



Ochranna kompozitních materiálů na bázi uhlíkových vláken pro automobilový průmysl pomocí vosků

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 Textil

Studijní obor:

Textilní marketing

Autor práce:

Bc. Dmytro Gaydukov

Vedoucí práce:

Ing. Roman Knížek, Ph.D.

Katedra hodnocení textilií





Zadání bakalářské práce

Ochranna kompozitních materiálů na bázi uhlíkových vláken pro automobilový průmysl pomocí vosků

Jméno a příjmení: **Bc. Dmytro Gaydukov**

Osobní číslo: T17000288

Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: Textilní marketing

Zadávající katedra: Katedra hodnocení textilií

Akademický rok: **2019/2020**

Zásady pro vypracování:

- 1) Prostudujte problematiku v oblasti kompozitních materiálů pro automobilový průmysl, vypracujte rešerši.
- 2) Prostudujte problematiku běžně dostupných vosků pro ochranu laku automobilu.
- 3) Proveďte měření vzorků před a po aplikaci vosků, zejména zjištění jejich povrchů (drsnosti). Následně vystavte vzorky před a po aplikaci vosků umělému UV záření a zjistěte, jaký vliv na ochranu laku a kompozitu mají běžně dostupné vosky.
- 4) V závěru zhodnoťte naměřené výsledky.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy: 30-40normostran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština



Seznam odborné literatury:

MACIEJEWSKI, Hieronim, Agata WAWRZYŃCZAK, Michał DUTKIEWICZ a Ryszard FIEDOROW. Silicone waxes-synthesis via hydrosilylation in homo- and heterogeneous systems. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* [online]. 2006, 5 June 2006 [cit. 2020- 10-24] Dostupné doi:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1381116906007709#bib6>

HIREMATH, Nitilaksha, Stephen YOUNG a Hicham GHOSSEIN. Low cost textile-grade carbon-fiber epoxy composites for automotive and wind energy applications. *Composites Part B: Engineering*. 2020, 2020(Volume doi:<https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2020.108156>

HORÁČKOVÁ, Nina. Vliv UV záření na vlastnosti materiálů používaných pro výrobu autopotahů: The effect of UV radiation onto quality of materials used for making of car seat upholstery. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007 Diplomové práce

Vedoucí práce: Ing. Roman Knížek, Ph.D.
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání práce: 22. března 2020
Předpokládaný termín odevzdání: 30. srpna 2021

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan

Ing. Roman Knížek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 12. srpna 2021

Prohlášení

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

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

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

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

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

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

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

16. srpna 2021

Bc. Dmytro Gaydukov

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Romanovi Knížkovi, Ph.D za podporu a trpělivost. Také bych chtěl poděkovat rodině a spolužákům, kteří mi poskytovali podporu během mého studia.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá porovnáním ochranných účinků různých vosků na povrchu kompozitu na bázi uhlíkových vláken. V rešeršní části je popsána problematika uhlíkových vláken, vosku a kompozitu. Dale v rešeršní části je popsána norma pro analýzu struktury povrchu plochých vzorků. Experimentální část je zaměřena na popis použitých přístrojů, jejich využití, popis provádění experimentu, a zhodnocení dosažených výsledků. V závěru práce bude schnutí jak rešeršní, tak experimentální částí.

Klíčová slova: kompozit, uhlíkové vlákno, UV záření, vosk

The bachelor thesis deals with the comparison of the protective effects of wax of different warps on the surface of composite materials on base of carbon fibers. The research part describes the problems of carbon fibers, wax, and composites. Furthermore, the research section describes a standard for the analysis of the surface structure of flat and bulk samples. The experimental part is focused on the description of the used devices, their use, description of the experiment, and evaluation of the achieved results. At the end of the work, the drying will be both research and experimental parts.

Keywords: composite, carbon fiber, UV radiation, wax

Obsah

Úvod	10
Rešeršní část	12
1 Uhlík.....	12
1.1 Grafit.....	12
1.2 Fullereny	12
1.3 Uhlíkova vlákna a nanovlákna.....	13
1.4 Sestavy spojitých vláken.....	13
1.5 Výroba uhlíkových vláken.....	14
1.6 Výhody a nevýhody uhlíkových vláken	14
2 Epoxidové pryskyřice.....	16
2.1 Vytvrzovací proces	16
2.2 Vlastností po vytvrzení	17
2.3 Epoxidové lamináty	18
2.4 Použití vyztužených epoxidových pryskyřic	18
3 Kompozity.....	20
3.1 Klasifikace	20
3.2 Vláknové kompozity.....	20
3.3 Uhlíková vlákna v kompozitech	21
3.4 Matrice	21
3.5 Praktické využití kompozitů	21
3.6 Ostatní vlastnosti kompozitů	22
4 Laky.....	23
4.1 Fenol-aldehydové pryskyřice.....	23
4.2 Organické povlaky	23
5 Nátěr.....	24
5.1 Filmotvorné látky.....	24
5.2 Olejové nátěrové hmoty.....	24

5.3	Syntetické nátěrové hmoty.....	24
6	Vosky	26
6.1	Silikonové vosky.....	26
6.2	Karnaubský vosk.....	27
6.3	Vosky s fluorovanými uhlovodíky	27
6.4	Využití vosků v automobilovém průmyslu.....	27
7	Degradace uhlíkových kompozitů pod vlivem ÚV záření a kondenzátu.....	29
8	Karbony pro automobilový průmysl	30
9	Geometrické specifikace produktu.....	31
	Experimentální část	32
10	Popis vzorku a materiálu	32
10.1	Kompozity	34
11	Hmotnost vzorku	36
12	Snímky povrchu kompozitu	38
12.1	Princip vytvoření snímku.....	38
12.2	Vyhodnocení.....	39
13	Měření vzorku na přístroji Sensofar Neox S	41
14	Aplikace vosku	46
15	Analýza drsností povrchu z voskovou vrstvou.....	48
16	Simulace slunečního záření	52
16.1	Zkušební zařízení.....	52
16.2	Hmotnost vzorku po simulace UV.....	53
17	Strukturní analýza povrchu po působení UV	56
18	Snímky povrchu po simulaci	61
18.1	Lakované kompozity.....	61
18.2	Nelakované kompozity	66
	Závěr.....	70
	Seznam použité literatury	72

Seznam obrázků.....	75
Seznam tabulek.....	77

Úvod

S technologickým pokrokem a vynalézáním nových materiálů roste v automobilovém průmyslu zájem o nové kompozitní materiály, které by byly lehčí, ale přesto měly stejné vlastnosti jako kovové, nebo dokonce i lepší. S rostoucími možnostmi využití kompozitů na bázi uhlíkových vláken se zvyšuje zájem o materiály pro údržbu a ošetřování dílů, které prodlužují jejich životnost a zachovávají původní lesku a barvu. Velké množství nátěrových materiálů pro automobily, tedy doplňků pro údržbu označovaných jako automobilová kosmetika, vyvolává otázky, jak jsou účinné na povrchu kompozitů, jestli je jejich cena opodstatněná, jestli jejich využití na kompozitech má smysl a jestli skutečně může ochránit díl od vlivu vnějších faktorů.

Tato kvalifikační práce se zabývá uhlíkovými vlákny, kompozity na jejich bázi a vosku různých osnov, je rozdělena do dvou částí, a to rešeršní a experimentální. V rešeršní části bude pozornost věnována především problematice uhlíkových vláken, jejich výrobě a využití v automobilovém průmyslu, ale také koncepci kompozitů, jejich klasifikaci a různým možnostem využití. Dále bude popsáno, jak se používají laky a jaký je proces nátěru, ale i jak se využívají nátěrové hmoty.

Experimentální část bude zaměřena na rozborů využitých vosků a popis kompozitních materiálů, které budou využívány během celého experimentu. Součástí experimentální části bude i popis využitých přístrojů a jejich funkcí, postupu měření a výsledných hodnot.

Hlavním cílem této práce je porovnat jednotlivé vosky a zjistit ochranné vlastnosti každého z nich jak na povrchu kompozitu s lakovou úpravou povrchu, tak i bez ní. Testována bude především odolnost vůči vnějšímu okolí, slunečnímu záření a UV vlnám.

Seznam použitých zkratk a veličin

Veličina, zkratka	Název	Jednotka veličiny
Sq	Špičatost	μm
Sku	Šikmost rozdělení výšek	-
Sp	Největší výška výstupku	μm
Sv	Největší hloubka prohlubně	μm
Sz	Největší výška	μm
Sa	Průměrná aritmetická výška	μm
Uva	Dlouhovlnné UV záření	nm

Rešeršní část

1 Uhlík

Uhlík, jehož latinským názvem je *Carbonium*, je chemický prvek na šestém místě v Mendělejevově periodické soustavě prvků a ve 14. (IVA) sloupci. Protonové číslo je 6 s relativní atomovou hmotností 12,011 [6]. Díky své specifické struktuře je uhlík stavebním kamenem všech organických sloučenin a živých organismů. Alotropie uhlíku jsou grafity, diamanty a fullereny. Hustoty grafitu jsou 2.26, respektive 3.52 g/cm^3 . [7]

Uhlík je nekovový prvek, který se v přírodě vyskytuje jako minerál. V posledních 30 letech byly nalezeny v přírodě, nebo uměle vytvořeny různé modifikace uhlíku. Jedná se například o grafit nebo fulleren. [7]

1.1 Grafit

Grafit má hybridizované atomy uhlíku sp^2 , takže každý uhlík má tři další uhlíky ve stejné rovině. Čtvrtý valenční elektron, který není zapojen do sp^2 hybridizace, je delokalizován prostřednictvím interakce n-n, což vede ke kovové vazbě v rovině. Ve vrstvě je tedy vazba směsí kovalentní a kovové vazby. Naproti tomu sousední vrstvy jsou slabě spojeny prostřednictvím Van der Waalsových sil. Proto je grafit vysoce anizotropní, s mechanickými, elektrickými a tepelnými vlastnostmi, které se velmi liší mezi směry v rovině a mimo rovinu. Ve vodorovném směru je modul pružnosti vysoký a koeficient tepelné roztažnosti (CTE) je nízký kvůli silné kovalentní vazbě v rovině. Elektrická i tepelná vodivost jsou v důsledku kovového spojení v rovině vysoké. V příčném směru jsou modul, elektrická vodivost a tepelná vodivost velmi nízké kvůli slabým Van der Waalsovým silám mezi vrstvami. [7]

Uhlíkové vrstvy v grafitu jsou naskládány v AB posloupnosti, takže sousední vrstvy jsou vzájemně posunuty. Je třeba poznamenat, že grafitová struktura se liší od hexagonální uzavřené struktury (HCP), kterou vykazuje mnoho kovů. HCP také vykazuje sekvenci skládání AB, ale struktura každé vrstvy je odlišná, stejně tak i posun mezi vrstvami je odlišný. [7]

1.2 Fullereny

Fullereny jsou molekuly C_{60} , které se skládají z 60 atomů uhlíku a neobsahují žádný další prvek. Molekula má tvar koule o průměru asi 0,7 nm. Každý atom uhlíku má tři vazby, které jsou směřovány na další tři atomy uhlíku. V každém rohu je 20 šestiúhelníků a 12 pětiúhelníků, které tvoří povrch koule, je atom uhlíku. Termín fullereny byl pojmenován po americkém architektovi Buckminsterovi Fullerovi, který navrhl velkou geodetickou kopuli, která připomínala

molekulární strukturu C_{60} . Tyto koule jsou známé jako *bucky balls*. Přidání atomů uhlíku k rovníku koule C_{60} dává pro dlouhé molekuly se vzorci C_{70} , C_{76} , C_{84} , atd. Fullereny se používají jako katalyzátory, maziva a nosiče pro dodávání léků do těla.[7]

1.3 Uhlíková vlákna a nanovlákna

Uhlíková vlákna jsou dominantním výztužným materiálem pro lehké strukturální kompozity, a to díky jejich dostupnosti v kontinuální formě a jejich kombinaci nízké hustoty, vysoké pevnosti a vysokého modulu pružnosti. Podél osy, vlákno má vysokou pevnost a vysoký modul v důsledku určité orientace uhlíkových vrstev v tomto směru. Obvyklý průměr uhlíkových mikrovláken se pohybuje v rozmezí od 5 do 15 μm (nikoli nanovlákno).[7]

1.4 Sestavy spojitých vláken

Kontinuální vláknová forma umožňuje, aby byla uhlíková vlákna v podstatě vyrovnána, a tak mohla být hustě zabalena do kompozitního materiálu. Kabel je svazek vláken sestávající z tisíců vláken, obvykle v rozmezí od 1000 (známých jako 1K) do 48000 (známých jako 48K), nejčastěji se jedná o 1K, 3K, 6K, 12K, 24K a 48K. Kabel může být v nekroucené, nebo ve zkroucené formě.[7]

Husté balení znamená velký objemový podíl vláken. Protože vlákna mají mnohem vyšší modul než polymerní matrice, jsou primární nosnou složkou v kompozitu. Výsledkem je, že frakce s vysokým objemem vláken podporuje pevnost a modul kompozitu. Kontinuální forma navíc usnadňuje tkaní a pletení za účelem vytvoření látky nebo látky s různými vzory tkanin nebo pletenin.[7]

Kontinuální uhlíková vlákna pro použití při výrobě polymer-maticových kompozitů jsou obvykle ve formě prepregů. Předimpregnovaná fólie má vlákna zarovnaná ve stejném směru tak, že jsou vlákna držena pohromadě polymerem nebo jeho předchůdcem. V případě, že vlákna jsou držena pohromadě prekurzorem je do prekurzoru použitého pro impregnaci zahrnut katalyzátor nebo tvrdidlo pro polymeraci prekurzoru, takže během použití předimpregnovaných fólií není nutné přidávat žádnou další složku.[7]

Kvůli přítomnosti katalyzátoru nebo tvrdidla musí být desky prepregu skladovány v mrazáku, aby se polymerační proces během skladování výrazně zpomalil.[7]

V případě, že prekurzorem je epoxidová pryskyřice, je pryskyřice v prepregu částečně vytvrzena, aby byla snadná manipulace s prepregem. Tento materiál vyžaduje skladování v chladu, aby se zabránilo úplnému vytvrzení.[7]

1.5 Výroba uhlíkových vláken

Uhlíková vlákna se vyrábějí pyrolýzou organického prekurzoru, jako je smola a polyakrylonitril (PAN). PAN je zdaleka nejpoužívanějším předchůdcem, představuje 90 % globálního trhu s uhlíkovými vlákny.[7]

Proces nejprve zahrnuje nízkoteplotní oxidaci a stabilizaci, což je tepelné zpracování při relativně nízké teplotě (kolem 300 °C) s používáním kyslíku za účelem oxidace organického prekurzoru tak, že se prekurzor mění ve své molekulární struktuře, takže se během následného tepelného zpracování neroztaví.[8]

Po stabilizaci je PAN vlákno podrobena tepelnému zpracování při vyšší teplotě (typicky při 1000–2000 °C) za účelem karbonizace, tj. odstranění atomů (zejména vodíku a dusíku) jiných než uhlík. Tento proces probíhá pod inertní atmosférou, jako je dusík. Během tohoto procesu je na vlákna volitelně aplikováno mírné napětí.[8]

V případě, že je požadováno vysoko modulové uhlíkové vlákno, následuje proces grafitizace, která zahrnuje tepelné zpracování karbonizovaného vlákna pod napětím při teplotě zhruba 2000–3000 °C v inertní atmosféře. Dusík se nesmí používat v inertní atmosféře během procesu grafitizace kvůli reakci dusíku a uhlíku, při níž dohází ke vzniku jedovatých kyanogenů. Vysoké teploty během grafitizace způsobují částečnou krystalizaci karbonizovaných vláken, čímž se zvyšuje modul, elektrická vodivost a tepelná vodivost podél osy vláken.[7]

Uhlíková vlákna tak mohou být získána s různou tuhostí a pevností, v závislosti jednak na druhu použitého organického vlákna, jednak na průběhu teploty a napětí vlákna během celého cyklu, obvykle s průměrem kolem 8 μm s nehladkým povrchem. Jsou dodávána v praménkách s 3000 až 10000 nebo s více vlákny.[8]

1.6 Výhody a nevýhody uhlíkových vláken

Výhodou uhlíkových vláken je nejen velká pevnost a vysoký modul, malá objemová hmotnost a vysoká chemická odolnost, ale i neměnnost vlastností při vysokých teplotách (přes 2000 °C ve vakuu), při nichž všechny ostatní materiály původní vlastnosti zcela ztrácejí. Uhlíková vlákna však snadno oxidují při teplotách nad 500 °C, a proto je nezbytná jejich dokonalá ochrana proti korozi vzduchem a oxidujícími látkami v atmosféře.[8]

Vlákna jsou citlivá k poškození během zpracování a při výrobě tkanin může docházet ke ztrátě pevnosti. Velká tuhost vláken způsobuje obtíže při vytváření ohybů malých poloměrů. Soudržnost s většinou matric je bez předběžné úpravy malá. Nejlepší cestou ke zlepšení soudržnosti (2krát až 3krát) je slabá oxidace povrchu nebo pokrytí vhodnými povrchovými nánosy. Nejlepší je nezatvrdlá epoxidová pryskyřice, která je uložena na vláknech v množství

$\frac{1}{2}$ až 2 % z roztoku (pro použití v rektoplastech nebo termoplastech). Většina výrobců dnes provádí speciální povrchové úpravy podle druhu matrice, které významně zvyšují smykové pevnosti kompozitu. Smáčivost uhlíkových vláken je oproti kovům špatná; například kontaktní úhel mezi uhlíkem a hliníkem je větší než 90° . [8]

2 Epoxidové pryskyřice

Pod pojem epoxidové pryskyřice zahrnujeme sloučeniny obsahující více než jednu epoxidovou (oxiranovou) skupinu v molekule. Nejběžnější typy epoxidových pryskyřic obsahují glycidylou (2,3-epoxypropylovou) skupinu. Ty vznikají velmi dobrou adhezí k celé řadě materiálů a po vytvrzení dalšími podstatnými vlastnostmi: chemickou odolností, tvarovou stálostí (včetně malého smrštění při vytvrzení) a dalšími vlastnostmi typickými pro syntetické pryskyřice – dobrou tepelnou odolností (zvláště v porovnání s termoplasty) a tvrdostí. [1, 4]

Mezi nejdůležitější skupiny epoxidů patří:

- a) aromatické glycidelethery,
- b) alifatické a cykloalifatické epoxidy,
- c) další epoxidy s jinými atomy zabudovanými do skeletu.

Všechny tři typy mají nízkou viskozitu, velkou tepelnou odolnost a vysokou schopnost plnění. Hydantoin lze snadno syntetizovat, je reaktivní a poskytuje četné kondenzační možnosti.[1]

Epoxidové pryskyřice lze připravit např. epoxidací nenasycených sloučenin:

- a) katalytickou oxidací v plynné nebo kapalně fázi kyslíkem, ozonem nebo oxidačními činidly, jako jsou kyselina chromová, nebo manganistan,
- b) epoxidací organickými peroxykyselinami nebo anorganickými reboxokyselinami a jejich deriváty Prádem připravenými nebo vznikajícími při procesu,
- c) epoxidací přes helogenhydriny a jejich deriváty,
- d) biologickou epoxidací.[1]

Mezi nejvýznamější způsoby přípravy epoxidových sloučenin patří dehydrohalogenace substituovaných hydroxysloučenin. Nejdůležitější je dehydrohalogenace chlorhydrinetherů připravených adicí epichlorhydrinu na látky s hydroxylovou, případně karboxylovou skupinou. Jednou z dalších metod přípravy epoxidových sloučenin je kondenzace karbonylových sloučenin a halogen esterů Epoxidy lze získat z halogenovaných kationů a karbonylu niklu, nebo reakcí diazomethanu s aldehydy nebo ketony.[1]

Nejvýznamnější skupinou jsou však produkty připravené alkalickou kondenzací látek s fenolickou hydroxylovou skupinou s epihalogenhydrinem, zejména s epichlorhydrinem a jeho deriváty, např. β -methylepichlorhydrinem.[1]

2.1 Vytvrzovací proces

Vytvrzování epoxidových pryskyřic je proces, ve kterém se pomocí chemických reakcí převádějí nízkomolekulární, rozpustné a tavitelné epoxidové monomery a oligomery na

netavitelné a nerozpustné polymery, které mají převážně trojrozměrnou strukturu. Epoxidové pryskyřice dosahují po vytvrzení řadu nových vlastností, jako je mechanická pevnost, kaučukovitá elasticita, rozměrová stálost, tepelná odolnost, které jsou pro většinu aplikací nezbytné.[1]

Vytvrzování epoxidových pryskyřic se provádí pomocí tzv. tvrdidel, což jsou jednak látky schopné reagovat s epoxidovými a hydroxylovými skupinami přítomnými v pryskyřici tak, že se stávají součástí vytvořené sítě, jednak látky, které pouze iniciují polymeraci epoxidových skupin, vzniklá síť je tak složena jen ze segmentu epoxidové pryskyřice. Do první skupiny patří všechna polyadická tvrdidla, například polyamidy, polykarboxylové kyseliny a anhydridy, aminoamidy a polysulfidy. Do druhé skupiny pak takzvané polymerační tvrdidla (katalytická), jako jsou Lewisovy báze a kyseliny a komplexní katalyzátory.[1]

2.2 Vlastnosti po vytvrzení

Optimálních konečných vlastností odlitku se dosáhne jen za předpokladu, že je správně vytvrzena dobře navržená lící směs, takže v odlitku nejsou prakticky žádné epoxidové skupiny, ani přebytek tvrdidla. To předpokládá jednak správné vzájemné dávkování a promíchání, jednak dodržení podmínek pro co nejlepší dotvrzení, především teploty a času. Při náročnějších technických aplikacích nezle vystačit s povrchními znalostmi fyzikálního chování odlitků. Vlastnosti mohou v širokém rozmezí kolísat působením řady nejrůznějších vlivů během kterých může dojít k selhání konečného výrobku během provozu v rámci plánované životnosti.[1]

Ve většině případů jsou epoxidové odlitky vystaveny statickému mechanickému namáhání buď působením vnějších vlivů, nebo je napětí způsobeno vytvrzovací reakcí bloku, vlivem nálitků o rozdílném koeficientu délkové teplotní roztažnosti, rychlým ohřátím průchodem proudem atd. V elektrotechnické výrobě je situace složitější, protože odlitek v řadě případů musí plnit současně funkci izolantu i konstrukčního prvku.[1]

Mechanické vlastnosti závisejí především na volbě lící směsi a teplotě. Důležitý je i způsob a doba namáhání. Dlouhodobé namáhání je vždy nebezpečnější než krátkodobé a nižší se volí i z důvodu únavy materiálu. Teplota a způsob namáhání jsou označovány jako dva základní činitele, které jsou rozhodující při posuzování materiálu. Pevnost roste se stupněm zesílení, který se zvyšuje s vyšší teplotou dotvrzení. Působí-li však teplota nepřiměřeně dlouho, může být vliv zvýšení pevnosti překryt poklesem pevnosti způsobeným počínajícím stárnutím. U standardních epoxidů se také prakticky vůbec nevyskytuje plastická deformace vzhledem k trojrozměrnému tuhému uspořádání, kde je vzájemný pohyb molekul silně potlačen. Plastická deformace je možná jen za vysokých teplot a u vysoce flexibilizovaných pryskyřic. U běžných

křehkých epoxidů se vyskytuje jen deformace elastická a jejich lom vlivem namáhání nastává při nízké deformaci, která zpravidla nepřesáhne 5 %.[1]

2.3 Epoxidové lamináty

Základní složky těchto materiálů tvoří na jedné straně výztuž, která je nositelem mechanických vlastností, na druhé straně polymerní pojivo, které rozvádí mechanické namáhání rovnoměrně na všechna vlákna výztuže, chrání je před mechanickým poškozením a chemickými vlivy, dodává laminátu odolnost proti chemickým, povětrnostním a některým fyzikálním vlivům. Systém, sestávající ze dvou nebo více složek lišících se strukturou i vlastnostmi, jsou v současné odborné literatuře obecně označovány jako kompozitní materiály. V řadě kompozitních materiálů zaujímají významné místo epoxidové pryskyřice vyztužené jak skleněnými vlákny, tak v poslední době i neskleněnými výztužemi, jakou jsou uhlíková vlákna, borová vlákna, whiskery.[1]

V porovnání s kovovými materiály vykazují epoxidové lamináty především velmi příznivou pevnost v tahu. K dalším přednostem epoxidových pryskyřic, respektive kompozitů, patří výborná adheze s vyztužujícím materiálem, relativně malé smrštění při vytvrzování, dobrá odolnost vůči působení chemikálií i vůči zvýšeným teplotám a konečně dobré elektrické i mechanické vlastnosti. Limitujícím faktorem použití epoxidových kompozitů je jejich cena; využívají se proto pro aplikace, u kterých lepší technické parametry materiálu vyváží jejich cenu.[1]

2.4 Použití vyztužených epoxidových pryskyřic

Hlavní podíl aplikací v elektrotechnice tvoří podkladové desky pro tištěné spoje, plošné i profilové izolanty pro elektrické stroje a zařízení, kryty elektrických točivých strojů.[1]

Dalšími oblastmi, kde vyztužené epoxidové pryskyřice již získaly trvalé místo, jsou kosmonautika a letectví. Pro tyto aplikace se v poslední době kromě skleněných výztuží hojně využívá i vysokomodulových vláken borových nebo uhlíkových. Z epoxidových kompozitů jsou zhotovovány části raket a raketových motorů, anténní systémy, části trupů a křídel letadel, směrovky a podlahy letadel. Velmi často jsou aplikovány sendvičové materiály, kde je jádro tvořeno voštinou z lehkých kovů nebo lehčeným plastem (polyuretany) a pláště deskami z epoxidových kompozitů. Aplikace uvedených materiálu přináší značné snížení hmotnosti při zachování fyzikálních parametrů.[1]

Polymerní kompozity vyztužené uhlíkovými vlákny jsou velmi žádané pro automobilové a větrné energetické aplikace kvůli výhodám spojeným se snížením hmotnosti, vysokou tuhostí a

pevností, trvanlivostí a recyklovatelností. Vysoká cena uhlíkových vláken byla limitujícím faktorem v jejich širokém přijetí v jiných než leteckých aplikacích.[1]

3 Kompozity

Kompozitní materiál, zkráceně kompozit, je materiálem majícím dvě nebo více odlišných částí.[5] Materiál mající dvě nebo více odlišných materiálových složek neboli fází je podle toho tedy složeným materiálem. Avšak jen tehdy, když mají vytvářející fáze značně rozdílné fyzikální vlastnosti, a tudíž i vlastnosti složeného materiálu jsou zřetelně odlišné od vlastností jeho složek, označujeme takový materiál jako kompozit.[2]

Kompozity tvoří jedna nebo více nespojitých fází ponořených ve spojitě fázi. Diskontinuitní fáze je obvykle tvrdší a pevnější než spojitá fáze a nazývá se vyztužení nebo vyztužovací materiál, zatímco spojitá fáze se nazývá matrice. Nejpozoruhodnější výjimkou z tohoto pravidla je skupina materiálů známých jako polymery modifikované kaučukem, skládající se z tuhé polymerní matrice plněné kaučukovými částicemi.[2]

Vlastnosti kompozitů jsou silně ovlivňovány vlastnostmi svých materiálových složek, jejich distribucí a interakcí mezi nimi. Vlastnosti systému může dávat součet vlastností složek podle jejich objemových podílů, nebo na sebe mohou složky vzájemně působit synergickým způsobem, takže zajišťují kompozitu vlastností, které nemohou být přičítány prostému součtu vlastností složek na základě jejich objemových podílů.[2]

3.1 Klasifikace

Většina dosud vyvinutých kompozitních materiálů je vyráběna pro zlepšení mechanických vlastností, jako jsou pevnost, tuhost, tažnost a vysokoteplotní odolnost. Je pak přirozené, že se společně studují kompozity, které mají společný mechanismus pevnostního chování. Tento mechanismus je silně závislý na geometrii vyztužení.[2]

V této klasifikaci je rozlišovací charakteristikou částic v podstatě to, jestli jsou vláknová, nebo nejsou. Může být kulová, krychlová, čtyřstěnová, destičková nebo jiného pravidelného či nepravidelného tvaru, ale je přibližně rovnoosá. Vlákno je charakterizováno svou délkou, která je mnohem větší v porovnání s jeho průřezovými rozměry. Kompozity vyztužené vlákny se pak nazývají *vláknové kompozity*. [2]

3.2 Vláknové kompozity

Vláknový kompozit je umělý materiál sestávající z vláknové vyztuže (převážně orientované v jednom směru) a z plastického pojiva zvaného matice.[5] Vláknové kompozity lze třídit na jednovrstvové a mnohavrstevové jak podle jejich teoretických, tak experimentálních vlastností. Jednovrstvové kompozity mohou být ve skutečnosti zhotoveny z několika samostatných vrstev, z nichž každá má tutéž orientaci a tytéž vlastnosti, a tak lze celý laminát

chápat jako jednovrstvový kompozit. Kompozity používané v konstrukčních aplikacích jsou většinou vícevrstvé (uhlíkové vrstvení). To znamená, že se skládají z několika vrstev vláknových kompozitů (lamin). Každá vrstva nebo plátek (lamina) je jednovrstvový kompozit a se střídají mezi sebou podle konstrukčního návrhu. Každá vrstva kompozitu bývá velmi tenká, obvykle o tloušťce 0,1 mm, a proto nemůže být použita přímo. Pro použití v technických aplikacích se několik stejných nebo odlišných vrstev spojuje dohromady do vícevrstvého kompozitu.[2]

3.3 Uhlíková vlákna v kompozitech

Kompozity vyztužené vysokomodulovými vlákny mají zvláštní význam v aplikacích, kde je hlavním požadavkem úspora hmotností. Například uhlíková vlákna mají velmi atraktivní vlastnosti, vysoký modul, vysokou pevnost a nízkou hustotu. Polymerní kompozity vyztužené uhlíkovými vlákny mají hustotu kolem $1,5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ a přitom dosahují modulu pružnosti blízkého oceli. Specifický modul kompozitu je tak čtyřikrát až pětkrát větší než u oceli. [2]

3.4 Matrice

Způsob přípravy a výroby, druh vláken a jejich povrchová úprava, vlastnosti a využitelnost i oblasti aplikace vláknových kompozitů se liší podle toho, jaká je jejich matrice. Kompozitní materiály se nepřipravují k více méně volnému použití, ale má-li jejich účinnost přinést potenciální výhody, je třeba je konstruovat (navrhovat) zároveň s konečným výrobkem, s ohledem nejen na jeho namáhání, ale i na podmínky, v nichž bude sloužit. Jiné složení vláken i matrice, druh vláken, průměr vláken, výrobní postup budou záležet na tom, zda bude prvek namáhaný staticky nebo dynamicky, za nižších nebo vyšších teplot, v suchém nebo ve vlhkém prostředí. Ve všech případech je třeba určovat všechny součásti kompozitu, aby bylo dosaženo jejich optimálního synergického spolupůsobení a potřebné životnosti.[8]

3.5 Praktické využití kompozitů

Kompozitní materiály představují nejúčinnější využití potenciálních možností hmoty, a tím maximalizaci energetických úspor nejen z hlediska materiálu, ale i z hlediska využívání konstrukce. To se odráží v rychlém pronikání kompozitů do všech odvětví hospodářství.[8]

Dnes lze sledovat použití vláknových kompozitů (s vlákny uhlíkovými, borovými, a aramidovými) pro některé sekundární a primární části letadel. Uhlíkové kompozity jsou vhodné pro hnací hřídele automobilů, pro listové i vinuté pružiny, s vyšší životností a s hmotností o 40 % až 70 % menší než z oceli. Dnes se z kompozitů vyrábí průmyslové stroje a zařízení, ale také

jízdní kola. Kromě sportovních předmětů (lodě, lyže, rakety, golfové pole) se začaly vyrábět z kompozitu C-epoxy i housle, necitlivé na vlhkost, teplotu a na stárnutí, s vyšší pevností.[8]

3.6 Ostatní vlastnosti kompozitů

Mezi ostatní fyzikální vlastnosti kompozitů patří další transportní vlastnosti jako elektrická vodivost a difúze. Také pro tyto vlastnosti platí lineární směšovací pravidla stejně jako pro vodivost tepelnou.[13]

Další vlastností kompozitů může být např. součinitel absorpce pro nejrůznější typy záření od mikrovln až po záření gama. Pro krátkovlnná záření, jako je rentgenové záření a záření gama, je možné na hmotnostní součinitele absorpce aplikovat, jak dokazuje teorie absorpce, s dostatečnou přesností lineární směšovací pravidlo.[13]

4 Laky

Lak je materiál (nátěrová hmota) tvořící průhledný, tvrdý, ochranný film především na dřevě, ale i na jiných materiálech. Tradičně se jedná o kombinaci zasychajícího oleje, pryskyřice a ředidla nebo rozpouštědla. Laky tvoří obvykle lesklý povrch, ale mohou tvořit i matný nebo pololesklý, když se přidají zmatňující činidla. Laky jsou bezbarvé nebo jen mírně zbarvené, jsou průhledné a neobsahují žádný pigment, na rozdíl od barev a mořidel (ty obsahují pigment a obecně jsou neprůhledné až průsvitné). Laky lze aplikovat přes mořidla jako závěrečný krok k získání lesklého a chránícího filmu. Některé výrobky se prodávají jako kombinace mořidla a laku.[11]

4.1 Fenol-aldehydové pryskyřice

Fenol-aldehydové pryskyřice se obvykle nazývají směsí vysokomolekulárních produktů získaných interakcí sloučenin obsahujících aldehydové skupiny s různými fenoly. Tento název také označuje produkty interakce acetonu a acetylenu s fenoly, v obecnějším smyslu pryskyřičné produkty, které obsahují poměrně velké množství fenolů.[12]

Některé fenolové pryskyřice jsou tvarovatelné (licí pryskyřice) a jsou hlavními pojivy pro tvarovatelné plasty, které jsou běžně označovány jako bakelit. Jiné pryskyřice tohoto typu se používají k přípravě laků a barev. Lze je pro tento účel použít buď samostatně, nebo v kombinaci s jinými činidly vytvářejícími film, jako jsou například sušící oleje, přírodní nebo syntetické pryskyřice (polyester a ethercelulóza).[12]

4.2 Organické povlaky

Ochranný účinek organických povlaků je založen především na bariérovém způsobu. V některých případech je tento účinek doplňován inhibičním působením látek v nich obsažených.[10]

Organické nátěrové hmoty jsou nejstarším, nejběžnějším a stále nejekonomičtějším prostředkem ve všech průmyslových oborech. Tvoří zhruba 80 až 90 % všech povlaků. Je to dáno nejen poměrně vysokým ochranným účinkem nátěrových systémů, ale i snadností a dostupností způsobů vytváření těchto povlaků. Hlavním využitím nátěrových hmot je ochranný účinek (proti povětrnosti, mořské vodě, dále jsou olejivzdorné, ohnivzdorné, antivibrační ap.). Důležité jsou však i další specifické účely jako dekorativní, signální, maskovací, fungicidní, baktericidní, svítící, matovací a jiné.[10]

5 Nátěr

Je definován jako souvislý povlak požadovaných vlastností vzniklý nanesením a zaschnutím jedné nebo několika nátěrových vrstev na upravovaném povrchu. Podle počtu nanesených vrstev se rozeznávají nátěry jedno- a vícevrstvé, které se dělí do skupin podle vlastností, účelu, vzhledu a pořadí v nátěrovém systému.[10]

Nátěrovými hmotami nazýváme všechny výrobky používané k provádění nátěrů. Jsou to organické látky různých druhů, které jsou nanášeny v tekutém nebo těstovitém stavu, na předmětu vytvářejí souvislý film požadovaných vlastností. Základními složkami nátěrových hmot jsou pojidla, pigmenty, plnidla a aditiva.[10]

Pojidlo je nejdůležitější součástí každé nátěrové hmoty. Uděluje jí charakteristické fyzikální vlastnosti. Pojidlo se skládá z filmotvorných látek a rozpouštědel.[10]

5.1 Filmotvorné látky

Filmotvorné látky jsou převážně netěkavé organické látky, které mohou po zaschnutí vytvářet tuhý souvislý film různé tloušťky. Jsou to vysychavé oleje (rostlinné, živočišné nebo syntetické), přírodní pryskyřice (kalafuna, šelak, kopál) používané zejména v kombinaci s jinými filmotvornými látkami, deriváty celulózy, deriváty kaučuku, asfalty a syntetické pryskyřice. Vlastnosti filmotvorných látek mají rozhodující vliv na ochrannou účinnost a životnost nátěrů. Chemické vazby obsažené ve filmotvoré látce určují, zda nátěr bude odolávat kyselinám, hydroxidům a povětrnosti.[10]

5.2 Olejové nátěrové hmoty

Mají pojidlo z vysychavých olejů (triglyceridy mastných kyselin) ve směsi s přírodními nebo umělými pryskyřicemi, které jsou rozpuštěny v lakovém benzínu. Vzájemný poměr a druh vysychavých olejů a pryskyřic určuje vlastnosti laků (tzv. mastné laky – méně pryskyřice pro venkovní nátěry, tzv. suché laky – vyšší podíl pryskyřic, nižší odolnost proti povětrnostním vlivům). Olejové nátěrové hmoty mají velmi dobrou odolnost proti povětrnostním vlivům, jen dostatečnou odolnost proti vodě a špatnou odolnost proti chemickým vlivům, hlavně alkáliím. [10]

5.3 Syntetické nátěrové hmoty

Syntetické nátěrové hmoty jsou vytvořené na bázi umělých pryskyřic. Tato skupina nátěrových hmot se dělí na celou řadu podskupin podle typu použité umělé pryskyřice (fenolické, alkydové, aminové, vinylové), často se používá jejich kombinace pro dosažení zcela určitých vlastností. Největší podskupinu tvoří nátěrové hmoty na bázi alkydových (glyptalových)

pryskyřic. Rozpouštěním alkydů v lakovém benzinu nebo jiných rozpouštědlech vznikají laky, které slouží jako pojidla obdobně jako u olejového materiálu.[10]

6 Vosky

Vosky jsou estery vyšších mastných kyselin a vyšších jednomocných alkoholů. Nejdůležitější jsou vosky tuhé: vorvanina, včelí, karnaubský (z listů brazilské voskové palmy), čínský vosk (z větví čínského jasanu), vosky šelaku, umělé IG vosky. Tekuté vosky jsou poměrně vzácné (např. spermacetový olej ze surové vorvaniny). Polotuhým voskem je lanolin (vosk z ovčí vlny). Tuhé vosky obsahují převážně mastné kyseliny řádu $C_nH_{2n}O_2$, a to v malém množství nejnižší, vyšší a nejvyšší kyseliny, které jsou typické pro přirozené vosky (karnaubová, cerotová, melisová). Tekuté vosky obsahují převážně kyseliny olejové.[3]

6.1 Silikonové vosky

Silikonové vosky, tj. polysiloxany s dlouhým alkylovým řetězcem ($>C_8$) jako závěsná skupina, tvoří jednu z nejdůležitějších tříd modifikovaných polysiloxanů široce používaných v mnoha průmyslových odvětvích. Hlavní metody syntézy silikonových vosků jsou založeny na katalytických procesech hydrosilylace alkenů poly(hydro/methyl)siloxanů. Jako nejúčinnější katalyzátor studovaných reakcí se jeví komplex siloxidu a rhodia $[{\text{Rh}}(\mu\text{-OSiMe}_3)(\text{cod})]$. Imobilizace tohoto komplexu v iontových kapalinách vedla k vysoce selektivnímu a velmi aktivnímu katalytickému bifázovému systému, který umožňoval snadnou separaci produktu a opakované použití katalytického systému. Vynikající selektivita byla pozorována také v případě hydrosilylace výše uvedených alkenů v typickém heterogenním systému v přítomnosti nanosených kovových katalyzátorů.[9]

Polydimethylsiloxany jsou základní složkou jednoho z nejpobulárnějších a nejrozšířenějších syntetických polymerních materiálů – silikonů. Jejich jedinečné vlastnosti, jako jsou širokospektrální tepelná stabilita, odolnost proti oxidaci, nízké povrchové napětí, propustnost pro plyny, vynikající dielektrické vlastnosti, fyziologická inertnost a odolnost proti vlhkosti, jsou důvodem pro širokou aplikaci silikonů do mnoha průmyslových odvětví.[9]

Typické silikony obsahují methylové (zřídka ethylové) skupiny na atomu křemíku, což má za následek jejich charakteristické hydrofobní vlastnosti. Ačkoli alkyly lze jen stěží považovat za funkční skupiny, stojí za zmínku, že delší alkylové řetězce (od C_8 do C_{40}), spojené s atomem křemíku polysiloxanového řetězce, mohou značně modifikovat fyzikální a chemické vlastnosti počátečních silikonů díky schopnosti proniknout organické systémy, a to monomerní i polymerní.[9]

Alkylpolymethylsiloxany se vyznačují zvlhčovacími a změkčovacími činnostmi, jakož i biologickou inertností, vynikajícími mazacími a roztahovacími schopnostmi, které je předurčují k použití v kosmetickém průmyslu jako součást mnoha produktů. V hlavní aplikaci byly

nalezeny alkylderiváty silikonů s řetězci delšími než C_{12} , které jsou dodávány při míchání s kosmetickými surovinami (oleje, vosky, alkoholy a mastné kyseliny), a pokud jsou přítomny v konečných produktech, nezanechávají mastný ani lepkavý pocit na kůži. Mezi další příklady použití alkylopolysiloxanu patří jejich použití jako hydrofobizačních a změkčovacích prostředků pro vlákna, maziva a oleje, paliva a motorové oleje pro dvoutaktní motory, brzdové kapaliny, inhibitory pěny pro naftu, povrchově aktivní látky pro barvy a laky, prostředky na ochranu zdiva proti vlhkosti, přípravky pro povrchovou údržbu v domácnosti, autokosmetika. [9]

6.2 Karnaubský vosk

Karnaubský vosk je jeden z přírodních vosků, který se získává z listů brazilské palmy Copernicia Prunifera a má různá chemická složení, včetně esterů vosku (38–40 %, nasycené), p-hydroxycinnamických alifatických diesterů (20–23 %), jednosytných alkoholů (10–12 %), hydroxyesterů (12–14 %) a p-methoxy cinnamických alifatických diesterů (5–7 %). Mezi přírodními vosky má karnaubský nejvyšší bod tání s méně viskózními, pružnějšími vlastnostmi.[21] Používá se především pro dosažení lesklosti povrchu v mnoha různých podobách. Přidává se do krémů na boty, vosků na nábytek a do cukrovinek. Taky se používá jako jeden ze základních prvků pro automobilové vosky. Pro zlepšení vlastností občas bývá používán v kombinaci se včelím voskem. V potravinářství se značí jako E903.[22]

6.3 Vosky s fluorovanými uhlovodíky

Fluorované uhlovodíky jsou uhlovodíky, ve kterých jsou všechny atomy vodíku nahrazeny atomy fluoru. Nižší fluorokarby, bezbarvé plyny nebo kapaliny, se nerozpouštějí ve vodě, ale rozpouštějí se v uhlovodících. Fluorované uhlovodíky se liší od odpovídajících uhlovodíků vyšší hustotou a zpravidla nižšími teplotami varu. Nasycené fluorované uhlovodíky jsou odolné vůči kyselinám, zásadám a oxidačním látkám.[23]

Fluorované uhlovodíky se využívají v izolantech, díky vlastnosti polarizace jsou dobrým nosičem tepla. Fluorované uhlovodíky lze najít také v hydraulických kapalinách, mazacích olejích, nízkoteplotních chladivech. Využívá se rovněž při výrobě lyžařských vosků a vosků určených pro automobilový průmysl.[23]

6.4 Využití vosků v automobilovém průmyslu

Nanášení povrchového vosku na ochranu proti korozi jako součást procesu dokončování je hlavní směrnicí pro všechny evropské výrobce automobilů. Někteří američtí výrobci ji používají zejména na vnitřní straně dveřních otvorů, kde působí koroze vyvolaná nepříznivým počasím. U všech amerických výrobců vyrábějících vozidla pro evropský trh je však vosk na

celé karoserii nezbytný. Vosk poskytuje bariéru proti korozivním médiím, jako jsou sůl, špína, prach a vlhkost.[16]

Povrchový vosk se nanáší v kapalné formě pomocí stříkacího zařízení. Existuje mnoho druhů vodných a rozpouštědlových voskových formulací, výběr se obvykle řídí potřebami výrobce a místními předpisy o životním prostředí.[16]

I když aplikace vosku v dutině není tak jednoduchá a přímá jako aplikace laku ve spreji, stále je považována za součást procesu lakování a dokončování automobilů.[16]

V minulém desetiletí byl vosk nanášen ručně operátorem pomocí pistole se speciálně navrženou tryskou. Ačkoli se ruční nanášení vosku úplně nezastavilo, za posledních pět let se většina automobilových závodů v Evropě přesunula k automatizaci pomocí tvrdých nástrojů nebo, v poslední době, robotů, aby zefektivnila svůj provoz.[16]

7 Degradace uhlíkových kompozitů pod vlivem UV záření a kondenzátu

Degradace je nevratný proces změny struktury a fyzikálních a chemických vlastností materiálu. Degradace může být vyvolaná působením různých chemikálií, fyzikálních nebo fyzikálně-chemických sil.[14]

Jak UV záření, tak vlhkost mají nepříznivé účinky na mechanické vlastnosti polymerní epoxidové matrice, zatímco uhlíková vlákna nejsou významně ovlivněna žádným prostředím.

Polymerní matrice ve vlákny vyztuženém kompozitu slouží k přenosu aplikovaného zatížení na výztužná vlákna a k zajištění interlaminární smykové pevnosti, zatímco rozhraní vlákno-matrice určuje charakteristiky přenosu zatížení a toleranci poškození. Obě tyto složky tedy představují slabé vazby ve vlákny vyztužených kompozitech a při degradaci vedou ke snížené toleranci poškození, a tím k nedostatku dlouhodobé životnosti.[14]

Tyto chemické reakce obvykle způsobují štěpení molekulárního řetězce a/nebo zesíťování řetězce. Štěpení řetězce snižuje molekulovou hmotnost polymeru, což vede ke snížení pevnosti a tepelné odolnosti. Foto-oxidační reakce mohou také vést k produkci chromoforických chemických látek, které mohou polymeru způsobit změnu barvy (nebo její mírně ztrátě), pokud absorbují viditelné vlnové délky. Dlouhodobé vystavení UV záření však může stále vést k významnému zhoršení mechanických vlastností, zejména za podmínek zahrnujících vysoké okolní teploty. Reakce také vyvolá drobné změny drsnosti povrchu.[14]

Při působení pouze UV záření na uhlíkový kompozit víc než 500 hodin, dochází ke ztrátě hmotnosti a poklesu fyzikálních vlastností. Toto snížení hmotnosti vzorku je přičítáno vypuzení těkavých látek a zbytkové vlhkosti, ke kterému dochází na začátku expozice UV záření při 60 °C. Při kondenzaci vodní páry na uhlíkový kompozit nastává absorpce vody epoxidovou maticí a zároveň zvýšení hmotnosti vzorku. Během dalšího působení UV záření dochází k větší ztrátě hmotnosti po 500 hodinách než u kompozitu bez působení vodního kondenzátu.[14]

Cyklické vystavení UV záření a kondenzaci vede k fyzikální degradaci ve formě rozsáhlé eroze matrice, tvorby dutin a oddělování vazeb mezi vlákny a maticí, při působení víc než 1000 h kombinovaného záření a kondenzace v 6hodinovém opakovacím cyklu. Také působení záření po dobu delší než 500 hodin vyvolá degradaci v mechanických vlastnostech, jako jsou modul, pružnost a pevnost v podélném a příčném směru.[14]

8 Karbony pro automobilový průmysl

Epoxidové kompozity vyztužené uhlíkovými vlákny se používají ve vysoce výkonných vozidlech pro jejich vynikající absorpci specifické nárazové energie a nízkou hmotnost, vysokou specifickou pevnost a tuhost, nízkou tepelnou roztažnost a trvanlivost v drsném prostředí. Většina automobilových aplikací, jako jsou panely karoserie, podlahy, střechy a konstrukce podvozků, je poháněna tuhostí, kde uhlíková vlákna mohou poskytnout významné výhody.[15]

Celosvětový trh s automobilovými komponenty z uhlíkových vláken by mohl dosáhnout průměrného tempa růstu o 9,77 % v letech 2018 až 2022. Jedním z faktorů ovlivňujících tento trh je rostoucí využití materiálů z uhlíkových vláken v automobilovém průmyslu. Automobilový průmysl se zaměřuje na používání energeticky účinných, tuhých a lehkých materiálů ke snížení negativních vlivů na životní prostředí a rostoucí konkurenci mezi výrobci automobilů by mohla podpořit rychlejší růst objemu využití uhlíkových vláken a kompozitu.[17]

Jedním z faktorů ovlivňujících tento trh je vysoká cena uhlíkových vláken a drahý výzkum a vývoj. Rostoucí ceny surovin, jako jsou pryskyřice a uhlíková vlákna, zvýšily náklady na pořízení dodavatelů a průměrná cena uhlíkových vláken je 900 až 1100 CZK za 500 gramů. Větší pořizovací náklady na uhlíkové vlákna a kompozity mají přímý vliv na cenu konečného produktu pro zákazníky, což vyvolá menší zájem výrobců automobilů o uhlíkové kompozity.[17]

9 Geometrické specifikace produktu

Norma ČSN ISO 25178-2 s názvem Geometrické specifikace produktu (GPS) je souhrn specifikace třírozměrné analýzy textury materiálu. Podstatou dokumentu je popis technologií a metody kalibrace jak fyzické, tak softwarové. V případě, že zkušební povrch je plochý, používá se pravoúhlé souřadnice, kde osy X a Y jsou na nominálním povrchu a osa Z směřovaná napovrch.[18]

Obsahem normy je popis a definice jednotlivých parametrů, závislostí na různých okolnostech používaných při analýze. Při analýze plochých povrchů definují takové parametry [18]:

S_q – Průměrná kvadratická výška povrchu: RMS hodnota souřadnice v oblasti definice (A).

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \int \int_A z^2(x, y) dx dy} \quad (1)$$

S_{sk} – Šikmost rozdělení výšek: Poměr střední souřadnice k třetímu stupni a krychli S_q v oblasti definice (A).

$$S_{sk} = \frac{1}{S_q^3} \left[\frac{1}{A} \int \int_A z^3(x, y) dx dy \right] \quad (2)$$

S_{ku} – Špičatost: Poměr střední hodnoty souřadnice ve čtvrtém stupni a S_q ve čtvrtém stupni v oblasti definice (A).

$$S_{ku} = \frac{1}{S_q^4} \left[\frac{1}{A} \int \int_A z^4(x, y) dx dy \right] \quad (3)$$

S_p – Největší výška výstupu: Největší hodnota výšky vrcholu v oblasti definice.

S_v – Největší hloubka prohlubně: Záporná hodnota největšího poklesu v oblasti definice.

S_z – Největší výška: Součet maximální výšky vrcholu a maximální výšky ponoru v definiční oblasti.

S_a – Průměrná aritmetická výška: Aritmetický průměr absolutní hodnoty souřadnice v oblasti definice (A).[18]

Experimentální část

Tato část kvalifikační práce bude věnována praktickému zkoušení a měření ochranných vlastností vosku na povrch kompozitních materiálů na bázi uhlíkových vláken. Budou popsány jak postup jednotlivých měření, tak i dosažené výsledky.

10 Popis vzorku a materiálu

Byly zvoleny 3 druhy vosků na různých bázích od amerických firem Meguriar's a Turtle Wax. Všechny vosky se liší svým složením a procesem nanášení, což umožňuje porovnání vlastností a účinnosti na povrch kompozitu.

Meguriar's Gold Class™ Carnauba Plus (Premium Liquid Wax) je tekutý vosk obsahující karnaubský vosk a směsi polymeru, pomáhá zachovat povrch proti poškození a vytváří lesklý vzhled karoserie vozu. Vosk lze aplikovat ručně nebo leštičem. V případě daného experimentu byl vosk aplikován ručně. Dále v práci bude pojmenován jako vosk 1.

Tabulka č. 1: Složení vosku Meguriar's Gold Class™ Carnauba Plus

Surovina	Funkce
Voda	Ředidlo
Lehké aromatické uhlovodíky	Rozpouštědlo
Bodying Agent	Činidlo regulující viskozitu
C11-13 Syntetický isoparaffin	Rozpouštědlo
Jíl	Abrazivní složka
Dimethicone	Vylepšovač lesku
Minerální olej	Mazivo
Směs syntetického a přírodního vosku	Tmel
Lehké aromatické uhlovodíky	Odmašťovač
Organicky modifikovaný silikon	Emulgátor
Oxidovaný polyalkylen	Vylepšovač lesku
Kvartérní amonná sloučenina	Zahušťovadlo
Směs oleátů	Emulgátor
Silikonový polymer	Vylepšovač lesku
Vonná přísada	Vonná složka
Karnaubský vosk	Vosková přísada

Tabulka č. 2: Složení vosku Meguriar's Gold Class™ Carnauba Plus

Surovina	Funkce
d-Limonen	Vonná složka
Vonná přísada	Vonná složka
Bronopol	Konzervační složka
Yellow 5	Barvivo
Methylchloroisothiazolinon	Konzervační složka
Yellow 6	Barvivo
Methylisothiazolinon	Konzervační složka

Druhým zvoleným voskem je Turtle Wax Quick & Easy™ Wax it Wet. Quick & Easy™ Wax je vosk v podobě spreje, který umožňuje rychlou a jednoduchou aplikaci na povrch karoserie automobilu. Pomáhá zachránit povrch a lesk díky unikátnímu složení. Dále v práci bude pojmenován jako vosk 2.

Tabulka č. 3: Složení vosku Turtle Wax Quick & Easy™ Wax it Wet

Surovina	Funkce
Voda	Rozpouštědlo
Dimethicone	Silikon, vylepšovač lesku
Isopropanol	Rozpouštědlo
Střední alkany	Rozpouštědlo
Dikokodimethylamonium chlorid	Povrchově aktivní látka
Butoxyethanol	Rozpouštědlo
C10-16 Alkoholethoxylát	Emulgátor
Dipropylenglykol	Vonná složka
Benzybenzoát	Vonná složka
Poly [oxyethylen (dimethyliminio) ethylen (dimethyliminio)] ethylendichlorid	Konzervační složka
Soyethylidimonium ethosulfate	Antistatický prostředek
Kumarín	Vonná složka
Karnaubský vosk	Vosková přísada
Hydrogenované lomové aminy	Povrchově aktivní látka
Cyklotetrasiloxan	Silikon, Vylepšovač lesku

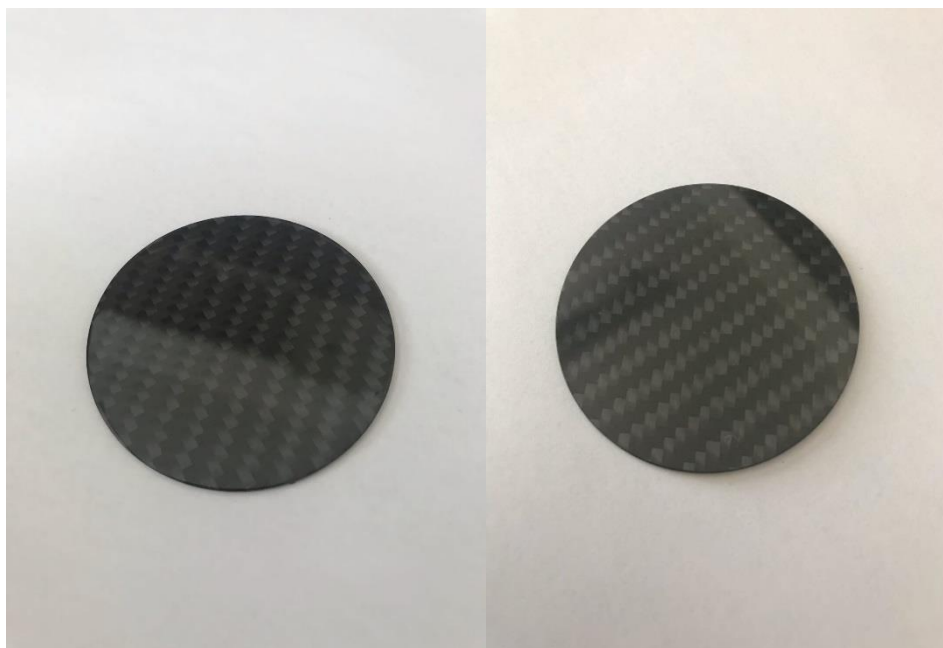
Posledním zkoumaným voskem je Meguriar's NXT Generation Polymer Paint Sealant. Hydrofobní polymerní vosk pro automobilový průmysl, určený pro ochranu povrchu karoserie, poskytuje neúnavné vytváření vodních kapek a ochranu před oxidací, korozí a degradací povrchu. . Dále v práci bude pojmenován jako vosk 3.

Tabulka č. 4: Složení vosku Meguriar's NXT Generation Polymer Paint Sealant

Surovina	Funkce
Ropné destiláty HFP	Plnivo
Kalcinovaný kaolín	Viskozitní složka
Destiláty, ropné, lehké, hydrogenované	Mazivo
Polydimethylsiloxan	Vylepšovač lesku

10.1 Kompozity

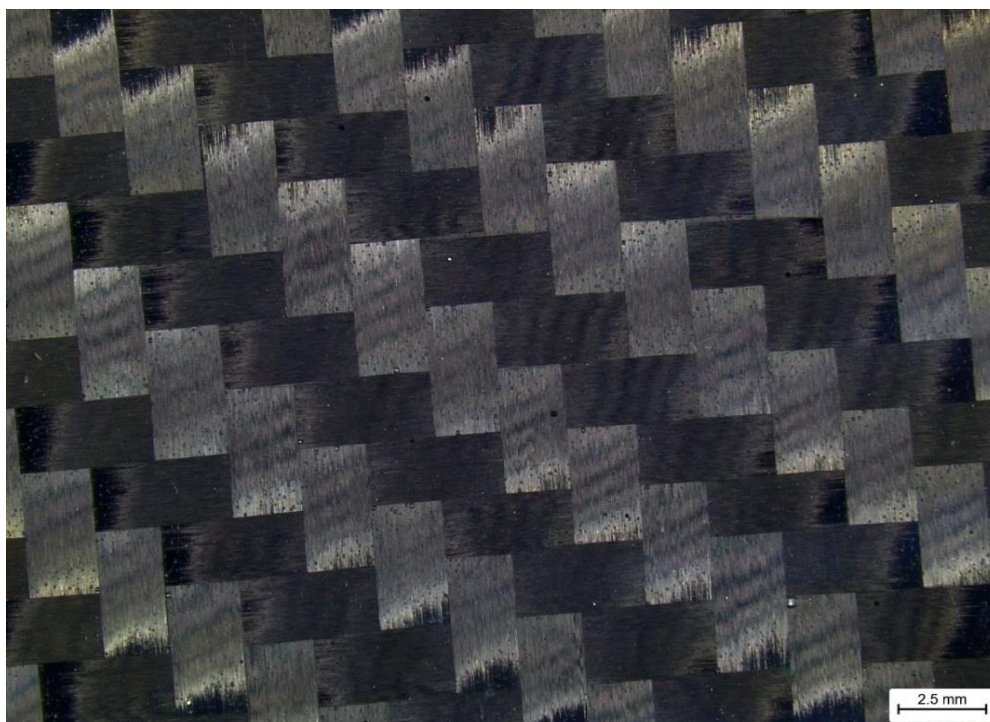
Pro zkoumání byl zvolen kompozitní materiál na bázi uhlíkových vláken, který byl ručně vyroben libereckou firmou Modeland. Kompozity byly připravené ve tvaru koleček s lakovou úpravou lící strany, nebo bez ní.



Obrázek č. 1: Kompozit na bázi uhlíkových vláken s lakovou úpravou a bez úpravy

Uhlíková vlákna, využitá v kompozitu, jsou ve tvaru tkaniny v keprové vazbě 2/2 (Obr. 2). Celkově bylo připraveno 7 vzorků kompozitu, 4 z nich obsahují povrchovou úpravu lakem. Každá destička dostala vlastní číslo a poznámku na opačnou stranu pro rozlišení lakovaných (L1, L2, L3, L4) a nelakovaných (Bez 1, Bez 2 a Bez 3) vzorků.

V kompozitech lze rovněž využívat jiné typy vazeb, které ovlivňují vnější vzhled a charakteristiky celého kompozitu. V předložené práci byla zvolena uhlíková tkanina v keprové vazbě kvůli tomu, že tato vazba je nejvíc populární a nejvíc používána v automobilovém průmyslu.



Obrázek č. 2: Uhlíková tkanina v keprové vazbě 2/2

11 Hmotnost vzorku

Z technologických důvodů se hmotnosti všech vzorků, resp. destiček kompozitů, od sebe lišily. Nestejnoměrné uspořádání pryskyřice během výroby ve vakuové komoře a (ručně) nerovnoměrně nanesený lak na povrchu způsobil hmotnostní rozdíl vzorku při stejných rozměrových parametrech. Proto bylo prováděno měření hmotností jednotlivých vzorků za pomoci vysoce přesných vah. U každého vzorku byla provedena 3 měření každého vzorku, výsledky lze sledovat v následující tabulce. Měření hmotností probíhalo v laboratoři Katedry hodnocení textilií za následujících podmínek okolí:

Teplota ovzduší při měření: 19.8 °C

Vlhkost při měření: 25 %

Další měření bylo prováděno ve stejné laboratoři za následujících podmínek:

Teplota ovzduší při měření: 22.2 °C

Vlhkost při měření: 31 %

Třetí měření bylo prováděno za následujících podmínek:

Teplota ovzduší při měření: 25.6 °C

Vlhkost při měření: 27 %

V tabulce č. 4 lze vidět, hmotnostní rozdíl všech vzorku jak lakovaných tak bez lakové úpravy povrchu. Data ukazují na to, že při stejných technologických a praktických podmínkách výroby, hmotnost vzorku se může lišit.

Tabulka č. 5: Hmotnosti kompozitů

Vzorek	1 měření	2 měření	3 měření	Průměr
Destička s lakovou úpravou č.1	5,0758 g	5,0760 g	5,0762 g	5,076 g
Destička s lakovou úpravou č.2	4,8204 g	4,8206 g	4,8208 g	4,8206 g
Destička s lakovou úpravou č.3	4,9289 g	4,9291 g	4,9292 g	4,9291 g
Destička bez lakové úpravy č.1	4,5497 g	4,5499 g	4,5498 g	4,5498 g
Destička bez lakové úpravy č.2	4,6066 g	4,6067 g	4,6067 g	4,6067 g
Destička bez lakové úpravy č.3	4,3866 g	4,3865 g	4,3867 g	4,3866 g

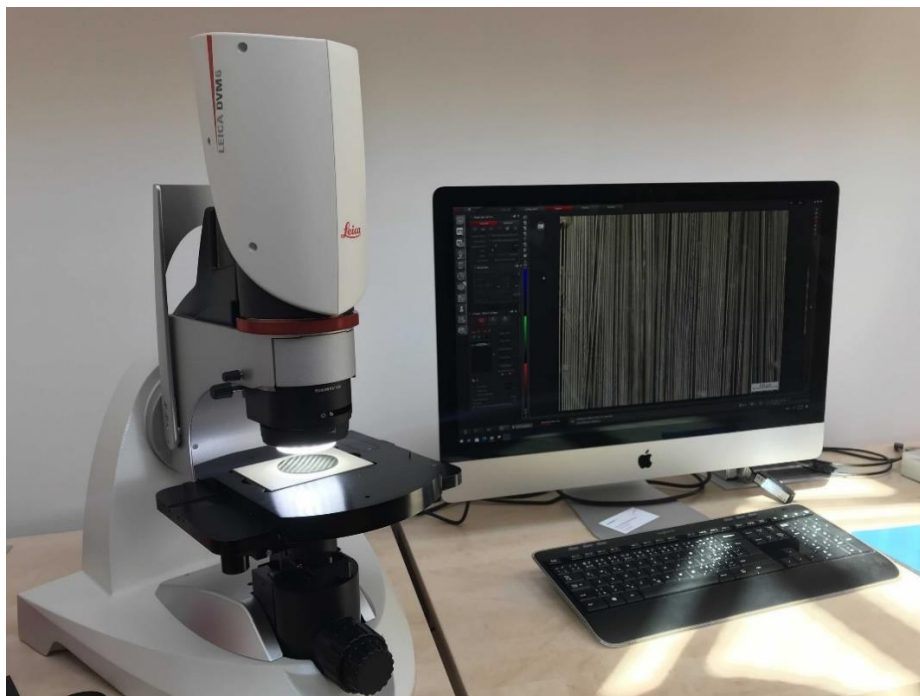
12 Snímky povrchu kompozitu

Během celého experimentu byl nutné sledovat stav vláken přímo ve struktuře každého kompozitu, proto byl využit přístroj LEICA DVM 6, který je určen pro zkoumání povrchu kovových a nekovových materiálů, vytvoření snímků a jejich vyhodnocení. DVM 6 je digitální mikroskop s pohybovou horní částí a 10megapixelovou kamerou, která umožňuje analyzování povrchu jak v 2D, tak i 3D prostoru pod různými úhly. Přístroj poskytuje velkou pracovní plochu a vzdálenost, čímž umožňuje zkoumání relativně velkých vzorků při velmi velkém zvětšení bez speciální přípravy.

12.1 Princip vytvoření snímku

Před zahájením měření je potřeba zkontrolovat, zda je objektiv správně zasunutý a zajištěný. Pomocí softwaru LAS X lze ovládat koaxiální osvětlení, které osvětluje vzorek přímo shora, proto je před záznamem (pořízením snímku) potřeba nastavení správné intenzity jasu, aby povrch zkoumaného vzorku byl co nejlépe vidět.

Software Leica Application Suite X (LAS X) umožňuje ovládat Leica DVM 6, změnit nastavení a zaznamenat snímky nebo videa. V pracovním prostoru softwaru lze pomocí jednotlivých tlačítek zapnout nahrávání pro zaznamenání videa nebo snímky obrazu.



Obrázek č. 3: Přístroj Leica DVM 6

Základním obsahem stroje pro vytvoření snímku jsou:

1. modul zvětšení,
2. naklápěcí stojan s vahadlem,
3. objektiv CAPO FOV 12,55,
4. posuvný stolek XY,
5. počítač se systémem Windows a softwarem LAS X.

12.2 Vyhodnocení

Výsledkem zkoumání jsou snímky povrchu vzorku, kde lze vidět, jak jsou uspořádána vlákna ve struktuře jednotlivých kompozitů. Pro vytvoření snímku má přístroj několik formátů zobrazení, které lze vybrat podle potřeby:

2 megapixels: $1,600 \times 1,200$ pixels,

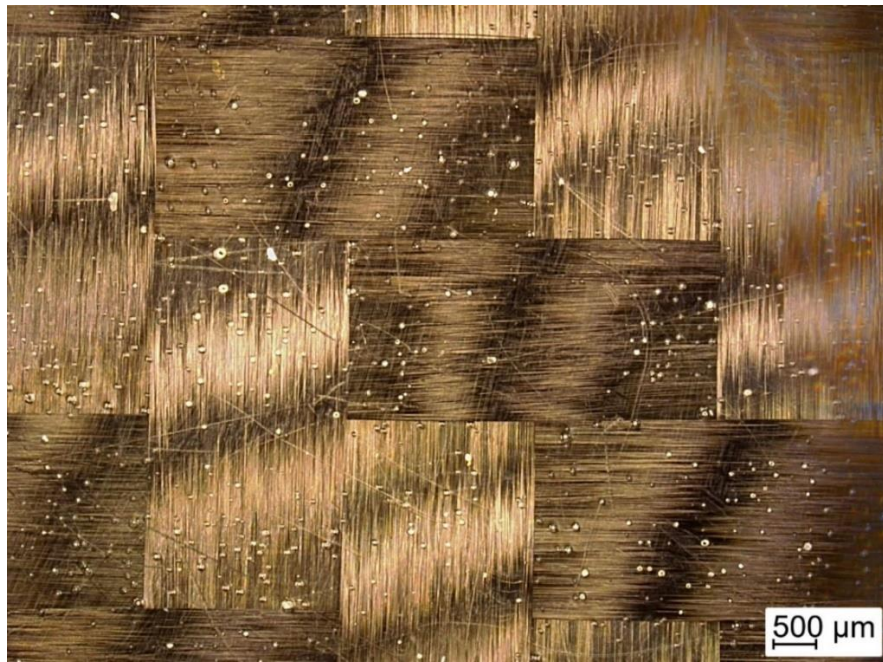
5 megapixels: $2,592 \times 1,944$ pixels,

10 megapixels: $3,664 \times 2,748$ pixels.

Na obrázcích č. 4 a č. 5 je zobrazen povrch lakovaného a nelakovaného kompozitu. Také lze sledovat uspořádání vláken ve vazbě uhlíkových vláken. Keprová vazba přidává nové vlastnosti kompozitu v celku a tvoří pěkný vzhled konečného výrobku.



Obrázek č. 4: Uhlíková vlákna ve struktuře kompozitu s lakovou úpravou



Obrázek č. 5: Uhlíková vlákna ve struktuře kompozitu bez lakové úpravy

13 Měření vzorku na přístroji Sensofar Neox S



Obrázek č. 6: Přístroj Sensofar Neox S

Pomocí tohoto přístroje byla prováděna měření v několika fázích – před aplikací vosku a po ní. Tento přístroj umožňuje provádět strukturní analýzu povrchu kovových a nekovových materiálů a pozorovat jejich drsnost. Stroj se nachází na speciálním antivibračním přístroji, který snižuje veškeré vibrace, aby stroj mohl provádět přesné měření. Po zapnutí strojů je potřeba provést kalibrace čoček a světla pomocí softwaru na počítači pro správnost výsledku dalších měření. Na pracovní stůl přístroje se položí zkoumaný vzorek tak, aby ležel přímo pod čočkou. Přístroj má několik čoček v otočné hlavičce, která umožňuje jednoduchý přechod do různých čoček a provádět měření se zvětšením od 10x až do 150x. Pro lepší přehled zvolené čočky má každá z nich barevnou čáru na tělese s popisem možného zvětšení. Před zahájením měření je důležité, aby zvolená čočka odpovídala zvolnému zvětšení v softwaru. Pomocí ovladače lze posouvat pracovní stůl tak, že lze udělat několik měření bez fyzického posunu zkoušeného vzorku.

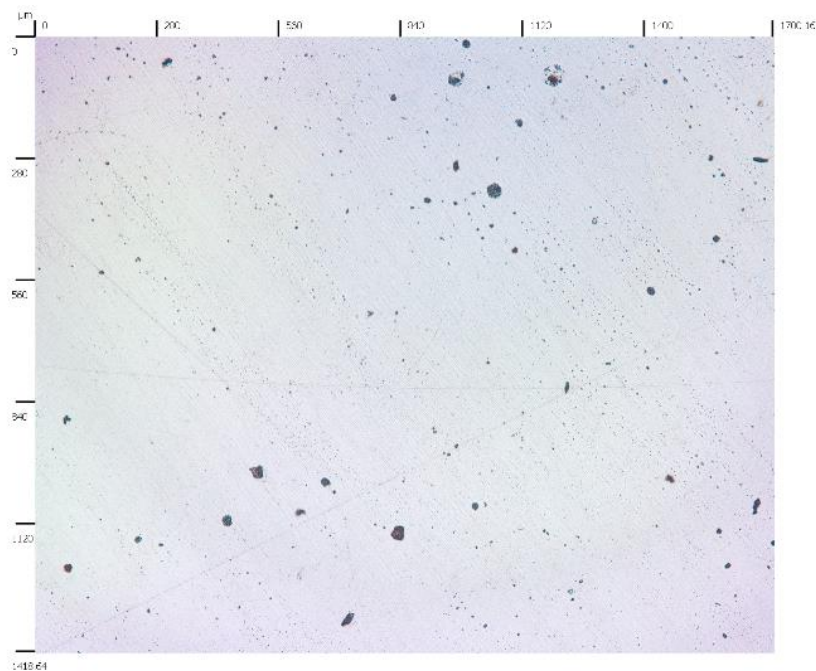
Po zvolení úseku měření na povrchu vzorku se zvolí čočka s 10násobným zvětšením na hlavičce a v softwaru se spustí analýza povrchu, při které stroj provádí automatické měření drsnosti povrchu. Po několika vteřinách se na obrazovce ukáže výsledek měření, který lze následně uložit do datového souboru, ve kterém budou uloženy obrázky a naměřené hodnoty podle normy ISO 25178, jako jsou šikmost rozdělení výšek, špičatost, největší výška výstupu a největší hloubka prohlubně. Naměřená data jsou v následujících tabulkách:

Tabulka č. 6: Parametry povrchu vzorku s lakem

Parametry	Vzorky		
	Lak 1	Lak 2	Lak 3
Průměrná aritmetická výška	0.2520 μm	0.0470 μm	1.0759 μm
Šikmost rozdělení výšek	3.1270	3.0696	3.0987
Největší výška výstupku	0.9191 μm	0.1911 μm	4.5570 μm
Špičatost	0.3225 μm	0.0601 μm	1.3463 μm
Největší hloubka prohlubně	0.8315 μm	0.1671 μm	3.5472 μm
Největší výška	1.7506 μm	0.3582 μm	8.1042 μm

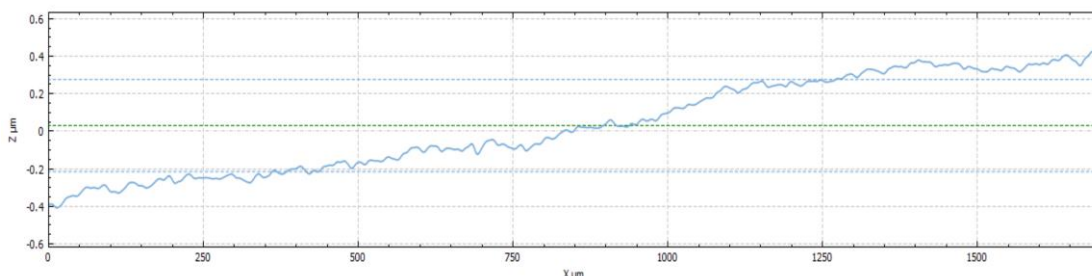
Dle tabulky č. 5 lze vidět rozdíl v drsnosti povrchu vzorku s lakovou úpravou povrchu. Vzorek Lak 1 má nejmenší průměrnou aritmetickou výšku, což ukazuje na menší průměr drsnosti, naopak vzorek Lak 3 má průměr největší.

Pomocí softwaru lze získat snímky povrchu vzorku pro další ohodnocení a představu skutečného vzhledu povrchu, představeného na obrázku č. 2:



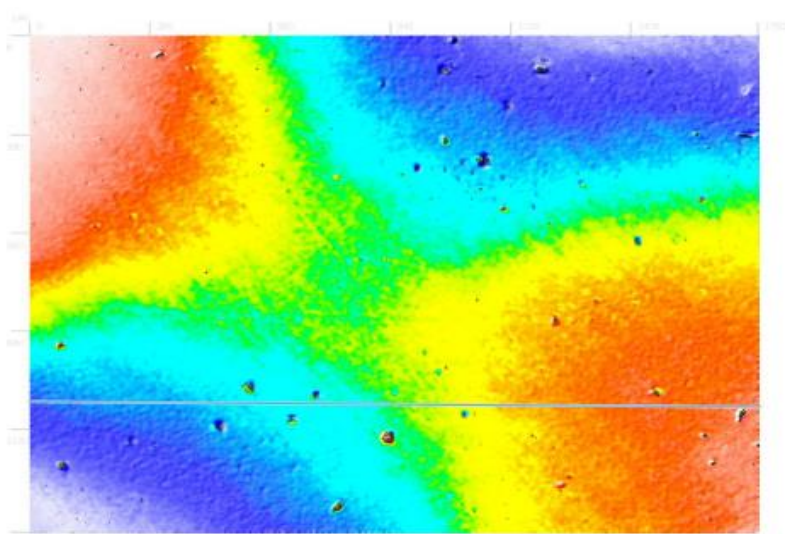
Obrázek č. 7: Povrch lakovaného kompozitu

Na daném obrázku je zobrazen povrch vzorku s lakovou úpravou. Na povrchu lze pozorovat černé tečky, které jsou nežádoucím prachem nebo nečistotami, které se dostaly do povrchu buď během výroby kompozitu ve vakuové komoře, nebo během procesu lakování.



Obrázek č. 8: Povrch lakovaného vzorku

Daná křivka ukazuje drsnost povrchu v určitých místech, od nejhlubší do nejvyšší části povrchu. Pro detailnější náhled drsnosti povrchu bylo použito barevné spektrum, díky kterému lze přesněji pozorovat nerovnosti vyskytující se na povrchu kompozitu.



Obrázek č. 9: Barevné spektrum lakovaného kompozitu

Barevné části představují rozdíl ve výšce povrchu kompozitu. Modré části ukazují na prohloubení povrchu, červené naopak ukazují na zvýšení povrchu.

Stejným způsobem bylo měřeno barevné spektrum vzorků bez lakové úpravy povrchu. Naměřená data jsou představena v tabulce č. 6:

Tabulka č. 7: Parametry povrchu vzorku bez laku

Parametry	Vzorky		
	Bez laku 1	Bez laku 2	Bez laku 3
Průměrná aritmetická výška	0.2970 μm	0.2155 μm	1.4760 μm
Šikmost rozdělení výšek	2.7148	5.211	2.2051
Největší výška výstupku	0.8573 μm	1.1010 μm	7.4776 μm
Špičatost	0.3677 μm	0.2986 μm	1.7427 μm
Největší hloubka prohlubně	1.1013 μm	1.0682 μm	16.018 μm
Největší výška	1.9586 μm	2.1692 μm	23.496 μm

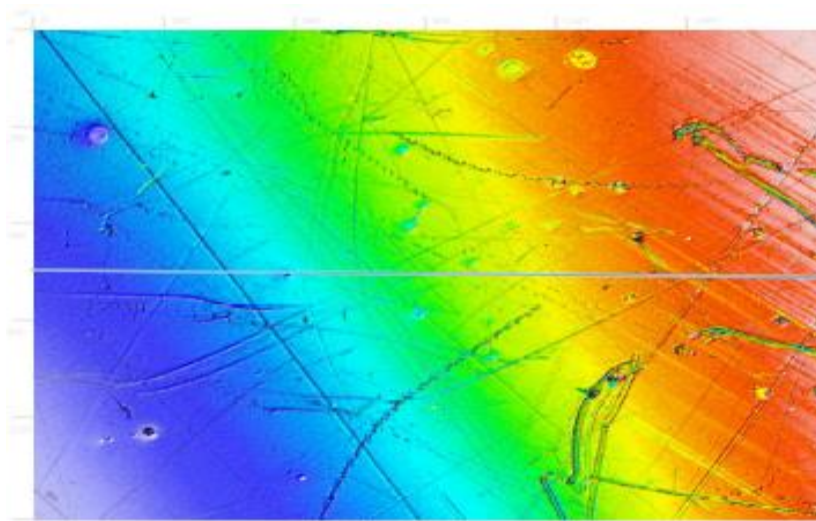
V tabulkách č. 5 a č. 6 lze sledovat rozdíl parametru drsnosti všech zkoumaných vzorků. Data ukazují, že struktura povrchu každého zkoumaného kolečka je odlišná, přesto že byla vyrobena stejným způsobem i stejnou technologií. Drsnost povrchu u vzorku s lakovou úpravou je vyvolána nesteromerným množstvím laku na povrchu a ruční nanášením a rozmístěním po povrchu kompozitu.



Obrázek č. 10: Povrch nelakovaného kompozitu

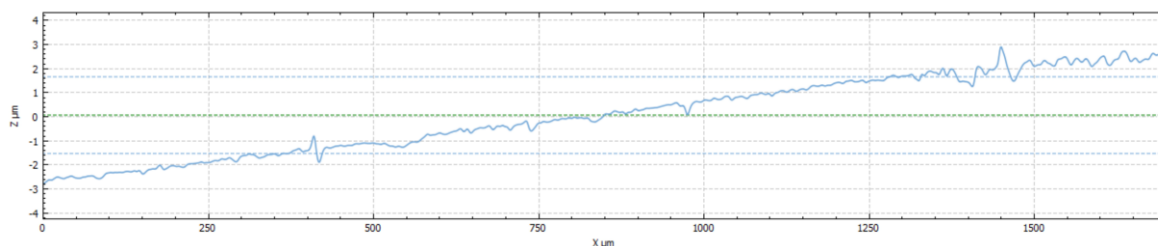
Jak bylo uvedeno dříve, povrch nelakovaných kompozitů je mnohem drsnější než povrch kompozitu s lakovou úpravou. Povrchová drsnost u vzorku bez lakové úpravy lící strany je

vyšší především z důvodu zpracování povrchu pouze broušením pro odstranění zbytku pryskyřice.



Obrázek č. 11: Barevný spektrum nelakovaného kompozitu

Na obrázku č. 12 lze sledovat křivku popisující nestejnornost povrchu nelakovaných kompozitů. Stejně jako u lakovaných kompozitů můžeme díky křivce sledovat nestejnornost povrchu.



Obrázek č. 12: Drsnost povrchu nelakovaných kompozitů

14 Aplikace vosku

Aplikace vosku probíhala ručně, v případě vosku firmy Meguriar's bylo na povrch kompozitu nanášeno malé množství vosku (není stanoven určitý objem potřebného vosku pro nanášení, proto se nanáší subjektivně) a prstem rovnoměrně rozmazáno po povrchu. Pro lepší účinek a zachování vlastností je potřeba nechat vosk působit kolem 15–20 minut po aplikaci.

Nanášení vosku firmy Turtle Wax je jednodušší, především díky unikátnímu složení a tomu, že přípravek je ve formě spreje. Vosk navíc nepotřebuje čas na působení a vytvoření ochranné vrstvy, a proto po nastříkání na povrch lze hned odstranit zbytky vosku ručníkem. Pro vzorky s číslem 1 byl zvolen vosk Meguriar's Gold Class™ Carnauba Plus, pro vzorky s číslem 2 - Turtle Wax Quick & Easy™ Wax it Wet a pro vzorky s číslem 3 Meguriar's NXT Generation.

Po aplikaci byla změřena hmotnost vzorku pro porovnání hmotnostního rozdílu před aplikací vosku a po ní. Byla prováděna 3 měření, aby bylo možné stanovit hmotnostní rozdíl jednotlivých vzorků.

Tabulka č. 8: Hmotnost kompozitu po aplikaci vosku

Vzorek	1 měření	2 měření	3 měření	Průměr
Destička s lakovou úpravou č.1	5.2534 g	5.2463 g	5.2416 g	5,271 g
Destička s lakovou úpravou č.2	4.8207 g	4.8208 g	4.8208 g	4,8208 g
Destička s lakovou úpravou č.3	5.0263 g	5.0198 g	5.0142 g	5,0201 g
Destička bez lakové úpravy č.1	4.7305 g	4.7220 g	4.7158 g	4,7228 g
Destička bez lakové úpravy č.2	4.6068 g	4.6067 g	4.6068 g	4,6067 g
Destička bez lakové úpravy č.3	4.6341 g	4.6252 g	4.6160 g	4,6251 g

Po uplynutí času byly zbytky vosku utřeny pomocí vlastního bavlněného nebo výrobcem doloženého ručníku. Na povrchu se vytvořila neviditelná vrstva vosku, která chrání povrch proti povětrnostním vlivům.

U destičky s lakovou úpravou č. 2 a bez lakové úpravy č. 2 byl využit vosk Turtle Wax, který má jiný způsob nanesení, proto byl při aplikaci povrch hned utřen a nedocházelo tak ke zvětšení hmotnosti.

Tabulka č. 9: Hmotnost kompozitu po aplikaci vosku

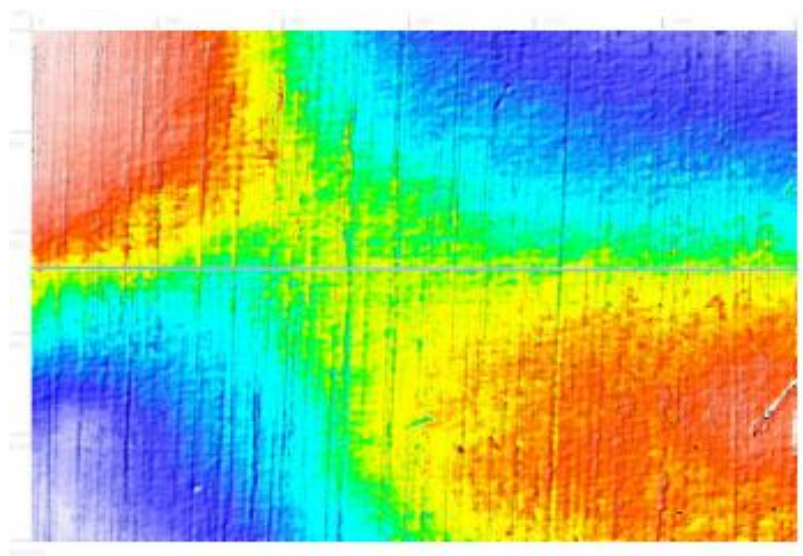
Vzorek	1 měření	2 měření	3 měření	Průměr
Destička s lakovou úpravou č.1	5,0769 g	5,0771 g	5,0772 g	5,0767 g
Destička s lakovou úpravou č.2	4,8207 g	4,8207 g	4,8207 g	4,8207 g
Destička s lakovou úpravou č.3	4,9299 g	4,9296 g	4,9297 g	4,9297 g
Destička bez lakové úpravy č.1	4,5508 g	4,5508 g	4,5504 g	4,5507 g
Destička bez lakové úpravy č.2	4,6066 g	4,6067 g	4,6064 g	4,6066 g
Destička bez lakové úpravy č.3	4,3877 g	4,3879 g	4,3876 g	4,3877 g

Na základě porovnávání hmotností před aplikací vosku a po ní je možné konstatovat, že dochází k přírůstku hmotnosti destiček. V případě lakovaných vzorků, u destiček 1 a 3, došlo k velmi malému růstu hmotnosti, a to kolem 0,1–0,2 %. U lakované destičky č. 2 nedošlo ke zvýšení hmotnosti.

V případě nelakovaných destiček při využití stejného vosku a technologií nanášení činil přírůstek hmotnosti u destiček 1 a 3 0,02–0,025 %. Stejně jako u lakovaného vzorku u nelakované destičky č. 2 nedošlo k příbytku hmotnosti.

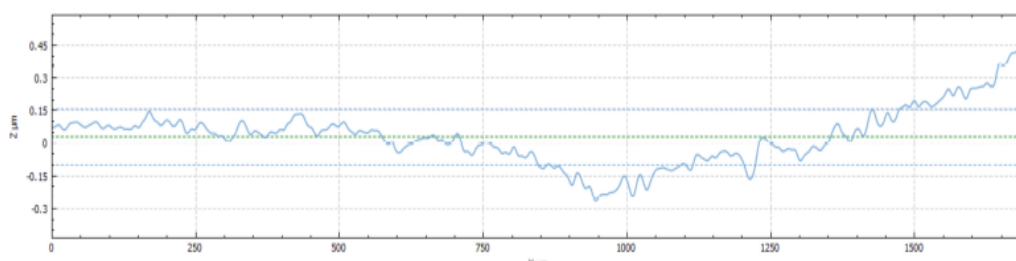
15 Analýza drsností povrchu z voskovou vrstvou

Po aplikaci vosku a vytvoření voskové vrstvy autor provedl další analýzu drsností povrchu pomocí přístroje Sensofar Neox S. Postup byl stejný jako u předcházejícího měření a se stejně zvolenou čočkou s 10násobným zvětšením.



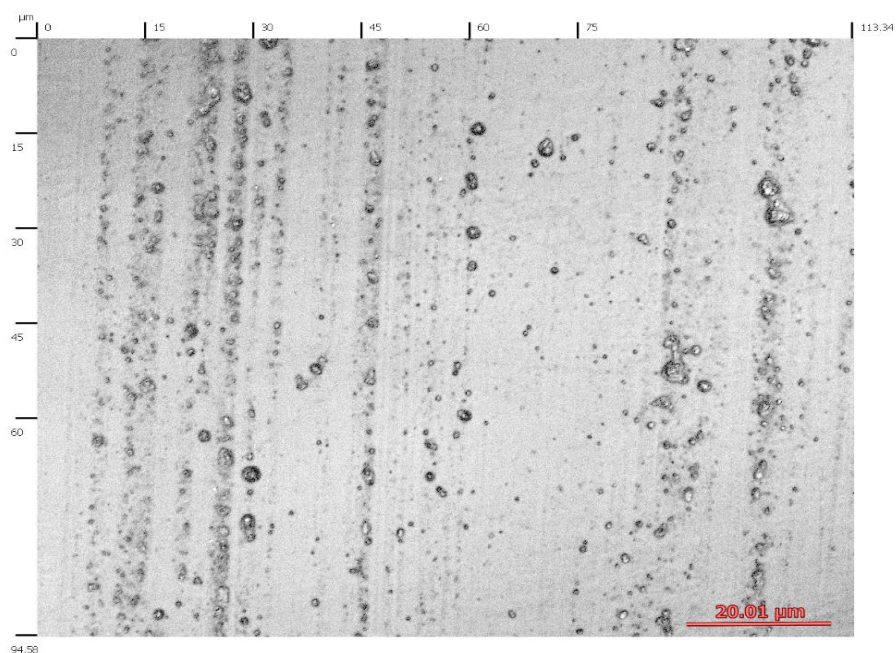
Obrázek č. 13: Barevné spektrum destičky s lakovou úpravou a voskovou vrstvou

Na obrázku č. 14 lze sledovat, že vosk skutečně má vliv na drsnost a neregulárnost povrchu takovým způsobem, že zvětšuje její špičatost.



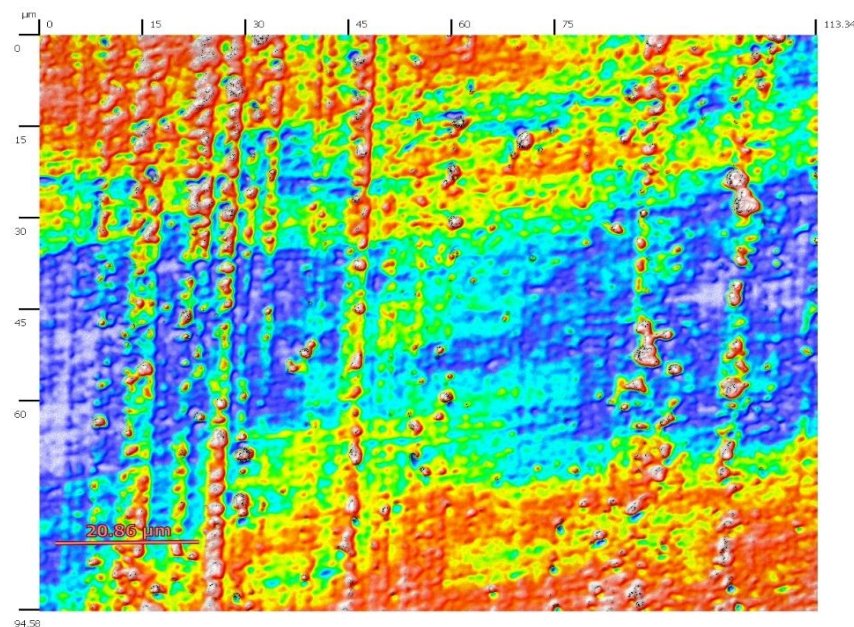
Obrázek č. 14: Křivka povrchu lakovaného kompozitu s voskovou vrstvou

Pro lepší vzhled skutečné existence vosku na povrchu kompozitu byla zvolena čočka se 150násobným zvětšením, která umožňuje hlubší přehled povrchu. Na obrázku č. 15 ukázán výsledek využití čočky ze 150 krát. zvětšení.



Obrázek č. 15: Destička s lakovou úpravou a voskovou vrstvou, zvětšení 150x

Na obrázku lze vidět vosk, který se vyskytuje na povrchu ve tvaru kapek a tvoří svislé čáry podél povrchu. Pro lepší představení působení vosku na drsnost povrchu autor použil barevné spektrum při pozorování povrchu. Na obrázku č. 16 lze vidět, jak vosk vypadá na povrchu kompozitu a jaký vliv činí na nestejnornost povrchu kompozitu.



Obrázek č. 16: Barevné spektrum destičky s lakovou úpravou a voskovou vrstvou, zvětšení 150x

Další naměřená data byla uspořádaná do následujících tabulek pro lepší přehlednost a možnost srovnání parametrů.

Tabulka č. 10: Parametry povrchu lakovaných vzorků s voskem

Vzorky	Lak 1	Lak 2	Lak 3
Parametry			
Průměrná aritmetická výška	0.3060 μm	0.2629 μm	0.2448 μm
Šikmost rozdělení výšek	3.0250	3.0478	3.2015
Největší výška výstupku	1.1203 μm	0.9534 μm	0.7713 μm
Špičatost	0.3891 μm	0.3389 μm	0.3136 μm
Největší hloubka prohlubně	0.9482 μm	0.8065 μm	0.9251 μm
Největší výška	2.0684 μm	1.7599 μm	1.6964 μm

U lakovaných vzorků po aplikaci vosku při srovnání s výchozím stavem povrchu kompozitu, dochází k nárůstu hodnoty některých parametru. U lakovaného vzorku č. 1 byl na povrch nanášen vosk Meguriar's Gold Class™, dochází k růstu průměrné aritmetické výšky o 21,4 %, což svědčí o tom, že nanášený vosk zvětšuje drsnost povrchu. Při srovnání parametrů špičatosti můžeme sledovat pokles o 3.26 %.

Na povrch vzorku č. 2 byl nanesen vosk Turle Wax, účinnost kterého je taková, že dochází ke zvětšení průměrné drsnosti povrchu o 59.3 %. Špičatost povrchu klesla o 0,71 %, což není tak moc významnou změnou.

Po analýze vzorku č. 3, na povrch kterého byl nanesen vosk Meguriar's NXT Generation, lze sledovat, že průměrná drsnost klesla o 77,2 % a špičatost povrchu vzrostla o 3,3 %.

Zjištěné hodnoty ukazují na to, že pro lakovaný povrch je nejúčinnějším voskem Meguriar's NXT Generation.

Tabulka č. 11: Parametry povrchu nelakovaných vzorků s voskem

Parametry	Vzorky		
	Bez laku 1	Bez laku 2	Bez laku 3
Průměrná aritmetická výška	0.3524 μm	0.2412 μm	0.3769 μm
Šikmost rozdělení výšek	2.7459	4.5703	2.7076
Největší výška výstupku	0.9960 μm	0.6886 μm	1.2049 μm
Špičatost	0.4435 μm	0.3130 μm	0.4726 μm
Největší hloubka prohlubně	1.2148 μm	1.2837 μm	1.1103 μm
Největší výška	2.2108 μm	1.9724 μm	2.3153 μm

V případě nelakovaných destiček byly využity vosky ve stejném pořadí – u vzorku č. 1 Meguriar's Gold Class™, u vzorku č. 2 vosk Turle Wax a u vzorku č. 3 Meguriar's NXT Generation. Při srovnávání naměřených hodnot před aplikací vosku a po ní lze sledovat některé změny ve struktuře povrchu. Analýza vzorku Bez laku 1 ukazuje, že hodnota průměrné aritmetické výšky vzrostla o 18.65 %, což vypovídá o zvětšení drsnosti povrchu. Taký dochází k růstu parametru špičatosti o 1,15 %. U vzorku Bez laku 2, který rovněž nemá lakovou úpravu povrchu a narůst průměrné aritmetické výšky činí 11,93 %. Srovnání špičatostí ukazuje, že po voskování dochází k poklesu hodnoty o 12.29 %. Srovnáním hodnot vzorku Bez Laku 3 lze sledovat další změnu, hodnota průměrné aritmetické výšky totiž klesla o 74.46 % a špičatost vyrostla o 22.7 %.

Stejně jako v případě lakovaných vzorků naměřené hodnoty ukazují, že nejúčinnějším voskem je Meguriar's NXT Generation.

16 Simulace slunečního záření

Velká část kompozitů na bázi uhlíkových vláken se v automobilovém průmyslu využívá k výrobě částí karoserie a ozdobení vnějšího vzhledu auta. Bez ochrany povrchu jsou součásti karoserie ovlivněny slunečním zářením, respektive ultrafialovým zářením, které při delším působení na díl mohou mít vliv na povrch a vnější vzhled jednotlivých součástí auta.

Pro srovnání ochranných účinků vosku na kompozity, za běžného slunečního svícení, zkoušení působení UV záření by muselo probíhat několik měsíců, proto byl pro zrychlení experimentu použit přístroj Atlas UVCON, kterým disponuje Katedra oděvnictví Fakulty textilní.

16.1 Zkušební zařízení

Laboratorní přístroj Atlas UVCON, který je určen pro zkoušení materiálu střídáním expozici ultrafialového záření a kondenzaci. Tento přístroj slouží jako doplněk k řadě přístrojů firmy Atlas, kterými univerzita bohužel nedisponuje. Princip fungování spočívá v působení UV záření na materiál větší intenzitou, a za krátký časový úsek je schopen dosáhnout výsledků, kterých za reálných podmínek intenzity ultrafialového záření byla potřeba sledovat několik měsíců.[20]

Tabulka č. 12: Doba působení simulace [19]

Doba v UVCON (dny)	1	2	6	10
Doba reálného času (měsíc)	0,75	1,33	4	6,77

Podle tabulky lze vidět, že několik dnů simulace záření jsou ekvivalentem několika měsíců reálného času. V případě daného experimentu se vzorky nacházely v komoře přístroje pod UV zářením 7 dnů, což je doba srovnatelná více než 4 měsíci při normální intenzitě UV záření.



Obrázek č. 17: Zkušební přístroj Atlas UVCON

Hlavní parametry přístroje:

- lze zapojit do osmi 40wattových fluorescenčních zářivek,
- rozsah zkušebních teplot od 50 °C do 95 °C,
- rozsah vlnových délek pod 350 nm,
- možnost nastavení několika po sobě jdoucích cyklu.[20]

Během tohoto experimentu byli nastavené takové parametry:

- počet zářivek – 8 fluorescenčních zářivek,
- rozsah vlnových délek U_{va} - pod 340 nm,
- teplota – 60 °C,
- čas – 7 dni.

16.2 Hmotnost vzorku po simulace UV

Po prováděné simulaci UV záření všechny vzorky byly vyměřeny vysoce přesnými váhami pro zjištění existence poklesu hmotnosti. Naměřená data jsou uspořádána do následující tabulky:

Tabulka č. 13: Hmotnost kompozitu po simulaci

Vzorek	1 měření	2 měření	3 měření	Průměr
Destička s lakovou úpravou č.1	5,0663 g	5,0663 g	5,0664 g	5,0663 g
Destička s lakovou úpravou č.2	4,8125 g	4,8127 g	4,8127 g	4,8126 g
Destička s lakovou úpravou č.3	4,9203 g	4,9203 g	4,9199 g	4,9202 g
Destička bez lakové úpravy č.1	4,5424 g	4,5422 g	4,5423 g	4,5423 g
Destička bez lakové úpravy č.2	4,5991 g	4,5989 g	4,5986 g	4,5988 g
Destička bez lakové úpravy č.3	4,3801 g	4,3799 g	4,3801 g	4,3800 g

Po srovnávání hmotností destiček před experimentem a po simulaci UV, můžeme sledovat pokles hmotnosti u všech zkoumaných vzorků. V případě kompozitu s lakovou úpravou byl naměřen následující pokles hmotnosti:

- destička č. 1 – pokles o 0.187 %,
- destička č. 2 – pokles o 0.166 %,
- destička č. 3 – pokles o 0.178%.

Na základě naměřených hodnot můžeme konstatovat, že u lakovaných kompozitů pokles hmotnosti byl skoro stejný, pohyboval se od 0,166 % do 0,187 %. Nejmenší hmotnostní rozdíl má destička, na povrchu které byl nanášen vosk Turtle Wax Quick & Easy™ Wax it Wet.

U nelakovaných kompozitů byl naměřen následující pokles hodnot hmotnosti:

- nelakovaná destička č. 1 – pokles o 0.163 %,
- nelakovaná destička č. 2 – pokles o 0.169 %,
- nelakovaná destička č. 3 – pokles o 0.149 %.

Podle výsledných hodnot u nelakovaných vzorků dochází k poklesu hmotnosti od 0,149 % do 0.17 % ze základní hmotnosti kompozitu. V tomto případě, z pohledu hmotnosti, je nejúčinnějším voskem Meguriar's NXT Generation Polymer Paint Sealant.

Naměřené hodnoty ukazují, že při dlouhodobém působení UV záření na povrch kompozitu má negativní účinky na celkovou hmotnost uhlíkového kompozitu, při dalším ozařování může docházet k většímu poklesu hmotnosti a ztrátě základních vlastností kompozitů.

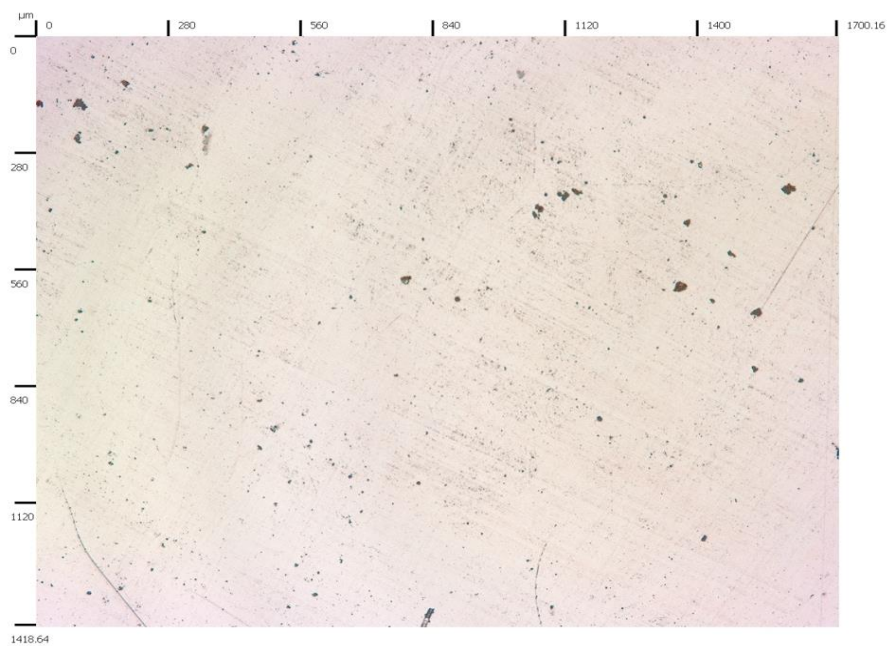
17 Strukturní analýza povrchu po působení UV

Sluneční záření a UV vlny můžou negativně působit rovněž na strukturu povrchu, proto byl znovu využit přístroj Sensofar Neox S pro analýzu povrchu a srovnání účinku UV záření. Postup měření byl stejný, jak bylo uvedeno dříve.

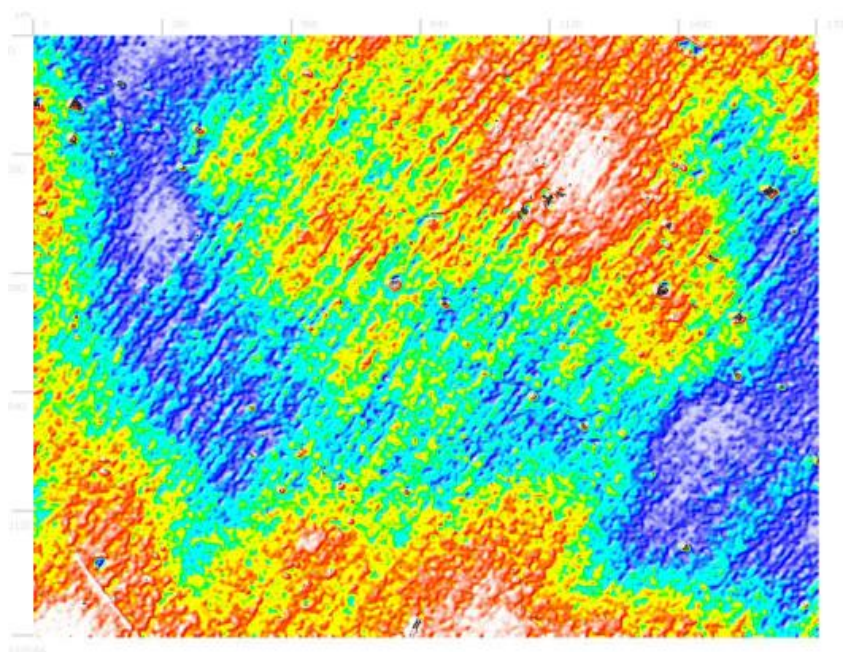
Tabulka č. 14: Parametry povrchu lak. vzorku po simulaci

Parametry	Vzorky		
	Lak 1	Lak 2	Lak 3
Průměrná aritmetická výška	0.0607 μm	0.0688 μm	0.0903 μm
Šikmost rozdělení výšek	2.756	2.9128	3.196
Největší výška výstupku	0.2222 μm	0.2616 μm	0.3505 μm
Špičatost	0.0753 μm	0.0861 μm	0.1153 μm
Největší hloubka prohlubně	0.1677 μm	0.1814 μm	0.2890 μm
Největší výška	0.3900 μm	0.4431 μm	0.6396 μm

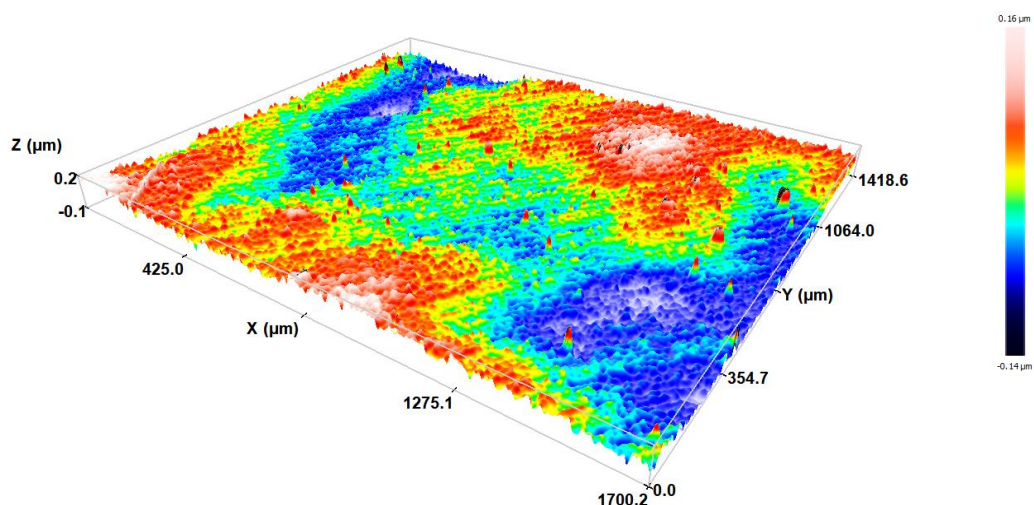
Při srovnání s původními hodnotami lze konstatovat, že UV ozáření má negativní vliv na povrch, data z tabulky č. 13 ukazují na pokles většiny hodnot parametru jednotlivých kompozitů s lakovou úpravou povrchu. Průměrná drsnost povrchu destičky č. 1 klesá o 75,9 % a špičatost o 11,86 %. U destičky č. 2 se průměrná drsnost povrchu zvýšila o 46,38 % a špičatost klesla o 5,11 %. V případě destičky č. 3 průměrná drsnost klesla o 91,61 % a špičatost vzrostla o 3,14 %.



Obrázek č. 18: Povrch lakovaného kompozitu po simulace



Obrázek č. 19: Povrch lakovaného kompozitu v barevném spektru



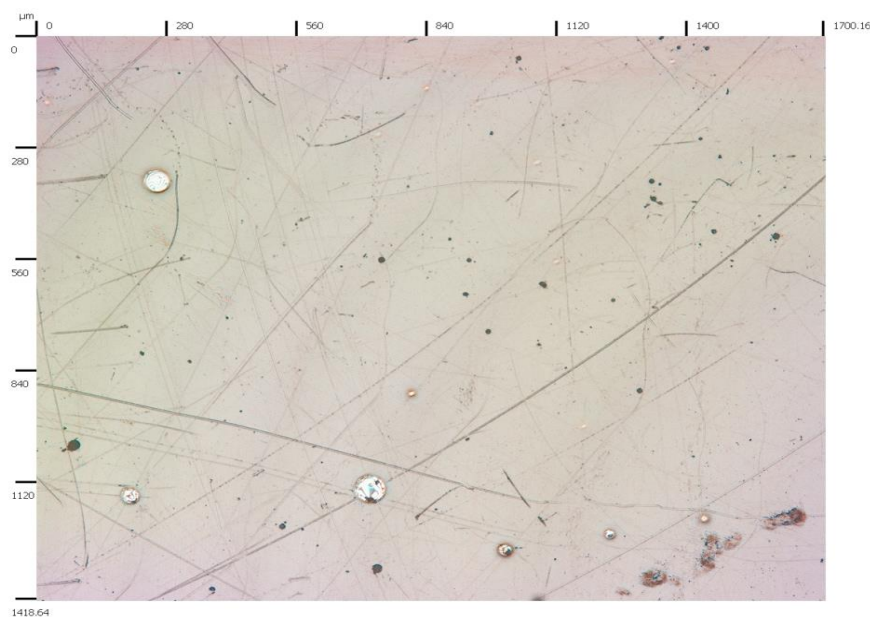
Obrázek č. 20: Povrch lakovaného kompozitu v barevném spektru 3D

Na obrázcích č. 18 a č. 19 je zobrazen povrch lakovaných kompozitů po simulaci vytvořené pomocí přístroje Sensofar Neox S. Pro lepší představení nesteroměrnosti povrchu bylo použito barevné spektrum, které je zobrazeno na obrázcích č. 19 a č. 20.

Tabulka č. 15: Parametry povrchu nelak. vzorku po simulace

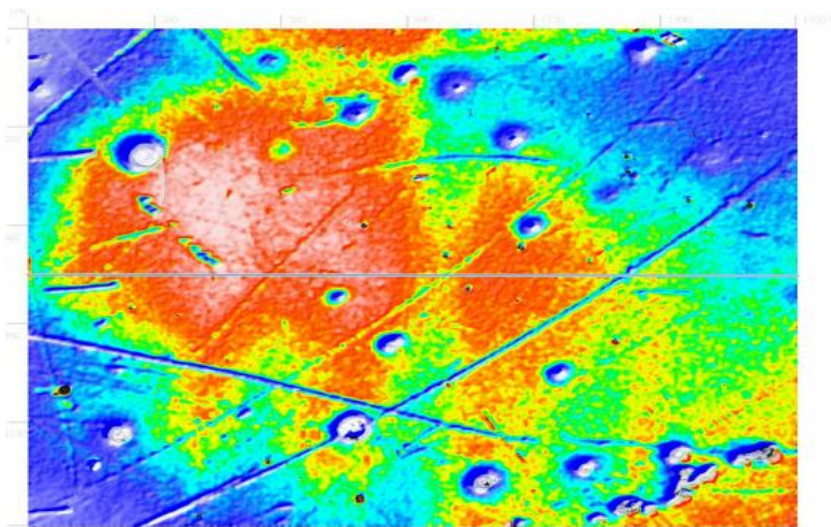
Parametry	Vzorky		
	Bez laku 1	Bez laku 2	Bez laku 3
Průměrná aritmetická výška	0.1463 μm	0.147 μm	0.1418 μm
Šikmost rozdělení výšek	8.5803	9.0392	3.6579
Největší výška výstupku	0.5286 μm	0.4204 μm	0.3361 μm
Špičatost	0.1974 μm	0.1979 μm	0.2336 μm
Největší hloubka prohlubně	1.1522 μm	1.0355 μm	1.7523 μm
Největší výška	1,6808 μm	1.4559 μm	2.0883 μm

V tabulce č. 14 jsou představené naměřené hodnoty vzorku bez lakové úpravy povrchu. Při analýze naměřených hodnot nelakovaných vzorků lze zjistit stejný pokles hodnot všech parametrů povrchu. Nelakovaná destička č. 1 má pokles průměrné drsnosti povrchu o 50,74 % a špičatost povrchu vzrostlá o 316,06 %. U destičky č. 2 je zaznamenán pokles průměrné drsnosti povrchu o 31,786 % a narůst špičatosti o 73,46 %. Průměrná drsnost povrchu destičky č. 3 klesla o 90,39 % a špičatost povrchu vzrostla o 65,89 %.

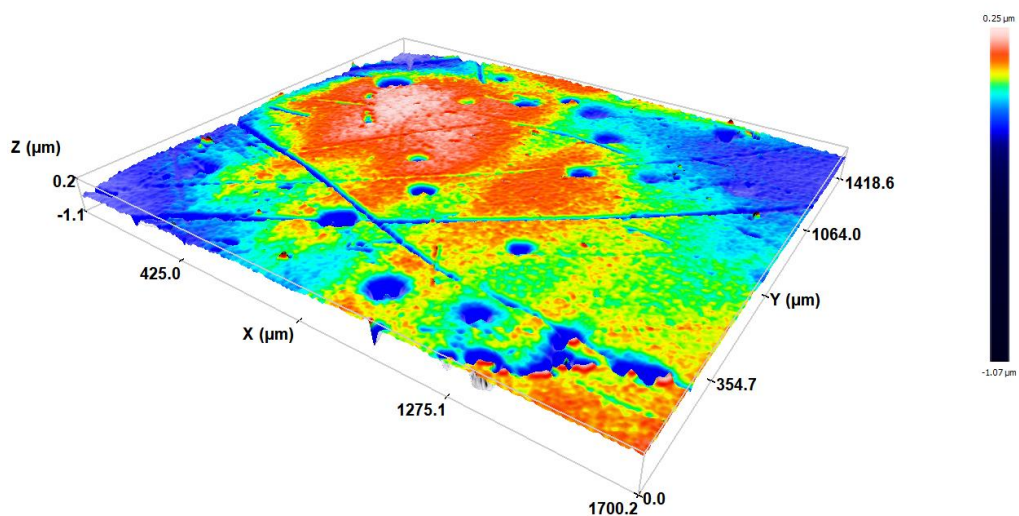


Obrázek č. 21: Povrch nelakovaného kompozitu v barevném spektru

Na obrázcích č. 21 lze vidět povrch kompozitu bez lakové úpravy, pro lepší zobrazení nestejnomyšnosti povrchu bylo rovněž využito barevné spektrum představené na obrázcích č. 22 a č. 23.



Obrázek č. 22: Povrch nelakovaného kompozitu v barevném spektru



Obrázek č. 23: Povrch nelakovaného kompozitu v barevném spektru 3D

Po srovnání jak lakovaných, tak nelakovaných vzorků lze konstatovat, že vosky mají různou účinnost proti UV záření a různý vliv na celkovou strukturu povrchů kompozitu. Rozdíl je patrný ve výsledných hodnotách, které byly zaznamenány při analýze textury povrchu kompozitu.

U lakovaných vzorků při dlouhodobém působení UV záření na povrch může docházet k vypařování laku na povrchu, což jak bylo uvedeno dříve, má negativní vliv na hmotnost kompozitu, taky může docházet k rozpadu uhlíkových vláken ve struktuře kompozitu a mít vliv na vnější vzhled celého dílu, a to právě kvůli nesprávnému odrazení slunečních paprsků na povrchu kompozitu. V tomto případě pro textury povrchu je nejméně účinnějším voskem Turtle Wax Quick & Easy™ Wax it Wet a nejvíce účinným voskem je Meguriar's NXT Generation Polymer Paint Sealant.

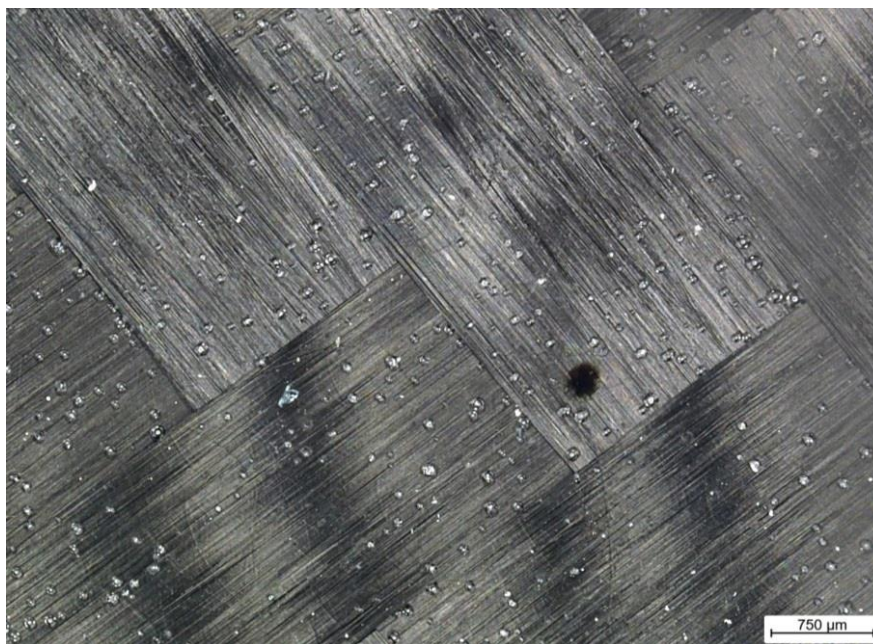
U nelakovaných destiček dochází k menšímu poklesu hmotnosti především kvůli neexistenci úpravy povrchu, znamená to, že dochází k vypařování pryskyřice, což může způsobit ztrátu důležitých vlastností celého kompozitu, ovlivnit uhlíkové vlákno a přivést ho k degradaci. Pro zachování textury povrchu je nejméně účinným voskem Meguriar's Gold Class™ Carnauba Plus a nejvíce účinným je Meguriar's NXT Generation Polymer Paint Sealant.

18 Snímky povrchu po simulaci

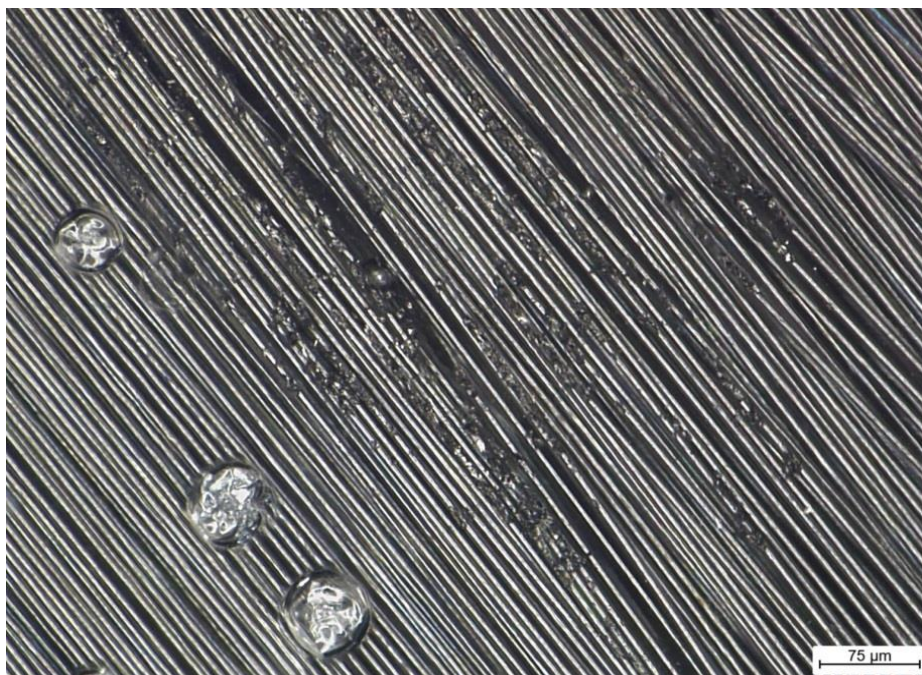
Jak bylo uvedeno dříve, sluneční ozařování a UV vlny negativně působí na povrchu kompozitu, proto je potřeba zkoumat uhlíkové tkaniny a zjišťovat účinky působení UV záření na uhlíkové vlákno. Pro lepší zobrazení skutečného vlivu UV na uhlíkové vlákno ve struktuře kompozitu, autor použil přístroj Leica DMV 6 s čočkou většího zvětšení, která umožnila prohlédnout vlákna v textuře tkaniny. Celkem bylo analyzováno 7 destiček, 3 lakované a 3 nelakované destičky s aplikovaným voskem a 1 lakovaná destička bez aplikace vosku.

18.1 Lakované kompozity

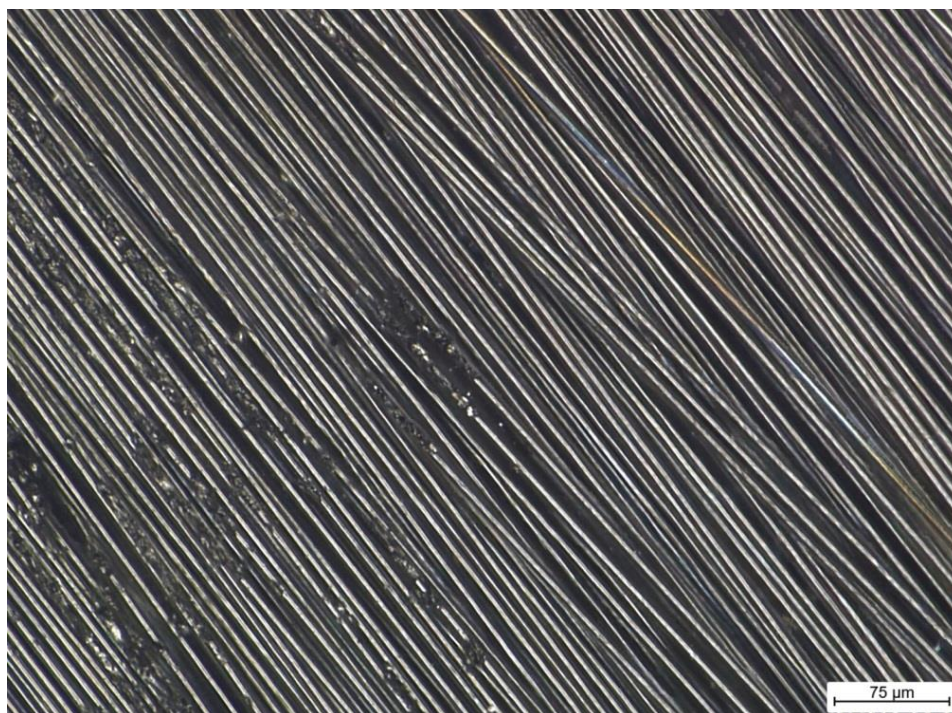
Na obrázcích č. 24 až č. 26 lze pozorovat degradaci uhlíkových vláken destičky č. 1 vyvolanou simulací UV ozáření. Degradace se objevuje v několika úsecích kompozitu, což nám ukazuje, že aplikovaný vosk Meguriar's Gold Class™ Carnauba Plus má nízkou účinnost proti dlouhodobému působení UV záření na povrchu lakovaného kompozitu.



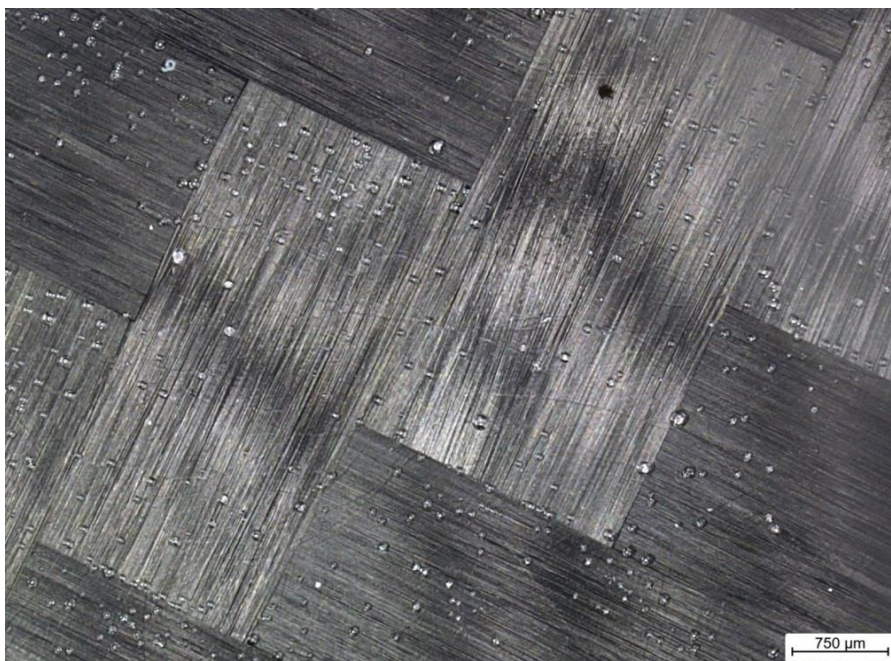
Obrázek č. 24: Uhlíková vlákna ve struktuře lakovaného kompozitu č. 1



Obrázek č. 25: Degradace vláken lakovaného kompozitu č. 1

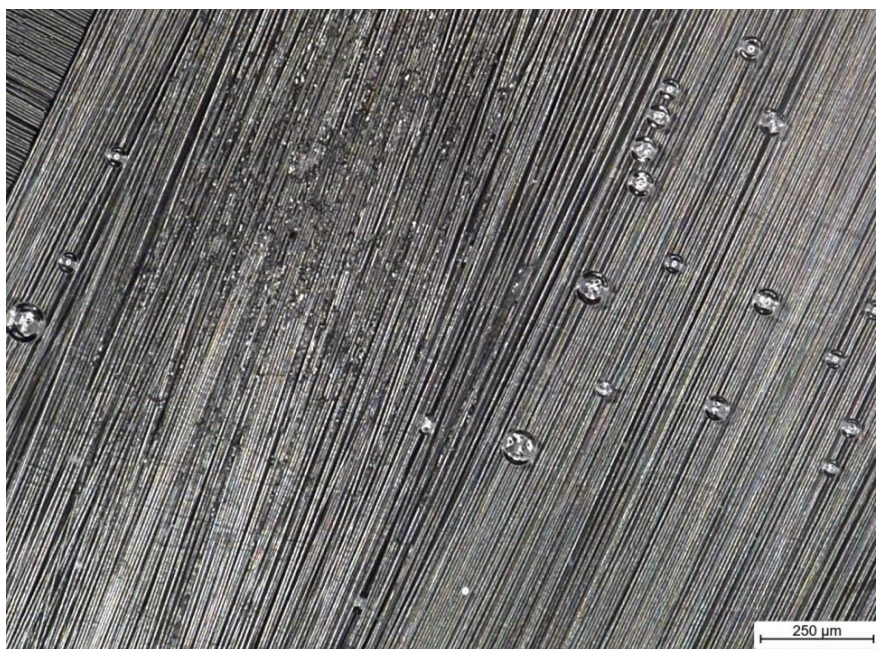


Obrázek č. 26: Degradace vláken lakovaného kompozitu č. 1

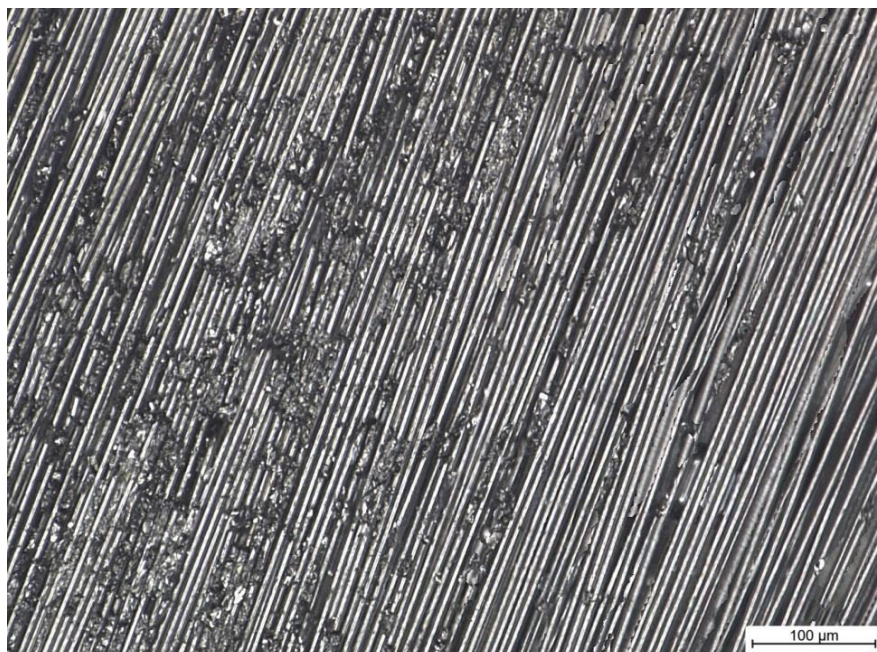


Obrázek č. 27: Uhlíková vlákna ve struktuře lakovaného kompozitu č. 2

Na obrázku č. 28 a č. 29 je zaznamenaná degradace vláken v kompozitu č. 2 při použití vosku Turtle Wax Quick & Easy™ Wax it Wet . Můžeme vidět, že existuje rozsáhlejší oblast, v níž je vlákno rozložené působením ozáření. Rozsah degradace vede k výsledku, že vosk má velmi malou účinnost oproti UV ozáření.



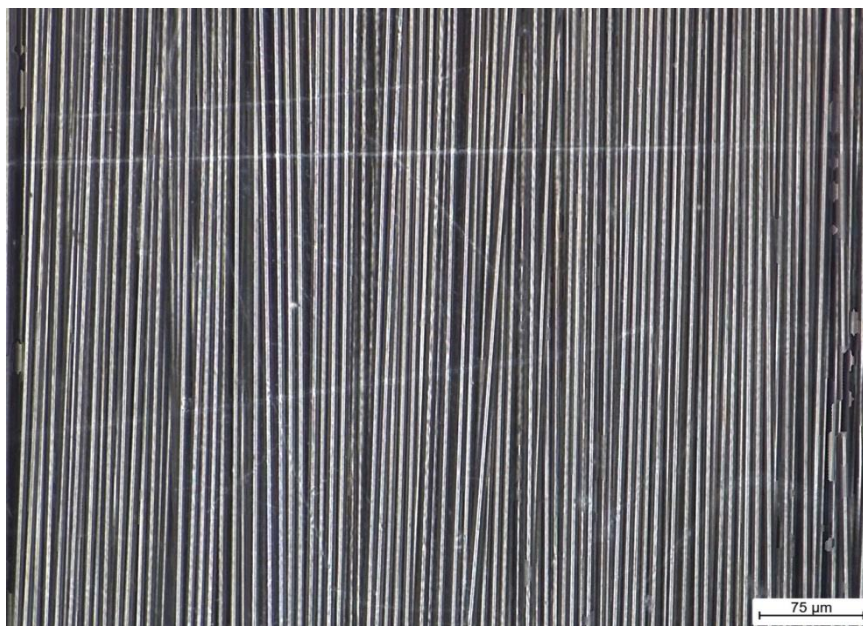
Obrázek č. 28: Degradace vláken lakovaného kompozitu č. 2



Obrázek č. 29: Degradace vláken lakovaného kompozitu č. 2



Obrázek č. 30: Uhlíková vlákna ve struktuře lakovaného kompozitu č. 3

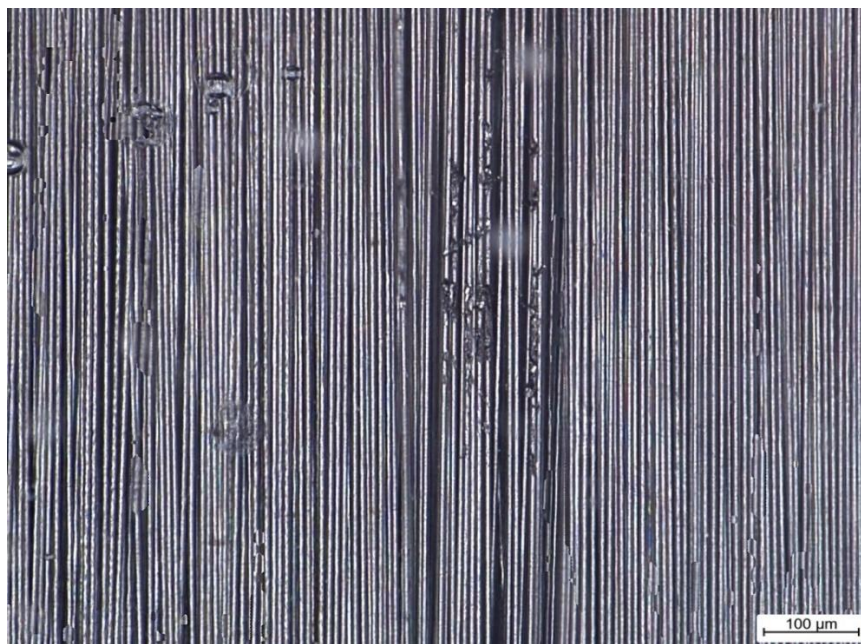


Obrázek č. 31: Vlákna lakovaného kompozitu č. 3

Při analýze destičky č. 3 nebyla nalezena žádná oblast poškození nebo rozpadu vláken. Lze konstatovat, že vosk Meguriar's NXT Generation Polymer Paint Sealant může zachránit uhlíkové vlákno od působení slunečního záření, a proto je ze všech zkoumaných vosků pro lakované kompozity nejlepší vosk Meguriar's NXT Generation Polymer Paint Sealant.

Pro porovnání působení jednotlivých vosků proti UV záření byla prováděna rovněž simulace UV na lakovaný kompozit bez použití jakýchkoliv ochranných vosků. Cílem bylo zjistit degradaci vláken kompozitu, na který nebyl aplikován žádný z vosků.

Uprostřed obrázku č. 32 lze vidět zachycenou degradaci uhlíkových vláken ve struktuře kompozitu. Na celém kompozitu bylo pozorováno několik úseků, kde je patrný rozpad vláken. Většina oblastí rozpadu byla viditelná už při malém zvětšení objektivu, proto je možné konstatovat, že rozpad vláken vede nejenom k poklesu fyzikálních vlastností kompozitu, ale taky má velký vliv na vnější vzhled dílu.



Obrázek č. 32: Vlákna lakovaného kompozitu č. 4

18.2 Nelakované kompozity

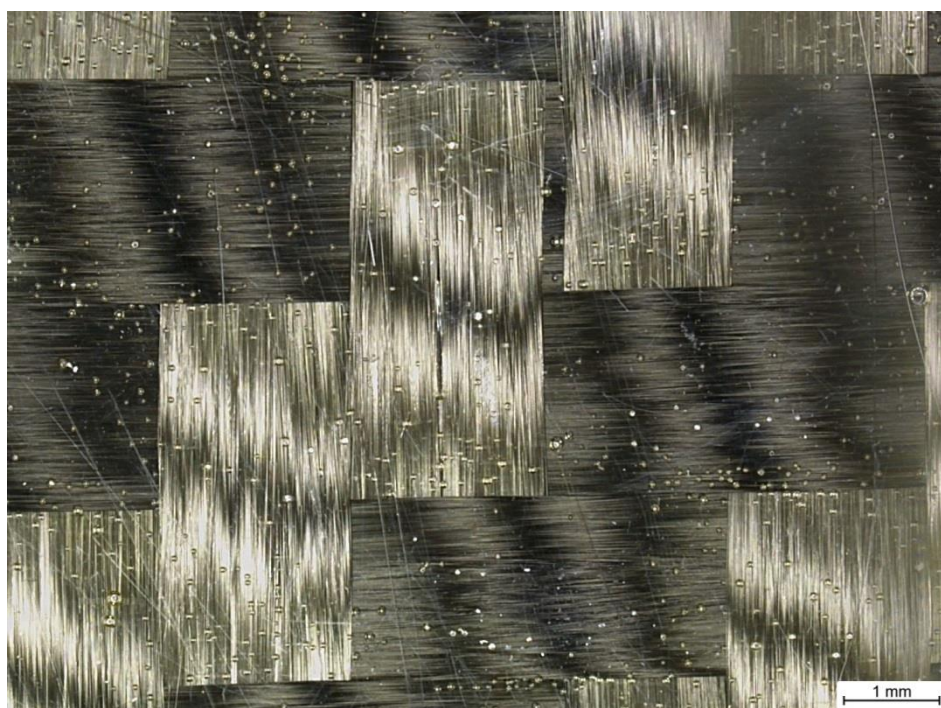


Obrázek č. 33: Uhlíková vlákna ve struktuře nelakovaného kompozitu č. 1

Na obrázku č. 34 lze vidět vlákna kompozitu bez lakování povrchu. Uprostřed obrázku můžeme pozorovat, že některá z vláken mají mírnou degradaci své struktury. Při delším působení UV může dojít k větším poškození, proto vosk Meguriar's Gold Class™ Carnauba Plus je málo účinný proti UV u nelakovaných kompozitů.



Obrázek č. 34: Degradace vláken nelakovaného kompozitu č. 1



Obrázek č. 35: Uhlíková vlákna ve struktuře nelakovaného kompozitu č. 2

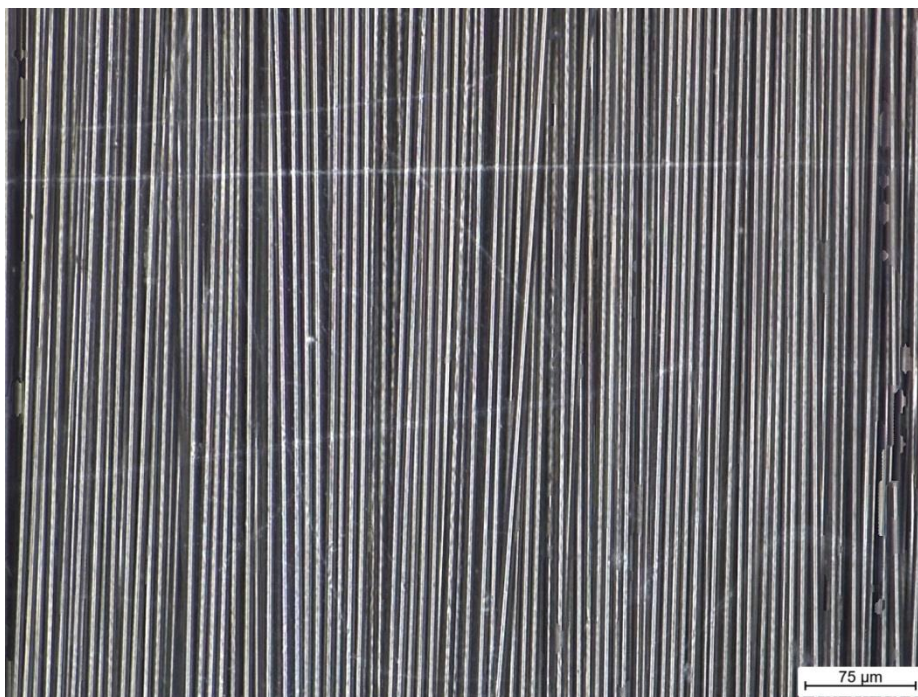


Obrázek č. 36: Degradace vláken nelakovaného kompozitu č. 2

Během zkoumání nelakované destičky č. 2 byla zaznamenána velmi malá degradace několika vláken v některých úsecích kompozitu. Stejně jako v předešlý případě, lze konstatovat, že vosk Turtle Wax Quick & Easy™ Wax it Wet má nízkou ochranou schopnost vůči UV ozáření.



Obrázek č. 37: Uhlíková vlákna ve struktuře nelakovaného kompozitu č. 3



Obrázek č. 38: Vlákna nelakovaného kompozitu č. 3

Zkoumaní povrchu nelakovaného kompozitu č. 3 neprokázalo žádný úsek, ve kterém by byla zaregistrovaná degradace nebo začátek rozpadu vláken, proto lze konstatovat, že u nelakovaných kompozitů je nejúčinnějším voskem je Meguriar's NXT Generation Polymer Paint Sealant.

Podle představených snímků lze shrnout, že ochranné účinky vosku jsou různé, UV vlny tedy působí odlišně jak na povrch kompozitu, tak na jednotlivá vlákna. Degradace vláken některých z kompozitů ukazuje na to, že při nesprávném pečování o kompozit může dojít ke ztrátě vlastností dílu a taky k poškození jeho struktury a porušení struktury v celku. Jak bylo uvedeno v rešeršní části, dlouhodobým působením UV ozařování může dojít ke změně barvy uhlíkové tkaniny v celku, během tohoto experimentu však nebyla zaznamenána změna odstínu barvy uhlíkových vláken.

Závěr

V klasičnické práci byl popsán vliv UV záření na povrch kompozitů na bázi uhlíkových vláken, kompozity se mezi sebou lišily lakovou úpravou povrchu. Pro zmenšení účinnosti UV vlny byly použity vosky na různých bázích. Díky tomu bylo možné zjistit, jaké jsou jejich ochranné vlastnosti (a porovnat je) a jestli jsou schopny prodloužit životnost kompozitu. Pro srovnávání kompozitů byla prováděna měření na několika přístrojích. Byly tak zjištěny jednotlivé parametry, které byly nejprve zhodnoceny a následně byly mezi sebou porovnávány.

V rešeršní části byly popsány způsoby tvoření kompozitu na bázi uhlíkových vláken a pryskyřice a dopad dlouhodobého účinku UV ozařování, kvůli němuž dochází jak k degradaci vláken, tak k nevratné změně barevného odstínu uhlíkové tkaniny ve struktuře kompozitu.

Některé z připravených kompozitů, použité v experimentální části této práce, měly lakovanou úpravu, některé neobsahovaly žádnou úpravu povrchu. Bylo dokázáno, že úprava povrchu má přímý vliv na hmotnost kompozitu v celku, a při nesprávném lakování nebo narušení technologie dochází k vytvoření nestejněměrného povrchu kompozitu, což ovlivňuje vnější vzhled dílu auta. V experimentální části bylo rovněž uvedeno, že působením UV záření, dochází k vypaření laku, při nestejněměrném vypařování může docházet k poklesu aerodynamických schopností dílu a poklesu ochranných vlastností proti vnějším faktorům, jako jsou prach, pyl a nečistoty. U nelakovaných kompozitů nebyla prováděna úprava povrchu, proto byl povrch kompozitu přímo ovlivněn působením UV ozařování. Pomocí vysoce citlivých vah byla porovnávána hmotnost všech kompozitů a bylo zjištěno, že při stejných podmínkách provádění experimentu mají jednotlivé vosky různé ochranné vlastnosti.

Při použití přístroje Sensofar Neox S byla zaznamenána povrchová strukturální změna vyvolaná dlouhodobým UV ozařováním. Každý ze zkoumaných kompozitů byl strukturně analyzován podle normy ISO 25178-2 a naměřené parametry byly zpracovány a porovnány mezi sebou.

Pomocí optického mikroskopu Leica DMV 6 byla prováděna analýza každého kompozitu pro zaznamenání degradací uhlíkových vláken v kompozitu. Většina ze zkoumaných kompozitů měla oblastní přítomnost degradovaných vláken. Přítomnost takových úseků ukazuje na to, že vosky nejsou tak účinné, jak se očekávalo před zahájením experimentu. Naměřena data ukázala na to, že vosky Meguriar's Gold Class™ Carnauba Plus a Turtle Wax Quick & Easy™ Wax it Wet. Quick & Easy™ Wax neprokázali žádnou účinnost opotí UV záření, a jsou vhodné k použití pouze pro dosažení lesku. Naopak u vosku Meguriar's NXT Generation Polymer Paint Sealant byla pozorovaná odolnost vůči záření, kterou lze bylo vidět v zachráně uhlíkových vláken ve struktuře kompozitu.

Autor uvádí vlastní subjektivní názor, vytvořený na základě získaných dat s ohledem na porovnání všech zkoumaných vosků, všechna měření a dosažené parametry, že nejlepší variantou pro použití na povrchu kompozitů je vosk Meguriar's NXT Generation Polymer Paint Sealant.

Pro další výzkum doporučuji srovnání vosky jiných složení na povrchu kompozitu, na bázi tkaniny z uhlíkových vláken v keprové vazbě, nebo jiných typu vazeb.

Seznam použité literatury

- [1] LIDAŘÍK, Miloslav. *Epoxidové pryskyřice*. 3. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983.
- [2] AGARWAL, Bhagwan D. a Lawrence J. BROUTMAN. *Vláknové kompozity*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
- [3] ANDRLÍK, Karel a Josef B. BAREŠ. *Základy chemické výroby: technologie vody, plynů, hnojiv, barev, anorganických lučebnin, paliv, ochrany kovů, sklářství, tuků, mýdla, vosků, cukrovarnictví, šrobařství, celulozy a papíru, pivovarnictví, vinařství, lihovarnictví a octářství, kaučuku, laků i natěradel, silic a pryskyřic, koželužnictví, klišu a želatiny, potravin a umělých hmot*. 2. vyd. Praha: Josef Hokr, 1947.
- [4] *Epoxidová pryskyřice*. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-6-13]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Epoxidov%C3%A1_prysky%C5%99ice
- [5] *Vláknové kompozity*. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-6-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vl%C3%A1knov%C3%A9_kompozity
- [6] SODOMKA, Lubomír. *Nanovlákná: technologie, technika teorie, aplikace*. Liberec: [nakladatel není známý], 2019.
- [7] CHUNG, Deborah D. L. *Carbon materials: science and applications*. New Jersey: World Scientific, [2019]. Engineering materials for technological needs / series editor Deborah D.L. Chung, Vol 3. ISBN 978-981-12-0093-9.
- [8] BAREŠ, Richard. *Kompozitní materiály*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, N. P., 1988.
- [9] MACIEJEWSKI, Hieronim, Agata WAWRZYŃCZAK, Michał DUTKIEWICZ a Ryszard FIEDOROW. Silicone waxes—synthesis via hydrosilylation in homo- and heterogeneous systems. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* [online]. 2006, 5 June 2006 [cit. 2020-10-24]. Dostupné z: [doi:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1381116906007709#bib6](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1381116906007709#bib6)
- [10] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 2000. ISBN 80-7082-668-1.

- [11] Lak. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-10-24]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Lak>
- [12] CHAMPETIER, Georges, H. RABATÉ a N. P. AGRANENKO. *Chimija lakov, kracov i pigmentov*. Tom I. Moskva: Goschimizdat, 1960.
- [13] SODOMKA, Lubomír. *Fyzika kondenzovaných látek*. Část III. [1. vyd.]. Liberec: Adhesiv, 2003. ISBN 80-04-21904-7.
- [14] BHAVESH G., KUMAR a P. SINGH RAMAN. Degradation of Carbon Fiber-reinforced Epoxy Composites by Ultraviolet Radiation and Condensation. *Journal of COMPOSITE MATERIALS*. New York: Sage Publications, 2002, **2002**(Vol. 36), 21. Dostupné z: doi:10.1106/002199802028682
- [15] HIREMATH, Nitilaksha, Stephen YOUNG a Hicham GHOSSEIN. Low cost textile-grade carbon-fiber epoxy composites for automotive and wind energy applications. *Composites Part B: Engineering*. 2020, **2020**(Volume 198), 12. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2020.108156>
- [16] BORCEA, Nicky. Fast, flexible cavity wax application for automotive finishing: New robotic tooling is dramatically streamlining the application of automotive cavity wax, resulting in less waste, better quality, and faster cycle times. *Metal Finishing*. 2009, **2008**(Volume 106), 4. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(08\)80306-6](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(08)80306-6)
- [17] Growth in automotive carbonfiber components market. *Reinforced Plastics*. 2018, **2018**(Volume 62), 1. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.repl.2018.06.023>
- [18] ČSN EN ISO 25178-2 (01 4451) Geometrické specifikace produktu (GPS)-Textura povrchu: Plocha. Část 2, Termíny, definice a parametry textury. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [19] HORÁČKOVÁ, Nina. Vliv UV záření na vlastnosti materiálů používaných pro výrobu autopotahů: The effect of UV radiation onto quality of materials used for making of car seat upholstery. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. Diplomové práce.
- [20] HORŇAKOVÁ, Linda. Vliv UV záření na vybrané užité vlastnosti materiálů určených pro automobilové sedačky: Effects of UV radiation on selected properties of materials used for making car seats upholstery. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. Bakalářské práce. Technická univerzita v Liberci.

[21] ALIASL KHIABANI, Arezou, Tabibiazar MAHNAZ a Leila ROUFEGARINEJAD. Preparation and characterization of carnauba wax/adipic acid oleogel: A new reinforced oleogel for application in cake and beef burger. Food Chemistry [online]. 2020, 29.1.2020, 2020(Volume 333) [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127446>

[22] Karnaubský vosk. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Karnaubsk%C3%BD_vosk

[23] Fluorocarbon. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorocarbon>

Seznam obrázků

<i>Obrázek č. 1: Kompozit na bázi uhlíkových vláken s lakovou úpravou a bez úpravy</i>	34
<i>Obrázek č. 2: Uhlíková tkanina v keprově vazbě 2/2</i>	35
<i>Obrázek č. 3: Přístroj Leica DVM 6</i>	38
<i>Obrázek č. 4: Uhlíková vlákna ve struktuře kompozitu s lakovou úpravou</i>	39
<i>Obrázek č. 5: Uhlíková vlákna ve struktuře kompozitu bez lakové úpravy</i>	40
<i>Obrázek č. 6: Přístroj Sensofar Neox S</i>	41
<i>Obrázek č. 7: Povrch lakovaného kompozitu</i>	42
<i>Obrázek č. 8: Povrch lakovaného vzorku</i>	43
<i>Obrázek č. 9: Barevné spektrum lakovaného kompozitu</i>	43
<i>Obrázek č. 10: Povrch nelakovaného kompozitu</i>	44
<i>Obrázek č. 11: Barevný spektrum nelakovaného kompozitu</i>	45
<i>Obrázek č. 12: Drsnost povrchu nelakovaných kompozitů</i>	45
<i>Obrázek č. 13: Barevné spektrum destičky s lakovou úpravou a voskovou vrstvou</i>	48
<i>Obrázek č. 14: Křivka povrchu lakovaného kompozitu s voskovou vrstvou</i>	48
<i>Obrázek č. 15: Destička s lakovou úpravou a voskovou vrstvou, zvětšení 150x</i>	49
<i>Obrázek č. 16: Barevné spektrum destičky s lakovou úpravou a voskovou vrstvou, zvětšení 150x</i>	49
<i>Obrázek č. 17: Zkušební přístroj Atlas UVCON</i>	53
<i>Obrázek č. 18: Povrch lakovaného kompozitu po simulace</i>	57
<i>Obrázek č. 19: Povrch lakovaného kompozitu v barevném spektru</i>	57
<i>Obrázek č. 20: Povrch lakovaného kompozitu v barevném spektru 3D</i>	58
<i>Obrázek č. 21: Povrch nelakovaného kompozitu v barevném spektru</i>	59
<i>Obrázek č. 22: Povrch nelakovaného kompozitu v barevném spektru</i>	59
<i>Obrázek č. 23: Povrch nelakovaného kompozitu v barevném spektru 3D</i>	60
<i>Obrázek č. 24: Uhlíková vlákna ve struktuře lakovaného kompozitu č. 1</i>	61
<i>Obrázek č. 25: Degradace vláken lakovaného kompozitu č. 1</i>	62
<i>Obrázek č. 26: Degradace vláken lakovaného kompozitu č. 1</i>	62
<i>Obrázek č. 27: Uhlíková vlákna ve struktuře lakovaného kompozitu č. 2</i>	63
<i>Obrázek č. 28: Degradace vláken lakovaného kompozitu č. 2</i>	63
<i>Obrázek č. 29: Degradace vláken lakovaného kompozitu č. 2</i>	64
<i>Obrázek č. 30: Uhlíková vlákna ve struktuře lakovaného kompozitu č. 3</i>	64
<i>Obrázek č. 31: Vlákná lakovaného kompozitu č. 3</i>	65
<i>Obrázek č. 32: Vlákná lakovaného kompozitu č. 4</i>	66

<i>Obrázek č. 33: Uhlíková vlákna ve struktuře nelakovaného kompozitu č. 1</i>	<i>66</i>
<i>Obrázek č. 34: Degradace vláken nelakovaného kompozitu č. 1</i>	<i>67</i>
<i>Obrázek č. 35: Uhlíková vlákna ve struktuře nelakovaného kompozitu č. 2</i>	<i>67</i>
<i>Obrázek č. 36: Degradace vláken nelakovaného kompozitu č. 2</i>	<i>68</i>
<i>Obrázek č. 37: Uhlíková vlákna ve struktuře nelakovaného kompozitu č. 3</i>	<i>68</i>
<i>Obrázek č. 38: Vlákná nelakovaného kompozitu č. 3</i>	<i>69</i>

Seznam tabulek

<i>Tabulka č. 1: Složení vosku Meguriar's Gold Class™ Carnauba Plus</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka č. 2: Složení vosku Turtle Wax Quick & Easy™ Wax it Wet</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka č. 3: Složení vosku Meguriar's NXT Generation Polymer Paint Sealant</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka č. 4: Hmotnosti kompozitů</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka č. 5: Parametry povrchu vzorku s lakem</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka č. 6: Parametry povrchu vzorku bez laku</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka č. 7: Hmotnost kompozitu po aplikaci vosku</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka č. 8: Hmotnost kompozitu po aplikaci vosku</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka č. 9: Parametry povrchu lakovaných vzorku s voskem.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka č. 10: Parametry povrchu nelakovaných vzorků s voskem.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka č. 11: Doba působení simulace [19]</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka č. 12: Hmotnost kompozitu po simulaci</i>	<i>54</i>
<i>Tabulka č. 13: Parametry povrchu lak. vzorku po simulaci.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka č. 14: Parametry povrchu nelak. vzorku po simulace</i>	<i>58</i>