



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## MODERNÍ POVRCHOVÉ ÚPRAVY KAROSERIE AUTOMOBILU

MODERN SURFACE TREATMENT THE BODY OF THE CAR

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Laura Kupčíková

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2018

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	<b>Laura Kupčíková</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Jaroslav Kubíček</b>
Akademický rok:	2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Moderní povrchové úpravy karoserie automobilu**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Osobní automobil je fenoménem doby a jeho vizuální vzhled je velmi důležitá charakteristika. Povrchová úprava karoserie je náročná na technologické postupy. Rozbor jednotlivých vrstev, chemické složení a postupy nanášení jsou obsahem bakalářské práce.

### **Cíle bakalářské práce:**

1. Vypracování literární studie se zaměřením na moderní povrchové úpravy.
2. Zhodnocení současného stavu úpravy karoserií.
3. Zpracování experimentu a technického hodnocení.
4. Formulování závěrů a doporučení pro praxi.

### **Seznam doporučené literatury:**

ASM handbook. Surface Engineering Volume 5. 10th editon. Materials Park, Ohio: ASM International, 2016. ISBN 978-0-87170-384-2.

MOHYLA, Miroslav. Technologie povrchových úprav kovů. 3. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1217-7.

SEDLÁČEK, Vladimír. Povrchy a povlaky kovů. Praha: ČVUT, 1992. ISBN 80-01-00799-5.

PODJUKLOVÁ, Jitka. Speciální technologie povrchových úprav I. Dot. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1997. ISBN 80-7078-235-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

KUPČÍKOVÁ Laura: Moderní povrchové úpravy karoserie automobilu.

Bakalárska práca sa skladá z rešeršnej časti a experimentu. Rešeršná časť je venovaná oboznámeniu s problematikou technológie povrchových úprav, farebnosti a efektности súčasných náterových hmôt a historickému vývoju procesu lakovania. V praktickej časti práce je spracovaný a vyhodnotený experiment, ktorého podstatou je meranie hrúbky laku nedeštruktívnou metódou. Experiment sleduje vývoj hrúbky laku v závislosti na dobe, kedy bol automobil vyrobený. V záveroch sú zhrnuté výsledky experimentu a možný smer vývoja náterových hmôt v budúcnosti.

Kľúčové slová: povrchová úprava, predúprava, lakovanie, karoséria, elektrostatické nanášanie, hrúbka vrstvy

## **ABSTRACT**

KUPČÍKOVÁ Laura: Modern surface treatment the body of the car.

The bachelor thesis consist of the theoretic part and the experiment. The theoretical part deals with the analysis of the surface treatment of the body car. It includes description of colours and effects of the current paint and historical development of the painting process. The experiment is processed and evaluated in the practical part. It is based on the measurement of the thickness of the colour layer by the non-destructive measurement method. The experiment researchs the development of the paint thickness depending on the time when the automobile was made. The conclusions summarize the results of the experiment and the possible direction of the development of paints in the future.

Key words: surface treatment, pretreatment, painting, body car, electrostatic coating, layer thickness

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

KUPČÍKOVÁ, Laura. *Moderní povrchové úpravy karoserie automobilu*. Brno, 2018. 31s, CD. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Obor technologie svařování a povrchových úprav. Vedúci bakalárskej práce Ing. Jaroslav Kubiček.

## **ČESTNÉ PREHLÁSENIE**

Týmto prehlasujem, že predkladanú bakalársku prácu som vypracovala samostatne, s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácii a pod vedením vedúceho bakalárskej práce.

V Brne, dňa 23.5.2018

.....

Podpis

## **POĎAKOVANIE**

Týmto ďakujem pánovi Ing. Jaroslavovi Kubíčkovovi za cenné pripomienky a rady týkajúce sa spracovania bakalárskej práce, pani Zouharovej-Dykovej za možnosť spracovania časti experimentu v priestoroch Technického múzea v Brne, zamestnancom brnenskej pobočky BMW Renocar za ochotu pri spracovaní experimentu a v neposlednom rade rodine za podporu v štúdiu.

## OBSAH

Zadanie  
Abstrakt  
Bibliografická citácia  
Čestné prehlásenie  
Poďakovanie

1. ÚVOD .....	8
2. PREDÚPRAVA KAROSÉRIE .....	9
2.1 Odmasťovanie .....	9
2.2 Konverzné povlaky.....	10
2.2.1 Fosfátovanie .....	10
3. KATAFORÉZA .....	11
3.1 Tmelenie a tesnenie .....	12
4. PROCES LAKOVANIA .....	13
4.1 Nanášanie plniča.....	13
4.2 Vrchný lak .....	13
4.3 Bezfarebný krycí lak.....	14
4.4 Efekty vrchných lakov .....	15
4.4.1 Metalický efekt.....	15
4.4.2 Perleťový efekt .....	16
4.4.3 Matný efekt .....	16
4.4.4 Špeciálne efekty .....	17
5. CHRONOLOGICKÝ VÝVOJ AUTOLAKOV .....	18
5.1 Nanotechnológie.....	20
5.2 Budúcnosť autolakov .....	21
6. METÓDY MERANIA HRÚBKY VRSTVY LAKU.....	23
6.1 Experiment.....	24
7. ZÁVERY .....	31

Zoznam použitej literatúry  
Zoznam obrázkov  
Zoznam tabuliek  
Zoznam grafov



## 1. ÚVOD

Automobilový priemysel je jedno z najdôležitejších odvetví v celosvetovej ekonomike, čo sa týka príjmov. Nie je raritou, že v dnešnej dobe bežná rodina strednej triedy vlastní viac ako 2 autá. Táto skutočnosť robí z automobilu globálne najpoužívanejší dopravný prostriedok a z tohto dôvodu je na automobilky vyvíjaný tlak, aby budúce generácie ich vozidiel boli stále bezpečnejšie, ekologickejšie a odolnejšie. Odolnosť a ekológia sa dajú výrazne ovplyvniť aj voľbou a prevedením povrchovej úpravy karosérie, napríklad výberom náterových hmôt, ktoré neobsahujú organické rozpúšťadlá. Keďže karoséria, ako externá časť automobilu, je najviac vystavovaná vplyvu vonkajšieho prostredia, je dôležité aby mala dostatočnú odolnosť. Túto odolnosť a tým aj predĺženie životnosti karosériu zabezpečujú antikorózne a ochranné povlaky. Ako v bežnom živote, tak aj pri povrchových úpravách, nestačí len efektívnosť ale je potrebná aj štipka efektnosti. Pre mnohých ľudí je vzhľad auta, oproti ostatným vlastnostiam ako je cena, spotreba a účelnosť, nie veľmi dôležitým faktorom pri výbere a kúpe. Naproti tomu pre ľudí, ktorí automobil nepovažujú za duchaprázdný dopravný prostriedok je celkový vzhľad rozhodujúci. Na tento fakt výrobcovia áut bleskovo reagujú a predbiehajú sa v predstavaní najnovších farieb a efektov. Nestarnúcim a bežne dostupným náterom je ešte stále metalický lak, ktorý môžeme vidieť na väčšine bežných áut. Pre náročnejších zákazníkov je v ponuke kvantum trendových náterov so špeciálnymi efektmi, ktorých ceny sa šplhajú do astronomických výšin.



*Obr.1 Mercedes-Benz triedy E*

## 2. PREDÚPRAVA KAROSÉRIE [1,2,3,4]

Hlavnou úlohou predbežnej úpravy karosérie, ktorá prichádza do operácie lakovania ako surový zvarenec je odstránenie nečistôt z jej povrchu pre dosiahnutie určitej požadovanej akosti. Nečistotami môžeme rozumieť napr. tuky, sadze, prach, piesok, korózne splodiny atď.

Predbežné úpravy sa delia podľa druhu nečistôt na:

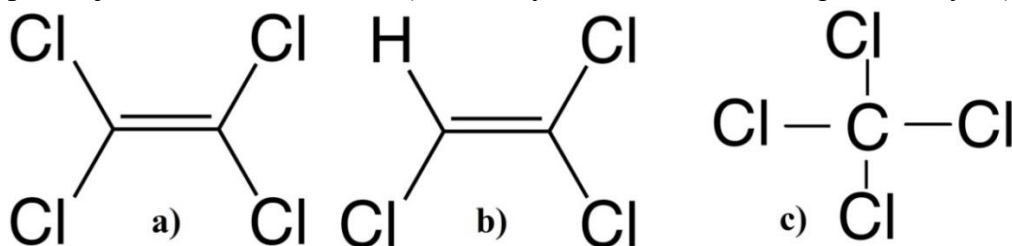
- Mechanické – hlavným cieľom je zbaviť sa nečistôt mechanickým narušením ich väzby k podkladu účinkom vhodného nástroja, pripraviť povrch na zakotvenie povlaku a zvýšiť korozivzdornosť. Základnými metódami sú otryskávanie, leštenie a brúsenie.
- Chemické – odstraňujú sa predovšetkým mastnoty, ktoré sú vodou nezmáčateľné a zhoršujú priľnavosť povlakov. Patrí sem odmasťovanie, morenie, opalovanie, elektrolytické a chemické leštenie a dekapovanie.

### 2.1 Odmasťovanie

Odmasťovanie je jedna z najpodstatnejších operácií pred samotným nanášaním laku. Ide o odstránenie nečistôt, predovšetkým mastnôt, z povrchu karosérie, ktoré vznikli pri výrobnom procese alebo pri styku kovu s okolím. Z externého prostredia sa na povrch usadzujú sadze, prach, čiastočky kovu ale najmä mastnoty v kvapalnej aj tuhej fáze. Cieľom je tieto nečistoty uvoľniť z povrchu a následne ich previesť do roztoku. Pri nedostatočnom odstránení mastnôt a iných priľnutých nečistôt dochádza k skráteniu životnosti a zníženiu priľnavosti ochranných alebo dekoratívnych povlakov.

Najbežnejšími metódami odmasťovania sú:

- alkalické odmasťovanie – je to všestranný spôsob čistenia povrchu. Používa sa obzvlášť na odstránenie rastlinných a živočíšnych tukov, menej pre minerálne oleje a tuky. Princíp spočíva v pretrhaní mastného filmu, vytesnení a emulgácii (zmydleniu) nečistôt. Mastnota v roztokoch emulguje a má snahu sa opäť usadzovať na hladine nádrží, z ktorých je ju potrebné odstrániť. Účinnosť odmasťovania znižuje tvrdá voda, ktorá sa najčastejšie upravuje fosfátmi. Po alkalickom odmasťovaní nasleduje oplach demineralizovanou vodou.
- odmasťovanie v organických rozpúšťadlách – postup prebieha v uzavretých odmasťovacích priestoroch v parách odmasťovadiel. Používa sa na odstránenie minerálnych tukov a olejov, ktoré sa v týchto rozpúšťadlách rozpúšťajú. Ide o relatívne jednoduchý proces, ktorého nevýhodou je nemožnosť použitia na vlhké povrchy. Podľa zápalnosti rozdeľujeme organické rozpúšťadlá na horľavé (benzín, petrolej, nafta) a na nehorľavé (trichlóretylén, tetrachlóretán, perchlóretylén).



a) C<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub> – perchlóretylén    b) C<sub>2</sub>HCl<sub>3</sub> – trichlóretylén    c) C<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub> – tetrachlóretán

Obr.2 Štruktúrne vzorce nehorľavých organických rozpúšťadiel

- elektrolytické odmastenie – táto metóda zaisťuje najkvalitnejšie odmasťovanie, preto býva zaradená na koniec. V podstate ide o alkalické odmasťovanie za pôsobenia jednosmerného elektrického prúdu. Najlepších výsledkov sa dosahuje pri zapojení karosérie ako katódy, kedy sú účinky kúpeľa posilnené mechanickým pôsobením vodíkových bubliniek vznikajúcich v okolí katódy.

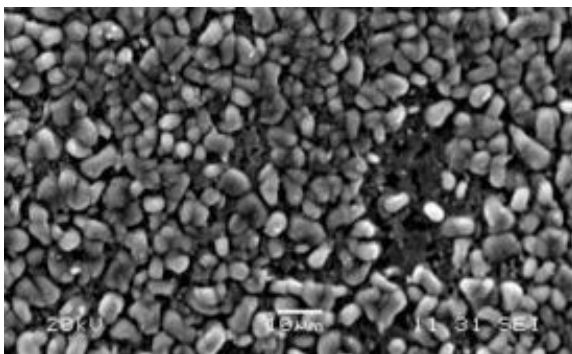
## 2.2 Konverzné povlaky

Vznik konverzných povlakov je výsledkom chemickej reakcie kovového povrchu v našom prípade pozinkovaného plechu s prostredím, v ktorom sa počas povrchovej úpravy nachádza. Výsledkom je vytvorenie povlaku na karosérii, ktorý tvoria chemické zlúčeniny upravovaného kovu a jednej alebo viacerých zložiek použitého kúpeľa. Tieto povlaky sa vyznačujú vysokou priľnavosťou k základnému kovu a nerozpúšťajú sa vo vode ani iných rozpúšťadlách. V prípade poškodenia povrchovej úpravy nedochádza u konverzných povlakov ku korózii pod celým náterom, ale len v mieste jeho porušenia.

### 2.2.1 Fosfátovanie

Fosfátovanie je chemická úprava povrchu železa, zinku popri prípade pozinkovaných materiálov, ktorej predchádzajú vymývacie procesy na odstránenie zbytkových nečistôt. Ide o jednoduchú, časovo nenáročnú a relatívne lacnú predúpravu povrchu pred lakovaním. Na vyčistenom povrchu pôsobením kyseliny fosforečnej  $H_3PO_4$  vzniká vrstva nerozpustných terciálnych fosforečnanov, ktoré sú chemicky viazané do kryštalickej mriežky kovu. Fosfátovanie zaisťuje dobrú priľnavosť lakovanej vrstvy a zvýšenú odolnosť proti korózii, ktorá rastie s hrúbkou vrstvy. Vzniklá vrstva fosforečnanov je zväčša kryštalická a teda pórovitá a sama o sebe neposkytuje dostatočnú ochranu.

V automobilovom priemysle sa používa trikationické (Zn,Mn,Ni) jemnozrnné fosfátovanie ponorom alebo postrekom. Lázeň tvorí roztok kyslého fosforečnanu vrstotvorného prvku (Ca, Fe, Mn, Zn), voľná kyselina fosforečná a urýchľovače vlastného procesu ako sú dusičnany, dusitany, chlorečnany, soli medi a niklu. V závislosti od typu a zloženia fosfátovacej lázne sa líšia aj pracovné podmienky. Ak nie sú v roztoku prítomné urýchľovače, teplota kúpeľa sa pohybuje v rozmedzí 85°C až 95°C a čas fosfátovania je 45 až 60 minút. V prípade prítomnosti urýchľovačov v roztoku sa pri teplote 40°C až 85°C skrúti čas na 3 až 15 minút. Po fosfátovaní často nasleduje bezchrómová pasivácia a následný oplach demineralizovanou vodou.

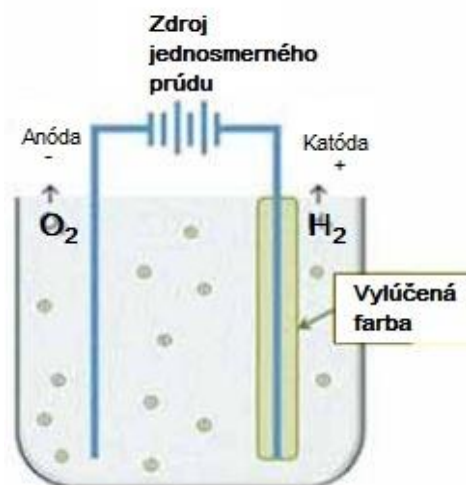


Obr.3 Povlak vytvorený zinočnato-vápenatým fosfátovaním

### 3. KATAFORÉZA [5,6,7,8,9]

Po procese predúprav, keď je kovový povrch karosérie fosfátovaný nasleduje aplikácia organického povlaku, ktorý je elektrochemickým pochodom, tzv. kataforézou, vylúčený na fosfátovej vrstve. Hlavným účelom organického povlaku je ďalšia antikoročná ochrana, vytvorenie rovnomernej hrúbky substrátu, na povrchu karosérie je to od 17 do 25  $\mu\text{m}$  a v dutinách minimálne 12  $\mu\text{m}$ , pre aplikáciu základného laku a tiež zlepšenie adhézie (priľnavosti) základnej farby.

Kataforézu spolu s anaforézou (staršia metóda, prvý krát použitá v roku 1963 firmou FORD v USA) radíme do skupiny elektroforetického lakovania. Lakovanie elektroforezným procesom sa deje na základe elektrodepozície častíc v roztoku elektrickým prúdom. Pri kataforéze sa používajú kationické náterové hmoty na báze epoxidov poprípade akrylátov, ktoré sú vo vode rozpustné s veľmi nízkym obsahom organických rozpúšťadiel (okolo 2%) obsahujúcich častice laku vo forme polymérnych katiónov. Pri lakovaní je farbený predmet,

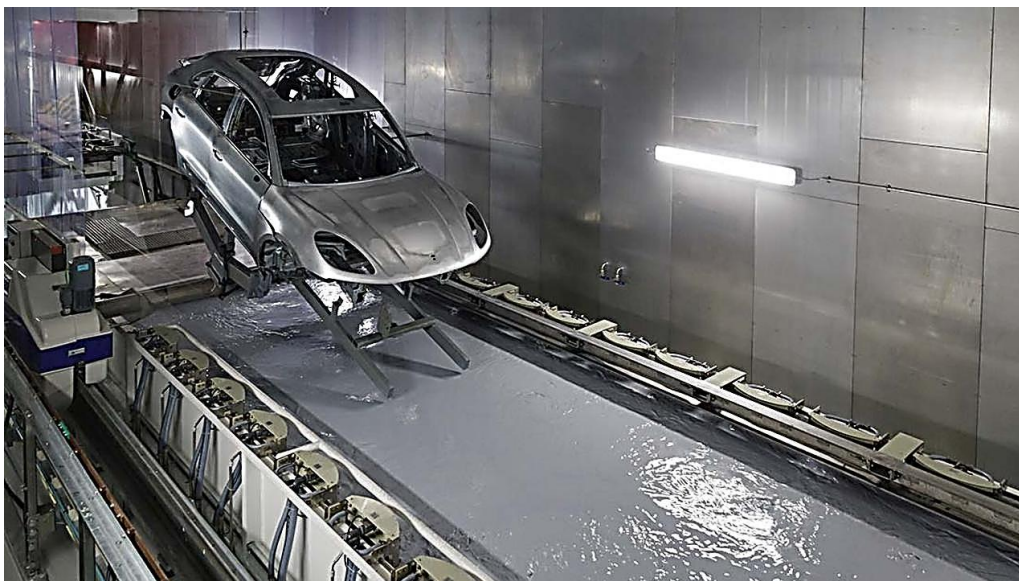


Obr.4 Schéma kataforezného lakovania

teda karoséria ponorená do anolytu (vodný roztok farby) a je pripojená ako katóda vid' obr.4. Pripojením karosérie a pevnej protielektródy (anódy) k jednosmernému zdroju napätia, sa vytvorí elektrické pole, ktoré usmerňuje pohyb polykatiónov smerom ku katóde. Polykatióny reakciou s hydroxylovými iontami strácajú rozpustnosť a vylučujú sa na povrchu. Hrúbka povrchovej vrstvy rastie, v dôsledku čoho rastie aj jej odpor. S narastajúcim odporom vrstvy klesá rýchlosť vylučovania, až takmer ustane a následne prednostne prebieha na miestach s malou hrúbkou vrstvy ako napríklad dutiny alebo tienené miesta. Vďaka tomu dochádza k tvorbe veľmi rovnomerného povlaku na celom povrchu, vrátane ťažko dostupných miest hrán a rohov. Ďalšie vylučovanie sa po dosiahnutí určitej hrúbky zastaví. Hrúbku vylúčenej farby môžeme cielene meniť zmenou veľkosti napätia. Bežná hrúbka povlaku sa pohybuje od 15 do 30  $\mu\text{m}$ , pri krajných požiadavkách až 45  $\mu\text{m}$  (tzv. silnovrstvá kataforéza). Vylúčený film na karosérii je ďalej vytvrzovaný po dobu 15 až 30 minút pri teplote objektu 165 až 180°C. Pritom prebehne zosieťovanie (polymerizácia) častíc obsiahnutých v náterovej hmote, čím povlak nadobudne svoje finálne vlastnosti. Kataforicky vylúčená základná farba je nositeľom antikoročnej ochrany a umožňuje, ako jeden z faktorov, garanciu 10 – 12 ročného neprehrdzavenia karosérie. Podmienkou pre dosiahnutie vysokej kvality celej povlakovanej karosérie je dôkladná predúprava vid' predchádzajúce kapitoly.

O rozvoj kataforézy sa s najväčšou zásluhou postaral automobilový priemysel, a to hlavne vďaka stále sa zvyšujúcim požiadavkám na lakovanie karosérii a odnímateľných dielov. V automobilovom priemysle bola po prvý krát nasadená v 2. polovici 70. rokov. V súčasnej dobe sa jedná o jednu z najprogressívnejších a najmodernejších výrobných technológií nanášania základných farieb s vysokým stupňom antikoročnej ochrany kovov. Je

to vysoko hospodárny a ekologický proces a nemá v rade výrobných oblastí zrovnateľnú konkurenciu.



*Obr.5 Kataforézne lakovanie Porsche Macan*

Medzi hlavné prednosti kataforézy patrí:

- minimálna záťaž životného prostredia vďaka veľmi nízkemu obsahu rozpúšťadiel
- vysoká príľnavosť a mechanická odolnosť povlaku
- vysoká korózná odolnosť pri pomerne tenkej vrstve povlaku
- rovnomerná hrúbka povlaku na celom povrchu vrátane ťažko prístupných miest, hrán a rohov, možnosť riadenia hrúbky vrstvy
- nenáročná automatizácia a kontrola procesu
- vysoká hospodárnosť, prakticky 100% využiteľnosť farby

Pri mnohých výhodách procesu sa za nevýhody považujú pomerne vysoké vstupné náklady na zariadenie a náročnosť zmeny odtieňa.

### **3.1 Tmelenie a tesnenie**

Po dokončení kataforézy nasleduje ošetrovanie dutín, do ktorých ľahko prenikajú nečistoty a vlhkosť, v dôsledku ktorých vznikajú poškodenia vplyvom korózie. Preto je veľmi významné utesnenie a udržiavanie týchto dutín v suchu. Spodné časti karosérie sú najviac vystavené nárazom kamienkov a iným mechanickým vplyvom, preto musia byť obzvlášť chránené, tým je zabezpečená záruka odolnosti voči deštruktívnym vplyvom. Okrem ochrany voči kamienkom nesmieme zabudnúť na ochranu voči kondenzovanej vode. Ošetrovanie dutín sa uskutočňuje napr. technológiou tekutého vosku, ktorá je ekologická. Prahy karosérie sa upravujú ponorom a stĺpy postrekom, po ktorom sa vosk usadzuje na povrchu, steká a súčasne vzlína do miest, kde sa plechy stýkajú. Celý proces sa odohráva pri teplote 120°C. V ďalšej fáze sa podvozok nastrieka plastisolom. Plastisol je bezrozpúšťadlová hmota na báze mäkčeného PVC, ktorá vyniká svojou výbornou príľnavosťou, odolnosťou proti roztokom solí a proti mechanickému poškodeniu. Po kompletnej aplikácii tmelov sa na podlahu a iné miesta v interiéri karosérie lepia antivibračné rohože, ktoré majú schopnosť izolovať hluk a eliminovať vibrácie kovových materiálov, ktoré sú spôsobené samotným pohybom auta.

## **4. PROCES LAKOVANIA [3,5,6,10,11,12]**

Výslednú farbu automobilu zaisťuje proces lakovania, ktorý pozostáva z postupného nanášania troch vrstiev: plniča, vrchného krycieho laku a bezfarebného krycieho laku. Celý proces je automatizovaný a jednotlivé vrstvy sú striekané vysokoúčinným a ekologickým spôsobom pracujúcim na princípe elektrostatických síl. Po procese lakovania nasleduje vysušanie a vytvrdzovanie vrstiev vo vysušacej peci, kde náter dosiahne svoje finálne vlastnosti.

### **4.1 Nanášanie plniča**

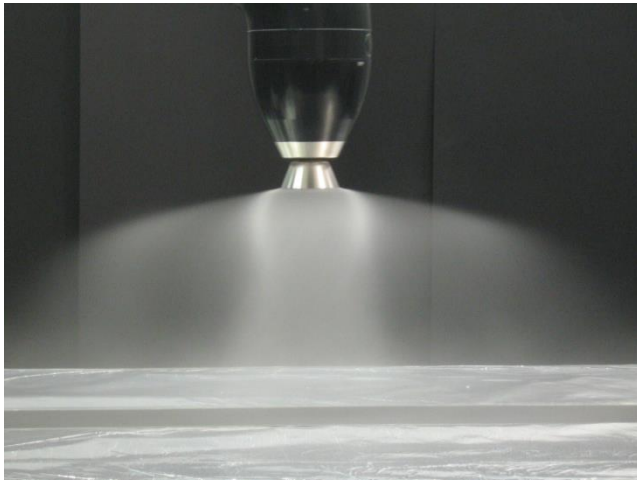
Ďalším z krokov technológie povrchových úprav karosérie je nanášanie plniča. Plničmi rozumieme špeciálne náterové hmoty s vysokým podielom pigmentov a plnív. Ich primárnou funkciou je zakrytie rýh, sprostredkovať technologickú a chemickú súdržnosť medzi základnou farbou a vrchným lakom, zaistenie efektu koloristiky (lepšia krycia schopnosť vrchného laku) a tlmenie nárazov kamienkov. So vzrastajúcou elasticitou plniča, rastie aj ochrana pred poškodením nárazmi kameňov.

Proces nanášania plniča sa skladá z troch fáz. Prvou je nástrek, ktorý prebieha automaticky prostredníctvom elektrostaticky podporovaného spôsobu striekania. Nabité čiastočky farby sú elektrostatickým poli priťahované ku karosérii, teda sa nerozptyľujú do okolia, čím je zaistená konštantná hrúbka nanesej farby, minimálny odpad a vysoká účinnosť nanášania, ktorá sa pohybuje od 80 do 90%. Naproti tomu účinnosť manuálneho striekania je okolo 40% a závisí na zručnosti pracovníka. V druhej fáze sa ručne dostriekajú plochy medzidverí a vnútro kabíny. Treťou fázou sa dokončuje nástrek, prebieha opäť automaticky v elektrostatickom poli.

Behom celého cyklu, pri ktorom postupne pomaly odtekajú rozpúšťadlá a odparuje sa voda, dochádza k pozvoľnému prehrievaniu karosérie a jej dielov na teplotu 160-170°C. Po stanovenú dobu prebieha proces vysušania. Kvôli nasledujúcemu nanášaniu vrchného laku, musí byť karoséria po procese vysušania opäť ochladená na pôvodnú teplotu približne 20°C. Pred nanesením vrchného laku je dôležité povrch dôkladne očistiť napr. celkovým oplachom vrátane sušenia a chladenia, ionizovaným vzduchom alebo ofukovaním.

### **4.2 Vrchný lak**

Posledným krokom v procese lakovania karosérie je nanášanie vrchného laku a následne priehľadného krycieho laku. Najmodernejšou a najúčinnjšou metódou nanášania, či už plniča, vrchného laku alebo bezfarebného laku je nanášanie pomocou elektrostatického rotačného zvoncového rozprašovača (ESRB– electrostatic rotary bell sprayer) vid' obr.6. Farba sa vstrekuje do stredu rotujúceho zvonu a atomizuje sa na jeho okraji. Podstatou je vzájomné priťahovanie atómov s rozdielnym elektrostatickým nábojom. Jemne rozprášené čiastočky náterovej hmoty v zariadení pripojenom na záporný pól získavajú záporný náboj. Následne sú unášané po silokrivkách elektrického poľa na uzemnenú karosériu. Väčšie kvapky majú tendenciu k pohybu v priamkach, menšie sú unášané silovým poľom po okraji. Častice pri náraze na povrch karosérie odovzdajú svoj náboj a adhéznymi silami ostanú na ňom priľnuté, čím vytvárajú súvislý náterový systém.



Obr.6 ESRB rozprašovač

Vrchný lak je náterová hmota, ktorá rozhodujúcou mierou ovplyvňuje farebný odtieň automobilu, obsahuje farebné a efektne pigmenty, ktoré vytvárajú výsledný optický vzhľad automobilu. Pigmenty sú farebné prášky nerozpustné v spojivách a rozpúšťadlách a dodávajú náterovým látkam farebný odtieň, kryciu schopnosť, svetelnú stálosť a iné špeciálne vlastnosti. Oproti plniču je vrchný lak lesklejší kvôli nižšej koncentrácii pigmentov a plnív.

V dnešnej dobe poznáme zhruba 40 000 farieb vrchných lakov a každým rokom pribudne približne 1000 nových odtieňov. V posledných rokoch sa výrazne ustúpilo od používania náterových hmôt s vysokým obsahom prchavých organických rozpúšťadiel, tie sú kvôli ochrane životného prostredia a veľkým ekonomickým nákladom na výrobu nahradzované vysokosušinovými rozpúšťadlovými (HIGH SOLID) nátermi alebo vodou riediteľnými nátermi. Cieľom je čo najviac zredukovať objem prchavých organických rozpúšťadiel (VOCs- Volatile organic compounds) unikajúcich pri každom výrobnom procese do ovzdušia. Alternatívne, ekologické náterové hmoty, hlavne tie vodou riediteľné, v súčasnosti používa väčšina automobilových výrobcov.

### 4.3 Bezfarebný krycí lak

Technológiu lakovania karosérie automobilu uzatvára nanosenie bezfarebného krycieho laku, ktorý najviac odoláva vplyvom z vonkajšieho prostredia a teda musí byť dostatočne odolný. Okrem mechanického poškodenia, ako je dopadajúce kamenie musí tiež čeliť korózii a degradácii v dôsledku UV žiarenia. Nemenej dôležitou funkciou transparentného laku je zvýraznenie farebných odtieňov a efektov vrchného laku a zvýšenie lesku celkového náteru. Klasický spôsob lakovania spočíva v nanosení plniča, následného krátkeho vysušenia, nanosení vrchného laku a bezfarebného krycieho laku. Táto technológia sa nazýva wet-on-wet proces, teda „mokrý na mokrý“. Po tomto procese nasleduje sušenie. Vodou riediteľné farby sa obvykle sušia kombináciou ofukovacej zóny a infračerveného žiarenia, kde je teplota okolo 50°C. Behom vysušania dochádza k pomalému odparovaniu vody, laku a iných prebytočných látok z náteru. Sušenie takisto urýchľuje proces vytvrdzovania vrstvy laku, pri ktorom sa vytvárajú produkty potrebné na polymerizáciu laku. Suchá karoséria sa musí ešte nechať vyzrieť, počas doby vyzrievania dochádza k tvorbe polymérov, ktoré sa zosieťujú vplyvom tužidla. Po skončení týchto reakcií má finálna vrstva všetky požadované mechanické a estetické vlastnosti.

Z dôvodu významných úspor materiálu a energie automobilky usilujú o minimalizáciu priestoru, počtu striekacích operácií a počtu vysušacích pecí. Vďaka tomuto úsiliu bol úspešne zavedený systém wet-on-wet-on-wet, teda „3x mokrý“. Tento inovatívny proces lakovania oproti štandardnému systému wet-on-wet, zväčša eliminuje vysušanie karosérie po nanosení plniča a taktiež objem prchavých organických rozpúšťadiel unikajúcich pri procese

sa znížil na úroveň 2/3 v porovnaní s tradičným postupom. Plnič, vrchný lak a bezfarebný lak sú v tomto procese vytvrdzované naraz v jednej sušiacej peci. Hlavnou nevýhodou procesu je difúzia vody z vrchného laku do plniča, čo spôsobuje drsnosť povrchovej vrstvy. Technológia „3x mokrého“ procesu má potenciál stať sa efektívnou metódou z hľadiska nákladov a produkovať odolné a vysoko kvalitné nátery pri súčasnom znížení ekologického dopadu.

#### **4.4 Efekty vrchných lakov**

V oblasti farebnosti a efektnosti vrchných lakov sa už dlhšiu dobu ustupuje od používania tzv. pastelových odtieňov, ktoré sú bez zvláštnych efektov. Takmer všetky autá, okrem tých najdrahších sú dostupné v týchto farbách. Najčastejšou voľbou je biela, modrá červená alebo čierna. Pastelové vrchné laky vykazujú dokonale rovnomerný jednoliaty odtieň. V základe sú nanášané ako jednovrstvé tzv. unilaky, na ktoré je nanesený bezfarebný krycí lak. Mnoho výrobcov sa čím ďalej, tým viac uchýľuje k používaniu tzv. dvojvrstvých lakov, kde je akrylátová farba zmiešaná s izokyanátovým vytvrdzovacím činidlom, pričom pri vytvorení takejto náterovej hmoty nie je potrebné nanášať samostatný transparentný lak. Medzi hlavné výhody pastelových vrchných lakov patrí nízka cena, vo väčšine prípadov sú bez príplatku a taktiež možnosť jednoduchej údržby. Menšie škrabance od kamienkov sa dajú opraviť dotýkovým perom rovnakej farby, ktoré je cenovo dostupné v každom obchode s autoproduktami.

Ďalšie druhy vrchných lakov sú typické špeciálnymi efektmi, ktoré sú vytvárané pomocou pridania malého množstva práškových prísad na báze kovu alebo keramiky. Pre dosiahnutie lesklého a jasného vzhľadu je veľmi dôležité zabezpečiť, aby kovové alebo keramické pigmenty boli rovnobežné s povrchom. Pokiaľ rovnobežné nie sú, náter pôsobí utlmene a je na pohľad tmavší. V praxi sa farebné pigmenty správajú ako jemné vločky plávajúce vo vlhkom filme, teda je náročné zaistiť ich rovnobežnú polohu s povrchom. Z tohto dôvodu sa do náteru pridáva niekoľko aditív, ktoré zabezpečujú rovnomerné rozloženie a rovnobežnú orientáciu pigmentov. Po pridaní aditív sa viskozita farby ihneď po nanesení zvýši a tým sa zamedzí pohybu pigmentov a ich dezorientácii. Na orientáciu pigmentov významne vplýva aj rýchlosť rozprašovania, ktorá musí byť dostatočne vysoká.

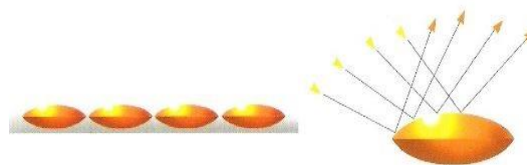
##### **4.4.1 Metalický efekt**

Najpoužívanejšími vrchnými lakmi už niekoľko desiatok rokov sú metalické vrchné laky, ktoré obsahujú lesklé kovové pigmenty. Tieto pigmenty sú lístkovito upravované práškové kovy a majú za úlohu náter znepriehliadniť a dodať mu štruktúru a kovový lesk. Najbežnejšie sú hliníkové vločky, ktoré sú rozmiestnené vo vrstve laku fungujú ako miniatúrne zrkadlá, čím menia intenzitu odtieňa laku v závislosti na zmene zorného uhlu. Optické vlastnosti metalických lakov sú priamo ovplyvnené charakteristikami hliníkových častíc ako sú: veľkosť, tvar, povrchová nerovnosť, priestorová orientácia a koncentrácia zrn. V snahe dosiahnuť rovnomernejšiu štruktúru pri pohľade z rôznych uhlov (zhodný uhol odrazu) sa u metalických zrn prešlo z kockového tvaru na tvar šošovkový.





Obr.7 Ford Fiesta v metalíze Hot Magenta



Obr.8 Šošovkový tvar metalického zrna

#### 4.4.2 Perleťový efekt

Snaha automobiliek odlíšiť sa od konkurencie a stále zvyšujúce sa nároky zákazníkov viedli k vývoju perleťových a perlescentných náterov, ktoré namiesto konvenčných hliníkových zrn obsahujú častice na báze keramiky, nazývané mica častice. Tieto keramické častice sú semi-transparentné a môžu byť povlakované jednou alebo viacerými tenkými vrstvami oxidov kovov, najbežnejšie oxidom titaničitým. Základným fyzikálnym javom u týchto lakov je interferencia svetla, tento jav spôsobuje, že pri zmene uhlu pohľadu sa mení nielen intenzita jasu, ale aj farebný tón laku. Viacfarebný perleťový efekt je docielený schopnosťou mica častíc určitú časť dopadajúceho svetla prepustiť, absorbovať a rozptýliť.



Obr.9 McLaren P1 v unikátnej perlescentnej farbe Pacific Blue

#### 4.4.3 Matný efekt

Medzi ďalšie pútavé efektne nátery nespochybniteľne patria, matné vrchné laky, popríklad tzv. saténové vrchné laky. Saténový efekt sa líši od matného tým, že odráža určitú časť svetla a poväčšine vyžaduje špeciálny typ bezfarebného krycieho laku. Nie je obvyklým javom vidieť auto s matným/saténovým náterom, ide zväčša o luxusné a športové autá. Najfrekvencovanejšími farbami sú odtiene sivej a čierna. Existuje mnoho spôsobov ako

dosiahnuť matného vzhľadu auta, ale vo väčšine prípadov však princíp spočíva v nanášaní plniča s vysokým podielom epoxidu, samotného náteru s vysokým obsahom PVC a na záver v nanosení bezfarebného krycieho laku obsahujúceho špeciálne zmatňujúce činidlá. Vďaka



filozofii automobiliek sa v poslednom desaťročí matné laky stávajú dostupnejšími, čiže už nie sú doménou len luxusných značiek. Mnoho značiek ako aj napríklad Mercedes alebo BMW majú v ponuke špeciálnu edíciu matných farieb, ktoré sú za príplatok. Taktiež automobilka Hyundai ponúka svoj model Veloster v tmavej matnej farbe, viď obr. 10.

Obr.10 Hyundai Veloster

#### 4.4.4 Špeciálne efekty

Pre mnohých ľudí nie je automobil len bezduchý dopravný prostriedok. V dnešnej dobe niektorí ľudia prostredníctvom vzhľadu auta vyjadrujú svoju osobnosť a takisto svoje postavenie v spoločnosti. Dizajn, a teda aj farby v automobilovom priemysle podliehajú najnovším trendom. Automobilky sa na autosalónoch predbiehajú v predstavovaní originálnych, nenapodobiteľných a nevšedných náterov. Kombináciou rôznych predošlých efektných náterov vznikla samostatná kategória špeciálnych farieb. V podstate ide o postupné nanášanie množstva efektných vrstiev na seba, pričom vzniká ešte viac dramatický dojem ako zo samostatných perleťových alebo metalických farieb. Príplatky za tieto špeciálne farby sa šplhajú do astronomických výšin a takisto sa tieto farby aplikujú na modely zväčša z limitovaných edícií. Prehľad 12 najdrahších farieb podľa holandského autoblogu z roku 2015 je uvedený v tabuľke č.1.

Tabuľka č.1 [12]

Automobil	Názov farby	Cena farby v €
BMW M5	Pure Metal Silver	8 000
Audi RS6	Matte Daytona Gray	10 000
Mercedes AMG GT	Orange Solarbeam	10 000
Range Rover Autobiography	Chroma Flair	11 000
Mercedes SLS AMG	Silver Alubeam	15 000
Ferrari SA Aperta	Triple layer Red	19 000
Mercedes G-Class	Galacticbeam Purple	20 000
Bentley Mulsanne	Satin White	33 000
Porsche 918	Liquid Metal Chrome	50 000
Koenigsegg Regera	Light Blue	60 000
Pagani Huayra	Nude Carbon	113 000
Bugatti Veyron	Carbon Finish	250 000

V prípade posledných dvoch uvedených áut sa platí v podstate za privilégium nemať na aute žiaden farebný lak. Na karosériu auta je nanosený bezfarebný lak, ktorý dáva vyniknúť štruktúre uhlíkových vlákien.

## 5. CHRONOLOGICKÝ VÝVOJ AUTOLAKOV [13,14,15,16,17,18]

Vývoj autolakov paralelne s vývojom celého automobilového priemyslu je úzko spätý s niekoľkými významnými míľnikmi. Požiadavky na autolaky od ich vynájdenia neustále rastú. Dnešné laky ponúkajú nie len v oblasti estetiky, ale aj v oblasti ekonómie a ekológie ďaleko viac ako to bolo pred 100 rokmi. Prvý automobil, patentované motorové vozidlo od Benza z roku 1886, nebolo vôbec nalakované. Kovové diely na tomto voze boli chránené iba tzv. ševcovskou smolou. V tejto dobe boli k dispozícii len dva druhy náterov, olejové laky na báze ľanového oleja a kvalitné, no veľmi drahé jantárové laky. Jantárové laky sa vyrábali zo skvapalnených jantárových živíc. Prírodná živica bola neskôr nahradzovaná umelou živicom. Laky sa na autá nanášali ručným natieraním a schli prirodzeným spôsobom. Kupujúci si mohli vybrať medzi zemitými farbami ako čierna, hnedá, zelená, gaštanová alebo béžová. Než bolo vozidlo kompletne nalakované uplynulo 4 až 8 týždňov. V tej dobe existoval proces lakovania známy ako rýchloschnúce lakovanie na báze dreveného oleja, ktoré si vyžadovalo 10 dní.

Najväčšieho rozmachu sa dostavilo vďaka americkej spoločnosti Ford Motor Company, keď v roku 1912 automobilový priekopník Henry Ford vyrobil prvý automobil v pásovej výrobe. Najviac tento inovatívny proces výroby brzdili práve pomaly schnúce nátery. Riešenie sa našlo až po prvej svetovej vojne, kedy vedci objavili materiál nitrocelulózu. Nitrocelulóza sa vo vojenskej produkcii používala pri výrobe strelného prachu a bolo ju možné spracovať na spojivo laku. Takisto sa vo veľkom začali vyrábať zmäkčovadlá, riedidlá a syntetické pigmenty. Nitrolaky mali krátku dobu schnutia, okolo 15 hodín, pričom sa táto doba ešte skrátila pomocou prívodu tepla. Výsledkom bol matný lak, ktorý sa leštil leštiacimi pastami a ľanovou handrou. Zlom nastal v rokoch 1930-1940, kedy bola vynájdená striekacia pištoľ, vďaka ktorej doba na nalakovanie určitej plochy klesla zhruba na tretinu času a farba bola nanášaná rovnomernejšie. Farebná škála nitrolakov bola stále dosť obmedzená, na výber bola modrá, červená a zelená farba. V roku 1928 bol prvý krát použitý biely pigment, oxid titaničitý, ktorý sa v momente stal najobľúbenejšou farbou 30. rokov. Tieto laky však neboli odolné voči poveternostným podmienkam a rýchlo strácali svoj lesk.

V 30. rokoch bolo vyvinuté nové spojivo, alkydová živica, ktorú sa podarilo modifikovať mastnými kyselinami, čím vznikli alkydové laky. Alkylové laky sa zmiešavali s nitrocelulózu, pričom vzniknutá zmes sa nazývala nitrokombinačný lak. Okrem toho sa vedcom podarilo vytvoriť aj melamínovú a močovinovú živicu, ktoré pri zmiešaní s alkydovou živicom umožňovali vznik svetlejších farebných odtieňov. Tieto modifikované alkylové laky sa stali populárnymi kvôli vyššej tvrdosti povrchu a oproti nitrocelulózoým lakom nebolo nutné povrch leštiť. Doba lakovania sa skrátila na necelé 4 hodiny. Na Parížskom autosalóne v roku 1946 bolo po prvý krát možné vidieť strieborne alebo šedo-strieborne nalakované vozidlá.

Alkylové laky boli v 50.-60. rokoch postupne nahradzované akrylovými vypaľovacími emailami, o čo sa zaslúžila firma General Motors na začiatku roku 1955. Farba sa nanášala striekacou pištoľou a lak sa následne vypaľoval v peci, kde sa odparilo rozpúšťadlo a zaistilo sa rozprestretie farby do rovnomernej hladkej vrstvy. Výsledkom procesu bol lak s vysokým leskom a dostatočnou mechanickou odolnosťou. Celý postup bol rýchly a efektívny.

Začiatkom 70. rokov sa v priemysle objavili dvojvrstvé akrylové laky, kde prvou vrstvou bol základný lak a druhou bol bezfarebný, poprípade tónovací lak. Vyznačovali sa podstatne vyššou chemickou a mechanickou odolnosťou, čo malo za príčinu takmer úplne vytlačenie alkylových lakov z trhu. Vedľa dvojvrstvých lakov bol vyvinutý aj základový plnič, ktorý chránil karosériu pred koróziou, preto sa nástrek dovtedy používanej antikorozynej farby stal zbytočným. V tejto dekáde mali premiéru aj metalické laky. V polovici desaťročia bola prvý krát položená otázka vplyvu lakov na životné prostredie.



*Obr.11 Ford Mustang 1969 v pôvodnej akrylovej farbe Candy Red Apple*

Veľké kvalitatívne zmeny nastali používaním trojvrstvých lakov. Hlavným problémom bolo ekonomické hľadisko procesu, pretože lakovanie bolo stále najnákladnejším krokom pri výrobe automobilu. Snaha znížiť spotrebu materiálu viedla v 80. rokoch k zavedeniu nového postupu lakovania, ktorý sa využíva dodnes a to je elektrostatické lakovanie. Táto metóda zaisťuje približne 90% efektívnosť. Tento postup využíval ako pracovnú látku novoobjavené práškové farby. Prášok zložený zo živice a farbených pigmentov sa vložil do elektricky nabitého zásobníku pripojeného na striekaciu pištoľ. Karoséria bola tiež pripojená do elektrického obvodu a nabité častice sa pri striekaní na ňu prichytávali. Po vypálení sa prášok roztavil a vznikla celistvá vrstva. So vzrastajúcim ekologickým povedomím spoločnosti sa dosiahlo zníženia podielu organických rozpúšťadiel a bola nahradená celá rada škodlivín v lakoch.

90. roky priniesli na trh vysokosušinné vrchné laky, ktoré sa vyvinuli z dvojvrstvých akrylových lakov. Vysoký podiel sušiny nahrádza rozpúšťadlá. Z hľadiska ekológie sú najpriateľnejšie vodou riediteľné laky, ktoré mali premiéru takisto v tomto desaťročí. Tieto laky boli vždy minimálne trojvrstvé a používajú sa dodnes. Po aplikácii základného laku sa nanášal farebný lak a finálnu vrstvu náteru tvoril krycí bezfarebný lak.

V súčasnosti je výrobný proces plne automatizovaný a využívajú sa zvyčajne vodou riediteľné farby. Metóda nanášania farby je založená na elektrostatickom rotačnom striekaní, ktorá je vysoko efektívna a ekologická. Moderné sériové lakovanie sa vyznačuje vysokými požiadavkami na kvalitu optiky a spracovania. V ponuke je množstvo farebných a efektných náterov, okrem teraz už bežnej metalízy sú to perleťové, matné alebo iné špeciálne laky. Taktiež sa s obľubou využívajú aj nanotechnológie, najmä pri výrobe krycích transparentných

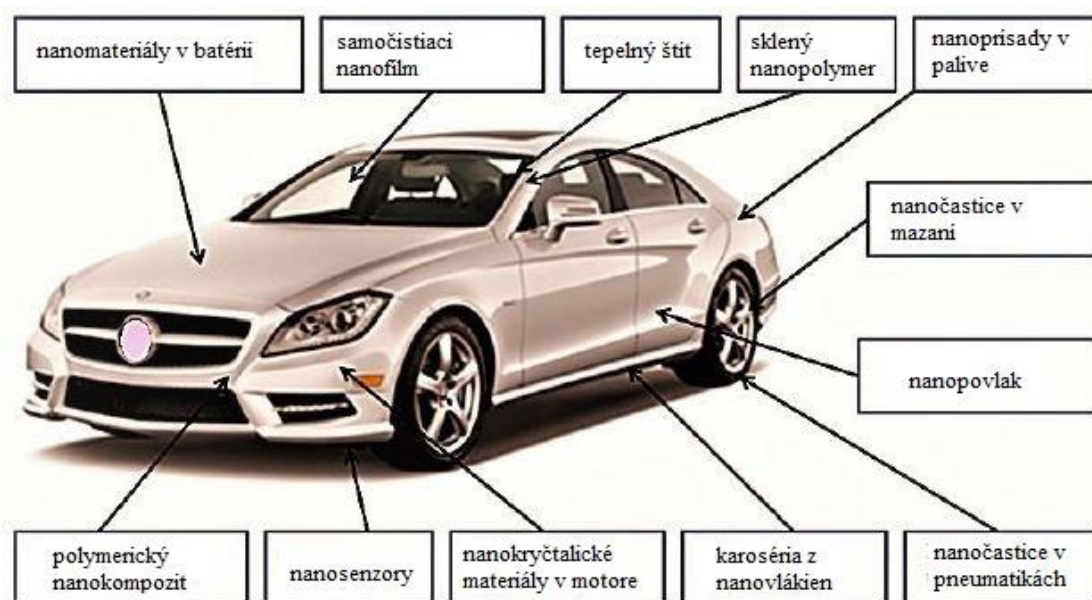
lakov. V tomto prípade je hlavným dôvodom využívania nanotechnológií snaha zvýšiť odolnosť laku voči mechanickému a chemickému poškodeniu a taktiež zvýšenie lesku farby.

## 5.1 Nanotechnológie

Budúcnosť automobilového priemyslu, teda aj vývoja lakov je úzko spätá s rozvojom nanotechnológií. Ako nanotechnológia sa všeobecne označuje vedný odbor výskumu a vývoja, ktorý sa zaoberá cieľovým vytváraním a využívaním štruktúr materiálov v mierke niekoľkých nanometrov. Stavebnými jednotkami nanomateriálov sú nanočastice (molekuly, atómy) s definovanými vlastnosťami ako napríklad rozmery, tvar, atómová štruktúra, kryštalita, medzifázové rozhranie a homogénne/heterogénne zloženie. Tieto častice môžu byť spojené a vytvárať nanodrôtky, nanotrúbice, nanokompozity, keramické a iné tenké filmy alebo vrstvy.

Automobilový priemysel v súčasnej dobe vo veľkom investuje do výskumu a vývoja materiálov, ktoré zvýšia bezpečnosť pasažierov, znížia vznikajúce emisie a spotrebu materiálu. Nanotechnológie sú aplikované v častiach karosérie, pneumatikách, podvozku, elektronike, interiery atď.

Najdiskutovanejšou témou v tejto oblasti je znižovanie celkovej hmotnosti automobilu, čo prináša zníženie spotreby paliva a teda aj zníženie CO<sub>2</sub> emisií. Odhaduje sa, že pri znížení hmotnosti auta o 10% sa zníži jeho spotreba o 7%. Na druhej strane pri znižovaní váhy vzniká problém so stratou stability a odolnosťou voči nárazu, čo je veľmi dôležité v otázke bezpečnosti. V oblasti znižovania spotreby paliva je zaujímavou ideou povlakovanie valcov motora nanokryštalickými materiálmi, tieto povrchové úpravy vedú k vytvoreniu extrémne tvrdého povrchu s veľmi nízkym koeficientom trenia.



Obr.12 Časti automobilu, kde sú použité nanotechnológie

V modernom automobilovom priemysle sa asi 10-15% energie z paliva spotrebuje pôsobením trenia pohybujúcich sa častí motora, tým sa vytvára teplo a je nutné chladenie. Riešením týchto problémov je používanie motorového oleja na zníženie trenia a chladiča a chladiacej kvapaliny na ochladenie motora. Účinnosť motorového oleja a chladiacej kvapaliny môžeme zvýšiť aplikáciou nanotechnológií. Nanofluidné častice ako napríklad CuO,



Nissan ako prvá začala experimentovať so špeciálnym superhydrofóbnym a oleofóbnym náterom naneseným na karosériu v roku 2014. Táto technológia bola testovaná na modeli Note, kde bola vytvorená vrstvička vzduchu medzi lakom a okolitým prostredím, ktorá zabráňuje príľnutiu špiny a vody k povrchu auta, miesto toho bez problémov skĺzne z vozidla.

Popredné automobilky, ako napríklad Mercedes-Benz, už niekoľko rokov ponúkajú možnosť vybaviť svoj model E strechou vyrobenou z konvenčných solárnych článkov. Tieto články sú schopné generovať výkon asi 30W, ktorý postačuje k pohonu ventilátoru klimatizácie a zníženiu teploty interiéru vozidla o 10°C a to všetko pri vypnutom motore a zapalovaní. S pomocou nanotechnológií sa vyvíja solárna vrstva, ktorú bude možné na automobil naniest' ako konvenčný náter na karosériu. Solárny článok vyrobený zo svetlocitlivej farby sa skladá z troch základných komponent: červené farbivo, nanočastice  $\text{TiO}_2$ , elektrolyt. Princíp je v tom, že červené farbivo absorbuje slnečné svetlo a uvoľňuje elektróny, ktoré sú potom prevedené do nanočastíc oxidu titaničitého. Tie sa nachádzajú v elektrolyte, ktorý vedie elektróny na kladnú elektródu pomocou iónov jódu. Medzi hlavné výhody solárnych náterov patrí veľká plocha využiteľného povrchu a to že, množstvo vyrobenej energie je málo závislé na uhle dopadu svetla. Už na malom predvádzacom modeli bol solárny lak schopný vyrobiť dost' energie na pohon malého elektromotora. V súčasnosti sa vývoj zaoberá tenkovrstvými solárnymi článkami z monokryštálu kremíku, obsahujúceho nanobodky z polovodivého germánia, tieto články sú pružné a je ich možné lepiť na veko kufra alebo blatníky, kde môžu generovať odpovedajúce množstvo energie ako solárne nátery.

Ďalšou výzvou je vývoj povlakov s odolnosťou voči poškrabaniu a oteru, ktorá by neovplyvnila iné ich vlastnosti. Pri konvenčnom spôsobe môže byť zlepšenie odolnosti voči oteru a poškrabaniu dosiahnuté zvýšením priečných väzieb v spojive povlaku, avšak vzhľadom k ich malej flexibilitě sa znižuje odolnosť voči nárazu. Nanočastice  $\text{SiO}_2$  a hliníku, ktoré sú homogénne rozptýlené v polyméroch sa používajú na vytváranie filmov so zvýšenou odolnosťou voči poškrabaniu, bez toho aby došlo k degradácii iných vlastností. Spojivo a anorganické častice sú navzájom pevne spojené, čoho výsledkom je vysoká elasticita a pevnosť. V tekutej farbe sú častice náhodne rozptýlené a pri procese vytvrdzovania a vysušania dochádza k hlbokému zosieťovaniu častíc a farba získa molekulárnu štruktúru matrice. S inou možnosťou ako zvýšiť ochranu proti poškrabaniu prišla automobilka Nissan, ktorá vyvinula priehľadný lak s chitosanom, ktorý sa vyrába z chitínu. Chitín je konštrukčnou zložkou škrupín morských kôrovcov ako krevety, kraby a homáre. Chitosan je chemicky začlenený do tradičných polymérnych materiálov, ktoré sú súčasťou konvenčných automobilových lakov. Tento náter funguje za pomoci slnka. Keď je auto poškrabané, štruktúra náteru je poškodená a tak chitosan reaguje na lúče slnečného žiarenia. Dôležité je, aby sa syntetické reťazce vytvorili spolu s ostatnými materiálmi v povlaku a vyplňovali škrabance. Celý proces samoopravy trvá menej ako hodinu a vydrží niekoľko rokov, kým povlak stratí tieto vlastnosti.

## 6. METÓDY MERANIA HRÚBKY VRSTVY LAKU [3,19,20]

Po dokončení procesu povrchových úprav je neoddeliteľnou súčasťou výroby kontrola kvality. Zabezpečenie objektívnej kontroly umožňuje posúdenie a hodnotenie kvalitatívneho a kvantitatívneho splnenia predpísaných nárokov na výslednú akosť povrchovej úpravy. Akosť povlakov zahŕňa ich vzhľadovú stálosť a ochrannú účinnosť. Vhodná voľba kontrolných metód umožňuje urobiť objektívne ocenenie povrchovej úpravy a odhad životnosti chráneného systému. Hlavnými kontrolovanými vlastnosťami vytvorených povlakov sú: hrúbka, pórovitosť, priľnavosť, elektrické vlastnosti, odolnosť voči opotrebeniu, korózna odolnosť, tvrdosť, drsnosť, vzhľad a lesk.

Medzi najpodstatnejšie kontrolované veličiny patrí hrúbka povlaku, na ktorej závisia ochranné vlastnosti celej povrchovej úpravy, predovšetkým ochrana podkladu proti korózií. Hrúbka povlaku je charakterizovaná ako vzdialenosť medzi povrchom povlaku a povrchom podkladového materiálu.

Meranie hrúbky povlaku sa rozlišuje podľa suchosti meraného povlaku na:

- meranie mokrej vrstvy
- meranie suchej vrstvy

**Hrúbka mokrej vrstvy** je označovaná aj ako parameter, ktorý slúži na približný výpočet hrúbky vrstvy po vytvorení náteru, teda hrúbky filmu po vyprchaní všetkých rozpúšťadiel. Hrúbka mokrej vrstvy musí byť meraná a hodnotená bezprostredne po aplikácii náterovej hmoty, do doby kým vyprchá časť rozpúšťadiel. Je to z dôvodu zabezpečenia opätovného zliatia farby pri procese vytvrdzovania a zaručenia, že výsledný povlak bude v tomto mieste nepoškodený. Výhodou merania mokrej vrstvy je možnosť korigovania jej hrúbky v priebehu aplikácie a tak dosiahnuť optimálnu hrúbku suchého filmu.

Hrúbka mokrej vrstvy sa najčastejšie meria pomocou:

- **meracieho hrebeňa**, ktorý je jednorazový a vyrobený z plastu, hliníka alebo ocele v rôznych rozsahoch. Hrebene majú po svojom obvode odstupňované zuby, označené číselnou hodnotou hrúbky. Pri meraní je namočený kolmo do náterovej hmoty a hodnota sa následne odčíta zo stupnice.
- **excentrického kolieska**, ktoré je značne presnejšie ako hrebeň. Po stranách kolieska sú vodiace plochy a v strede sa nachádza excentrická plocha, z ktorej sa po prejdení kolieska náterovou hmotou odčíta hrúbka mokrého filmu.

**Hrúbku suchej vrstvy** možno merať dvomi metódami a to:

- deštruktívnou, kedy dochádza k trvalému poškodeniu časti alebo celého povlaku
- nedeštruktívnou, ktorá umožňuje kontrolu hrúbky povlaku bez jeho poškodenia

**Deštruktívne metódy** sa využívajú pre ich presnosť a v prípadoch, kedy nie je kvôli okolnostiam možné meranie nedeštruktívnou metódou. Medzi najznámejšie metódy patrí meranie pomocou mikroskopu a klinového rezu. Princíp spočíva v narezaní povlaku až k podkladu v predpísanom uhle a následne je pôdorysná šírka klinového rezu zmeraná pomocou mikroskopu so stupnicou. Hrúbka suchej vrstvy je spočítaná na základe uhlu rezu. Tento postup je vhodný aj pre nekovové podklady a viacvrstvové systémy.



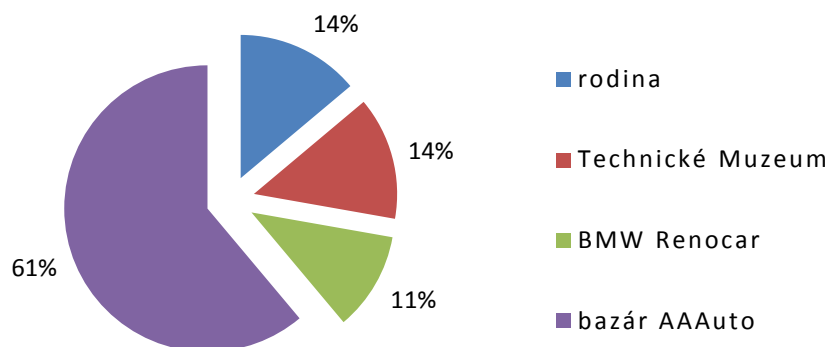
**Nedeštruktívne metódy** na meranie tenkých vrstiev najčastejšie využívajú dotykové senzory a delíme ich na:

- **magneticko-indukčné**, určené na meranie nemagnetických vrstiev na magnetických kovových podkladoch (napr. oceľ). Sonda meracieho prístroja je vybavená feromagnetickým jadrom, na ktorom sú dve vinutia, z ktorých jedno je napájané striedavým nízkofrekvenčným elektrickým prúdom. Hrúbka povlaku je závislá na zmene v magnetickom poli po priložení sondy k feromagnetickému podkladu, na displeji meracích prístrojov sa objaví písmeno F a prislúchajúca hodnota hrúbky.
- **vírivých prúdov**, pomocou ktorých sa meria hrúbka elektricky nevodivej vrstvy na vodivom a nemagnetickom podklade (napr. hliník, meď, zinok). Sonda je v tomto prípade bez jadra a obsahuje len jedno vinutie, ktoré je napájané vysokofrekvenčným striedavým prúdom. Vytvára sa magnetické pole sondy a pri jej priblížení k nemagnetickému vodivému materiálu sa v týchto miestach vytvoria vírivé prúdy, ktoré majú svoje vlastné magnetické pole. Pomocou vektorového súčtu oboch polí sa vyhodnotí hrúbka meranej vrstvy na displeji prístroja spolu so symbolom N.
- **kombinácia metódy vírivých prúdov a magneticko-indukčnej metódy**. Väčšina meracích prístrojov využíva kombinovanú metódu, pričom je na nich možné nastaviť automaticky režim rozpoznávania podkladu. Pri meraní sa na displeji objaví hodnota hrúbky nemagnetickej vrstvy a písmeno F alebo N, podľa toho o aký podklad sa jedná.
- **ultrazvukové**, ide o rýchlo rozvíjajúcu sa metódu, ktorej hlavnou výhodou je schopnosť rozpoznania viacerých vrstiev nanesených na podklade, ktorý môže byť kovový aj plastový. Podmienkou je, aby každá vrstva mala rozdielnu šíriteľnosť vlnenia.
- **magnetické**, ktoré radíme k najjednoduchším spôsobom merania hrúbky vrstvy. Podklad musí byť magnetický, nezáleží či je elektricky vodivý alebo nie. Princípom je určenie veľkosti sily potrebnej na odtrhnutie permanentného magnetu od feromagnetického podkladu.

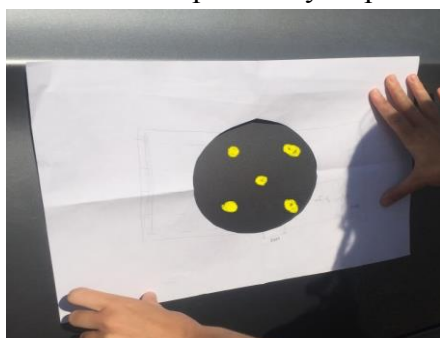
## 6.1 Experiment

Táto kapitola bola venovaná jednému z cieľov mojej bakalárskej práce a to vykonaniu experimentu zameraného na meranie hrúbky lakov reálnych automobilov. Tento experiment spočíva v meraní hrúbky laku jednou z nedeštruktívnych metód, konkrétne metódou magneticko-indukčnou a metódou vírivých prúdov, ktorej princíp je popísaný v kapitole 6. Na spracovanie experimentu bol využitý hrúbkomer PosiTector 6000-FNS3, ktorý mi bol zapožičaný vedúcim bakalárskej práce. Súbor skúmaných automobilov tvorili náhodne vybrané modely, tak aby bolo pokryté čo najširšie časové obdobie ich výroby. Vzorka automobilov čítala 36 kusov, pričom každé z nich bolo vyrobené v inú dobu. Rozdiel medzi najstarším a najnovším skúmaným automobilom je 62 rokov a dôvodom takéhoto výberu bolo zistiť, či a ako sa menila hrúbka vrstvy laku v automobilovom priemysle v určitom časovom rámci. Väčšina zo skúmaných automobilov pochádza z autobazáru AAAuto v Brne, ďalej boli merané osobné autá rodinných príslušníkov a známych. Najstaršie merané automobily pochádzajú z expozície áut, ktorú hostilo Technické Muzeum v Brne a merania najnovších áut boli vykonané v showroome BMW Renocar v Brne. Percentuálne zastúpenie jednotlivých skupín meraných automobilov je vidieť v grafe číslo 1.

Graf č.1



Postup merania bol pri každom aute rovnaký. V prvom rade bolo nutné kalibrovať hrúbkomer a to tak, že sa zmerala hrúbka vrstvy laku na priloženom etalone. Prístroj ukazoval vo väčšine prípadov hrúbku vrstvy od 2 do 5  $\mu\text{m}$ , táto hodnota sa následne na prístroji vynulovala a v tomto okamihu bolo možné merať jednotlivé automobily. Kalibrovanie sa vykonávalo po každom opätovnom zapnutí hrúbkomera. Na každom automobile bolo vykonaných 10 meraní, 5 na kapote a 5 na dverách vodiča. Merania na dverách a kapote boli uskutočnené v ich približnom strede na ploche kruhu s priemerom 15 cm. K týmto meraniam bola zhotovená jednoduchá pomôcka z papiera formátu A3, do ktorého bolo vystrihnutá kružnica so spomínaným priemerom. Metodika merania je znázornená na obrázku 14.



Posledným krokom pred samotným meraním bolo ľahké očistenie meraného povrchu od prachu a peľu hlavne u áut z bazáru. Pri finálnom meraní bolo veľmi dôležité, aby sonda bola k meranému povrchu čo najviac kolmo, kvôli prípadným chybám merania. Výsledné namerané hodnoty boli zapísané do tabuľky. Tabuľky boli zhotovené pre všetky merané automobily analogicky, preto uvádzame tabuľku č.2 ako vzor.

Obr.14 metodika merania

Tabuľka č.2

automobil	Seat Toledo	rok výroby	1999
číslo merania	hrúbka vrstvy laku [ $\mu\text{m}$ ]		
	kapota	dvere	
1	154	116	
2	158	116	
3	156	116	
4	162	116	
5	156	116	
priemerná hodnota	$\bar{x}_k = 157,2$	$\bar{x}_d = 116$	

Priemerné hodnoty hrúbky vrstvy laku na kapote  $\bar{x}_k$  a na dverách  $\bar{x}_d$  boli spočítané pomocou rovnice aritmetického priemeru.

$$\bar{x}_k = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{154 + 158 + 156 + 162 + 156}{5} = 157,2 \mu m$$

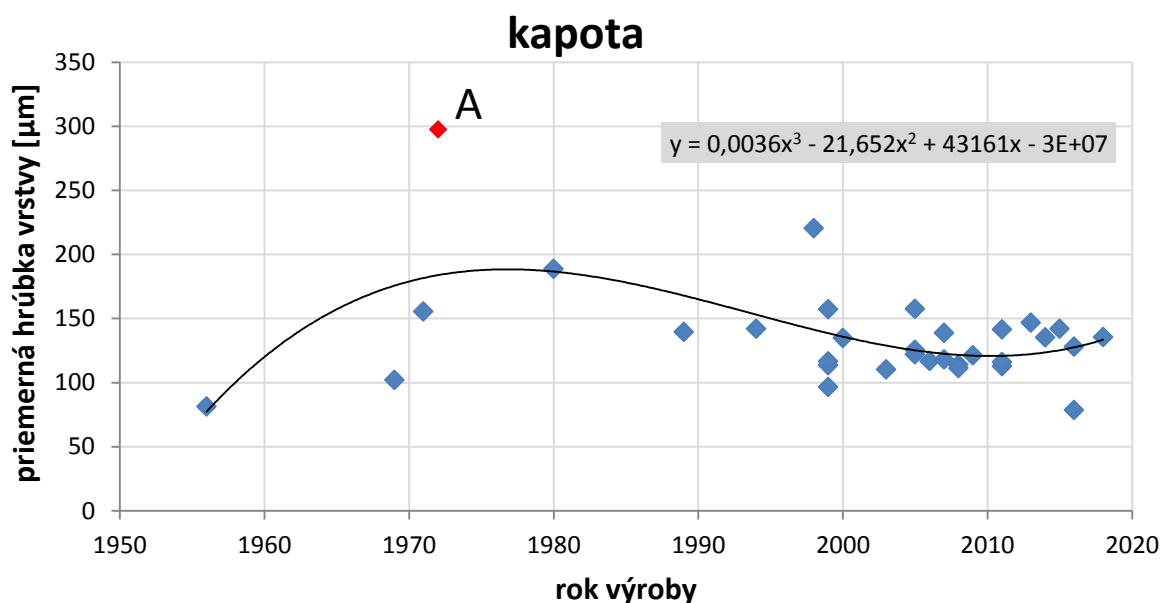
Tieto priemerné hodnoty vrstvy laku na kapote a dverách boli zapísané do tabuľky číslo 3, kde boli zoradené podľa roku výroby automobilu. V tejto tabuľke sa nachádzajú automobily nižšej a strednej triedy, ktorých karosérie sú vyrobené z bežných pozinkovaných oceľových plechov.

Tabuľka č.3

automobil	rok výroby	priemerná hrúbka vrstvy [ $\mu m$ ]	
		kapota	dvere
Gaz Poběda	1956	81,2	144,8
Škoda 1000MB	1969	102	60,8
Škoda 720	1971	155,6	145,2
Fiat Polski	1972	297,6	231,6
Škoda 120	1980	188,8	152
Olcit 11r	1989	139,6	72,4
Škoda Favorit	1994	142	91,4
BMW 318i	1998	220,4	96
Škoda Octavia	1999	113,6	163,6
VW Golf	1999	116,6	118,8
Seat Toledo	1999	157,2	116
Nissan Patrol	1999	96,6	111,2
Opel Frontera	2000	134,8	138,4
Škoda Fabia	2003	110,4	113,2
VW Passat	2005	122	108,4
Land Rover Freelander	2005	125,6	102,8
Hyundai Accent	2005	157,6	134,8
Mercedes E320 CDI	2006	116,8	102,8
Toyota Land Cruiser	2007	118	114
Ford S-max	2007	138,8	147,6
Mazda 3	2008	114	137,6
VW Passat	2008	111,2	98,4
Mercedes C220 CDI	2009	121,2	118
BMW 318d	2011	141,4	120,8
BMW 318d	2011	112,8	107
BMW 320xD	2011	116	100,4
Ford Galaxy	2013	146,8	124,8
Ford Mondeo	2014	135,2	106,8
Ford Focus	2015	142	132,8
VW Passat	2016	128	107,6
Peugeot 208	2016	78,6	76,8
Dacia Duster	2018	135,6	183,4

Z tabuľky č.3 je vidieť, že priemerná hrúbka vrstvy laku na kapote je u väčšiny automobilov vyššia ako priemerná hrúbka vrstvy na dverách. Tento jav je s najväčšou pravdepodobnosťou spôsobený nanášaním farby v procese lakovania. Rozdiely v hrúbkach vrstvy laku na kapote a dverách sú výsledkom toho, že pri striekaní automobilu je kapota v horizontálnej polohe, zatiaľ čo dvere sú striekané vo vertikálnej polohe. Účinnosť striekania kapoty je vďaka gravitácii vyššia, čo sa odrazilo aj na väčšej hrúbke výslednej vrstvy laku. Pri striekaní dverí je pri nižšej účinnosti nanášania laku aj väčšie nebezpečenstvo stekania laku. Jednou z pár výnimiek je hneď prvý automobil uvádzaný v tabuľke, Gaz Poběda z roku 1956, vid' obr. 15a. Pri tomto aute je nameraná priemerná hrúbka vrstvy laku na dverách približne o 78% vyššia ako hrúbka vrstvy na kapote. Vzhľadom na vek auta a vysoký rozdiel medzi hrúbkami, je vysoká pravdepodobnosť, že dvere auta boli prestriekané.

Graf č.2



V graf číslo 2 popisuje závislosť priemernej hrúbky vrstvy laku meranej na kapote na roku výroby automobilu. Väčšina automobilov mala hrúbku vrstvy laku na kapote v rozmedzí od 100 do 150 µm. Najviditeľnejšia odchýlka od priebehu grafu, ktorý je približne popísaný polynómom tretieho stupňa, je v bode A. Bod A reprezentuje automobil Fiat Polski z roku 1972 (obr. 15b), ktorý bol s najväčšou pravdepodobnosťou prelakovaný. Za posledných približne 60 rokov sa hrúbky zmenili len minimálne, avšak technológia lakovania a povrchových úprav prechádzala veľkými zmenami. Zmeny sa týkali či už chemického zloženia náterov, ktoré sú bližšie popísané v kapitole 5, ale aj postupu pri ich nanášaní a finalizácii. Veľký dôraz sa kladie na znižovanie emisií vznikajúcich pri tomto procese.



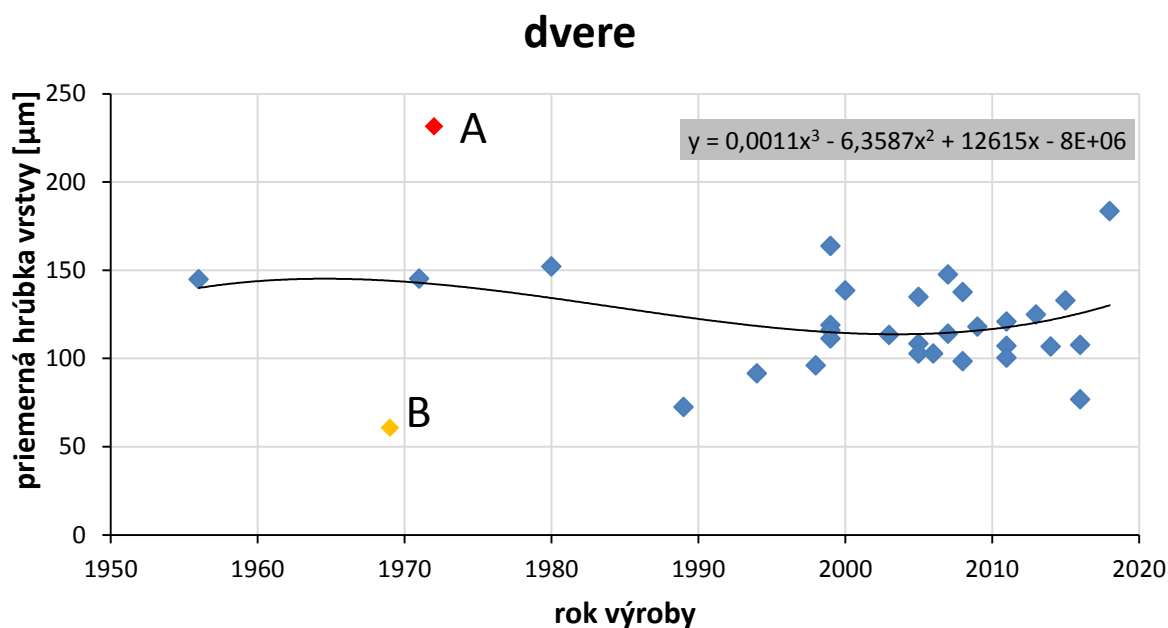
a) Gaz Poběda

b) Fiat Polski

c) Škoda MB1000

Obr.15 Exponáty Technického Múzea v Brne

Graf č.3



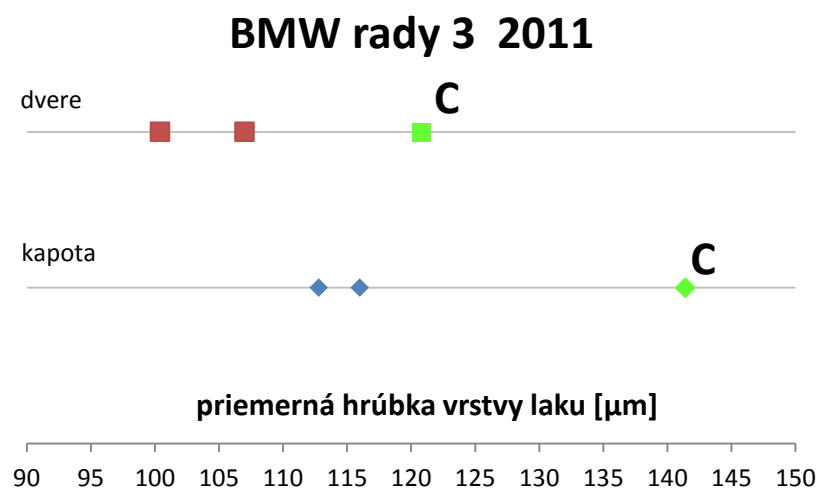
Graf číslo 3 je analogický grafu číslo 2, so zmenou meraného miesta na karosérii. Priebek vývoja priemernej hrúbky vrstvy laku na dverách je oproti priebehu v grafe č.2 plynkejší. Najviac nameraných hodnôt hrúbky laku na dverách, ako aj na kapote, sa nachádzalo v rozmedzí od 100 do 150  $\mu\text{m}$ . Bod A aj v tomto prípade reprezentuje už spomínaný Fiat Polski z roku 1972. Ďalšou zaujímavou výchylkou od priebehu je bod B, kde hrúbka vrstvy na dverách je výrazne nižšia. Ide o automobil Škoda 1000MB z roku 1969, viď obr. 15c. Výchylka je podľa všetkého spôsobená tým, že auto neprešlo štandardnou povrchovou úpravou v linke, ale bolo striekané ručne.



Obr.16 Škoda 720 prototyp, Technické Muzeum v Brně

Ďalším zaujímavým poznatkom bolo zistenie, že pri meraní hrúbok troch automobilov rovnakej značky aj modelu z toho istého roku, sa objavili výraznejšie odchýlky v hrúbkach laku u jedného z nich. Konkrétne išlo o tri automobily značky BMW rady 3 z roku 2011, ktoré sú vyznačené v tabuľke č.2 žltou farbou. Prvé z nich má oproti ostatným dvom výraznejšie vyššie hrúbky laku na kapote aj na dverách. Na kapote je hrúbka laku vyššia o približne 24% a na dverách je to menej ako 17%. Keďže nejde o vysoké rozdiely, môžeme vylúčiť možnosť, že by bolo auto búrané následne tmelené a znovu prestriekané. Príčinou týchto rozdielov sa javí fakt, že pri lakovaní jednotlivých áut v linke automobilky môžu vzniknúť nedokonalosti na povrchu. Tieto nedokonalosti, ako napríklad stekance, nedostriekané časti alebo zlý odtieň, sa korigujú opätovným nanášaním vrstvy laku na karosériu vo výrobní linke. Graf číslo 4 znázorňuje spomínané rozdiely v hrúbke laku medzi meranými autami BMW rady 3, body C zastupujú zmienený automobil s vyššou hrúbkou vrstvy laku.

Graf č.4



Finálnou časťou experimentu bolo meranie hrúbky laku na karosériách luxusných a športových modelov značky BMW v showroome BMW Renocar v Brne. Merané boli spolu 4 modely v hodnote približne od 70 000 do 150 000 Eur. Ceny automobilov boli zistené na

základe rozhovoru s predajcami firmy. Tieto modely boli zaujímavé nie len vzhľadom, ale aj tým, že kapota a dvere boli vyrobené z hliníku. U modelu M2, najlacnejší z meraných, bola použitá kombinácia hliníkovej kapoty a dverí z konvenčného pozinkovaného plechu. Absolútna novinka na trhu a zároveň najdrahší meraný automobil experimentu, model M5, má kapotu aj dvere vyrobené z hliníka a strechu z karbónových vlákien. Informácie o tom, z akého materiálu sú vyrobené jednotlivé časti karosérie boli ochotne poskytnuté zamestnancami showroomu a tieto informácie sa dali jednoducho overiť pomocou hrúbkomeru PosiTector 6000, ktorým boli tieto merania vykonávané. Pri meraní hliníkovej časti karosérie sa na displeji hrúbkomera objavila hodnota hrúbky vrstvy laku a písmeno N, čo podľa návodu označuje nemagnetický kovový materiál, teda skutočne šlo o hliník. Pri meraní strechy modelu M5 sa na displeji neobjavila žiadna hodnota, pretože zapožičaný prístroj dokáže merať hrúbku vrstvy len na kovovom podklade. Strecha je teda naozaj vyrobená z karbónových vlákien.

Tabuľka č.4

automobil	rok výroby	priemerná hrúbka vrstvy [ $\mu\text{m}$ ]		približná cena auta [Euro]
		kapota	dvere	
BMW M2	2018	122	114,4	70 000
BMW M4 ClubSport	2018	247,6	216,6	120 000
BMW 740i	2018	147,6	127,2	100 000
BMW M5	2018	126	110,8	150 000

V tabuľke číslo 4 je prehľad meraných modelov, priemerné hrúbky vrstiev laku na hliníkových častiach karosérie (okrem dverí M2) a približná cena jednotlivých automobilov. Z tabuľky 4 je vidieť, že hrúbky laku na dverách a kapote sa pohybujú v rovnakom intervale ako to bolo u áut s karosériou z pozinkovaných oceľových plechov. Výnimkou je model M4 ClubSport, ktorý je odľahčenou verziou bežnej M4 a vyššia hrúbka laku môže byť dôsledkom realizácie špeciálnej povrchovej úpravy.



a) BMW M4 ClubSport

b) BMW M5

Obr.17 Modely divízie BMW M, Showroom BMW Renocar Brno-Slatina

## 7. ZÁVERY

Teoretický úvod práce bol venovaný postupu povrchových úprav karosérie, začínajúc odmastením, nanosením antikoročných povlakov, samotným procesom lakovania až po finálne vysušenie a vytvrdenie náteru vo vysušiacich peciach. Pozornosť bola venovaná aj efektom vrchných krycích lakov a historickému vývoju autolakov a záver teoretickej časti rieši otázku nanotechnológií a ich využitia v automobilovom priemysle. Dôležité poznatky vyplývajúce z teoretickej časti práce sú, že sa veľký dôraz kladie na účinnosť a šetrnosť procesu vzhľadom na životné prostredie. Kvôli znižovaniu emisií sa ustupuje od odmasťovania v organických rozpúšťadlách, taktiež väčšina náterových hmôt je v súčasnosti už vodouriediteľná a aj pri procese pasivácie sa miesto toxického šesťmocného chrómu používa alternatívna metóda na princípe nanotechnológií. Práve spomínané nanotechnológie sú ďalším dôležitým bodom moderných povrchových úprav, pretože oproti konvenčným postupom majú množstvo výhod a preto sú hlavným bodom záujmu popredných automobiliek, ktoré do ich rozvoja investujú. Praktická časť bakalárskej práce spočívala v meraní hrúbky vrstvy laku na častiach karosérie áut, konkrétne na kapote a dverách od vodiča. Merania boli vykonané spolu na 36 automobiloch pomocou hrúbkomera PosiTector 6000. Rozdiel medzi najstarším a najnovším autom bolo 62 rokov. Úlohou bolo zistiť, ako a či sa hrúbka vrstvy laku v tomto časovom rámci menila. Pri automobiloch s karosériami z bežných oceľových pozinkovaných plechov je z grafov a tabuliek vidieť, že sa hrúbka vrstvy laku na dverách ani kapote s časom výrazne nemenila. Menilo sa však chemické zloženie náterov a postup ich nanášania. Väčšina nameraných hodnôt hrúbky laku, či už na dverách alebo na kapote, sa pohybovala v rozmedzí od 100 do 150  $\mu\text{m}$ . Výchylky v priebehu grafov môžu byť dôsledkom ďalšieho prelakovania automobilu. Taktiež je zrejmé, že priemerná hrúbka vrstvy na kapote je vyššia než priemerná hrúbka vrstvy laku na dverách. Tento jav je spôsobený tým, že pri procese lakovania je kapota v horizontálnej polohe a teda za pomoci gravitácie na ňu dopadá viac čiastočiek farby ako na dvere, ktoré sú lakované zväčša vo vertikálnej polohe. Aj v tomto prípade sa našli výnimky, avšak pretože dvere na autách bývajú často búrané alebo poškriabané je v tomto prípade možné, že dvere boli prelakované alebo úplne vymenené. Ďalším poznatkom pri meraní je rozdielna hrúbka vrstvy laku na autách rovnakého modelu aj roku výroby, merané boli 3 automobily značky BMW rady 3 z roku 2011, kde sa hrúbka vrstvy laku na jednom z meraných áut mierne líšila od ostatných dvoch. Keďže nešlo o výrazný rozdiel, mohlo sa vylúčiť prípadná havária automobilu a následné prelakovanie, ale za miernu odchýlku pravdepodobne môže nanosenie viacerých vrstiev laku v linke automobilky. Proces opätovného lakovania v linke automobilky sa robí v prípade vzniku stekancov farby alebo v prípade, že má auto zlý výsledný odtieň. Posledná časť experimentu zahŕňala meranie hrúbky vrstvy laku na športových a luxusných modeloch značky BMW. Výsledky meraní boli analogické výsledkom meraní na bežných automobiloch, avšak karosérie boli vyrobené z hliníka alebo kombináciou dverí z oceľových plechov a kapoty z hliníku. Karoséria modelu M5 bola celá hliníková s výnimkou strechy, ktorá bola z uhlíkových vlákien. Tieto fakty bolo jednoduché overiť pomocou hrúbkomeru, ktorý pri meraní na hliníkovej časti ukázal na displeji písmeno N, čo podľa návodu znamená nemagnetický kovový materiál, čo je aj hliník. Pri meraní strechy z uhlíkových vlákien hrúbkomer neukázal žiadnu hodnotu, keďže nešlo o kovový materiál.



## Zoznam použitej literatúry

1. DORAZIL, Eduard a Jan HRSTKA. *Strojírenské materiály a povrchové úpravy*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1988, 330 s. : il.
2. MÍŠEK, Bohumil a Jan HRSTKA. *Strojírenské materiály a povrchové úpravy: koroze a povrchová úprava kovů*. Vydání 2. nezměněné. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1982, 208 stran : ilustrace.
3. JANKURA, Daniel, Janette BREZINOVÁ, Jarmila ŠEVČÍKOVÁ, Dagmar DRAGANOVSKÁ a Anna GUZANOVÁ. *Materiály v strojárskzej výrobe a technológje ich finalizácie*. Vydanie prvé. Košice, Technická univerzita v Košiciach, 2011, 378 strán : ilustrace. ISBN 978-80-553-0786-2.
4. KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 216s.: il. ; 21 cm. ISBN 80-7082-668-1.
5. KOŠŤÁL, Miloslav. *Autolakýrnik*. Plzeň : F.S. Publishing, 2004. 224 s. ISBN 80-9030386-2.
6. SENDERSKÁ, Katarína, Vladimír RUDY, Albert MAREŠ. *Montáž v automobilovej výrobe*, Košice, Technická univerzita v Košiciach, 2010, 120 strán, ISBN 978-80-553-0561-5
7. JANCO, Marcel. *Lakovanie, antikorózna a optická úprava karosérii vozidiel*, Autorubrik, 2013, [online], [cit.19.1.2018]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/lakovanie-antikorozna-a-opticka-uprava-karoserii-vozidiel/>
8. HOLOUBEK, Vít. *Kataforetické lakování*, Povrchové úpravy, Odborný časopis, Vyd.4/2005, Aquacomp Hard s.r.o., 2005, [online], [cit.20.1.2018]. Dostupné z: <http://www.povrchoveupravy.cz/2005-04-clanek01.html>
9. KUČEROVÁ, Márie a kolegové. *Kataforeza - progresívni povrchová úprava*, Povrchová úprava, Pdf časopis, Ročník 3., Vyd. 1/2006, Mega a.s., Stráž pod Ralskem, 2006, [online], [cit.20.1.2018]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/4830913-Povrchova-uprava-kataforeza-progresivni-povrchova-uprava.html>
10. NELSON K. Akafuah , Sadegh POOZESH , Ahmad SALAIMEH , Gabriela PATRICK , Kevin LAWLER a Kozo SAITO. *Evolution of the Automotive Body Coating Process—A Review*, Coatings, Číslo 6, Vyd.2, University of Kentucky, Lexington USA a Toyota Motor Engineering & Manufacturing North America, Erlanger USA, 2016, [online], [cit. 10.2.2018]. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2079-6412/6/2/24/htm>

11. EVANS, Andrew. *50 Shades of 'eh?' - car paint types explained*, carwow.co.uk, 2016, [online], [cit.5.3.2018]. Dostupné z: <https://www.carwow.co.uk/guides/glossary/car-paint-types-guide>
12. BEDNÁŘ, Marek. *12 nejdražších laků aut: za cenu vítěze koupíte 28 Fabii*, Autoforum.cz, 2015, [online], [cit.5.3.2018]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/zajimavosti/12-nejdrazsich-laku-aut-za-cenu-viteze-koupite-28-fabii/>
13. BLÁHA, Miroslav, Mark GUTJAHR, Alexej KIRIAKOVSKÝ, Tomáš TEUFL, Martin MAZARI, Jan KUHN, Stephan SCHWARTE. *Moderní trendy v barvách aut: Co dnes umějí laky?*, Auto.cz, 2014, [online], [cit.7.3.2018]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/moderni-trendy-v-barvach-aut-co-dnes-umeji-laky-82951>
14. STANDOX GmbH. *Historická vozidla*, Standothek, Servind.com, Wuppertal Nemecko, [online], [cit.10.3.2018]. Dostupné z: [http://www.servind.sk/media/document/historicka\\_vozidla.pdf](http://www.servind.sk/media/document/historicka_vozidla.pdf)
15. DRAŠNAR, Petr. *Nanotechnologie v praxi*, Povrcháři, Občasník, Online časopis, Číslo 1, Vyd. Leden 2008, 2008, [online], [cit.22.4.2018]. Dostupné z: [http://povrchari.cz/kestazeni/200801\\_povrchari.pdf](http://povrchari.cz/kestazeni/200801_povrchari.pdf)
16. JINU Mathew, Josny JOY, Soney C. GEORGE. *Potential applications of nanotechnology in transportation: A review*, Journal of King Saud University – Science, 2018, ISSN 1018-3647, [online], [cit.23.4.2018]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.03.015>
17. SVOBODA, Miroslav a kolektiv. *Současný vývoj koroze kovů a povrchových úprav*, Strojárstvo/Strojírenství, [online], [cit.23.4.2018]. Dostupné z: <http://www.engineering.sk/strojarstvo-extra/1923-souasny-vyvoj-koroze-kov-a-povrchovych-uprav>
18. De La BASTIDE, Danielle. *This Self-Cleaning Car Paint Could Put Car Washes out of Business*, Interesting Engineering, 2017, [online], [cit.10.5.2018]. Dostupné z: <https://interestingengineering.com/this-self-cleaning-car-paint-could-put-car-washes-out-of-business>
19. Autobazar.eu. *Hrúbka laku*, Diskusné fórum, 2009, [online], [cit. 15.5.2018]. Dostupné z: <https://forum.autobazar.eu/hrubka-laku-t22568.html>
20. GAMIN s.r.o., *Hrúbka vrstvy*, Hodnotenie kvality povrchových úprav, Katalóg produktov, Novot' Slovensko, [online], [cit.15.5.2018]. Dostupné z: <https://www.gamin.sk/hrubka-vrstvy/>

## Zoznam obrázkov

- Obr.1 Mercedes-Benz triedy E  
<https://www.motor1.com/photo/1142332/2017-mercedes-benz-e300-4matic/>
- Obr.2 Štruktúrne vzorce nehorľavých organických rozpúšťadiel  
[https://www.carloth.com/de/de/Chemikalien/A-Z-Chemikalien/T/Trichlorethylen/Trichlorethylen/p/0000000100004f9300020023\\_de](https://www.carloth.com/de/de/Chemikalien/A-Z-Chemikalien/T/Trichlorethylen/Trichlorethylen/p/0000000100004f9300020023_de)
- Obr.3 Povlak vytvorený zinočnato-vápenatým fosfátovaním  
<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62012/klasifikace-fosfatovych-povlaku.html>
- Obr.4 Schéma kataforezného lakovania  
[http://www.povrchari.cz/kestazeni/201104\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/201104_povrchari.pdf)
- Obr.5 Kataforézne lakovanie Porsche Macan  
<https://newsroom.porsche.com/en/company/paint-shop-10782.html>
- Obr.6 ESRB rozprašovač  
[http://article.sapub.org/image/10.5923.j.jmea.20130302.05\\_001.gif](http://article.sapub.org/image/10.5923.j.jmea.20130302.05_001.gif)
- Obr.7 Ford Fiesta v metalíze Hot Magenta  
<https://www.autotalli.com/artikkeli/Autoesittely-Ford-Fiesta-2012>
- Obr.8 Šošovkový tvar metalického zrna  
KOŠŤÁL, Miloslav. *Autolakýrnik*. Plzeň : F.S. Publishing, 2004. 224 s.  
ISBN 80-9030386-2.
- Obr.9 McLaren P1 v unikátnej perlescentnej farbe Pacific Blue  
<http://www.mclarentalk.com/forums/mclaren-p1/75-pacific-blue-mso-p1.html>
- Obr.10 Hyundai Veloster  
[https://offthethrottle.com/wp-content/uploads/2016/08/MY13\\_VelosterTurbo\\_23.jpg](https://offthethrottle.com/wp-content/uploads/2016/08/MY13_VelosterTurbo_23.jpg)
- Obr.11 Ford Mustang 1969 v pôvodnej akrylovej farbe Candy Red Apple  
<https://www.autoevolution.com/news/unique-1969-ford-mustang-fastback-going-under-the-hammer-66114.html>
- Obr.12 Časti automobilu, kde sú použité nanotechnológie  
<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.03.015>
- Obr.13 Nanopasivácia  
<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.03.015>
- Obr.14 Metodika merania, Vlastná fotografia
- Obr.15 Exponáty Technického múzea v Brne, Technické Muzeum v Brně, Vlastná fotografia
- Obr.16 Škoda 720 prototyp, Technické Muzeum v Brně, Vlastná fotografia
- Obr.17 Modely divízie BMW M, Showroom BMW Renocar Brno-Slatina, Vlastná fotografia

## Zoznam tabuliek

- Tabuľka č.1 Zoznam 12 najdrahších autolakov sveta
- Tabuľka č.2 Výpočet priemernej hrúbky vrstvy laku na dverách a kapote automobilu
- Tabuľka č.3 Priemerná hrúbka vrstvy laku na dverách a kapote meraných automobilov
- Tabuľka č.4 Priemerné hrúbky laku na modeloch s časťami karosérie z hliníku

## Zoznam grafov

- Graf č.1 Percentuálne zastúpenie jednotlivých skupín meraných automobilov
- Graf č.2 Priemerná hrúbka vrstvy laku na kapote v závislosti na roku výroby auta
- Graf č.3 Priemerná hrúbka vrstvy laku na dverách v závislosti na roku výroby auta
- Graf č.4 Rozdiely medzi hrúbkami laku u 3 rovnakých modelov rovnakého roku výroby