



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE MATERIÁLŮ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE

APLIKACE A VLASTNOSTI SILIKONOVÝCH ZÁTĚRŮ TKANIN

APPLICATION AND PROPERTIES OF SILICONE TEXTILE COATINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Silvia Bernátová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. František Kučera, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP1489/2019 Akademický rok: 2019/20
Ústav: Ústav chemie materiálů
Studentka: **Bc. Silvia Bernátová**
Studijní program: Chemie, technologie a vlastnosti materiálů
Studijní obor: Chemie, technologie a vlastnosti materiálů
Vedoucí práce: **Mgr. František Kučera, Ph.D.**

Název diplomové práce:

Aplikace a vlastnosti silikonových zátěrů tkanin

Zadání diplomové práce:

Literární rešerše – přehled tkanin, chemie silikonů, technologie nanášení, aplikační aspekty.
Experimentální část – příprava zatíraných vzorků, testování vlivu technologie a složení na vlastnosti zátěrů (např. adheze, (ne)prodyšnost, omak apod.). Diskuze výsledků.
Shrnutí výsledků a závěr.

Termín odevzdání diplomové práce: 31.7.2020:

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí diplomové práce.

Bc. Silvia Bernátová
student(ka)

Mgr. František Kučera, Ph.D.
vedoucí práce

doc. Ing. František Šoukal, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Brně dne 31.1.2020

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práca sa v prvej časti zaoberá teoretickým popisom technológií nanášania záteru, textilných materiálov používaných pri nánosoch, typov zatieraných polymérov a vlastností záterov – najmä adhézie. Experimentálna časť práce sa venuje príprave textilných záterov z polyesterovej tkaniny a záteru na báze adičného silikónu. Pomocou vyvinutej metódy prípravy vzoriek na T-peel testovanie adhézneho sily bolo študované zlepšenie priľnavosti záteru chemickou adhéziou za podpory adhézných činidiel. Druhou metódou bola sledovaná zmena kompaktnosti a adhézie záteru ku tkanine po pretrepávaní ako funkcia priedušnosti. Prípravou dogbonov na testovanie ťahovo-deformačných vlastností bol sledovaný vplyv vedľajších reakcií činidiel na kohéziu silikónu. Súčasťou skúmania bola aj charakteristika vzoriek silikónu pomocou ATR-FTIR, sledovanie prírastku hmotností a hrúbky tkaniny po zatieraní, omak a farebná stálosť nánosovanej tkaniny a pozorovanie záteru pod optickým mikroskopom.

ABSTRACT

The diploma thesis in the first part deals with a theoretical description of coating technologies, textile materials used in coatings, types of coated polymers and properties of coatings - especially adhesion. The experimental part of the work is devoted to the preparation of textile coatings from polyester fabric and coating based on addition silicone. Using the developed method of sample preparation for T-peel testing of the adhesive strength, the improvement of the adhesion of the coating by chemical adhesion with the support of adhesive agents was studied. The second method studied the change in compactness and adhesion of the coating to the fabric after shaking as a function of breathability. The influence of side reactions of reagents on silicone cohesion was studied by preparing dogbones for testing tensile-deformation properties. The research also included the characterization of silicone samples using ATR-FTIR, monitoring the weight gain and thickness of the fabric after coating, the feel and color stability of the applied fabric and observing the coating under an optical microscope.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Silikónový textilný záter, adhézia, priedušnosť, adhézne činidlá, silánové činidlá

KEYWORDS

Silicone textile coating, adhesion, breathability, adhesion promoters, silane coupling agents

CITÁCIA

BERNÁTOVÁ, Silvia. *Aplikace a vlastnosti silikonových zátěrů tkanin* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/123969>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie materiálů. Vedoucí práce František Kučera.

POĎAKOVANIE

Touto cestou by som sa rada poďakovala svojmu vedúcemu diplomovej práce Mgr. Františkovi Kučerovi, Ph.D. za podnetné rady a trpezlivosť pri vypracovávaní mojej práce. Ďalej by som sa rada poďakovala Ing. Petrovi Poláčkovi, Ph.D. za pomoc pri meraní na univerzálnom ťahovom zariadení a Ing. Miroslavovi Černému, Ph.D. a kolektívu za ochotu a pomoc pri práci v laboratóriu.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracovala samostatne, a že všetky použité literárne zdroje som správne a úplne odcitovala. Diplomová práca je z hľadiska obsahu majetkom Fakulty chemickej VUT v Brne a môže byť využitá ku komerčným účelom len so súhlasom vedúceho diplomovej práce a dekana FCH VUT.

.....
podpis študenta

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	TEORETICKÁ ČASŤ	8
2.1	Textilný záter tkanín	8
2.1.1	Technológie textilných záterov tkanín.....	8
2.1.1.1	Namáčanie (<i>dip coating</i>).....	9
2.1.1.2	Nanášanie nožom/čepelou (<i>knife or blade coating</i>)	9
2.1.1.3	Valcovanie (<i>roll coating</i>)	12
2.1.1.4	Nanášanie rotačnou sieťou (<i>rotate screen coating</i>)	13
2.1.1.5	Štrbinové nánosovanie (<i>extrusion/slot die coating</i>).....	13
2.1.1.6	Práškové nánosovanie (<i>powder coating</i>)	13
2.1.1.7	Penové nanášanie (<i>foam coating</i>).....	14
2.1.1.8	Sprejovanie (<i>spray coating</i>)	15
2.1.1.9	Netypické nánosové techniky	15
2.1.2	Typy a vlastnosti textilných materiálov.....	16
2.1.3	Typy zatieraných polymérov a vlastnosti záterov	21
2.2	Vlastnosti a štruktúra silikónov	24
2.2.1	Úvod – história a štruktúra	24
2.2.2	Príprava intermediátov na prípravu silikónov.....	25
2.2.2.1	Rochowov proces prípravy silánov	26
2.2.2.2	Grignardova metóda prípravy silánov.....	26
2.2.2.3	Adičný proces prípravy silánov	27
2.2.2.4	Kondenzačný proces s alkalickým kovom	27
2.2.2.5	Preskupenie organochlórsilánov	27
2.2.3	Príprava a rozdelenie silikónov podľa spôsobu sieťovania	27
2.2.3.1	Kondenzačný spôsob vytvrdzovania silikónov	28
2.2.3.2	Vulkanizácia silikónov pomocou peroxidov	29
2.2.3.3	Sieťovanie silikónov adičným spôsobom.....	29
2.3	Stručný úvod do teórie adhézie záteru na textilný materiál	31
2.4	Vývoj trendov riešenej problematiky	35
3	CIELE PRÁCE	37
4	EXPERIMENTÁLNA ČASŤ	38
4.1	Použité materiály a chemikálie	38
4.2	Použité prístroje a nástroje	39
4.3	Metódy prípravy vzoriek	40
4.3.1	Zatieranie vzoriek tkaniny	40

4.3.2	Príprava vzoriek pre peel testovanie.....	45
4.3.3	Príprava vzoriek na testovanie kohézie silikónu	46
4.4	Metódy analýzy pripravených vzoriek	48
4.4.1	Optická mikroskopia.....	48
4.4.2	Kolorimetria – meranie farebnej stálosti.....	48
4.4.3	Infračervená spektroskopia s Fourierovou transformáciou	49
4.4.4	Nepriedušnosť – meranie porozimetrom	49
4.4.5	Ťahová skúška	50
4.4.6	T-peel test	50
5	VÝSLEDKY A DISKUSIA	51
5.1	Charakteristika vzoriek.....	51
5.2	Stanovenie adhézie priemyselnou metódou	58
5.3	Stanovenie adhézie T-peel testom	60
5.4	Testovanie kohézie silikónu	63
5.5	Vplyv teploty spracovania na kohéziu silikónu	65
5.6	Vplyv koncentrácie adhézneho činidla	66
6	ZÁVER.....	67
7	POUŽITÁ LITERATÚRA.....	68
8	ZOZNAM SKRATIEK.....	73

1 ÚVOD

K počiatkom vzniku zatretých tkanín viedla snaha našich predkov upraviť látku tak, aby poskytla nové a lepšie vlastnosti. Ľudia sa už v dávnoveku pokúšali svoj odev mastiť zvieracím tukom, aby ho spravili odolnejším proti vode. Dalo by sa tvrdiť, že už egyptské múmie a ich balzamovanie sa považuje za začiatok éry textilných záterov. V šestnástom storočí Američania prišli na to, že látka, na ktorú pod kaučukovníkom tiekol surový kaučuk a svietilo slnko, sa stala pružnou a hlavne nepremokavou. Objavením vulkanizácie gummy problémy s výdržou pri horúcom počasí a tuhosťou týchto látok pominuli. Odvtedy bolo použitých už mnoho zlúčenín na výrobu poťahovaných textílií a s rozvojom polymérnych technológií vzniklo extrémne široké spektrum materiálov, ktoré dokážu splniť tie najrozmanitejšie požiadavky na vlastnosti a aplikácie, ktoré v dnešnej dobe na trhu vznikajú. Dalo by sa povedať, že textilné zátery sa používajú v takmer každom odvetví priemyslu a života.

Zatretá tkanina v sebe nesie benefity nie len textilu ale aj materiálu, ktorým je potiahnutá. Vo výsledku tak dosahuje vlastnosti, ktoré by samostatne tieto materiály neposkytli. Vlákná tkaniny určujú mechanické vlastnosti a poskytujú podporu pre zatretú vrstvu, povlak zas chráni vlákna a dodáva im vylepšené vlastnosti. Vznikne tak materiál schopný chrániť pred vodou, teplom, chladom, plynmi, je ľahký a flexibilný. Nejde však len o funkčnosť, vylepšenie môže nastať aj po estetickej stránke. Vo výsledku záterová technológia poskytuje aj určitú formu redukcie odpadu. Textílie s drobnými defektami už nemôžu byť použité samé, sú však vhodné na zatretie, ktoré im poskytne nové a jedinečné vlastnosti ale aj druhotné využitie.

Vývoj zatieraných materiálov ide neustále dopredu. Prvotné zátery obsahujúce rozpúšťadlá zaťažujúce životné prostredie nahradili vodné systémy a trend sa posúva stále ďalej – až k záterom bez rozpúšťadiel. Jedným z takýchto zlúčenín je aj silikón. Svojou jedinečnou polymérnou štruktúrou pozostávajúcou z anorganickej kyslíkovo-kremíkovej kostry v kombinácii s organickými bočnými skupinami poskytuje nezvyčajné vlastnosti aplikovateľné v takom odvetví, akými sú textilné zátery. Neustále požiadavky na vývoj nových a nových materiálov si pýtajú zvýšený záujem o testovanie a optimalizáciu vlastností a technológií takýchto záterov. Jednou z týchto vlastností je aj adhézia k substrátu, ktorou sa spolu s mnohými inými zaoberá táto diplomová práca.

Literárna rešerš technológie nanášania záteru, tkanín bežne používaných pri záteroch a ucelenej chémie silikónov je podporená optimalizáciou technológie prípravy vzoriek a ich charakterizáciou vlastností v experimentálnej časti práce. Od rôzneho zloženia textilu, silikónu a adičných činidiel ovplyvňujúcich adhéziu sú sledované aj mechanicko-deformačné vlastnosti, hmotnosť, omak či farebná stálosť záteru. Stanovením adhézie a kohézie silikónu, vplyvu teploty spracovania a koncentrácie adhezívneho činidla sa určuje najlepšia kombinácia „ingrediencií“ vhodná pre použitie v praxi.

2 TEORETICKÁ ČASŤ

2.1 Textilný záter tkanín

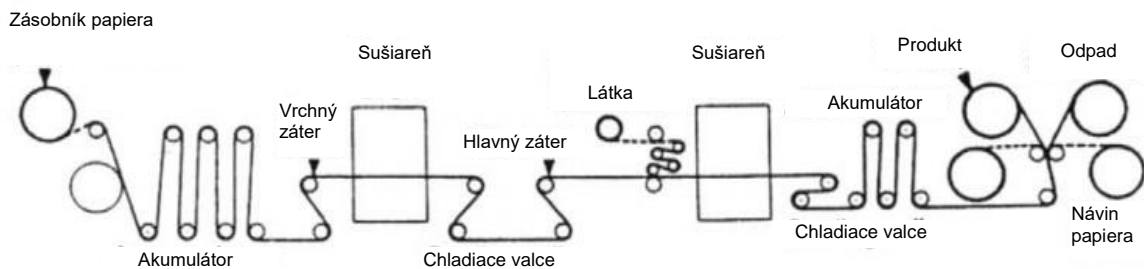
Poťah/záter/coating chápeme ako úpravu minimálne jednej strany látky priamym nanosením zvyčajne aspoň jednej súvislej vrstvy viskózneho polyméru. Jednotlivé vrstvy medzi sebou držia vďaka svojim adhéznym vlastnostiam, prípadne pred samotným polymérom môže byť použitá úprava na zlepšenie adhézie. Táto definícia však môže byť použitá aj pre laminovaný textil a preto ju treba rozšíriť o podmienku formovania vrstvy polyméru „*in situ*“. Najčastejšie sa používa tekutina, no aj pevné a plynné látky môžu byť použité na zatieranie. Polymér zvyčajne určuje chemické vlastnosti, odolnosť proti oderu, prenikaniu kvapalín a plynov, zatiaľ čo tkanina všeobecne riadi pevnosť a rozmerovú stabilitu. Väčšina vlastností výrobku však plynie z kombinácie oboch týchto zložiek, preto je treba zväziť, aká tkanina a aký nános bude vhodný pre požadované vlastnosti hotového produktu. Poťah môže byť použitý aj ako „nádoba“ pre zakomponovanie špeciálnych chemikálií alebo pigmentov, ktoré by sa nanosením na povrch mohli ľahko vymyť, prípadne otrieť. Môže ísť o antimikrobiálne alebo antistatické úpravy, fotoluminiscenčné chemikálie či žiarivá farba, ktorá sa vďaka zakomponovaniu do náteru môže použiť vo vyššej koncentrácii [1; 2].

2.1.1 Technológie textilných záterov tkanín

Na to, aby vznikol finálny produkt – zatretá látka s požadovanými vlastnosťami, je nutné, aby nános bol danej hrúbky, stabilný a jednotný s bezproblémovou adhéziou k povrchu. K tomu sú potrebné tri základné procesy – dávkovanie, prenos a fixácia.

Dávkovanie správneho množstva materiálu je možné tromi rôznymi spôsobmi: pomocou voľného meniskusu (*free meniscus coating*) – najjednoduchšia metóda. Reologické vlastnosti, rýchlosť pohybu látky a geometria aplikátora určujú hrúbku vrstvy, je teda závislá na materiálových charakteristikách nánosu. Ďalšou možnosťou je preddávkovací nános (*pre-metering coating*) – hrúbka záteru sa určuje nadávkovaním pomocou objemového čerpadla a valca a dodatočné dávkovanie (*post-metering coating*) – nanáša sa väčšie množstvo záteru a prebytok je odstraňovaný napríklad nožom alebo vzdušnou raklou. Prenos nánosového materiálu na tkaninu môže byť spracovaný rôznymi valcami, kalandrami, sprejom, ponorením či vytlačovaním. Na vytvorenie jednotnej vrstvy je dôležité dbať na zmáčavosť substrátu, reológiu kvapaliny či tvar aplikátora. Podľa toho, akým spôsobom je nános na textilný materiál aplikovaný, hovoríme o priamom nanášaní alebo nanášaní prenosom (*transfer coating*). Pri priamom sa zatieraná látka nanáša priamo na textil a pri prenose (*Obr. 1*) sa najprv naniesie na povoskovaný papier alebo silikónový gumený pás finálna a stredová vrstva, potom spojovacia a až na ňu textília. Ide o prípady, kedy tkanina nie je rozmerovo stála alebo je jej štruktúra príliš otvorená. Nosič sa odstraňuje od textilu až po ďalšom spracovaní, napr. sušení alebo vytvrdzovaní. Oba tieto pásy sú narolované samostatne a nosič je pripravený na opätovné použitie. Pri väčšine ďalej spomínaných techník ide o priame nanášanie. Fixácia alebo konečná úprava je „zafixovanie“ nanesej vrstvy na substrát sušením, vytvrdením, stlačením či stužením [1; 3].

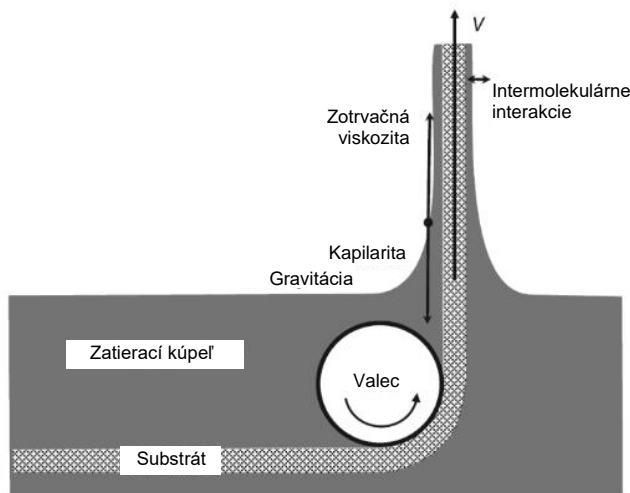
Všetky tieto tri procesy majú vplyv na množstvo zatretého materiálu, jednotnosť, hrúbku a prienik vrstvy substrátom – tkaninou a v poslednom rade na adhéziu k povrchu [1; 4; 3].



Obrázok 1 Nepriame nanášanie [5]

2.1.1.1 Namáčanie (*dip coating*)

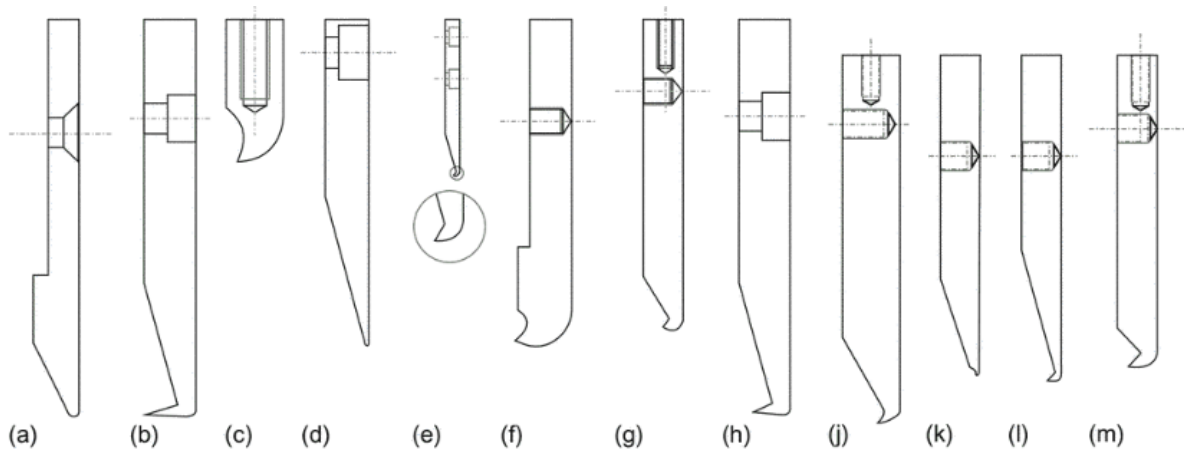
Najjednoduchšia a jedna z najstarších techník využívajúca voľný meniskus pri namáčaní do kúpeľa zatieranej kvapaliny s nízkou viskozitou. Hrúbku nánosu určujú viaceré faktory: sily pôsobiace na látku vychádzajúcu z kvapaliny (gravitácia, povrchové napätie, kapilarita, medzimolekulové sily, zotrvačnosť, Obr. 2), geometria substrátu – tkaniny, jej rýchlosť odťahu, zmäčavosť a drsnosť povrchu a viskozita tekutiny [1].



Obrázok 2 Sily určujúce hrúbku nánosu pri namáčaní [3]

2.1.1.2 Nanášanie nožom/čepel'ou (*knife or blade coating*)

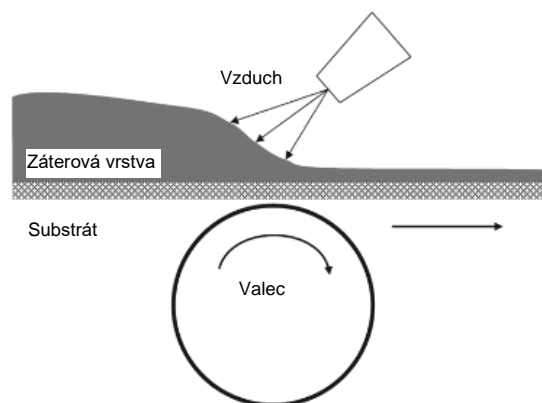
Jedna z najbežnejších techník nanášania záteru na tkaninu. Prebytok nánosu je aplikovaný na textil a pomocou noža alebo čepele rôznych tvarov (Obr. 3) je jeho presné množstvo aplikované a prebytok odstránený. Väčšinou má každá spoločnosť na výrobu nánosových tkanín vlastný tvar rakle, ktorý si sama vyvinula – stretávame sa s dvomi typmi: tvaru noža a tvar „obuvákovej čepele“ („shoe blade“). Druhý spomínaný vznikol hlavne pre PVC a polyuretánové živice, ktoré zanechávajú usadeniny a môžu znečistiť povrch záteru [1; 2; 4; 3].



Obrázok 3 Jednotlivé tvary nožov. (a), (d) a (k) majú tvar noža, ostatné sa pomenúvajú ako „shoe blade“ podľa svojho zahnutia [4]

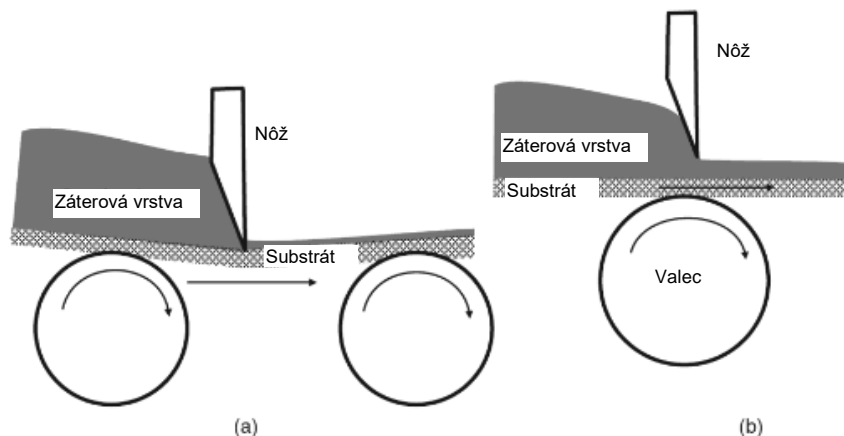
Konfigurácia stroja môže byť rôzna [1; 2; 4; 3]:

1. *Plávajúci nôž (blade-in-air coating)* – nôž sa dotýka povrchu substrátu, ale pod ním sa nenachádza žiadna podpora, iba vzduch (Obr. 5 a). Hrúbka vrstvy sa určuje od napnutia textílie medzi dvomi valcami, tlakom a uhlom noža a závisí aj od jeho ostrosti. Pri tomto rozložení je nános aplikovaný aj do štruktúry textilu, potrebné množstvo kvapaliny je nutné zistiť formou testov a zvyčajne sa používa na menšie množstvá. Používa sa zvyčajne na prvú vrstvu záteru na utesnenie povrchu tkaniny.
2. *Vzdušný nôž (air knife coating)* – prebytok nánosového materiálu nie je odstraňovaný nožom s čepeľou, ale odšukávaný prúdom vzduchu pod určitým tlakom (Obr. 4).



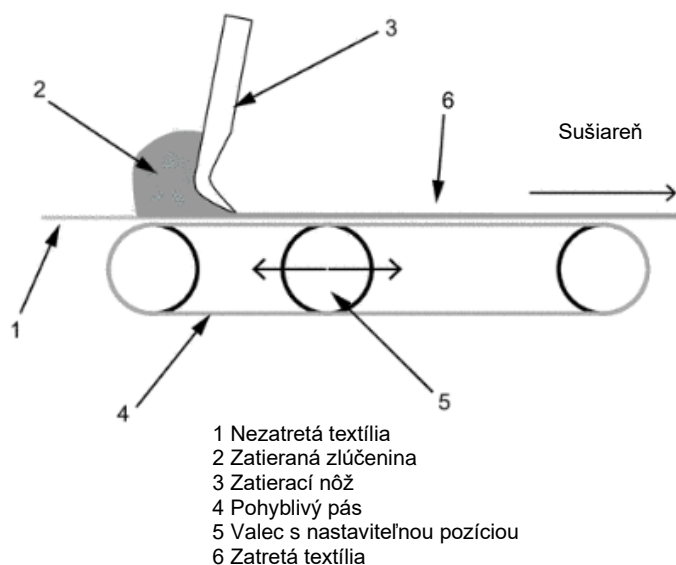
Obrázok 4 Vzdušný nôž [1]

3. *Nôž nad valcom (blade-over-roll coating)* – nôž otierajúci prebytočné množstvo tekutiny z povrchu je umiestnený nad priestorom, kde sa nachádza otáčací valec, ktorý posúva tkaninu (Obr. 5 b)). Valec môže byť z kovu, ale aj potiahnutý silikónom. Nôž sa nedotýka priamo textílie, ale hrúbka nánosu je regulovaná veľkosťou medzery medzi ním a valcom. Tento typ usporiadania sa používa už na ďalšie vrstvy aplikované na textíliu, zvyčajne s hrubšími nožmi.



Obrázok 5 (a) plávajúci nôž, (b) nôž nad valcom [1]

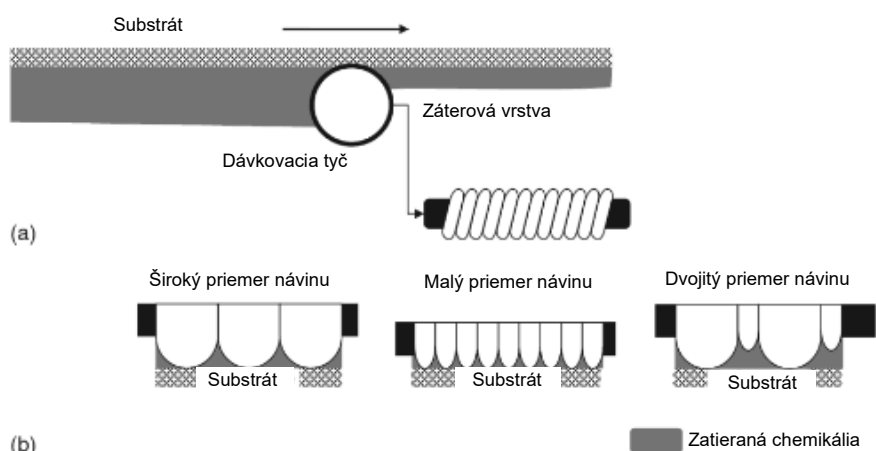
4. *Nôž nad pásom (blade-over-blanket coating)* – v dnešnej dobe už málo využívaná. Tkanina je posúvaná pomocou bezšvového gumeného pásu, ktorý v sebe obsahuje horizontálne nastaviteľný valec (Obr. 6). Pás predstavuje podporu pre menej husté textílie a doplnkovým valcom je množstvo podpory možné nastaviť. Zvyčajne sa pri tejto technike využívajú čepele so „shoe blade“ čepeľou. Výhodou tejto metódy je pružnosť pri zatieraní, vďaka ktorej môže tkanina „uhnúť“ v prípade nerovnosti a nedôjde k jej pretrhnutiu alebo poškodeniu.



Obrázok 6 Nôž nad pásom [3]

5. *Dávkovacia tyč (metering rod coating)* – prebytočná zatieraná chemikália je odstraňovaná pomocou drôtovej tyče s rôzne širokými návinmi (Obr. 7). Nazýva sa aj Mayerova tyč, typicky je konštruovaná z nehrdzavejúcej ocele. Podľa veľkosti navinutého drôtu je možné určovať hrúbku záteru – čím väčší priemer drôtu, tým väčší bude priestor medzi drôtmí a na látku sa dostane viac nánosu. Ide o pomerne lacnú metódu vzhľadom k svojej hrúbkovej presnosti. Na zátère drôt zanecháva pruhovanie po drôte, pri viskóznějších zľúčeninách je teda nutné pred sušením počkať, kým sa povrch nevyhladí povrchovým napätím. To však nie je vždy možné a preto je najlepšie používať

tekutiny s nízkou viskozitou. Pozor je treba dávať aj na medzeru medzi látkou a tyčou – aby nespôsobovala porušenie látky.

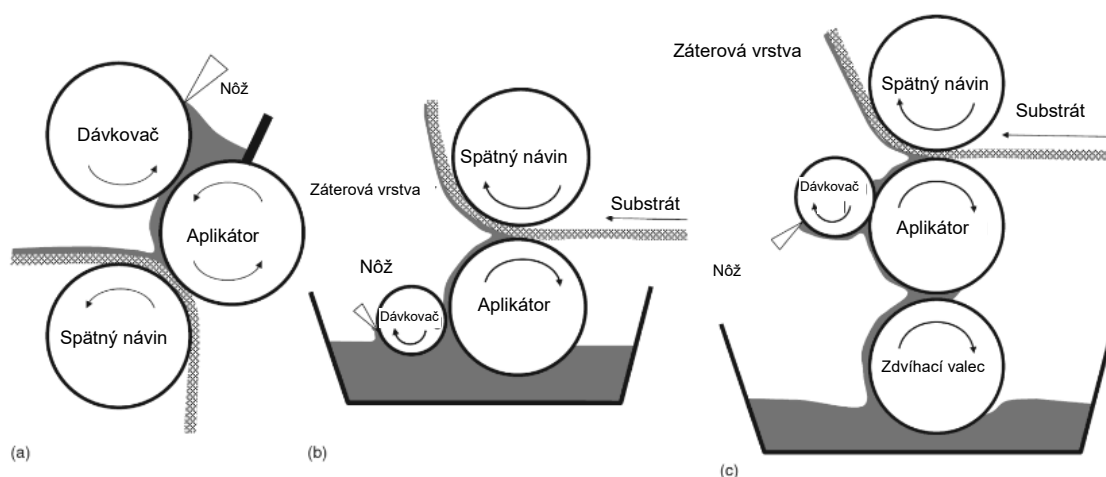


Obrázok 7 (a) Dávkovanie pomocou tyče, (b) Rôzne typy návinu drôtu [1]

2.1.1.3 Valcovanie (roll coating)

Pomerne lacná záterová technika, pri ktorej nie je možné presne nastaviť množstvo nánosu. Používa sa pri látkach, kde nie je potrebné dbať na presnosť ako napr. pri zadnej strane kobercov. Aby bolo možné udržať časti koberca pokope, vytvára sa záter s veľkou hrúbkou a vysokým obsahom plniva.

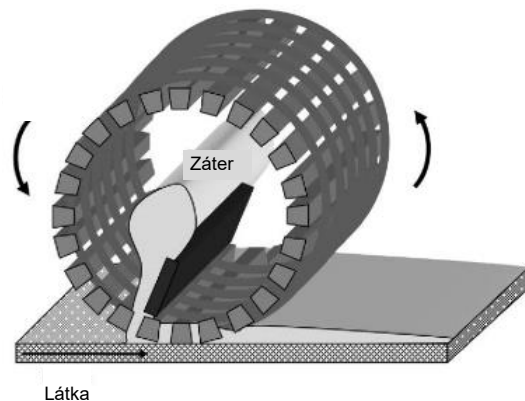
Existujú rôzne konfigurácie valcovacieho procesu napr. v závislosti od počtu valcov, od smeru návinu valcov či od povrchovej textúry valca (*gravure coating*). Najjednoduchším princípom je použitie jedného valca namočeného v nánosovej nádobe tzv. bozkávacie valcovanie (*kiss roll coating*). Hrúbka nánosu je určená hydrodynamikou filmu tvoriaceho sa na hornej polovici valca v blízkosti substrátu, prípadne je možné pridať ešte dávkovacie valce (otočné súmerne alebo reverzne), ktoré svojou rýchlosťou a medzerou určujú hrúbku nánosu. Na Obr. 8 sú zobrazené niektoré z viacvalcových techník tvorby textilného záteru [2; 4].



Obrázok 8 (a) Štrbinové trojvalcové nanášanie, (b) Trojvalcové vaničkové nanášanie, (c) Štvorvalcové vaničkové nanášanie [1]

2.1.1.4 Nanášanie rotačnou sieťou (*rotate screen coating*)

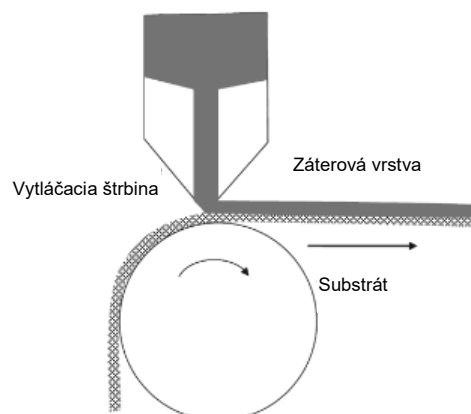
Nesúvislý alebo vzorovaný povlak je na látku nanosený pritláčaním cez pozinkovanú sieť (Obr. 9). Množstvo záteru závisí na množstve ôk v sieti, pritlačacom tlaku a viskozite nanášaného materiálu. Nedochádza k treniu ani tlaku a preto je možné ju použiť aj na ľahké, háklivé textílie ale aj na nanášanie rovnomerného povlaku na nerovnomerný povrch. Je to lacnejšia a presnejšia technika ako v prípade povrchovej úpravy valca určitou textúrou – vďaka tomu je rovnakou metódou možné látku aj potlačiť a používa sa aj pri tlačení obvodových dosiek pri elektrických aplikáciách [1; 2; 4; 3].



Obrázok 9 Nanášanie pomocou rotačnej siete [4]

2.1.1.5 Štrbinové nánosovanie (*extrusion/slot die coating*)

Nanášaná zlúčenina je po plastifikácii vytlačaná na látku pomocou vytlačacej hlavice (Obr. 10). Z finančného hľadiska je to veľmi nákladná metóda pre vysoký počiatkový vklad. Nepoužíva sa pre tekuté alebo dispergované zlúčeniny, ale pre tuhé látky ako termopolasty, kopolyméry alebo zmesi polymérov. Hrúbka a kvalita záteru závisí na vytlačacom tlaku, tekutosti, distribúcii toku ale aj šírke medzery. Dokáže pripraviť nánosy o plošnej hmotnosti od $5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ až $5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ a často sa používa pre nepremokavé úpravy [1; 4; 3].



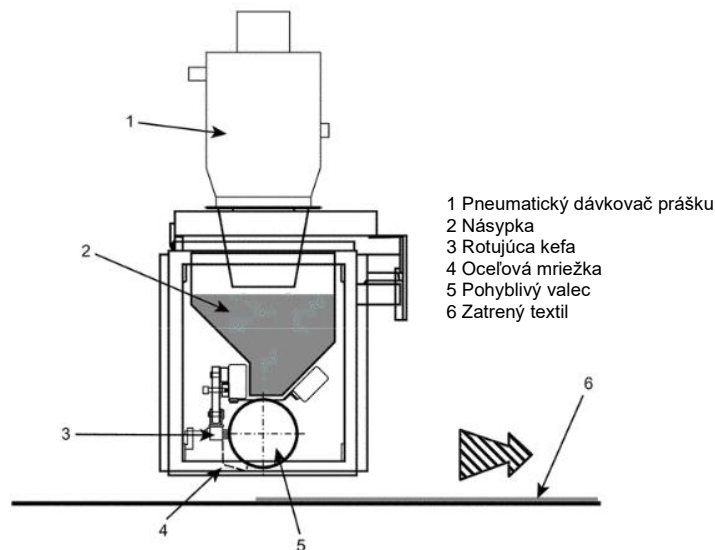
Obrázok 10 Nanášanie pomocou extrudéra [1]

2.1.1.6 Práškové nánosovanie (*powder coating*)

Touto metódou je nanášaný tuhý termoplastický polymér v práškovej forme, ktorá je pripravená počiatkovým mletím. U niektorých materiálov je k mletiu potrebná atmosféra tekutého dusíku a kryogénne podmienky, pretože by mohlo dôjsť k natopeniu alebo koagulácii častíc. Po preosiatí na

jednotnú veľkosť častíc v rozmedzí 0–80, 80–200, 200–500 ale aj 500–1000 μm , sa prášok pomocou pneumatického systému cez násypku nanáša na rotujúci valec so zárezmi. Z neho je pomocou kefy zabezpečený prenos na tkaninu a tá je následne posúvaná na ďalšie spracovanie po nahriatí infračerveným žiarením (Obr. 11). Druhou možnosťou je nahriatie substrátu, vďaka čomu sa častice roztopia a prilnú k povrchu – to však nie je vhodné pre všetky typy látok [1; 4; 3; 5].

Výhodou tejto techniky je slabý dopad na životné prostredie. Nie je nutné používať rozpúšťadlo a vďaka tomu sa nemusí záter sušiť – šetrí sa energia, neznečisťuje sa ovzdušie prchavými organickými látkami, nevzniká toľko odpadu a teda metóda je nenákladná. Textília môže dosahovať zaujímavé vlastnosti, pretože prášok má veľký povrch a umožňuje tak vznik hrubej vrstvy bez prieniku cez tkaninu. [1; 3; 4]

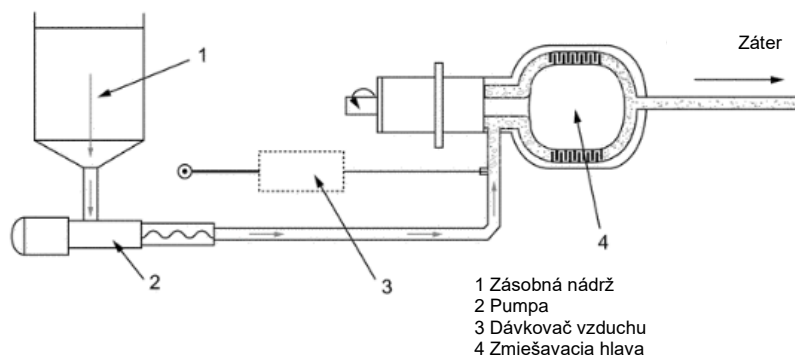


Obrázok 11 Práškové nanášanie pomocou kefy a valca [3]

2.1.1.7 Penové nanášanie (*foam coating*)

Používa sa v prípade textílií s tenkou štruktúrou – veľkým množstvom ôk, pretože nízko viskózne látky by nimi pretiekli a vytvorili nejednotnú vrstvu. Takisto môže byť využité pri výrobkoch, ktoré majú byť mäkkšie na dotyk. Výhodou je neschopnosť prieniku peny do tkaniny, ale aj znížená spotreba vody a nutnosť schnutia oproti namáčaniu. Na druhú stranu tým môže utrpieť schopnosť adhézie záteru k substrátu. Napeňovanie môže byť uskutočnené dvomi rôznymi spôsobmi [2; 4]:

1. *Mechanické napeňovanie* – polymér obsahujúci saponifikačné činidlo sa napeňuje pomocou vzduchu alebo inertného plynu (dusík) do požadovanej hustoty. Po prechode sušičkou na látke ostáva už iba 4 % vlhkosti a na odstránenie plynu a vytvorenie pevného nánosu substrát prechádza kalandrom. Po konštrukčnej stránke môže byť mechanický napeňovač zložený z lacnejšieho diskového rotačného systému, ten ale tvorí rôzne veľké bubliny a môže tak vytvárať diery a „pluzgieri“ na povrchu záteru. Druhou možnosťou je systém zložený zo statora a rotora (Obr. 12) kde sa hroty točia veľmi rýchlo. Táto technika je používaná častejšie ako chemická.



Obrázok 12 Mechanické napeňovanie rotorom a statorom [3]

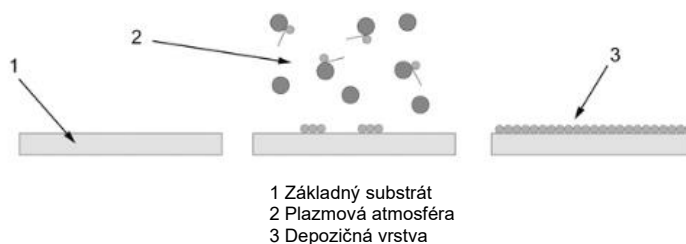
2. *Chemické napeňovanie* – prebieha pomocou substance, ktorá pri zvýšenej teplote produkuje plyn. Ide napríklad o azodikarboamidy produkujúce dusík, väčšina zlúčenín však vytvára plyn pri omnoho vyšších teplotách ako je teplota spracovania pri textilnom zátere. Preto je nutné pridávať do polyméru katalyzátory. Táto technika sa využíva pri vinylových nánosoch, ktorých pena je vďaka nej odolnejšia a stabilnejšia [4].

2.1.1.8 Sprejovanie (*spray coating*)

V dnešnej dobe sa používa už len na polyméry s nízkou hmotnosťou, hlavne na taveniny, pretože v porovnaní s ostatnými technikami tvorí nejednotný nános a je nepresná a drahá. Atomizácia môže prebiehať rôznymi spôsobmi – so vzduchom, bez vzduchu, rotačne alebo elektrostáticky. Metóda funguje na princípe tlakovej nádoby, z ktorej je nízko viskózná tekutina cez dýzu rôzneho tvaru vytlačaná vysokým tlakom na substrát [1; 4; 5].

2.1.1.9 Netypické nánosové techniky

S vývojom nových produktov stále neustáva potreba objavovania nových metód textilného záteru. Jednou z nich je technológia tavenia za horúca (*hot melting coating*) – epoxidová živica so sieťovacím činidlom je zahrievaná a niektorou z predošlých techník (napr. pomocou rotačnej siete alebo noža) sa nanáša. Kvôli tepelným stratám a úniku taveniny do iných častí stroja musí byť nôž izolovaný od zvyšnej konštrukcie. Plazmové nanášanie (Obr. 13) umožňuje lacnejším textíliám dosiahnuť nové funkcionality – dlhotrvácnosť, samočistiaci, bioaktívny povrch či retardáciu horenia. Doteraz to nebolo možné z dôvodu zlej adhézie k povrchu substrátu. Tá sa plazmou zlepšuje, pretože mení chemizmus povrchu a vytvára nové funkčné skupiny. Tie môžu reagovať s nánosom a vytvárať tak hydrofóbne, hydrofilné povrchy alebo pomáha znižovať ich trenie, optimalizuje sa proces tvorby nánosu čo sa týka rýchlosti a teploty výroby. Do budúca je to veľký predpoklad pre vznik moderných tkanín s pridanou hodnotou [2; 4].



Obrázok 13 Plazmové nanášanie [3]

V Tab. 1 sú zhrnuté rýchlosti nánosu, vhodné viskozity a hrúbka vzniknutého povlaku skôr spomínaných metód textilného záteru. Čo sa týka rýchlosti nánosu, najpomalšie je možné nanášať textúrovým valcovaním pomocou povrchovo upraveného valca, ale aj nanášaním nožom/čepelou. Naopak najrýchlejšie je možné záter pripraviť extrúznym (štrbinovým) nanášaním. Pre látky charakteristické nízkou viskozitou je možné použiť vzdušný nôž či nanášanie sprejom, pre vysoko viskózne je opäť vhodné extrúzne nanášanie. Najtenšiu vrstvu dokážeme pripraviť sprejom a najhrubšiu pomocou nožu nad valcom.

Tabuľka 1 Niektoré vlastnosti jednotlivých záterových techník [5]

Technika		Rýchlosť nánosu [m·min ⁻¹]	Viskozita [mPa·s]	Hrúbka mokrého povlaku [μm]
(slovensky)	(anglicky)			
Namáčanie	Dip	15-200	100-1000	25-250
Vzdušný nôž	Air knife	15-600	1-500	25-60
Plávajúci nôž	Blade	300-600	5000-10000	12-25
Nôž nad valcom	Knife-over-roll	3-60	1000-10000	50-5000
Nôž nad pásom	Knife-over-blanket	3-30	500-5000	50-250
Dávkovacia tyč	Rod	3-150	50-500	25-125
Bozkávacie valcovanie	Kiss roll	30-300	100-2000	25-125
Obrátené valcovanie	Reverse roll	30-300	50-20000	50-500
Nanášanie rotačnou sieťou	Squeeze roll	30-700	100-5000	25-125
Textúrové valcovanie	Gravure	2-450	100-1000	12-50
Štrbinové nánosovanie	Extrusion	20-900	30000-50000	12-50
Práškové nanášanie živice	Powdered resin	3-60	-	25-250
Sprejové nanášanie	Spray	3-90	-	2-250

2.1.2 Typy a vlastnosti textilných materiálov

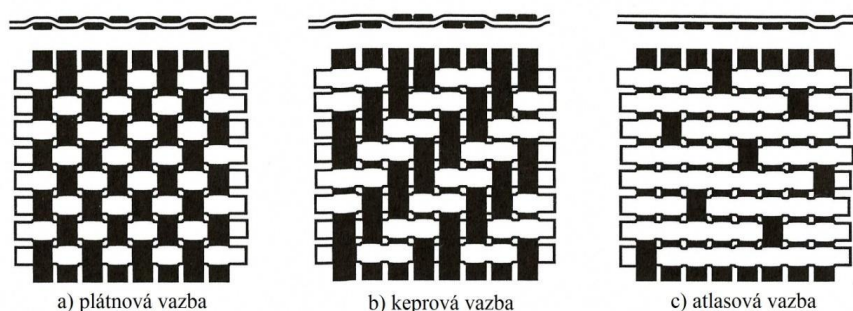
Textília alebo textilný útvar je podľa normy ČSN ISO 8159: *Textílie. Tvary vláken a nití. Slovník*. súhrnný názov pre textilné suroviny a z nich vyrobené polotovary a výrobky. Ak obsahuje výrobok mimo textilných surovín taktiež iné látky, môže sa považovať za textíliu, pokiaľ vlastnosti textilného povrchu alebo fyzikálne technologickej vlastnosti textílie sú podstatné pre použitie výrobku a netextilný materiál ma iba doplňujúcu funkciu [6].

Základné triedenie textílií podľa:

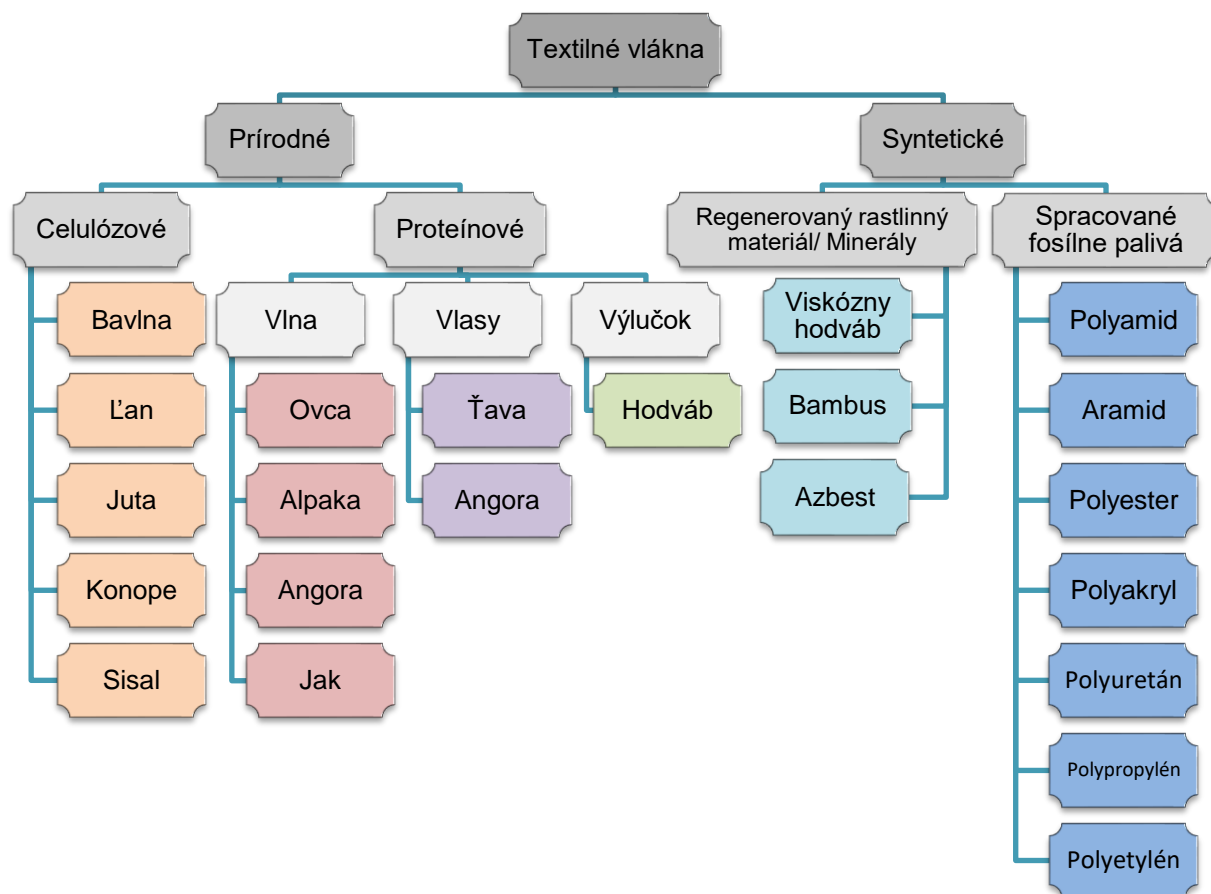
- a) **vonkajšieho tvaru** - dĺžková, plošná alebo priestorová textília, konfekčný textilný útvar
- b) **vnútorného usporiadania** - látkovo homogénna textília (vlákno), zložená textília (z viacerých látkovo homogénnych útvarov)
- c) **charakteristických vlastností**
- d) **spôsobu textilnej výroby**
- e) **účelu použitia**
- f) **pôvodu a druhu textilnej suroviny** – bavlnárska, hodvábnická, ľanárska, vlnárska [7]
- g) **podielu surovín** – jednozložkové, zmesové (triedenie podľa materiálového zloženia rieši nariadenie EP a Rady EÚ č. 1007/2011)
- h) **stavu spracovania** – textilná surovina – polotovary – výrobok

Pre naše potreby je dôležité vymedziť, čo obnáša technický textil – je vyrábaný predovšetkým pre svoje funkčné vlastnosti, nie estetické a dekoračné. Európska únia ešte dopĺňa, že v niektorých prípadoch, napríklad pri pracovnom a športovom oblečení môže spadať do oboch kategórií. Podľa Euratex, 30 % textilného priemyslu (ak nepočítame oblečenie) tvoria technické textílie a to v Európskej únii predstavuje celkový obrat okolo 30 miliárd eur ročne. V niektorých krajinách, ako je Nemecko, Rakúsko či Francúzsko toto číslo dokonca kulminuje až okolo 40-50 %. Tento priemysel tvorí viac ako 15 000 spoločností, ktoré zamestnávajú 300 000 zamestnancov [4].

Tkanina vzniká pletením alebo tkaním priadze z prírodného alebo syntetického vlákna. Vlákna sa spriadajú – stáčajú dokopy pomocou vretena. Vzniknutá priadza sa na tkáčskom stave zabudováva prekrížením a prekladaním do textilnej tkaniny plátnovou, keprovou alebo atlasovou väzbou (Obr. 14) [8].



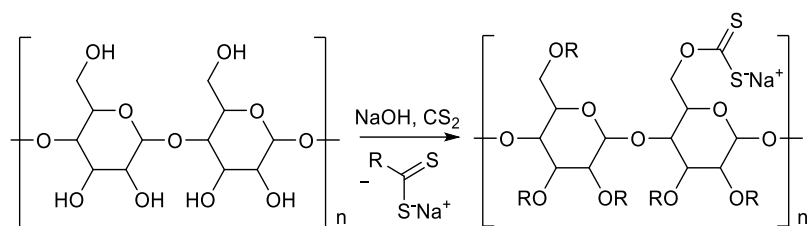
Obrázok 14 Typy väzby tkaniny v kolmom smere [8]



Obrázok 15 Typy vlákien [5; 9; 10]

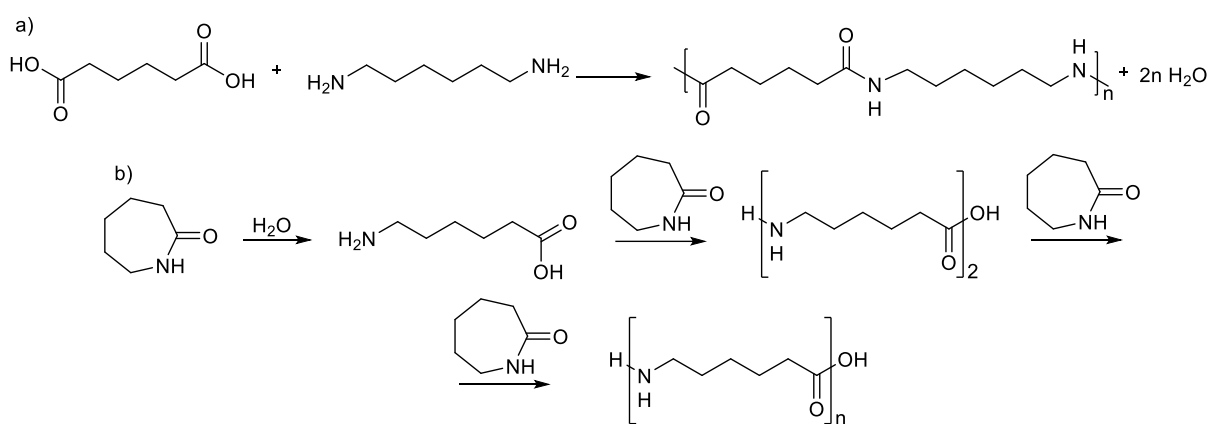
Prírodné vlákna je možné získať zo zvierat ako sú ovce, hmyz, z rastlín či semien bavlníka. Bavlna je najviac používané prírodné vlákno, často kombinované s polyesterom vďaka svojej odolnosti voči pokrčeniu v pomere 65 %/35 %. Je jednou z mála vlákien, ktorá sa mokrá stáva silnejšou kvôli svojej hydrofilnej schopnosti absorbovať až 50 % vlhkosti. V dnešnej dobe je asi 40 % textilu vyrobených z bavlny. Ďalším celulózovým vláknom je ľan, ktorý je oproti bavlně ťažší a má hrubšie a dlhšie vlákna. Nie je elastický a rovnako ako bavlna nevydrží atak kyselín. Z proteínových vlákien je najpoužívanejšia vlna – viacbunkové strižné vlákno, ktoré je pomerne slabé a má nízku pevnosť v ťahu. Skladá sa z keratínu, pigmentu a chemicky viazanej vody. Vyniká však svojou absorpciou blížiacou sa k 100 %. Hodváb sa získava z výlučkov húsenice priadky morušovej, prípadne iných druhov húseníc (zussah, muga, eri). Z jedného zámotku sa dá získať až 800 m jednotného vlákna, dokopy až okolo 4000 m. Nemá konkurencieschopné vlastnosti oproti syntetickým vláknám, jeho prednosťou je zvláštny vzhľad využívaný najmä v módnom priemysle (Obr. 15). [3; 9; 10].

Syntetické vlákna svoj rozmach zažívajú až posledných päťdesiat či šesťdesiat rokov. Po tom, čo veda poskytla možnosť skúmať chemické a fyzikálne vlastnosti prírodných vlákien, umožnila ich tak vytvárať umelo. Viskóznové vlákno vzniká regeneráciou celulózy rozpustenej v hydroxide sodnom za účasti sírouhľíku (Obr. 16). Zvlákňuje sa v kúpeli z kyseliny sírovej a síranu zinočnatého. Na výrobu 1 tony viskózy sa spotrebujú asi 3 tony dreva. Kvôli toxickosti tejto metódy sa od nej v dnešnej dobe už upúšťa. Využíva sa ako lacnejšia náhrada hodvábu, avšak pri vyšších teplotách sa môže zraziť a navlhnutím stráca pevnosť. [9; 10; 11]



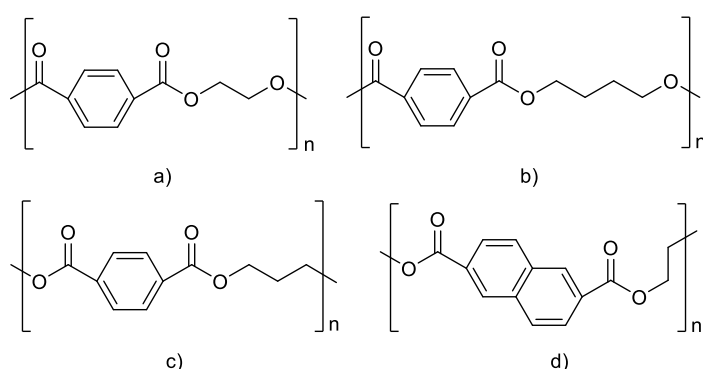
Obrázok 16 Schéma regenerácie celulózy [10]

Z polyamidových vlákien sú najrozšírenejšie polyamid 6 a polyamid 6.6. Polyamid 6.6 sa vyrába s kyseliny adipovej a hexametyléndiamínu a polyamid 6 polymerizáciou ϵ -kapolaktámu s otvorením kruhu (Obr. 17). Sú z 30-50 % kryštalické aj možné z nich vytvoriť rôzne profily a prierezy, dokonca aj mikrovlákna. Sú pružné a pevné ale majú malú odolnosť voči svetlu a poveternosti [11; 12].



Obrázok 17 Schéma prípravy a) polyamidu 6.6 a b) polyamidu 6 [12]

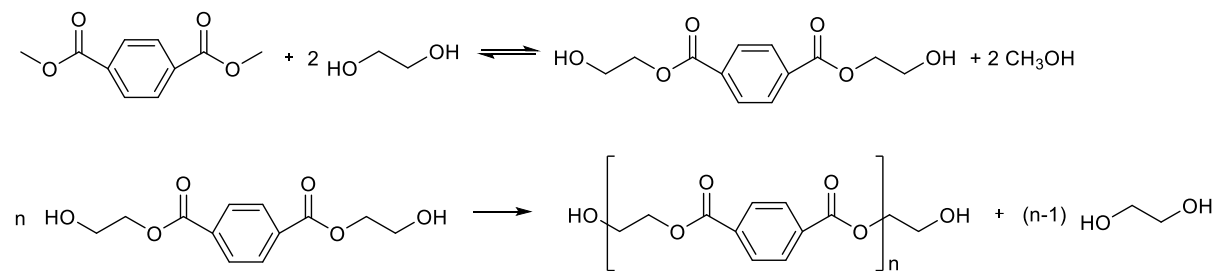
Až 75 % všetkých syntetických vlákien na svete je vyrobených z polyesterového vlákna. Najväčšie zastúpenie má polyetyléntereftalát (PET), v menšom sa používajú aj polybutyléntereftalát (PBT), polytrimetyléntereftalát (PTT) a polyetylénnaftalát (PEN) (Obr 18).



Obrázok 18 Vzorec a) polyetyléntereftalátu b) polybutyléntereftalátu c) polytrimetyléntereftalátu a d) polyetylénnaftalátu

PET sa vyrába reakciou kyseliny tereftalovej a etylénglykolu. V prvom kroku vzniká bis(2-hydroxyetyl)tereftalát a ten sa v druhom kroku esterifikuje za súčasného vydestilovania nadbytočného etylénglykolu za zníženého tlaku (Obr. 19). Pevnosť v ťahu a nižšia priťažnosť polyesterového hodvábu sa dosahuje dĺžením nad teplotou skelného prechodu $T_g = 72-81$ °C za použitia

menšieho množstva trysiek a návinu na cylindrické cievky. Prídavkom vlákna do materiálu sa zvyšuje tuhosť výrobku a znižuje sa jeho krčivosť [11; 12].



Obrázok 19 Dvojkroková príprava polyetyléntereftalátu na polyesterové vlákno [12]

2.1.3 Typy zatieraných polymérov a vlastnosti záterov

V dnešnej dobe už sú na priemyselný výrobok kladené vysoké nároky na spracovanie z dôvodu stále väčšieho zaťažovania prírody ľudskou činnosťou. Čo sa týka zatieraných zlúčenín, trend sa posúva smerom k znižovaniu environmentálneho zaťaženia a vytvárania ekologickejších variácií technológií. Treba dbať na bezpečnosť a zdravie pri výrobe, skladovaní, používaní ale aj zneškodňovaní, aby sa neznečisťovali okolité vody, pôdy a vzduch. Záter potom môže byť použitý ako kryt, bariéra na ochranu, separáciu či dekoráciu, udáva rozmerovú stabilitu, kontroluje pórovitosť, uchováva pigment a iné chemikálie, upravuje pevnosť, pružnosť. Ďalej môžeme využívať látky, ktoré sú pekné na vzhľad, vode, ohňu či teplu odolné, proti chemikáliám, antimykotické, nepriedušné, či na opak priedušné, mäkkčené, vodivé a pod. Tab. 2 udáva najbežnejšie používané polyméry na textilný záter [2; 13].

Tabuľka 2 Najbežnejšie polyméry používané na textilný záter [2]

Polymér		Výhody	Nevýhody	Použitie
Názov	Skratka			
Akrylát	-	Veľké množstvo variant, dobrá UV rezistencia, všeobecne lacný	Slabo ohňovzdorné, nutné aditívum	Zadný náter pre čalúnenie, spojivo pre netkané a sklenené vlákna
Butylový kaučuk	BR	Nízka priedušnosť pre plyny, lepšia rezistencia voči teplu, oxidácii a chemikáliám oproti NR	Obmedzená odolnosť voči rozpúšťadlám a ohňu, náročné zošívanie	Plynové obaly, ochranné obleky, záchranné člny
Polychlóprén (DuPont-neoprén)	CR	Veľká odolnosť voči olejom, chemikáliám a oxidácii, do 120 °C, všestranný	Náročný na farbenie – takmer iba čierny	Ochranné odevy, záchranné airbagy a rafty
Chlórsulfonovaný kaučuk	CSM	Podobne odolný ako neoprén, ale do vyšších teplôt – 135 °C, môže byť farbený	Drahší ako neoprén	Použitie ako neoprén, ale tam kde treba farbený a do vyšších teplôt
Etylénavinylacetát	EVA	Pomerne lacný, dobrá adhézia ku všetkým vláknam, pri nízkych teplotách flexibilný, teplne tvarovateľný	Môže byť náchylný na vodu a odfarbovanie	Podklad kobercov, čalúnenia, výstavné tabule
Fluoroelastomér	FKM	Odolný voči teplu, poveternosti a oxidácii, pracovná teplota -20 až 200 °C, „elastický PTFE“	Drahý, slabá odolnosť voči ketónom	Špeciálne ochranné odevy a komponenty – tesnenia

Tabuľka 2 Najbežnejšie polyméry používané na textilný záter [2] (pokr.)

Polymér		Výhody	Nevýhody	Použitie
Názov	Skratka			
Vysokohustotný polyetylén	HDPE	Odolné voči kyselinám, zásadám, ľahko recyklovateľné, ľahké a lacné	Nízka teplota topenia, ohňovzdornosť a odolnosť voči starnutiu	Ľahké kryty, plachty (alternatíva PVC), vrecia a big bagy
Nízkohustotný polyetylén	LDPE			
Polypropylén	PP			
Akrylonitril/butadién kaučuk	NBR	Odolnosť voči olejom zvýšená akrylonitrolovou zložkou, odolnejší voči slnečnému žiareniu a teplu oproti prírodnému kaučuku	Slabšia ohňovzdornosť	Oblečenie, tesnenia, pásy a komponenty používané v olejovom prostredí
Prírodný kaučuk	NR	Výborná pružnosť, široké využitie, použiteľný do 70 °C, plnivá zlepšujú mechanické vlastnosti	Slabšia rezistencia voči slnečnému žiareniu, oxidácii, rozpúšťadlám a olejom, horľavý, nemodifikovaný biodegradovateľný	Ochranné obleky, pneu, záchranné člny, dopravné pásy
Polytetrafluóretylén	PTFE	Vysoko odolný voči chemikáliám, oxidácii a poveternosti, nepriľnavý, elektrické vlastnosti a užívateľská teplota do 260 °C	Veľmi drahý	Kalandrové pásy, architektonické a zdravotnícke aplikácie, tesnenia
Polyuretán	PU	Tvrдый, rozťažný, odolný voči poveternosti a oderu, filmy sú vhodné na lamináciu	Alifatické druhy blednú a sú obmedzene rezistentné voči hydrolyze, ohňovzdornosť stredná, pomerne drahý	Vodeodolné/priedušné oblečenie, záchranné vesty, adhezíva, laky na PVC plachty a kože
Polyvinylchlorid	PVC	Široké využitie, dobrá odolnosť voči olejom, rozpúšťadlám a oteru	Trhliny pri nízkych teplotách, migrácia plastifikátoru, stredná tepelná odolnosť a voči starnutiu	Plachty, kryty, polstrovanie, ochranné oblečenia, zástery, bannery
Polyvinylidénchlorid	PVDC	Veľmi dobrá ohňovzdornosť, tepelne zvärateľný, nízka priepustnosť plynov, číry, vysoký lesk	Tvrдый a krehký	Zmesi s akrylátmi pre zlepšenie ohňovzdornosti, rolety, žalúzie

Tabuľka 2 Najbežnejšie polyméry používané na textilný záter [2] (pokr.)

Polymér		Výhody	Nevýhody	Použitie
Názov	Skratka			
Silikón	-	Bez zápachu, inertný, rezistentný voči chemikáliám a mikroorganizmom, široké teplotné rozmedzie od -60 do 200+ °C, nízka toxicita, vodoodpudivý, miešateľný s akrylátmi a polyuretánmi	Podporuje olejové znečistenie, obťažné spájanie, drahý, náročná potlač	Airbagy, potravinárstvo, lekárstvo, tesnenia, padáky
Styrénbutadiénový kaučuk	SBR	Podobný prírodnému kaučuku, ale lepšia odolnosť voči oteru, naťahovaniu a mikroorganizmom	Slabšia rezistencia voči slnečnému žiareniu, oxidácii, rozpúšťadlám a olejom, horľavý, nemodifikovaný biodegradovateľný	Podklad kobercov, ako prírodný kaučuk

Všeobecne by sa dalo povedať, že v prípade, ak je cena vedúci parameter, oplatí sa použiť etylénvinylacetát, či polyolefíny. Naopak chlór-sulfonovaný kaučuk, fluórelastomér či polytetrafluóretylén patria k tým drahším. Pri niektorých výrobkoch treba dbať aj na ohňovzdornosť, v tom prípade by sme sa mali radšej vyhnúť akrylátom, polyuretánom, butylovému či akrylonitril/butadiénovému kaučuku a zvoliť si napríklad polyvinylidénchlorid. Ak je potrebný naozaj odolný materiál, záter z polytetrafluóretylénu by mohol byť dobrá voľba. Čo sa týka širokého spektra druhov použitia, či už v potravinárstve, lekárstve alebo hocikde tam, kde je treba inertný záter so širokou teplotnou škálou a nízkou toxicitou, určite na plnej čiare vyhráva záter zo silikónu.

2.2 Vlastnosti a štruktúra silikónov

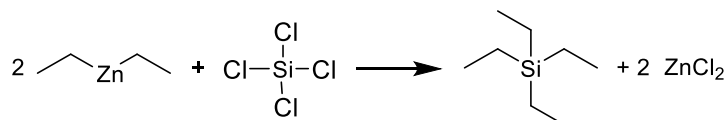
Ako už bolo vyššie spomínané, silikóny ako také majú veľmi dobré vlastnosti, ktoré z ďaleka prevyšujú svoje nevýhody. Čo sa týka záterovej technológie, sú použiteľné pre všetky bežné zatieracie techniky. Dokonca ich vlastnosti sú veľmi jednoducho modifikovateľné aditívami. Sú použiteľné na takmer akýkoľvek typ tkaniny.

Vďaka svojej schopnosti predĺženia sa môžu používať na výroby vysokoelastické, bez zníženia tejto funkcionality. Sú vodoodpudivé a už pri veľmi tenkom nánose sú schopné odolať vodnému stĺpcu 10 m. Použitelnosť v širokom spektre teplôt môže prísť pri niektorých druhoch krátkodobo až do 300 °C. Silikóny sú prakticky samozhášavé (teplota vznietenia je asi 430 °C), kedy vytvárajú biely popol oxidu kremičitého a vznikajúce plyny nie sú toxické. Odolnosť voči chemikáliám je veľmi vysoká, v prostredí ketónov, esterov a uhľovodíkov napúčajú, no nemenia svoju štruktúru. Sú schopné absorbovať krátkovlnné UV žiarenie a poskytujú tak tkanine ochranu pred degradáciou UV žiarením, no i celkovo poveternostným vplyvom. Silikón je prirodzene izolantom, no niektoré spoločnosti dokážu vyrobiť aj špecializované vodivé a antistatické verzie. Jeho biokompatibilita je využiteľná v medicínskom prostredí, no tak isto aj v potravinárstve. Výhodou je, že je priesvitný a je ho možné farbiť prakticky na akúkoľvek farbu [14].

2.2.1 Úvod – história a štruktúra

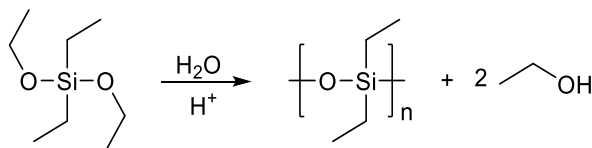
Vývoj silikónových polymérov za posledných 80 rokov je medzi mnohými polymérnikmi považovaný za jeden z najvýznamnejších krokov v rozvoji semi- a plne anorganických polymérov. Svojimi výbornými vlastnosťami akou je tepelná odolnosť, inertnosť, elektroizolačné vlastnosti či nízka toxicita sú predurčené k širokospektrálnemu použitiu v rôznych aplikáciách.

Po prvý krát sa tetraetylsilán podarilo pripraviť Fiedelovi a Craftsovi v roku 1863 reakciou dietylzinku s tetrachlór-silánom:



Obrázok 20 Reakcia dietylzinku s tetrachlór-silánom [15]

O 9 rokov neskôr Landenburg reakciou dietoxydietylsilánu s vodou v kyslom prostredí pripravil prvý silikónový polymér vo forme viskózneho oleja:

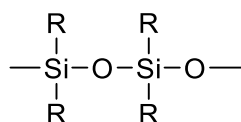


Obrázok 21 Reakcia dietoxydietylsilánu s vodou [15]

Za otca modernej silikónovej chémie je ale považovaný profesor F. S. Kipping, ktorý prispel mnohými poznatkami. V roku 1904 použil na prípravu chlór-silánov Grignardové činidlá (dodnes sa používajú) a taktiež uviedol princíp intermolekulárnej kondenzácie silánových diolov. Zaviedol pojem silikóny, pretože produkty hydrolyzy disubstituovaných chlór-silánov považoval za analógy ketónov [15].

V roku 1931 chcela firma Corning Glass Works svoju sklenenú tkaninu pokryť elektroizolačným materiálom, ktorý by bol flexibilný. J. F. Hyde teda pripravil silikónovú živicu, pretože to mal byť anorganicko-organický polymér, ktorý by bol odolný vysokým teplotám. O 12 rokov neskôr sa firma spojila s Dow Chemical Company a vytvorila korporát produkujúci organo-silikónové zlúčeniny. V nasledujúcich rokoch vznikli aj ďalšie firmy vyrábajúce silikónové polyméry ako General Electric Company alebo The Union Carbide Corporation. Prvá spomínaná využívala Rochowov priamy postup. Od sedemdesiatych rokov 20. storočia až dodnes produkcia silikónov ročne stúpala o 10-15%. V dnešnej dobe existuje viac ako desiatka ďalších firiem, ktoré vyrábajú silikónové polyméry – Bayer, Shinetsu, Wacker-Chemie, Toray, Toshiba, Rhone-Poulenc či Lučební závody a.s. v Kolíne. [15].

Silikóny patria medzi polymérne organické zlúčeniny. Vo svetovej literatúre sa používa pre organokremičité makromolekulárne látky bežne názov polyméry, aj keď vo veľkej väčšine prípadov sa nejedná o produkty adičnej polymerizácie ale o polykondenzáty. Hlavný reťazec silikónov je teda tvorený kremíkom kovalentne viazaným s kyslíkom – táto siloxánová väzba (-Si-O-Si-O-) má vyššiu väzbovú energiu ako uhlíková (C-C), preto sú silikóny tepelne a chemicky stabilnejšie ako bežné organické zlúčeniny. Majú všeobecný vzorec $[R_2SiO]_n$, bočné skupiny na kremíku sú zvyčajne uhľovodíkové zvyšky – metyl, fenyl, etenyl či trifluoropropyl (Obr. 22). Najbežnejším z nich je poly(oxydimetylsilylen) alebo aj poly(dimetylsiloxán) [15; 12; 16; 17]

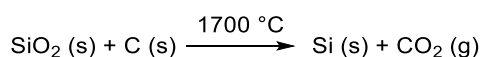


R = organický substituent - CH₃, CH₃CH₂, fenyl

Obrázok 22 Všeobecný vzorec silikónu

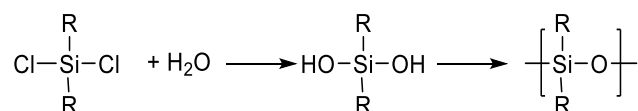
2.2.2 Príprava intermediátov na prípravu silikónov

Na prípravu silikónov je nutné v prvom rade získať čistý kremík z piesku – oxidu kremičitého redukciou uhlíkom za vysokých teplôt:



Obrázok 23 Redukcia oxidu kremičitého [18]

Siloxány vznikajú hydrolýzou aryl- alebo alkylchlórsilánov SiR_nCl_{4-n} a následnou kondenzáciou hydroxylových skupín do polymérneho reťazca:

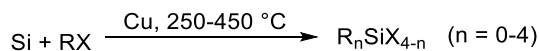


Obrázok 24 Reakcie syntéz siloxánov [15]

Chlórsilány ako hlavný reagent vyššie spomínanej reakcie sa komerčne pripravujú hlavne týmito štyrmi metódami: Gringardovou, Rochowovým procesom, adičným a kondenzačným spôsobom. Do úvahy ešte pripadá preskupenie organochlórsilánov [12; 18].

2.2.2.1 Rochowov proces prípravy silánov

Kremík získaný vyššie spomínanou redukciou sa po prevedení na prášok s veľkosťou 100-350 nm zúčastňuje veľmi ekonomicky a konštrukčne náročného procesu vo fluidnom reaktore. Reaguje s alkyl- alebo arylchloridom za použitia medi ako katalyzátora a iných propagátorov pri 250-450 °C:



Obrázok 25 Schéma reakcie vo fluidnom reaktore [19]

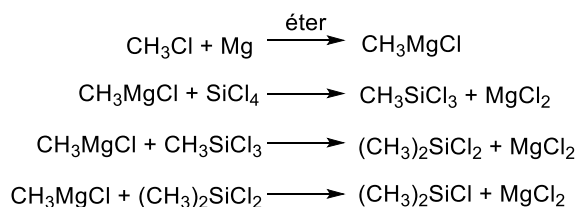
Reakcia je vysoko exotermická, bežne sa používa tlak asi 3 bary a pomer práškového kremíka ku medi je 9:1. Výhodnejšie je použiť redukciu chloridu meďného a naniesť tak meď na zrná kremíku. Reakciou alkyl- alebo arylchloridu s meďou vzniká nestabilný CuR, ktorý sa rozpadá na alkyl- alebo arylové radikály reagujúce s kremíkom. Produktom je zmes mono-, di- a trifunkčných chlór-silánov, ktoré sú v prípade najvýhodnejších reakčných podmienok v pomere: 74% dialkyldichlór-silán R_2SiCl_2 , 9% trichlóralkylsilán RSiCl_3 a 6% chlórtrialkylsilán R_3SiCl . Zvyšných niečo cez 10% tvoria malé množstvá ostatných silánov, tetrachlór-silán a zvyšok s vysokou teplotou varu, ktoré musia byť oddelené. Z ekonomického hľadiska je najvýhodnejšie znižovať podiel RSiCl_3 ako najpočetnejšieho vedľajšieho produktu [15; 17; 19].

Podmienky pri príprave fenylochlór-silánov sa trochu líšia – ako reagent sa používa nadbytok chlórbenzénu a katalyzátorom je aj Ag. Teplota reakcie sa vyskytuje skôr v hornej hranici intervalu a nevyužitý chlórbenzén je možné zrecyklovať a opäť použiť [17; 20].

Tento proces je primárne používaný na výrobu metyl- a fenylochlór-silánov, pretože vyššie alkyhalogenidy sa pri vyšších reakčných teplotách rozpadajú a poskytujú nízke výťažky. Ďalšou nevýhodou je, že meď ako katalyzátor je pri iných zlúčeninách ako metylchloridoch omnoho menej účinnějšía. Nahradená môže byť Fe, Al alebo Ca, olovo by naopak pôsobilo ako inhibítor. Výpary vznikajúce pri tejto reakcii – hlavne chlór-silány sú v zmesi s vlhkým vzduchom horľavé [15; 17; 20; 19].

2.2.2.2 Grignardova metóda prípravy silánov

Tento proces je flexibilnejší oproti Rochowovmu, no rovnako je potrebné produkty deliť. Grignardové činidlo RMgX vzniká reakciou alkyl- alebo arylhalogenidu s horečnatými hoblinami v éteri. Následne R_3MgCl reaguje s tetrachlór-silánom pripraveným prechodom chlóru cez horúci kremík. S metylchloridom vznikajú nasledujúce rôzne reakcie:



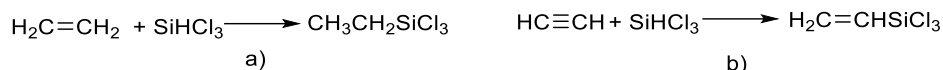
Obrázok 26 Sled reakcií použitím Grignardového činidla [15]

Tieto reakcie síce prebiehajú postupne, ale vedú k najväčšiemu výťažku dichlórdimetylsilánu. Zo systému je chlorid horečnatý odstránený filtráciou, frakčnou destiláciou sa zase delia chlór-silány, ktoré majú veľmi podobné teploty varu a je preto potrebné použiť kolóny s vysokým počtom destilačných poschodí.

Pomocou tejto metódy je možné pripraviť mnoho rôznych silánov s rôzne veľkými organoskupinami. Využitím éteru ako rozpúšťadla však vzniká omnoho väčšie riziko pri výrobe zahŕňajúcej množstvo procesných úkonov. Chlorid kremičitý ako zdroj kremíka je neefektívnym zdrojom, pretože ho obsahuje iba 16% [15; 21; 22].

2.2.2.3 Adičný proces prípravy silánov

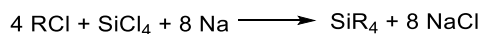
Podstatou tejto reakcie je adícia chlór-silánov obsahujúcich Si-H väzbu na nenasýtené uhľovodíky (Obr. 27). Jej výhodou je pomerne nízka obstarávacía cena reaktantov a teda z finančného hľadiska efektívna príprava intermediátov. Nevýhodou je nemožnosť takto vyprodukovať chlórmetylsilány.



Obrázok 27 Reakcia a) ethylénu s trichlór-silánom a b) vznik vinylovej skupiny z acetylénu [15]

2.2.2.4 Kondenzačný proces s alkalickým kovom

Pri tejto metóde reaguje chlorid kremičitý s organickým chloridom za účasti sodíka, lítia alebo draslíku:

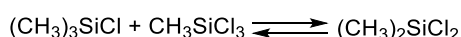


Obrázok 28 Kondenzácia organosilánov pomocou alkalických kovov

Táto reakcia je založená na Wurtzovej reakcii, kedy vznikajú dvojnásobne dlhé alkány zo svojich halogenidov pomocou sodíka. Jej výťažok je však nízky a je relatívne nebezpečná z dôvodu použitia alkalických kovov [15].

2.2.2.5 Preskupenie organochlór-silánov

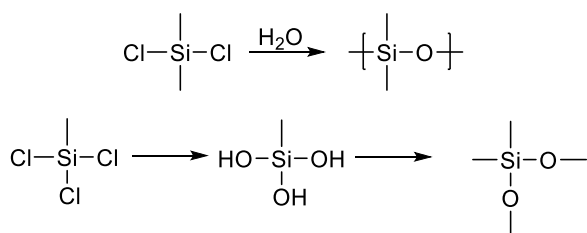
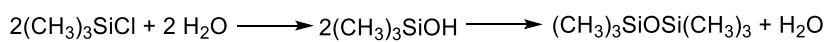
Preskupením je možno využiť aj menej užitočné vedľajšie produkty napríklad Grignardovej syntézy na vznik vhodných intermediátov. Na Obr. 29 je uvedený vznik dichlórdimetylsilánu pri 200 – 400 °C redistribúciou chlórtrimetylsilánu a trichlórmetylsilánu za účasti chloridu hlinitého:



Obrázok 29 Preskupenie vedľajších produktov na užitočnejší intermediát [15]

2.2.3 Príprava a rozdelenie silikónov podľa spôsobu sieťovania

V závislosti na funkčných skupinách intermediátov, hlavne chlóralkylsilánov, vznikajú rôzne silikóny, od nízkoviskózných, až po pevne zosieťované živice. Hydrolýzou z akyl- či arylchlór-silánov vznikajú silanoly (Obr. 30), ktoré sú veľmi reaktívne a následne rýchlo kondenzujú na zlúčeniny obsahujúce siloxánové väzby -Si-O-Si-O-.

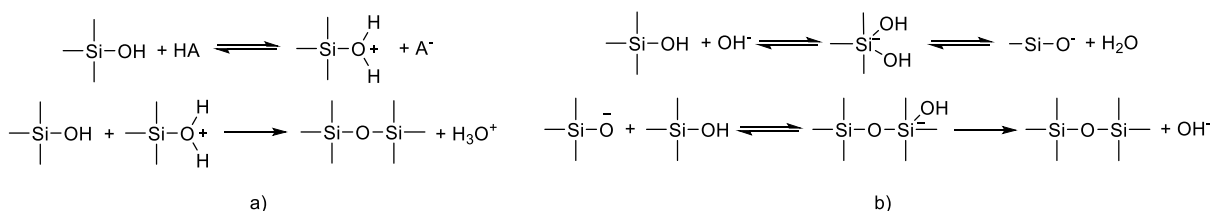


Obrázok 30 Vznik silanolov hydrolyzou a kondenzácia do lineárnej štruktúry a siete [12; 15]

V alkalickom prostredí je hydrolyza pomalšia ako v kyslom a jej rýchlosť je závislá aj na veľkosti substituentov – čím menšie, tým bude hydrolyza rýchlejšia. Na druhú stranu, izolovať je možné iba tie s veľkými funkčnými skupinami. Prebieha v teplotách do 30 °C a v prípade viacerých organochlórsilánov musí byť použité zriedené nepolárne rozpúšťadlo ako je toluén, xylén či trichlóretylén, aby sa predčasne nevytvoril gél [15; 12; 20].

2.2.3.1 Kondenzačný spôsob vytvrdzovania silikónov

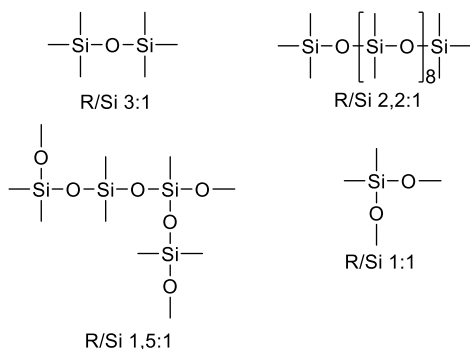
Kondenzácia je rýchla a je ju možné katalyzovať aj protonickými aj Lewisovými kyselinami, dokonca aj v alkalickom prostredí (Obr. 31). Počas intermolekulárnej kondenzácie vznikajú lineárne siloxány, intramolekulárna kondenzácia spôsobuje vznik cyklických zlúčenín. Cyklické produkty môžu byť zo zmesi odstránené destiláciou alebo v zásaditom prostredí transformované na polyméry [12; 21].



Obrázok 31 Kondenzácia siloxánových väzieb a) v kyslom b) v zásaditom prostredí

Silanoly majú široký škálu kinematickej viskozity od 50 do 500 cm²·s⁻¹. Pomer kremíka a organických funkčných skupín v polysiloxánoch určuje pomer zosieťovania štruktúry a typ silikónu:

- Silikónový olej má pomer R/Si > 2
- Silikónový kaučuk má pomer R/Si = 2
- Silikónová živica má pomer R/Si < 2

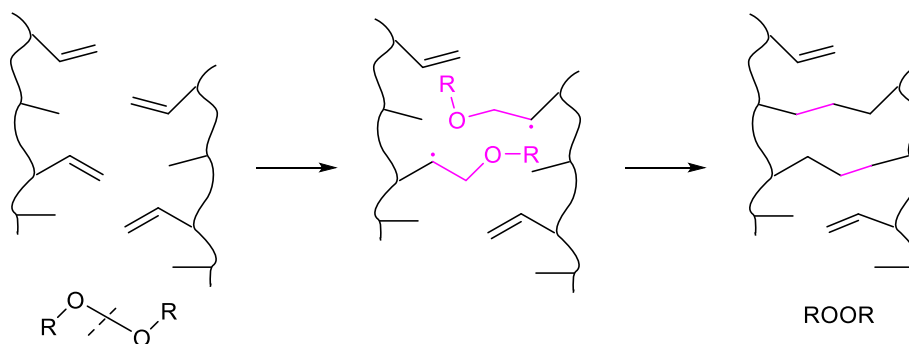


Obrázok 32 Pomer organickej funkčnej skupiny voči kremíku [15]

V závislosti od množstva chloridu kremičitého v zmesi je možné upraviť stupeň zosieťovania tuhých živíc, v prípade mäkkších živíc zase obsahom dichlórdimetylsilánu. Ako sieťovacie činidlá sa môžu používať metyltrimetoxysilán, dimetyldimetoxysilán alebo oximové silány ako je metyltris(metyletylketoxim)silán. Urýchľovače zosieťovania sa používajú na báze amínov – dietylétetraamín či trietylétetramín a zlúčeniny cínu ako dibutylcín diacetát alebo dibutylcín dilaurát. Plnením možno mechanicky posilniť polymérnu sieť. Najväčší efekt má pyrogénny oxid kremičitý, no používajú sa aj oxidy železa a sadze. Samozrejme, pozitívny efekt majú aj akékoľvek vlákna, či už sa jedná o sklenené, uhlíkové, aramidové či polyesterové [12; 23].

2.2.3.2 Vulkanizácia silikónov pomocou peroxidov

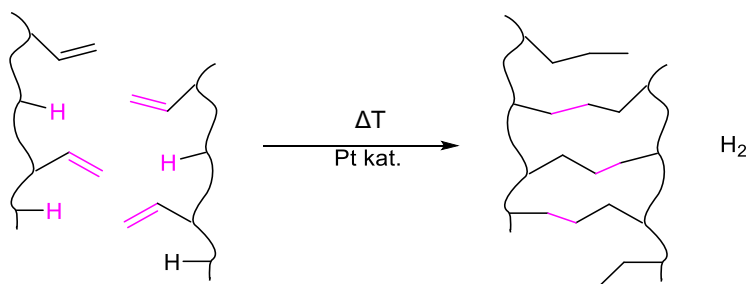
Vytvrdzovanie pomocou peroxidu funguje na princípe rozkladu organického peroxidu na reaktívne častice pri vyššej teplote. Tie následne chemicky zosieťujú reťazce cez dvojité väzby (Obr. 33). Tento spôsob sa využíva už viac ako 50 rokov a je technicky pokročilý. Takto pripravené silikóny sú dlhotrvácne a odolné voči katalytickým jedom. Niektoré sieťovadlá sú citlivé na atmosférický kyslík, ktorý deaktivuje ich funkciu a ponecháva silikóny lepkavé. Ďalšou nevýhodou je vznik vedľajších produktov, ktoré môžu byť nebezpečné pri použití v potravinárskom alebo lekárskom priemysle [24; 25]



Obrázok 33 Princíp vytvrdzovania silikónov pomocou peroxidov [24]

2.2.3.3 Sieťovanie silikónov adičným spôsobom

Princípom vytvrdzovania adičným spôsobom za prídavku platinových alebo ródiových komplexov ako katalyzátora je reakcia Si-H skupín s vinylovými (dvojítmí) väzbami za tvorby siete (Obr. 34). Komplexný kov sa ľahko viaže na elektrón donorové skupiny ako je amino alebo ogranosírová skupina katalytických jedov a stáva sa inaktívnym, preto je nutné skladovať ich v samostatnej miestnosti a byť opatrný pri spracovávaní. Rýchlosť reakcie je možné regulovať pomocou teploty. Pri tomto spôsobe vytvrdzenia nevznikajú žiadne vedľajšie produkty, ktoré by ovplyvňovali vôňu alebo chuť. Nie je problém pri sfarbovaní transparentných silikónov po vytvrdení [24; 25].



Obrázok 34 Princíp vytvrdzovania silikónov pomocou katalyzovanej adície [24]

Silikóny vytvrditeľné za teploty laboratória pozostávajúce z polydimetylsiloxánu bývajú vulkanizované platinou, organoplatinou, nízkomolekulárnym tetra(alkoxysilánom) alebo bis(2-etylhexanoát)om cinátym, prípadne možno použiť ožarovanie, pri ktorom sa skrátením C-H a C-Si väzieb vytvoria sieťovacie väzby [25; 26].

2.3 Stručný úvod do teórie adhézie záteru na textilný materiál

Kohézia materiálu je súdržná príťažlivosť sebe podobných molekúl alebo iónov, ktoré spolu interagujú. Ide o vnútornú vlastnosť látky, spôsobenú tvarom a štruktúrou jej molekúl, ktorá umožňuje vytvárať jednu hmotu. Spôsobujú ju kohézne sily, tvorené príťažlivými a odpudivými elektrostatickými silami. V kvapalinách tvorí povrchové napätie [27].

Schopnosť záteru – adherendu priľnúť k textilu – substrátu dotykovými plochami sa označuje ako adhézia. Tá môže byť zlepšená adhezívom aplikovaným na oba povrchy, ktorý ich spojí dokopy a zabráni oddeleniu. Na to, aby to adhezívum (zvyčajne s pomerne nízkou viskozitou) dokázal, musí povrchy zmáččať a priblížiť svoj kontaktný uhol takmer k 0° , následne chemickou reakciou, odparením rozpúšťadla či zachladením tavných adhezív stuhnúť na pevnú hmotu. Špecialitou sú lepidlá na páskach a štítkoch, ktoré sú senzitivne na tlak a ostávajú trvalo lepidivé [28].

Napriek tomu, že sa všeobecne zastáva názor, že povrchová energia je dôležitá pri adhézii, jej zvýšením nemusí nastať zlepšenie adhézie. Povrchové napätie teda nie je priamo úmerné energii potrebnej na oddelenie polyméru. Povrchová energia zvyčajne dosahuje hodnôt okolo $20\text{-}40 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$, kdežto hodnota energie odlupovania je 10^2 až 10^4 × väčšia a pohybuje sa v intervale 20 až $1000 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$. Mimo iniciácie adhézie teda povrchové napätie nezastáva až takú dôležitú úlohu [29].

Kontakt medzi dvoma pevnými látkami nastáva vtedy, keď interakčné sily na molekulárnej úrovni spôsobia plastickú deformáciu, pretože pri elastickej môže uvoľnenie uchovanej potenciálnej energie spôsobiť prerušenie väzby. Pomocou Dupreho vzorca, môžeme vypočítať termodynamickú adhéznú prácu:

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12}, \quad (1)$$

kde γ_1 a γ_2 sú povrchové napätia látok 1 a 2 a γ_{12} medzifázové napätie medzi látkami. Povrchové napätie σ_s a povrchová energia γ_s sú dva odlišné pojmy. Medzi prácou potrebnou na vytvorenie jednotného povrchu a prácou potrebnou na rozšírenie povrchu S existuje vzťah:

$$\gamma_s = \sigma_s + S \frac{\delta \sigma_s}{\delta S}. \quad (2)$$

Povrchové napätie je teda „plošná hustota“ energie povrchovej vrstvy látky [30].

Existuje 6 rôznych adhézných teórií [28; 29]:

- a) **Fyzikálna (disperzná) adhézia**, ktorá pozostáva zo slabých medzimolekulárnych van der Waalsových síl zahŕňajúcich interakciu medzi permanentnými a indukovanými dipólmi – nenabitými atómami a molekulami.
- b) **Chemická adhézia**, pri ktorej vznikajú kovalentné, iónové alebo vodíkové väzby medzi dvoma atómami alebo molekulami. Kovalentná väzba vzniká napríklad pri silánových činidlách a vodíková pri izokyanátových činidlách v prípade použitia dreva alebo papiera ako substrátu. C-N väzba zase vzniká pri reakcii epoxidových činidiel s povrchom pozostávajúcim z amino skupín. Keďže polyméry sú schopné reagovať na mnohých miestach reťazca, adhézia je omnoho silnejšia ako v prípade monoméru a považuje sa za najsilnejšiu adhéziu.
- c) **Interdifúzia** alebo interpenetrácia je forma difúznej adhézie, kedy sa polyméry navzájom dokážu „rozptýliť“ do seba a rozhranie sa medzi nimi odstráni. Je to možné ale len v prípade, ak sú obe látky kompatibilné (nestačí mať podobnú štruktúru, praktizovateľné skôr len pri elastoméroch) a sú

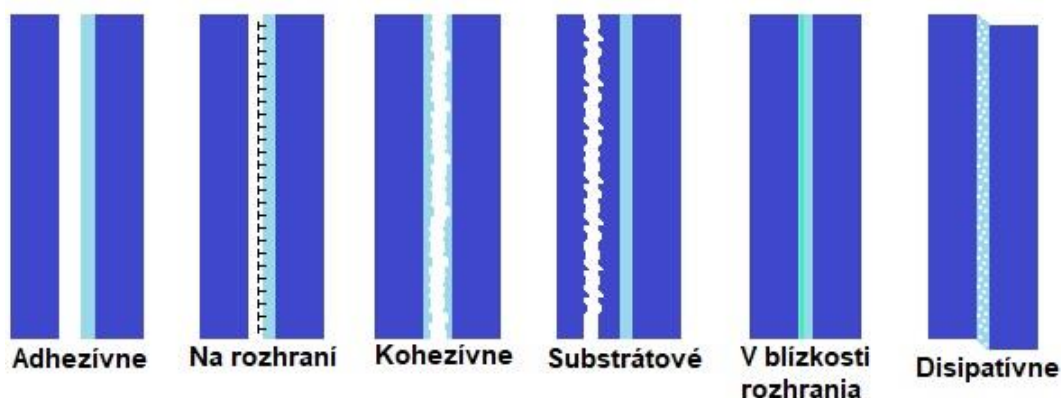
mobilné, teda nachádzajú sa nad teplotou skelného prechodu. Adhézia takto vzniká napríklad pri napučaní dvoch polystyrénových povrchov butanómom, ktorý znižuje pod teplotu okolia teplotu skelného prechodu počas interdifúzie. Ako sú povrchy stlačené dokopy, rozpúšťadlo sa odparí.

- d) Elektrostatická difúzia**, menej bežná u polymérov, vzniká vytvorením elektrickej dvojvrstvy vymieňaním elektrónov medzi dvoma substrátmi.
- e) Mechanická adhézia** – Na nepravidelnom povrchu materiálu môže adhezívum pred vytvorením vniknúť do nepravidelností ako puzzle a vytvárať tak mechanickú adhéziu. Deje sa to napríklad pri nažehlovacích aplikáciách na textil, kedy sa teplom lepidlo dostane medzi textil.
- f) Slabá medzná vrstva**, kde môže kontaminovaný povrch hrdzou alebo olejmi vytvoriť slabú vrstvu. Nevzniká vždy, pretože mnohokrát sú znečistenia rozpustné adhezívom. V takomto prípade je výhodnejšie použiť akrylátové lepidlo oproti epoxidovému, pretože to dokáže kontaminanty rozpustiť.

Povrchové vlastnosti polymérov je možné veľmi efektívne zlepšiť pomocou plazmovej úpravy. Stačí veľmi krátky čas úpravy na to, aby došlo k zmene na povrchu, bez zmeny vlastností v celkovom objeme polyméru. Plazma vytvára funkčné skupiny s obsahom kyslíka, akými je napríklad hydroxyl, čo vo výsledku zvýši zmäčavosť povrchu a adhéziu. Nevýhodou je, že táto úprava môže viesť k degradácii a starnutiu materiálu, čo by v priemysle mohlo mať neblahý vplyv z dôvodu skladovania materiálov pred ďalším zatieraním. Dlhodobá expozícia plazmou môže mať za následok skracovanie reťazcov nie len na povrchu, ale aj vnútri polyméru, kde sa môžu CH_3 skupiny oddeľovať od terciárnych uhlíkov [31; 32].

Zánik spojenia dvoch materiálov môže nastať rôznymi spôsobmi (*Obr. 35*) [33]:

- a) Adhezívne zlyhanie** – porušia sa väzby medzi substrátom a adhezívom bez toho, aby zvyšky jedného ostali na druhom a opačne
- b) Zlyhanie na rozhraní** – nastane kvôli špecifickej reakcii, napr. hydrolýze alebo separácii fáz polyméru
- c) Kohezívne zlyhanie adhezíva** – adhézia je väčšia ako kohézia adhezíva
- d) Substrátové zlyhanie** – adhézia je väčšia ako kohézia substrátu
- e) Zlyhanie v blízkosti rozhrania** – adherend a adhezívum sa ovplyvňujú iba lokálne a rozpad nastáva v blízkosti rozhrania
- f) Disipatívne zlyhanie** – nastáva po vysokej absorpcii energie systémom
- g) Štruktúrne zlyhanie** – problém je samotná mechanika, nie adhézia
- h) Koherenčné zlyhanie** – rozpad vrstvy, kvôli jej samotným problémom s koherenciou



Obrázok 35 Hlavné typy adhézných zlyhaní [33]

Na skúmanie povrchu a jeho adhézneho mechanizmu a adhéznej sily adherendov, ich fyzikálnych a chemických vlastností existuje množstvo techník. Ide napríklad o hmotnostnú spektrometriu sekundárnych iónov s analyzátorom doby letu (TOF-SIMS – *Time-of-flight secondary ion mass spectrometry*), röntgenovú fotoelektrónovú spektroskopiu (XPS – *X-ray photoelectron spectroscopy*), mikroskopiu atomárných síl (AFM – *Atomic force microscopy*), infračervenú spektroskopiu zoslabeného úplného odrazu (ATR IR – *Attenuated total reflectance infrared spectroscopy*) či pomocou rastrovacieho elektrónového mikroskopu (SEM – *Scanning electron microscope*). SFA prístroj (*Surface Forces Apparatus*) meria interakčné sily, kontaktnú plochu a akékoľvek povrchové deformácie v kontaktnej časti dvoch povrchov. Interferometer s viacerými lúčmi v ňom opticky sleduje vychýlenie pružiny s nastaviteľnou konštantou a vypočíta potrebnú silu. Meranie prebieha pri nízkej rýchlosti, pretože molekulárna sila rapídne stúpa pri znižovaní vzdialenosti medzi povrchmi [30; 31].

Na hodnotenie priľnavosti materiálov existujú rôzne deštrukčné testy, akými sú odlupovacie, trhacie či škrábacie testy. Fungujú na princípe merania sily potrebnej na odtrhnutie, zlomenie či delaminovanie povrchov na rozhraní. Tieto metódy však neposkytujú fyzikálny podklad k meraniu rôznych adhézných vlastností, dávajú relatívne hodnoty. Bhat a kol. [34] použili T-peel test (odlupovací test dvoch materiálov upnutých v tvare písmena T na univerzálnom ťahovom zariadení) na zistenie trendu zmeny adhéznej sily povrchu PP a lignocelulózy pri rôznej dĺžke expozície plazmou. Blum a kolektív [35] sledovali peel testom efekt vplyvu plniva, hmotnosti a hrúbky vrstvy na adhéziu polymetylakrylátu na sklíčko.

Ako vyplýva z predošlého textu, chemická adhézia je jednou z najsilnejších typov adhézie. Tá môže byť podporená spojovacími činidlami alebo inak nazývanými aj primery. Bežne sa v priemysle používajú organometalické zlúčeniny ako sú titanáty, zirkonáty, silány, fosfáty, thioly a iné. Ich podstatou je zmáčať povrch substrátu a vytvoriť rozhranie podporujúce adhéziu medzi substrátom a adherendom bez zvýšenia celkovej hrúbky adherendu [36].

Silány sú jedny z najlepších a najširšie využívaných spojovacích činidiel aj vďaka svojej biokompatibilite. Všeobecný vzorec takéhoto silánu je $X_{(4-n)}-Si-(R'R)_n$, kde $n=1,2$ a obsahuje X – hydrolyzovateľnú skupinu (typicky alkoxy, acyloxy, halogén alebo amín), R – organoskupinu a R' je alkylový „most“ spájajúci silikónový atóm s organoskupinou. Typickými organoskupinami sú amino, merkpto, glycidoxy, vinyl alebo metakryloxy skupiny – v Tab. 3 sú uvedené bežné silány podľa funkčných skupín a polymérnych matric, na ktoré sú schopné sa viazať. Aminosilány sú jedny z najčastejšie spomínaných činidiel používaných na prírodných vláknach, ale aj polyméroch. Za použitia peroxidových iniciátorov sa aplikujú vinylo a akrylosilány a na nenasýtené polyestery dobre reagujú metakrylové silány. Najčastejšie sa využívajú monosubstituované organosilány s tromi hydrolyzovateľnými skupinami [37].

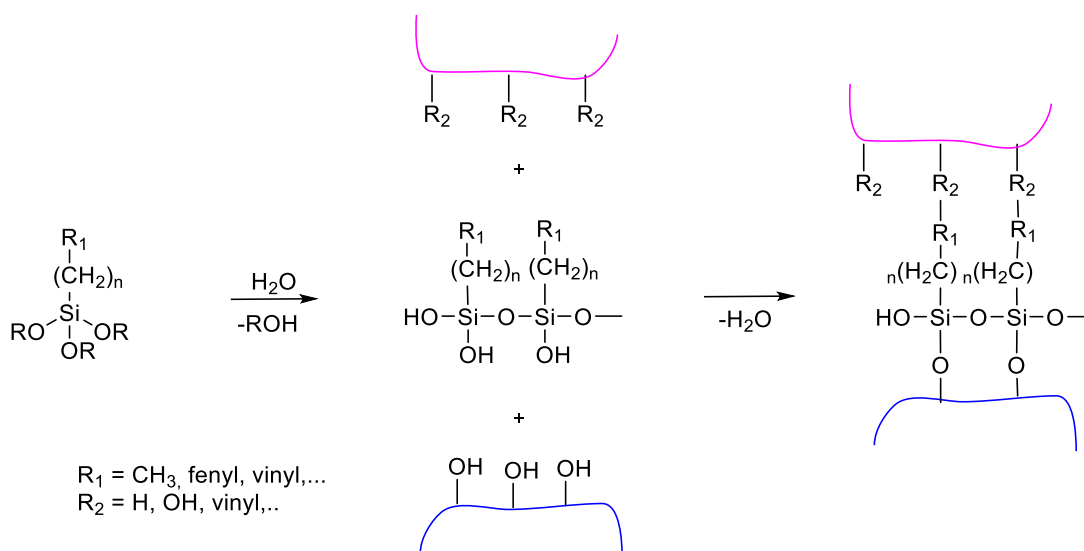
Tabuľka 3 Používané silány s funkčnými skupinami a polymérne matrice, na ktoré sú ciele [37]

Funkčná skupina	Štruktúra	Polymérna matrice
Amino	$(RO)_3Si-(CH_2)_3-NH_2^1$	Epoxid, PP, BR, Polyakrylát, PVC
Vinyl	$(RO)_3Si-CH=CH_2$	PE, PP, Polyakrylát
Metakryl	$(RO)_3Si-(CH_2)_3-OOC(CH_3)C=CH_2$	PE, Polyester
Merkapto	$(RO)_3Si-(CH_2)_3-SH$	NR, PVC
Glycidoxy	$(RO)_3Si-(CH_2)_3-O-CH_2CHCH_2O$	Epoxid, BR, Polysulfid
Chlorid	$R_2-Si-Cl_2$	PE, PVC
Azid	$(RO)_3-Si-R_n-N_3^2$	PP, PE, PS
Alkyl	$(RO)_3Si-(CH_2)_{15}CH_3$	PE, NR

¹ – R = metyl alebo etyl

² – R = -C₆H₄-SO₂-

Reakcia silánu ako adhézneho činidla prebieha hydrolyzou alkoxy skupín za vzniku hydrofilného silanolu. Jeho kondenzáciou vzniká hydrofóbny polysiloxánový film a jeho reaktivita sa odvíja od funkčných skupín, ktoré obsahuje. Pomocou OH skupín substrátu sa naň viaže cez vodíkové mostíky. Počas vytvrdzovania sa vytvárajú kovalentné väzby so substrátom za súčasnej straty vody a organoskupiny reagujú so záterom (Obr. 36). Vďaka tomu je možné vytvoriť kovalentnú väzbu medzi organickými a anorganickými materiálmi [36; 37].



Obrázok 36 Schematický princíp reakcie adhézneho činidla s adherendami

2.4 Vývoj trendov riešenej problematiky

Inovácie v štúdiu adhézie silikónových záterov na textile v rozsahu a spracovateľnosti diplomovej práce na vedeckom poli neboli nádejné, možno sa nepublikujú v takej miere, ako by bolo želané. Priemysel však stále napreduje a prichádza s novinkami vo svete zatretých výrobkov, no taktiež existuje mnoho iných smerov v záterovej technológii silikónov, ktorými sa veda a technika uberá. Tu sú aspoň v krátkosti spomenuté niektoré zaujímavé z nich.

Dopyt po vývoji odolnejších textílií ide stále dopredu. Jedno z vylepšení skúmali aj Moiz a spol. [38] kde silikónový záter upravili fluoropolymérmí, aby bavlnená tkanina získala „superomnifóbny“ povrch – bola odolná proti všemožným chemikáliám, vode, oleju, pôde. Ďalšou pridanou hodnotou fluoropolymérov bol fakt, že sú priateľské k životnému prostrediu. Záterom sa síce zväčší tuhosť látky, drsnosť či povrchové trenie, no aj po praní a žmolkovaní je bavlna schopná odpudzovať väčšinu chemikálií. Drobné problémy spôsobujú tie s podobným povrchovým napätím ako nános a zníženie tepelnej odolnosti oproti čistej tkanine.

Pause [39] riešila využitie silikónového záteru na tkanine zo skleneného vlákna ako nosiča na membránovom materiáli v stavebníctve. Membrána na strechách domov má zabezpečiť zníženie vnikania tepla v lete a jeho únik v zime. Táto tepelnoizolačná kapacita využíva skupenské teplo fázovej premeny – PCM materiálu, vďaka čomu vznikne bezúdržbové trvalé riešenie bez využitia ďalšej energie.

Leroux a spol. [40] sa už v 2009 venovali úprave polyesterovej textílie plazmou za atmosférického tlaku vzduchu. Pomocou dielektrického bariérového výboja môže byť povrch PET (film, tkanina i netkaná textília) oxidovaný plazmou za vzniku polárnych hydroxylových a karboxylových skupín pri rozpade esterovej väzby. Tým sa zvýši povrchová energia, adhézia, zmáčavosť či kapilarita. Pre merania boli použité silikóny polydimetylsiloxánového druhu, no bolo nutné využiť aj adhézne činidlá na báze trimetylsiloxánu a kovového alkoxidu. O 10 rokov neskôr novší výskum z Turecka [41] skúmal vplyv rádiových plazmových úprav dopravných polyesterových pásov za rôznych podmienok sily a času v argóne a na vzduchu. Zvyšovaním sily aj času plazmovania nastala lepšia adhézia, zdrsnením povrchu a zvýšením obsahu funkčných skupín obsahujúcich kyslík.

Ošetrovaním polyamidovej (PA6) netkanej textílie koronovým výbojom sa zaoberala Kowalczyk s Kamińskou v [42]. Táto predúprava má efekt na adhéziu tenkej vinyltrietoxysilánovej vrstvy pripravenej sol-gelovou metódou z hybridného Al_2O_3/SiO_2 solu. Výbojom nastalo zvýšenie drsnosti, zmáčavosti, povrchovej energie vlákien a vytvorením polárnych éterových, esterových a hydroxylových skupín nastala vyššia depozícia solu oproti neupraveným vláknám. Povrch získal hydrofilný charakter, ktorý vytvorením hybridného sol-gelového nánosu dosiahol hydrofóbne vlastnosti.

Zaujímavosťou je, že napriek tomu, že silikónový záter je nevodivý, v najnovších výskumoch z roku 2020 sa vedci zaoberajú jeho využitím v rôznych elektronických aplikáciách na tzv. e-textíliách. Tie sú využiteľné v športe, na ochranných oblekoch, zdravotníctve či priemysle ako elektronické senzory, úložiská dát, v optoelektronike či fotonike. Sarrar a spol. [43] sa zaoberali výberom vhodného hmatového senzora používaného na získanie fyzikálnych vlastností na základe vodivosti. Tieto senzory citlivosťou podobné koži sú schopné rozpoznať mechanickú deformáciu akou je tlak či deformácia na základe elektrického výstupu – zmenou odporu, potenciálu, kapacitancie. Využitie textilných materiálov môže pomôcť zlepšiť hysteréziu signálu a citlivosť detekcie vďaka viacvrstvovým štruktúram tkaniny. Silikónovo zatretá vzorka komerčného textilu bola postriebrená, aby získala vodivosť. Ukázalo sa, že oproti vzorke s nitrilovým záterom dosahuje lepšiu elastickú regeneráciu a vyššiu odolnosť voči axiálnemu zaťažaniu a je tak vhodnejšia pre použitie do hmatových senzorov elektrickej impedančnej tomografie zaoberajúcej sa rozvojom elektronickej pokožky.

Ostršek a spol. [44] zase skúmali účinnosť záterovej ochrany vodivých dráh meďou potiahnutej polyesterovej tkaniny. Išlo o 4 rôzne zátery: polyuretánový, akrylátový, polydimetylsiloxánový a epoxidový a riešila sa odolnosť voči odieraniu a praniu bez zmeny fyzikálno-mechanických a optických vlastností medi a tkaniny. Najlepšie výsledky ochrany medi na tkanine dosiahol polyuretánový záter, epoxidový bol naopak tuhý a málo trvanlivý. Silikónový záter dosahoval vysokú odolnosť voči oderu a fotostabilitu, akrylátová živica spolu s polyuretánovou zase mali vplyv na priepustnosť vzduchu.

3 CIELE PRÁCE

Cieľom predloženej diplomovej práce je:

- literárna rešerš aktuálneho stavu technológie nanášania záteru, textilných materiálov bežne používaných pri nánosoch, typov zatieraných polymérov a vlastností záterov, chémie silikónov a adhézie medzi záterom a textíliou;
- optimalizácia technológie a príprava vzoriek textilných záterov, vytvorenie metódy pre testovanie adhézie, štúdium podpory zlepšenia príľnavosti chemickou adhéziou pomocou činidiel a sledovanie vplyvu vedľajších reakcií činidiel na kohéziu silikónu;
- charakteristika vzoriek silikónu pomocou infračervenej spektroskopie, pozorovanie zmien a správania záteru pod optickým mikroskopom, sledovanie ťahovo-deformačných vlastností silikónu s adhezívnymi činidlami, priedušnosti, hmotnosti, omaku a farebnej stálosti záteru;
- orientačné stanovenie vplyvu teploty spracovania a prídavku adhezívneho činidla na kohéziu a adhéziu záteru.

4 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

4.1 Použité materiály a chemikálie

Tabuľka 4 Použité materiály a chemikálie pri príprave vzoriek

Označenie	Zloženie	M_r [g·mol ⁻¹]
NT	Polydimetylsiloxán s funkč. skup. + pomocné látky pre adičné zosieťovanie, zložka A	-
C525	Polyhydrogénmetylsiloxán, zložka B	-
G790	silán a siloxán s funkč. skup. + pomocné látky + rozpúšťadlo	-
LR A	Polydimetylsiloxán s vinyl. skup. + pomocné látky, zložka A	-
LR B	Polydimetylsiloxán s funkč. skup. + pomocné látky pre adičné zosieťovanie, zložka B	-
LR F	Polydimetylsiloxán s funkč. skup. a pomocné látky pre adičné zosieťovanie	-
RTV A	Silikónový elastomér, zložka A	-
RTV B	Tekutý silikónové sieťovadlo, zložka B	-
VTMO	vinyltrimetoxysilán	148,23
HYDROSIL	Amino funkčný polysiloxán vodná príprava	-
VTEO	vinyltriethoxysilán	190,31
GLYMO	(3-glycidylxypropyl) trimetoxysilán	236,34
GLYEO	(3-glycidylxypropyl) triethoxysilán	278,42
VTMOEO	vinyltris(2-metoxyethoxy)silán	280,39
TOMP	Vodná disperzia alifatického polyuretánu	-
APCI	Alifatické blokované sieťovacie činidlo	-
DOSP	Tetrakis(2-butoxyethoxy)silan, Tetra n-butyltitanát, Oktamethyltrisiloxan	-
Tkanina	Polyester, 70 g·m ⁻²	-
MS1	Sklenené vlákno, 232 g·m ⁻²	-
MS2	Sklenené vlákno, 67 g·m ⁻²	-

4.2 Použité prístroje a nástroje

Tabuľka 5 Zoznam použitých prístrojov a nástrojov so špecifikáciami

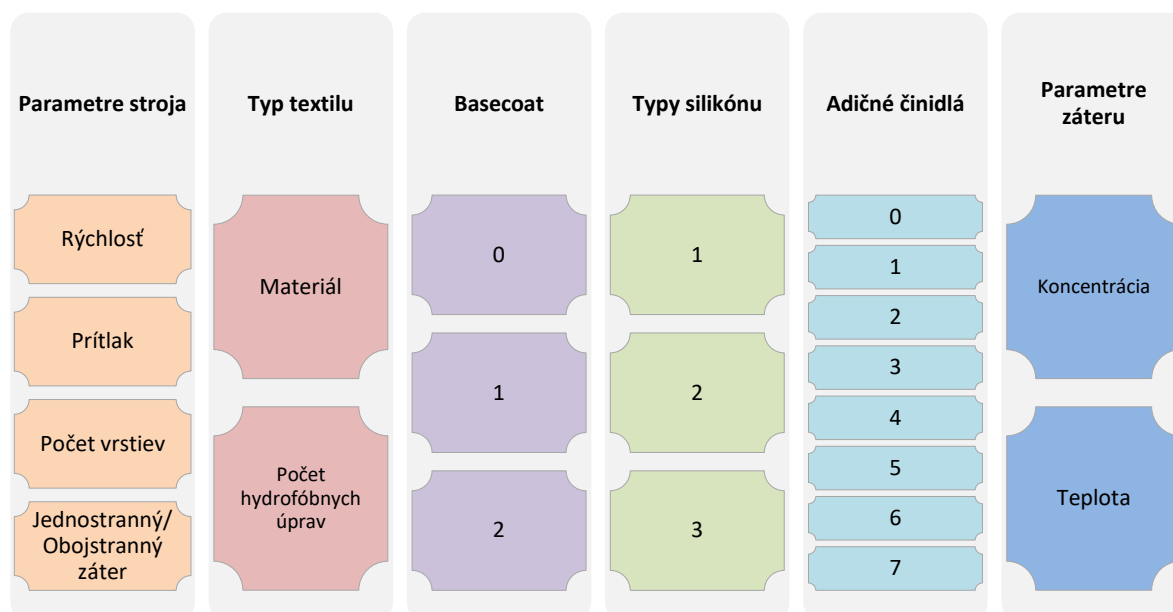
Prístroj	Výrobca	Špecifikácia
Zatieracia linka LZ-01	inoTEX s.r.o, Dvůr Králové n. L. - 2003	10 rýchlostí
Priamy optický polarizačný mikroskop BX 50	Olympus	Objektív 4×, 10×, 20× a 50× Fotoaparát Camedia C-5060
Sušiareň Venticell III - standard	Brněnská Medicínska Technika a.s.	-
Sušiareň Memmert	Memmert	-
Teplovzdušná pištoľ HL2305 LCD	Steinel Technik s.r.o.	50–650 °C, 250-500 l·min ⁻¹
Digitálny LCD teplomer, vlhkomer 1469216578	Eclipse s.r.o.	Presnosť ± 1 °C, ± 5 % rozlíšenie 1 %
Váhy EMP 500-1	KERN and Sohn GmbH, Germany	d = 0,1 g, Max 500 g
Analytické váhy AB204-S/PH	Mettler Toledo - 2016	e = 1 mg, d = 0,1 mg rozsah 10 mg – 220 g
Digitálny mikrometer 293-140	Mitutoyo	Presnosť ± 1 µm, rozlíšenie 0,001 mm, rozsah 0-25 mm
Posuvné meradlo 6040-05-100	Kinex Measuring a.s.	Veľkosť 100/40/0,01 mm
Multi-user vákuový systém Labobase SBC	KNF Group	60 l·min ⁻¹ , max 4 mbar
Dierkovač 518-1589	Kennedy	19,05 mm – ¾“
Univerzálne ťahové zariadenie Zwick Roell Z010	Zwick Roell, Germany - 2015	Čítilivosť 2 mV/V nominálna sila 1 kN
Porozimeter MK 1	JD Electronic SA	0,25 l vzduchu, 10 mbar, φ = 38,5 cm ²
Trepací prístroj OF 1.1-230-50-EU	STFans	Rýchlosť 2800 RPM
Váhy na plošnú hmotnosť WLC 0,6/B1	LESÁK a ZEMAN - 2011	e = 0,1 g, d = 0,01 g rozsah 0,5 g – 0,6 kg
Hydraulický lis HLR-12	PROMA CZ s.r.o., Dobruška - 2007	Kapacita 12 ton Tlačná sila 120 kN
FTIR spektrometer TENSOR 27	Bruker Optics	Rozsah 7 500-370 cm ⁻¹ , interferometer RockSolid
Spektrofotometer Check 3	Datacolor Inc.	Pulzný Xe zdroj, 360-700 nm

4.3 Metódy prípravy vzoriek

K dispozícii na fakulte bol zatierací prístroj LZ-01 (inoTEX s.r.o.) (Obr. 38) schopný zatrieť látku dĺžky cca. 830 mm s plávajúcim nožom v 90° uhle nad dvomi valcami s 10 rôznymi rýchlosťami a pohybom v dvoch smeroch. Keďže sa nejedná o priemyselnú veľkokapacitnú výrobu, na rozdiel od nej bol pohyblivý nôž, nie látka. Stroj mal nastaviteľnú rýchlosť pohybu noža a prítlak noža na látku.

Na všetky vzorky bol použitý jeden typ polyesterovej tkaniny v dvoch farbách a troch úpravách: bez, s jednou a dvomi vrstvami hydrofóbnej úpravy. Následne boli vybrané dva rôzne basecoaty na predúpravu pred záterom samotného silikónu. Ako hlavná zložka vzoriek boli vybrané tri rôzne silikóny a sedem rôznych adičných činidiel. Ako ďalší parameter bolo možné meniť počet vrstiev záteru, prípadne obojstrannosť. Čo sa týka optimalizácie parametrov záteru, bolo možné upravovať koncentráciu adičného činidla a teplotu vytvrdzovania.

Proces prípravy zatieraných vzoriek poskytol dané možnosti:



Obrázok 37 Návrh experimentu

4.3.1 Zatieranie vzoriek tkaniny

Prvá zložka prípravy vzoriek bola tkanina – UV stabilizovaná technická tkanina s protinátrhovou mriežkou zo 100 % polyesteru, s plošnou hmotnosťou 70 g·m⁻² a hrúbkou asi 0,08 mm. Okrem čistej tkaniny boli na záter použité aj tkaniny s komerčne pripravenou hydrofóbnou úpravou v jednej alebo dvoch vrstvách. Táto úprava bola fluórkarbonová, vode a oleju odolná.

Ďalším voliteľným prídavkom bol basecoat, ktorý slúžil na zlepšenie chemickej adhézie, aby následný silikónový záter s polyesterovou tkaninou vytvoril pevnejšie a kompaktnéjšie väzby, ako druhá forma adhezívneho činidla. Prvý, DOSP, pozostával zo silánu a oktametyltrisiloxánu, druhý TOMP so sieťovadlom APCI bol na báze vodnej disperzie alifatického blokovaného polyuretánu.

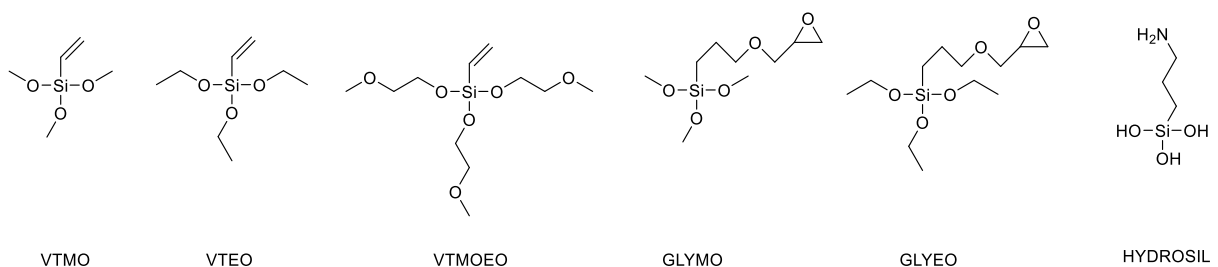
Naň už bol aplikovaný samotný silikónový záter v dvoch vrstvách. Rýchlosť posunu noža bola permanentne nastavená na 8 (z rozsahu 1-10 rýchlostí, Každá nová vrstva záteru bola vytvrdená teplovzdušnou pištoľou HL2305 LCD (Steinel Technik s.r.o.) na 150 °C po dobu asi 5 min. Kompletný záter bol na konci vložený do sušiarne Memmert na 150 °C, 3 min.



Obrázok 38 Zatiaracia linka LZ-01

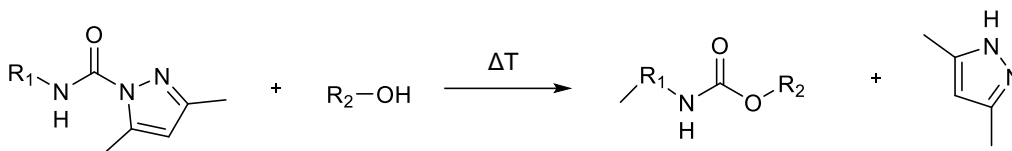
Na vzorky boli použité 3 komerčne dostupné silikóny na báze polydimetylsiloxánu s rôznymi funkčnými skupinami a adičným spôsobom vytvrdzovania.

K nim boli vybrané adhézne činidlá na zlepšenie chemickej adhézie s predpokladom obsahu dvojitej väzby, prípadne glycidylxy funkčnej skupiny, ktorá by bola ochotná reagovať s silikónom. Druhou dôležitou podmienkou pri výbere činidla bol obsah hydrolyzovateľných alkoxy skupín, ktoré boli následne schopné kondenzovať s hydroxylovými skupinami polyesterovej tkaniny (Obr. 39). Z hľadiska stérického bránenia je hydrolyza methoxy skupiny rýchlejšia ako ethoxy skupiny. Metoxyskupina je na druhú stranu toxickjšia, pretože vzniká metanol ako produkt hydrolyzy. Vybrané boli činidlá obsahujúce vinyltrimetoxysilán (VTMO), vinyltrietoxysilán (VTEO), vinyltris(2-metoxyethoxy) silán (VTMOEO), (3-glycidylxypropyl) trimetoxysilán (GLYMO), (3-glycidylxypropyl) trietoxysilán (GLYEO) a jeden komerčný „silán a siloxán s funkčnými skupinami“ (G790).



Obrázok 39 Vzorce jednotlivých činidiel

Ku polyuretánovému basecoatu TOMP bolo vybrané aj jedno činidlo HYDROSIL s obsahom amino skupiny – 3-aminopropylsilánhydrolyzát (Obr. 39). Princípom reakcie basecoatu je zvýšením teploty počas spracovania odstrániť blokujúci pyrazol z vodnej disperzie diizokyanátu a diolu a umožniť tak jeho zosieťovanie (Obr. 40). Voliteľný prídavok blokovaného diizokyanátu APCI ako sieťovadla umožňuje vytvorenie hustejšej siete. Amino skupina spolu s hydroxylovými skupinami silánu a hydroxylmi polyesteru sú schopné reagovať s izokyanátovou väzbou a dôjde k vytvrdeniu.



Obrázok 40 Schematický náčrt deblokácie izoykanátu zvýšením teploty

Jednotlivé značenie vzoriek, výber tkaniny, navážky komponentov, vrstvy záteru a prítlak noža sú uvedené v Tab. 6. V poslednom stĺpci sú uvedené poznámky k dôvodu prípravy či presnejší popis vzorky.

Tabuľka 6 Zoznam vykonaných záterov a ich zloženie

Označenie	Textil. úprava	Zloženie			Vrstvy záteru	Prítlak [mm]	Pozn.
SB0NCG2_1	0	20 g NT	3 % C525	5 % G790	2	8+8	Preloženie na polovicu
SB0NCG2_2	0	20 g NT	3 % C525	5 % G790	2	8+2	-
SB0NCG3_3	0	20 g NT	3 % C525	5 % G790	3	8+8+2	-
SB0NCG123_4	0	20 g NT	3 % C525	5 % G790	3	8+8+2	3+2+1
SB0NCG2_5	0	20 g NT	3 % C525	5 % G790	2	8+2	-
SB0NC3_6	0	20 g NT	3 % C525	-	3	8+8+2	Časť lepená
SB1NCG3_7	1	20 g NT	3 % C525	5 % G790	3	8+8+2	Časť lepená
SB0BCG2_8	0	20 g NT 20 g LR F	5 % C525	5 % G790	2×2	8+8	Polovica čiernej spodná, horná
SB0NCG2_9	0	20 g NT	3 % C525	5 % G790	2	8+8	Suš aj po 1.
SB0NCG2_10	0	20 g NT	3 % C525	5 % G790	2	8+8	24 hod exikátor s vodou
SB0NCVM2_11	0	20 g NT	3 % C525	5 % VTMO	2	8+8	-
SB0NC2_12	0	20 g NT	3 % C525	-	2	8+8	-
SB0L2_13	0	10 g LR A	10 g LR B	-	2	8+8	-
SB0R2_14	0	20 g RTV A	2 g RTV B	-	2	8+8	-
SB0L2_15	0	10 g LR A	10 g LR B	-	2	8+8	-
SB0LG2_16	0	10 g LR A	10 g LR B	5 % G790	2	8+8	-
SB0LVM2_17	0	10 g LR A	10 g LR B	5 % VTMO	2	8+8	-
SB0L3_18	0	15 g LR A	15 g LR B	-	3	8+8+8	3.bez sušiarne
SB0TL3_19	0	10 g LR A	10 g LR B	12 g TOMP	3	8+8+8	-
SB0L2_20	0	10 g LR A	10 g LR B	-	2	8+8	-
SB0L2_21							-
SB0LVM2_22	0	10 g LR A	10 g LR B	5 % VTMO	2	8+8	-
SB0LVM2_23							-
SB0LVE2_24	0	10 g LR A	10 g LR B	5 % VTEO	2	8+8	-
SB0LVE2_25							-
SB0LG2_26	0	10 g LR A	10 g LR B	5 % G790	2	8+8	-
SB0LG2_27							-
SB0LGE2_28	0	10 g LR A	10 g LR B	5 % GLYEO	2	8+8	-
SB0LGE2_29							-

Tabuľka 6 Zoznam vykonaných záterov a ich zloženie (pokr.)

Označenie	Textil. úprava	Zloženie			Vrstvy záteru	Prítlak [mm]	Pozn.
SB0LD3_30	0	10 g LR A	10 g LR B	12 g DOSP	3	8+8	-
SB0LD3_31							-
SB0LT3_32	0	10 g LR A	10 g LR B	10 g TOMP+APCI	3	8+8	-
SB0LT3_33							-
SB0LGM2_34	0	10 g LR A	10 g LR B	5 % GLYMO	2	8+8	-
SB0LGM2_35							-
SB0LVO2_36	0	10 g LR A	10 g LR B	5 % VTMOEO	2	8+8	-
SB0LVO2_37							-
SB0TLH3_38	0	10 g LR A	10 g LR B	10 g TOMP+APCI	3	8+8+8	-
SB0TLH3_39				5 % HYDROSIL			-
SB0N2_40	0	20 g NT	3 % C525	-	2	8+8	-
SB0N2_41							-
SB0DN3_42	0	20 g NT	3 % C525	12 g DOSP	3	8+8	-
SB0DN3_43		10 g NT					-
SB0TN3_44	0	20 g NT	3 % C525	10 g TOMP+APCI	3	8+8+8	-
SB0TN3_45		10 g NT					-
SB0NG2_46	0	20 g NT	3 % C525	5 % G790	2	8+8	-
SB0NG2_47							-
SB0NGM2_48	0	20 g NT	3 % C525	5 % GLYMO	2	8+8	-
SB0NGM2_49		10 g NT					-
SB1L2_50	1	10 g LR A	10 g LR B	-	2	8+8	-
SB1L2_51							-
SB1LG2_52	1	10 g LR A	10 g LR B	5 % G790	2	8+8	-
SB1LG2_53		5 g LR A	5 g LR B				-
SB1LGM2_54	1	10 g LR A	10 g LR B	5 % GLYMO	2	8+8	-
SB1LGM2_55		5 g LR A	5 g LR B				-
SB1DL3_56	1	10 g LR A	10 g LR B	12 g DOSP	3	8+8+8	-
SB2L2_57	2	10 g LR A	10 g LR B	-	2	8+8	-
SB2L2_58							-
SB2LG2_59	2	10 g LR A	10 g LR B	5 % G790	2	8+8	-
SB2LG2_60		5 g LR A	5 g LR B				-
SB2LGM2_61	2	10 g LR A	10 g LR B	5 % GLYMO	2	8+8	-
SB2LGM2_62		5 g LR A	5 g LR B				-
SB2DL3_63	2	10 g LR A	10 g LR B	12 g DOSP	3	8+8+8	-
SB0L022_64	0	10 g LR A	10 g LR B	2 % VTMO	2	8+8	-
SB0L102_65	0	5 g LR A	5 g LR B	10 % VTMO	2	8+8	-
SB0L202_66				20 % VTMO	2	8+8	-

Ako prvý bol optimalizovaný prítlak noža – z rozsahu 0-10 mm sa optimálnym stalo 8 mm pri 2 vrstvách, ktorým boli následne zatierané všetky vzorky. Pri vzorke SB1NCG3_7 bola použitá biela tkanina s 1 vrstvou hydrofóbnej úpravy (Obr. 41). Na vzorke SB0BCG2_8 bola vyskúšaná aj čierna varianta LR silikónu (plnená sadzami) v jednej vrstve (Obr. 42). Vzorka SB0NCG2_9 bola spracovaná v sušiarňi aj po prvej vrstve záteru, žiaden efekt to ale nemalo. Na vzorke SB0NCG2_10 bol testovaný vplyv vlhkého

prostredia pri uchovávaní tkaniny (nahriata textília bola vložená do exikátora s vodou po dobu 24 hod), ten ale tiež žiadnu zmenu vlastností nepreukázal. Záter vzoriek od *SB0NCVM2_11* až po *SB0TL3_19* bol skúšobný pre rôzne varianty kombinácií silikónu a adhézneho činidla a následne aj vzoriek pre peel testovanie. Silikón RTV bol vylúčený zo zatieraných vzoriek, používaný bol do prípravku na peel testovanie. Vzorky od *SB0L2_20* po *SB1LGM2_55* a od *SB2L2_57* do *SB2LGM2_62* boli vždy pripravené v 2 rovnakých exemplároch. Vo vzorkách *SB0L022_64* až *SB0L202_66* bola upravená koncentrácia adhézneho činidla.



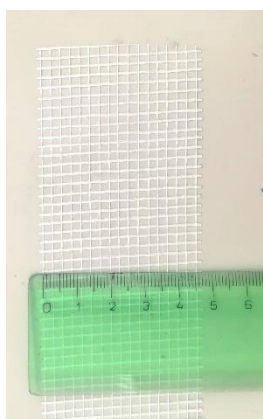
Obrázok 41 Biela tkanina na zatieracej linke



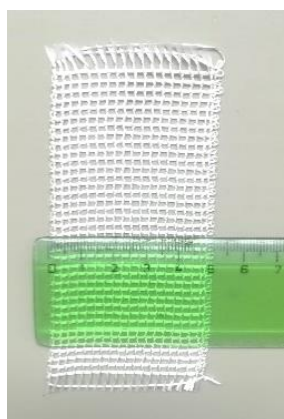
Obrázok 42 Čierny záter LR F

4.3.2 Príprava vzoriek pre peel testovanie

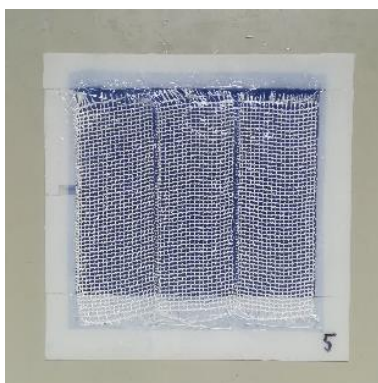
Vzorky zatrenej tkaniny boli v rozmere 16×16 cm vložené do vopred pripravenej formy o rozmeroch 15×15 cm (Obr. 45). Jeden okraj tkaniny bol prekrytý obojstrannou lepiacou páskou v šírke asi 1,5 cm, aby nedošlo k zlepeniu úchytovej na odlupovací test silikónovej a tkaninovej časti vzorky. Následne bola forma vyplnená mriežkou 3× po 5 cm na spevnenie silikónovej časti, aby nedochádzalo k jej naťahovaniu počas testovania. Najskôr bola zvolená mriežka MS1 (Obr. 43), po testovaní niektorých vzoriek ale bolo zistené, že sa pri teste s vyššou adhezívnou silou „vyťahuje“ von zo silikónu. Preto bola neskôr nahradená sklenenou pevnejšou mriežkou MS2 (Obr. 44). Prípravky boli po vákuovaní vo vákuovom systéme Labobase SBC (KNF group) ponechané na vytvrdenie po dobu 24 hodín (niektoré aj pri teplote 150 °C, 3 min v sušiarňi) a po odležaní boli narezané na pásy šírky 25 mm (Obr. 46).



Obrázok 43 Vystužovacia mriežka MS1



Obrázok 44 Vystužovacia mriežka MS2



Obrázok 45 Forma na prípravok pre peel test



Obrázok 46 Vzorky na T-peel test

Tabuľka 7 Zoznam vytvorených prípravkov na peel test

Ozn.	Záter	Zloženie prípravku				Poznámka
12B	12	30 g RTV A	3 g RTV B	-	MS1	-
13B	13	30 g RTV A	3 g RTV B	-	MS1	-
14A		30 g RTV A	3 g RTV B	-	MS1	-
14B	14	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % G790	MS1	-
14C		30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS1	-
14D		30 g RTV A	3 g RTV B	5 % HYDROSIL	MS1	-

Tabuľka 7 Zoznam vytvorených prípravkov na peel test (pokr.)

Ozn.	Záter	Zloženie prípravku				Poznámka
15A	15	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS1	-
16A	16	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS1	-
17A	17	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS1	-
18A	18	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS1	-
19A	19	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS1	-
21B	21	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS1	T ₁₅₀
21C		30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
23B	23	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	T ₁₅₀
23C		30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
25A	25	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
25B		30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	T ₁₅₀
27A	27	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
27B		30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	T ₁₅₀
29A	29	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
29B		30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	T ₁₅₀
31C	31	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
33A	33	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
33B		30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	T ₁₅₀
35A	35	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
37A	37	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
39A	39	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
41A	41	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
43A	43	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
45A	45	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
47A	47	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
49A	49	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
51A	51	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
53A	53	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
55A	55	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
56A	56	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
58A	58	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
60A	60	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
62A	62	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
63A	63	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
64A	64	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
65A	65	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-
66A	66	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	MS2	-

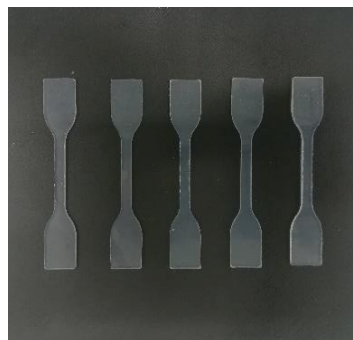
4.3.3 Príprava vzoriek na testovanie kohézie silikónu

Vzorok na testovanie kohézie – ťahovo deformačných vlastností zatieraného silikónu boli pripravené podľa normy BS ISO 37:2005. Jednalo sa o dogbony typu 2 – s celkovou dĺžkou min 75 mm, hrúbkou 2 mm ± 0,02 mm, šírkou úzkej časti 4 mm ± 0,1 mm a dĺžkou testovanej časti 25 mm ± 1 mm (Obr. 48).

Do vopred pripravenej formy rozmerov 15×9 cm a výškou 1-2 mm (Obr. 47) bol vyliaty pripravený namiešaný silikón po odstránení bublín pomocou vákuového systému Labobase pri tlaku asi 20 mbar. Forma bola následne vložená do sušiarne Venticel III – standard (BMT a.s.) na určenú teplotu (150 alebo 180 °C) po dobu 20 min. Po vytvrdnutí silikónu, odformovaní a 24 hodinovej temperácii boli zo vzniknutého plátu vyrazené dogbony normovaného tvaru hydraulickým lisom HLR-12 (PROMA CZ s.r.o.). V Tab. 8 sú uvedené označené vzorky spolu so zložením, navážkami a teplotou, pri ktorej boli vytvrdzované.



Obrázok 47 Forma na prípravu plátu silikónu



Obrázok 48 Pripravené dogbony zo silikónu

Tabuľka 8 Zoznam vzoriek dogbonov podľa zloženia

Označenie	Zloženie			Teplota [°C]
D1	15 g LR A	15 g LR B	-	150
D2	15 g LR A	15 g LR B	5 % VTMO	150
D3	15 g LR A	15 g LR B	5 % VTEO	150
D4	15 g LR A	15 g LR B	5 % GLYMO	150
D5	15 g LR A	15 g LR B	5 % GLYEO	150
D6	15 g LR A	15 g LR B	5 % VTMOEO	150
D7	20 g NT	3 % C525	-	150
D8	20 g NT	3 % C525	5 % GLYMO	150
D9	10 g LR A	10 g LR B	-	180
D10	10 g LR A	10 g LR B	5 % VTMO	180
D11	10 g LR A	10 g LR B	5 % VTEO	180
D12	10 g LR A	10 g LR B	5 % GLYEO	180
D13	10 g LR A	10 g LR B	5 % GLYMO	180
D14	10 g LR A	10 g LR B	5 % VTMOEO	180
D15	15 g LR A	15 g LR B	5 % G790	150
D16	20 g NT	3 % C525	5 % G790	150
D17	10 g LR A	10 g LR B	5 % G790	180
D18	10 g LR A	10 g LR B	2 % VTMO	150
D19	30 g RTV A	3 g RTV B	5 % VTMO	24

Vzorky boli v každom zložení pripravené s vytvrdzovaním pri 150 a rovnako aj 180 °C. Väčšina vzoriek bola zložená zo silikónu LR a 5 % prídavku adhézneho činidla. Pre silikón NT boli zvolené činidlá GLYMO a VTMO a jedna vzorka bola pripravená z RTV silikónu s VTMO za laboratórnej teploty. Tá imitovala zloženie prípravku na meranie T-peel testovania.

4.4 Metódy analýzy pripravených vzoriek

4.4.1 Optická mikroskopia

Optická mikroskopia umožňuje sledovať objekty až do 1000 násobného zväčšenia pomocou viditeľného svetla a sústavy šošoviek. Najčastejšie sa používa mód v svetelnom poli s osvitom zdola – vzorky musia byť priepustné pre dané svetlo. Súčasťou osvetľovacej sústavy bežne bývajú polarizátor a analyzátor – vzniká lineárne polarizované svetlo a možno určiť jeho vlastnosti. Medzi objektív a analyzátor ešte možno vložiť napr. spomaľovaciu doštičku – slúži k vytvoreniu dráhového rozdielu medzi riadnym a mimoriadnym paprskom dvojlomných materiálov.

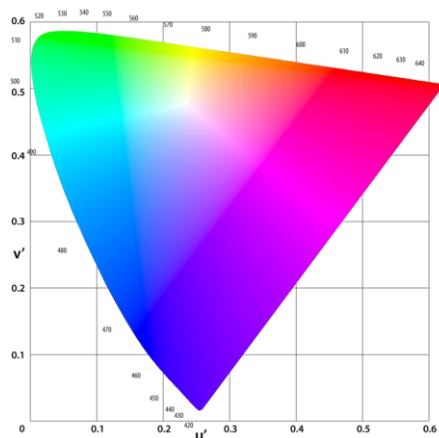
Vzorky boli analyzované pomocou priameho optického polarizačného mikroskopu BX 50 (Olympus) pomocou objektívov 4×, 10×, 20× a 50× a odfotografované pomocou fotoaparátu Camedia C-5060 (Olympus).

4.4.2 Kolorimetria – meranie farebnej stálosti

Ľudské oko vníma zmenu farby subjektívnym posúdením, na objektívne hodnotenie zmeny farby slúži kolorimetria. Systém CMC farebného rozdielu a tolerancie funguje na princípe kolorimetrického systému CIE 1976 navrhnutý komisiou CIE (International Commission on Illumination) a typicky sa používa v priemysle ako meradlo komerčnej prijateľnosti odchýlky farby výrobku vo výrobe. Stanovením jednej tolerančnej hodnoty farebnej odchýlky ΔE_{CMC} je možné schváliť alebo zamietnuť podobné výrobky rôznych farieb. Vzorec pre výpočet zmeny farby:

$$\Delta E_{CMC} = \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta L^*}{S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{S_H}\right)^2\right]} \quad (3)$$

kde ΔL^* hovorí o svetlosti, ΔC^* o sýtosti a ΔH^* o odtieni. S_L , S_C a S_H sú funkcie, ktoré upravujú zmeny podľa toho, v ktorej časti farebného priestoru CIE 1976 (Obr. 49) sa meranie nachádza. Hodnoty l a c si väčšinou užívateľ určuje sám, v priemysle sa ale zvyčajne pre l používa hodnota 1 a pre textilnú výrobu parameter c zvyčajne nadobúda hodnotu 2. Čím je hodnota farebnej odchýlky menšia, tým sú si dve farby podobnejšie. Stanovenie maximálneho možného rozdielu medzi štandardnou a meranou farbou je v kompetencii daného pozorovateľa, zvyčajne je hodnota ΔE_{CMC} do 2,0 vnímaná ešte ako farebná zhoda, rozdiel väčší ako 8 už je braný ako výrazný [45; 46].



Obrázok 49 Farebný priestor CIE 1976 [51]

Pripravené vzorky boli merané pomocou spektrofotometra Check 3 (Datacolor Inc.) na osvetlení D65 a 10° fotometrického pozorovateľa.

4.4.3 Infračervená spektroskopia s Fourierovou transformáciou

Infračervená spektroskopia (IR) je kvalitatívna a kvantitatívna analytická metóda slúžiaca na identifikáciu a štruktúrnu charakterizáciu látok. Meria pohltenie infračerveného žiarenia s rôznou vlnovou dĺžkou materiálom, počas ktorého dochádza k zmene rotačne vibračného energetického stavu. K zmene dochádza iba pri zmene dipólového momentu molekuly. Podľa vlnových dĺžok žiarenia sa IR delí na ďalekú – FIR – 400 až 10 cm^{-1} , strednú – NIR – 12 500 až 4000 cm^{-1} a blízku – MIR 4000 až 400 cm^{-1} . Pri valenčnej vibrácii sa mení dĺžka väzby a môže ísť o symetrickú alebo antisymetrickú vibráciu. Pri deformačnej vibrácii sa mení uhol väzby a pri rovinnej vibrácii nastáva nožnicový alebo kyvadlový pohyb a pri mimorovinnej o vejárový alebo krúťivý pohyb. Pri tejto metóde sú využívané 3 typy spektrometrov – disperzné, nedisperzné a interferometrické. Posledný spomínaný je napríklad FTIR s ATR – spektrometer s Fourierovou transformáciou pri úplnom zoslabenom odraze. Podstatou je jeden alebo viacnásobný úplný odraz IR žiarenia, ktoré preniká do hĺbky $0,5\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$, na fázovom rozhraní vzorky a kryštálu prístroja. Výsledkom merania je infračervené spektrum, ktoré predstavuje závislosť absorbančie A , transmitancie T alebo odrazivosti R na vlnočte alebo vlnovej dĺžke.

Na meranie vzoriek bol použitý FTIR spektrometer TENSOR 27 (Bruker) v režime ATR – zoslabený úplný odraz na diamantovom kryštále v rozsahu vlnočtu 4000 až 600 cm^{-1} pri rozlíšení 2 cm^{-1} s 32 skenmi.

4.4.4 Nepriedušnosť – meranie porozimetrom

Priemyselná metóda merania adhézie je vykonávaná porozimetrom. Podstatou skúšky je meranie rozdielu nepriedušnosti zateretej tkaniny pred a po trepaní (imitácia namáhania látky v praxi). Výsledkom je čas, potrebný na prechod určitého objemu vzduchu definovanou plochou tkaniny pri určitom tlaku (Obr. 50). Pri pretrepávaní sú dve vzorky umiestnené záterom k sebe do priechodu vzduchu trepacieho prístroja asi vo vzdialenosti 5 cm zavesené na stojane vertikálnym smerom a po určitú dobu je fúkaný vzduch definovanou rýchlosťou cez vzorky (Obr. 51).



Obrázok 50 Porozimeter [50]

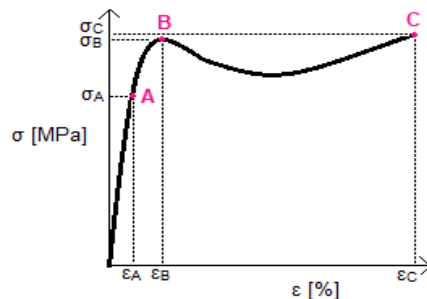


Obrázok 51 Trepací prístroj STFans
s nainštalovanými vzorkami počas testu

Na testovanie bol použitý porozimeter MK 1 (JD Electronics) s objemom pretláčaného vzduchu $0,25\text{ l}$ pri 10 mbar a ploche $38,5\text{ cm}^2$. Na imitáciu namáhania vzorky bol použitý Trepací prístroj OF 1.1-230-50-EU (STFans) s 2800 otáčkami za minútu po dobu 2 min.

4.4.5 Ťahová skúška

Skúška ťahom je základnou metódou, ktorá slúži k hodnoteniu mechanických vlastností materiálov. Princípom je postupné zaťažovanie skúšobnej vzorky normovaného tvaru a rozmerov definovaným predĺžením za súčasného merania sily, s cieľom zistiť pevnostné a plastické chovanie materiálu. Týmto sa získava závislosť napätia na deformácii (sily na predĺžení) – ťahová krivka (Obr. 52).



Obrázok 52 Názorná ukážka ťahovej krivky

Zo zobrazenej krivky sa vyhodnocujú viaceré charakteristické veličiny, akými je medza sklzu, medza pevnosti, ťažnosť a taktiež možno získať informácie o húževnatosti, ktorej mierou je deformačná práca (plocha pod krivkou). Oblasť, kde je napätie priamoúmerné deformácii (A) popisuje Hookov zákon a charakterizuje elasticitu (vratná deformácia), pričom konštantou úmernosti je v tomto prípade Youngov modul pružnosti. Je vyjadrený ako lineárna závislosť napätia v ťahu a hodnoty deformácie. Medza sklzu (A) znázorňuje prvé lokálne maximum – materiál vtedy podlieha plastickej deformácii za súčasnej zmeny štruktúry. Následné maximum, medza pevnosti (C), odpovedá pretrhnutiu skúšobného telesa a určuje pevnosť v ťahu (σ_C) a ťažnosť (os ϵ_C). Plocha pod krivkou udáva húževnosť – deformačnú prácu spotrebovanú do pretrhnutia telesa. Namerané hodnoty mechanických vlastností materiálov značne ovplyvňuje rýchlosť deformácie. So zvyšujúcou sa rýchlosťou má materiál menej času reagovať na pôsobiace napätie, čo sa prejaví zvýšením medze toku, medze pevnosti, súčasným znížením ťažnosti, pričom modul pružnosti zostane bezo zmeny.

Pre merané vzorky ťahovou skúškou na univerzálnom ťahovom zariadení Zwick Roell Z010 bola použitá norma BS ISO 37:2005: silomerná hlava 1 kN, 50 mm počiatočná vzdialenosť čelustí (rýchlosť 400 mm·min⁻¹), predpätie 0,05 MPa (rýchlosť 20 mm·min⁻¹), rýchlosť testu 500 mm·min⁻¹, koniec skúšky pri poklese sily na 80 % F_{max} . Vzhľadom ku veľkosti vzoriek, silomernej hlavy a predpokladaným nízkym hodnotám výsledkov, boli dogbony upnuté do čelustí od počiatku skúšky „navoľno“ bez natiahnutia, teda ich zavretím došlo k jemnému „pokrčeniu“, aby test nebol ochudobnený o ďalšie dáta.

4.4.6 T-peel test

Odlupovací test slúži na určenie relatívnej odolnosti adhézných väzieb medzi dvoma ohybnými materiálmi meraním odlupovacej sily dvoch materiálov vzorky tvaru písmena T. Okrem tohto tvaru je možné použitie 90 a 180° uhla medzi dvoma adherendami. Vzorky sú široké 25 mm a sila je aplikovaná na dva nespojené konce vzorky odťahované v opačnom smere. Výsledkom testu je ťahová krivka, z ktorej sú získané hodnoty minimálnej, maximálnej a priemernej odlupovacej sily v newtonoch na 100 mm dĺžky vzorky. Medzi výhody tohto typu testovania patrí jednoduchá príprava a testovanie, avšak test je obmedzený na tenké vrstvy adherendov a existuje veľa faktorov ovplyvňujúcich hodnoty merania.

Pre merané vzorky T-peel testom podľa normy ISO 11339 bolo použité univerzálne ťahové zariadenie Zwick Roell Z010 s 1 kN silomernou hlavou, 13 mm vzdialenosťou čelustí (rýchlosť 500 mm·min⁻¹), predpätím 0,2 MPa (rýchlosť 20 mm·min⁻¹, 120 s), rýchlosť testu 100 mm·min⁻¹, dĺžka pohybu 260 mm, koniec pri poklese sily na 80 % F_{max} , sila pri prvých a posledných 25 mm sa nepočíta do výpočtov.

5 VÝSLEDKY A DISKUSIA

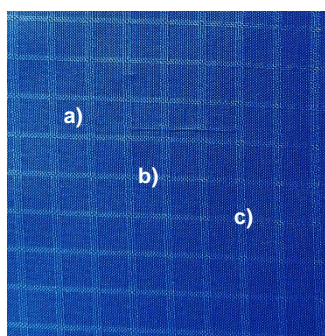
5.1 Charakteristika vzoriek

Jednou z charakteristík pripravovaných vzoriek, ktorá bola skúmaná, bola hrúbka tkaniny s jednotlivými vrstvami záteru oproti hrúbke čistej tkaniny. Keďže látka obsahovala protinátrhovú mriežku, meranie bolo nutné previesť na všetkých častiach tkaniny. Tab. 9 uvádza namerané hodnoty digitálnym mikrometrom 293-140 (Mitutoyo) a na Obr. 53 sú miesta odobratia hrúbky mikrometrom. Z výsledkov možno súdiť, že s nárastom počtu vrstiev záteru sa celková hrúbka tkaniny zvýšila o 2-4 μm .

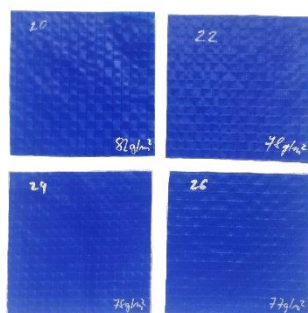
Tabuľka 9 Stanovenie hrúbky záteru mikrometrom

[mm]	a) Mimo nátrhovej mriežky	b) Na nátrhovej mriežke	c) Na kríži nátrhovej mriežky
Čistá tkanina	0,078	0,087	0,087
1 vrstva záteru	0,082	0,090	0,090
2 vrstvy záteru	0,084	0,092	0,092
3 vrstvy záteru	0,087	0,096	0,097

Omak patrí do subjektívnych charakteristík záteru. Dotykom a pohľadom boli jednotlivé vzorky záterov okomentované v Tab. 10. Priemyselnou metódou hodnotenia nárastu hmotnosti záterom tkaniny je určovanie plošnej hmotnosti. Z pripravených záterov boli vystrihnuté vzorky veľkosti 10×10 cm (Obr. 54) a vážené na váhach WLC 0,6/B1 (Lesák a Zeman). K tejto metóde bola na porovnanie zmeraná hodnota prívažku. Dierkovačom 518-1589 (Kennedy) a kladivom bolo zo záteru a z nezatretej časti tkaniny vyrazené koliesko o priemere 19,05 mm – $\frac{3}{4}$ " s obsahom 2,85 cm² (Obr 55). To bolo následne vážené na analytických váhach AB204-S/PH (Mettler Toledo) a z rozdielu nezatretej a zatretej tkaniny bolo vypočítané percentuálne zvýšenie hmotnosti záterom. Ide v princípe o ten istý typ merania, avšak iné prevedenie. Metóda merania prívažku je presnejšia oproti metóde plošnej hmotnosti, pretože vyrazením určitého, vždy rovnakého tvaru sa znižuje chyba merania spôsobená nepresnosťou, rovnako použitie analytických váh presnosť zvyšuje. Z porovnania výsledkov v Tab. 10 vyplýva, že vzorky zatreté spolu s VTMO a GLYMO patrili k tým ľahším, naopak vzorky, ktoré obsahovali tri vrstvy záteru spolu s basecoatom boli ťažšie.



Obrázok 53 Miesta odobratia hrúbky mikrometrom, a) mimo, b) na a c) na kríži nátrhovej mriežky



Obrázok 54 Vzorky na meranie plošnej hmotnosti

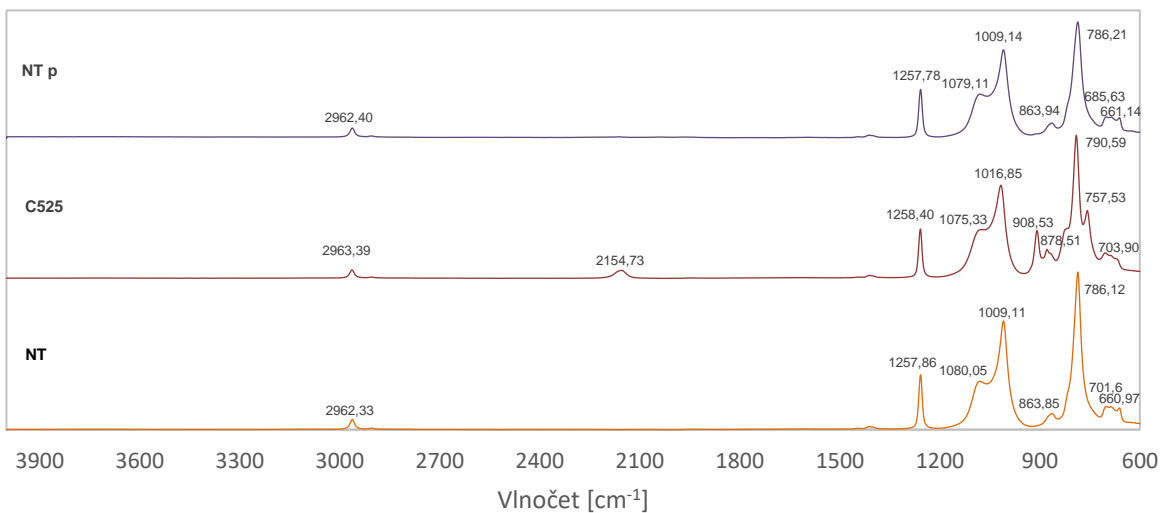


Obrázok 55 Dierkovač Kennedy a vzorky pripravené na meranie

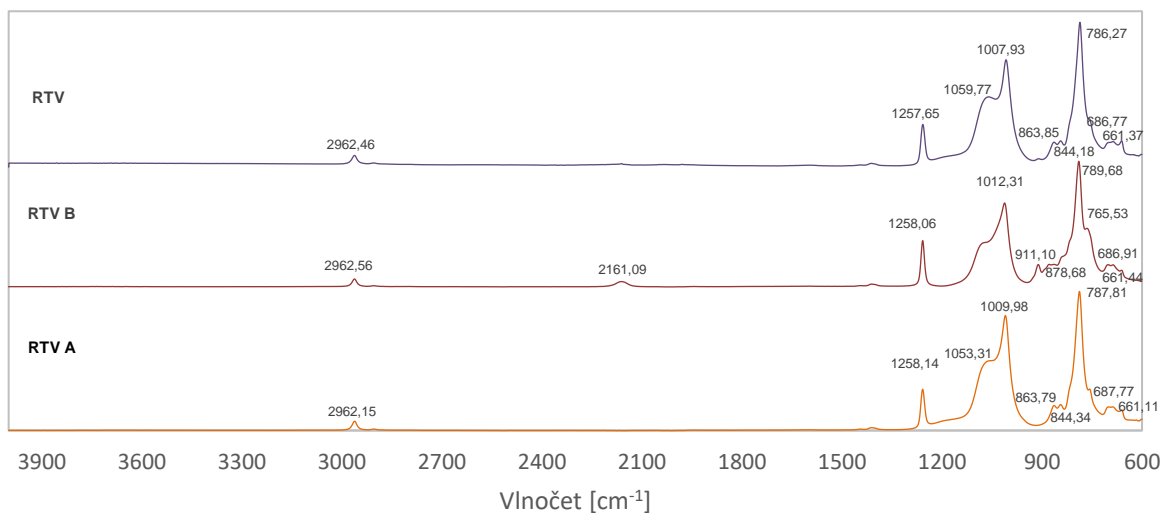
Tabuľka 10 Výsledné hodnoty omaku, prívážku a plošnej hmotnosti

Označenie	HF	Silikón	Adhezívne činidlá	Počet vrstiev	Omak	Prívážok [%]	Plošná hmotnosť [g·m ⁻²]
SB0L2_20,21	0	LR	-	2	tvrdý lesklý	117,44%	82
SB0LVM2_22,23	0	LR	VTMO	2	ľahký	112,18%	78
SB0LVE2_24,25	0	LR	VTEO	2	ťažký lesklý	115,00%	78
SB0LG2_26,27	0	LR	G790	2	ľahký lesklý	116,18%	77
SB0LGE2_28,29	0	LR	GLYEO	2	lesklý ťažký	117,26%	76
SB0LD3_30,31	0	LR	DOSP	3	ťažký tmavší, druhá strana výrazne matná	120,50%	80
SB0LT3_32,33	0	LR	TOMP+APCI	3	mastný	122,00%	80
SB0LGM2_34,35	0	LR	GLYMO	2	lesklý lepkavý	110,40%	75
SB0LVO2_36,37	0	LR	VTMOEO	2	mastný lesklý	117,00%	78
SB0TLH3_38,39	0	LR	TOMP+APCI +HYDROSIL	3	lepkavý	121,46%	80
SB0N2_40,41	0	NT	-	2	lesklý ťažký	124,24%	76
SB0DN3_42,43	0	NT	DOSP	3	lesklý nespojitý	119,12%	75
SB0TN3_44,45	0	NT	TOMP+APCI	3	mastný ľahký	117,16%	81
SB0NG2_46,47	0	NT	G790	2	lesklý ľahký	115,00%	77
SB0NGM2_48,49	0	NT	GLYMO	2	matný	117,56%	77
SB1L2_50,51	1	LR	-	2	ťažký lesklý	123,08%	78
SB1LG2_52,53	1	LR	G790	2	ľahký lesklý	119,19%	75
SB1LGM2_54,55	1	LR	GLYMO	2	lesklý	119,19%	75
SB1DL3_56	2	LR	DOSP	3	ťažký tmavší, druhá strana výrazne matná	122,05%	80
SB2L2_57,58	2	LR	-	2	ľahký lesklý	116,92%	77
SB2LG2_59,60	2	LR	G790	2	ľahký matnejší	112,24%	74
SB2LGM2_61,62	0	LR	GLYMO	2	ľahký tmavší	112,24%	73
SB2DL3_63	0	LR	DOSP	3	ťažký tmavší, druhá strana výrazne matná	113,07%	77
SB0L022_64	0	LR	VTMO	2	ľahký tvrdý	111,50%	79
SB0L102_65	0	LR	VTMO	2	ľahký tvrdý	112,00%	79
SB0L202_66	0	LR	VTMO	2	ľahký tvrdý	113,50%	79

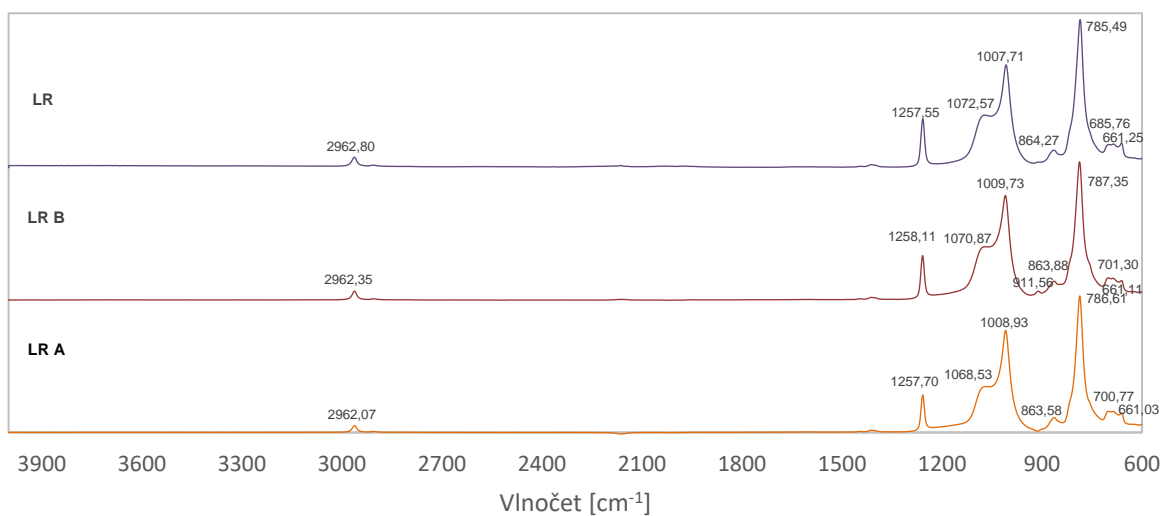
Na charakterizáciu zatieraných zlúčenín bola použitá infračervená spektroskopia s Fourierovou transformáciou v móde ATR. Silikóny boli analyzované ako zložky A a B pred sieťovaním a finálny vytvrdený produkt. Na Obr. 56 až 58 sú zobrazené spektrá pre silikóny NT, RTV a LR. Píky v okolí 2962 a 1258 cm⁻¹ odkazovali na prítomnosť metylovej skupiny. U B zložiek RTV B a C525 bol detekovaný pík odkazujúci na Si-H pri 2161 a 2155 cm⁻¹, pri zložke LR B sa nenachádzal. Tak isto to bolo aj pri 910 cm⁻¹, kde má odozvu deformačná vibrácia vinylovej skupiny, tá už bola aj u LR B. Píky v oblasti 1080-1000 a 880-660 cm⁻¹ boli vyvolané symetrickými a asymetrickými vibráciami -Si-O-Si- (Tab. 11).



Obrázok 56 FTIR spektrum k silikónu NT (NT p – po zosieťovaní)



Obrázok 57 FTIR spektrum k silikónu RTV



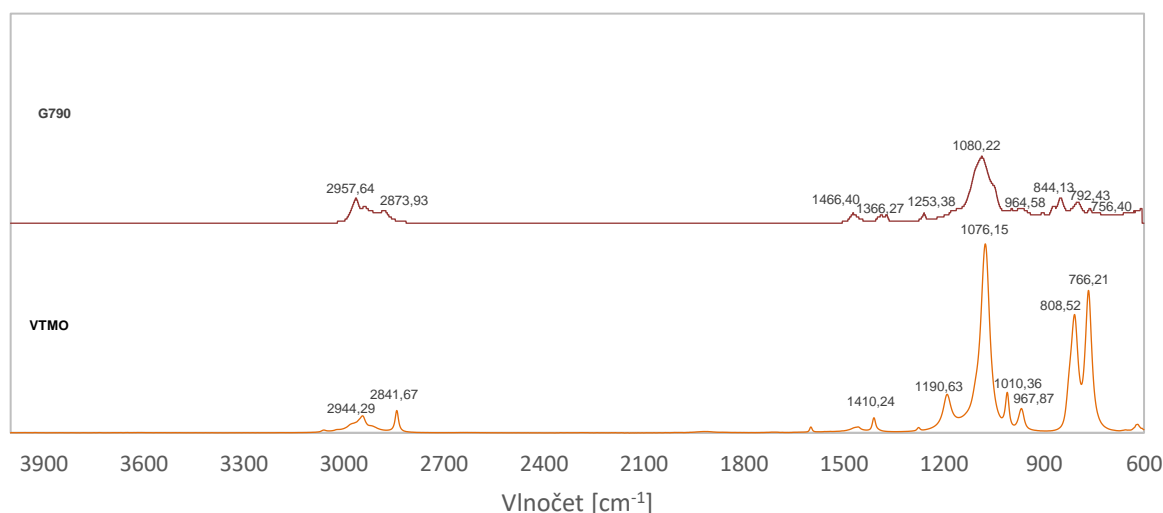
Obrázok 58 FTIR spektrum k silikónu LR

Tabuľka 11 Vlnočty píkov priradené funkčným skupinám, silikóny [47; 48; 49]

Funkčná skupina	Vibrácia	Vlnočet nameraný [cm ⁻¹]	Vlnočet tabuľkový [cm ⁻¹]
-CH ₃	v _{as} (CH ₃)	2962, 2963	2995-2940
O ₂ Si-H	v _s ([O ₂]Si-H)	2161, 2155	2160
Si-C	δ(SiC)	1258	1258
-Si-O-Si-	v _{as} (SiO)	1053,1060,1072, 1075, 1079	1085-1030
-Si-O-Si-	v _{as} (SiO ₂)	1007, 1009, 1012, 1016	1010,1013
CH=CH ₂	δ(CH)	909, 911	1000-900
-Si-O-Si-	v _{as,s} (Si-O-Si)	879,844,809,791,785,755, 686, 661	880-660

Vibrácie: v – valenčná, δ – deformačná, as – asymetrická, s – symetrická

V rovnakom móde ATR-FTIR boli analyzované aj činidlá VTMO a G790 (Obr. 59). Píky 2958, 2944, 2874, 2842 cm⁻¹ a rovnako aj 1466, 1366, 1253 a 1190 cm⁻¹ odkazovali na prítomnosť metylovej a metoxylovej skupiny. Odozva pri 1410 a 990-960 cm⁻¹ dokazovala prítomnosť vinylovej funkčnej skupiny. Symetrické a asymetrické vibrácie -Si-O-Si- sa potvrdili prítomnosťou píkov v oblasti 1080-1000 a 850-700 cm⁻¹ (Tab. 12). Spektrum G790 bolo menej intenzívne, nebolo teda možné presne určiť, aké ďalšie funkčné skupiny činidlo obsahuje.



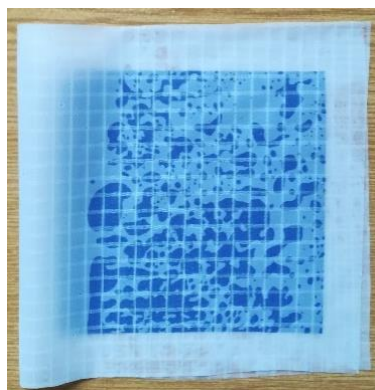
Obrázok 59 FTIR spektrum G790 hore, VTMO dole

Tabuľka 12 Vlnočty píkov priradené funkčným skupinám, činidlá [47; 48; 49]

Funkčná skupina	Vibrácia	Vlnočet nameraný [cm ⁻¹]	Vlnočet tabuľkový [cm ⁻¹]
-CH ₃ , -O-CH ₃	v _{as} (CH ₃)	2958, 2944	2995-2940
-CH ₃ , -O-CH ₃	v _s (CH ₃)	2874, 2842	2895-2840
-CH ₃ , -O-CH ₃	δ _d (CH ₃)	1466	1470-1440
-HC=CH ₂	δ(CH)	1410	1420-1410
-CH ₃	δ _s (CH ₃)	1366	1395-1365
Si-C	δ(SiC)	1253	1258
-O-CH ₃	v(CH ₃)	1191	1190
-Si-O-Si-	v _{as} (SiO)	1080 (1076)	1085-1030
-Si-O-Si-	v _{as} (SiO ₂)	1010	1010
-CH=CH ₂	γ(CH)	991,968	995-960
-Si-O-Si-	v _{as,s} (Si-O-Si)	844,809,792,767,756	850-700

Vibrácie: v – valenčná, δ – deformačná, γ – mimorovinná, as – asymetrická, s – symetrická, d – degenerovaná

Ďalšou priemyselnou metódou na charakterizáciu zatretých vzoriek je stanovenie farebnej stálosti – zapúšťanie farby vzorky modrej tkaniny so záterom do určenej bielej tkaniny. Ide o simuláciu správania textílie v praxi pri uchovávaní a jej náchylnosť na zmenu farby. Vzorka modrého záteru o veľkosti 10×10 cm bola vložená do preloženej bielej polyesterovej tkaniny rozmerov 28×14 cm, ktorá bola zvnútra zatretá jednou vrstvou silikónu LR a navlhčená vodou. Takto pripravená vzorka (Obr. 60) bola vložená do vrečka a zaťažená 7 kg závažím po dobu 48 hod. Po uplynutí stanoveného času a vysušení vzoriek bola biela tkanina preložená 2× (4 vrstvy) a pomocou spektrofotometru chcek 3 (Datacolor) jej bola zmeraná farebná odchýlka oproti bielej tkanine nezapúšťanej spolu s modrou. Funkcie farebného priestoru CIE 1976 štandardu boli nasledovné $S_L = 1,46$, $S_c = 1,02$ a $S_H = 0,71$.



Obrázok 60 Pripravená vzorka na zapúšťanie farby zatretej tkaniny

Pre meranie zapúšťania farby vzorky sa z dôvodu preloženia tkaniny na 4 vrstvy (aby bola vzorka merateľná) brala tolerančná hodnota farebnej stálosti vyhovenia skúšky ΔE_{CMC} do 4,0. Hodnoty uvedené v Tab. 13 ukazujú, že použitím basecoatu DOSP značne stúpila odchýlka farebnej stálosti na bielej tkanine až na hodnoty medzi 8-9 (9,38; 9,22; 8,87; 8,41), teda nastala okom viditeľná zmena farby. Podobne aj použitím basecoatu TOMP+APCI sa hodnota farebnej odchýlky vyšplhala okolo 3,5 (3,45; 3,87; 3,44), testu by však vzorky ešte vyhoveli. Zaujímavým faktom bolo zistenie, že použitie tkaniny s jednou alebo dvoma vrstvami hydrofóbnej úpravy malo vo výsledku nepriaznivý efekt na zmenu farby. Pri dvojvrstvovej na hodnotu väčšiu ako 4 (4,11; 4,13; 4,10) a väčšiu ako 3 pri jednovrstvovej úprave (3,09; 4,18; 3,68). Čo sa týka adhézných činidiel, najväčší vplyv na farebnú odchýlku malo činidlo G790 (5,99; 6,88; 4,18; 4,13).

Tabuľka 13 Výsledky merania odchýlky zapúšťania do bielej tkaniny

Označenie	HF	Silikón	Adhezívne činidlá	$\frac{\Delta L^*}{IS_L}$	$\frac{\Delta C^*}{cS_C}$	$\frac{\Delta H^*}{S_H}$	ΔE_{CMC}
SB0L2_20	0	LR	-	-0,42	1,42	-1,48	2,09
SB0LVM2_22	0	LR	VTMO	-0,51	0,85	-1,23	1,58
SB0LVE2_24	0	LR	VTEO	-0,44	1,45	-1,40	2,07
SB0LG2_26	0	LR	G790	-1,61	5,77	-0,26	5,99
SB0LGE2_28	0	LR	GLYEO	-0,51	1,41	-1,50	2,12
SB0LD3_30	0	LR	DOSP	-2,59	9,01	-0,38	9,38
SB0LT3_32	0	LR	TOMP+APCI	-0,93	2,99	-1,47	3,45
SB0LGM2_34	0	LR	GLYMO	-0,43	1,22	-1,23	1,79
SB0LVO2_36	0	LR	VTMOEO	-0,50	1,29	-1,42	1,98
SB0TLH3_38	0	LR	TOMP+APCI +HYDROSIL	-0,96	3,21	-1,94	3,87

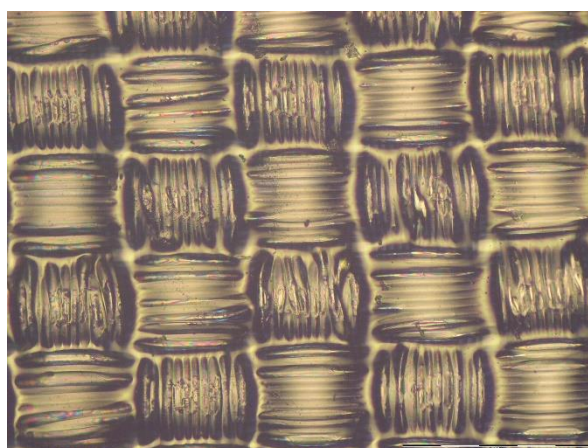
Tabuľka 13 Výsledky merania odchyľky zapúšťania do bielej tkaniny (pokr.)

Označenie	HF	Silikón	Adhezívne činidlá	$\frac{\Delta L^*}{IS_L}$	$\frac{\Delta C^*}{cS_C}$	$\frac{\Delta H^*}{S_H}$	ΔE_{CMC}
SB0N2_40	0	NT	-	-0,61	1,04	-1,31	1,77
SB0DN3_42	0	NT	DOSP	-2,56	8,76	-1,26	9,22
SB0TN3_44	0	NT	TOMP+APCI	-0,92	3,00	-1,40	3,44
SB0NG2_46	0	NT	G790	-1,79	6,62	-0,49	6,88
SB0NGM2_48	0	NT	GLYMO	-0,54	1,52	-1,53	2,22
SB1L2_50	1	LR	-	-0,85	1,96	-2,23	3,09
SB1LG2_52	1	LR	G790	-0,93	3,12	-2,63	4,18
SB1LGM2_54	1	LR	GLYMO	-0,80	2,52	-2,56	3,68
SB1DL3_56	2	LR	DOSP	-2,22	7,26	-4,58	8,87
SB2L2_57	2	LR	-	-1,06	2,54	-3,04	4,11
SB2LG2_59	2	LR	G790	-0,99	3,00	-2,67	4,13
SB2LGM2_61	0	LR	GLYMO	-0,91	2,83	-2,83	4,10
SB2DL3_63	0	LR	DOSP	-2,11	6,90	-4,32	8,41
SB0L022_64	0	LR	VTMO	0,48	1,21	-1,43	1,93
SB0L102_65	0	LR	VTMO	-0,50	1,09	-1,33	1,79
SB0L202_66	0	LR	VTMO	-0,43	1,03	-1,23	1,66

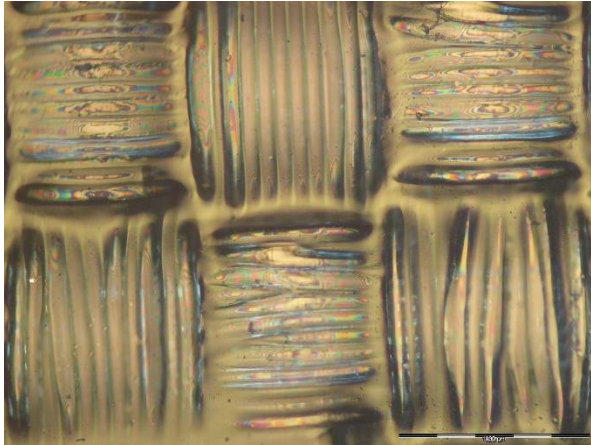
Na sledovanie povrchovej štruktúry záteru, boli vzorky skúmané na priamom optickom polarizačnom mikroskope BX 50 (Olympus) s objektívmi 4×, 10×, 20× a 50× a odфотографované pomocou fotoaparátu Camedia C-5060 (Olympus). Obrázky 61-64 znázorňujú tkaninu alebo záter pri rôznom zväčšení objektívu. Na Obr. 65 vidieť, že biela textília značne znižuje kontrast a kvalitu fotografií. Pri použití čierneho silikónu bolo zistené podľa Obr. 66, že vzhľadom k tomu, že bol silikón plnený sadzami na zafarbenie a mal tým vyššiu viskozitu, zhoršila sa jeho schopnosť tenkého zatretia. Tým pádom sa väčšie množstvo zachytávalo na hranách a „spodných“ vláknoch tkanej väzby a záter pôsobil viac matne.



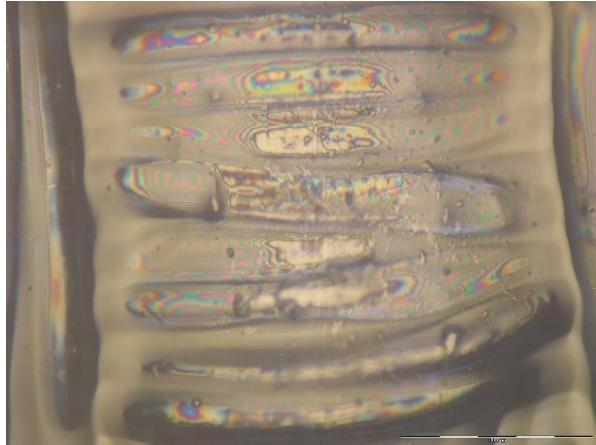
Obrázok 61 Tkanina pod 4× objektivom



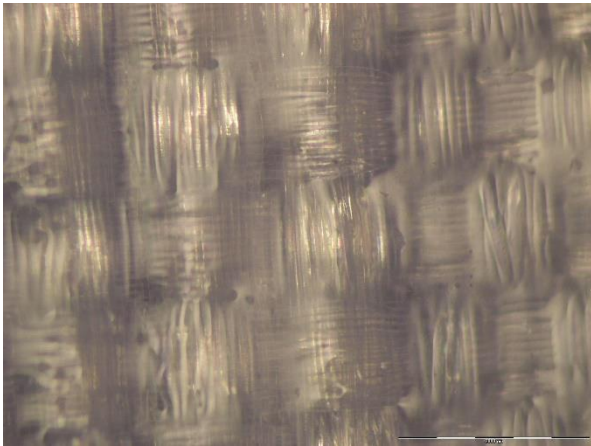
Obrázok 62 Záter pod 10× objektivom



Obrázok 63 Zátěr pod 20× objektivom



Obrázok 64 Zátěr pod 50× objektivom



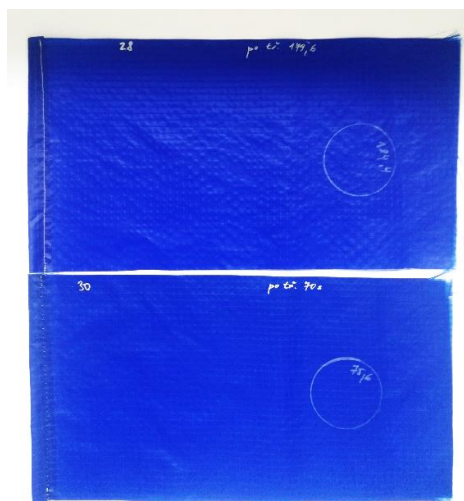
Obrázok 65 Biela tkanina so zátěrom pod 10×
objektivom



Obrázok 66 Čierny silikón LR F, 10× objektiv

5.2 Stanovenie adhézie priemyselnou metódou

Pre stanovenie adhézie priemyselnou metódou bola tkanina so záterom upravená na veľkosť 42×21 cm (Obr. 67) a na kraji bol zašitý tunel veľkosti 1 cm pre stojan na trepací prístroj OF 1.1-230-50-EU (STFans). Približne v strede kratšej strany bol priložený porozimeter MK 1 (JD Electronics) a bol zmeraný čas prechodu daného množstva vzduchu pod určitým tlakom. Ďalším krokom bolo trepanie vzorky po dobu 2 minút. Súčasne boli vedľa seba zavesené dve vzorky záterom k sebe. Po pretrepaní bol opäť zmeraný čas na porozimetri, presne na rovnakom mieste ako pred trepaním. Zvyčajne má takýto test minimálnu spodnú hranicu časového priebehu pred a po trepaní (napríklad 300 a 50 s), naskytá sa tu však aj ďalšia varianta interpretácie výsledkov. Keďže trepanie imituje opotrebovanie v praxi, zámerom je, aby čas po pretrepávaní sa čo najmenej znížil – kompaktnosť silikónovej vrstvy nebola narušená. K časovým výsledkom bol teda prepočítaný percentuálny časový rozdiel (a). Pre niektoré vzorky rozdiel vyšiel záporne – čas po testovaní sa zvýšil. To mohlo byť spôsobené nekonzistentným výberom miesta testovania v kombinácii s chybami tkaniny (stačí aj malá dierka vzniknutá pri manipulácii a razantne ovplyvní výsledok testu). Najlepšími výsledkami by sa teda mali považovať tie s čo najdlhším časovým priebehom testu, ale súčasne aj malým percentuálnym rozdielom pred a po trepaní. Iným uhl'om pohľadu je ďalšia možnosť orientácie podľa priemerných hodnôt jednotlivých meraní. Ak tieto konkrétne vzorky vytvoria jeden uzavretý systém a vezmú sa do úvahy priemery časových hodnôt a z nich percentuálny rozdiel, je možné vybrať najlepších adeptov nad hranicou tohto priemeru. Nebrali by sa teda do úvahy absolútne čísla, ale relatívne „poradie“ najlepších výsledkov. Iným spôsobom hodnotenia je výber vzorky podľa toho, ktorá z nich má po trepaní najviac „navrch“ nad hranicou bežne používanou v priemysle (kde stačí, aby druhý čas prechodu bol aspoň 1/6 z prvého) – tzn. koľko sekúnd navyše ostalo po odčítaní 1/6 času pred trepaním od času po trepaní (b). Z toho ešte môže byť spravený percentuálny podiel z času pred trepaním (c).

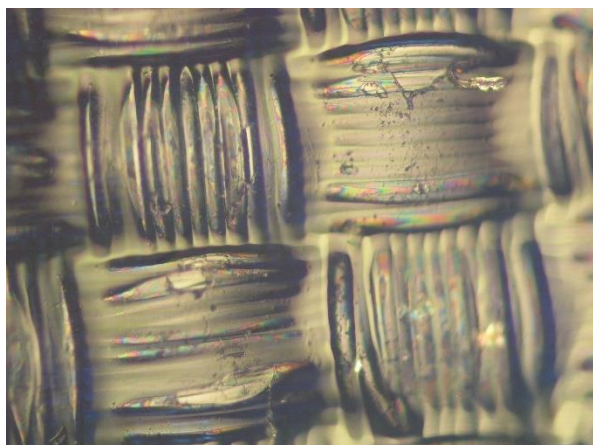


Obrázok 67 Vzorky po testovaní nepriedušnosti

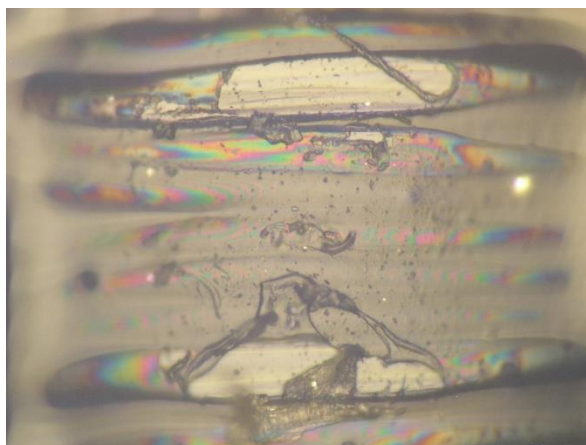
Tab. 14 uvádza namerané časy a ich percentuálny rozdiel (a), čas po nad hranicou 1/6 pred trepaním (b) a jeho podiel z času pred trepaním (c). Kombináciou všetkých týchto variant by sa dalo povedať, že najlepšie výsledky adhézie pomocou priemyselnej metódy nepriedušnosti tkaniny so záterom dosiahli na tkanine bez hydrofóbnej úpravy pre silikón LR činidlá VTEO, GLYEO a VTMOEO, takisto basecoat DOSP. Pre silikón NT mal najlepšie výsledky záter s G790 a pre jednu vrstvu hydrofóbnej úpravy v teste dobre dopadol čistý silikón LR bez adhezívneho činidla. Na obrázku 68 a 69 sú fotografie poškodenia záteru z optického mikroskopu po trepaní na trepacom prístroji.

Tabuľka 14 Výsledné hodnoty pred trepaním, po trepaní a percentuálny rozdiel

Označenie	HF	Silikón	Adhezívne činidlá	Pred trepaním [s]	Po trepaní [s]	Rozdiel [%] (a)	Navyše nad 1/6 [s] (b)	Podiel z času pred [%] (c)
SB0L2_20	0	LR	-	41,0	37,9	7,56	31,07	75,77
SB0LVM2_22	0	LR	VTMO	1,5	1,8	-20,00	1,55	103,33
SB0LVE2_24	0	LR	VTEO	76,4	74,9	1,96	62,17	81,37
SB0LG2_26	0	LR	G790	3,4	3,4	0,00	2,83	83,33
SB0LGE2_28	0	LR	GLYEO	189,4	179,6	5,17	148,03	78,16
SB0LD3_30	0	LR	DOSP	75,6	70,0	7,41	57,40	75,93
SB0LT3_32	0	LR	TOMP+APCI	21,2	5,9	72,17	2,37	11,16
SB0LGM2_34	0	LR	GLYMO	8,6	8,1	5,81	6,67	77,52
SB0LV02_36	0	LR	VTMOEO	36,6	40,0	-9,29	33,90	92,62
SB0TLH3_38	0	LR	TOMP+APCI +HYDROSIL	22,7	5,1	77,53	1,32	5,80
SB0N2_40	0	NT	-	29,1	21,1	27,49	16,25	55,84
SB0DN3_42	0	NT	DOSP	51,5	44,3	13,98	35,72	69,35
SB0TN3_44	0	NT	TOMP+APCI	86,3	17,4	79,84	3,02	3,50
SB0NG2_46	0	NT	G790	88,4	83,7	5,32	68,97	78,02
SB0NGM2_48	0	NT	GLYMO	59,5	55,9	6,05	45,98	77,28
SB1L2_50	1	LR	-	181,7	198,7	-9,36	168,42	92,69
SB1LG2_52	1	LR	G790	3,1	3,1	0,00	2,58	83,33
SB1LGM2_54	1	LR	GLYMO	5,8	5,4	6,90	4,43	76,44
SB2L2_57	2	LR	-	97,5	70,7	27,49	54,45	55,85
SB2LG2_59	2	LR	G790	6,7	7,0	-4,48	5,88	87,81
SB2LGM2_61	2	LR	GLYMO	62,3	50,1	19,58	39,72	63,75
PRIEMER	-	-	-	54,7	46,9	14,30	-	-



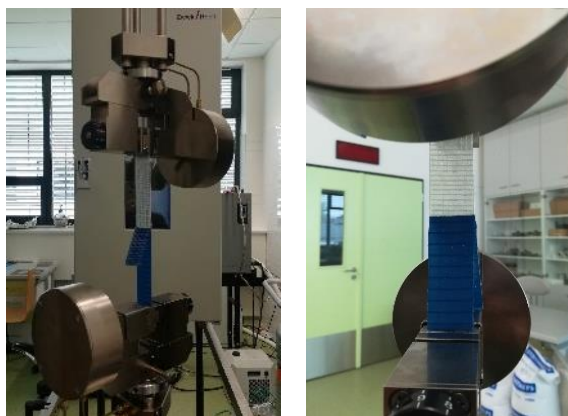
Obrázok 68 Narušenie kompaktnosti záteru po trepaní, 20× objektiv



Obrázok 69 Narušenie kompaktnosti záteru po trepaní, 50× objektiv

5.3 Stanovenie adhézie T-peel testom

Pripraveným vzorkám podľa normy ISO 11339 v počte 5× na každý typ záteru bola meraná odlupovacia sila (Obr. 70). Výsledkom testu boli získané hodnoty minimálnej, maximálnej a priemernej odlupovacej sily v newtonoch na 100 mm dĺžky vzorky (Tab. 15). Treba podotknúť, že táto sila nie je fyzikálnou vlastnosťou adhézie, ale je to relatívna hodnota slúži sa na porovnanie jednotlivých vzoriek. Prvé vzorky od 12A až po 19A boli testovacie na prípravu rôznych kombinácií záteru a prípravku pre peel test, napríklad v sade 14A-D bol testovaný prídavok rôzneho činidla do prípravku. Od vzorky 21 už bolo zloženie prípravku nemenné: 30 g RTV A, 3 g RTV B, 5 % VTMO a sklenená mriežka. Vzorky označené B od 21 do 33 boli spracovávané za vyššej teploty, konkrétne 150 °C po dobu 3 min, vo výsledku sa ale počas testovania silikónová časť s mriežkou rozpadávala a testom nebola meraná adhézna sila, ale rozpad vzorky. Preto sa od testovania za rôznych teplotných podmienok upustilo.



Obrázok 70 Vzorka počas testovania T-peel testom

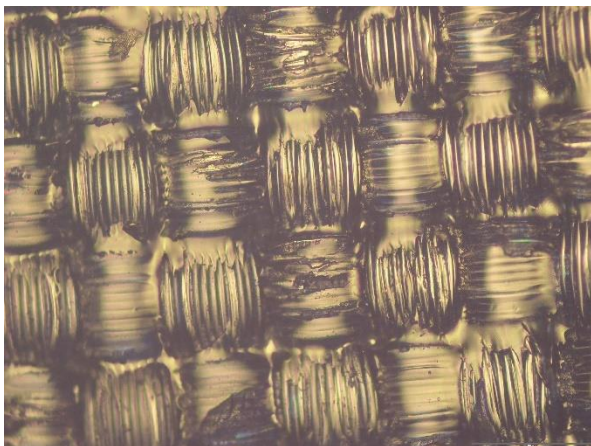
Všetky výsledky minimálnej, maximálnej aj celkovej adhézneho sily sú prezentované v Tab. 15. V prípade použitia basecoatu DOSP a silikónu LR (31C, 56A, 63A) bola adhézia taká veľká (hodnoty nad 31 N), že presiahla silu kohézie prípravku a silikón sa rozpadával a zostával na tkanine. NT silikón s DOSP (43A) nemal takýto účinok, aj keď dosiahol obstožné hodnoty (15,41 N). Použitím basecoatu TOMP+APCI sa situácia obrátila – výborné výsledky presahujúce kohéziu mala kombinácia s NT (45A) a s LR zlé (33A, 39A). Na vzorke 39A nepomohol ani prídavok činidla HYDROSIL s amino skupinami. Činidlo G790 vo všetkých prípadoch dosiahol dobré výsledky – v silikóne NT (47A) dokonca vyššie ako kohéziu samotného silikónu (nad 30,80 N), ale aj so silikónom LR (27A, 26,47 N). Na hydrofóbných úpravách tkaniny už boli hodnoty nižšie (53A, 60A), stále však prekročili hodnotu 13 N. Čisté zátery bez pridania adhézneho činidla na textílii bez hydrofóbného úpravy (21C, 41A) dosiahli priemerné hodnoty 14-16 N, s úpravou nízke (51A, 58A) – 5 N. Činidlo GLYMO (49A, 55A, 63A) taktiež neukázalo vysoké hodnoty 5-7 N, avšak v kombinácii s LR a čistej tkaniny (35A) to bolo až 22,28 N. Táto kombinácia silikónu a tkaniny sa ukázala ako najlepšia, až na VTMOEO (37A) a hodnotu 13,95 N, všetky ostatné dosiahli výrazne vyššie hodnoty: GLYEO na 29A hodnotu 17,40 N, VTEO na 25A mal 22,11 N a VTMO (23A) až 25,60 N.

Na Obrázkoch 71-76 za Tab. 15 sú prezentované fotografie tkaniny po T-peel teste a odtrhnutí záteru. Na Obr. 74 možno pozorovať asi 80% odtrh silikónu od tkaniny a súčasne malé čiastočky silikónu ako dôkaz zlyhania jeho kohézie.

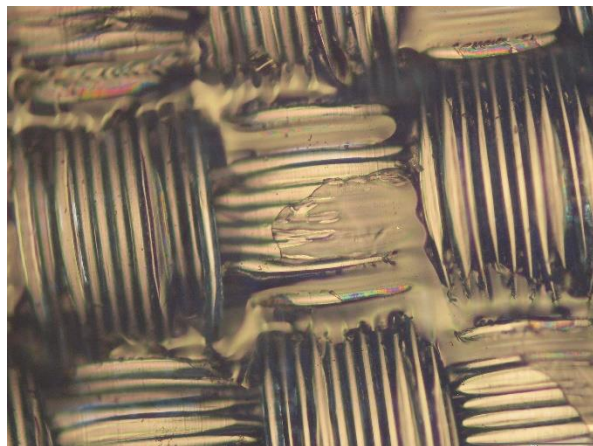
Tabuľka 15 Výsledné hodnoty adhézneho sily ku parametrom záteru

Ozn.	HF	Silikón	Adičné činidlá	F _{min} [N]	F _{max} [N]	Adhéziívna sila [N]	Pozn.
12B	0	NT	-	3,29 ± 0,31	5,71 ± 0,53	4,71 ± 0,54	
13B	0	LR	-	2,53 ± 1,04	6,22 ± 1,04	4,51 ± 0,84	
14A				3,18 ± 0,48	6,70 ± 0,42	4,97 ± 0,33	
14B	0	RTV	-	3,87 ± 0,34	12,75 ± 2,39	7,48 ± 1,33	
14C				5,51 ± 1,02	26,77 ± 10,71	14,97 ± 7,21	
14D				3,21 ± 0,40	7,23 ± 0,55	4,98 ± 0,07	
15A	0	LR	-	4,54 ± 3,54	46,90 ± 4,76	24,87 ± 4,71	
16A	0	LR	G790	12,30 ± 3,21	52,68 ± 9,66	33,60 ± 7,05	
17A	0	LR	VTMO	3,93 ± 0,70	36,08 ± 8,72	15,18 ± 5,41	
18A	0	LR	-	4,23 ± 0,70	18,71 ± 4,24	10,04 ± 2,38	
19A	0	LR	TOMP	3,95 ± 0,72	15,62 ± 1,13	8,05 ± 0,50	
21B	0	LR	-	12,29 ± 8,43	54,20 ± 3,54	31,18 ± 6,51	T ₁₅₀
21C				5,66 ± 1,35	24,79 ± 2,39	16,21 ± 2,55	
23B	0	LR	VTMO	24,32 ± 11,85	49,44 ± 8,89	39,30 ± 10,89	T ₁₅₀
23C				7,95 ± 2,70	40,32 ± 1,89	25,60 ± 4,71	
25A	0	LR	VTEO	6,63 ± 1,48	36,33 ± 4,54	22,11 ± 3,89	
25B				14,91 ± 11,69	42,23 ± 10,30	31,95 ± 10,15	T ₁₅₀
27A	0	LR	G790	13,32 ± 1,45	43,35 ± 2,28	26,47 ± 2,50	
27B				5,38 ± 3,66	39,84 ± 3,90	17,63 ± 5,92	T ₁₅₀
29A	0	LR	GLYEO	4,61 ± 0,80	41,47 ± 4,63	17,40 ± 2,03	
29B				9,93 ± 2,71	53,11 ± 5,40	31,16 ± 7,26	T ₁₅₀
31C	0	LR	DOSP	23,34 ± 4,45	51,04 ± 2,29	≥ 38,65 ± 2,90	
33A	0	LR	TOMP	2,93 ± 0,70	21,66 ± 4,80	8,02 ± 0,95	
33B				5,75 ± 1,46	45,36 ± 11,51	17,30 ± 1,55	T ₁₅₀
35A	0	LR	GLYMO	9,12 ± 3,03	36,65 ± 3,04	22,28 ± 2,08	
37A	0	LR	VTMOEO	5,41 ± 1,82	25,44 ± 2,86	13,95 ± 1,46	
39A	0	LR	TOMP+APCI HYDROSIL	5,60 ± 0,22	13,28 ± 1,53	8,48 ± 0,93	
41A	0	NT	-	3,52 ± 1,34	31,96 ± 4,65	13,77 ± 6,65	
43A	0	NT	DOSP	7,84 ± 1,69	22,77 ± 3,25	15,41 ± 1,71	
45A	0	NT	-	18,39 ± 3,94	45,92 ± 1,75	31,87 ± 6,38	
47A	0	NT	G790	13,16 ± 2,61	44,85 ± 2,77	≥ 30,80 ± 2,63	
49A	0	NT	GLYMO	5,28 ± 0,45	22,10 ± 5,67	7,40 ± 0,43	
51A	1	LR	-	4,00 ± 0,31	7,80 ± 1,57	5,10 ± 0,30	
53A	1	LR	G790	7,73 ± 4,39	25,16 ± 6,49	14,47 ± 2,83	
55A	1	LR	GLYMO	3,81 ± 0,28	7,59 ± 1,81	4,93 ± 0,24	
56A	1	LR	DOSP	17,27 ± 3,00	46,32 ± 1,54	≥ 31,33 ± 3,74	
58A	2	LR	-	3,38 ± 0,50	9,40 ± 5,52	5,19 ± 0,97	
60A	2	LR	G790	9,05 ± 0,91	25,63 ± 5,70	13,04 ± 2,00	
62A	2	LR	GLYMO	4,71 ± 0,62	10,86 ± 1,81	7,31 ± 0,83	
63A	2	LR	DOSP	18,63 ± 5,37	42,59 ± 2,93	≥ 32,38 ± 3,10	

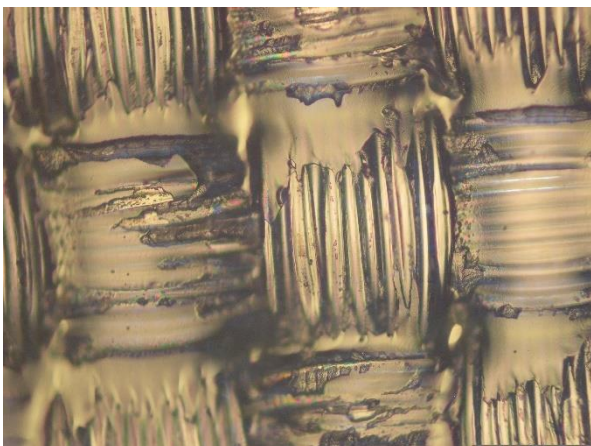
testovanie kombinácií záteru a prípravku



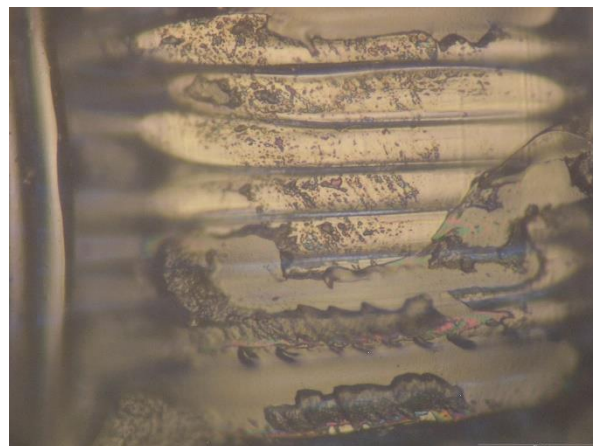
Obrázok 71 Odtrh záteru na vláknach v jednom smere,
10× objektiv



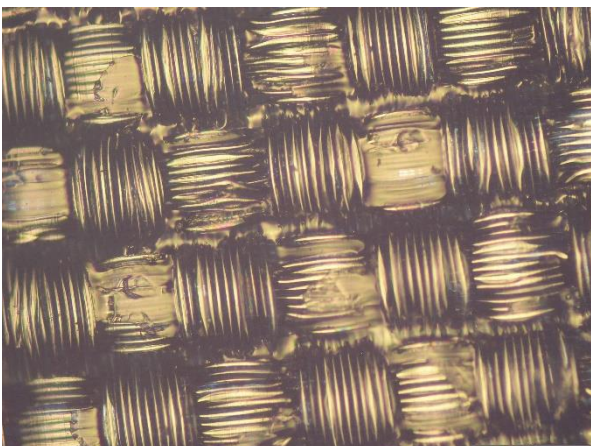
Obrázok 72 Nepravideľný odtrh, 20× objektiv



Obrázok 73 Detail odtrhu pod 20× objektivom



Obrázok 74 Rozdiel kohézie a adhézie pod 50×
objektivom



Obrázok 75 Nepravideľný odtrh, 10× objektiv



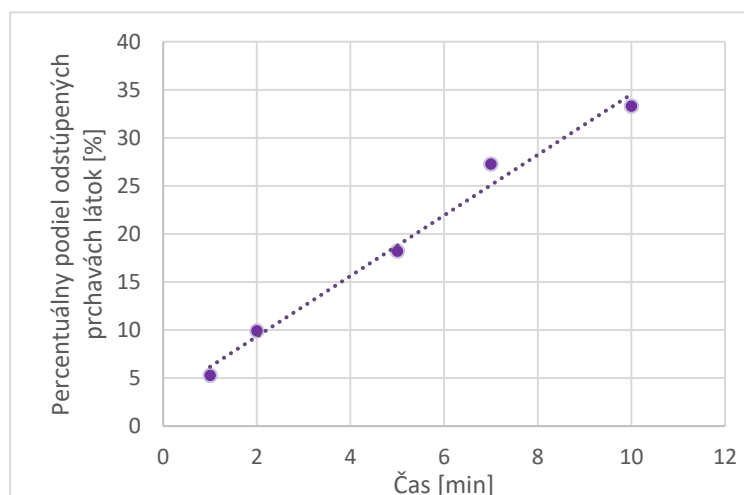
Obrázok 76 Iný štýl odtrhu – asi 3 vlákna od kraja
"štvorca", 20× objektiv

5.4 Testovanie kohézie silikónu

Vzorky na testovanie kohézie – ťahovo-deformačných vlastností silikónu použitého pri zatieraní, boli pripravené podľa normy BS ISO 37:2005. Zaujímavosťou je, že vzorky, ktoré obsahovali činidlo G790, mali po vytiahnutí plátu zo sušiarne veľké množstvo bublín, znemožňovali tak možnosť použiť plát na tvorbu dogbonov. Pred samotným vytvrdením však vzorky boli vákuované, bubliny vznikli až počas spracovania v sušiarne. Tento jav bol pravdepodobne spôsobený únikom prchavých látok z činidla, ktoré sa nestihli odtrhnúť pred vyliatím do formy. Bol teda spravený test zmeny hmotnosti činidla za rôzne časové obdobie (Tab. 16, Obr. 77). Po vákuovaní činidla po dobu 10 min, už bubliny vo vytvrdenom pláte neboli, preto sa tento krok pridal do postupu prípravy vzoriek s činidlom G790.

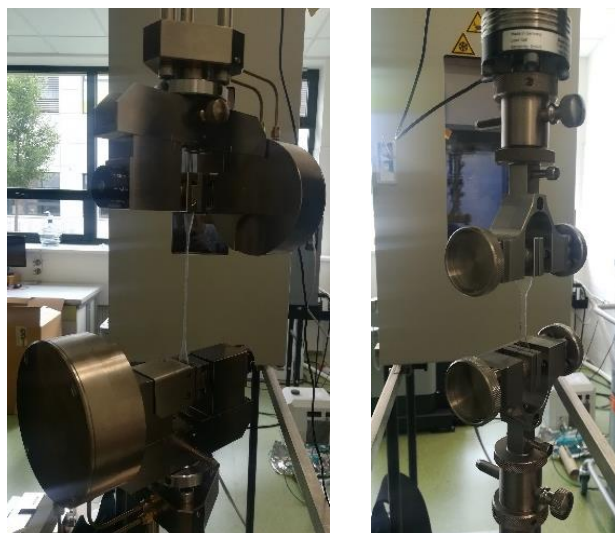
Tabuľka 16 Zmena hmotnosti činidla G790 po vákuovaní prchavých podielov

	1 min	2 min	5 min	7 min	10 min
Hmotnosť pred [g]	2,0710	2,1380	2,0245	2,0499	2,0916
Hmotnosť po [g]	1,9620	1,9263	1,6563	1,4916	1,3955
Percentuálny podiel	5,26 %	9,90 %	18,19 %	27,24 %	33,28 %



Obrázok 77 Graf zmeny hmotnosti činidla G790 s časom vákuovania

Vzorky pozostávajúce zo silikónu NT boli zovretím pneumatických čeľustí znehodnotené, bolo teda nutné ich vymeniť za skrutkovacie (Obr. 78). Tento jav poukázal na väčšiu krehkosť tohto silikónu oproti RTV a LR. V Tab. 17 sú uvedené namerané hodnoty modulu pružnosti, pevnosti v ťahu a predĺženia jednotlivých typov záteru. Najlepší výsledok dosiahol silikón RTV s činidlom VTMO, preto bol aj použitý pre vzorky na T-peel testovanie. Silikóny LR aj NT mali najlepšiu kohéziu bez použitia akéhokoľvek činidla – potvrdila sa domnienka, že prídavkom adhezívneho činidla sa môže znížiť kohézia silikónu z dôvodu bočných reakcií činidla: samého so sebou, či s jednou alebo druhou zložkou silikónu samostatne a môže tak zabrániť vzniku kompaktnej a hustej siete. Všetky verzie LR s činidlom mali pevnosť v ťahu vyššiu ako verzie NT. Tieto vzorky dosahovali aj pomerne nízkeho predĺženia. Najmenšieho predĺženia boli ale schopné vzorky s činidlom G790, naznačovalo by to pevnosť siete, vďaka tomu jeho modul pružnosti dosahoval vyššie hodnoty. Po vzorke RTV s VTMO mali najväčšie predĺženia LR s VTMO a VTEO. Činidlo VTMOEO sa prejavilo ako najslabší kohézny udržovateľ, pravdepodobne z dôvodu obsahu dlhších funkčných skupín a ich problematického sieťovania. Všetky výsledky mohli byť ovplyvnené nerovnosťami, prípadnými bublinami na testovaných dogbonoch.



Obrázok 78 Vľavo pneumatické čeľuste, vpravo skrútkovacie

Tabuľka 17 Výsledné hodnoty ťahovo-deformačných vlastností

Ozn.	Silikón	Adhezívne činidlá	Modul pružnosti [MPa]	Pevnosť v ťahu [MPa]	Predĺženie [%]
D1	LR	-	1,35 ± 0,19	1,32 ± 0,22	194,95 ± 38,34
D2	LR	VTMO	0,77 ± 0,30	1,03 ± 0,38	262,56 ± 22,88
D3	LR	VTEO	0,77 ± 0,24	0,84 ± 0,27	222,82 ± 41,81
D4	LR	GLYMO	1,38 ± 0,38	0,94 ± 0,51	146,27 ± 78,33
D5	LR	GLYEO	1,11 ± 0,35	1,05 ± 0,24	173,78 ± 29,98
D6	LR	VTMOEO	0,17 ± 0,09	0,18 ± 0,03	126,68 ± 18,98
D7	NT	-	0,96 ± 0,17	0,61 ± 0,05	136,35 ± 17,06
D8	NT	GLYMO	1,01 ± 0,11	0,59 ± 0,11	126,39 ± 37,07
D15	LR	G790	1,47 ± 0,41	0,72 ± 0,22	109,43 ± 35,03
D16	NT	G790	0,94 ± 0,20	0,53 ± 0,05	113,57 ± 21,50
D19	RTV	VTMO	1,39 ± 0,30	1,70 ± 0,68	340,78 ± 26,74

5.5 Vplyv teploty spracovania na kohéziu silikónu

Pripravené pláty na dogbony s jednotným silikónom LR a rôznymi adhezívnymi činidlami boli sieťované pri teplote 150 a 180 °C. Týmto testom bolo zistené, že adhezívne činidlá obsahujúce vinylovú skupinu (VTMO, VTEO, VTMOEO) dosiahli vyššie hodnoty pri 150 °C, kdežto činidlá s glycidylxy skupinou (GLYMO, GLYEO) mali hodnoty vyššie pri vytvrdzovaní na 180 °C (Tab. 18). Čo sa týka vzoriek obsahujúcich VTMOEO, ich vytvrdzovanie bolo veľmi problematické, dalo by sa povedať, že neprebehlo úplne. Preto sú tieto hodnoty omnoho nižšie ako pri ostatných vzorkách. Čistý silikón dosahoval lepšie ťahovo-deformačné vlastnosti pri vyššej teplote, rovnako ako činidlo G790.

Tabuľka 18 Rozdiely hodnôt ťahovo-deformačných vlastností pri 150 a 180 °C

Adhézne činidlo	150 °C				180 °C			
	Ozn.	Modul pružnosti [MPa]	Pevnosť v ťahu [MPa]	Predĺženie [%]	Ozn.	Modul pružnosti [MPa]	Pevnosť v ťahu [MPa]	Predĺženie [%]
-	D1	1,35 ± 0,19	1,32 ± 0,22	194,95 ± 38,34	D9	1,55 ± 0,19	1,67 ± 0,18	226,66 ± 15,55
VTMO	D2	0,77 ± 0,30	1,03 ± 0,38	262,56 ± 22,88	D10	0,48 ± 0,38	0,57 ± 0,11	224,28 ± 15,75
VTEO	D3	0,77 ± 0,24	0,84 ± 0,27	222,82 ± 41,81	D11	0,42 ± 0,13	0,53 ± 0,08	200,09 ± 22,20
GLYMO	D4	1,38 ± 0,38	0,94 ± 0,51	146,27 ± 78,33	D13	1,48 ± 0,26	1,02 ± 0,19	169,13 ± 42,48
GLYEO	D5	1,11 ± 0,35	1,05 ± 0,24	173,78 ± 29,98	D12	1,47 ± 0,29	1,18 ± 0,20	196,18 ± 25,09
VTMOEO	D6	0,17 ± 0,09	0,18 ± 0,03	126,68 ± 18,98	D14	0,03	0,08	4,585
G790	D15	1,47 ± 0,41	0,72 ± 0,22	109,43 ± 35,03	D17	1,62 ± 0,39	1,02 ± 0,09	152,14 ± 9,22

5.6 Vplyv koncentrácie adhézneho činidla

Pripravené zátery s hmotnostnou koncentráciou činidla VTMO 2 %, 5 %, 10 % a 20 % v silikóne LR na tkanine bez hydrofóbnej úpravy boli otestované na nárast hmotnosti zatretím. Podľa metódy plošnej hmotnosti nebol vyskúšaný rozdiel (všetky štyri mali $79 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$), podľa metódy prívážku sa prejavil rozdiel okolo 1 % - potvrdila sa vyššia presnosť spomínanej metódy. Pri testovaní T-peel testom sa vo veľkom prejavilo odporúčanie výrobcu na 5 % hmotnostnú koncentráciu činidla – nižšia a rovnako aj vyššia koncentrácia dosiahla značné zníženie adhézneho sily. Plát na dogbony pre 10 % a 20 % koncentráciu činidla ani po 20 min v sušiarňi nevytvrdol, nebolo ich teda možné pripraviť na testovanie. Vyšší obsah činidla pravdepodobne zabránil priestorovému zosieťovaniu. Silikón s 2 % VTMO dosiahol vyššie hodnoty ťahovo-deformačných vlastností (modul pružnosti a pevnosť v ťahu), avšak predĺženie bolo väčšie pri 5% koncentrácii. Aj keď rozdiel hodnôt nebol veľký, z uvedeného vyplýva, že silikón obsahujúci menšie množstvo činidla bol tuhší (potreboval väčšie napätie na rovnakú deformáciu) a tým pádom menej pružnejší – schopný menšieho predĺženia. V *Tab. 19* sú uvedené všetky vyššie spomínané výsledky testovania.

Tabuľka 19 Výsledné hodnoty vzoriek s rôznou koncentráciou činidla

Označenie	Adičné činidlo	Prívážok [%]	F_{\min} [N]	F_{\max} [N]	Adhezívna sila [N]	Modul pružnosti [MPa]	Pevnosť v ťahu [MPa]	Predĺženie [%]
SB0L022_64	2 %	111,50	8,28 ± 0,72	26,04 ± 4,62	11,44 ± 1,33	1,73 ± 0,32	1,51 ± 0,11	209,29 ± 17,32
SB0LVM2_22,23	5 %	112,18	7,95 ± 2,70	40,32 ± 1,89	25,60 ± 4,71	0,77 ± 0,30	1,03 ± 0,38	262,56 ± 22,88
SB0L102_65	10 %	112,00	7,76 ± 0,55	22,92 ± 9,43	11,65 ± 2,64	-	-	-
SB0L202_66	20 %	113,50	9,74 ± 0,69	27,34 ± 4,67	11,49 ± 1,37	-	-	-

6 ZÁVER

Predložená diplomová práca sa zaoberá prípravou textilných záterov z polyesterovej tkaniny a záteru na báze adičného silikónu s možným použitím adhezívnych činidiel – basecoat a adhezívneho promotéru. Podpora činidiel chemickou adhéziou kvantifikovaná adhéznou silou počas T-peel testovania bola porovnaná s vplyvom vedľajších reakcií činidla pôsobiacich na kohéziu silikónu. Súdržnosť bola testovaná ako ťahovo-deformačné vlastnosti pripravených dogbonov. Druhou metódou skúmania adhézie bolo meranie priedušnosti záteru pred a po namáhaní vzorky trepaním.

Hodnoty priedušnosti síce neukázali jasné výsledky, ale vzorky s metoxy skupinami boli v porovnaní s etoxy priedušnejšie. To inklinovalo k dôkazu rozdielu rýchlosti hydrolyzy vzhľadom k rozdielnemu stérickému bráneniu skupín. Dĺžka 2-metoxyetoxy skupín sa javila ako dôvod problematického sieťovania silikónu, stačilo to však na dobrú nepriedušnosť tkaniny. Adhézna sila meraná odlupovacím T-peel testom bola v niektorých prípadoch taká vysoká, že presiahla silu kohézie silikónu. Vďaka testovaniu ťahovo-deformačných vlastností bolo zistené, že najväčšiu kohéziu mali vzorky silikónu bez pridaného promotéru. Z tohto poznatku vyplynulo, že prídavok činidla a jeho prípadná rýchla hydrolyza spôsobila zníženie kohézie a nedostatočné prehustenie siete z dôvodu aktivity pri vedľajších reakciách. Taktiež bolo vyskúmané, že vinylové skupiny činidla sa lepšie sieťovali pri nižšej teplote oproti glycidylxy skupinám. Z pozorovaní a testovaní vyplynulo, že adhezívne činidlá neovplyvňujú vo veľkej miere zapúšťanie farby záteru do bielej tkaniny až na pár výnimiek. Pre menšiu odchýlku farebnosti bolo lepšie používať tkaninu bez hydrofóbnej úpravy. Porovnaním všetkých zistení a parametrov z jednotlivých meraní boli vybrané dve najlepšie adhézne činidlá, ktorých vzorky vyhoveli aspoň v 3 z 5 aspektov testovania. Najlepší príspevok na zlepšenie adhézie silikónu k polyesterovému záteru bol pozorovaný u činidiel VTMO a G790.

Výsledky poskytujú zaujímavé zistenia k problematike zlepšenia adhézie silikónu substituovanými silánmi vhodné k rozšíreniu štúdia ďalších aspektov riešenej problematiky. Vývoj by sa mohol uberať k podrobnejšiemu výskumu rôznych parametrov víťazných adhezívnych činidiel akým je napríklad optimalizácia koncentrácie činidla v silikóne, vplyv nožnej teplotnej hysterézie sušiackej časti zatieracej linky či ďalšie zdokonalenie metódy prípravy vzoriek na T-peel testovanie.

7 POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] SMITH, William, ed. *Smart textile coatings and laminates: Woodhead publishing series in textiles*. 1. Cambridge: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2010. ISBN 978-1-84569-778-5.
- [2] FUNG, Walter. *Coated and laminated textiles*. 1. Cambridge, England: Woodhead Pub., 2002. ISBN 18-557-3576-8.
- [3] JONES, I. a G. STYLIOS. *Joining Textiles: Principles and Applications: Woodhead Publishing Series in Textiles* [online]. Elsevier Science, 2013 [cit. 2019-11-16]. ISBN 9780857093967. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=mw9IAgAAQBAJ>
- [4] HORROCKS, AR. *Handbook of technical textiles. 2nd edition. Waltham, MA: Elsevier, 2015. ISBN 978-1-78242-458-1.*
- [5] ROSATO, Dominick, Donald ROSATO a Matthew ROSATO. *Plastic Product Material and Process Selection Handbook* [online]. 1. New York, USA: Elsevier, 2004 [cit. 2019-11-24]. DOI: 10.1016/B978-1-85617-431-2.X5000-2. ISBN 9781856174312. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/book/9781856174312/plastic-product-material-and-process-selection-handbook>
- [6] ČSN ISO 8159: (800011) *Textilie. Tvary vláken a nití. Slovník*. První. Praha: Český normalizační institut, 1994, 8 s.
- [7] ČSN 80 0021: *Názvosloví a charakteristika tkanin*. První. Praha: Český normalizační institut, 1989.
- [8] EHRENSTEIN, Gottfried. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [9] *Handbook of Textile Fibres: Natural Fibres*. Fifth edition. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited, 1984. ISBN 978-1-85573-484-5.
- [10] POSPÍŠIL, Zdeněk. *Příručka textilního odborníka*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1981.
- [11] EICHHORN, S.J., J.W.S. HEARLE, M. JAFFE a T. KIKUTANI. *Handbook of Textile Fibre Structure, Volume 1 - Fundamentals and Manufactured Polymer Fibres* [online]. 1. Cambridge: Woodhead Publishing, 2009 [cit. 2020-06-05]. ISBN 978-1-84-569650-4. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHTFSVFMQ/handbook-textile-fibre/handbook-textile-fibre>
- [12] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-859-2072-7.
- [13] BAJAJ, Pushpa. *Finishing of textile materials*. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 2002, 83(3), 631-659 [cit. 2020-06-07]. DOI: 10.1002/app.2262. ISSN 0021-8995. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/app.2262>

- [14] Powerful silicone solutions for technical textiles. Wacker [online]. global: *Wacker, 2018* [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: https://www.wacker.com/h/en-cz/search/media?q=:relevance&mc=Product_Information&page=0
- [15] BRYDSON, J. *Plastics materials*. 7th ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 1999. ISBN 07-506-4132-0.
- [16] VOHLÍDAL, Jiří. *Makromolekulární chemie*. 1. vyd. Praha: Univerzita Karlova, 1995, 273 s. ISBN 80-7184-101-3.
- [17] Silicones. The Essential Chemical Industry - *online* [online]. Department of Chemistry, University of York, UK.: Centre for Industry Education Collaboration, 2016 [cit. 2020-01-21]. Dostupné z: <http://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/silicones.html>
- [18] HOUSECROFT, Catherine a A. SHARPE. *Anorganická chemie*. 4. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2014. ISBN 978-80-7080-872-6.
- [19] PEARCE, Christopher. *Silicon chemistry and applications*. London: Chemical Society, 1972. ISBN 0854040226.
- [20] O'LENICK, Anthony. Silicones—Basic chemistry and selected applications. *Journal of Surfactants and Detergents*. 2000, 3(2), 229-236. DOI: 10.1007/s11743-000-0130-3. ISSN 1097-3958. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1007/s11743-000-0130-3>
- [21] FINK, Johannes. *Silicones*. Reactive Polymers Fundamentals and Applications [online]. 2nd edition. William Andrew: Elsevier, 2013, s. 217-233 [cit. 2020-03-02]. DOI: 10.1016/B978-1-4557-3149-7.00008-5. ISBN 9781455731497. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781455731497000085>
- [22] BAŽANT, Vladimír, Jiří RATHOUSKÝ a Václav CHVALOVSKÝ. *Silikony: organokřemičité sloučeniny, jejich příprava, vlastnosti a použití*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1954.
- [23] AKAMATSU, Shoji a Motoi SASAKI. *Curable silicone resin composition*. Japan. Uděleno 06.07.1998.
- [24] SOLID AND LIQUID SILICONE RUBBER *Material and PROCESSING GUIDELINES* [online]. 6709e/11.12. Munich, Germany [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: http://www.aws-silicone.com/dcms-download-file/index/path/uploadMediaPath/other/Solid_and_Liquid_Material_Processing_Guide_eng.pdf
- [25] THOMAS, Sabu, Preetha BALAKRISHNAN a M.S. SREEKALA. *Fundamental Biomaterials: Polymers: Woodhead Publishing Series in Biomaterials* [online]. 1st. Duxford, United Kingdom: Woodhead Publishing, 2018 [cit. 2020-07-12]. ISBN 9780081021958. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=q084DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=sk#v=onepage&q&f=false>

- [26] Reactive Polymers Fundamentals *and Applications* [online]. 2nd edition. William Andrew: Elsevier, 2013 [cit. 2020-03-02]. ISBN 9781455731497. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781455731497000085?via%3Dihub>
- [27] Encyclopaedia Beliana [online]. 1. Bratislava: Encyklopedický ústav Slovenskej akadémie vied, 1999 [cit. 2020-04-05]. ISBN 978-80-89524-30-3. Dostupné z: <https://beliana.sav.sk/heslo/kohezia>
- [28] COMYN, John. *Adhesion Science* [online]. First. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2007 [cit. 2020-04-25]. RSC Paperbacks. DOI: 10.1039/9781847550064. ISBN 978-0-85404-543-3. Dostupné z: <https://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-0-85404-543-3>
- [29] Adhesion of polymers. In: *Polymer Physics: Polymer Properties Database* [online]. 2015 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://polymerdatabase.com/polymer%20physics/Adhesion.html>
- [30] MYSHKIN, Nikolai K. a Alexander V. KOVALEV. ADHESION AND FRICTION OF POLYMERS. SINHA, Sujeet K a Brian J BRISCOE. *Polymer Tribology* [online]. 1st. Gomel, Belarus: IMPERIAL COLLEGE PRESS, 2009, s. 3-37 [cit. 2020-04-18]. DOI: 10.1142/9781848162044_0001. ISBN 978-1-84816-202-0. Dostupné z: http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9781848162044_0001
- [31] AWAJA, Firas, Michael GILBERT, Georgina KELLY, Bronwyn FOX a Paul J. PIGRAM. Adhesion of polymers. *Progress in Polymer Science* [online]. 2009, 34(9), 948-968 [cit. 2020-05-21]. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2009.04.007. ISSN 00796700. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0079670009000501>
- [32] WEI, Q.F. *Surface characterization of plasma-treated polypropylene fibers*. *Materials Characterization* [online]. 2004, 52(3), 231-235 [cit. 2020-05-21]. DOI: 10.1016/j.matchar.2004.05.003. ISSN 10445803. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1044580304000890>
- [33] ABBOTT, Steven. *Adhesion Science: Principles and Practise*. First. Pennsylvania: DEStech Publications, Inc., 2015. ISBN 978-1-60595-178-2.
- [34] BHAT, N. V. a D. J. UPADHYAY. Plasma-induced surface modification and adhesion enhancement of polypropylene surface. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 2002, 86(4), 925-936 [cit. 2020-05-21]. DOI: 10.1002/app.11024. ISSN 0021-8995. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/app.11024>
- [35] BLUM, Frank D., Burak METIN, Ravindra VOHRA a Oliver C. SITTON. Surface Segmental Mobility and Adhesion—Effects of Filler and Molecular Mass. *The Journal of Adhesion* [online]. 2006, 82(9), 903-917 [cit. 2020-05-21]. DOI: 10.1080/00218460600875920. ISSN 0021-8464. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00218460600875920>
- [36] ZAKIR, Muhammad, Usman ASHRAF, Tian TIAN et al. The Role of Silane Coupling Agents and Universal Primers in Durable Adhesion to Dental Restorative Materials - a Review. *Current Oral Health Reports* [online]. 2016, 3(3), 244-253 [cit. 2020-04-27]. DOI: 10.1007/s40496-016-0108-9. ISSN 2196-3002. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s40496-016-0108-9>
- [37] XIE, Yanjun, Callum HILL, Zefang XIAO, Holger MILITZ a Carsten MAI. Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: A review. *Composites Part A: Applied Science and*

- Manufacturing [online]. 2010, 41(7), 806-819 [cit. 2020-04-28]. DOI: 10.1016/j.compositesa.2010.03.005. ISSN 1359835X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359835X10000850>
- [38] MOIZ, Arsheen, *Rajiv PADHYE a Xin WANG*. Durable Superomniphobic Surface on Cotton Fabrics via Coating of Silicone Rubber and Fluoropolymers. *Coatings* [online]. 2018, 8(3) [cit. 2020-04-12]. DOI: 10.3390/coatings8030104. ISSN 2079-6412. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2079-6412/8/3/104>
- [39] PAUSE, Barbara. *Membranes with thermo-regulating properties for architectural application*. In: International Conference On Adaptable Building Structures [online]. Eindhoven, Netherlands, 2006, s. 232-236 [cit. 2020-06-30]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/7c73/0c65495d20e5b0dec47c89fe55e1c922a041.pdf>
- [40] LEROUX, Frédéric, *Christine CAMPAGNE, Anne PERWUELZ a Leon GENGEMBRE*. Atmospheric air plasma treatment of polyester textile materials. Textile structure influence on surface oxidation and silicon resin adhesion. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2009, 203(20-21), 3178-3183 [cit. 2020-04-17]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2009.03.045. ISSN 02578972. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897209003296>
- [41] SARI, Y. *BERRAK a BENGI KUTLU*. Adhesion improvement at polyester fabric-silicone rubber interface by plasmas of argon and air to obtain conveyor belt. *Industria Textila* [online]. 2019, 70(05), 470-480 [cit. 2020-05-18]. DOI: 10.35530/IT.070.05.1501B. ISSN 12225347. Dostupné z: http://www.revistaindustriatextila.ro/images/2019/5/013_Y_BERRAK_SARI_Industria_Textila_5_2019.pdf
- [42] KOWALCZYK, Dorota a *Irena KAMIŃSKA*. Effect of corona discharge on the stability of the adhesion of thin silicone-organic coating to polyamide fiber surface made by the sol-gel method. *Journal of Coatings Technology and Research* [online]. 2017, 14(5), 1115-1125 [cit. 2020-05-18]. DOI: 10.1007/s11998-016-9899-9. ISSN 1547-0091. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11998-016-9899-9>
- [43] SARRAR, Sara, *Ebru GUNISTER, Sulafudin VUKUSIC a Panos LIATSIS*. Materials Selection and Characterization of Fabric Membrane in Tactile Sensing. In: 2020 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET) [online]. Abu Dhabi, UAE: IEEE, 2020, s. 1-7 [cit. 2020-06-30]. DOI: 10.1109/ASET48392.2020.9118394. ISBN 978-1-7281-4640-9. ISSN 978-1-7281-4641-6. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9118394/>
- [44] OJSTRŠEK, Alenka, *Natalija VIRANT, Daryl FOX, Latha KRISHNAN a Andrew COBLEY*. The Efficacy of Polymer Coatings for the Protection of Electroless Copper Plated Polyester Fabric. *Polymers* [online]. 2020, 12(6) [cit. 2020-06-30]. DOI: 10.3390/polym12061277. ISSN 2073-4360. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/6/1277>
- [45] Color Differences & Tolerances - *Datacolor: Commercial Color Acceptability*. In: Online Knowledgebase System [online]. 2008 [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://knowledgebase.datacolor.com/admin/attachments/color_differencetolerances.pdf
- [46] ZMEŠKAL, O., *M. ČEPPAN a P. DZIK*. Barevné prostory a správa barev. Barevné prostory a správabarev: Fakulta chemická, Vysoké učení technické v Brně, 2002.

- [47] TINGAUT, Philippe, *Roland HAUERT a Tanja ZIMMERMANN*. Highly efficient and straightforward functionalization of cellulose films with thiol-ene click chemistry. *Journal of Materials Chemistry* [online]. 2011, **21**(40) [cit. 2020-05-25]. DOI: 10.1039/c1jm11620g. ISSN 0959-9428. Dostupné z: <http://xlink.rsc.org/?DOI=c1jm11620g>
- [48] DE, Goutam, *Basudeb KARMAKAR a Dibyendu GANGULI*. Hydrolysis–condensation reactions of TEOS in the presence of acetic acid leading to the generation of glass-like silica microspheres in solution at room temperature. *Journal of Materials Chemistry* [online]. 10(10), 2289-2293 [cit. 2020-05-25]. DOI: 10.1039/b003221m. ISSN 09599428. Dostupné z: <http://xlink.rsc.org/?DOI=b003221m>
- [49] HOFMANN, Johanna. *IR SPECTROSCOPIC METHOD FOR DETERMINATION OF SILICONE CROSS-LINKING*. 2016. Dostupné z: https://pdfs.semanticscholar.org/4853/34873c8e4551f510bfdc83ac5369e5567310.pdf?_ga=2.188823275.1753104170.1595743166-1550866131.1595743166.
- [50] Porosimeter MK1. In: *Skywatch® [online]*. Switzerland, 1984-2020 [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <https://shop.skywatch.ch/porosimeter-mk1-b6c108p11i1.html>
- [51] (u' , v') *chromaticity diagram, also known as the CIE 1976 UCS (uniform chromaticity scale) diagram*. In: CIELUV [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/CIELUV#/media/File:CIE_1976_UCS.png

8 ZOZNAM SKRATIEK

A	Absorbancia
AFM	Mikroskopia atomárných síl
ATR-FTIR	Infračervená spektroskopia zoslabeného úplného odrazu s Fourierovou transformáciou
BR	Butylový kaučuk
BS	Britský štandardizačný inštitút
CIE	Medzinárodná komisia pre osvetlenie
CMC	Výbor pre meranie farby
CR	Polychlórprén
CSM	Chlórsulfónovaný kaučuk
ČSN	Československá štátna norma
EP	Európsky parlament
EÚ	Európska únia
EURATEX	Európska organizácia pre odevy a textil
EVA	Etylénavinylacetát
FCH	Fakulta chemická
FIR	Vzdialené infračervené žiarenie
FKM	Fluórelastomér
F_{max}	Maximálna sila
F_{min}	Minimálna sila
HDPE	Vysokohustotný polyetylén
HF	Hydrofóbná úprava
IR	Infračervená spektroskopia
ISO	Medzinárodná organizácia pre normalizáciu
LCD	Displej z tekutých kryštálov
LDPE	Nízkohustotný polyetylén
MIR	Stredná infračervená žiarenie
NIR	Blízke infračervené žiarenie
NBR	Akrylonitril/butadién kaučuk
NR	Prírodný kaučuk
OM	Optická mikroskopia
Ozn.	Označenie
PA6	Polyamid 6
PBT	Polybutyléntereftalát
PCM	Materiál s fázovou premenou
PE	Polyetylén
PEN	Polyetylénnaftalát
PET	Polyetyléntereftalát
Pokr.	Pokračovanie
Pozn.	Poznámka
PP	Polypropylén
PS	Polystyrén
PTFE	Polytetrafluóretylén
PTT	Polytrimetyléntereftalát
PU	Polyuretán
PVC	Polyvinylchlorid
PVDC	Polyvinylidénchlorid
SBR	Styrénbutadiénový kaučuk
SEM	Rastrovací elektrónový mikroskop

SFA	Prístroj na meranie povrchových síl
T	Transmitancia
T _g	Teplota skelného prechodu
T _x	Teplota x °C
TOF-SIMS	Hmotnostná spektrometria sekundárnych iónov s analyzátorom doby letu
UV	Ultrafialové žiarenie
VUT	Vysoké učení technické
XPS	Röntgenová elektrónová spektroskopia