi tmelu v oblasti měřicích míst 4 až 6, tedy u nejkratší strany vzorku. Zároveň jsou to místa 4 a 6 (v rozích), kde se stýkají 2 housenky naneseného tmelu, to je také možný důvod větší expanze tmelu právě v této oblasti.

Tabulka 8 Hodnoty rozdílů tloušťky vzorku před a po vytvrzení

	Δ min [mm]	Δ max [mm]
Řada 1	0,04	0,61
Řada 2	0,10	0,62
Řada 3	0,06	0,62

V Tabulce 7 jsou uvedeny maximální a minimální rozdíly tloušťky vzorku s tlumícím tmelem před a po vytvrzení v jednotlivých řadách. Hodnoty Δ max ukazují, že v oblasti největšího zvětšení objemu tmelu vzrostla tloušťka vzorku o více než 0,5 mm.

3.4.3 Vyhodnocení experimentu se zjednodušenými vzorky

Cílem experimentu se zjednodušenými vzorky bylo zjistit, jak se bude chovat lepidlo nanesené na vzorcích materiálu před a po vytvrzení (jak bude měnit svůj objem, zda se bude smršťovat nebo naopak expandovat). Experiment byl proveden se dvěma vzorky – jeden s tlumícím tmelem a jeden s lepidlem lemovým. Lemové lepidlo bylo nanášeno strojově, tlumící tmel byl nanášen ručně z nanášecí pistole. Dále byla vymezena minimální vzdálenost mezi plechy pomocí plíšků o dané tloušťce. Po slepení plechů k sobě bylo po obvodu vzorku vyznačeno 10 měřících míst ve 3 řadách, celkem tedy 30 měřících míst. Byla měřena tloušťka vzorku před a po vytvrzení lepidel. Tloušťka byla měřena ručně digitálním úchylkoměrem.

U obou vzorků došlo vlivem vytvrzení ke změně naměřené tloušťky vzorků. Vzorek s lemovým lepidlem vykazoval malé změny objemu lepidla. Nedošlo ale pouze ke smrštění nebo expanzi lepidla, u tohoto vzorku se projeví oba možné způsoby změny objemu lepidla. Vrstva naneseného lemového lepidla byla slabá, dobře rozvrstvená a nebyla ve všech místech vzorku stejná, což mělo nejspíš vliv na malé změny objemu lepidla. Největší rozdíl tloušťky vzorku před a po vytvrzení lepidla dosahoval necelých 0,2 mm.

U vzorku s tlumícím tmelem byly patrné výraznější změny objemu tmelu. Na rozdíl od předešlého vzorku lze u vzorku s tlumícím tmelem prohlásit, že tlumící tmel vlivem vytvrzení zvětšil svůj objem, místy celkem výrazně. Největší rozdíl tloušťky vzorku před a po vytvrzení se pohyboval kolem 0,6 mm. Na takto velké změny objemu tlumícího tmelu mělo zřejmě vliv nanesení, které bylo provedeno ručně. V některých místech bylo zřejmě nanášeno větší množství tlumícího tmelu.

Závěrem lze tedy prohlásit, že na objemovou změnu lepidel měl určitý vliv i způsob a množství naneseného lepidla.

4 MKP simulace experimentu

Dalším důležitým bodem byla simulace experimentu pomocí výpočtu metodou konečných prvků (dále jen MKP). MKP simulace byly prováděny v programu Solidworks.

Cílem simulace experimentu pomocí výpočtu MKP bylo stanovit a zároveň verifikovat okrajové podmínky a vstupní parametry pro zkušební vzorky. Výsledná data budou použita pro simulaci deformování celé kapoty.

Důležitým cílem bylo dosažení objemové změny vrstvy lepidla v numerickém MKP modelu během vytvrzení lepidel. Simulovat přímo proces průchodu kapoty lakovnou (například pomocí CFD analýzy) s následnou objemovou změnou by bylo příliš náročné, v této fázi neefektivní, a navíc by tento přístup vyžadoval adekvátní model chování materiálu. V rámci této práce byl použit zjednodušený přístup pomocí teplotní analýzy a následné statické analýzy. Objemová změna vrstev lepidla a tmelu byla simulována jako teplotní dilatace pro konstantní rozdíl teplot ocelových dílů a vrstvy lepidla. Tento přístup umožňuje předepsat danou objemovou změnu lepidla (zjištěnou pomocí experimentu) a zároveň zohledňuje vliv tuhostí vrstev lepidla a tmelu a ocelových dílů na výslednou deformaci.

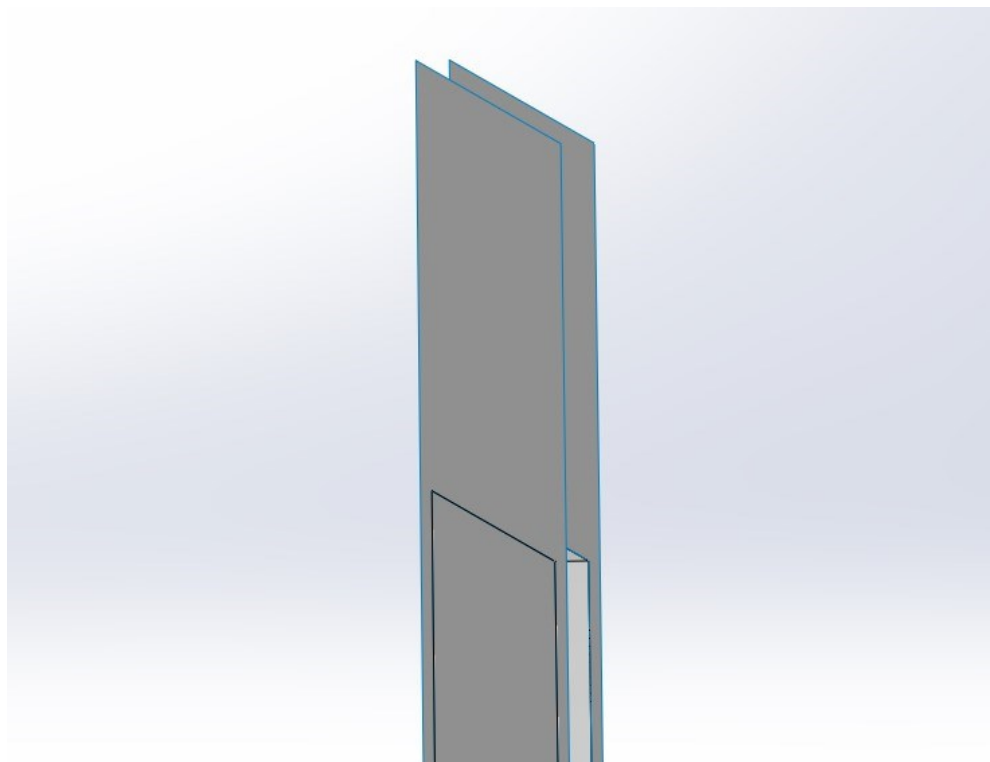
V případě zkušebních vzorků a stanovení vstupních parametrů MKP modelů se jednalo o tzv. inverzní úlohu. U tohoto typu úloh je znám počáteční a konečný stav. Hledány jsou okrajové podmínky, které způsobí změnu z počátečního stavu na stav výsledný.

Na úvod bylo nutné vytvořit modely zjednodušených vzorků v programu Solidworks. Bylo třeba vytvořit model plechu kapoty a také vrstvy naneseného lepidla. Oba modely nebyly vymodelovány jako objemové díly, ale pouze jako plošné modely. Nejdříve bylo třeba vytvořit náčrt, rozměry byly získány změřením reálných vzorků, na kterých byl proveden experiment. Následně byly modely plechů a lepidla sestaveny do sestavy.

V první fázi byla provedena teplotní analýza pro stanovení teplotního pole, které sloužilo jako zatížení pro následnou statickou analýzu a výpočet deformací. Účelem teplotního pole nebylo analyzovat změnu teplot během procesu vytvrzování v lakovně. Výsledná deformace je daná kombinací součinitele teplotní roztažnosti lepidla a tmelu a změnou teploty vrstvy lepidla a tmelu (teplota ocelových dílů je uvažována jako konstantní). Změna teploty vrstev lepidla a tmelu byla vhodně zvolena tak, aby výsledná hodnota součinitele teplotní roztažnosti měla reálnou hodnotu.

V druhé fázi byla provedena lineární elastická analýza. Zatížení bylo zadáno teplotním polem z předchozí teplotní analýzy (ocelové díly měly vždy teplotu, která odpovídala nulové deformaci). Změna teploty vrstev lepidla a tmelu způsobila jejich objemovou změnu a výsledkem byla změna geometrie vzorku (celé kapoty). Při správné kombinaci změny teploty vrstev lepidla a tmelu a součinitele teplotní roztažnosti tak výsledné změny geometrie odpovídaly změnám změřeným na reálných vzorcích. Tyto vstupní parametry lze poté použít pro analýzu celé kapoty.

Na základě výsledků uvedených v předchozí kapitole lze konstatovat, že u analyzovaných vzorků došlo ke zvýšení objemu (expanzi) vrstvy tlumícího tmelu a také ke zmenšení objemu (Smrštění) vrstvy lemového lepidla. Smrštění lepidla bylo výpočtově docíleno zápornou změnou teploty, zatímco expanze lepidla byla předepsána kladnou změnou teploty.



Obr. 43 Sestava plechů a vrstvy lepidla

Dalším krokem bylo nastavení materiálových vlastností pro oba plechy a vrstvu lepidla. Tyto hodnoty byly nezbytné pro zahájení výpočtu. Vlastnosti byly převzaty z materiálových listů a z normy VW 50065. Hodnota součinitele teplotní roztažnosti u lemového lepidla a tlumícího tmelu byly nastaveny na hodnotu $0,0005 \text{ K}^{-1}$.

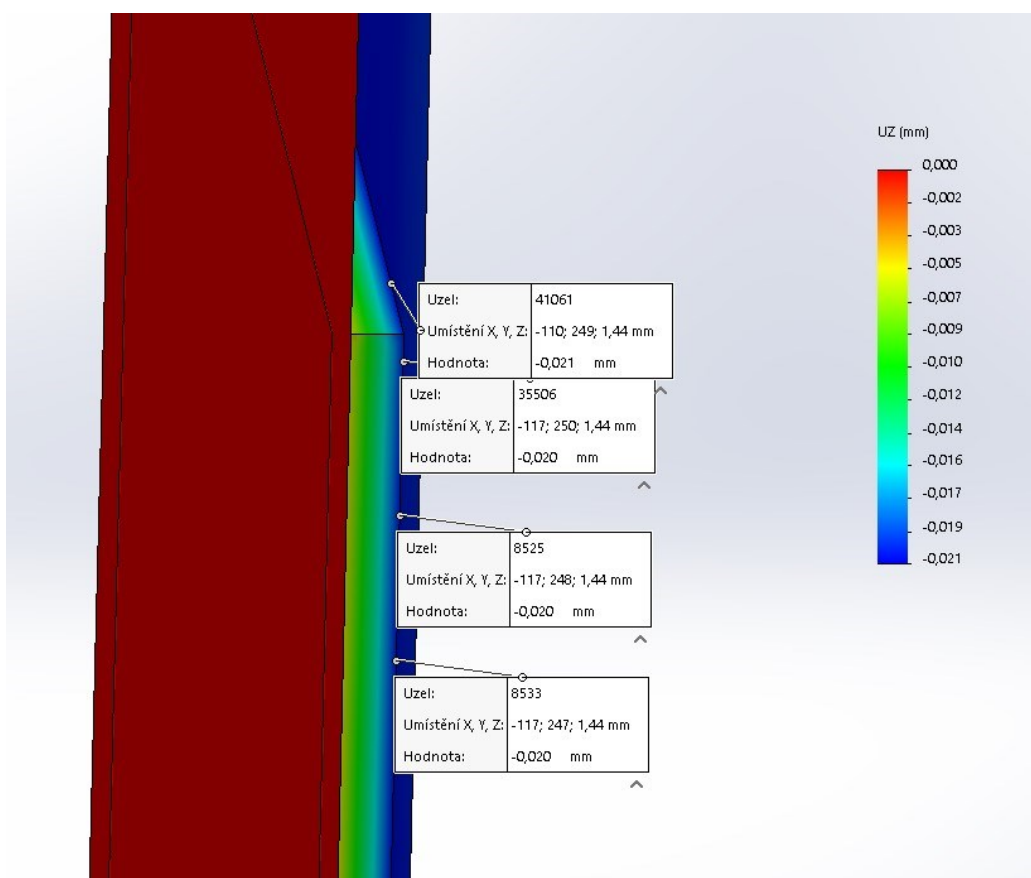
Následujícím krokem bylo nastavení teplotního ohřevu. Teplota plechů je v obou případech nastavena na $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota vrstvy lemového lepidla byla nastavena na zápornou, aby došlo ke smrštění. Teplota vrstvy tlumícího tmelu byla nastavena jako kladná, ale rozdílná od teploty plechů. Teploty byly nastaveny pouze proto, aby byl patrný rozdíl teplot plechů a vrstvy lepidla.

Výsledky teplotní analýzy byly použity jako vstupní data pro analýzu statickou. Ve statické analýze byla simulována objemová změna vrstvy lemového lepidla a tlumícího tmelu.

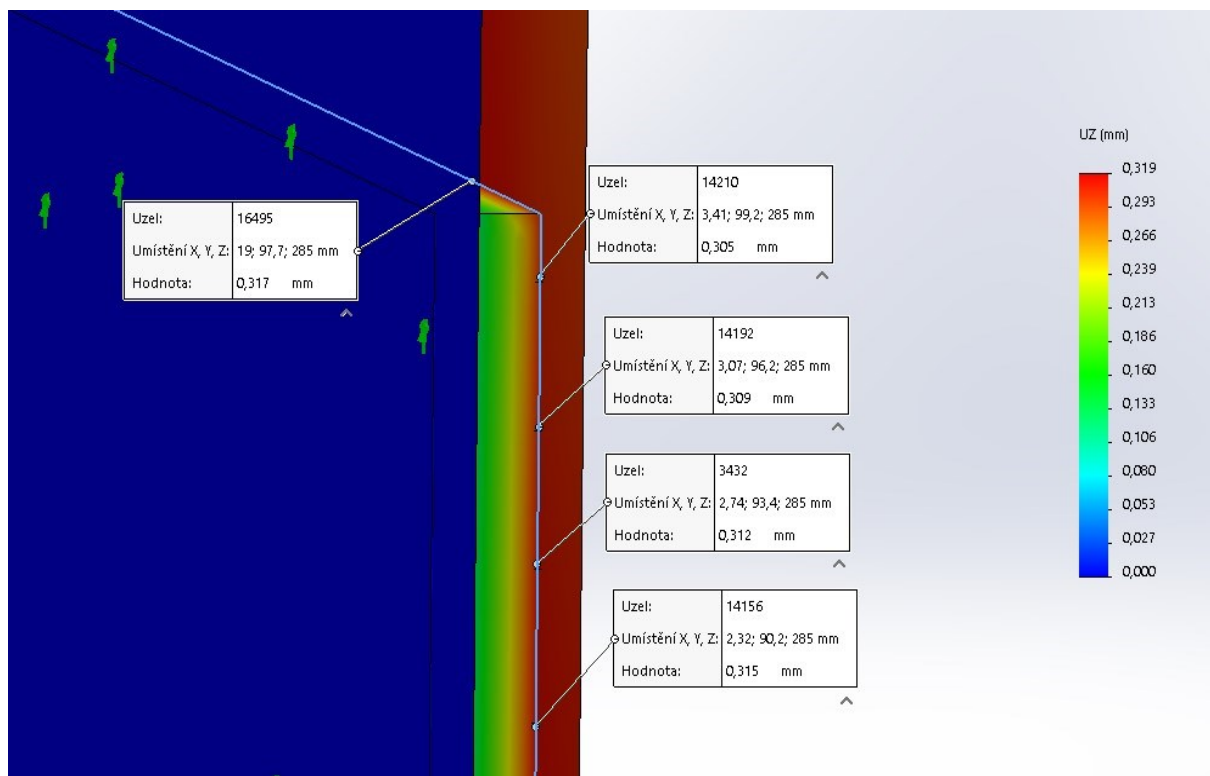
Výsledkem statické analýzy bylo posunutí vrstvy lepidla v ose Z. U modelu s lemovým lepidlem došlo ke smrštění, posunutí v ose Z tedy bude nabývat záporných hodnot. U vzorku s tlumícím tmelem došlo k expanzi, posunutí v ose Z tedy bude nabývat kladných hodnot. Cílem výpočtu bylo dosáhnout u obou vzorků stejných deformací, jaké byly naměřeny při experimentu a také zjistit hodnoty součinitele teplotní roztažnosti lepidla a tmelu.

Tabulka 9 Hodnoty součinitele teplotní roztažnosti a posunutí v ose Z

	Součinitel teplotní roztažnosti [K ⁻¹]	Posunutí v ose Z [mm]
Lemové lepidlo Elastosol M105	0,00014	-0,02
Tlumící tmel Betaguard KP03	0,00061	0,31



Obr. 44 Detail výsledku statické analýzy – lemové lepidlo



Obr. 45 Detail výsledku statické analýzy – tlumící tmel

5 Analýza provedení a umístění lepených spojů na kapotě Škoda Auto

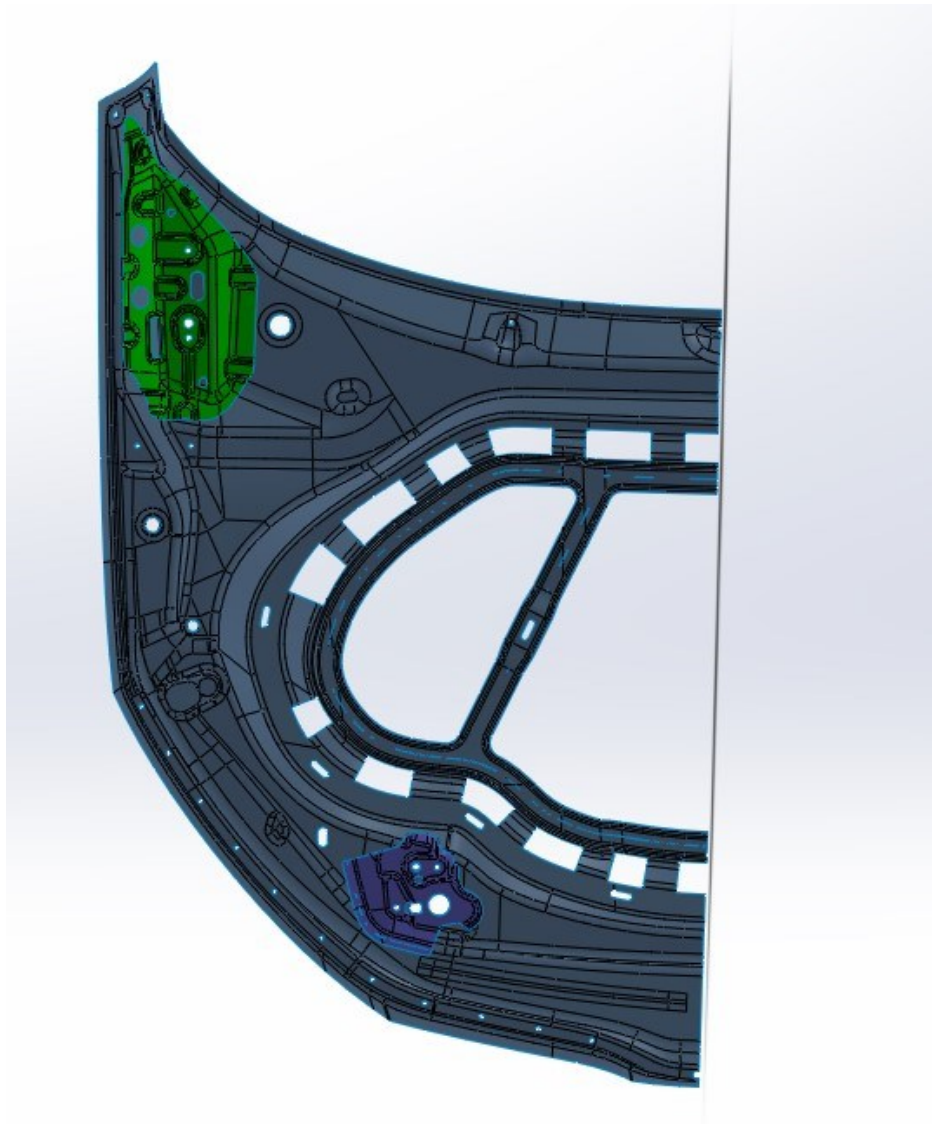
Cílem této práce bylo naznačení možného postupu při zjišťování vlivu provedení a umístění lepených spojů na kapotě Škoda Auto a provedení MKP analýz pro různé varianty lepených spojů.

Po zjištění vlastností lemového lepidla a tlumícího tmelu z provedeného zjednodušeného experimentu a následné simulace výpočtem MKP následovala práce se samotným modelem kapoty. Modely vnějšího a vnitřního plechu a výztuh poskytla společnost Škoda Auto.

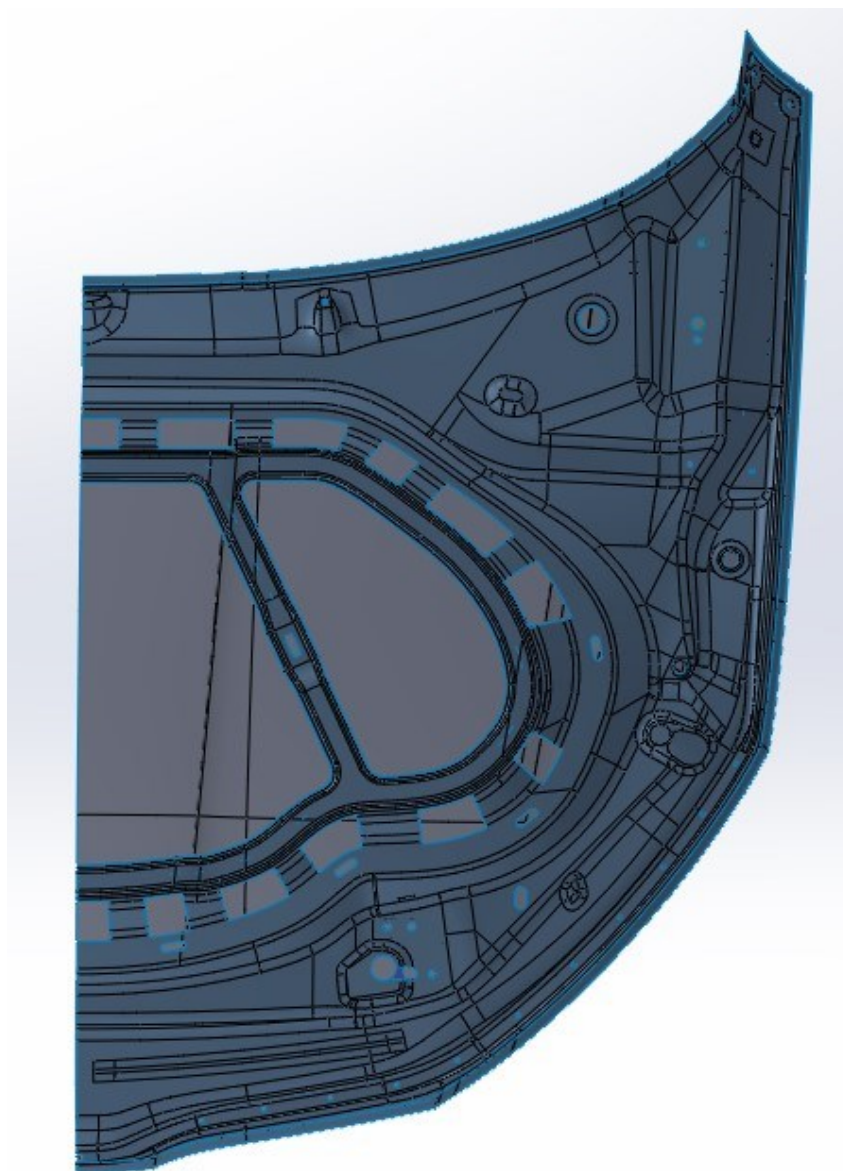
Nejdříve bylo nutné převést objemové díly na díly plošné kvůli složitosti jednotlivých komponent kapoty. Rovněž kvůli složitosti dílů a náročnosti výpočtu bylo pracováno pouze s polovičním modelem sestavy kapoty. Zbytek konstrukce byl nahrazen okrajovými podmínkami symetrie. Dále došlo k zanedbání lemového spoje mezi vnějším a vnitřním plechem kapoty, jsou spojeny pouze vrstvou lemového lepidla. Toto zjednodušení bylo provedeno z důvodu velké časové náročnosti úpravy poskytnutých modelů a pro sledovaný účel, tj. vzájemné porovnání několika variant umístění lepených spojů na výsledné deformace kapoty, budou výsledky dostačující. Lepené spoje byly stejně jako v případě MKP simulace experimentu vymodelovány jako vysunutý povrch o určité tloušťce. Lepené spoje byly vymodelovány přímo na plošných dílech. Jejich umístění bylo zvoleno tak, aby co nejvíce odpovídalo skutečnosti.

Model kapoty použitý pro výpočet lze označit jako výpočtový, jelikož přesně neodpovídá skutečné kapotě. Ve výpočtovém modelu byl zanedbán lemový spoj vnitřního a vnějšího plechu a také bodové svary VarioPicker sloužící k fixaci lemového spoje.

V modelu sestavy nebylo možné umístit poslední zbývající výztuhu, Byl zde problém s vazbami a správným umístěním výztuhy. Tato výztuha je v porovnání s ostatními výztuhami poměrně malá, proto i vrstva lepidla na této výztuze měla malé rozměry.

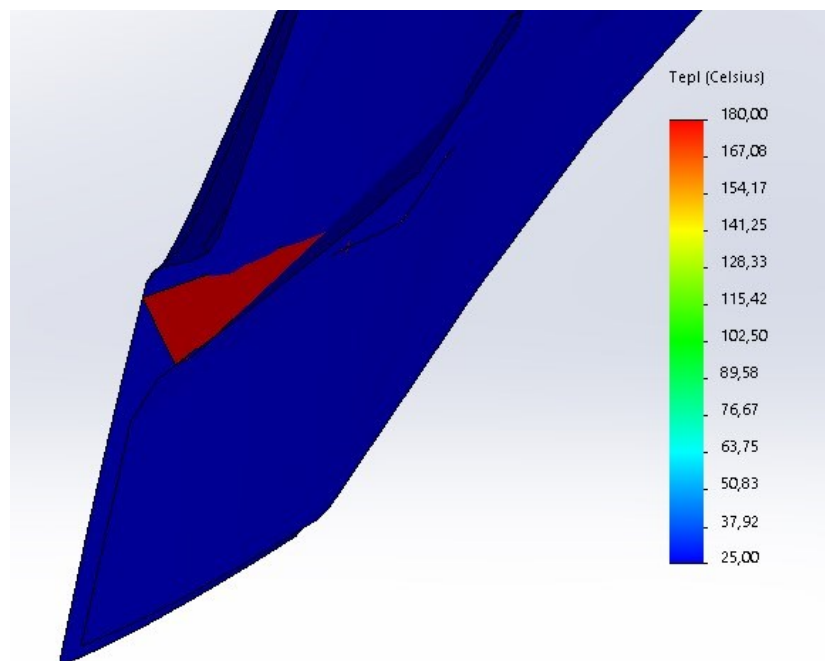


Obr. 46 Modely vnitřního plechu a výztuh v sestavě



Obr. 47 Sestava polovičního modelu kapoty

Další postup byl totožný s postupem při MKP simulaci experimentu se zjednodušenými vzorky. Vnějšímu a vnitřnímu plechu a rovněž výztuhám byla nastavena teplota 25 °C, vrstvám lepidla byla nastavena teplota 180 °C. Výsledkem bylo docílení rozdílné teploty plechových dílů a vrstev lepidla. Rozdíl byl pouze v kontaktu vrstvy lepidla s výztuhami a plechy. Bylo nutné nastavit jejich spojení jako pevné, aby nedošlo k posunu vrstev lepidla mimo model kapoty. Výsledky teplotní analýzy dále sloužily jako vstupní data pro následnou statickou analýzu.



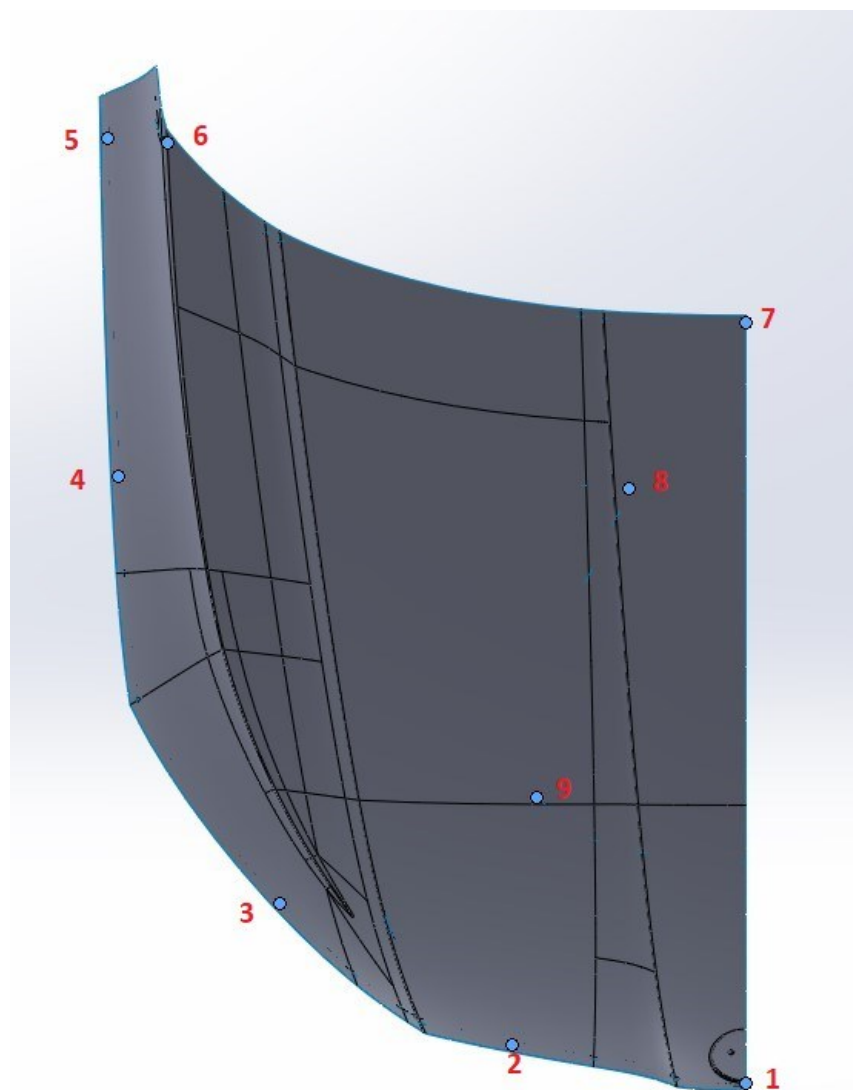
Obr. 48 Výsledek teplotní analýzy – detail vrstvy lepidla

Statická analýza vycházela z výsledků teplotní analýzy. Ve statické analýze byl zkoumán vliv objemové roztažnosti lemového lepidla a tlumícího tmele na geometrické rozměry kapoty. Výsledkem statické analýzy byl průběh deformace modelu kapoty. Bylo provedeno několik simulací s různými variantami provedení lepených spojů.

Varianta provedení lepených spojů č. 1 svým umístěním přibližně odpovídala lepeným spojům na skutečné kapotě (kromě nejmenší výztuhy, která se v modelu nevyskytovala). Ve variantě provedení lepených spojů č. 2 byla odstraněna část lepených spojů v prostřední části kapoty s tlumícím tmelem a také lepený spoj na spodní výztuze kapoty, rovněž s tlumícím tmelem. Varianta provedení lepených spojů č. 3 pracovala s chybějící částí lepených spojů s lemovým lepidlem, konkrétně ve spodní části pod logem.

Všechny varianty provedení lepených spojů byly provedeny pro tři způsoby uchycení modelu kapoty. V prvním případě se jednalo o uchycení kapoty v místě řezu z důvodů použití okrajových podmínek symetrie pro práci s polovičním modelem kapoty, Kromě toho byl model uchycen také za vnitřní plech v místech, kde je nanášeno lemové lepidlo a tlumící tmel v prostřední části kapoty. Ve druhém případě byl model uchycen pouze v místě řezu. V posledním případě byl model uchycen v místě řezu a také v místech, kde se nacházejí výztuhy. Tato varianta zhruba koresponduje s tím, jak je kapota podepřena u reálného automobilu (v místech u pantů v horní části a ve spodní části u zámku).

Byly zaznamenány konkrétní hodnoty deformace v 9 měřících bodech (viz Obr. 49). Body 1 až 7 svým umístěním přibližně odpovídaly poloze fixačních svarů VarioPicker na reálné kapotě. Body 8 a 9 ukazují hodnoty deformace v prostřední části kapoty.



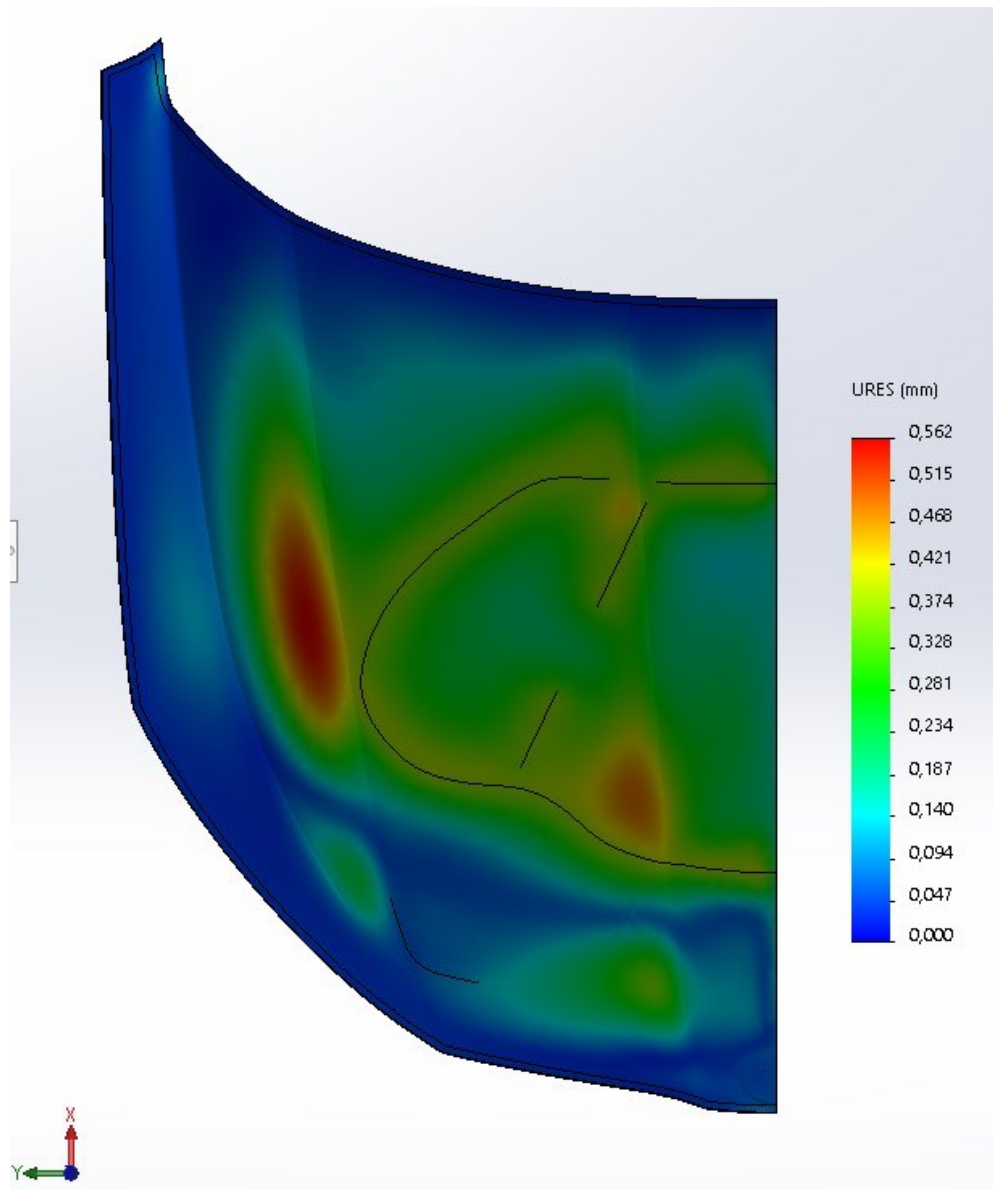
Obr. 49 Body pro konkrétní hodnoty deformace

Dále zde budou uvedeny snímky průběhu výsledné deformace kapoty pouze pro variantu provedení lepených spojů č. 1 pro všechny 3 způsoby uchycení modelu kapoty. Snímky výsledné deformace pro variantu provedení lepených spojů č. 2 a č. 3 budou uvedeny v příloze. Dále budou uvedeny tabulky s hodnotami deformace v jednotlivých měřících místech pro každou variantu provedení lepených spojů a každou variantu uchycení modelu kapoty.

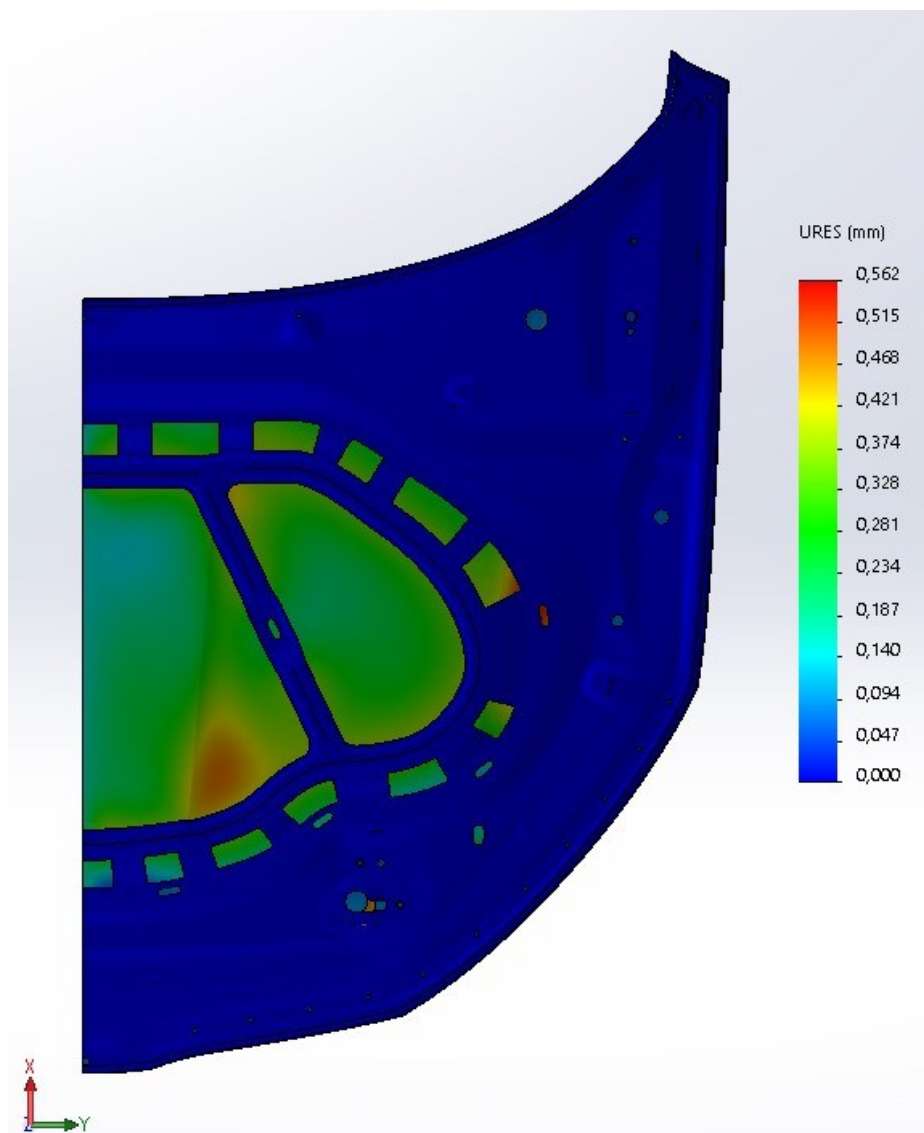
5.1 Varianta provedení lepených spojů č. 1

Varianta provedení lepených spojů č. 1 svým umístěním přibližně odpovídala lepeným spojům na skutečné kapotě (kromě nejmenší výztuhy, která se v modelu nevyskytovala).

5.1.1 Model kapoty uchycen v místě řezu a v místě výskytu tlumícího tmelu a lemového lepidla na vnitřním plechu



Obr. 50 Varianta č. 1 – výsledná deformace kapoty (horní pohled)

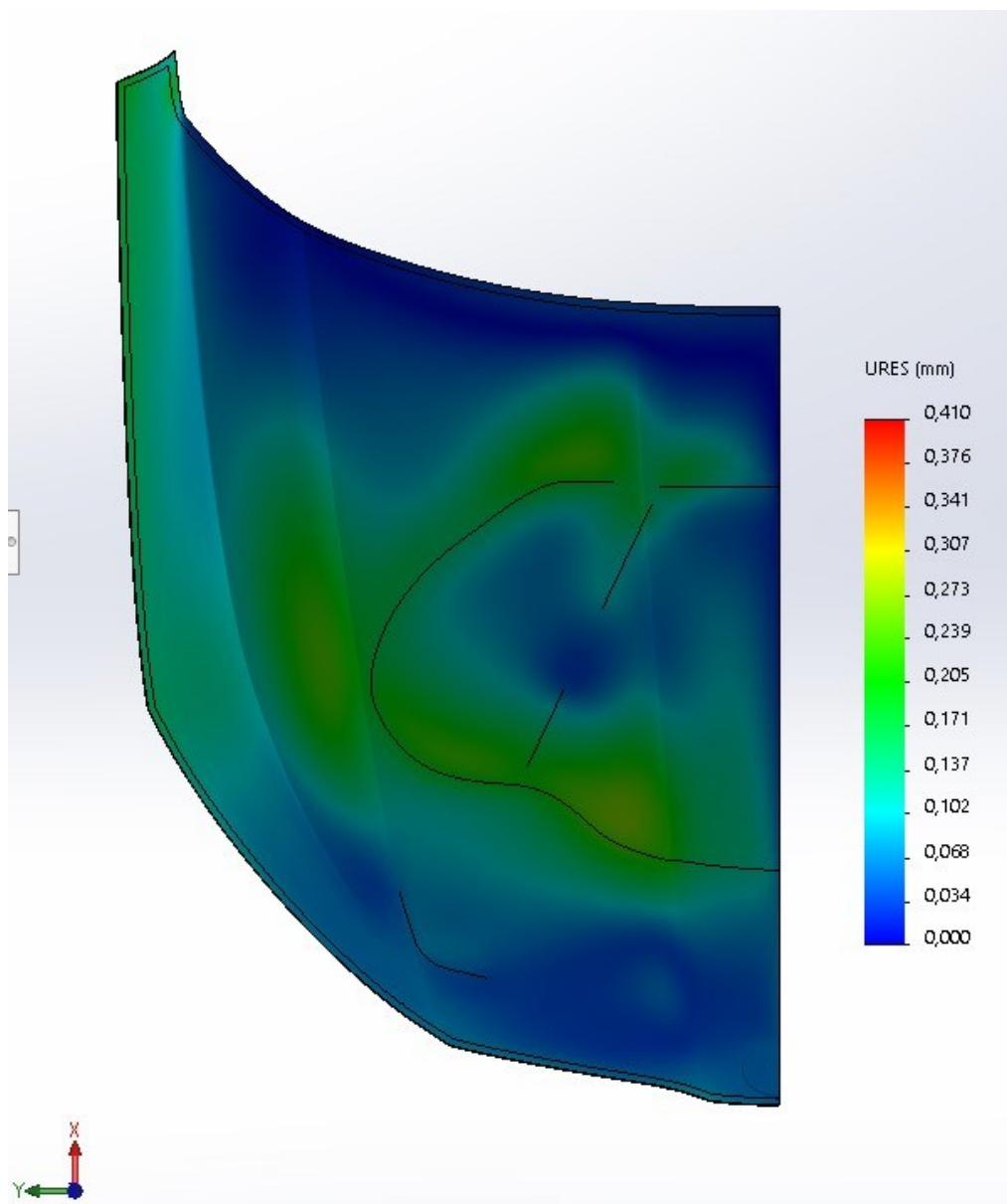


Obr. 51 Varianta č. 1 – výsledná deformace kapoty (spodní pohled)

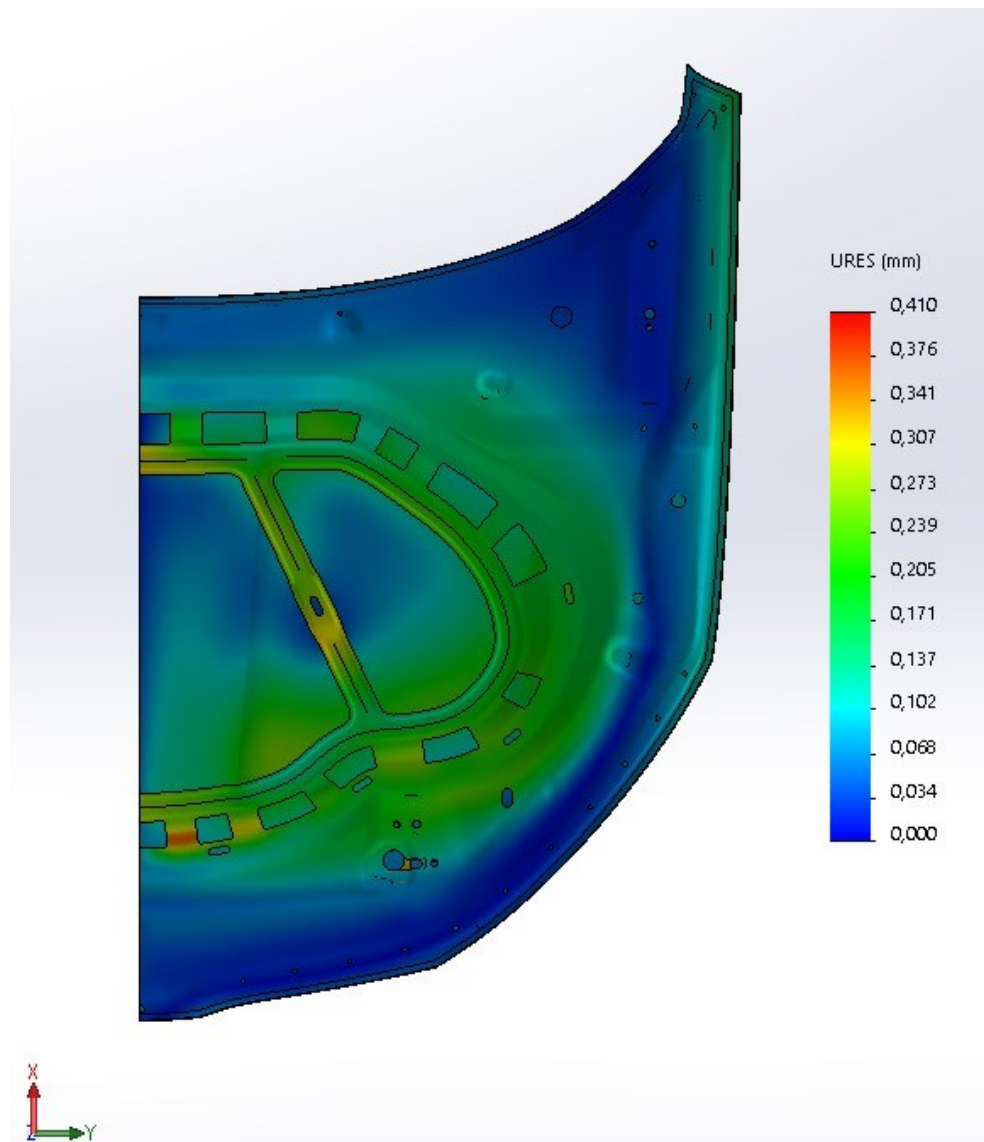
Tabulka 10 Deformace ve vybraných místech

Bod č.	Deformace [mm]
1	0,071
2	0,035
3	0,037
4	0,031
5	0,000
6	0,029
7	0,037
8	0,349
9	0,379

5.1.2 Model kapoty uchycen pouze v místě řezu



Obr. 52 Varianta č. 1 – výsledná deformace kapoty (horní pohled)

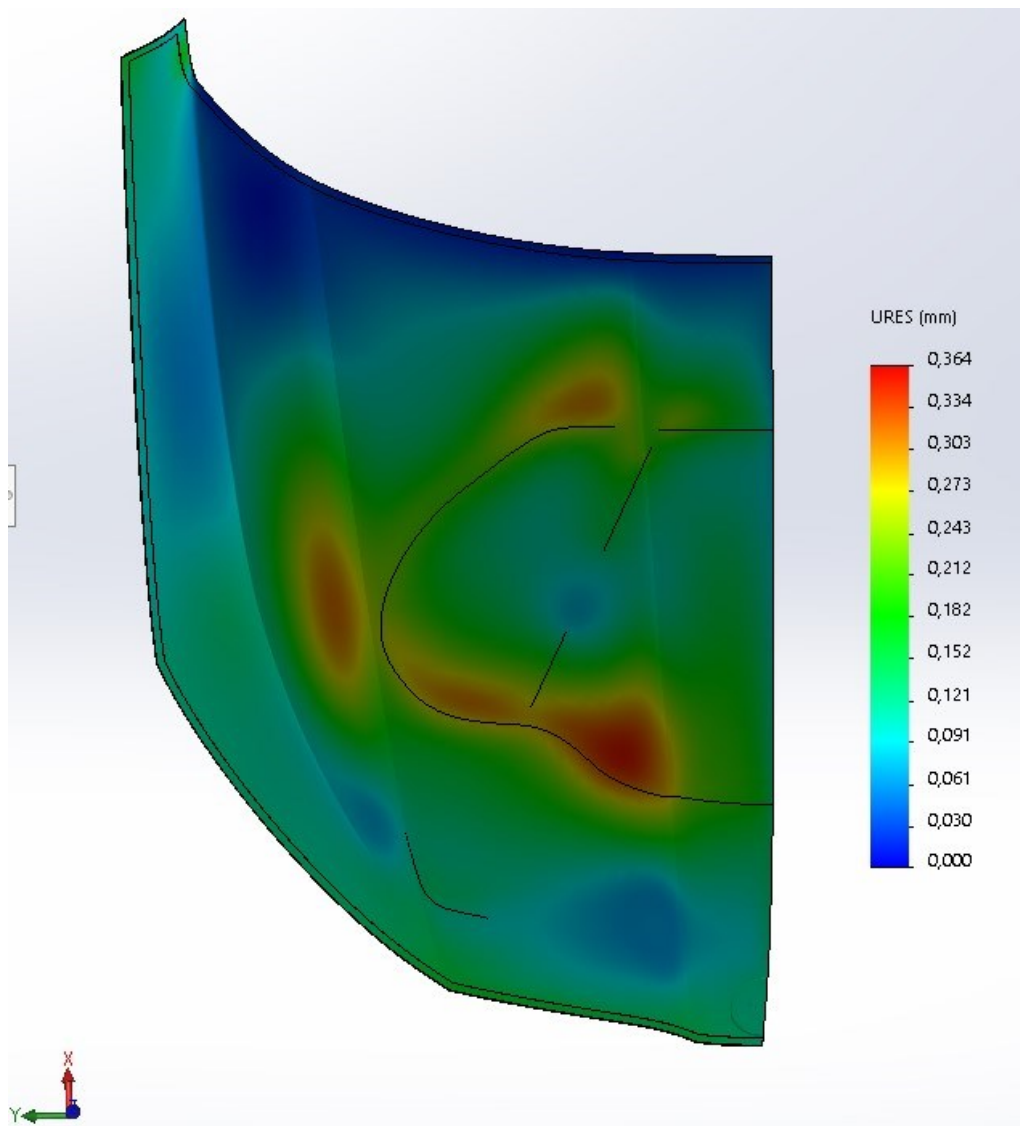


Obr. 53 Varianta č. 1 – výsledná deformace kapoty (spodní pohled)

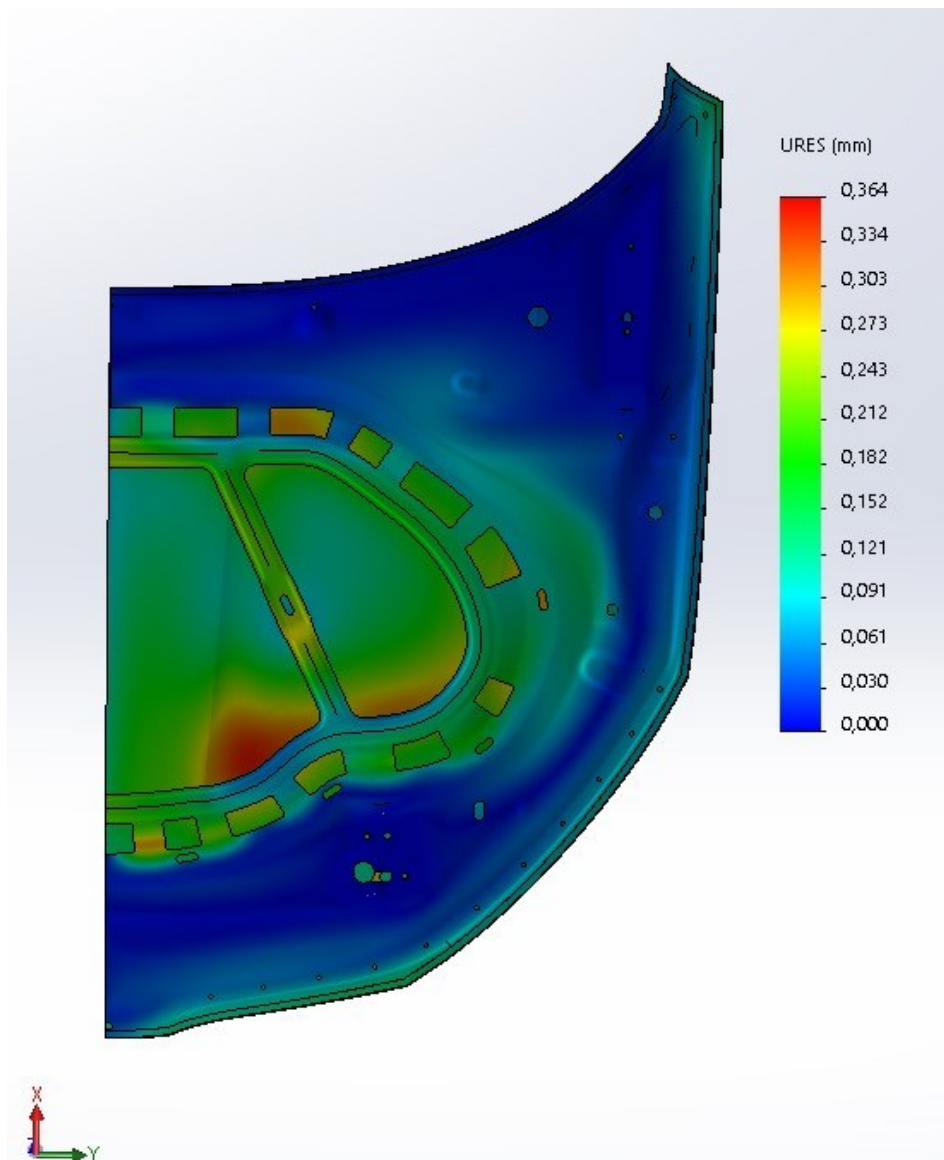
Tabulka 11 Deformace ve vybraných místech

Bod č.	Deformace [mm]
1	0,062
2	0,067
3	0,083
4	0,149
5	0,142
6	0,063
7	0,024
8	0,165
9	0,222

5.1.3 Model kapoty uchycen v místě řezu a v místě výztuh



Obr. 54 Varianta č. 1 – výsledná deformace kapoty (horní pohled)



Obr. 55 Varianta č. 1 – výsledná deformace kapoty (spodní pohled)

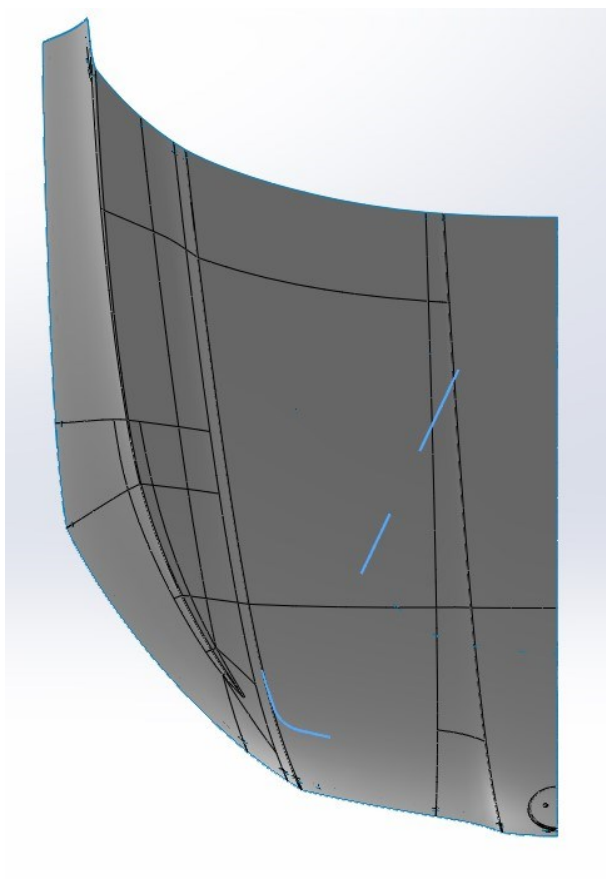
Tabulka 12 Deformace ve vybraných místech

Bod č.	Deformace [mm]
1	0,129
2	0,160
3	0,096
4	0,058
5	0,097
6	0,044
7	0,045
8	0,230
9	0,321

Následující tabulky uvádějí hodnoty deformace ve vybraných místech pro varianty provedení lepených spojů č. 2 a č. 3.

5.2 Varianta provedení lepených spojů č. 2

Ve variantě provedení lepených spojů č. 2 byla odstraněna část lepených spojů v prostřední části kapoty s tlumícím tmelem a také lepený spoj na spodní výztuze kapoty, rovněž s tlumícím tmelem. Na Obr. 56 jsou znázorněny odebrané lepené spoje.



Obr. 56 Varianta č. 2 – odebrané lepené spoje

Tabulka 13 Deformace ve vybraných místech – uchycení v řezu a na vnitřním plechu

Bod č.	Deformace [mm]
1	0,071
2	0,035
3	0,038
4	0,031
5	0,000
6	0,029
7	0,040
8	0,334
9	0,379

Tabulka 14 Deformace ve vybraných místech – uchycení pouze v místě řezu

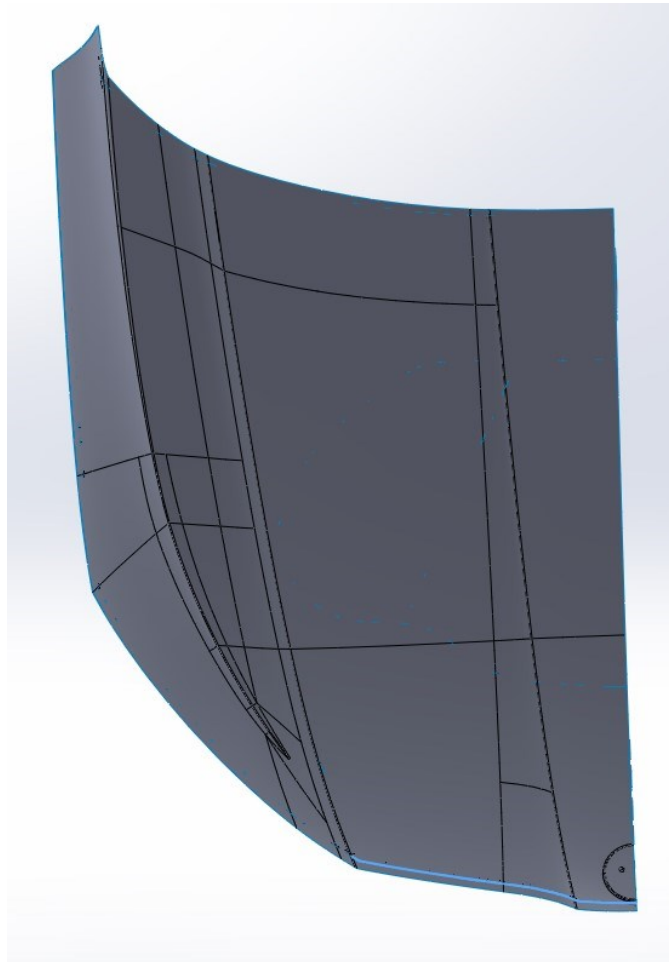
Bod č.	Deformace [mm]
1	0,050
2	0,053
3	0,065
4	0,131
5	0,119
6	0,039
7	0,026
8	0,121
9	0,211

Tabulka 15 Deformace ve vybraných místech – uchycení v řezu a v místě výztuh

Bod č.	Deformace [mm]
1	0,132
2	0,169
3	0,129
4	0,071
5	0,093
6	0,043
7	0,054
8	0,200
9	0,331

5.3 Varianta provedení lepených spojů č. 3

Varianta provedení lepených spojů č. 3 pracovala s chybějící částí lepených spojů s lemovým lepidlem, konkrétně ve spodní části pod logem. Na Obr. 57 jsou znázorněny odebrané lepené spoje.



Obr. 57 Varianta č. 3 – odebrané lepené spoje

Tabulka 16 Deformace ve vybraných místech – uchycení v řezu a na vnitřním plechu

Bod č.	Deformace [mm]
1	0,220
2	0,000
3	0,037
4	0,008
5	0,000
6	0,029
7	0,040
8	0,320
9	0,379

Tabulka 17 Deformace ve vybraných místech – uchycení pouze v místě řezu

Bod č.	Deformace [mm]
1	0,091
2	0,173
3	0,096
4	0,104
5	0,120
6	0,058
7	0,001
8	0,187
9	0,212

Tabulka 18 Deformace ve vybraných místech – uchycení v řezu a v místě výztuh

Bod č.	Deformace [mm]
1	0,193
2	0,018
3	0,185
4	0,103
5	0,083
6	0,037
7	0,078
8	0,264
9	0,339

6 Vyhodnocení výsledků a návrh řešení

MKP simulace experimentu se zjednodušenými vzorky sloužila ke zjištění hodnoty součinitele teplotní roztažnosti lemového lepidla a tlumícího tmelu. Cílem bylo získat hodnoty součinitele pomocí MKP simulace tak, aby bylo dosaženo stejné objemové změny lemového lepidla a tlumícího tmelu jako při zjednodušeném experimentu. Hodnoty byly úspěšně získány a výsledky posloužily pro provedení další MKP analýzy.

Následovala analýza provedení a umístění lepených spojů na kapotě Škoda Auto. Tato analýza byla provedena na modelu kapoty, který poskytla společnost Škoda Auto. Bylo nutné model upravit a částečně zjednodušit pro potřeby MKP simulace a následně vymodelovat vrstvy lepených spojů, které spojují jednotlivé komponenty kapoty. V modelu byl zanedbán lemový spoj vnitřního a vnějšího plechu a také pojistné svary VarioPicker. Vymodelované lepené spoje svým umístěním přibližně odpovídaly skutečnosti.

Výsledkem této MKP simulace bylo zjištění deformace modelu kapoty (viz předchozí kapitola). Snímky ukázaly absolutní deformaci (URES), proto je deformace pouze kladná, nemůže nabývat záporných hodnot. V příloze je uveden také příklad deformace ve směru osy Z pro důkaz toho, že došlo také k záporným deformacím.

Tyto výsledky lze porovnat s rozdílovými skeny Škoda Auto, které zobrazují odchylku rozměrů kapoty v místech fixačních VarioPicker svarů oproti předepsané hodnotě.

6.1 Varianta provedení č. 1 – vyhodnocení

V případě uchycení modelu kapoty v místě řezu a také za vnitřní plech v místech výskytu tlumícího tmelu a lemového lepidla byla maximální hodnota výsledné deformace 0,562 mm. Tato deformace se vyskytovala pouze ve dvou menších oblastech okolo tlumícího tmelu. Po obvodu kapoty, kde se vyskytovalo lemové lepidlo, bylo dosaženo malé výsledné deformace v rozsahu několika setin mm. V prostřední části kapoty okolo tlumícího tmelu bylo dosaženo deformace v rozmezí 0,2 až 0,4 mm. U vnitřního plechu nedošlo téměř k žádné deformaci, vzhledem ke způsobu uchycení modelu.

V případě uchycení modelu pouze v místě řezu bylo dosaženo menší maximální deformace než v předchozím případě. Kromě vnějšího plechu se mohl deformovat také vnitřní plech. Nejvíce se opět deformovala prostřední část kapoty jak na vnitřním, tak i vnějším plechu. Kromě toho zde došlo také k výraznější deformaci v místě lemového lepidla, konkrétně na pravém okraji kapoty.

V případě uchycení modelu v místě řezu a také v místě výztuh se na rozdíl od předchozích případů výrazněji deformoval téměř celý vnější plech kromě jeho horní části. Maximální deformace byla ovšem menší než v předchozích případech, bylo jí dosaženo v prostřední části vnějšího plechu kolem tlumícího tmelu.

6.2 Varianta provedení č. 2 – vyhodnocení

V případě uchycení modelu v místě řezu a zespodu v místě výskytu lemového lepidla a tlumícího tmelu je obraz výsledné deformace velmi podobný jako u provedení lepených spojů č.1 u stejného způsobu uchycení modelu. V místech vynechané části spoje s tlumícím tmelem došlo k menší deformaci. Jinak je ovšem průběh velmi podobný, maximální hodnota deformace se zmenšila pouze o 0,014 mm.

Podobná situace nastala také u uchycení modelu pouze v místě řezu. Maximální deformace se oproti variantě lepených spojů č. 1 zmenšila. Nejvíce se opět deformovala prostřední část vnitřního i vnějšího plechu kapoty.

Ani v případě uchycení v místě řezu a v místě výztuh se deformace oproti variantě lepených spojů č. 1 příliš nelišila. Maximální deformace se zvětšila pouze o 0,005 mm. Celkově lze tedy prohlásit, že odebrané části lepených spojů (část tlumícího tmelu v prostřední části a v místě spodní výztuhy) neměli zásadní vliv na změnu velikosti deformace kapoty.

6.3 Varianta provedení č. 3 – vyhodnocení

V této variantě byla odebrána část spoje s lemovým lepidlem ve spodní části kapoty pod logem. V případě uchycení v místě řezu a zespodu v místech lemového lepidla a tlumícího tmelu se maximální deformace zvětšila skoro dvojnásobně na 0,945 mm a vyskytovala se právě v místě odebrané části lemového lepidla. Ve zbylé části lemu se kapota nijak výrazně nedeformovala. Výrazněji se opět deformovala prostřední část vnějšího plechu, vnitřní plech se vzhledem ke způsobu uchycení nijak nedeformoval.

V případě uchycení pouze v místě řezu byla maximální hodnota deformace 0,415 mm. Situace byla podobná jako u předchozích variant lepených spojů. Nejvíce se opět deformovala prostřední část vnějšího a vnitřního plechu a také pravý okraj kapoty s lemovým lepidlem. Zde se k tomu ještě přidala větší deformace v místě odebrané části spoje s lemovým lepidlem.

V případě uchycení modelu v místě řezu a v místě výztuh došlo oproti předchozím variantám provedení lepených spojů ke zvětšení deformace zhruba o 0,02 mm. Jinak je ale průběh deformace podobný. Opět se deformoval téměř celý vnější plech, vnitřní plech se deformoval pouze v prostřední části. K největší deformaci došlo na vnějším plechu v místech kolem tlumícího tmelu a také ve spodní části v místě vynechaného spoje s lemovým lepidlem.

Tato varianta provedení lepených spojů měla výraznější vliv na velikost deformace kapoty než varianta č. 2. Deformace se v případě uchycení v místě řezu a zespodu v místě lemového lepidla a tlumícího tmelu zvětšila téměř dvojnásobně.

6.4 Návrh řešení

Výsledky této diplomové práce mohou sloužit jako podklad pro další vnitřní diskusi mezi jednotlivými týmy v rámci společnosti Škoda Auto. Vyslovení závěrů ve smyslu tato varianta vykazuje nejlepší výsledky je komplexnější problém, který zahrnuje vzájemnou spolupráci dotyčných oddělení v rámci Škoda Auto a přesahuje rámec této diplomové práce.

7 Závěr

7.1 Shrnutí obsahu diplomové práce

Tato diplomová práce se zabývala problematikou změny geometrických rozměrů kapoty Škoda Auto v závislosti na provedení a umístění lepených spojů. V teoretické části byla provedena rešerše současného použití a provedení svarových a lepených spojů v automobilovém průmyslu. Byly popsány nejpoužívanější metody svařování a lepení včetně konkrétních příkladů ze společnosti Škoda Auto v Kvasinách.

V praktické části byl nejdříve proveden experiment se zjednodušenými vzorky materiálu a také lemového lepidla a tlumícího tmelu. Cílem bylo nalézt optimální kombinaci vstupních parametrů MKP modelů pro simulaci objemových změn vrstvy lepidla a tmelu během procesu vytvrzování v lakovně.

Po experimentu byla provedena simulace experimentu. Cílem simulace experimentu pomocí výpočtu MKP bylo stanovit a zároveň verifikovat okrajové podmínky a vstupní parametry pro zkušební vzorky. Výsledná data byla použita pro simulaci deformování celé kapoty. Model kapoty použitý pro výpočet lze označit jako výpočtový, jelikož přesně neodpovídá skutečné kapotě. Ve výpočtovém modelu byl zanedbán lemový spoj vnitřního a vnějšího plechu a také bodové svary VarioPicker sloužící k fixaci lemového spoje. Také byla zanedbána nejmenší výztuha kapoty z důvodu nemožnosti správného umístění v modelu kapoty. Byly provedeny 3 varianty provedení lepených spojů na kapotě pro 3 způsoby uchycení výpočtového modelu. Výsledkem byla deformace kapoty, k tomu byly ještě zaznamenány konkrétní hodnoty deformace na 9 měřících místech.

7.2 Experiment se zjednodušenými vzorky

Pro potřeby experimentu byly vyříznuty dva zkušební vzorky z vnějších ocelových dílů kapoty. Na první zkušební vzorek bylo strojově nanášeno lemové lepidlo. Na druhý vzorek byl ručně nanášen tlumící tmel. Na obou zkušebních vzorcích byly vyznačeny měřící body ve třech řadách, na kterých byla změřena tloušťka zkušebního vzorku před a také po vytvrzení lepidla a tmelu.

Cílem bylo nalézt optimální kombinaci vstupních parametrů MKP modelů pro simulaci objemových změn vrstvy lepidla a tmelu během procesu vytvrzování v lakovně. Ze změny geometrie (deformace) zkušebních vzorků před a po vytvrzení byla stanovena objemová změna lepidla a tmelu. U zkušebního vzorku s lemovým lepidlem došlo vlivem vytvrzení ke smrštění lepidla. U zkušebního vzorku s tlumícím tmelem došlo vlivem vytvrzení k expanzi tmelu. Data získaná z experimentu poté posloužila pro simulaci experimentu v programu Solidworks.

7.3 Uplatnění výsledků v praxi

Výsledky diplomové práce, tedy různé průběhy deformace kapoty pro různé způsoby provedení lepených spojů by bylo možné ověřit také na reálné kapotě. Bylo by ovšem potřeba přeprogramovat parametry strojového nanášení lemového lepidla a tlumícího tmelu, aby bylo možné vynechat část lepených spojů na kapotě.

Jelikož byly měřící body pro změření konkrétní deformace kapoty zvoleny tak, aby svým umístěním odpovídaly poloze fixačních VarioPicker svarů, bylo by možné také provést měření a z rozdílových skenů kapoty stanovit reálné deformace na těchto místech.

7.4 Cíle budoucího výzkumu

Tato diplomová práce může být odrazovým můstkem pro další výzkum této problematiky. Dalším postupem výzkumu by mohla být úprava numerického MKP modelu kapoty tak, aby co nejvíce odpovídal reálné kapotě. To by zahrnovalo vytvoření lemového spoje pro spojení vnitřního a vnějšího ocelového dílu, dále také přidání poslední chybějící výztuhy do numerického modelu kapoty. V neposlední řadě by bylo možné také simulovat fixační VarioPicker svary, které byly při numerických výpočtech v této práci také zanedbány. Kvůli časové náročnosti bylo pracováno pouze s polovičním modelem kapoty a zbytek konstrukce byl nahrazen okrajovými podmínkami symetrie. V dalším výzkumu by tedy mohlo být pracováno s celým numerickým modelem kapoty. Nelze totiž v této fázi bezpečně prohlásit, že by se kapota deformovala zcela symetricky.

Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] Vše o svaření a svařování. *Svářecíkukla.cz* [online]. [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.svarecikukla.cz/blog/svarovani-svareni-vse-o-svareni/>
- [2] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [3] *Svařování, pájení* [online]. [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10074099-Struktura-svaru-vznika-teplotne-ovlivnena-oblast-zmena-vlastnosti.html>
- [4] VÁVRA, Zbyněk. *Problematika svařování termoplastů ultrazvukem* [online]. 2019 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/45299/v%C3%A1vra_2019_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [5] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
- [6] MESSER. *MIG/MAG svařování* [online]. [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.messer.cz/mig/mag-svarovani>
- [7] *ARCHIVES OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING*. 2010. ISSN 1644-9665.
- [8] PLÍVA, L.: *Odporové svařování v praxi*. 2. vydání Praha, SNTL, 1963.
- [9] SCHINKMANN. *Bodové svařování* [online]. [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/bodove-svarovani>
- [10] PLÍVA, Ladislav. *Odporové svařování*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975.
- [11] KREJBICH, Michal. *Monitorování vybraných parametrů svařovacího procesu a kvalita odporových bodových svarů*. [online]. 2009 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/server/api/core/bitstreams/b8fa7177-de3f-4405-87f3-ff2817ea6722/content>. Technická univerzita v Liberci.
- [12] LAPŠANSKÁ, Hana. *Laserové technologie v praxi* [online]. [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://adoc.pub/laserove-technologie-v-praxi.html>
- [13] Škoda Auto Interní dokumentace, 2023
- [14] *Lepení ve výrobě karoserie* [online]. [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/lepeni-ve-vyrobe-karoserie>
- [15] *KUKA ready2_spot* [online]. In: KUKA. [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%beby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/ready2_use/kuka-ready2_spot

- [16] CHRÁŠŤANSKÝ, Lukáš. *Metodika mechanické fixace lemových spojů pro zajištění rozměrové stability během výrobních procesů* [online]. 2021 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/98855/F2-D-2021-Chrastansky-Lukas-Disertacni%20prace%20-%20Lukas%20Chrastansky.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Disertační práce. ČVUT, Fakulta strojní.
- [17] HEJKRLÍK, Lukáš. *Opatření proti změnám tvaru bočních dveří ve výrobním procesu osobního vozidla* [online]. 2020 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/90067/F2-DP-2020-Hejkrlik-Lukas-Opatreni%20proti%20zmenam%20tvaru%20bocnich%20dveri%20ve%20vyrobnim%20procesu%20osobniho%20vozidla.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta strojní.
- [18] FRONIUS. [online]. [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/hledat?searchedBU=Perfect%20Welding#!/searchconfig/%7B%22searchword%22%3A%22cold%20metal%20transfer%22%2C%22dateStart%22%3Anull%2C%22dateEnd%22%3Anull%2C%22countryPath%22%3A%22%2Fsitecore%2Fcontent%2FCzech%20Republic%22%2C%22language%22%3A%22cs-CZ%22%2C%22token%22%3A%22v1e9t2fnn5wqu27ambrrd%22%2C%22activeDepartment%22%3Anull%2C%22initialSearch%22%3Atrue%7D>
- [19] MIG pájení pozinkovaných autokarosářských dílů. *Automig* [online]. [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://automig.cz/o-svarovani/metody/mig-pajeni-mig-brazing/>
- [20] KUKA. *Laserové pájení* [online]. [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/procesn%C3%AD-technologie/laserov%C3%A9-p%C3%A1jen%C3%AD>
- [21] DOUBEK, Pavel a KOLNEROVÁ, Michaela. *Základy technologie lepení karosářských výlisků*. Liberec: Technická univerzita, 2014. ISBN 978-80-7494-170-2.
- [22] ŠULC, Petr. *Lepené spoje a jejich zkoušení v podmínkách dynamického zatěžování*. Online, Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2019. Dostupné z: <https://dk.upce.cz/handle/10195/73728>. [cit. 2024-05-02].
- [23] *Rozdíl mezi galvanickým a žárovým zinkováním*. Online. EUROMETAL CHOTĚBOŘ. Dostupné z: <https://www.eurometal.cz/magazin/rozdil-mezi-zarovym-a-galvanickym-zinkovanim-detail-60>. [cit. 2024-05-02].
- [24] HOLEŠ, Daniel. *Rozbor vlivu povrchových úprav na kvalitu spojů při odporovém bodovém svařování*. Online, Diplomová práce. ČVUT, Fakulta strojní, 2020. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/89567/F2-DP-2020-Holes-Daniel-Bc.%20Daniel%20Holes%20DP%20-%20Rozbor%20vlivu%20povrchovych%20uprav%20na%20kvalitu%20spoju%20pri%20odporovem%20bodovem%20svarovani.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. [cit. 2024-05-02].

- [25] ARCELOR MITTAL. *Ultragal*. Online. Dostupné z: <https://automotive.arcelormittal.com/products/flat/coatings/ultragal>. [cit. 2024-05-02].
- [26] VOLKSWAGEN. VW 50065, *Flacherzeugnisse aus Stahl zur Kaltumformung*. 2019.
- [27] *Kataforézní lakování*. Online. LAKOL S.R.O. Dostupné z: <https://www.lakol.cz/project/katoforeza/>. [cit. 2024-05-02].

Přílohy



ELASTOSOL M105

AUTOMOTIVE ELASTOSOL

KLÍČOVÉ VÝHODY

- Obsahuje skleněné kuličky, které brání vytlačení nadměrného množství lepidla při procesu lemování
- Přílnavost k široké škále kovových podkladů
- Neobsahuje těkavá rozpouštědla
- Vytvrzuje při teplotách vypalování laku
- Při vytvrzování neprodukuje vedlejší korozní produkty
- Vynikající chemická odolnost
- Vynikající odolnost proti vystavení nadměrné teplotě
- Neobsahuje epoxid

POPIS

Elastosol M105 je nízkoviskózní pasta s na bázi sírou vulkanizovaného polybutadienu, aplikuje se při pokojové teplotě. **Elastosol M105** obsahuje pevné skleněné kuličky, které působí jako vymezovače během procesu lemování pro dosažení rovnoměrné tloušťky vrstvy lepidla a zabránění vytlačování lepidla ze spoje. Tyto skleněné kuličky jsou zcela inertní ve všech ostatních ohledech a nemají žádný dopad na rychlost vytvrzování, ani na modulus vytvrzeného výrobku. **Elastosol M105** neobsahuje chlór ani epoxid

DOPORUČENÉ POUŽITÍ

Elastosol M105 byl vyvinut jako lepidlo s vysokou pevností ke spojování kovu s kovem pro použití v automobilovém průmyslu.

DŮLEŽITÉ

Před zahájením jakékoliv práce s **Elastosolem M105** si musí osoby provádějící práci důkladně nastudovat tento bezpečnostní list.

ZPŮSOB POUŽITÍ

APLIKACE

Elastosol M105 lze aplikovat pomocí běžných vzduchových pump **POZNÁMKA:** **Elastosol M105** obsahuje abrazivní skleněné kuličky, které způsobují rychlejší opotřebení pump a trysek, než by se normálně očekávalo.

PODMÍNKY PŘILNAVOSTI A VYTVRZOVÁNÍ

- **Elastosol M105** má vynikající přílnavost k široké škále kovových podkladů a toleruje lehké povlaky konzervačních olejů z hutí nebo tažných olejů (2-4 g/m²).
- Minimální vypalovací podmínky pro dosažení dobré přílnavosti jsou 30 minut při teplotě 160 °C. Kratší časy jsou možné při vyšších teplotách.
- U **Elastosolů** nedochází při vystavení nadměrné teplotě ke ztrátě přílnavosti.

PŘELAKOVÁNÍ

- **Elastosol M105** lze přelakovat olejovými, celulozovými či vypalovacími laky. Není přelakovatelný elektrolaky.

TYPICKÉ VLASTNOSTI

Barva	Černá
Relativní hustota	Cca. 1,7
Přílnavost [MPa]	Typický výsledek 10 Kohezní selhání (Vypalovací podmínky 30 minut při teplotě 180 °C. Slep 12 x 25 x 0,17 mm u podkladů nepozinkovaných a pozinkovaných (ocelí)
Viskozita, rychlost vytlačování [g/min] (4 bar, průměr trysky 2 mm, 25 °C)	Cca. 7,5
Teplotní odolnost	Fyzikální vlastnosti lepidla Elastosol M105 se liší v závislosti na teplotě, ale zachovávají dobrou kohezní pevnost v širokém teplotním rozmezí.
Chemická odolnost	Elastosol M105 je ve vytvrzeném stavu odolný vůči vodě, běžné soli, ethylenglykolu, oleji a benzínu. Nepřetržitě ponoření do benzínu způsobí nabobtnání vytvrzeného polymeru.

NORMY BSI



BALENÍ

Ohledně aktuální velikosti balení se obraťte na oddělení služeb zákazníkům.



Dow Automotive

BETAGUARD KP 03

Těsnící a antivibrační tmel

Technické informace

Popis výrobku, použití

BETAGUARD KP 03 je těsnící bodový tmel a lepidlo s antivibračními vlastnostmi. Je vyroben na kaučukové bázi, je za studena čerpatelný, teplem reagující. Je určen pro aplikaci při opravě karoserie bez předvulkanizace tam, kde je vyžadována vysoká pevnost a odolnost proti vibracím. Užívá se k zaplnění spáry mezi kostrou a dalším dílem (například dveře, víko motoru). Tak je odstraněn přímý kontakt kovu na kov, díl je výškově vyrovnán, jsou redukovány vibrace a zlepši se torzní pevnost dílu. Může být užit také jako těsnící hmota na exponovaných místech karoserie, kde je vyžadována vysoká odolnost proti korozi, například v podběžích blatníků kol.

Vyznačuje se dobrou přilnavostí na zaolejované povrchy a je tak vhodný k užívání v automobilovém průmyslu.

BETAGUARD KP 03 umožňuje provést spojení dílů bez použití vysokých teplot nebo zápachu. Vykazuje dobrou odolnost při mytí bez předvulkanizace a je slučitelný s běžnými předúpravami povrchu a EC systémy. Po vytvrzení v peci (min. 20 min. při 170 °C) má dobrou mechanickou pevnost a vysokou odolnost proti korozi. Je přetíratelný bez zežloutnutí nátěru.

Veškeré výrobky firmy Dow Automotive jsou vyvíjeny především ve spolupráci s výrobci automobilů, podle jejich potřeb a požadavků, a jsou schvalovány pro určité použití zákazníkem. Možnost jiného užití výrobku než je schválená aplikace musí být písemně potvrzena firmou Dow Automotive.

Fyzikální vlastnosti	Základ	syntetický kaučuk
	Barva	černá - šedá
	Hustota	1,45 g/cm ³
	Obsah pevných složek	> 99,5 %
	Viskozita (při 35 °C tryska 5 mm, 3 bary)	10 - 30 g/min

Vlastnosti	Tvrdost dle Shoreho (DIN 53 505)	45 - 60
	Prohýbání (D55 1107)	L po 30 min. při 23 °C: < 2 mm
	Materiál QS 1010 ZZ + RP 4107	L+L' po přídavném vytvrzení 8 + 20 min. při 170 °C: < 4 mm
	Průměr kapky 8 mm	

Dovozce MATRIX a.s., Třebešov 1, 518 01 Rychnov nad Kněžnou, tel. 494 384 503, fax 494 384 604
e-mail: obchod@matrix-as.cz, www.matrix-as.cz



Slučitelnost s fosfátováním a galvanickými povlaky	dobrá
Podmínky vytvrzení	min. 8 +20 min. při 170 °C max. 10 + 60 min. při 190 °C
Smyková pevnost (D41 1108 – DIN 53283)	> 1,7 N/mm ² , porucha spoje (smyková rychlost: 100 mm/min, lepený spoj 1 x 20 x 25 mm, materiál 100 x 25 x 0,75 mm CRS, ZES nebo Zn-Ni, odmaštěno s RP 4107)
Zvětšení objemu	< 10 %
Přilnavost na olejovém povrchu (GME 60 433)	
neizolovaná ocel + RP 4107	porucha spoje
elektro galvanicky zinkovaná ocel + RP 4107	porucha spoje
Zn-Ni galv. Ocel + RP 4107	porucha spoje
Odolnost proti korozi (GME 60 433)	dobrá (bez koroze) po 500 hod. testu ve slaném roztoku (DIN 53007) =GME 60206 R
Teplotní stabilita	max. 10 + 60 min při 190 °C nebo 30 min při 200 °C
Skladovatelnost	3 měsíce při 23 +/- 5 °C

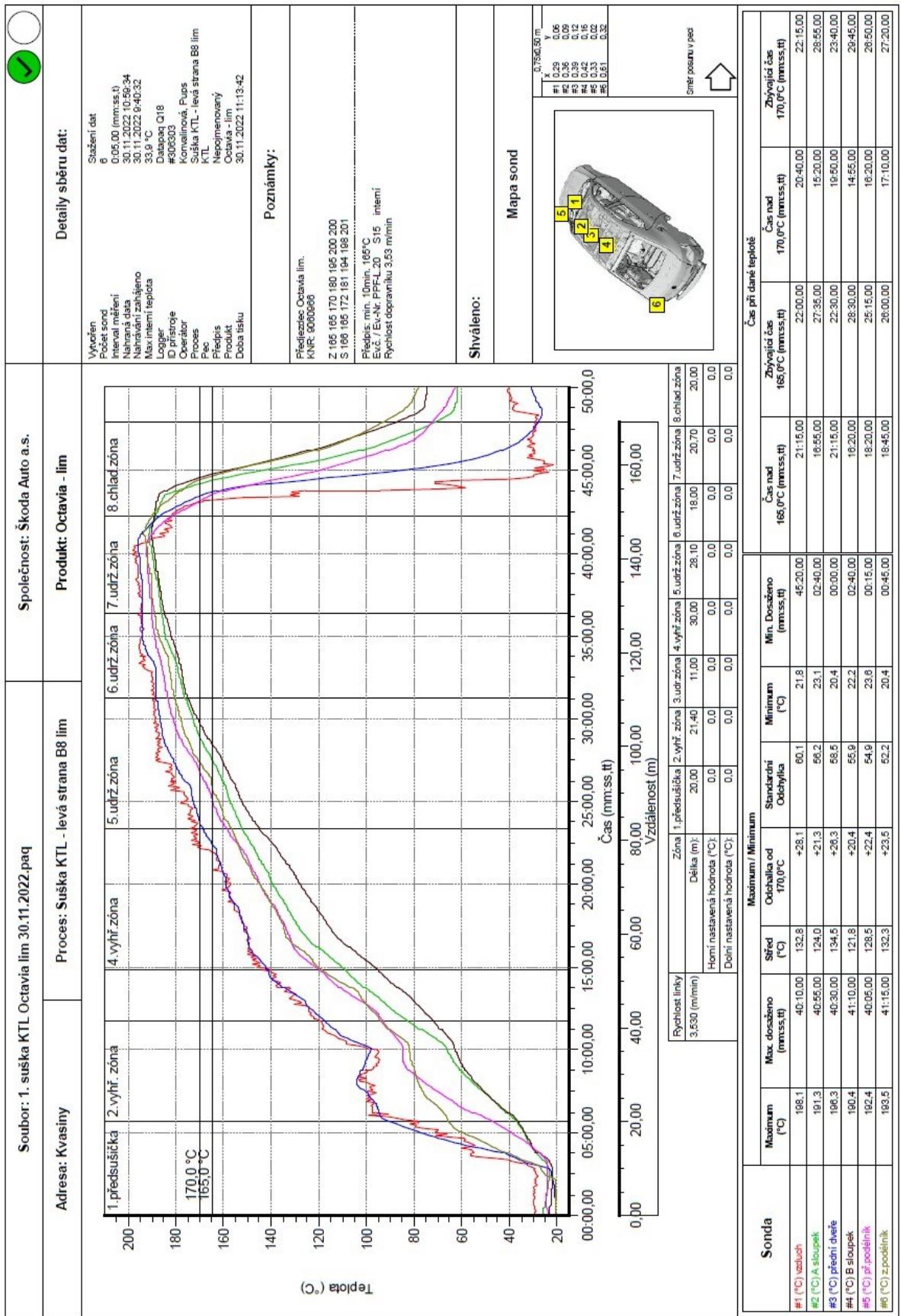
Příprava povrchu	Není zapotřebí (lze aplikovat na kov znečištěný max. 3,5 g olejí na m ²).
Aplikace	Přípravek lze nanášet při pokojové teplotě (spojované části nemusí být vyhřívány) standardním pistovou pistolí s minimálním poměrem 48:1. Zubové čerpadlo může být použito pokud vytváří tlak minimálně 150 barů.
Pracovní teplota	Maximálně 50 °C. K dosažení co možná nejlepší počáteční přilnavosti na povrch znečištěný olejem je třeba aplikovat přípravek s teplotou 30 – 40 °C na výtoku z trysky.
Balení	300 ml kartuš, 22 l a 60 l kanystry, 200 l sudy.
Bezpečnostní opatření	Viz. bezpečnostní list přípravku

Řízení jakosti

Kvalita je důležitou prioritou firmy Dow Automotive. Firma pracuje s moderním systémem řízení jakosti, který vyhovuje všem mezinárodním požadavkům QS 9000, VDA-6 a ISO 9001.

Dovozce MATRIX a.s., Třebešov 1, 518 01 Rychnov nad Kněžnou, tel. 494 384 503, fax 494 384 604
e-mail: obchod@matrix-as.cz, www.matrix-as.cz

Příloha 2 Datasheet lepidla Betaguard KP03

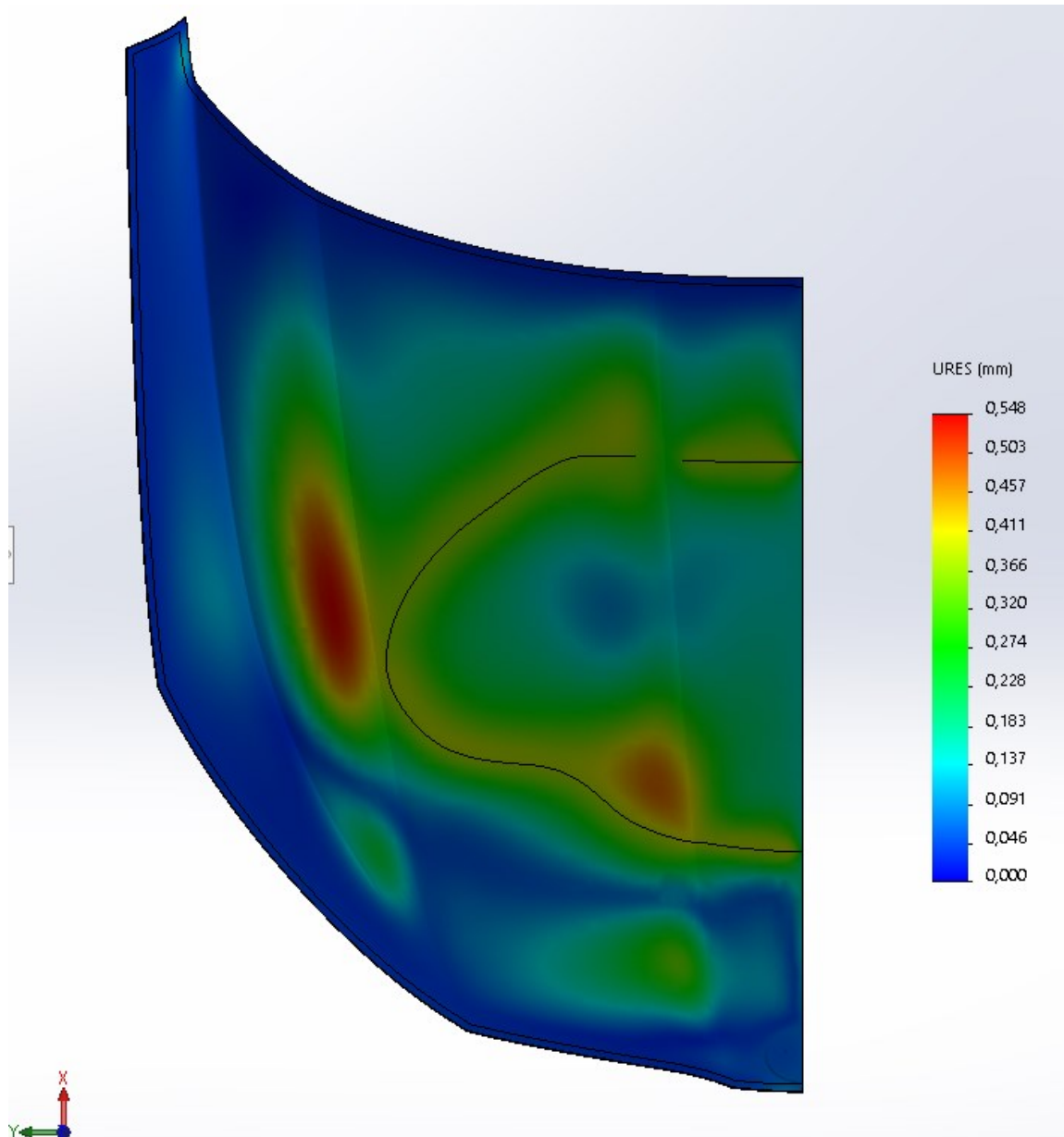


Příloha 3 Křivka průběhu teplot při průchodu karoserie lakovnou

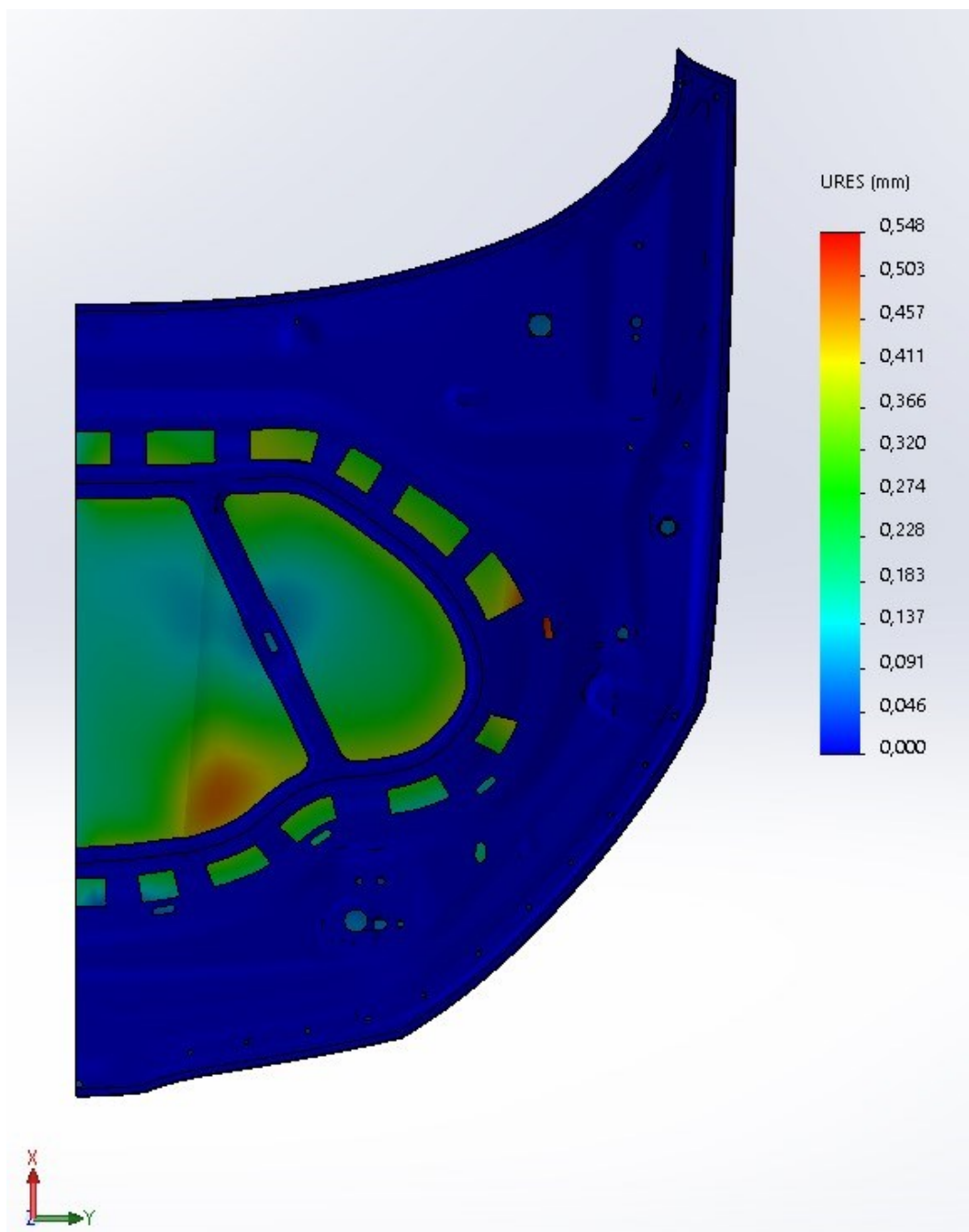
Varianta provedení lepených spojů č. 2

Ve variantě provedení lepených spojů č. 2 byla odstraněna část lepených spojů v prostřední části kapoty s tlumícím tmelem a také lepený spoj na spodní výztuze kapoty, rovněž s tlumícím tmelem.

Varianta provedení lepených spojů č. 2 – uchyceno v místě řezu a na vnitřním plechu

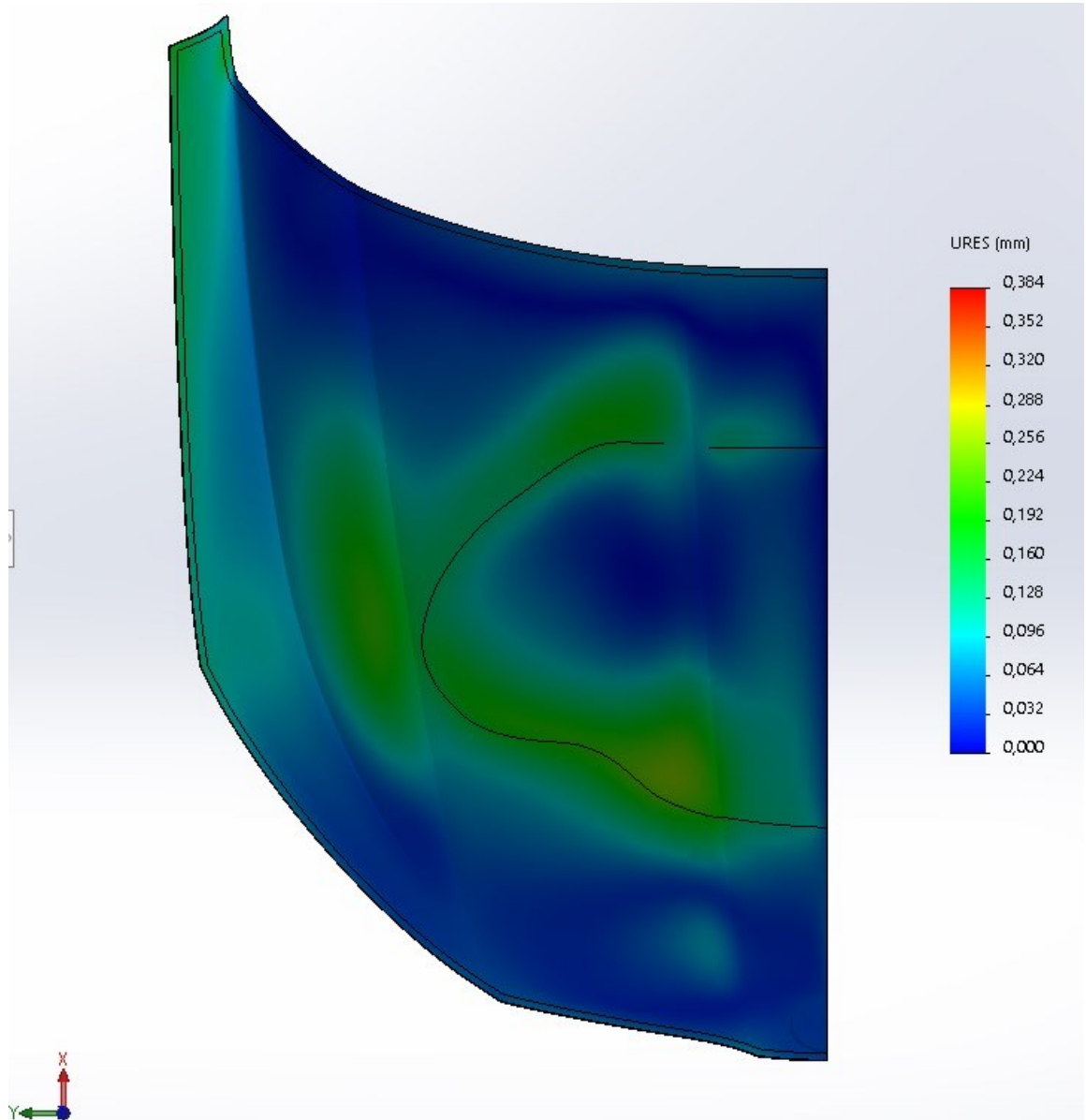


Příloha 4 Varianta č. 2 – výsledná deformace kapoty (horní pohled)

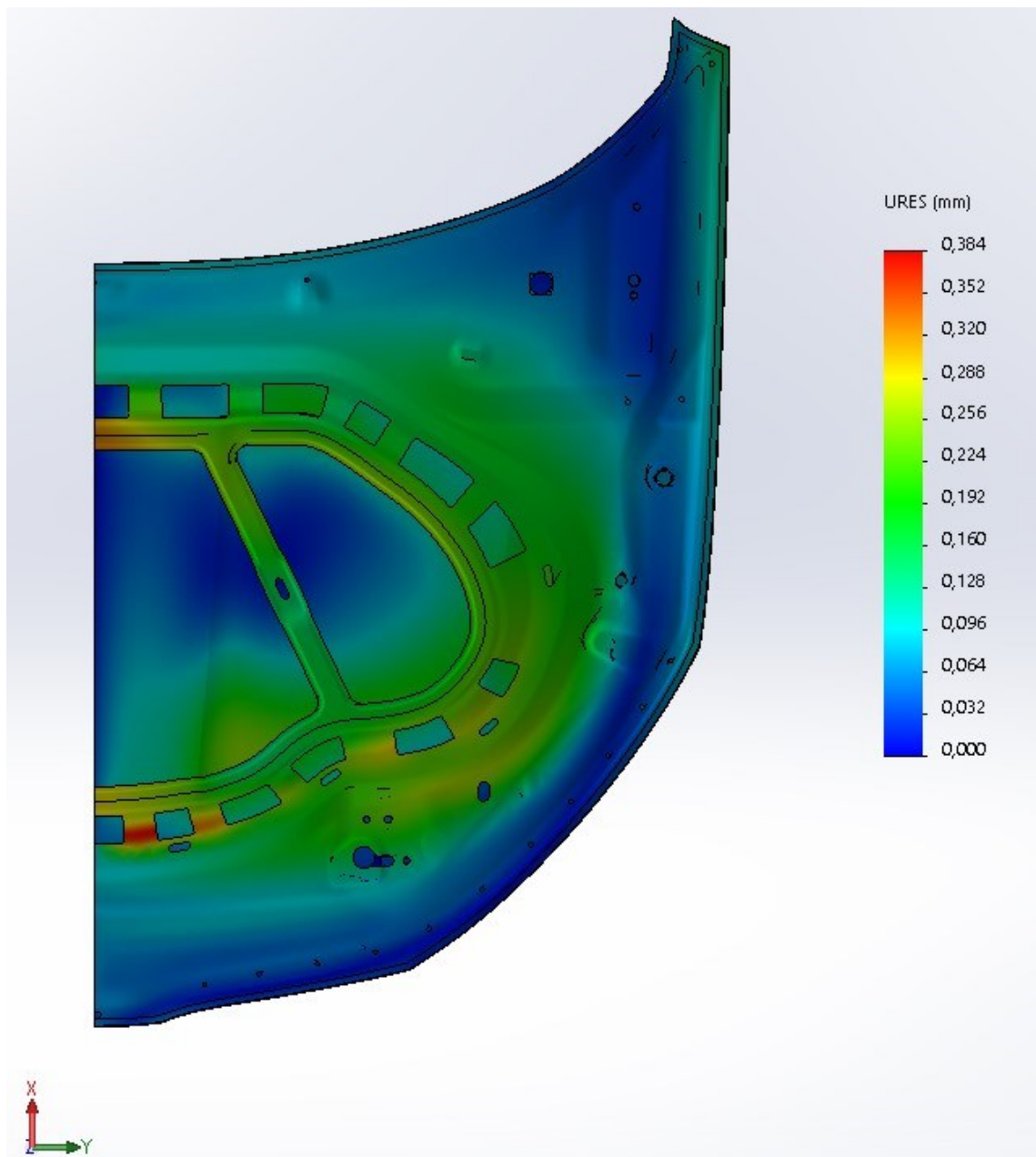


Príloha 5 Varianta č. 2 – výsledná deformace kapoty (spodní pohled)

Varianta provedení lepených spojů č. 2 – uchyceno pouze v místě řezu

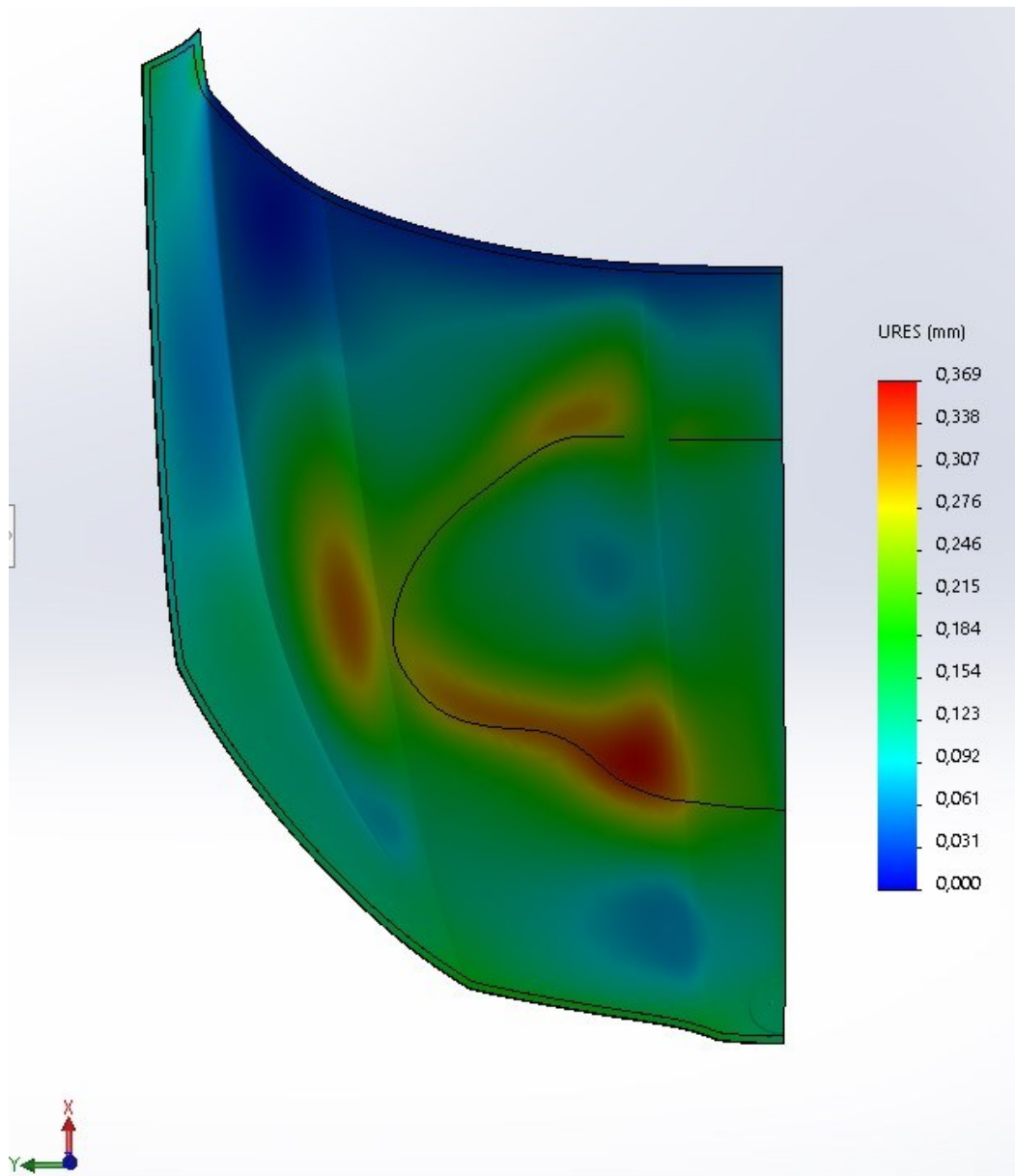


Příloha 6 Varianta č. 2 – výsledná deformace kapoty (horní pohled)

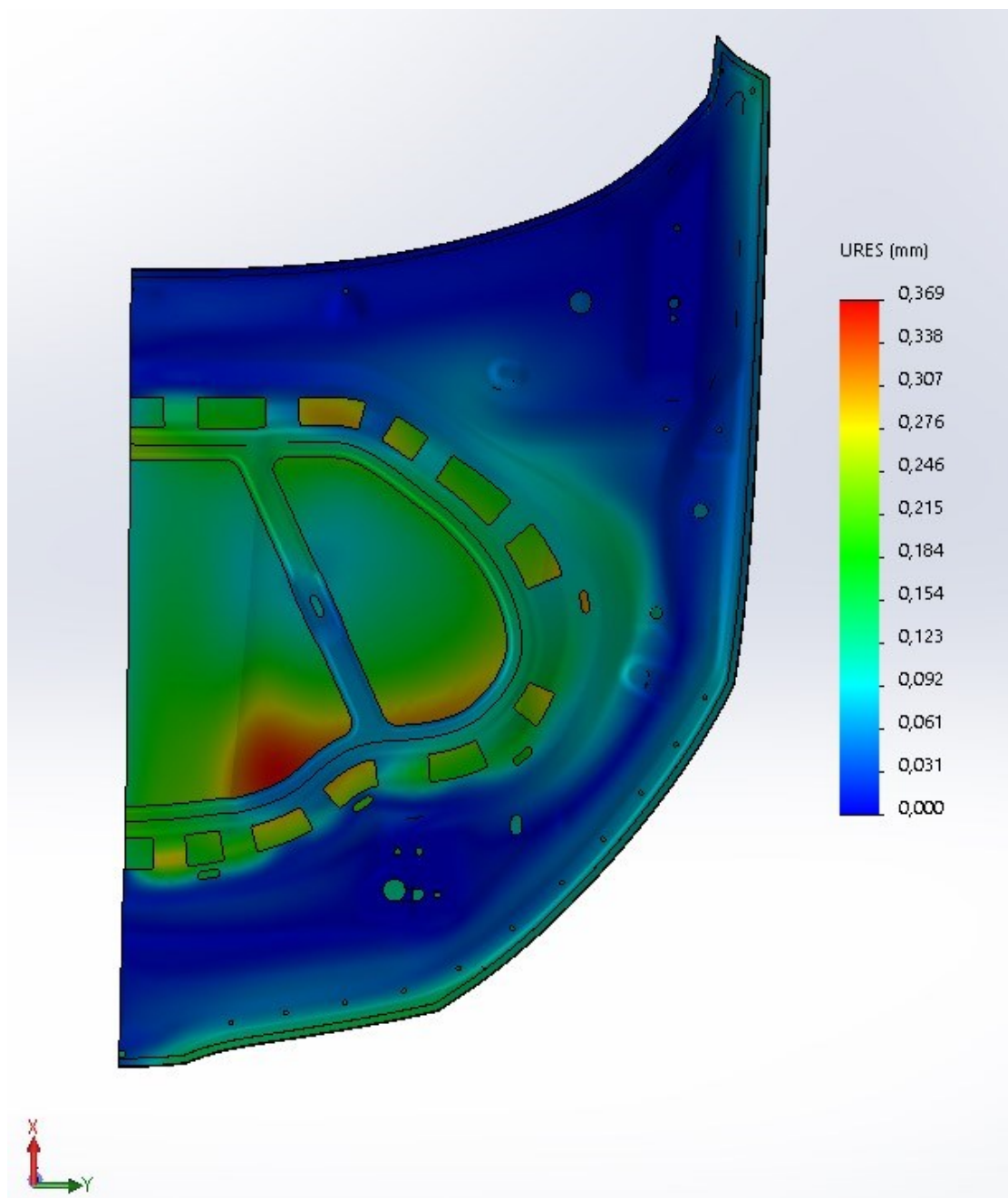


Příloha 7 Varianta č. 2 – výsledná deformace kapoty (spodní pohled)

Varianta provedení lepených spojů č. 2 – uchyceno v místě řezu a v místě výztuh



Příloha 8 Varianta č. 2 – výsledná deformace kapoty (horní pohled)

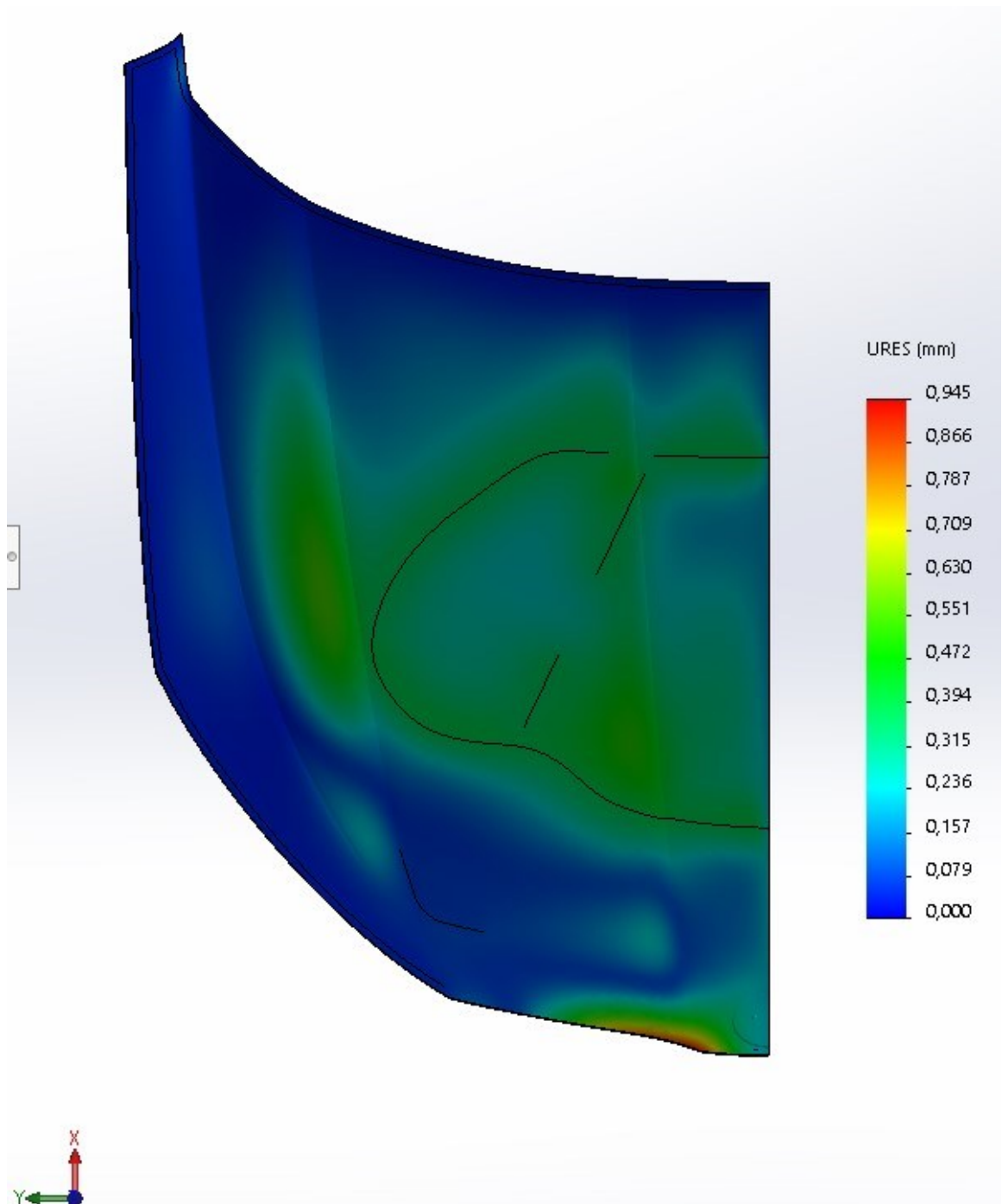


Příloha 9 Varianta č. 2 – výsledná deformace kapoty (spodní pohled)

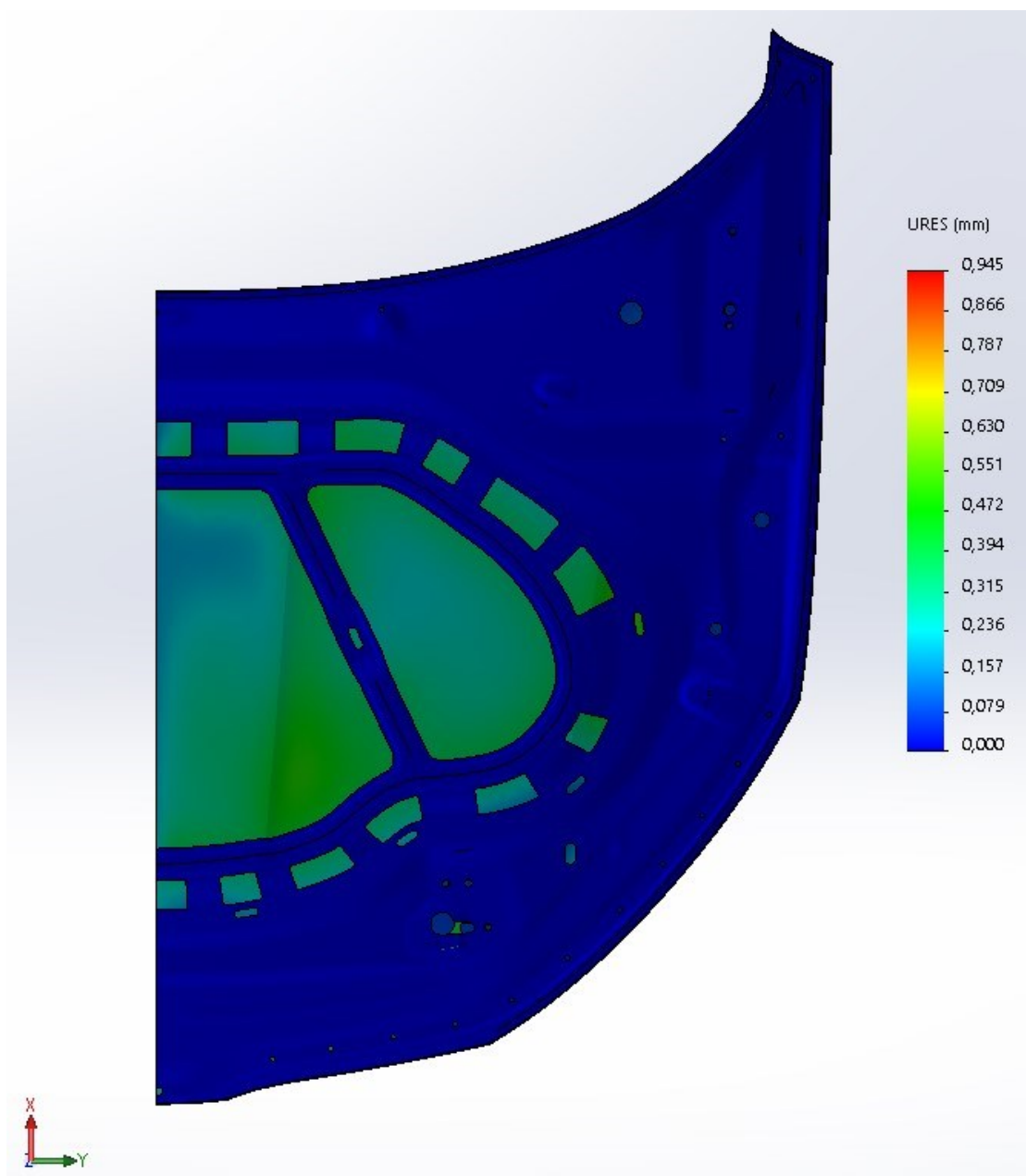
Varianta provedení lepených spojů č. 3

Varianta provedení lepených spojů č. 3 pracovala s chybějící částí lepených spojů s lemovým lepidlem, konkrétně ve spodní části pod logem. Na Obr. 57 jsou znázorněny odebrané lepené spoje.

Varianta provedení lepených spojů č. 3 – uchyceno v místě řezu a na vnitřním plechu

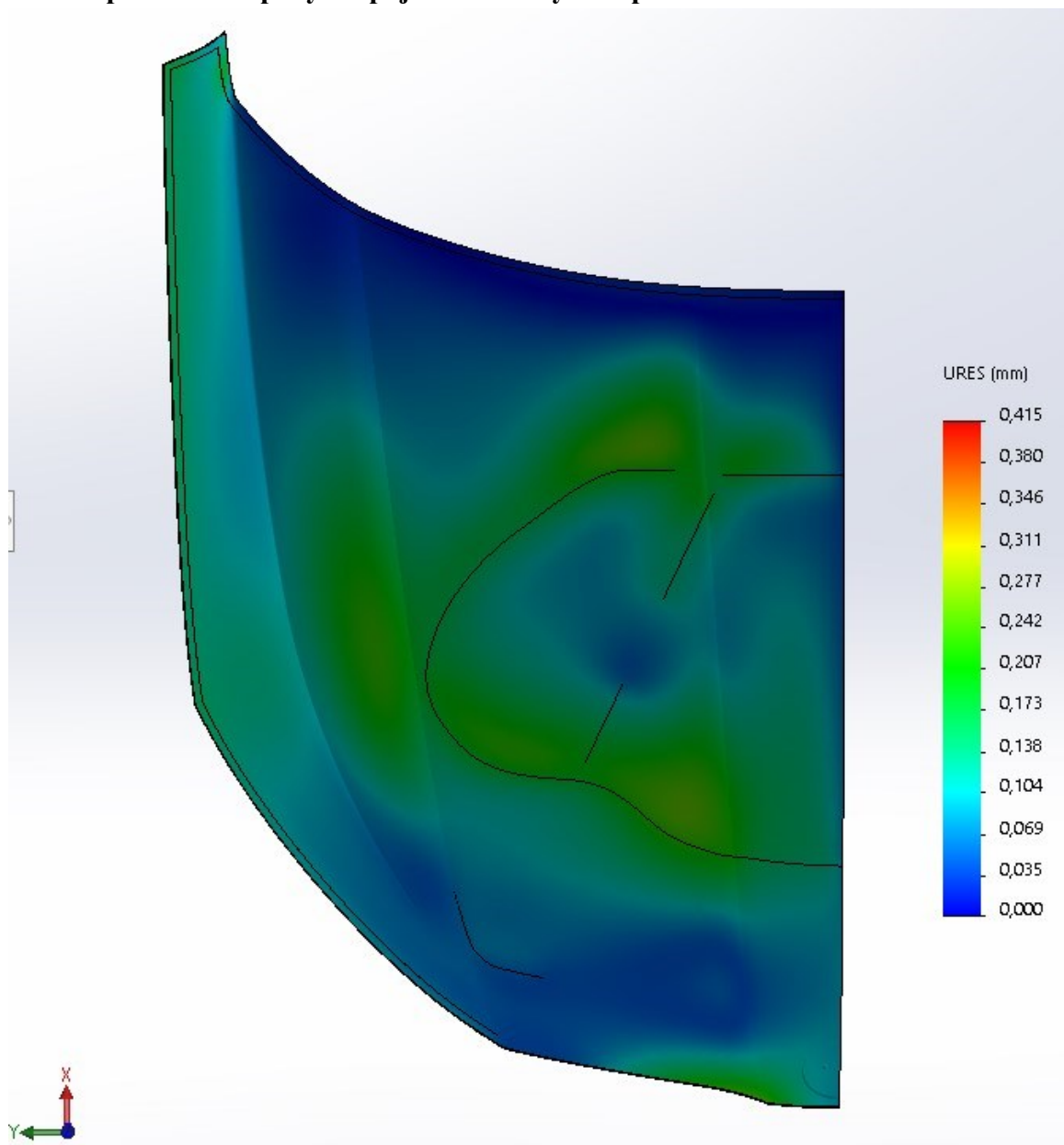


Příloha 10 Varianta č. 3 – výsledná deformace kapoty (horní pohled)

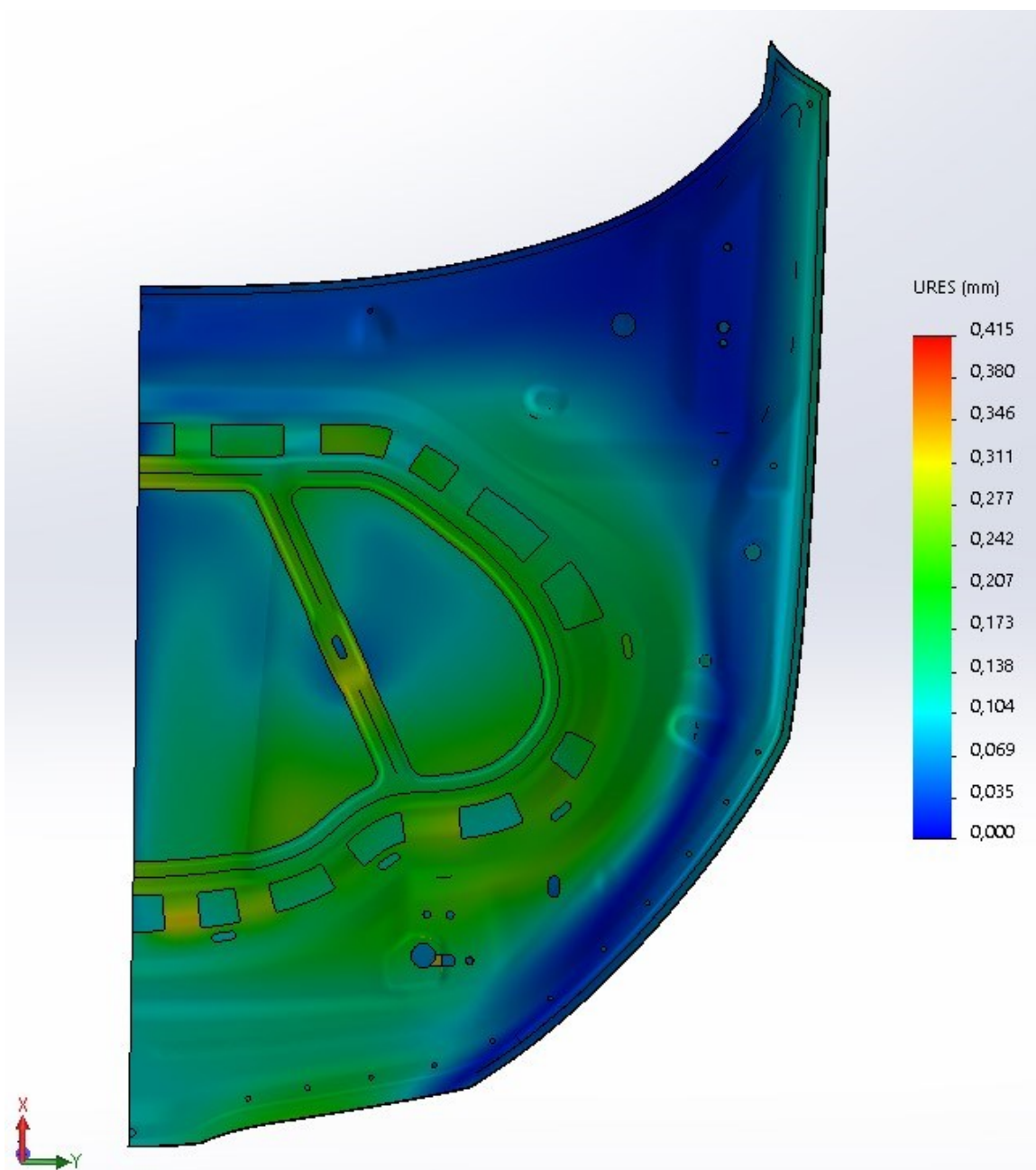


Příloha 11 Varianta č. 3 – výsledná deformace kapoty (spodní pohled)

Varianta provedení lepených spojů č. 3 – uchyceno pouze v místě řezu

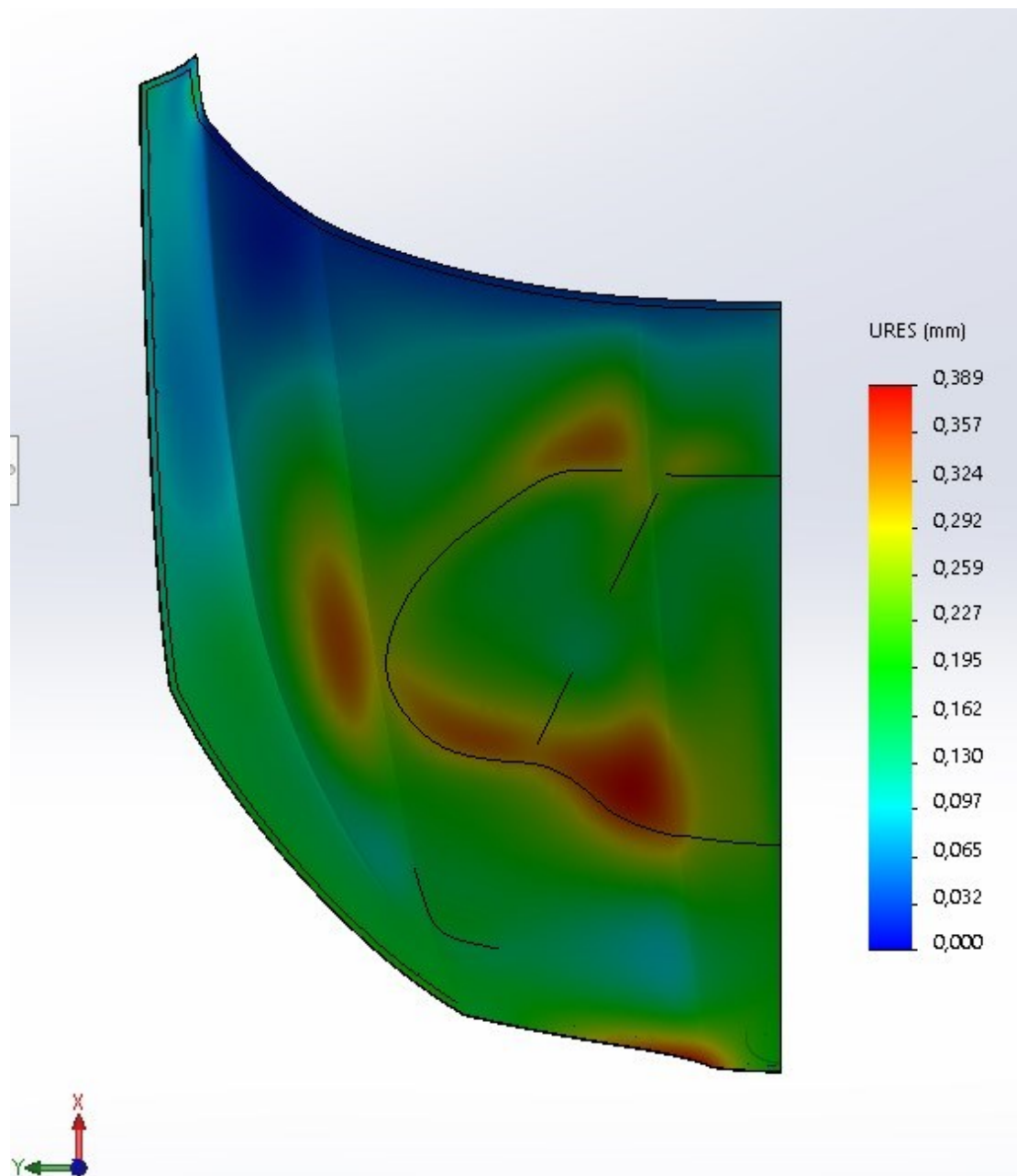


Příloha 12 Varianta č. 3 – výsledná deformace kapoty (horní pohled)

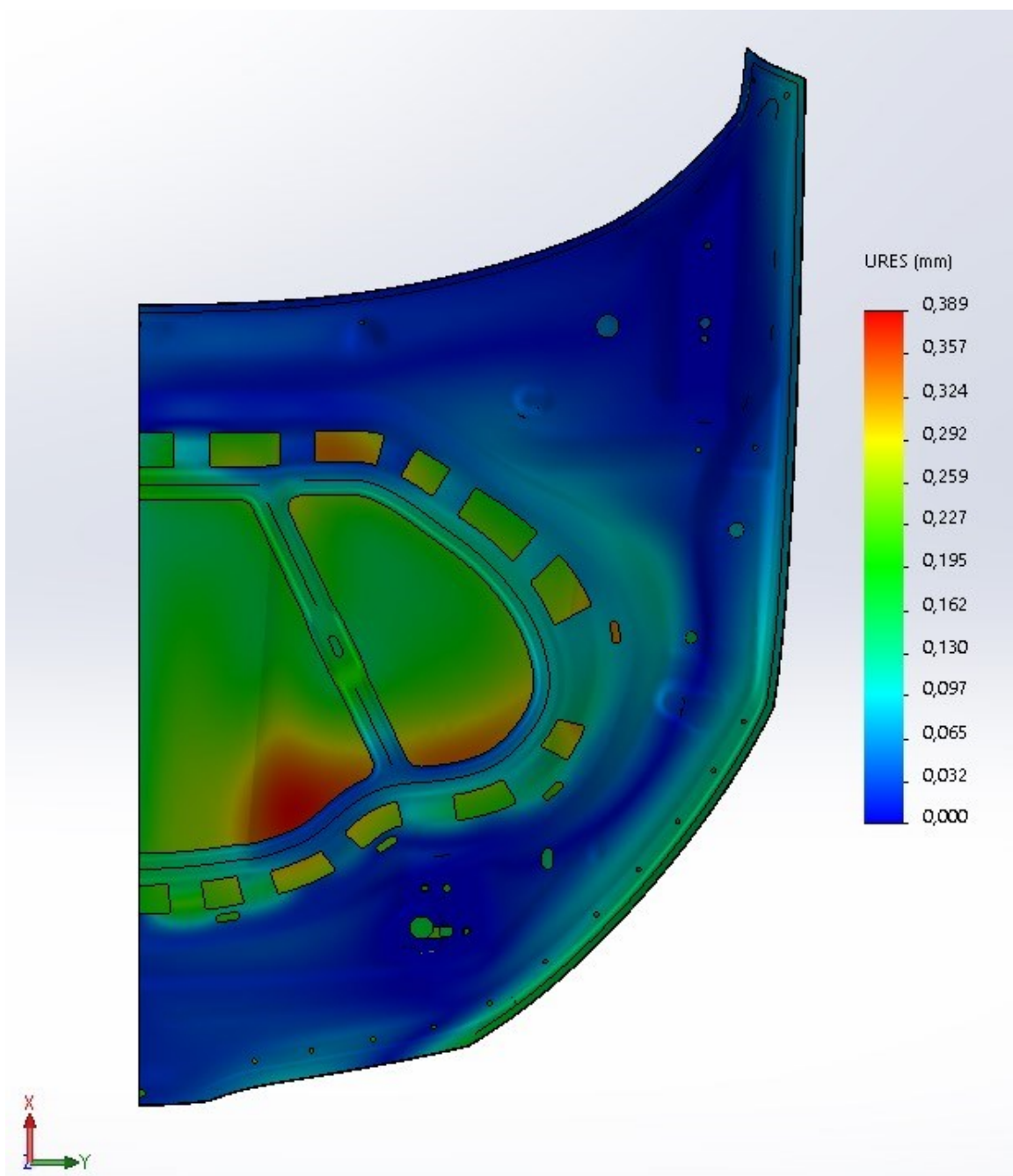


Příloha 13 Varianta č. 3 – výsledná deformace kapoty (spodní pohled)

Varianta provedení lepených spojů č. 3 – uchyceno v místě řezu a v místě výztuh



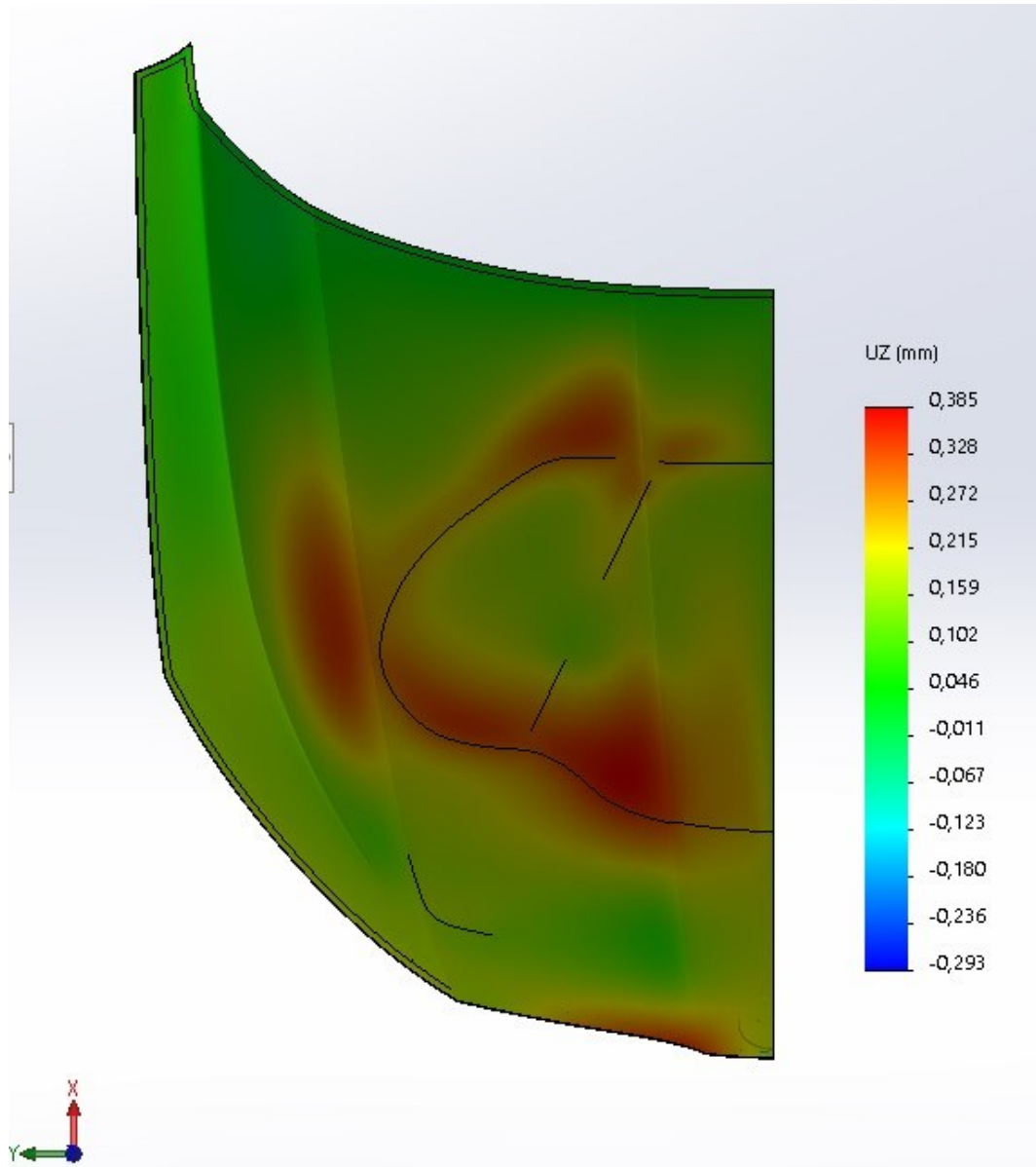
Příloha 14 Varianta č. 3 – výsledná deformace kapoty (horní pohled)



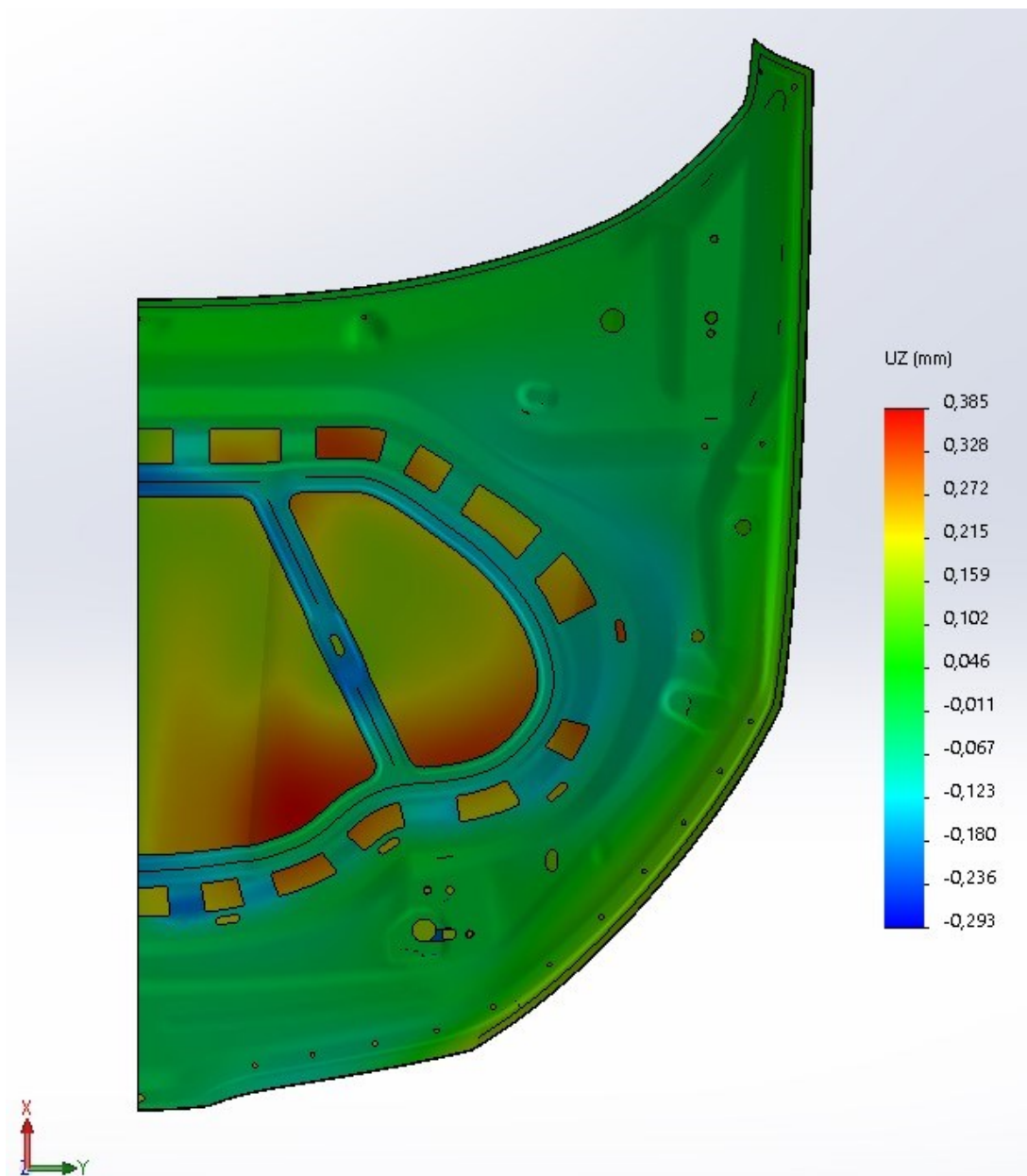
Příloha 15 Varianta č. 3 – výsledná deformace kapoty (spodní pohled)

Ukázka deformace kapoty ve směru osy Z

Varianta provedení lepených spojů č. 3, uchycení v místě řezu a v místě výztuh. Ukázka dosažení záporné hodnoty deformace kapoty.



Příloha 16 Varianta č. 3 – deformace v ose Z (horní pohled)



Příloha 17 Varianta č. 3 – deformace v ose Z (horní pohled)