

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Aktuální metody údržby a oprav karoserií silničních vozidel se zaměřením na
moderní trendy
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub Hamerník**
Osobní číslo: **D22226**
Studijní program: **B0788A040001 Dopravní technika**
Specializace: **Provoz a údržba vozidel**
Téma práce: **Aktuální metody údržby a oprav karoserií silničních vozidel se zaměřením na moderní trendy**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Zásady pro vypracování

Bakalářská práce se zaměřuje na analýzu moderních metod oprav karoserií silničních vozidel, přičemž hlavní důraz je kladen na aktuální trendy v opravárenství. Student v práci uvede stávající schválené metody oprav karoserií a specifikuje případy, kde danou metodu nelze použít.

Cílem je poskytnout ucelený přehled technik používaných v současnosti, včetně výhod, nevýhod a vhodnosti jednotlivých metod pro různé typy a rozsahy poškození. Práce rovněž hodnotí, jaký dopad mají moderní technologie na rychlost, kvalitu a ekologickou udržitelnost oprav. Dílčím cílem bude předpokládané nastolení vývoje oprav karoserií v blízké budoucnosti.

Klíčové body pro řešení bakalářské práce jsou:

- Úvod do problematiky oprav karoserií vozidel a význam opravárenského průmyslu pro dopravní sektor.
- Teoretické základy oprav karoserií podle rozsahu poškození s ohledem na použitý materiál.
- Tradiční a moderní metody oprav, jejich vzájemné porovnání jejich aspekty na životní prostředí.

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**
Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího práce**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] NESTROJIL, K.: *Renovace a opravy automobilů: praktická příručka pro kompletní renovaci vozidla*. Vyd. 5. Brno: Computer Press, 2008. Oldtimer. ISBN 978-80-251-3474-0.
[2] ŠKUNOV, I.: *Opravy automobilových karoserií: praktická příručka: klempířské opravy, rovnání, svařování, tmelení a lakování vozidel. Rádce opraváře*. Brno: CPress, 2014. ISBN 978-80-264-0565-8.
[3] VLK, F.: *Karosérie motorových vozidel: ergonomika, biomechanika, pasivní bezpečnost, kolize, struktura, materiály*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. ISBN 80-238-5277-9.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Jilek, Ph.D.**
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **7. února 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **9. května 2025**

L.S.

doc. Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D.
děkan

Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 7. února 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem **Aktuální metody údržby a oprav karoserií silničních vozidel se zaměřením na moderní trendy** 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 04. 05. 2025

Jakub Hamerník

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu mé bakalářské práce **Ing. Petru Jilkovi, Ph.D.** za jeho odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytoval během zpracování této práce. Jeho podněty a vstřícný přístup významně přispěly k jejímu odbornému zaměření a celkové úrovni.

ANOTACE

Bakalářská práce se věnuje přehledu tradičních a moderních metod oprav karoserií silničních vozidel. Zaměřuje se na vývoj technologií, jejich vhodnost podle typu poškození a materiálu, a hodnotí dopady na kvalitu, rychlost a ekologii oprav. Výsledkem je shrnutí aktuálních trendů v oblasti karosářských oprav.

KLÍČOVÁ SLOVA

silniční vozidla, karoserie, poškození, opravy, budoucnost, udržitelnost

TITLE

Current methods of maintenance and repair of road vehicle bodies with a focus on modern trends

ABSTRACT

This bachelor thesis provides an overview of traditional and modern methods for repairing road vehicle bodies. It focuses on the development of repair technologies, their suitability based on damage type and material, and evaluates their impact on repair quality, speed, and sustainability. The result is a summary of current trends in automotive body repair practices.

KEYWORDS

road vehicles, bodywork, damage, repairs, future, sustainability

Obsah

Obsah	7
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
Seznam symbolů a zkratk	12
1 Úvod do problematiky oprav karoserií vozidel	13
1.1 Vývoj opravárenských metod a současná situace	13
1.2 Důležitost správné opravy karoserie	14
2 Význam oprav karoserií v dopravním sektoru	15
2.1 Postavení opravárenského průmyslu	15
2.2 Statistika nehodovosti / potřeba opravy karoserií	16
2.3 Ekonomický, technologický a ekologický dopad	16
3 Teoretické základy oprav karoserií silničních vozidel	18
3.1 Materiály karoserií	18
3.1.1 Ocelové karoserie	19
3.1.2 Hliník a jeho slitiny	20
3.1.3 Kompozitní materiály	23
3.1.4 Plasty	25
3.1.5 Hybridní konstrukce (kombinace různých materiálů)	27
3.2 Poškození karoserie	30
3.2.1 Mechanická poškození	30
3.2.2 Chemická poškození	32
3.2.3 Poškození v důsledku havárií	33
3.3 Stanovení rozsahu poškození	35
3.3.1 Tradiční metody	35
3.3.2 Moderní metody	36
3.4 Údržba karoserií silničních vozidel	37

4	Tradiční metody oprav karoserií používané dnes	38
4.1	Mechanické opravy	38
4.1.1	Ruční oprava promáčklin.....	39
4.1.2	Použití hydraulických lisů a rovnacích stolů	39
4.1.3	Spotové vytahování plechu.....	41
4.2	Svařování	42
4.2.1	Bodové odporové svařování	42
4.2.2	MIG/MAG svařování.....	43
4.2.3	Autogenní svařování (plamenové svařování)	46
4.2.4	Oprava karoserie pájením	46
4.3	Opravy koroze a povrchových vad	47
4.3.1	Ochrana dutin a prevence další koroze	48
4.3.2	Cínování.....	49
4.3.3	Tmelení a kytování karoserií	49
4.4	Lakování a finální úpravy	50
5	Moderní metody oprav karoserií.....	52
5.1	Pokročilé metody spojování materiálů	52
5.1.1	TIG svařování	52
5.1.2	Laserové svařování	54
5.1.3	Lepené spoje	56
5.1.4	Nýtování a hybridní spojovací technika	58
5.2	Opravy bez demontáže.....	61
5.2.1	Paintless Dent Repair.....	61
5.2.2	Smart Repair – chytré lokální opravy	63
5.2.3	Indukční vyrovnávání plechů.....	63
5.3	Moderní lakovací technologie	65
5.4	Počítačová simulace, virtuální a rozšířená realita v opravách karoserií	66

5.4.1	Počítačová simulace oprav a hodnocení opravitelnosti	66
5.4.2	Využití virtuální a rozšířené reality (VR/AR).....	66
5.5	Kusové opravy	67
5.5.1	Zakázková výroba a replikace dílů	67
5.5.2	3D tisk a aditivní výroba v servisech.....	67
6	Porovnání tradičních a moderních metod oprav	70
6.1	Výhody a nevýhody tradičních a moderních technologií	70
6.2	Vhodnost jednotlivých metod pro různé typy poškození	71
6.3	Dopad technologií oprav na rychlost, kvalitu a ekonomiku oprav	72
7	Budoucnost oprav karoserií	74
7.1	Modularita a výměnné celky.....	74
7.2	Automatizace a robotizace v opravách	74
7.3	Vývoj materiálů a inteligentní kompozity	74
7.4	Lepení jako primární metoda spojování	74
7.5	Digitalizace a prediktivní údržba	75
8	Závěr	76
9	Literatura.....	77

Seznam obrázků

Obrázek 1: Výskyt hliníku v karoserii vozidla Audi A8 [10]	21
Obrázek 2: Karoserie vozu BMW i3 typu monokok z CFRP[13]	23
Obrázek 3: Použití různých materiálů ve voze Audi A7[15]	28
Obrázek 4: Příklad deformace zadní části vozu [zdroj: vlastní]	30
Obrázek 5: Příklad poškození zadního nárazníku po střetu s jiným vozem [zdroj: vlastní]	31
Obrázek 6: Příklad koroze spodní části předního blatníku [zdroj: vlastní]	32
Obrázek 7: Příklad strukturního poškození[23]	33
Obrázek 8: Příklad nestrukturního poškození [zdroj: vlastní]	34
Obrázek 9: Deformované vozidlo na rovnací stolici[29]	39
Obrázek 10: Rovnací stolice [22]	40
Obrázek 11: Použití jednostranné pistole ke spotteru s nástavcem pro vyrovnávání plechu [22]	41
Obrázek 12: Princip funkce odporového svařování[31]	42
Obrázek 13: Princip funkce MIG/MAG sváření [32]	44
Obrázek 14: Nanášení cínu na očištěnou část karoserie [21]	49
Obrázek 15: Princip funkce Tig svařování [36]	52
Obrázek 16: Samoděrovací a třecí nýty [15]	58
Obrázek 17: Druhy spojů použité při výrobě vozu Audi Q7 poslední generace [15]	60
Obrázek 18: Oprava důlku ve dveřích pomocí PDR[30]	61
Obrázek 19: Vytisknutá část přední karoserie [46]	68

Seznam tabulek

Tabulka 1: Popis nehod v roce 2024/2023	16
Tabulka 2: Specifika při opravě ocelových karoserií.....	20
Tabulka 3: Specifika při opravě hliníkových materiálů.....	22
Tabulka 4: Specifika při opravě kompozitních materiálů	24
Tabulka 5: Specifika při opravě plastů.....	27
Tabulka 6: Specifika při opravě hybridních karoserií.....	29
Tabulka 7: Vhodnost typu sváru podle materiálu	45
Tabulka 8: Porovnání metod podle různých kritérií	70
Tabulka 9 : Porovnání metod podle vhodnosti vůči druhu poškození	71
Tabulka 10: Porovnání metod podle dopadu na rychlost opravy.....	72
Tabulka 11: Porovnání metod podle dopadu na kvalitu oprav.....	72
Tabulka 12: Porovnání metod z ekonomického hlediska	73
Tabulka 13: Porovnání metod podle dopadu na životní prostředí	73

Seznam symbolů a zkratk

ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
ADAS	Advanced Driver Assistance System (pokročilý asistenční systém řidiče)
AHSS	Advanced High Strength Steel (pokročilá vysokopevnostní ocel)
AK	Automobilová karoserie
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastic (uhlíkový kompozit)
EP	Epoxidová pryskyřice
FDM	Fused Deposition Modeling (metoda aditivní výroby – FDM tisk)
GFRP	Glass Fiber Reinforced Plastic (skleněný kompozit)
IOT	Internet of Things (internet věcí)
MAG	Metal Active Gas (svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu)
MIG	Metal Inert Gas (svařování tavící se elektrodou v inertním plynu)
OEM	Original Equipment Manufacturer (původní výrobce zařízení/vozidla)
PDR	Paintless Dent Repair (oprava promáčklin bez poškození laku)
PUR	Polyuretan
SLA	Stereolithography (stereolitografie)
SLS	Selective Laser Sintering (selektivní laserové sinterování)
TIG	Tungsten Inert Gas (svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu)
VOC	Volatile Organic Compounds (těkavé organické látky)

1 Úvod do problematiky oprav karoserií vozidel

V automobilovém průmyslu hraje karoserie klíčovou roli nejen z estetického hlediska, ale především z hlediska bezpečnosti a funkčnosti vozidla. Karoserie tvoří základní nosnou strukturu, která ovlivňuje pevnost celého automobilu, aerodynamiku, komfort jízdy a v neposlední řadě také pasivní bezpečnost posádky. Je navržena tak, aby odolávala dynamickým silám působícím během jízdy, stejně jako mechanickému a chemickému namáhání v průběhu životního cyklu vozidla.

Poškození karoserie může nastat z různých příčin, přičemž nejčastější jsou dopravní nehody, koroze nebo běžné opotřebení způsobené provozem a působením povětrnostních vlivů. Oprava poškozené karoserie je nejen otázkou estetického vzhledu, ale především zajištění správné funkčnosti vozidla, jeho bezpečnosti a prodloužení jeho životnosti.

1.1 Vývoj opravárenských metod a současná situace

Historicky byly opravy karoserií založeny především na mechanických metodách rovnání, svařování a vyrovnávání plechových částí, což bylo dostačující v době, kdy byly karoserie převážně z ocelových plechů. S postupným vývojem automobilové techniky a zaváděním lehkých slitin, hliníku, vysokopevnostních ocelí a kompozitních materiálů se však výrazně změnily i požadavky na technologie oprav. Dnes již nelze na všechny typy poškození aplikovat stejné postupy, které byly běžné před několika desetiletími.

Moderní technologie, jako je lepení konstrukčních dílů, laserové svařování, nebo 3D skenování deformací, umožňují přesnější a efektivnější opravy s minimálním negativním dopadem na původní strukturu vozidla. Tyto metody přispívají nejen k vyšší kvalitě opravy, ale i k ekologičtější a hospodárnější údržbě vozidel. Výrobci automobilů navíc stanovují specifické postupy pro opravy svých modelů, čímž se zvyšuje potřeba odborného školení mechaniků a využívání certifikovaných technologií.

1.2 Důležitost správné opravy karoserie

Špatně provedená oprava karoserie může mít vážné důsledky. Například nesprávné vyrovnání nosných částí může negativně ovlivnit geometrii podvozku a tím i jízdní vlastnosti vozidla. Nedostatečně pevně spojené nebo nesprávně svařené díly mohou vést k oslabení deformačních zón, což výrazně zhoršuje ochranu posádky při případné další nehodě. Proto je nezbytné dodržovat předepsané metodiky oprav, používat odpovídající materiály a respektovat specifika jednotlivých automobilových konstrukcí.

V dnešní době se tedy opravy karoserií neomezují pouze na mechanické opravy, ale zahrnují pokročilé technologie, diagnostické metody a ekologické přístupy. Právě rychlý vývoj v této oblasti činí problematiku oprav karoserií velmi aktuální a klade vysoké nároky na autoservisy i samotné techniky.

2 Význam oprav karoserií v dopravním sektoru

Opravy karoserií silničních vozidel představují nedílnou součást provozní údržby a obnovy vozového parku. Vedle estetické funkce mají opravy karoserií zásadní význam pro zajištění bezpečnosti provozu, provozuschopnosti vozidla a jeho strukturální integrity. Vzhledem k rostoucí intenzitě silniční dopravy, pokročilým konstrukčním řešením vozidel a požadavkům na udržitelnost se význam tohoto segmentu v posledních letech výrazně zvyšuje.

2.1 Postavení opravárenského průmyslu

Opravárenský průmysl tvoří významnou součást automobilového sektoru, přičemž zajišťuje jak běžnou údržbu, tak specializované zásahy po dopravních nehodách. Zejména oblast karosářských oprav patří mezi technicky nejnáročnější disciplíny, které vyžadují nejen zručnost, ale stále častěji i specializované technologické vybavení, digitální měřicí systémy a znalost vlastností moderních materiálů. Správně provedené opravy karoserií mají zásadní význam pro bezpečnost posádky i ostatních účastníků silničního provozu

Podle zprávy Asociace automobilového průmyslu (AutoSAP) tvoří automobilový průmysl 34 % českého zpracovatelského sektoru. Z toho významná část připadá na opravy a servis, přičemž v České republice působí více než 6 000 karosářských a lakýrnických provozoven, které zaměstnávají tisíce odborníků[1].

Opravárenský průmysl:

- Zajišťuje znovuuvedení vozidla do provozu po havárii či poškození.
- Přispívá k udržení zůstatkové hodnoty vozidel (zejména u leasingových a fleetových).
- Slouží jako součást cirkulárního přístupu – prodlužuje životní cyklus vozidel bez nutnosti výroby nových dílů.

2.2 Statistika nehodovosti / potřeba opravy karoserií

Podle statistik Policie České republiky došlo v roce 2024 k celkem 92 217 dopravním nehodám, z nichž drtivá většina vedla k poškození karoserie vozidla. Ačkoliv šlo meziročně o mírný pokles (–3 %), stále jde o vysoké číslo, které dokládá každodenní potřebu karosářských zásahů.[2]

Tabulka 1: Popis nehod v roce 2024/2023

Typ nehody	Počet případů (2024)	Meziroční změna
Celkový počet nehod	92 217	–3 %
Usmrcení osob	438	–3,7 %
Těžká zranění	1 609	–8,1 %
Odhadovaná škoda	8 miliard Kč	+4 %

Zdroj: [2]

Nejčastěji poškozené části karoserie:

- Nárazníky
- Dveře
- Blatníky
- Kapoty
- Strukturální výztuhy (např. prahy, sloupky) u těžších nehod

Vedle nehod tvoří nezanedbatelný podíl oprav i poškození způsobená běžným provozem jako jsou parkovací manévry, vandalismus, kroupy, kolize s překážkami apod. Potřeba efektivních, rychlých a kvalitních oprav tak představuje systémovou nutnost, která zajišťuje nejen bezpečnost provozu, ale i celkovou funkčnost dopravního systému.[2]

2.3 Ekonomický, technologický a ekologický dopad

Ekonomický dopad

Opravy karoserií představují jednu z nejvýznamnějších složek nákladů na provoz vozidla po havárii. Průměrná škoda na vozidle bez zranění činila v roce 2023 dle pojišťoven cca 57 500 Kč, zatímco dle Policie ČR až 74 000 Kč, v závislosti na způsobu ocenění. Kromě přímých nákladů ovlivňují opravy i zůstatkovou hodnotu vozidla, zejména pokud jsou provedeny neodborně (např. ztráta garance geometrie nebo strukturální pevnosti). Opravárenský sektor také tvoří významnou součást automobilového průmyslu, nejen z technického a ekonomického

ale i sociálního hlediska. Podílí se na tvorbě pracovních míst, podpoře lokálních ekonomik a zároveň stimuluje technologický rozvoj. Autoservisy, lakovny, klempířská centra a autorizované opravy zaměstnávají miliony pracovníků po celém světě, přičemž poptávka po kvalifikovaných odbornících v oblasti diagnostiky a moderních metod oprav stále roste.[3]

Důležitou roli sehrává také trh s náhradními díly, kde se uplatňují jak originální komponenty (OEM), tak díly z aftermarketu. Tento segment zajišťuje širokou dostupnost a konkurenci, umožňuje opravy vozidel napříč cenovými kategoriemi a snižuje závislost na autorizovaných sítích.

Technologický dopad

Moderní vozidla jsou konstruována z kombinace oceli, hliníku, plastů a kompozitů, často s využitím vysokopevnostních a tvarově přesných dílů. Opravy tak vyžadují moderní metody a přesná měření. To klade nároky na vzdělání pracovníků, certifikaci provozů a technologické zázemí.

Ekologický dopad

Opravy karoserií významně přispívají k snižování ekologické zátěže, protože:

- Nahrazují výměnu celých dílů, čímž šetří materiál a energii.
- Používají nízkoemisní technologie (např. PDR, lepení bez lakování).
- Snižují produkci odpadu a spotřebu chemických látek.

Např. společnost Škoda Auto ve svém reportu o udržitelnosti uvádí, že jen optimalizací procesů v lakovnách dosáhla úspory více než 6 000 MWh zemního plynu ročně, což ukazuje potenciál efektivních oprav i v rámci výrobních a servisních procesů. [4]

3 Teoretické základy oprav karoserií silničních vozidel

Tato kapitola se zaměřuje na teoretické aspekty oprav karoserií silničních vozidel. Pro porozumění správným metodám oprav je nutné znát konstrukční řešení moderních automobilů a používané materiály. V rámci této kapitoly budou analyzovány druhy poškození a možnosti jejich stanovení a také jednotlivé materiály, jejich mechanické vlastnosti a dopad na výběr vhodné opravárenské technologie.

Historický vývoj opravárenství

Opravárenství karoserií se vyvíjí ruku v ruce s vývojem automobilové výroby. V počátcích automobilismu, na přelomu 19. a 20. století, byly karoserie vozidel ručně tvarované z oceli nebo hliníku, byla zapotřebí i truhlářská zručnost na výrobu výdřev. Opravy probíhaly výhradně řemeslným způsobem, bez použití standardizovaných metod. V průběhu 20. století s nástupem sériové výroby a samonosných karoserií se opravy staly rychlejšími a efektivnějšími, díky technologiím jako je bodové svařování, lisování plechů a zavedení normovaných postupů. Od 80. let začaly být karoserie stále častěji vyráběny z vysokopevnostních ocelí a hliníku, což vyžadovalo nové přístupy k opravám. V posledních desetiletích se opravárenský průmysl posunul směrem k moderním technologiím, jako jsou lepené spoje, laserové svařování, PDR nebo digitální diagnostika, čímž se stal vysoce specializovanou a technologicky náročnou oblastí automobilového sektoru.[5]

3.1 Materiály karoserií

Vývoj konstrukce karoserií silničních vozidel úzce souvisí s technologickým pokrokem v automobilovém průmyslu. Zajištění dostatečné pevnosti a bezpečnosti vozidla, při současném snižování jeho hmotnosti a zlepšování aerodynamických vlastností, patří mezi klíčové požadavky výrobců. Použité materiály a výrobní technologie ovlivňují nejen jízdní vlastnosti a spotřebu paliva, ale také náklady na opravy a možnosti jejich provedení.

V této kapitole budou analyzovány hlavní typy materiálů využívaných při konstrukci karoserií, jejich vývoj, výhody a omezení při opravách.

3.1.1 Ocelové karoserie

Karoserie silničních vozidel jsou nejčastěji vyráběny z oceli, především díky její pevnosti, relativně nízké ceně a dobré zpracovatelnosti. V průběhu let však dochází k výraznému vývoji používaných typů ocelí, od klasických konvenčních uhlíkových slitin, až po moderní vysokopevnostní materiály, které přinášejí lepší mechanické vlastnosti při nižší hmotnosti.[6]

Konvenční uhlíkové oceli

Konvenční neboli nízkolegované uhlíkové oceli byly dlouhou dobu hlavním materiálem pro výrobu karoserií. Tyto oceli mají obsah uhlíku typicky do 0,25 %, což zajišťuje dobré mechanické vlastnosti, jako je pružnost, tvarovatelnost a svařitelnost. Výhodou těchto ocelí je také jejich snadná oprava v případě poškození, lze je jednoduše rovnat, svařovat nebo řezat běžnými metodami. Na druhou stranu je jejich pevnost relativně nízká, což znamená, že při srážkách nemusí poskytnout dostatečnou ochranu a zároveň přispívají k vyšší hmotnosti vozidla. To je jeden z důvodů, proč dochází k jejich postupnému nahrazování pokročilejšími materiály.[7]

Vysokopevnostní oceli

Moderní automobilový průmysl stále více využívá vysokopevnostní oceli neboli AHSS, které kombinují nízkou hmotnost s vysokou mechanickou odolností. Tyto materiály se vyznačují mezí kluzu od 500 MPa až do 1500 MPa, a nacházejí uplatnění zejména v oblastech karoserie s vyššími nároky na ochranu cestujících např. v prahových výztuhách, A, B a C sloupcích nebo nosných částech rámu. Použití těchto ocelí přispívá ke zlepšení deformační odolnosti při nárazu a zároveň umožňuje snížení celkové hmotnosti vozidla, což má pozitivní vliv na spotřebu paliva i emise. Bohužel tyto materiály vyžadují specifické technologie opravy například speciální typy svařování, přesné nastavení parametrů nebo použití speciálního náradí kvůli jejich vyšší tvrdosti a nižší tvárnosti.[7; 6; 8]

Tabulka 2: Specifika při opravě ocelových karoserií

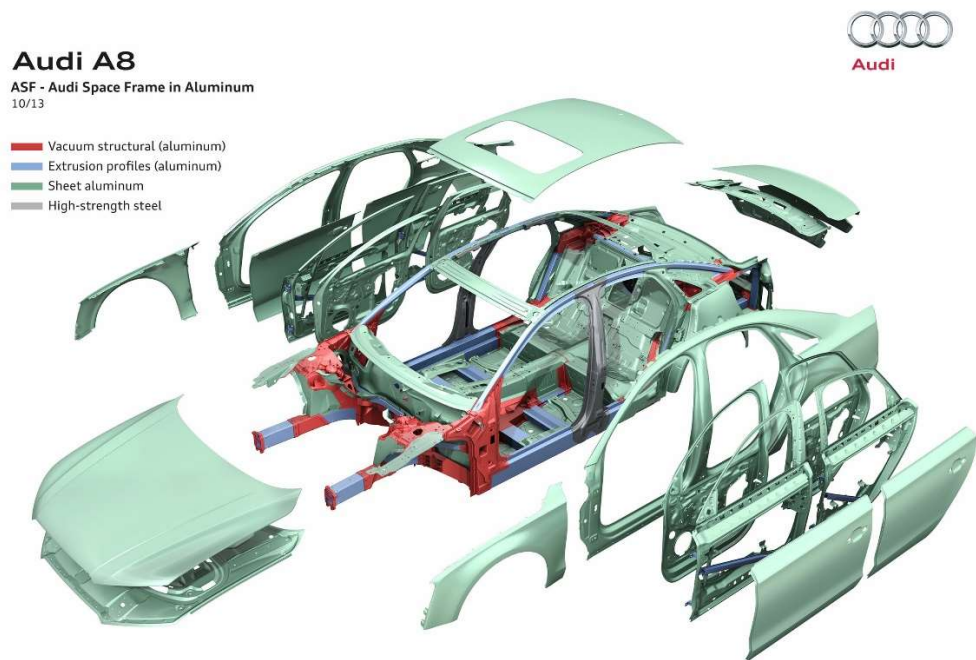
<ul style="list-style-type: none">▪ Tepelná citlivost moderních ocelí – HSS/AHSS nesou klasické tepelné rovnání; tepelné působení (např. při svařování) může vést ke ztrátě pevnosti často je nutná výměna dílu.
<ul style="list-style-type: none">▪ Možnosti spojování – běžná ocel umožňuje MIG/MAG, bodové svařování i rovnání; u HSS/AHSS se využívá spíše bodové svařování s řízeným impulzem, nebo mechanické spojování (např. lepení, nýtování).
<ul style="list-style-type: none">▪ Citlivost na korozi – ocel je náchylná k oxidaci po zásahu, a proto je nezbytné důsledně obnovit ochranné vrstvy (základní nátěr, těsnění svarů, konzervace dutin).
<ul style="list-style-type: none">▪ Nutnost dodržet pokyny výrobce – opravy vysoce pevnostních struktur (např. sloupky A/B, prahy) podléhají přesným předpisům, včetně typu spoje a rozsahu opravy.
<ul style="list-style-type: none">• Vysoká pružnost běžné oceli – umožňuje opakované tváření, s čímž se v běžné klempířské praxi snadno pracuje.

Zdroj: [6; 8; 7]

Celkově zůstává ocel nejuniverzálnějším materiálem pro opravy karoserií, ale s rozvojem vícefázových slitin a bezpečnostních struktur roste význam a potřeba specializace a znalosti správného postupu.

3.1.2 Hliník a jeho slitiny

Hliník a jeho slitiny představují po oceli druhou nejrozšířenější skupinu materiálů používanou v konstrukci automobilových karoserií. Díky své nízké hmotnosti, odolnosti proti korozi a výhodnému poměru pevnosti k hmotnosti hraje hliník klíčovou roli především v oblasti snižování emisí CO₂ a spotřeby paliva, což je v souladu s požadavky moderní mobility a legislativy. Slitiny hliníku, nejčastěji na bázi Al-Mg-Si, Al-Cu nebo Al-Zn, se v automobilovém průmyslu uplatňují při výrobě kapot, dveří, střech, blatníků, výztuh i podlahových skupin. U některých modelů (např. Jaguar, Audi, Tesla) se využívá hliník i pro celé samonosné karoserie. Význam hliníku roste zejména u elektromobilů, kde přispívá k prodloužení dojezdu snížením hmotnosti vozidla.[9]



Obrázek 1: Výskyt hliníku v karoserii vozidla Audi A8 [10]

Slitiny Hořčíku

Vyskytují se také slitiny s převážným objemem hořčíku a zbylým procentem hliníku. Mají extrémně nízkou hmotnost a vysokou pevnost. Hořčíkové příměsi zlepšují pevnost a zpracovatelnost slitin, případně se používají samostatně ve specifických komponentech např. rámové díly, výztuhy nebo držáky komponentů. Vyskytují se zejména v elektromobilech a sportovních vozech. Tyto slitiny však mají nižší tvárnost a vyšší křehkost než ocel či hliník, takže špatně snášejí klasické mechanické opravy, což omezuje jejich použití na specifické aplikace a činí je náročnými na opravu.[11]

Hliníková pěna

Hliníková pěna je specifický materiál, který kombinuje nízkou hmotnost s výjimečnými mechanickými a energeticky absorpčními vlastnostmi. Jedná se o porézní strukturu vyráběnou nejčastěji litím nebo práškovou metalurgií, přičemž výsledný materiál má až 90 % objemu tvořeno póry. Používá se na výztuhy a deformační zóny, panely s vyššími požadavky na tuhost a tlumení vibrací nebo na lehké konstrukce ve sportovních vozech a elektromobilech.

Opravy hliníkové pěny jsou v praxi velmi omezené. V případě poškození bývá většinou nutná výměna celého komponentu. Díky její nízké hmotnosti a specifickým vlastnostem se s ní však spíše počítá jako s výměnným dílem než jako s materiálem určeným k opravám.[12]

Tabulka 3: Specifika při opravě hliníkových materiálů

▪ Netvárnost a pružnost – hliníkové plechy jsou méně tvárné než ocel a při pokusu o mechanické rovnání může dojít k prasklinám nebo trvalému poškození. Při větším poškození se obvykle neopravují, ale rovnou vyměňují.
▪ Nevhodnost pro tepelné opravy – hliník ztrácí mechanické vlastnosti už při nižších teplotách (od cca 150 °C), proto není vhodný pro klasické tepelné rovnání ani neřízené svařování. Opravy musí probíhat při přesně kontrolovaném tepelném vstupu.
▪ Hliníkové slitiny je možné svařovat (nejčastěji metodou TIG nebo MIG), ale pouze při dodržení přesné přípravy povrchu (odstranění oxidů), použití vhodného inertního plynu a kontrolovaného tepelného režimu. Ne každá slitina je svařitelná, některé vytvrzené typy nejsou opravitelné vůbec.
▪ Vhodné metody spojování – moderní opravárenské postupy využívají především strukturální lepidla v kombinaci se samo děrovacími nýty. Tato technologie zajišťuje pevnost bez tepelného ovlivnění, a je běžně předepsána výrobcem jako BMW, Audi, Jaguar či Tesla.
▪ Elektrochemická reaktivita – při kontaktu hliníku s jinými kovy, zejména ocelí, dochází k elektrochemickým reakcím. Spoje musí být odděleny izolačními vrstvami a chráněny proti vlhkosti, jinak hrozí rychlá degradace materiálu.
▪ Povrchová úprava a příprava – před každou opravou je nutné odstranit oxidovou vrstvu, která se na hliníku přirozeně tvoří a brání kvalitnímu spojení. Platí to pro svařování i lepení.
▪ Nutnost samostatného pracoviště – opravy musí být prováděny v oddělených pracovištích, aby nedošlo ke kontaminaci ocelovým prachem, který urychluje korozi hliníku.

Zdroj: [9; 11; 12]

Hliník a jeho slitiny jsou z hlediska oprav náročné na technologii, čistotu a přesnost, ale při dodržení správných postupů umožňují zachovat vysokou kvalitu a životnost konstrukce.

3.1.3 Kompozitní materiály

Kompozitní materiály se v oblasti automobilové výroby a oprav karoserií uplatňují stále více, a to zejména v segmentu sportovních a luxusních vozidel, ale postupně se objevují i u běžných automobilů, například u elektromobilů, kde se klade důraz na co nejnižší hmotnost. Kompozity se vyznačují velmi dobrým poměrem mezi pevností a hmotností, výbornou chemickou odolností a často i schopností pohlcovat energii nárazu. Nejčastěji se jedná o materiály na bázi polymerů vyztužených skleněnými nebo uhlíkovými vlákny (GFRP – glass fiber reinforced plastic, CFRP – carbon fiber reinforced plastic). Používají se například na kapoty, blatníky, dveře, střechy nebo celé monokokové struktury u sportovních vozidel (některé modely Audi nebo McLaren) nebo také u běžného elektromobilu, kterým je například BMW i3[13]. Kompozity jsou také klíčovým materiálem v oblasti deformačních zón a vnitřních výztuh.[14]



Obrázek 2: Karoserie vozu BMW i3 typu monokok z CFRP[13]

Z hlediska opravitelnosti jsou kompozity náročnější než kovové materiály. Poškození často nelze jednoduše vyrovnat nebo převařit. Opravy vyžadují speciální přístupy jako je vrstvení, lepení nebo vakuové laminování a často jsou spojeny s vyššími náklady. Důležitá je také správná identifikace typu kompozitu a míry poškození, protože některé druhy nelze opravit vůbec a je nutné je vyměnit jako celek.[14]

Tabulka 4: Specifika při opravě kompozitních materiálů

<ul style="list-style-type: none">▪ Nízká opravitelnost klasickými metodami – kompozity nelze rovnat nebo svařovat. Poškozené části se opravují vrstvením, laminací nebo lepením, a často je nutná celková výměna dílu.
<ul style="list-style-type: none">▪ Citlivost na strukturální porušení – i zdánlivě malé poškození může narušit vlákna a oslabit pevnost celé konstrukce. Vizualizace poškození je obtížná, často se používá ultrazvuková diagnostika nebo termografie.
<ul style="list-style-type: none">▪ Specifické postupy opravy – oprava probíhá v několika krocích: odstranění poškozené vrstvy, příprava plochy, nanášení výztužných vrstev (tkaniny), impregnace pryskyřicí a vytvrzení (často za tepla a pod vakuem).
<ul style="list-style-type: none">▪ Náročnost na vybavení a pracovní prostředí – opravy kompozitů vyžadují speciální pracoviště s kontrolovaným prostředím, sušicími boxy a ochrannými pomůckami (vlákna a pryskyřice jsou zdravotně rizikové).
<ul style="list-style-type: none">▪ Riziko nesprávné opravy – u nosných nebo bezpečnostních prvků (např. monokoky, výztuhy) může neodborná oprava znamenat zásadní ohrožení bezpečnosti, v takových případech výrobci často předepisují výměnu celé části.
<ul style="list-style-type: none">▪ Ekologické a ekonomické aspekty – kompozity jsou obtížně recyklovatelné, opravy jsou drahé a časově náročné. Přesto mají své opodstatnění tam, kde je klíčová nízká hmotnost a vysoká tuhost (např. elektromobily, sportovní vozy, EV platformy).

Zdroj: [14]

Výrobci jako BMW (např. model i3, i8), Audi (RS modely), McLaren či Polestar pracují s CFRP jako se strukturálním materiálem, což znamená, že oprava je možná jen podle velmi přesných pokynů – často v rámci autorizovaných nebo certifikovaných sítí.[15]

3.1.4 Plasty

Plasty hrají v konstrukci karoserií stále významnější roli díky své nízké hmotnosti, odolnosti proti korozi a možnosti snadného tvarování. Zatímco dříve se používaly převážně pro interiérové části nebo drobné exteriérové díly (např. nárazníky, kryty zrcátek), dnes se běžně aplikují i na větší karosářské panely jako kapoty nebo blatníky.

Jejich výhodou je kromě nízké hmotnosti také schopnost tlumit vibrace a částečně pohlcovat nárazy díky pružnosti. Nevýhodou je naopak nižší pevnost, složitější opravy a citlivost na nízké teploty. Tyto nedostatky lze však do jisté míry kompenzovat konstrukčním řešením, např. vyztužením nebo silnějšími stěnami. Plasty rovněž umožňují integraci více prvků do jednoho dílu, což přispívá ke snižování hmotnosti i výrobních nákladů.[16]

Kromě běžných aplikací, jako jsou nárazníky, podběhy kol, kryty prahů nebo masky chladičů, se plasty uplatňují také u konstrukčně náročnějších dílů, například modulů předních a zadních čel, vnitřních výplní dveří nebo výztuh palubní desky. U některých modelů jsou používány kompozitní plasty s příměsí skelných či uhlíkových vláken pro dosažení vyšší tuhosti. Následuje stručné rozdělení plastů dle zpracování a vlastností. [14]

Termoplasty

Termoplasty jsou nejrozšířenější skupinou plastů. Mají schopnost opakovaně měnit skupenství, při zahřátí změknou a po ochlazení opět ztuhnou, aniž by došlo ke změně jejich chemické struktury. To umožňuje jejich tváření, svařování i recyklaci. Využívají se na výrobu nárazníků, podběhů, výplní dveří, obložení sloupků nebo palubních desek.

Příklady:

- PP (polypropylen) – levný, dobře tvarovatelný, nárazuvzdorný.
- ABS (akrylonitril-butadien-styren) – tužší a pevnější, vhodný pro interiér.
- PC (polykarbonát) – vysoce houževnatý, opticky čirý (světlomety).
- PA (polyamid, např. nylon) – odolný vůči teplotě, používá se u technických dílů.

Termoplasty jsou z hlediska oprav nejlépe zpracovatelné, lze je svařovat, lepit i tvarovat, což z nich činí ideální materiál pro díly karoserie, u kterých se předpokládá jejich častá oprava.[17]

Termosety

Termosety neboli reaktoplasty jsou plasty, které při vytvrzení mění svou strukturu nevratně, nelze je po vytvrzení již dále tavit ani tvarovat. Mají vynikající tepelnou a chemickou odolnost, ale horší možnost oprav. Využívají se na výztuhy, výplně, strukturální díly, části interiéru s vysokou tepelnou zátěží.

Příklady:

- Polyuretany (PUR) – nejrozšířenější, používá se na části interiéru, výplně a tlumící prvky
- EP (epoxidová pryskyřice) – používán v kompozitech a lepidlech.

Opravy termosetů jsou obtížné až nemožné, většinou se přistupuje k lepení nebo výměně celého dílu.[18; 5]

Kompozitní plasty

Kompozitní plasty jsou plasty vyztužené vlákny (skleněnými, uhlíkovými, aramidovými) pro zvýšení mechanické pevnosti. Používají se tam, kde je třeba kombinace nízké hmotnosti a vysoké tuhosti. Patří sem i tzv. sendvičové struktury. Nachází využití ve sportovních vozech výztuhách prahů, nosnících, panelech elektromobilů.[14]

Příklady:

- GFRP – skelný laminát, běžný u plastových nárazníků.
- CFRP – uhlíkový kompozit, u supersportů a luxusních modelů.
- Bio-kompozity – kombinace polymeru a přírodních vláken (např. len, juta).

Opravy kompozitních plastů vyžadují specializovaná pracoviště, technologie vrstvení a vakuového vytvrzování, případně nahrazení celého dílu.[14]

Opravy plastových dílů se často provádějí lepením, svařováním plastů (horkovzdušně, ultrazvukem, nebo pomocí tavných drátů), případně tepelným tvářením. U esteticky exponovaných ploch (např. nárazníky) je však častěji ekonomičtější výměna než oprava.[14]

Tabulka 5: Specifika při opravě plastů

▪ Velice důležitá identifikace typu plastu pro správnou opravu
▪ U lakovaných plastů je nutné dodržet technologii vícevrstvého lakování, jinak hrozí odlupování nebo rozdílný lesk.
▪ Tvarová paměť plastů komplikuje vyrovnávání – při přehřátí může dojít ke ztrátě geometrie dílu.
▪ Zdravotní a ekologické aspekty – výpary a prach při opravách je nutné odsávat, některé plasty při degradaci uvolňují toxické látky.
▪ Smart repair je vhodný pro rychlé lokální opravy, ale u strukturálních nebo esteticky náročných částí bývá výhodnější výměna.









Zdroj: [14; 16]

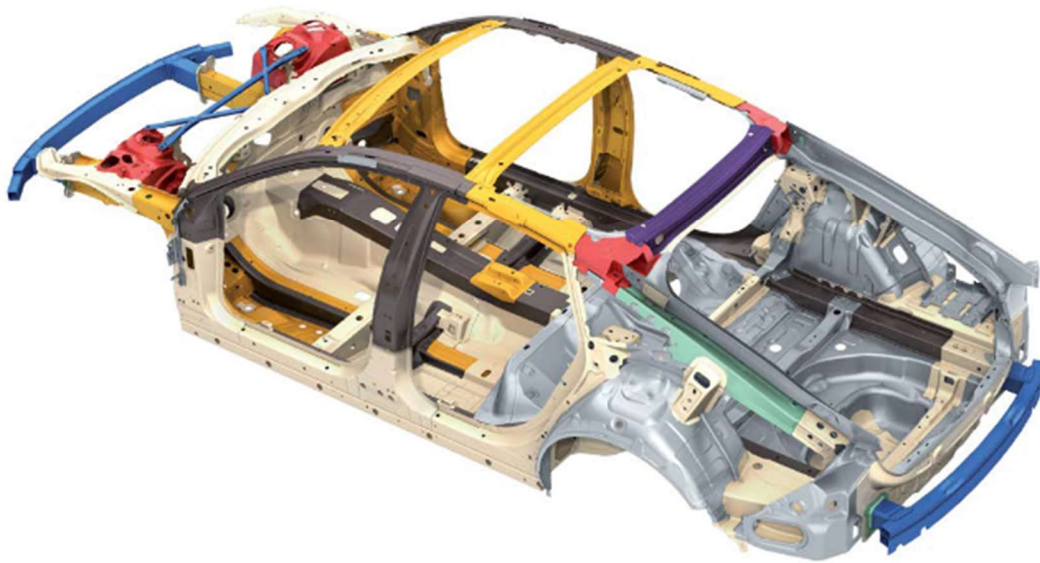
Celkově platí, že opravy plastů jsou technicky proveditelné, ale vyžadují znalost materiálu, odpovídající vybavení a důraz na detail.

3.1.5 Hybridní konstrukce (kombinace různých materiálů)

Hybridní konstrukce karoserií kombinují různé materiály nejčastěji ocel, hliník, plasty a kompozity s cílem optimalizovat hmotnost, pevnost a bezpečnost. Umožňují cíleně využít výhody jednotlivých materiálů v různých částech karoserie. Například ocel se uplatňuje ve výtuhách a deformačních zónách, zatímco hliník a plasty snižují hmotnost méně namáhaných dílů, jako jsou dveře nebo kapoty. Typickým příkladem je karoserie s ocelovým rámem, hliníkovými panely a plastovými nárazníky. Hybridní konstrukce zlepšují pasivní bezpečnost, snižují emise a umožňují větší konstrukční volnost. Jejich využití je běžné u elektromobilů a prémiových značek. Na druhé straně vyžadují náročnější výrobu a opravy. Spojování různých materiálů často vyžaduje lepení, nýtování a speciální ochranu proti galvanické korozi. Při opravách je nutné správně identifikovat materiály a zvolit odpovídající technologii.[19]

Key:

	Sheet aluminum
	Die-cast aluminum
	Aluminum section
	Ultra-high-strength steel (hot-formed)
	Modern high-strength steel
	High-strength steel
	Soft steel
	Composite steel/plastic



Obrázek 3: Použití různých materiálů ve voze Audi A7[15]

Na obrázku je znázorněna karoserie moderního osobního automobilu s barevně odlišenými materiály použitými v jednotlivých částech skeletu. Tento příklad ilustruje princip hybridní konstrukce, kdy se v rámci jedné karoserie kombinuje více druhů materiálů za účelem optimalizace hmotnosti, pevnosti a bezpečnosti.[15]

Barevné rozlišení znázorňuje použití:

- Hliníkových plechů a výlisků (světle zelená, červená, modrá) – snižují hmotnost a tvoří deformační prvky
- Oceli s různou pevností (tmavě šedá, žlutá, béžová, světle šedá) – tvoří většinu karoserie, zajišťují vysokou pevnost v kritických oblastech jako jsou A/B sloupky, podélníky nebo prahy.
- Kompozitních materiálů (fialová) – v tomto případě kombinace sendvičového plechu s kompozitovým plastem.

Tato konstrukční filozofie se uplatňuje zejména u vozidel vyšší třídy a elektromobilů, kde je kladen důraz na hmotnostní optimalizaci a energetickou účinnost. Zároveň však klade vysoké nároky na technologii oprav, zejména co se týče spojování a ochrany proti galvanické korozi.[15]

Tabulka 6: Specifika při opravě hybridních karoserií

Riziko galvanické koroze – kombinace kovů s rozdílným elektrochemickým potenciálem (např. ocel–hliník) vyžaduje izolaci spojů a použití speciálních tmelů nebo vrstev.
Omezené možnosti svařování – různé materiály nelze jednoduše svařovat. Opravy se provádějí pomocí lepení, nýtování a hybridního spojování.
Různá tepelná roztažnost materiálů – opravy teplem mohou způsobit deformace nebo narušení spoje; nutné je použití nízkoteplotních a přesně řízených technologií.
Náročná diagnostika a přístup – konstrukce často obsahují více vrstev a výztuh (včetně kompozitních prvků), které nejsou na první pohled viditelné.
Předepsané opravárenské zóny – výrobci vymezují přesně místa, kde je oprava přípustná, a kde je nutná výměna – často formou modulární demontáže.

Zdroj:[19; 15]

Hybridní konstrukce zvyšují bezpečnost a snižují hmotnost vozidla, ale při opravě kladou vysoké nároky na znalost konstrukce, použité materiály a přesnost zásahu. Jejich správná oprava často vyžaduje certifikaci nebo autorizaci výrobce.

3.2 Poškození karoserie

Karoserie silničních vozidel je vystavena různým vlivům, které mohou vést k jejímu poškození. Tato poškození lze rozdělit do několika kategorií podle jejich původu a charakteru. Mezi nejčastější patří mechanická, chemická a poškození způsobená haváriemi. Každý z těchto typů poškození má odlišné příčiny, důsledky a vyžaduje specifické metody opravy.[20]

3.2.1 Mechanická poškození

Deformace

Mohou být důsledkem nárazu, tlaku nebo ohybu materiálu. Vyskytují se ve formě promáčklin, záhybů či vyboulení na povrchu karoserie. Tyto defekty mohou ovlivnit nejen estetiku vozidla, ale i jeho aerodynamické vlastnosti a strukturální integritu. Závažnost deformace závisí na intenzitě mechanického namáhání a typu použitého materiálu karoserie.[20]



Obrázek 4: Příklad deformace zadní části vozu [zdroj: vlastní]

Praskliny

Vznikají při přetížení materiálu, například při nárazu nebo opakovaném namáhání. Praskliny mohou být povrchové nebo hluboké, přičemž u hlubších trhlin existuje riziko rozšíření a snížení pevnosti daného dílu. Tento typ poškození se často vyskytuje v oblastech svařovaných spojů nebo v místech, kde je karoserie vystavena opakovanému namáhání.[20]

Povrchová poškození

Povrchová mechanická poškození karoserie například škrábance, která vznikají v důsledku kontaktu s tvrdým předmětem, např. klíči, větvemi nebo nákupním vozíkem. Míra poškození se liší podle hloubky – od drobných škrábanců v čirém laku až po hluboké rýhy zasahující do základní vrstvy nebo kovu. Zatímco mělké škrábance lze rozleštit, hlubší vyžadují lokální lakování. Neošetřené škrábance mohou být vstupním bodem pro korozi[20]



Obrázek 5: Příklad poškození zadního nárazníku po střetu s jiným vozem [zdroj: vlastní]

3.2.2 Chemická poškození

Chemická poškození karoserie jsou způsobena především reakcí materiálů s okolním prostředím. Mezi nejběžnější formy patří:

Oxidace

Oxidace železných materiálů neboli koroze nejčastěji postihuje ocelové části karoserie a vzniká reakcí železa s kyslíkem a vodou za vzniku oxidu železitého neboli rez. Korozi mohou urychlovat agresivní faktory, jako je posypová sůl na vozovkách, vysoká vlhkost nebo mechanické narušení ochranných vrstev (lak, zinkování). Existují různé typy koroze, například povrchová, důlková nebo mezi krystalová, přičemž každá vyžaduje jiný přístup k opravě.[21]



Obrázek 6: Příklad koroze spodní části předního blatníku [zdroj: vlastní]

Oxidace může postihovat hliníkové a jiné neželezné části karoserie. Na rozdíl od koroze oceli oxidace hliníku obvykle nevede k destruktivnímu poškození materiálu, ale může ovlivnit jeho estetiku a v některých případech i pevnostní vlastnosti. Prevence a opravy chemických poškození zahrnují pravidelnou údržbu ochranných vrstev (lakování, voskování), použití antikoročních nástřiků a v případě pokročilé koroze výměnu postižených dílů. Moderní výrobní technologie stále častěji využívají kompozitní materiály, které jsou vůči chemickým vlivům odolnější.[21]

3.2.3 Poškození v důsledku havárií

Poškození karoserie v důsledku dopravních nehod lze rozdělit do dvou hlavních kategorií:

Strukturní poškození

Zasahuje nosné části karoserie, jako jsou podélníky, prahy, sloupky nebo příčninky. Tento typ poškození má zásadní vliv na pevnost a bezpečnost vozidla. Opravy vyžadují přesné diagnostické metody, například měření geometrie karoserie, a následné opravy často zahrnují použití rovináčích rámců, svařování nebo výměnu postižených částí. U některých vozidel s moderními materiály, jako jsou vysokopevnostní oceli a kompozity, může být oprava strukturního poškození obtížná nebo ekonomicky neefektivní, což vede k nutnosti výměny celých částí karoserie.[22]



Obrázek 7: Příklad strukturního poškození[23]

Na obrázku je vidět opravený B sloupek, avšak při opravě nebyl použit správný postup vzhledem materiálu sloupku, výsledky crash testu byly špatné a reálná kolize by mohla být pro posádku i fatální. Je tedy nutné postupovat podle správných postupů oprav.

Nestrukturní poškození

Nestrukturní poškození představuje takové zásahy do karoserie vozidla, které neovlivňují její nosné a bezpečnostní prvky. Typicky jde o deformace a poškození vnějších částí, jako jsou nárazníky, blatníky, dveře, kapoty nebo plastové obložení. Tato poškození nevlivní celkovou tuhost nebo deformační schopnost karoserie a zpravidla nevyžadují zásah do skeletu vozidla. Opravy bývají méně náročné a lze je provést výměnou či lokální opravou daného dílu bez potřeby rovnání rámu nebo přesného měření geometrie.[22]



Obrázek 8: Příklad nestrukturního poškození [zdroj: vlastní]

Na obrázku je zachycen příklad takového nestrukturního poškození, osobní vozidlo s viditelným poškozením přední části karoserie. Jedná se zejména o deformaci předního nárazníku, uvolněné části masky a poškození blatníku, přičemž nedošlo k zásahu do nosných konstrukčních prvků vozidla. Tento typ poškození je typický pro lehké dopravní kolize a bývá řešitelný výměnou nebo opravou jednotlivých dílů bez nutnosti zásahu do rámu nebo skeletu karoserie.

3.3 Stanovení rozsahu poškození

Správné stanovení rozsahu poškození karoserie je klíčovým krokem při rozhodování o vhodné metodě opravy. Důkladná diagnostika umožňuje nejen přesně identifikovat viditelné i skryté defekty, ale také posoudit, zda je oprava ekonomicky akceptovatelná, nebo zda je nutná výměna poškozených částí. Tradiční přístupy se dlouhodobě opíraly především o vizuální kontrolu a zkušenosti techniků, avšak moderní technologie umožňují detailnější a objektivnější posouzení stavu karoserie.[24]

3.3.1 Tradiční metody

Vizuální kontrola patří k nejstarším a nejpoužívanějším metodám hodnocení poškození karoserie. Provádí ji technik, který na základě svých zkušeností a dostupných nástrojů posuzuje viditelné vady a deformace.

Mezi základní kroky tradiční vizuální kontroly patří:

- **Optické posouzení** – technik provádí prohlídku karoserie a hledá viditelné známky poškození, jako jsou deformace, praskliny, odlupování laku nebo koroze.
- **Hmatová kontrola** – pomocí dotyku lze zjistit jemné nerovnosti povrchu, které nemusí být pouhým okem patrné.
- **Použití měřicích pomůcek** – pro přesnější posouzení mohou být využity měřidla, jako jsou pravítka, posuvná měřítka nebo úhlooměry pro kontrolu zarovnání karoserie.
- **Kontrola geometrie** – pokud existuje podezření na změnu geometrie karoserie, lze provést měření vzdáleností mezi referenčními body, například pomocí měřicích rámců nebo jednoduchých laserových systémů.

Hlavní nevýhodou této metody je její subjektivita a omezená schopnost detekovat vnitřní nebo skrytá poškození, která nemusí být na první pohled patrná. Proto se v současnosti stále častěji uplatňují moderní diagnostické technologie.[25]

3.3.2 Moderní metody

Pokročilé diagnostické metody umožňují přesnější, rychlejší a objektivnější stanovení rozsahu poškození karoserie. Díky využití digitálních technologií a fyzikálních principů je možné identifikovat nejen viditelné vady, ale i skrytá poškození, která by jinak mohla být přehlédnuta.

Mezi nejmodernější diagnostické metody patří:

- **3D skenování** – tato metoda využívá laserové nebo optické skenery k vytvoření digitálního modelu karoserie. Výstupem je detailní 3D mapa povrchu, která umožňuje přesné porovnání s továrními specifikacemi. 3D skenování je obzvláště užitečné pro detekci deformací po nehodách, kdy je potřeba ověřit, zda došlo k odchylkám od původní geometrie.[26]
- **Ultrazvuková analýza** – principem této metody je vysílání ultrazvukových vln do materiálu a následná analýza jejich odrazu. Umožňuje odhalit vnitřní defekty, jako jsou trhliny, delaminace nebo poruchy struktury materiálu, které nejsou viditelné pouhým okem. Ultrazvuková diagnostika je často využívána u hliníkových a kompozitních částí karoserie, kde je vizuální kontrola nedostatečná.[27]
- **Termografie** – termokamery snímají infračervené záření vycházející z povrchu karoserie a umožňují identifikovat změny teploty, které mohou signalizovat přítomnost skrytých vad. Tato metoda je vhodná například pro detekci poškození způsobených rozdílnými materiálovými vlastnostmi, jako jsou studené spoje nebo místa s nehomogenním materiálem.[28]

Využití moderních diagnostických metod přináší vyšší přesnost a efektivitu do procesu posuzování poškození karoserie. Díky digitalizaci lze navíc výsledky snadno archivovat, sdílet a využívat pro následné plánování oprav. V kombinaci s tradičními přístupy tvoří komplexní systém, který umožňuje optimalizovat postupy oprav a zajistit jejich vysokou kvalitu.

3.4 Údržba karoserií silničních vozidel

Pravidelná údržba karoserií má zásadní význam pro zachování estetického vzhledu, funkčnosti a dlouhodobé životnosti vozidla. Správně prováděná údržba snižuje riziko koroze, degradace laku a jiných povrchových vad, čímž minimalizuje potřebu nákladných oprav. Zároveň přispívá ke zvýšení bezpečnosti a udržení hodnoty vozidla po celou dobu jeho provozu.

Základem péče o karoserii je pravidelné mytí, které odstraňuje agresivní nečistoty, jako jsou prach, posypové soli a organické látky. Důležité je i odstraňování asfaltových skvrn, zbytků hmyzu, ptačího trusu a pryskyřice, které mohou dlouhodobě narušovat lak. Po očištění je vhodné aplikovat ochranné vosky nebo keramické povlaky, které prodlužují životnost laku a zvyšují odolnost vůči UV záření a povětrnostním vlivům.

Jedním z nejdůležitějších aspektů údržby je prevence koroze, zejména u ocelových částí karoserie. K tomu slouží antikoroziní nástřiky podvozku a dutin, které chrání rizikové oblasti, jako jsou prahy, podběhy a vnitřní dutiny dveří. Pravidelná kontrola laku a včasné opravy škrábanců a oděrek brání pronikání vlhkosti k plechu a vzniku koroze. Zanedbání těchto opatření vede často k rozsáhlejší opravám, které jsou technologicky i finančně náročnější.[21]

Nezanedbatelnou součástí údržby je také péče o plastové nebo kompozitní díly karoserie, které se stále častěji používají. Tyto materiály vyžadují speciální čisticí prostředky, které nenaruší jejich strukturu, a ochranu proti stárnutí a UV degradaci. Pravidelná kontrola upevnění těchto dílů a včasná výměna prasklých komponent zajišťuje nejen vzhled, ale i funkčnost karoserie.[14]

Kvalitní údržba má prokazatelný vliv na životnost karoserie a zůstatkovou hodnotu vozidla. Pravidelně udržované vozy vykazují nižší míru koroze a mechanického poškození, což vede k delšímu intervalu mezi opravami a snížení celkových nákladů na provoz. Naopak zanedbání údržby může mít za následek nejen vyšší četnost oprav, ale i rychlejší ztrátu hodnoty vozidla.

4 Tradiční metody oprav karoserií používané dnes

Navzdory neustálému vývoji nových technologií zůstávají některé tradiční metody oprav karoserií stále běžně používané. Tyto metody se osvědčily svou efektivitou, relativně nízkými náklady a dostupností v autoservisech.

Navzdory rychlému vývoji moderních technologií a materiálů v automobilovém průmyslu zůstávají tradiční metody oprav karoserií stále široce využívány. Jejich hlavní výhodou je osvědčená efektivita, dostupnost technologií a nižší náklady ve srovnání s některými pokročilými metodami. Tyto postupy se běžně používají při opravách osobních i užitkových vozidel v autoservisech a specializovaných karosárnách.[20]

4.1 Mechanické opravy

Mechanické opravy představují nejstarší a nejzákladnější způsob odstranění deformací na karoseriích vozidel. Typicky zahrnují rovnání, vyklepávání, tahání a další fyzické úpravy plechových částí pomocí ručního nebo hydraulického nářadí bez nutnosti tepelného nebo chemického zásahu. Používají se především u ocelových karoserií, kde je materiál dostatečně tvárný. Tyto postupy jsou nezbytné u vozidel po nehodách, kdy je nutné obnovit původní geometrii karoserie a zajistit její strukturální pevnost.[20]

Princip a výhody

Základem mechanických oprav je plastická deformace plechu do původního tvaru, bez nutnosti výměny dílu. Výhodou je, že metoda je:

- Rychlá a ekonomická, není potřeba drahé vybavení.
- Univerzální, lze ji aplikovat na různé typy poškození.
- Šetrná k původnímu materiálu, pokud je správně provedena.

Při správné technice lze dosáhnout kvalitního výsledku bez narušení struktury materiálu, zejména u běžných ocelových plechů.

4.1.1 Ruční oprava promáčklin

Při opravách menších deformací karoserie se využívá především ruční mechanické nářadí. Mezi základní pomůcky patří ruční i stojanové opěrky, karosářská kladiva a palice, rozpínáky, stahováky, vytahovací háky, speciální páčidla či tzv. zpětné kladivo. Pro opravy povrchových promáčklin bez poškození laku se často používají také přísavky nebo vytahovací háky, které umožňují tahem navrátit plech do přibližně původního tvaru.[22]

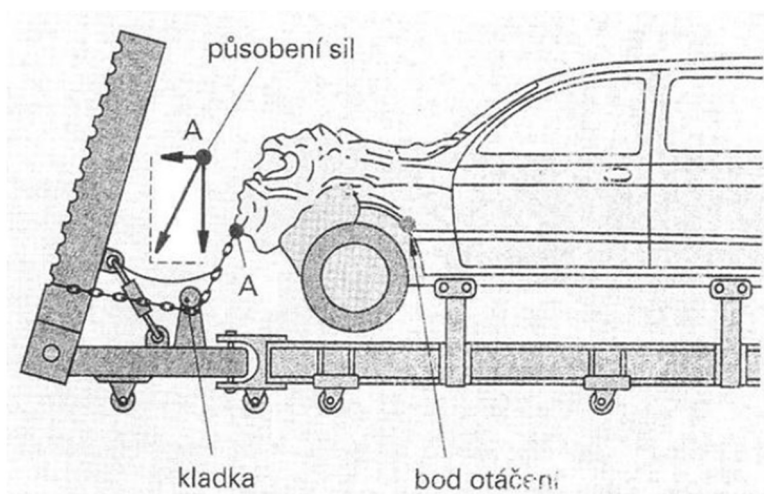
4.1.2 Použití hydraulických lisů a rovnacích stolů

Pro opravu větších deformací se vozidlo umístí na rovnací stolicí, kde se jednotlivé části karoserie natahují zpět do původního tvaru pomocí hydraulických pístů a táhel. Tento postup je běžný u havarovaných vozidel, kde je narušena geometrie rámu nebo skeletu karoserie.



Obrázek 9: Deformované vozidlo na rovnací stolicí[29]

Hydraulické lisy a písty se upevňují na příslušná místa karoserie pomocí táhel a adaptérů. Vozidlo je umístěno na rovnací stolicí (tzv. rámové stolicí), kde dochází ke kontrolovanému tahu nebo tlaku ve směru deformace. Pomocí měřicích systémů se sleduje průběžná změna tvaru a porovnává se s výrobními parametry, dokud není dosaženo požadovaného výsledku.



Obrázek 10: Rovnáací stolice [22]

Tato metoda je standardně využívána u vozidel po vážnějších nehodách, kdy je nutné přesné narovnání nosných struktur karoserie.

4.1.3 Spotové vytahování plechu

Spotové vytahování plechu, známé také jako spotování, je tradiční a dodnes hojně používaná metoda, při které se pomocí speciálního zařízení, zvaného spotter, vytahují drobné promáčkliny a lokální deformace karosérie bez nutnosti její demontáže. Spotter pracuje na principu lokálního přivaření tažného trnu nebo elektrody k poškozenému místu viz. níže, které je následně pomocí reverzního kladiva nebo hydraulického nástroje vytahováno zpět do původního tvaru. Tímto způsobem lze efektivně opravit menší poškození ocelových plechů, aniž by bylo nutné zasahovat z druhé strany panelu.[30]



Obrázek 11: Použití jednostranné pistole ke spotteru s nástavcem pro vyrovnávání plechu [22]

Využití:

- opravy drobnějších promáčklin na karosérii (např. po krupobití, menších kolizích).
- zejména tam, kde je obtížný přístup z vnitřní strany dílu.
- standardní metoda pro ocelové plechy u osobních i nákladních vozidel.

Omezení:

- nevhodné pro hliník a vysokopevnostní oceli, kde hrozí poškození teplem.
- riziko vytvoření propadliny nebo přepálení plechu při nesprávném nastavení.
- vyžaduje důkladné očištění povrchu a následné ošetření proti korozi.

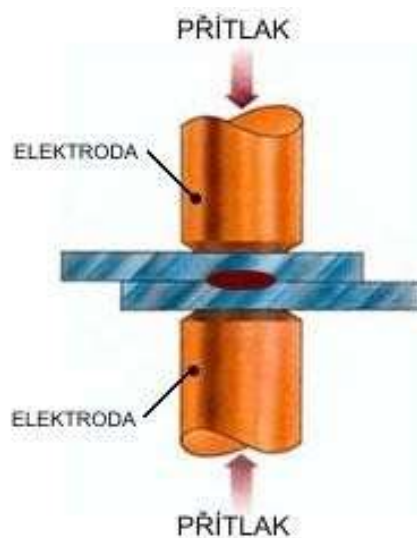
Spotování je rychlá a efektivní metoda, která nevyžaduje složitou přípravu, avšak vyžaduje pečlivé nastavení a správnou techniku, aby nedošlo k nežádoucímu poškození plechu. Je považováno za zavedenou tradiční technologii, která i dnes má pevné místo v opravárenské praxi.[22]

4.2 Svařování

Svařování je jednou z nejdůležitějších metod oprav karoserií, která se využívá především při spojování nebo nahrazování poškozených částí. Tento proces je klíčový pro zachování pevnosti a bezpečnosti karoserie, zejména v případě opravy nosných prvků, jako jsou prahy, podélníky nebo sloupky. Tradiční metody svařování, které se v autoservisech a karosárnách používají dodnes, zahrnují především bodové svařování, obloukové svařování MIG/MAG, a autogenní svařování.

4.2.1 Bodové odporové svařování

Bodové svařování je jednou z nejrozšířenějších metod používaných při opravách karoserií. Nachází široké uplatnění při opravách karoserií, zejména při spojování tenkostěnných ocelových panelů. Tato metoda se využívá například při opravách dveří, kapot a dalších částí karoserie, kde je zapotřebí pevný, ale nenápadný spoj. Dále se hojně aplikuje při výměně poškozených segmentů karoserie, kdy je nutné spojit nové díly s původní strukturou vozidla. Kromě toho slouží také k rekonstrukci bodových svarů u nosných prvků, čímž se obnovuje původní pevnost a tuhost karoserie.[31]



Obrázek 12: Princip funkce odporového svařování[31]

Princip a výhody

Dochází k lokálnímu ohřevu a roztavení materiálu pomocí elektrického odporu mezi dvěma elektrodami, které zároveň materiál stlačují. Spoj je vytvořen tlakem a teplem v několika bodech.

Mezi výhody bodového svařování patří:

- Rychlé s možností automatizace.
- Malý tepelný vliv na okolní materiál.
- Ideální pro tenkostěnné ocelové plechy.
- Často kopíruje původní výrobní technologii.

Nevýhody bodového svařování

- Omezeno především na tenké ocelové plechy.
- U silnějších materiálů nebo hliníkových konstrukcí neposkytuje dostatečnou pevnost spojů.
- Kvalita svaru je navíc silně závislá na přesném nastavení svařovacích parametrů, (tlak elektrod, doba svařování a průchod elektrického proudu).[31]

4.2.2 MIG/MAG svařování

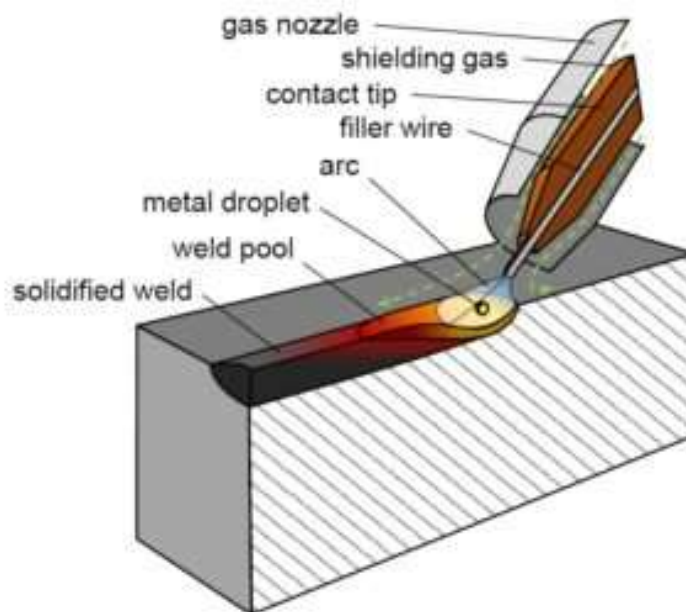
MIG (Metal Inert Gas) a MAG (Metal Active Gas) svařování patří mezi nejrozšířenější metody obloukového svařování používané při opravách karoserií. Obě technologie využívají ochrannou atmosféru plynu pro zajištění kvality svaru, liší se však oblastí použití a typem plynu.

MAG svařování se využívá zejména u ocelových karoserií. V tomto případě se používají aktivní plyny nebo jejich směsi (například $\text{CO}_2 + \text{Ar}$), které podporují stabilitu oblouku a umožňují efektivní svařování běžných ocelových plechů. Tato metoda je v opravárenské praxi velice rozšířená.

MIG svařování je určeno především pro hliníkové slitiny a nerezové materiály, kde je nutné zabránit oxidaci svaru pomocí inertních plynů, zejména argonu. [32]

Princip

Svařovací proces MIG/MAG probíhá za použití nepřetržitě podávané drátové elektrody, která slouží jako přídavný materiál. Elektrický oblouk vzniká mezi touto elektrodou a základním materiálem, přičemž dochází k lokálnímu roztavení obou materiálů a následnému vytvoření pevného svaru. Celý proces probíhá za ochrany plynové atmosféry, která zabraňuje nežádoucím reakcím taveniny s kyslíkem, dusíkem nebo jinými složkami vzduchu. Tím je zajištěna čistota, pevnost a soudržnost svarového spoje.[32]



Obrázek 13: Princip funkce MIG/MAG sváření [32]

Výhody MIG/MAG svařování:

- Univerzálnost – vhodné pro většinu běžných ocelových karoserií.
- Dostupnost – široce rozšířená metoda, dostupná i v menších servisech.
- Rychlost – umožňuje rychlé provedení svaru i na delších spojích.
- Trvalost – vytváří pevné a odolné spoje, vhodné pro strukturální části.
- Přizpůsobitelnost – plynulá regulace, lze se přizpůsobit konkrétní opravě.

MIG/MAG svařování je tradičně využíváno pro:

- Výměnu poškozených plechových dílů (např. blatníky, prahy, podběhy).
- Opravy rámových a nosných částí karoserie.
- Spojování dílů tam, kde byla použita stejná metoda i při výrobě (u starších vozidel).

Metoda se používá především u klasických ocelových materiálů, a to jak nízkouhlíkových, tak středně pevných. Pro opravy moderních vozidel se ale její využití omezuje.

Nevýhody a omezení použití

- Nevhodné pro hliník a vysokopevnostní oceli – způsobuje ztrátu pevnosti a nežádoucí deformace.
- Vysoký tepelný vliv – riziko zkroucení plechu a poškození okolních částí.
- Estetické nedostatky – hrubé svary vyžadují broušení a úpravu.
- Citlivost na podmínky – průvan nebo vlhkost zhoršují kvalitu svaru.
- Zdravotní rizika – vznik kouře a prachu, nutnost ochrany.
- Požadavek na kvalifikaci – správné provedení závisí na zkušenosti svářeče a nastavení parametrů.[32]

Následující tabulka znázorňuje použití svařovací metody k opravě automobilové karoserie podle pevnosti v tahu použité oceli dle opravárenského manuálu Honda.

Tabulka 7: Vhodnost typu sváru podle materiálu

Steel part Tensile Strength [MPa]	Welding method		
	Spot welding	MAG Welding	
		Plug	Butt
>590	•	•	•
590	•	•	•
780	•	•	•
980	•	•	X
1500	•	•*	X
<ul style="list-style-type: none"> • – Doporučená metoda •* – Pouze v některých aplikacích a s omezeními X – metoda se nedoporučuje 	<p>Plug weld (zátkový svár) – nahrazuje bodový svár, pokud není možné provést odporové svařování.</p> <p>Butt weld (tupý svár) - používán při spojování dvou plechů v jedné rovině, obvykle se neaplikuje na vysokopevnostní oceli kvůli riziku oslabení spoje.</p>		

Zdroj: [33]

4.2.3 Autogenní svařování (plamenové svařování)

Autogenní svařování, známé také jako plamenné svařování, je tradiční metoda spojování kovových dílů za použití acetylenového hořáku. Spojování probíhá bez elektrického proudu, teplo je generováno spalováním směsi acetylenu a kyslíku, přičemž teplota plamene dosahuje až 3 200 °C.

Využití:

- Opravy a renovace historických vozidel.
- Svařování tenkostěnných ocelových částí.
- Situace s omezeným přístupem k elektrickému zdroji.

Omezení:

- Vysoký tepelný vliv způsobuje deformace.
- Nevhodné pro hliník, vysokopevnostní oceli a kompozity.
- Metoda je časově náročná a vyžaduje zkušeného pracovníka.
- Rizika spojená s hořlavými plyny.

V minulosti bylo hojně využíváno pro tenkostěnné ocelové plechy a dodnes se uplatňuje zejména při renovacích historických vozidel, kde se vyžaduje zachování původních technologií.[21]

4.2.4 Oprava karoserie pájením

Pájení je další tradiční metodou spojování kovových dílů, která se při opravách karoserií využívá zejména ve formě tvrdého pájení. Tento proces probíhá při teplotách nižších, než je bod tavení základního materiálu (nad 450 °C), přičemž spoj je vytvářen pomocí přídavného pájky, která se roztaví a vytvoří spoj mezi dvěma kovovými povrchy.

V praxi se tvrdé pájení stále uplatňuje především při výměnách vnějších panelů, lemů a dílů, které nejsou výrazně namáhány mechanicky.

Využití:

- Opravy tenkých plechů s nízkým rizikem deformace (zinkované plechy).
- Spojování dílů v místech, kde by svařování mohlo způsobit poškození laku nebo povrchové vrstvy.
- Často u designově citlivých částí (např. lemy blatníků).
- Umožňuje spojování různorodých materiálů (kromě zinkových slitin).

Omezení:

- Spoj má nižší mechanickou pevnost než svar, není vhodný pro namáhané části.
- Vyžaduje precizní přípravu povrchu (čištění, odmaštění).
- Nevhodné pro hliník, kompozity a vysokopevnostní oceli.
- Pracné nanášení a nutnost dodatečné antikorozi ochrany.[34]

4.3 Opravy koroze a povrchových vad

Koroze představuje jednu z nejčastějších příčin poškození karoserií, zejména u starších vozidel nebo automobilů provozovaných v náročných klimatických podmínkách, kde jsou vystaveny vlhkosti, soli a mechanickému opotřebení. Odstranění koroze je zásadní nejen z estetického hlediska, ale zejména pro zachování pevnosti a životnosti karosérie. Při neodborném zásahu může dojít k opětovnému šíření koroze, oslabení plechu a snížení bezpečnosti vozidla. Opravy koroze patří mezi základní tradiční metody údržby karoserií a jejich rozsah se odvíjí od typu a hloubky poškození.[21]

Proces odstranění koroze zahrnuje několik kroků v závislosti na rozsahu poškození:

1. **Identifikace a posouzení rozsahu koroze** – nejprve je nutné určit, zda se jedná o povrchovou korozi (např. jemná rez bez narušení materiálu) nebo perforující korozi, kdy došlo k prorůstání skrz plech. Pomocí vizuální kontroly, poklepem nebo měřením tloušťky lze rozhodnout, zda je možné díl opravit, nebo je nutná výměna.
2. **Mechanické odstranění rzi** – mechanické odstranění rzi se provádí pomocí drátěných kartáčů, brusných kotoučů nebo smirkových papírů nebo procesem pískování. Cílem je odstranit veškeré stopy oxidace až na zdravý kov. Je vhodné pro menší plochy a lokální opravy. Výhodou je nízká náročnost na vybavení, nevýhodou menší účinnost u hlubší

korozí. Pískování je vhodné pro členité nebo větší díly, kde je potřeba rovnoměrného očištění až na zdravý kov.

3. **Chemické odstranění** – doplněk mechanického očištění tvoří chemické přípravky například odrezovače (na bázi kyseliny fosforečné) nebo konvertory rzi, které pronikají do pórů materiálu a neutralizují zbytky oxidace. Tím se zvyšuje odolnost proti návratu korozí a zajišťuje kvalitní přilnavost následných vrstev.
4. **Vystřihování poškozených částí** – u prorůstající korozí je nutné poškozené části vystřihnout nebo vyříznout, obvykle pomocí karosářských nůžek nebo úhlové brusky. Vyříznuté plochy se nahrazují novým plechem, originálním nebo univerzálním opravárenským dílem. Spoje se následně zhotoví svařováním, lepením nebo nýtováním.
5. **Povrchová úprava** – po odstranění korozí následuje tmelení povrchu, jemné broušení, a aplikace základního antikoroziního nátěru. [21; 22]

4.3.1 Ochrana dutin a prevence další korozí

Po odstranění korozí a opravě poškozených částí karoserie je důležité aplikovat preventivní opatření, která prodlouží životnost opravených míst. Mezi nejúčinnější patří voskování dutin, zejména v těžko přístupných místech, jako jsou prahy, sloupky, podběhy nebo nosníky.

Vosky na bázi parafínu nebo syntetických polymerů vytvářejí tenký, vodoodpudivý film, který zabráňuje pronikání vlhkosti a solí do konstrukce. Aplikace probíhá pomocí tlakových pistolí s tryskami, které umožňují rovnoměrné rozptýlení vosku v dutinách. Voskování by mělo být součástí každé kvalitní opravy karoserie, obzvláště pokud byla narušena původní antikoroziní ochrana.[20]

4.3.2 Cínování

Cínování je tradiční metoda vyrovnávání a opravy povrchových nerovností karoserie pomocí slitiny cínu a olova. Cín se nanáší v roztaveném stavu na připravený povrch plechu, obvykle po předchozím pocínování pomocí kyseliny a cínové pasty. Materiál se poté ručně modeluje a vyhlazuje špachtlemi zahřátými plamenem.



Obrázek 14: Nanášení cínu na očištěnou část karoserie [21]

Cínování bylo dříve hojně využíváno jako finální úprava při opravách karoserií před lakováním, a to zejména v místech spojů, svarů nebo přechodů mezi plechy. Dnes je nahrazeno z velké části plastickými tmely, ale stále se využívá především při renovacích historických vozidel nebo tam, kde je požadavek na vyšší odolnost a autentičnost nebo vysokou kvalitu.[21]

4.3.3 Tmelení a kytování karoserií

Tmelení neboli lidově kytování je běžný postup povrchové úpravy karoserií po opravách, jehož cílem je vyrovnat drobné nerovnosti vzniklé svařováním, rovnáním nebo broušením. Používají se speciální karosářské tmely, které po vytvrzení vytvoří hladký a soudržný povrch, připravený pro lakování. Tmelení nahrazuje tradiční cínování a je dnes standardní metodou v každé klempířsko-lakýrnické dílně.[35]

Druhy tmelů:

- Univerzální tmely – na bázi polyesteru, pro běžné nerovnosti.
- Hliníkové tmely – s příměsí kovu, pro vyšší pevnost.
- Jemné (finální) tmely – na drobné vyhlazení před lakem.
- Elastické tmely – pro spoje vystavené vibracím.

Omezení:

- Není vhodné pro strukturální opravy, slouží pouze k vyrovnání.
- Nesmí být nanášeno na rezavý nebo neodmaštěný povrch.
- Náchylné k praskání při špatném použití nebo silné vrstvě.
- U částí vystavených teplu (např. výfukové části) je třeba použít speciální tmely.

Tmelení je nezbytný proces při dokončování oprav karoserií, avšak je třeba jej používat správně a pouze pro povrchové úpravy, nikoliv pro nosné opravy nebo zakrytí hlubokých vad.[20; 21]

4.4 Lakování a finální úpravy

Po dokončení karosářských prací následuje lakování a finální úprava povrchů, která má jak estetickou, tak ochrannou funkci.

Lakování začíná pečlivou přípravou povrchu, která zahrnuje odmaštění, broušení, odstranění prachu a případné tmelení drobných nerovností. Následuje aplikace základového nátěru, který zajišťuje přilnavost vrchního laku a zároveň chrání kovový podklad před korozi. Poté následuje plnič, ten vyrovná drobné nerovnosti a uzavírá póry.

Dále se nanáší vrchní barva, ta zajišťuje odstín a bezbarvý krycí lak, který z chrání před poškrábání, UV záření a poskytuje lesk. Tento proces se zpravidla provádí ve stříkací kabině s kontrolovanými podmínkami teploty a prašnosti, aby se docílilo kvalitního a rovnoměrného povrchu.[20; 21]

Součástí finálních úprav může být také:

- **Leštění** sloužící k pro dosažení vysokého lesku nebo opravu drobných nedostatků po lakování.
- **Znovu aplikace ochranných prvků**, jako jsou ochranné PPF folie, nebo voskování karoserie ochranným voskem.
- **Kontrola barevného odstínu**, zejména při lokálních opravách, kdy je nutné zajistit shodu s původním lakem.

Omezení:

- Citlivé na vlhkost a prach – vyžaduje lakovací box.
- Nutnost přesného odstínu – problematické u starších laků.
- Mechanické poškození (např. kamínky) může narušit ochrannou vrstvu.
- Vyžaduje dodržení technologických časů schnutí a vytvrzení.[20; 21]

Použití barev

V rámci tradičních oprav karoserií se používaly zejména syntetické emaily a nitrocelulózové laky, které se vyznačovaly snadnou aplikací a krátkou dobou schnutí. Aplikace probíhala často ručně, pomocí stříkací pistole, ve více vrstvách. I přes svůj lesklý vzhled měly tyto materiály nižší mechanickou a chemickou odolnost, což vedlo ke kratší životnosti nátěru.

Postupem času se začaly využívat akrylátové a polyuretanové laky, které poskytují vyšší odolnost vůči UV záření a povětrnostním vlivům, a staly se standardem v běžné praxi opravárenských dílen.[21]

5 Moderní metody oprav karoserií

Vzhledem k rostoucím požadavkům na bezpečnost, hmotnostní úsporu a strukturální integritu vozidel došlo v posledních dekádách k výraznému posunu v konstrukci karoserií. To s sebou přináší potřebu nových technologií oprav, které by byly schopny efektivně pracovat s pokročilými materiály, jako jsou vysokopevnostní oceli, hliníkové slitiny či kompozity. Moderní metody oprav karoserií se tak často opírají o technologicky vyspělé postupy a zařízení, které překonávají možnosti tradičního mechanického zpracování a svařování.

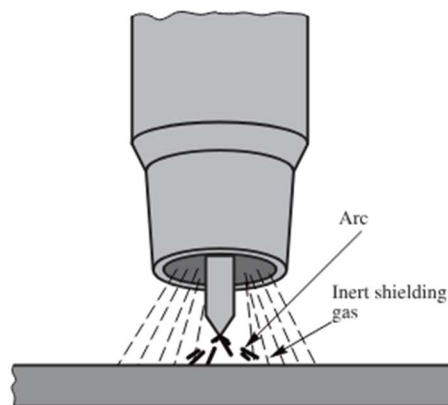
5.1 Pokročilé metody spojování materiálů

5.1.1 TIG svařování

TIG svařování (Tungsten Inert Gas) je metoda obloukového svařování netavící se wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu, nejčastěji argonu. Tato technologie se používá při spojování kovových materiálů, zejména nerezových ocelí, hliníku a jeho slitin, ale i dalších vysoce legovaných materiálů, které jsou běžné u moderních automobilových karoserií.[36]

Princip

Svařovací oblouk je u TIG metody vytvářen mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem. Tavicí proces je chráněn inertním plynem, který zabraňuje oxidaci svaru. Dle potřeby může být přidáván i plnicí materiál ve formě drátu, ale často se využívá i tzv. autogenní svařování bez přídavného materiálu, zejména při svařování tenkých plechů.



Obrázek 15: Princip funkce Tig svařování [36]

Výhody

- Velmi čistý a přesný svar, s minimem rozstříku.
- Výborná kontrola tepelného vstupu – omezuje deformace plechu.
- Vysoká kvalita a pevnost spoje, vhodná i pro náročné části karoserie.
- Možnost svařování všech poloh a tenkých materiálů (od 0,5 mm).
- Bez nutnosti čištění svaru – svar je hladký a estetický

Díky těmto vlastnostem se TIG řadí mezi nejkvalitnější metody spojování při opravách vozidel.

Využití v opravárenské praxi

TIG metoda se uplatňuje zejména při:

- Opravách hliníkových a nerezových částí karoserií.
- Výměně prahů, rámců dveří a profilových výztuh.
- Opravách hliníkových blatníků, vík a podlahových panelů.
- Renovacích klasických vozidel s jemně tvarovanými plechy.
- Konstrukčních opravách EV platform a akumulátorových schránek, kde je vyžadována. Přesná práce s minimem tepelného zatížení.

Tato technologie je běžně předepsána výrobcí jako Mercedes-Benz, Audi nebo Tesla pro specifické opravy hliníkových struktur a kritických míst karoserií, kde je kladen důraz na pevnost a preciznost[15]

Omezení a nevhodné použití

- Přes své přednosti má TIG svařování i určitá omezení:
- Vyšší časová náročnost ve srovnání s MIG/MAG.
- Nároky na zkušenost svářeče – vyžaduje přesnou motoriku a stabilní ruku.
- Vyšší investiční náklady na svařovací zařízení a ochranné prvky.
- Nevhodné pro svařování silně zkorodovaných nebo znečištěných povrchů, které vyžadují dokonalou čistotu.
- Omezená účinnost u silnějších plechů nad 5 mm, kde je efektivnější použití jiných metod.[36]

Z těchto důvodů je TIG svařování vhodné především pro kvalitní, přesné a menší opravy, případně tam, kde je potřeba zachovat estetiku a původní vlastnosti materiálu.

5.1.2 Laserové svařování

Laserové svařování představuje jednu z nejmodernějších metod spojování kovových materiálů využívanou v automobilovém průmyslu, zejména v oblasti výroby a oprav karoserií. Tato technologie je založena na využití vysoce koncentrovaného paprsku koherentního světla, který je schopen roztavit spojované materiály v přesně definované zóně s minimálním tepelným ovlivněním okolí. Využití najde především při spojování vysokopevnostních ocelí, hliníkových slitin a dalších lehkých konstrukčních materiálů. Například ve voze Audi TT je použito 4,9m laserem svařeného spoje[15][37]

Princip a výhody

Laserové svařování se vyznačuje vysokou přesností, nízkým přívodem tepla a rychlostí procesu. Paprsek lze přesně zaostřit i na velmi malé oblasti, čímž dochází ke snížení deformací a minimalizaci potřeby následného mechanického opracování. V praxi se nejčastěji používají vláknové a diskové lasery, které umožňují automatizované nebo robotizované svařování při výrobě v těžko přístupných částech karoserie.

Výhody:

- Vysoká přesnost – možnost práce s plechy o tloušťce od 0,2 mm.
- Nízké tepelné ovlivnění okolního materiálu.
- Vysoká pevnost svaru a čistý vzhled bez rozstříku.
- Možnost spojování rozdílných materiálů (např. ocel–hliník).
- Vysoká rychlost a opakovatelnost procesu.
- Snadná integrace do výrobních linek pomocí robotů a CNC systémů.

Laserové svařování umožňuje dosáhnout svarů s pevnostními charakteristikami, které odpovídají nebo i převyšují pevnost základního materiálu, což je zásadní například u deformačních zón karoserií.

Využití v opravách karoserií

V oblasti opravy karoserií se laserové svařování využívá především při:

- Lokálních výměnách panelů a výztuh u vozidel s hliníkovou nebo vícevrstvou konstrukcí.
- Opravách nosných částí a rámců elektromobilů.
- Precizních opravách s omezeným přístupem, kde nelze využít tradiční svařovací hořák.
- Nahrazení MIG/TIG spojů u tenkostěnných plechů, kdy je prioritou estetický vzhled a minimální úpravy po svaření.

Moderní laserové svářečky jsou již dostupné v kompaktním provedení i pro autoservisy. V rámci certifikovaných oprav se laserové svařování stává součástí schválené technologie u novějších modelů s hliníkovými či hybridními karoseriemi.[37; 15]

Omezení a nevhodné použití

Laserové svařování není vhodné pro:

- Silně znečištěné nebo zoxidované povrchy – vyžaduje perfektní čistotu spoje.
- Příliš široké mezery mezi díly – obvykle nesmí přesáhnout 0,1 mm.
- Pracoviště bez zajištěného stínění – laserový paprsek představuje riziko pro zrak a vyžaduje ochranná opatření.
- Dílny bez přístupu ke kalibraci nebo školenému personálu – metoda je technologicky náročná.

5.1.3 Lepené spoje

Lepení karosářských dílů představuje moderní metodu spojování, při které je pevný mechanický spoj vytvořen pomocí strukturálního lepidla bez nutnosti tavby materiálu. Tato technologie se v posledních letech stále více prosazuje nejen při výrobě vozidel, ale i při jejich opravách, zejména u karoserií složených z kombinovaných materiálů z oceli, hliníku, kompozitů či plastů.

Princip a výhody

Spojování probíhá prostřednictvím dvousložkových strukturálních lepidel, která vytvrzují chemickou reakcí (nejčastěji epoxidová nebo polyuretanová báze). Klíčovým faktorem je příprava spojovaných ploch, povrch musí být dokonale očištěn, odmaštěn a často i zdrsňen. Po aplikaci lepidla dochází k vytvrzení při pokojové teplotě, případně urychleně za zvýšené teploty.

Výhody technologie:

- Možnost spojování různorodých materiálů, včetně hliníku a kompozitů.
- Rovnoměrné rozložení napětí ve spoji – bez koncentrace sil jako u svarů.
- Vyšší odolnost proti korozi – lepidlo chrání spoj před vlhkostí.
- Výrazné snížení deformací způsobených tepelným zatížením.
- Nízká hmotnost spoje – bez přídavných spojovacích prvků (šrouby, svary).
- Těsnost a akustická izolace – lepený spoj zamezuje pronikání vody, hluku a prachu.

Využití v opravách karoserií

- Při výměnách karosářských panelů (dveře, střechy, blatníky).
- Při opravách hliníkových rámu a dílů, kde svařování není možné nebo je technologicky nevhodné.
- Při opravách kompozitních panelů (např. výztuhy, výplně).
- Ve spojení s nýtováním při strukturálních opravách karoserií z vícemateriálových konstrukcí.[19; 15]

Jedním z používaných strukturálních lepidel v opravách automobilových karoserií je 3M™ Panel Bonding Adhesive 08115, které je výrobcem doporučeno pro spojování panelů z oceli, hliníku i kompozitních materiálů. Toto dvousložkové epoxidové lepidlo poskytuje vysokou smykovou pevnost, například při spojení ocelových plechů dosahuje překryvné smykové pevnosti až 16,7MPa u plechu tloušťky 0,7mm válcovaného za studena a až 27Mpa u plechu tloušťky 1,4mm. U hliníku pak přibližně 21,7MPa při tloušťce plechu 1,6mm. Lepidlo je navrženo tak, aby kromě pevného mechanického spojení zajišťovalo rovněž ochranu proti korozi v místě spoje, což je klíčové zejména při opravách karoserií vystavených vlhkosti a solím.[38]

Výrobce v technickém listu uvádí, že lepidlo je vhodné pro lepení vnějších karosářských panelů, jako jsou dveře, blatníky, střešní panely a čtvrt panely, přičemž umožňuje jak samostatné použití, tak kombinaci s nýtováním nebo šroubováním.

Omezení a nevhodné použití

- Spoje vystavené vysoké teplotě nad 150 °C – ztráta pevnosti lepidla.
- Nekvalitně očištěné nebo mastné povrchy – hrozí selhání spoje.
- Případy, kde je vyžadována okamžitá mechanická pevnost bez vytvrzení.
- Spoje s velkými mezerami (nad 3 mm) – zhoršuje se soudržnost.

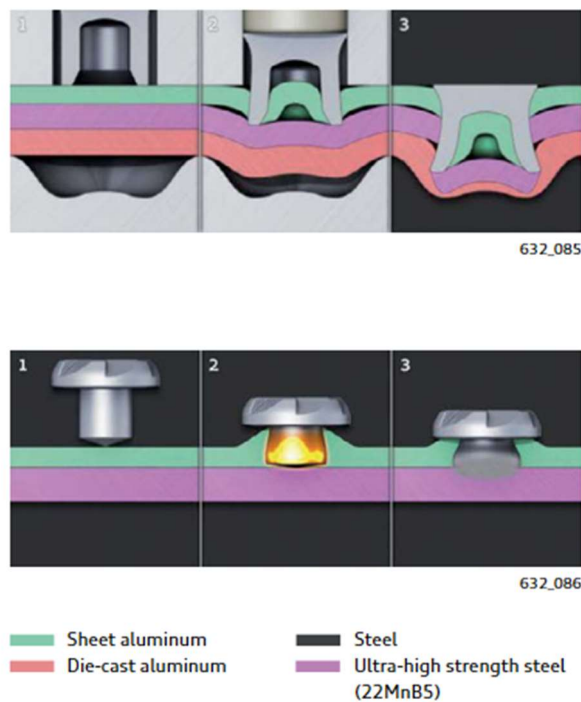
Z výše uvedeného je patrné, že lepení se stává nejen rovnocennou, ale v některých aplikacích i preferovanou metodou spojování karosářských dílů. V kombinaci s moderní diagnostikou a výpočetní simulací je možné přesně dimenzovat velikost a tvar lepených ploch tak, aby spoj dosahoval potřebné životnosti i za extrémních podmínek.[38]

5.1.4 Nýtování a hybridní spojovací technika

Další možnost spojování vícemateriálových karoserií s použitím vysokopevnostních a lehkých kovů je nýtování, a to jak jako samostatná technologie, tak v kombinaci s lepením. Tyto spojovací techniky se staly nezbytnou součástí moderní opravárenské praxe, protože umožňují spojovat materiály, které nelze efektivně svařovat, jako je například hliník, hořčík a kompozity.[39; 15]

V automobilovém průmyslu se nejčastěji používá:

- Polotubulární (duté) nýty – vhodné pro měkčí materiály a tenkostěnné spoje.
- Plné ocelové nýty – při spojování pevných struktur a rámových částí.
- Samoděrovací nýty – které prorážejí svrchní plech, čímž vytvářejí pevný mechanický spoj bez nutnosti předvrtání.
- Třecí nýty – typ mechanicko-tepelného spojování, kde se rotující třecí prvek nejprve mechanicky zarazí do horního materiálu (např. hliník) a poté se tlakem a třením spojí s ocelí pod ním.
- Flowdrill šrouby – typ šroubu který se třením zavrtá do materiálu a poté se závitem prošroubuje a vytvoří tím pevný spoj



Obrázek 16: Samoděrovací a třecí nýty [15]

Hybridní spojování: nýtování + lepení

V současné opravárenské praxi se nýtování často kombinuje s lepením, čímž vzniká tzv. hybridní spoj. Lepidlo zajišťuje těsnost, tlumení vibrací, antikorozi ochranu a rozložení napětí, zatímco nýty zajišťují mechanickou fixaci během vytvrzování a zvyšují celkovou tuhost spoje. Tato kombinace je standardně používána u velkého množství výrobců vozů a při opravách karoserií vozidel s hliníkovým rámem.

Výhody nýtování a hybridního spojování:

- Možnost spojování různých materiálů (např. Al–Fe, ocel–kompozit).
- Nízké tepelné ovlivnění – nevzniká riziko deformace nebo změny struktury.
- Okamžitá montážní pevnost – uplatnění i bez vytvrzeného lepidla.
- Vysoká pevnost spoje a odolnost proti dynamickému namáhání.
- Snadná automatizace a opakovatelnost, vhodné i pro opravárenské linky.














Využití v opravách karoserií

Nýtování je dnes běžně používáno při výměnách konstrukčních dílů karoserií z hliníku a UHSS ocelí, opravách hliníkových rámců u elektromobilů a sportovních vozidel, připojení vnějších panelů (střecha, boky, dveře) bez narušení lakovaného povrchu nebo strukturálních opravách s požadavkem na pevnost a těsnost spoje.

Oprárenské manuály výrobců vozidel často specifikují použití konkrétních nýtovacích systémů. Například Audi doporučuje kombinaci lepidel a nýtů pro opravy hliníkových panelů a rámových struktur.[15]

Používání nýtovacích systémů vyžaduje speciální zařízení, jako jsou hydraulické nebo pneumatické nýtovací kleště, a přesné dodržení montážních podmínek (včetně typu nýtů, přitlačné síly, vzdáleností nýtů a doby vytvrzení lepidla).

Joining techniques in overview

Similar types of joints		Mixed design	
Aluminum / aluminum	Steel / steel	Aluminum / steel with R_m of up to 800 MPa	Aluminum / steel with R_m of 800 MPa or higher
 Punch riveting with semi hollow rivets	 Resistance spot welding	 Punch riveting with semi hollow rivets	 Punch riveting with special semi hollow rivets
 Flow-drill screwing	 MAG welding	 Flow-drill screwing	 Friction element welding
 Clinching		 Clinching	 Seaming
 Laser welding		 Seaming	

Obrázek 17:Druhy spojů použité při výrobě vozu Audi Q7 poslední generace [15]

Omezení a nevhodné použití

Nevhodné případy použití:

- Silně zkorodované nebo deformované spoje, které nezajišťují správný přenos sil.
- Materiály s příliš velkým rozdílem tvrdosti – hrozí destrukce při deformaci nýtu.
- Spoje s nedostatečnou přístupností – vyžaduje prostor pro upnutí nýtovacího zařízení.

Dalším omezením jsou vyšší investiční náklady na profesionální nýtovací techniku a nutnost přesného dodržení opravných postupů, včetně použití odpovídajícího typu a počtu nýtů.

5.2 Opravy bez demontáže

5.2.1 Paintless Dent Repair

Ve zkratce PDR představuje moderní neinvazivní metodu opravy drobných promáčklin na karosérii vozidla bez nutnosti lakování nebo demontáže dílů. Tato technologie je založena na přesném mechanickém vyrovnání deformace z vnitřní nebo vnější strany plechu, a to bez porušení původního lakovaného povrchu. Metoda PDR je považována za časově, ekologicky i ekonomicky efektivní, a její význam v oblasti opravárenské praxe neustále roste.

Princip metody PDR se zakládá na postupném masírování a tlakovém vyrovnávání plechu, při kterém se využívají speciální nástroje, jako jsou vytlačovací háky a tyče pro práci zevnitř dílu, lepicí vytahovací adaptéry a vytloukací kladiva pro opravy z vnější strany, reflexní světla nebo LED panely, které zvýrazní nerovnosti a usnadní přesné vyrovnání.



Obrázek 18: Oprava důlku ve dveřích pomocí PDR[30]

Deformovaný plech se vrací do původního tvaru působením malých, kontrolovaných sil, přičemž se zachovává původní lak.

Metoda je vhodná především pro opravy promáčklin bez porušení laku, poškození po krupobití, drobných kolizních deformací nebo parkovacích poškození (např. od dveří jiného vozidla).

Výhody PDR

- Zachování původního laku, což zvyšuje hodnotu vozidla a eliminuje potřebu lakovacích prací.
- Nízké náklady oproti klasickým metodám opravy (bez nákladů na materiál, lak a demontáž).
- Rychlost opravy – většinu oprav lze provést během několika desítek minut až hodin.
- Ekologická šetrnost – bez použití chemikálií, tmelů a laků, tedy bez emisí VOC (volatile organic compounds).
- Minimální zásah do konstrukce – není nutné demontovat části interiéru ani odpojovat elektroniku.

Metoda PDR není vhodná pro:

- Poškození s prasklým nebo odloupeným lakem.
- Deformace s ostrými zalomeními nebo záhyby.
- Poškození v blízkosti hran nebo výztuh, kde není přístup k zadní straně plechu.
- Případy, kdy, již byla oblast opravována tmelem nebo lakována druhotně.

Využití v opravách karoserií

Metoda PDR je široce využívána jak v běžných servisech, tak u autorizovaných opravců značek jako BMW, Mercedes-Benz, Toyota nebo Škoda Auto. Například společnost BMW ve svých technických manuálech uvádí PDR jako preferovaný způsob opravy při drobných poškozeních karoserií z hliníku i oceli, u kterých není narušena struktura laku.

V českém prostředí jsou PDR opravy často nabízeny i v rámci mobilního servisu a stále více pojišťoven uznává tuto technologii jako standardní formu opravy po krupobití, zejména kvůli její nízké ceně a rychlému zprovoznění vozidla. [30][40]

5.2.2 Smart Repair – chytré lokální opravy

Smart Repair (Small to Medium Area Repair Technique) je metoda určená pro rychlé, levné a vizuálně kvalitní opravy menších poškození karoserie nebo interiéru, bez nutnosti výměny celého dílu. Typicky se využívá u drobných promáčklin, škrábanců, poškození plastových nárazníků, laku nebo disků kol. Metoda kombinuje různé techniky, např. lokální lakování, vyrovnání, plastové svařování, lepení nebo PDR, a klade důraz na minimalizaci zásahu do okolí opravy. Smart Repair je běžně využíván v běžných servisech i u leasingových vratek, kde hraje roli cena a rychlost.

Výhody:

Nízké náklady a časová nenáročnost, lokální oprava bez demontáže dílu, zachování původního vzhledu a laku, ekologická šetrnost (méně chemikálií, odpadu, energie).

Omezení:

Metoda není vhodná pro strukturální opravy nebo vážná poškození povrchu, výsledná kvalita závisí na správné aplikaci a materiálu dílu.[30]

5.2.3 Indukční vyrovnávání plechů

Indukční vyrovnávání plechů představuje moderní metodu opravy drobných deformací na karoseriích silničních vozidel bez nutnosti demontáže dílů nebo lakování. Tato technologie využívá princip elektromagnetické indukce, pomocí které se lokálně zahřeje deformovaná oblast plechu, čímž dojde ke změně napětí v materiálu a následnému „vytažení“ promáčkliny do původního stavu.[22]

Princip technologie

Indukční ohřev funguje na principu vysokofrekvenčního elektromagnetického pole, které je generováno induktorem (cívkou) a přeneseno do vodivého materiálu (např. oceli nebo hliníku), kde se přeměňuje na teplo. Toto teplo způsobí lokální roztažení materiálu, čímž dojde k redukci napětí a částečnému návratu materiálu do původního tvaru díky vnitřní elasticitě a paměti kovu. Typickým příkladem je oprava promáčklin vzniklých po krupobití nebo tlakovém poškození v oblasti blatníků a střech.

Oprava probíhá bezkontaktně, operátor přejíždí induktorem přes poškozené místo a pečlivě sleduje průběh opravy pomocí reflexní desky či teplotního indikátoru. Po ohřevu následuje okamžité ochlazení vzduchem nebo přirozeným chladem, čímž dochází k zafixování nového tvaru materiálu.

Výhody:

- Bezkontaktní a beznástrojová oprava, bez nutnosti demontáže interiérových dílů.
- Zachování původního laku – metoda je šetrná k povrchové úpravě.
- Velmi rychlý proces – oprava trvá obvykle 5–20 minut na jeden bod.
- Vhodné i pro vysokopevnostní plechy, které jsou obtížně opravitelné klasickými metodami.

Nevýhody:

- Metoda není vhodná pro hluboké nebo ostré deformace.
- Omezená aplikovatelnost na hliníkové nebo vícevrstvé materiály – potřebné specifické induktory.
- Vyžaduje školený personál a znalost fyzikálních vlastností materiálu.
- Vyšší pořizovací náklady přístroje (typicky 100–300 tis. Kč).

Využití v opravách karoserií

Indukční technologie je hojně používána ve značkových servisech i nezávislých karosářských dílnách, kde se využívá zejména při opravách po krupobití, lehké kolizní deformaci nebo opracování napětí v místech svarů. V kombinaci s PDR metodami představuje indukční oprava významný posun směrem k rychlé, ekologicky šetrné a nákladově efektivní opravě karoserií.[21][22]

5.3 Moderní lakovací technologie

Moderní lakovací technologie představují vysoce specializované procesy nanášení ochranných a estetických vrstev na karosérie vozidel po opravách. Oproti tradičním metodám se vyznačují vyšší efektivitou, přesností a ekologickou šetrností. Používají se vodou ředitelné báze, UV tvrditelné laky, robotizované systémy nanášení a pokročilé techniky bezprašného sušení.

Princip a výhody

Základem těchto technologií je minimalizace VOC (volatile organic compounds – těkavé organické látky) emisí a optimalizace nanášení vrstev za účelem snížení spotřeby materiálu. Automatizace pomocí robotických ramen a infračerveného nebo UV vytvrzení umožňuje rychlé a rovnoměrné lakování s minimální chybou.

Výhody:

- Rychlé vytvrzení (např. UV laky do 10 minut).
- Nízké emise a spotřeba materiálu – ekologická udržitelnost.
- Vysoká přesnost odstínu a lesku.
- Možnost lokálního opravného lakování (spot repair) bez potřeby demontáže dílu.

Využití v opravách karoserií

Moderní technologie lakování se využívají v autorizovaných servisech při opravách po kolizích a výměně panelů, lakovacích boxech vybavených rekuperačními systémy a robotickými aplikačními zařízeními nebo při lokálních opravách malého rozsahu, kde je využita technologie smart repair

Automobilky jako Audi, Tesla, BMW či Volkswagen využívají pokročilé lakovací procesy (např. zink-fosfátová pasivace, kataforéza, vícevrstvé lakování) i ve svých opravárenských standardech, přičemž menší dílny aplikují zjednodušené, ale technologicky navazující postupy.[15; 41]

5.4 Počítačová simulace, virtuální a rozšířená realita v opravách karoserií

S postupující digitalizací výrobních i servisních procesů se v oblasti oprav karoserií začínají uplatňovat nástroje, které umožňují virtuální simulaci oprav, hodnocení opravitelnosti dílů a podporu techniků prostřednictvím rozšířené nebo virtuální reality. Tyto technologie přinášejí vyšší přesnost, úsporu času a bezpečnější rozhodování o postupu opravy.

5.4.1 Počítačová simulace oprav a hodnocení opravitelnosti

Simulační software umožňuje v rámci digitálního prostředí:

- Plánovat postup opravy ještě před zásahem do vozidla.
- Určit vhodné místo řezu karosářského dílu.
- Vyhodnotit možnost výměny strukturálních částí (např. sloupků, prahů, výztuh).
- Ověřit přístupnost nástrojů, riziko narušení okolních struktur a ekonomickou návratnost opravy.

Například systémy jako Audatex PlanRepair, nebo AutoForm Assembly kombinují 3D modely vozidla s databází výrobních a opravárenských parametrů, což umožňuje rychle posoudit, zda je dané poškození opravitelné, a případně navrhnout optimální technologický postup. [42; 43]

5.4.2 Využití virtuální a rozšířené reality (VR/AR)

Moderní servisy a školicí centra stále častěji využívají rozšířenou realitu (AR) a virtuální realitu (VR) při:

- Vizuálním navádění technika krok za krokem (projekce opravárenského postupu přímo na opravovaný díl pomocí AR brýlí).
- Školení personálu bez nutnosti fyzického přístupu k vozidlu (virtuální opravy ve VR prostředí).
- Ověření správného umístění výztuh, svarů, nýtů nebo lepidel přímo v reálném čase.

Například BMW využívá AR brýle RealWear HMT-1 při opravách hliníkových struktur. Tato řešení zajišťují nejen vyšší kvalitu, ale i dokumentaci celého procesu.[44]

Výhody těchto technologií:

- Přesnější a bezpečnější rozhodování o postupu opravy.
- Minimalizace chyb a nutnosti následných oprav.
- Snížení nákladů na školení personálu.
- Zrychlení opravného procesu a optimalizace logistických kroků.
- Možnost plně digitálního záznamu opravy pro pojišťovnu, výrobce i zákazníka.

Do budoucna lze očekávat rozšíření simulace i pro návrh deformačních zón po nehodách, propojení diagnostických dat s opravárenskými modely v reálném čase, a integraci AI pro predikci opravy na základě vstupních dat z čidel, kamer a senzorů vozidla.

5.5 Kusové opravy

Vedle běžných metod oprav se v moderním opravárenském prostředí stále častěji uplatňují zakázkové (kusové) opravy, které reagují na potřebu rychlé, levné nebo specifické výroby jednotlivých dílů karoserie. Typickými případy jsou opravy vozidel s omezenou dostupností náhradních dílů (např. starší modely, veterány, individuálně upravená vozidla) nebo potřeba vytvořit díl se specifickou geometrií.

5.5.1 Zakázková výroba a replikace dílů

Kusová výroba v opravárenství často zahrnuje:

- Výrobu držáků, krytů, výplní či plastových výlisků.
- Repliky poškozených plastových a dekoračních dílů, které nejsou dostupné.
- Úpravy uchycení pro světla, senzory, kabeláž nebo specifické montážní prvky.
- Modifikace originálních dílů pro tuning nebo individualizaci.

Proces často začíná 3D skenováním originálního dílu, případně jeho deformovaného zbytku, a následným digitálním modelováním náhrady.

5.5.2 3D tisk a aditivní výroba v servisech

S rostoucí dostupností technologií aditivní výroby nachází 3D tisk stále širší uplatnění nejen ve fázi vývoje a prototypování, ale i v oblasti oprav karoserií a výroby náhradních dílů v autoservisech. Vzhledem k tlaku na rychlost oprav, snížení nákladů a dostupnost komponent představuje tato metoda výrazný posun v pojetí údržby vozidel.

Princip a využití

3D tisk (zejména metody FDM, SLA nebo SLS) umožňuje rychlou výrobu náhradních plastových dílů, krytek, úchytů, konzolí a dalších konstrukčních nebo estetických prvků přímo v autoservisech. Dále také tvorbu montážních přípravků nebo šablon pro usnadnění oprav, prototypování dílů. Díly lze upravit dle konkrétní potřeby, a to jak tvarově, tak materiálově. Pomocí moderních průmyslových tiskáren lze tisknout i funkční díly ze speciálních polymerů nebo kompozitů s příměsí uhlíkových vláken. Významné automobilky jako Ford, Volkswagen či BMW využívají 3D tisk v oblasti přípravků, nářadí i přímé výroby plastových součástek. Koncepty jako Local Motors nebo Czingler dokonce zkoumají možnosti 3D tisku celých karoserií nebo rámových struktur z kompozitů či slitiny hliníku.[45]



Obrázek 19: Vytisknutá část přední karoserie [46]

Na obrázku č.19 je vidět přední nárazník podobající se vozu Shelby Cobra, byl vytisknut na prototypové 3D tiskárně z ABS s příměsí karbonových vláken. Tisk byl zhotoven za pouhých 44 hodin.

Výhody:

- Dostupnost náhradního řešení i pro neexistující díly.
- Výrazná úspora času a nákladů oproti dovozu originálu.
- Možnost rychlé adaptace geometrie na konkrétní vozidlo.
- Ekologický aspekt – výroba jen v potřebném množství bez odpadu.

Omezení:

- Omezená pevnost a odolnost dílů oproti originálním komponentům (zejména u FDM plastů).
- Nevhodné pro bezpečnostně zatížené konstrukce (např. nosníky, výztuhy).
- Nutnost odborného nastavení tisku a postprocessingu (např. lakování, úprava povrchu).
- Právní limity a homologace – ne všechny 3D tištěné díly mohou být oficiálně používány na vozidle.[45]

3D tisk se stává pružným a efektivním nástrojem v oblasti oprav karoserií a výroby náhradních dílů. Jeho uplatnění bude s rozvojem nových materiálů, technologií a decentralizované výroby dále růst, zejména u dílů s nízkým mechanickým zatížením a u vozidel, kde nejsou k dispozici standardní náhradní díly.

6 Porovnání tradičních a moderních metod oprav

6.1 Výhody a nevýhody tradičních a moderních technologií

Následující tabulka shrnuje hlavní rozdíly mezi tradičními a moderními metodami oprav karoserií podle klíčových technických a provozních parametrů. Umožňuje rychlé posouzení přínosů i limitů každého přístupu v kontextu současné opravárenské praxe.

Tabulka 8: Porovnání metod podle různých kritérií

Kritérium	Tradiční metody	Moderní metody
Použití tepelné energie	Vysoké	Minimalizováno (např. PDR, lepení)
Vhodnost pro hliník	Nevhodné	Vhodné (např. TIG, nýtování)
Požadavky na pracovníka	Nižší / běžné	Vyšší (certifikace, školení)
Požadavky na vybavení	Základní (ruční nástroje, svářečky)	Vysoké (digitální měřicí systémy, kalibrace)
Ekologická zátěž	Vyšší (teplo, výpary, broušení)	Nižší (lokální opravy, bez lakování)
Kvalita výsledku (vizuální)	Závislá na zručnosti	Vysoká, standardizovaná
Rychlost opravy	Střední až vyšší	Rychlá (PDR, modulární výměna)
Možnost dokumentace	Manuální, náčrtky	Digitální záznam a export
Kompatibilita s ADAS/EV ¹	Omezená	Vysoká (nutnost přesnosti)
Celkové náklady	Nižší vybavení, vyšší pracnost	Vyšší investice, rychlejší návratnost

Zdroj: vlastní zpracování na základě více odborných zdrojů uvedených v předchozích kapitolách

Z tabulky vyplývá, že moderní metody oprav obecně přinášejí vyšší kvalitu, efektivitu a šetrnost k materiálu, zatímco tradiční přístupy zůstávají výhodné tam, kde není dostupná technologie nebo školený personál. Klíčovou roli hrají nároky na přesnost a ekologická udržitelnost.

¹ ADAS – Advanced Driver Assistance Systems (pokročilé asistenční systémy řidiče)
EV – Elektro vozy

6.2 Vhodnost jednotlivých metod pro různé typy poškození

Tato tabulka porovnává, jaké technologie jsou vhodné pro různé typy poškození karoserie. Zohledňuje typ materiálu, rozsah deformace i přístupnost místa.

Tabulka 9 : Porovnání metod podle vhodnosti vůči druhu poškození

Typ poškození	Tradiční metody	Moderní metody	Doporučení
Drobné promáčkliny	Rovnění kladivem, výměna	PDR, indukční ohřev	Moderní (rychlejší, čistší)
Lokální deformace	Rovnění, svařování	Digitální diagnostika, lepení	Moderní (méně destruktivní)
Poškození výztuh	Bodové svařování	Hybridní spoje, modulární výměna	Moderní (bez tepelného ovlivnění)
Korozí napadené plochy	Výřez, MIG/MAG, tmelení, cínování, nátěr	Lokální výřez + lepení, TIG	Kombinace dle rozsahu
Poškození hliníkových částí	Omezeně drobnější mechanické práce, výměna	Lepení, TIG/MIG svařování, nýtování	Pouze moderní metody
Deformace v nepřístupném místě	Demontáž + výměna dílu	Digitální sken + lokální oprava	Kombinace nebo výměna
Poškození plastového dílu	Lepení, výměna	3D tisk, lepení, smart repair	Moderní (rychlé řešení)
Poškození kompozitního dílu	výměna nebo nelze opravit	Laminace, vakuová oprava	Moderní, ale omezené použití

Zdroj: vlastní zpracování na základě více odborných zdrojů uvedených v předchozích kapitolách

Moderní technologie umožňují řešit i složitější typy poškození efektivněji a s nižším zásahem do okolní struktury. U materiálův náročných částí (hliník, kompozit) jsou často jediným možným způsobem opravy.

6.3 Dopad technologií oprav na rychlost, kvalitu a ekonomiku oprav

Dopad na rychlost oprav

Porovnání časové náročnosti jednotlivých metod při typických opravách v dílně.

Tabulka 10: Porovnání metod podle dopadu na rychlost opravy

Situace / Kritérium	Tradiční metody	Moderní metody
Oprava menší deformace	Střední	Nízká (např. PDR)
Oprava strukturálního prvku	Vysoká	Střední
Příprava před samotnou opravou	Nízká	Vyšší (diagnostika, kalibrace)
Celkový časový průběh opravy	Delší	Kratší (cílený zásah)

Zdroj: vlastní zpracování na základě více odborných zdrojů uvedených v předchozích kapitolách

Moderní metody výrazně zrychlují opravy především u menších a přesně lokalizovaných poškození. U strukturálních zásahů záleží na typu konstrukce a materiálu.

Dopad na kvalitu oprav

Tabulka 11: Porovnání metod podle dopadu na kvalitu oprav

Kritérium	Tradiční metody	Moderní metody
Estetický výsledek	Závislý na zručnosti	Vysoký, opakovatelný
Opakovatelnost kvality	Proměnlivá	Standardizovaná
Dlouhodobá pevnost spoje	Obvykle dostatečná	Vysoká, dle norem
Riziko skrytých vad	Vyšší	Nižší (digitální kontrola)

Zdroj: vlastní zpracování na základě více odborných zdrojů uvedených v předchozích kapitolách

Z hlediska vizuálního i strukturálního výsledku přinášejí moderní metody jednoznačně vyšší kvalitu. Výsledky jsou lépe měřitelné a dokumentovatelné.

Dopad na ekonomiku

Tabulka 12: Porovnání metod z ekonomického hlediska

Kritérium	Tradiční metody	Moderní metody
Pořizovací náklady na zařízení	Nízké	Vysoké
Provozní náklady	Střední	Nízké až střední
Návratnost investice	Pomalejší	Vyšší při častém použití
Závislost na kvalifikaci personálu	Nízká	Vysoká (školení, certifikace)

Zdroj: vlastní zpracování na základě více odborných zdrojů uvedených v předchozích kapitolách

Z ekonomického hlediska se moderní metody vyplatí především v autorizovaných nebo vytižených servisech. V malých dílnách je výhodou tradiční vybavení s nižšími vstupními náklady.

Dopad na životní prostředí

Tabulka 13: Porovnání metod podle dopadu na životní prostředí

Kritérium	Tradiční metody	Moderní metody
Spotřeba energie	Vyšší (svařování, vytápění)	Nižší (lokální, přesné zásahy)
Použití chemických látek	Časté (tmely, nátěry, brusivo)	Minimalizace (např. PDR, lepení)
Produkce odpadu	Střední až vysoká	Nízká (méně zásahů, cílené opravy)
Možnost recyklace použitých dílů	Často nevhodné	Častější opětovné použití / recyklace

Zdroj: vlastní zpracování na základě více odborných zdrojů uvedených v předchozích kapitolách

Moderní technologie snižují ekologickou stopu oprav díky efektivnějším procesům, menšímu objemu spotřebních materiálů a lokalizaci zásahů. To je zásadní pro budoucnost udržitelné mobility.

7 Budoucnost oprav karoserií

S rostoucí komplexitou konstrukce vozidel, vývojem nových materiálů a tlakem na ekologickou a ekonomickou efektivitu dochází k zásadní transformaci nejen v oblasti výroby automobilů, ale i v oblasti jejich oprav a údržby. Budoucnost oprav karoserií bude do značné míry určována modularizací, digitalizací, automatizací a změnami ve skladbě konstrukčních materiálů.[15]

7.1 Modularita a výměnné celky

Moderní výrobní přístupy, typické například pro značku Tesla, směřují k minimalizaci oprav ve prospěch rychlé výměny celků. Většina karosářských prvků těchto vozidel je navržena tak, aby bylo možné kompletní segmenty karoserie (např. dveře, nárazníky, kapoty, sloupky) snadno vyměnit namísto časově náročných a technologicky komplikovaných oprav. Tento přístup zvyšuje efektivitu servisu, ale současně klade vysoké nároky na logistiku, diagnostiku a dostupnost náhradních dílů.[41]

7.2 Automatizace a robotizace v opravách

Pokrok v oblasti průmyslové robotiky a strojového vidění umožňuje předvídat rozšíření automatizovaných opravárenských pracovišť, schopných provádět úkony, jako je demontáž dílů, aplikace lepidel, přesné rovnání nebo 3D skenování. Ve spojení s AI a digitálními modely vozidel může v budoucnu probíhat většina běžných oprav automatizovaně, s minimálním zásahem technika.

7.3 Vývoj materiálů a inteligentní kompozity

Nové generace uhlíkových vláken, termoplastických kompozitů a hybridních materiálů výrazně zvyšují pevnost konstrukce, ale zároveň kladou vyšší nároky na technologie opravy. Očekává se rozvoj samoregeneračních („self-healing“) materiálů, které budou schopny zacelovat mikrotrhliny nebo promáčkliny samovolně, například vlivem teploty či elektrického pole.[47]

7.4 Lepení jako primární metoda spojování

Díky rozvoji strukturálních lepidel a hybridních spojů bude lepení v budoucnu dominantní technikou spojování karoserií, zejména z hlediska hmotnosti, estetiky a kompatibility s více materiály. Oproti svařování zajišťuje rovnoměrné rozložení napětí, není tepelně zatěžující a nepoškozuje okolní povrchy, což je zásadní u moderních vícevrstvých karoserií.[15]

7.5 Digitalizace a prediktivní údržba

Významným trendem bude také propojení vozidel s diagnostickými a opravárenskými systémy pomocí IoT (Internet of Things). Vozidla budou schopna sama detekovat poškození karoserie, lokalizovat servis a plánovat údržbu prediktivně, ještě před vznikem závady. To výrazně sníží náklady na opravy a zkrátí servisní časy.[48]

8 Závěr

Tato bakalářská práce si kladla za cíl analyzovat tradiční i moderní metody oprav karoserií silničních vozidel a zhodnotit jejich vhodnost s ohledem na materiály, rozsah poškození, technologickou náročnost a vliv na životní prostředí. V rámci práce byl nejprve zpracován význam opravárenského průmyslu pro dopravní sektor a charakterizovány nejčastěji používané materiály v konstrukci karoserií, včetně jejich specifík při opravách.

Podrobně byly rozebrány tradiční metody, jako je mechanické rovnání, svařování, pájení a tmelení, a dále moderní technologie, například lepení, hybridní spojování, PDR, 3D měření nebo indukční opravy.

Bylo provedeno porovnání těchto metod, v němž byly shrnuty jejich výhody, nevýhody a vhodnost pro různé typy poškození. Moderní technologie přinášejí vyšší kvalitu, rychlost a šetrnost k životnímu prostředí, avšak výběr metody musí být podmíněn nejen rozsahem poškození, ale také materiálem, konstrukcí a ekologickými aspekty a také vyžadují specializované vybavení a vyšší kvalifikaci pracovníků.

Závěrem lze konstatovat, že vývoj v oblasti oprav karoserií směřuje k větší modularitě, digitalizaci a ekologické odpovědnosti. Tradiční metody budou stále uplatnitelné, zejména u starších vozidel, ale budoucnost bude patřit technologiím umožňujícím rychlé, přesné a udržitelné opravy v souladu s konstrukčními požadavky moderních vozidel.

9 Literatura

- [1] AUTOSAP. *D2 Desk Research: Analýza dopadu transformace na Automobilový průmysl v České republice*. Praha: AutoSAP, 2023. Dostupné také z: <https://autosap.cz/wp-content/uploads/2023/11/d2-desk-research-analysis-of-the-impact-of-the-transformation-to-the-stakeholders-operating-in-the-czech-republic.pdf>.
- [2] KARLÍK, Tomáš. *Jak se bouralo ve vaší ulici? Mapa ukazuje všechny loňské nehody*. Online. Praha: Česká televize, 2025. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/clanek/veda/infografika-kde-loni-ridici-bourali-a-jake-byly-priciny-357874>. [cit. 2025-04-26].
- [3] JEDLIČKA, Petr. *Celkové škody z dopravních nehod pohledem pojišťoven*. Online. Pojistný obzor. 2022. Dostupné z: <https://pojistnyobzor.cz/clanky/celkove-skody-z-dopravnich-nehod-pohledem-pojistoven>. [cit. 2025-04-26].
- [4] ŠKODA AUTO. *Zpráva o udržitelnosti 2023*. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2024. Dostupné také z: https://cdn.skoda-storyboard.com/2024/03/Skoda_Auto-Sustainability_Report-2023_CZ_4127ce45.pdf.
- [5] DANĚK, Alois; RUBÁČ, Ivo a RICHTÁŘ, Michal. *Oprávenství silničních vozidel II: (vybrané statě)*. Online. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0539-1. Dostupné z: <http://krameriusndk.nkp.cz/search/handle/uuid:cd120300-f5f1-11e3-812a-005056827e52>. [cit. 2025-04-26].
- [6] SPIRA, Natalie. *Types of High Strength Steels in Cars*. Online. Kloeckner Metals Corporation, 2021. Dostupné z: <https://www.kloecknermetals.com/blog/the-role-of-ultra-and-advanced-high-strength-steel-in-cars/>. [cit. 2025-04-26].
- [7] CALLISTER, W. D. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 9th Edition. Wiley, 2014. ISBN 978-1-118-32457-8.

- [8] SHAANXI SHEW-E IRON & STEEL CO., LTD. *Co je Advanced HSS?* Online. 2019. Dostupné z: <https://cz.shew-esteelpipe.com/news/whats-advanced-hss-27171766.html>. [cit. 2025-04-26].
- [9] J. R., Davis. *Aluminum and Aluminum Alloys*. ASM International, 1993. ISBN 978-0871704962.
- [10] AUDI MEDIA CENTER. *Audi A8*. 2013. Dostupné také z: <https://www.audi-mediacent.com/en/photos/detail/audi-a8-15512>.
- [11] KHAN, Taha. *Magnesium Alloys in Automotive Design*. Online. AzoM. 2024. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=23634>. [cit. 2025-04-17].
- [12] LIGHT METAL AGE. *Composite Aluminum Foam Technology for Safer Vehicle Structures*. Online. Light Metal Age. 2021. Dostupné z: <https://www.lightmetalage.com/news/industry-news/automotive/composite-aluminum-foam-technology-for-safer-vehicle-structures/>. [cit. 2025-04-17].
- [13] PETERSEN AUTOMOTIVE MUSEUM. *2014 BMW i3 Chassis*. Neuvedeno. Dostupné z: <https://www.petersen.org/vehicle-spotlights/2014-bmw-i3-chassis>. [cit. 2025-04-17].
- [14] MALLICK, P.K. *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*. 3rd edition,. CRC Press, 2007. ISBN 9780849392889.
- [15] *Body and Collision – eSelf-Study Program*. Online. Ingolstadt: Audi, 2020. Dostupné z: [https://oem1stop.com/sites/default/files/Audi_Body-Collision_eSelf-Study-Program\(Nov2020\).pdf](https://oem1stop.com/sites/default/files/Audi_Body-Collision_eSelf-Study-Program(Nov2020).pdf). [cit. 2025-05-02].
- [16] PLASTICS EUROPE. *Automotive Applications of Plastics – Overview*. Brusel: Plastics Europe, 2021. Dostupné z: <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/20181019-Automotive-Booklet.pdf>. [cit. 2025-04-17].
- [17] LARS TECH. *Termosety vs. termoplasty*. Online. 2004. Dostupné z: <https://www.mueller-ahlhorn.com/cs/termosety-vs-termoplasty/>. [cit. 2025-05-02].

- [18] PLASTICMOLD. *Rozdíl mezi termosetem a termoplastem*. Online. 2024. Dostupné z: https://www.plasticmold.net/cs/termoset-vs-termoplast-jaky-je-mezi-nimi-rozdil/#What_is_Thermoset. [cit. 2025-05-02].
- [19] NAITO, Dr. Junya a SUZUKI, Dr. Reiichi. *Multi-material Automotive Bodies and Dissimilar Joining Technology to Realize Multi-material*. Online. 2020. Dostupné z: https://www.kobelco.co.jp/english/ktr/pdf/ktr_38/032-037.pdf. [cit. 2025-05-03].
- [20] ŠUNKOV, Igor. *Opravy automobilových karoserií: praktická příručka : klempířské opravy, rovnání, svařování, tmelení a lakování vozidel*. Brno: CPress, 2014. ISBN 978-80-264-0565-8.
- [21] MATT, Joseph. *Automotive Bodywork and Rust Repair*. SA Design, 2009. ISBN 978-1932494976.
- [22] MACHÁČ, Pavel a MACHÁČOVÁ, Dana. *Opravy karoserií a skříní*. Online. Kopřivnice: VOŠ, SOŠ a SOU Kopřivnice. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U28_Oprava_karoserii_a_skrini.pdf. [cit. 2025-04-26].
- [23] RYBECKÝ, Vladimír. *Nejnovější materiály vyžadují moderní servisní postupy*. Online. 2013. Dostupné z: <https://www.autoweek.cz/nejnovejsi-materialy-vyzaduji-moderni-servisni-postupy>. [cit. 2025-05-03].
- [24] BOSCH. *Automotive Handbook*. 11th ed. Wiley-VCH, 2022. ISBN 978-1-119-91191-3.
- [25] SHOPWARE. *STRUCTURAL ANALYSIS AND DAMAGE REPAIR*. Online. 2005. Dostupné z: https://rover.edonline.sk.ca/system/guides/G6885_structural_analysis_and_damage_repair.pdf. [cit. 2025-05-03].
- [26] *3D Scanning Technology: The Future of Auto Estimating?* Online. 2014. Dostupné z: <https://www.theclm.org/Magazine/articles/3D-scanning-technology-the-future-of-auto-estimating/806>. [cit. 2025-05-03].

- [27] ŠKODA AUTO. *Můj stroj: Ultrazvuková kontrola svárů*. Online. 2018. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/skoda-svet-cs/inovace-a-technologie/technologie-cs/muj-stroj-ultrazvukova-kontrola-svaru/>. [cit. 2025-05-03].
- [28] FOERSTER. *Termografie*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.foerstergroup.cz/cs/cze/technologie/termografie/>. [cit. 2025-05-03].
- [29] *Ano, je možné v případě poškození obnovit geometrii karoserie a jak na to?* Online. 2025. Dostupné z: <https://levnepneu-online.cz/ano-je-mozne-v-pripade-poskozeni-obnovit-geometrii-karoserie-a-jak-na-to/>. [cit. 2025-05-04].
- [30] *Auto EXPERT Technologie drobných oprav karoserií*. Online. 2012, roč. 2012, č. 04. 2012. Dostupné z: WWW.AUTOPRESS.CZ. [cit. 2025-04-26].
- [31] SCHINKMANN S.R.O. *Odporové bodové svařování*. Online. Schinkmann.cz. Neuvedeno. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/odporove-bodove-svarovani>. [cit. 2025-04-17].
- [32] IONIX OY. *MIG/MAG Welding*. Online. Ionix.fi. Neuvedeno. Dostupné z: <https://www.ionix.fi/en/technologies/arc-welding/mig-mag-welding/>. [cit. 2025-04-17].
- [33] AMERICAN HONDA MOTOR CO. *Body Repair Manual Welding & Sectioning Guideline Revisions*. 2019. Dostupné také z: <https://rts.i-car.com/images/pdf/oem-info/honda/body-repair-news/13333.pdf>.
- [34] CHEM-WELD. *Tvrde napájení*. Online. 2019. Dostupné z: <https://eshop.chemweld.cz/navody/tvrde-pajeni-b4050-htm/>. [cit. 2025-04-26].
- [35] NESTROJIL, Karel. *Renovace a opravy automobilů: praktická příručka pro kompletní renovaci vozidla*. 5. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-3474-0.
- [36] ELECTRO-CAL. *TIG welding – Method and Applicatio*. Online. 2005. Dostupné z: https://www.electro-cal.com/pdf/TIG_Welding.pdf. [cit. 2025-05-04].

- [37] TWI GLOBAL. *Industrial Lasers and Applications in Automotive Welding*. Online. 1998. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/industrial-lasers-and-applications-in-automotive-welding>. [cit. 2025-04-26].
- [38] 3M. *Panel Bonding Adhesive 08115 – Technical Data Sheet*. 2024. Dostupné také z: <https://multimedia.3m.com/mws/media/13995170/3m-panel-bonding-adhesive-08115-tds.pdf>.
- [39] TWI GLOBAL. What is self-piercing riveting used for? Online. 2025. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-self-piercing-riveting-used-for>. [cit. 2025-04-26].
- [40] VALÁŠEK, Dominik. Opravy karoserie bez laku: U PDR záleží na šikovnosti a můžete se stát i mistrem světa. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/servis-auta-jak-na-to-opravy-karoserie-bez-laku-pdr-21008090>. [cit. 2025-04-26].
- [41] TESLA. *Model 3 Collision Repair Procedures*. Online. 2025. Dostupné z: https://service.tesla.com/docs/BodyRepair/Body_Repair_Procedures/Model_3/HTML/en-us/index.html. [cit. 2025-05-04].
- [42] AUDATEX. *AudaPad*. Online. Dostupné z: <https://www.audatex.cz/produkty/>. [cit. 2025-05-06].
- [43] 3DCS. *AUTOMOTIVE INDUSTRY CASE STUDIES*. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.3dcs.com/industry-applications-dcs-quality-solution/automotive-industry>. [cit. 2025-05-06].
- [44] REALWEAR. *BMW's after-sales auto service boosts their customer satisfaction with RealWear*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.realwear.com/resources/case-studies/bmw>. [cit. 2025-05-06].
- [45] ELLEN GLOVER. *3D-Printed Cars: 13 Current Examples*. Online. 2025. Dostupné z: <https://builtin.com/articles/3d-printed-car>. [cit. 2025-05-04].

- [46] BRIAN KRASSENSTEIN. *ORNL 3D Prints Working Shelby Cobra Replica*. Online. 2015. Dostupné z: <https://3dprint.com/36433/3d-printed-shelby-cobra/>. [cit. 2025-05-04].
- [47] STELLARIX. *Self-Healing Materials in the Automobile Industry*. Online. 2024. Dostupné z: https://stellarix.com/insights/articles/self-healing-materials-in-the-automobile-industry/?utm_source=chatgpt.com. [cit. 2025-05-04].
- [48] BARTLETT. *The Future of Car Repairs: How Technology is Changing the Game*. Online. 2024. Dostupné z: <https://bartlett-auto.com/the-future-of-car-repairs-how-technology-is-changing-the-game/>. [cit. 2025-05-05].