

Radko Tiňo a kol.: Prieskum možností využitia plazmochemických úprav materiálov a objektov v konzervátorskej a reštaurátorskej praxi - literárna rešerž

Prieskumu zbierok fotografií – predbežné výsledky (etapa 1, cieľ 1.3)

Pri identifikácii fotografií z 19. a 20. storočia v Slovenskom národnom archíve bola väčšina fotografií identifikovaná ako želatínové a albumínové. Pritom z 3603 kusov fotografií (želatínových, albumínových, kolódiových a iných) 34,7% tvorili fotografie albumínové.

Pri prieskume fotografií v SNG bolo identifikovaných 1090 fotografií, z čoho bola väčšina želatínových a len 97 albumínových.

Zahájil sa prieskum fotografií v zbierkach SNM-HM z depozitára lokalizovaného v Pezinku a v ďalších inštitúciách.

Využitie plazmy pri ošetrovaní papiera – výsledky rešerše (etapa 1, cieľ 1.1)

Je známe, že pôsobenie výbojovej plazmy môže byť využité na sterilizáciu a na prípadné odstránenie povrchových depozitov z archívnych dokumentov a iných objektov kultúrneho dedičstva (Vaswani, 2005, Vohrer, 2001, Havermans, 1996).

Vákuové výbojové techniky za zníženého tlaku sa dajú úspešne nahradiť pomerne homogénnymi difúznymi výbojmi pri atmosférickom tlaku (Trunec, 2004, Kloc, 2006), ako sú napr. dielektrické bariérové výboje, objemový DBD, koplanárny C-DBD a rôzne vyfukované výboje v zhášanom prietokovom režime.

Po aplikovaní agresívnej, čistiacej a sterilizačnej plazmy (vyššieho výkonu a za prítomnosti kyslíka) na organické materiály (papier, drevo, polyméry) je vhodné povrch týchto materiálov zastabilizovať a hydrofobizovať vytvorením tenkej nanometrovej bariérovej a hydrofóbnej vrstvy.

Aktivácia a hydrofilizácie povrchu papiera plazmou

Autori (Carlsson & Strom 1991) použili filtračný (otvorená štruktúra) a nepremastiteľný (kompaktná štruktúra) papier. Na filtračný papier sa použila vodíková nízkotlaková plazma generovaná pri 100W, 13.52MHz pri tlaku 100Pa s časom expozície 0 – 16 minút. Pri nepremastiteľnom sa použila kyslíková plazma generovaná pri 20W, 275kHz pri tlaku 4.4Pa s časom ošetrovania 0 – 60s. Ošetrené papiere sa lisovali s polyetylénom pri teplotách od 110°. Filtračný papier mal lepšiu adhéziu k PE a vykazoval väčšiu pevnosť.

Vytvorenie hydrofóbneho povrchu papiera

V prípade (Balu et al. n.d.) sa testovalo 5 typov papiera rôzneho druhu. Kopírovací, kuchynský, papierové hárky s obsahom listnatých (50%,100%) alebo ihličnatých(50%,100%) vlákien. Vzorky boli vytemperované na teplotu 110°C, pod tlakom 1Torr, ako nosné médium sa použil argón a aktívna látka pentafluóroetán (PFE) s výkonom plazmy 120W s dobou ošetrovania 2 minúty. Pred samotným nanášaním PFE sa vzorky najprv leptali plazmou kde plyn bol kyslík pri tlaku 0.55 torr, výkone 10W a premenlivej dobe ošetrovania v rozmedzí 0 – 60 minút. Namerané kontaktné uhly sa pohybovali v rozmedzí 150 – 160°. Neošetrené vzorky mali kontaktné uhly v okruhu 80°.

Fluorináciou (CF₄) papiera (bez aditív, 75 g/m²) podľa (Sahin et al. 2002) možno dosiahnuť kontaktný uhol 147° ak sa ošetruje pri výkone plazmy 500W, čase 10minút a tlaku 300mTorr.

Sterilizácia povrchu papiera plazmou

Ošetrovanie staršieho papiera napadnutého baktériami Gram negatívnej E-coli, Gram pozitívnej Staphylococcus-aureus, a hubou Aspergillus-niger možno sterilizovať podľa (Shaer et al. n.d.). Testovala sa atmosférická plazma na lokálnu sterilizáciu aplikovaná cez mikroJet (5.7kHz) a ihlu(27.3MHz) kde nosný plyn bolo Hélium. Výsledky zlepšenia ošetrovania boli preukázané. Na papier vyrobený z drevoviny v období 1955-1960 boli testované účinky dekontaminácie nízkotlapej plazmy (0.17-0.89mbar, 13.56MHz, 900W, kyslík, dusík, 20 min) na kultúry: Bacillus subtilis/niger, Aspergillus niger, Micrococcus luteus, Trichoderma longibrachiatum. Kyslíková plazma bola účinnejšia na dekontamináciu ale dusíková zase zvyšovala pevnostné vlastnosti papiera. (Vohrer et al. 2001)

Využitie plazmy pri ošetrovaní papiera – experiment (etapa 1, cieľ 1.2)

Takúto vrstvu možno pripraviť aplikovaním vhodných pár na predtým plazmou aktivovaný a obnažený povrch bez ďalšej asistencie plazmy, alebo za účinnosti plazmy s vhodným pracovným (nosným) inertným plynom, nesúcim organické pary najčastejšie, organo-silikonové (HMDSO, HMDSZ, resp. fluorované uhlovodíky (Huang, 2015, Mikula, 2008).

Aplikácia pár na aktivovaný povrch spôsobí jednak rekombináciu a deaktiváciu voľných radikálov a vysokoenergetických centier na povrchu materiálu po jeho agresívnom opracovaní plazmou a jednak tvorbu tenkej nanovrstvy s hydrofóbnym charakterom. Vniknutá nano-vrstva pritom (podľa trvania plazmovej polymerizácie a výslednej hrúbky vrstvy) zachová poréznu štruktúru materiálu (priedušnosť) bez optických a mechanických zmien.

Takáto deaktivácia a hydrofobizácia môže zabezpečiť určitú stabilizáciu materiálu voči pôsobeniu vlhkosti a biologickému ataku.

Využitie plazmy pri ošetrovaní dokumentov so železozalovým atramentom – výsledky rešerše (etapa 1, cieľ 1.1)

Korózia železozalových atramentov je zapríčinená kombinovanou degradačnou aktivitou kyseliny sírovej a železnatých iónov na nosnom materiáli. V prípade papiera kyselina spôsobuje hydrolyzu celulózy, kým železnaté ióny katalyzujú jej oxidáciu. Oba tieto procesy spôsobujú postupnú depolymerizáciu celulózy, sumárnym výsledkom je krehnutie papiera. Z hľadiska zmien atramentu možno pozorovať zhnednutie ťahov písma, pretláčanie písma na rubovú stranu, prípadne až stratu papiera v mieste písma, ktorá ohrozuje dokument ako celok. Z dôvodu zachovania vzácnych písomností je snahou konzervátorov a reštaurátorov prinavrátiť dokumentom stratenú pevnosť.

Plazma bola použitá pri reštaurovaní prirodzene zostarnutých krehkých archívnych dokumentov, pričom nastalo hojenie mikrotrhlín papiera (Vohrer, 2001). Bázická plazma sa použila na čiastočné čistenie a deacidifikáciu kníh a na spevnenie papiera pomocou následného očkovania a polymerizácie (Vohrer, 1996). Bolo dokázané, že sa dosiahne zlepšenie mechanických vlastností zostarnutého papiera po opracovaní plazmou v atmosfére Ar/H₂ a O₂/H₂ (Laguardia, 2005).

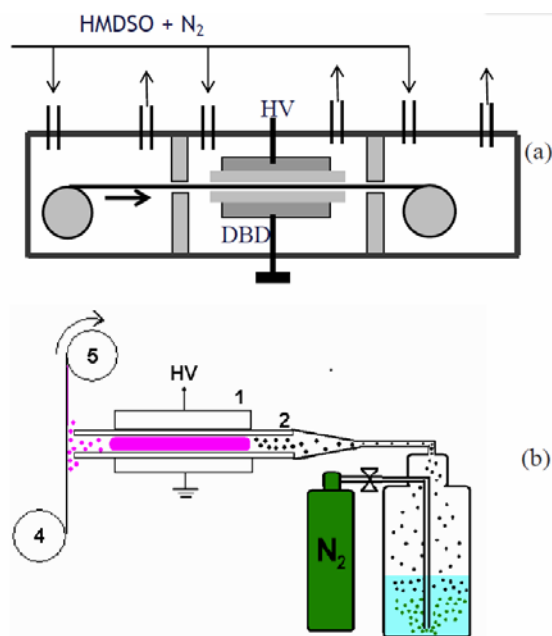
Opracovanie nízkotepelnou plazmou pomocou výboja v atmosfére vodíka, ktorý má redukčné účinky na celulózové povrchové vlákna, môže zlepšiť pevnosť zostarnutého papiera (Anders, 1996).

Využitie plazmy pri ošetrovaní dokumentov so železozalovým atramentom – experiment (etapa 1, cieľ 1.2)

Cieľom experimentu bolo štúdium opracovania papiera s nanoseným železozalovým atramentom v dusíkovej plazme objemového dielektrického bariérového výboja (DBD) pri atmosférickom tlaku a kombinácie plazmoveho opracovania s ďalšími látkami (neutralizačnými, spevňujúcimi, antioxidačnými) na stabilizáciu dokumentov, za účelom zvýšenia pevnostných vlastností dokumentov. Skúmal sa vplyv modifikácie na zmeny

vlastností papierových podložiek v priebehu urýchleného starnutia porovnaním mechanických a chemických vlastností nestarutých a starutých vzoriek a sledovali sa aj zmeny optických vlastností vzoriek v priebehu urýchleného starnutia.

Bol sledovaný priaznivý účinok plazmochemického opracovania, avšak nie samotného, ale v kombinácii s ďalšou účinnou látkou. Ide o postup, v ktorom povrch dokumentu je najskôr aktivovaný v bariérovom dielektrickom výboji a následne impregnovaný roztokom spevňujúceho polyméru (chitosanu), resp. zmesi s neutralizačným činidlom $Mg(HCO_3)_2$ a antioxidantom jodidom draselným. Všetky použité modifikácie priaznivo ovplyvnili pH papiera a mechanické vlastnosti, optické vlastnosti atramentov menili len nepatrne.



Principiálne schémy opracovania fóliového materiálu (papiera) pri atmosférickom tlaku pre opracovanie

- (a) v aktívnej oblasti DBD
- (b) v zhasanom ofukovanom režime

Využitie plazmy v historickej fotografii – výsledky rešerše (etapa 2, cieľ 2.1)

V prvom roku riešenia sa vykonala/aktualizovala rešerš zameraná na štúdium využitia plazmy v oblasti historickej fotografie. Zistilo sa, že publikácií zameraných priamo na štúdium vplyvu plazmy na fotografický obraz nie je veľa. Častejšie je popísaný vplyv plazmy na materiály používané v historickej fotografii, ako papier, želatína, albumín, ktoré sú často napádané mikroorganizmami, najmä plesňami a baktériami, spôsobujúcimi degradáciu reťazcov a zmenu vlastností týchto materiálov. Ošetrenie papiera plazmou môže viesť k zlepšeniu jeho mechanických vlastností a plazma má sterilizačné účinky na niektoré huby (*Aspergillus niger* a *Penicillium funiculosum*, pri použití O₂/H₂ a H₂/Ar plyných zmesí). Z ďalšieho výskumu vyplýva, že krátke ošetrenia (max. 30 min.) nespôsobujú degradáciu biopolymérov, ale môžu prispieť k odstráneniu povrchových nečistôt.

V oblasti kultúrneho dedičstva sa stretávame so snahou použiť nízkotepelnú plazmu na dekontamináciu a čistenie povrchu fotografií. Toto ošetrenie môže viesť k poklesu drsnosti povrchu fotografií, čo vedie k zvýšeniu lesku albumínových fotografií. Použitie H₂/Ar nízkotepelnej plazmy (40 °C) môže napomôcť zosvetleniu farieb a viesť k zosieťovaniu albumínového filmu.

Dekontaminácia historických fotografií plazmou

Na vzorky fotografií pochádzajúce z obdobia roku 1932 - 1935 boli testované účinky dekontaminácie nízkotlakej (vzduch, 0.35mbar, 13.5MHz, 100W, 35-40°C, cca 20-30min.) plazmy. Preukázalo sa napadnutie baktériami: Bacillus, Sarcina, Micrococcus, Clostridium a hubami: Alternaria, Cladosporium, Aspergillus, Penicillium, Rhizopus. Po ošetrení boli úplne dekontaminované: Aspergillus, Cladosporium, Alternaria, Penicillium a Rhizopus. Dekontaminácia počas 20 až 30 minút preukázala potlačenie rastu a kmeňový vývoj pre: Sarcina a Micrococcus. Ošetrenie viac ako 30 minút bolo účinné pre Clostridium a Bacillus. (Ioanid et al. 2010)

Ošetrenie historických fotografií

Na vzorkách dvoch fotografií sépiového odtieňa pochádzajúcich z rokov 1933 a 1917, boli testované účinky nízkotlakej plazmy (0.15mbar, 13.5MHz, 100W, 15min., 20°C, kyslík-argón v pomere 1:1). Emulzia, ktorá bola použitá pri výrobe fotografií obsahovala zložky albumínu a želatíny. Výsledným efektom bolo **zvýšenie kontrastu** fotografií a **premena degradačných oxidov a sulfidov striebra na kovové striebro**. (Ioanid et al. 2011)

Využitie plazmy v historickej fotografii – predbežný experiment (etapa 2, cieľ 2.2)

V experimente sa testoval vplyv plazmy na optické vlastnosti albumínových fotografií. Zistilo sa, že použitie nízkotepotej plazmy nemá výrazný vplyv na zmenu farebnosti albumínových fotografií, dochádza len k miernemu žltnutiu, čo je sprevádzané nárastom farbovej súradnice b^* . V FTIR spektrách všetkých vzoriek po 15 minútovom ošetrení nízkotepotnou plazmou (dusíkovou, vzduchovou, CO₂) dochádza k nárastu absorbancie v oblasti 1400 až 1300 cm⁻¹ bezprostredne po ošetrení, v priebehu vlhkého starnutia však dochádza k čiastočnému návratu do pôvodného stavu, čo naznačuje, že charakter pozorovaných zmien môže byť skôr fyzikálny.

Využitie plazmy pri ochrane drevených objektov

Aktivácia a hydrofilizácia povrchu dreva

Aktivácia povrchu dreva plazmou sa vykonáva prostredníctvom inertných alebo slabo reaktívnych plynov ako O₂, N₂, He, Ar. Atmosférická plazma má tendenciu povrch hydrofilizovať ale pri použití NH₃ má zase účinok hydrofobizácie. Vzorky pochádzajú z jedle, typ plazmy je DBD. (Blanchet & Landry 2015). Zlepšenie adhézie dreva k lepidlu a jeho silu spojenia popisuje (Rehn & Viöl 2003). Vzorky dreva pochádzali zo stromov tíku, duba, agátu, buka a smreku. Aplikáciou atmosférickej DBD plazmy sa zvýšila príľnavosť lepidla a pevnosť spoja. Materiály sa ošetrovali plazmou intervale 0-20 sekúnd, teplote 35°, výkone plazmy 520W s frekvenciou 15kHz. Najlepšie výsledky sa dosiahli pre agát, kde pevnosť spoja sa zvýšila o 28% v skúške lomu a o 18% pri skúške delamináciou. Pri využití atmosférickej DBD plazmy, kde ako reagent slúži vzduch, možno zvýšiť zmáčavosť povrchu európskeho buka (Wascher et al. 2014). Podľa doby vystavenia DBD atmosférickej plazmy sa aj menia namerané kontaktné uhly. Kontaktné uhly sa pohybujú v rozmedzí od 45 do 5° a pre rôzne časy z intervalu **0- 10 sekúnd**. Generovanie plazmy bolo pri napätí 20-28kV a frekvencii 17kHz.

Rôznymi parametrami nastavenia generovania (400-1200W) nízkotlakej plazmy, doby expozície (1-30 min.) jedľového dreva, vzdialenosťou medzi zdrojom plazmy a vzorkou (28-60cm) a využitím rôznych plynov ako O₂, N₂, He, Ar sa dosiahla rozdielna zmáčavosť v rozmedzí kontaktných uhlov 110° po 15°, kde referenčná vzorka mala kontaktný uhol 115°. Pokusy prebiehali pri 20°C, tlaku 0,08mbar. Konštantné podmienky: Ako reakčný plyn je použitý kyslík, ošetrovací čas 5min., výkon 900W, vzdialenosť vzorky 44cm. Zo zvyšujúcim

sa napätím (9-15kV) a dobou ošetrovania (1-30 min.) dubového dreva vzdušným korónovým výbojom sa dosiahlo zníženie kontaktného uhla zo 61° na interval v rozsahu 40-12°.

Štandardné podmienky: 20°C, 9kV, 5min. Ďalšie výsledky poukazujú aj porovnanie zlepšenia zmáčateľnosti povrchu korónovým výbojom pri napätí 9 a 15kV s plazmou generovanou pri 900W v prostredí vzduchu alebo dusíka. Korónový výboj sa preukázal ako menej efektívny. (Podgorski et al. 2000)

Korónovou plazmou (3 a 5kV, vzduch, 20°C, doba ošetrovania 6x1.2m/min) sa zvýšili účinky adhézie troch druhov drevených ohobľovaných vzoriek: dub, borovica, iroko. Najlepšie výsledky preukázal dub, kde rozdiel kontaktných uhlov pri použití deionizovanej vody neoštrenej a oštrenej vzorky predstavoval približne 46°, ďalej iroko 45° a borovica 15°. (Custódio et al. 2009)

Tvorba hydrofóbných povrchov dreva

Štúdie pri tvorbe hydrofóbného povrchu boli inšpirované mnohými príkladmi z prírody, ako napríklad listy lotosu, krídla hmyzu, vodná korčuliarka atď. Pri využití postupu podľa (Toriz et al. 2008) sa dosiahli kontaktné uhly väčšie ako 138°. Použil sa vlastný prototyp DBD plazmového výboja, vysušené dyhy z bieleho javora a ošetrovali sa reagujúcimi látkami: Metán (CH_4), etylén (C_2H_4), hexanfluórpropylén (C_3F_6), chlorotrifluóroetylén ($\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}$) v inertnom plyne hélia. Experiment prebiehal pri atmosférickom tlaku, teplote prostredia 25° a ošetrovanie vzorky po dobu 3 minút.

Zvýšenie kontaktného uhla zo 16° na 94° možno dosiahnuť pre borovicu ošetrovanou nízkotlakovou plazmou (0.08mbarr) v prostredí plynov $\text{CF}_4 + \text{C}_3\text{F}_6$ pri výkone 900W po dobu 15minút s teplotou 20°. Korónovým výbojom v prostredí etylénového plynu (1l/min) možno zvýšiť vodeodolnosť povrchu dubového dreva zo 45° na 75° pri napätí výboja 9/12/15kV počas 5 minút ošetrovania. (Podgorski et al. 2000)

Využitie SBD atmosférickej plazmy na topoľové drevo spôsobilo zvýšenie odolnosti proti vode zo 63° na 120°. Nanášala sa vrstva HMDSO. (5kHz, dusík, 120sek., 1.1 W cm^{-2}). Pred nanášaním vrstvy sa drevo aktivovalo v prostredí vzduchu po dobu 5sekúnd. (Ráhel, J., Sťahel, P. 2011)

Na vzorky smreku boli aplikované plyny: etén, metán a silán/dusík (1:49) v prostredí atmosférickej BDB plazmy (20kV, 17kHz). Etén sa aplikoval v rozmedzí 60 sekúnd pri 60-95°C, metán 120 sekúnd pri 60-90°C a silán/dusík 1-5sekúnd pri 40-70°C. Najlepšie výsledky sa dosiahli pri plyne silán/dusík kedy kontaktný uhol sa zvýšil zo 72° na 145°. (Bente et al. 2004)

Sterilizácia povrchu dreva

Najväčším problémom pre drevo sú huby, plesne a hmyz. Pri dekontaminácii modrej huby *Aureobasidium pullulans* podľa (Leclaire, CH., Lecoq, E. et. al. 2016) boli testované sterilizačné účinky plynu zloženého z rôzneho pomeru N_2/O_2 (80/20, 95/5, 100/0) v DBD plazme a pri dobe expozície (1,2,15 minút). Huba spôsobuje modré sfarbenie, ktoré sú z estetického a ekonomického hľadiska nežiadúce. Výsledky ukazujú inaktiváciu huby po 15 minútach. Štandardné podmienky: 40°C, 900W, 125kHz

Využitie plazmy pri ochrane a modifikáciach výrobkov z kože

Koža tvorí významnú časť objektov nachádzajúcich sa v múzejných zbierkach. Podobne ako ostatné prírodné materiály, aj kožu je možné modifikovať nízkotepelnou plazmou.

Aktivácia a hydrofilizácia povrchu kože

Rôznym pomerom zložiek v reakčnom plyne zloženého z HDMSO - hexametyldisiloxánu a toluénu (1:0, 1:1,3:1), kde nosný plyn je argón, možno dosiahnuť hydrofilný povrch **kozej kože** a predĺženie absorpcie vody pri rôznych časoch expozície (0 – 120 s) pri výkone atmosférickej BDB plazmy 80W alebo pri rôznych výkonoch (20 – 100W) pri ošetrovacom čase 90s pri teplote 25°C. Kontaktné uhly sa pohybujú od 105° do 0°. Tak isto sa zlepšilo odstraňovanie škvŕn pri aplikácii HDMSO ako pri neošetrenej vzorke. (Karagüzel & Öztürk 2013)

Použitie plynu o zložení O₂/H₂O (150 ml/min) zvyšuje hydrofilnosť povrchu prasacej kože, kde kontaktné uhly neošetrenej vzorky sú v okolí 83° a ošetrenej v okolí 21°. Ošetrovanie prebieha v rôznych časoch z intervalu 5-10minút. Hydrofilnosť kože sa približne po 5 dňoch vrátila do normálu. Štandardné podmienky: nízkotlaká BDB plazma - 0.1Pa, 380W, 13.56MHz, teplota prostredia. (You et al. 2016)

V prípade použitia kyslíka ako plazmového plynu možno zlepšiť adhéziu a zvýšiť tak farebnú hĺbku aplikovaných prírodných farbív (Eco-Garnet Brown, Eco-Turkey Red, EcoSmoke Grey, Eco-Hill Brown-II). Kozia koža sa ošetrovala pri napätí BDB atmosférickej plazmy 7kV, frekvencii 50Hz po dobu 15minút, pri teplote prostredia. Následne sa farbila vo vodnom roztoku daných farbív. (Dave et al. 2016)

Metódy vytvorenia hydrofóbného povrchu

Podľa (Hyuk et al. 2003) spôsobuje tetrafluómetán (CH₄) hydrofóbnosť prírodnej kože.

Vzorky boli testované pri rôznych zloženiach plynov nízkotlakej plazmy (paralelné elektródy). Ošetrovalo sa po dobu 120s vo vákuu pri tlaku 1-10torr, o výkone plazmy 30W a frekvencii 13.56kHz. Ako plyn boli použité rôzne pomery O₂/He a samostatne testovaný CH₄. V prípade testovania pomerov plynov sa znižovali kontaktné uhly z 76° o jednotky až 50-ky stupňov. Pri aplikácii CH₄ sa kontaktný uhol zvýšil na 79°.

V publikácii (Wang 2014) popisuje zníženie zmäčavosti, kedy kontaktný uhol neošetrenej vzorky (čalúnená koža) stúpol zo 120° na 140° po ošetrovaní. Najlepší výsledok zo súboru testovaných možností sa osvedčilo nastavenie nízko-teplotnej plazmy o výkone 50W počas 300 sekúnd nanášania monoméru Vinyltriethoxysilán (VTES). Štandardné parametre: tlak v plazmovej komore - 50Pa, teplota prostredia 25°C. Taktiež sa testovalo na akú dlhú dobu si ošetrovaná koža udržala hydrofóbnosť. Podľa publikácie je to 240 dní.

Sterilizácia povrchu kože plazmou

V publikácii sa (Idris et al. n.d.) venujú antimikrobiálnemu ošetrovaniu kravskej a kozej kože suspenziou nanočastíc striebra pred alebo po ošetrovaní v korónovom výboji atmosférickej plazmy (7kV, 30x2m/min). Skúmané sú baktérie druhu E. Coli a S. Aureus. Výsledky ukázali zvýšenú ochranu pred mikróbami s impregnáciou nanočastíc striebra ako bez impregnácie. Do úvahy je však potrebné brať antimikrobiálne vlastnosti samotného koloidného striebra.

Využitie plazmy na sterilizáciu kozej a kravskej kože podľa (Ioanid G., Ioanid A. 2007) od húb typu Aspergillus a Gram pozitívnych baktérií, dokázali ich inaktiváciu. Zároveň sa zvýšila hydrofilnosť kože, kde sa kontaktný uhol mierne zmenil z 28° na 23°. Ošetrovalo sa korónovou plazmou pri teplote 40 – 50°C, tlaku 3.5 mbarr, výkone 100W a frekvencii 1.2 – 13.56 MHz po dobu 30 minút. 1 hodinu po ošetrovaní sa sledovala aktivita mikróbov.

Využitie plazmy pri ochrane a modifikáciach tkanín

Tkaniny predstavujú zosieťovaný materiál zložený z chemických alebo prírodných vlákien účelovo pospletaných do súvislého celku, ktorý je určený na široké použitie. Prírodné vlákna v tkaninách môžu pochádzať zo zvierat (vlna - keratín), hmyzu (hodváb - fibroín, sericín) alebo rastlín (bavlna - celulóza).

Metódy aktivácie a zmáčateľnosti povrchu tkanín účinkom plazmy

V publikácií (Zille et al. 2014) sú uvedené výsledky rôznych nastavení, plynných médií, porovnaní typov atmosférickej plazmy, ktoré poukazujú na zlepšenie hydrofobicity, hydrofilnosti, adhézie (potlačiteľnosť, farbenie) vybraných druhov tkanín. Napríklad pre bavlnenú tkaninu sa zlepši zmáčateľnosť ak BDB plazmový výboj horí v atmosfére argónu alebo vzduchu, kontaktné uhly neošetrenej a ošetrenej vzorky sú v rozmedzí od 107.5° do 0° pri výkone 50 – 130W. Pre zvýšenie hydrofóbnosti parametre BDB plazmy: 2000W, HMDS v argóne kde kontaktný uhol je 140°. Pre vlnenú tkaninu na zvýšenie zmáčateľnosti sú vhodné parametre BDB plazmy: 600W, vzduch, kontaktný uhol sa mení z 145° na 0°. Zvýšenie hydrofobicity je uvedená napr. metóda nízkotlakej plazmy. Testy prebiehali pri teplote prostredia.

Metódy sterilizácie povrchu tkanín

Kyslíková plazma (magnetron-naprašovacie zariadenie-jednosmerný prúd) sa podľa (Shahidi & Ghoranneviss 2013) javí ako vhodné riešenie pre sterilizáciu bavlnenej tkaniny pri napadnutí baktériou *Staphylococcus aureus* v rôznych štádiách rastu. Ošetrovanie prebiehalo 2 minúty pri tlaku 0,05 torr, výkone 200W plazmového reaktora a pri teplote prostredia. V publikácií sa tiež spomína, že ako účinné ničenie baktérií *Bacillus atrophaeus* sa osvedčila argón-kyslíková plazma.

substrát	Typ plazmovej úpravy	Podmienky plazmovej úpravy					Výsl. efekt
		Typ plazmy	atmosféra	výkon	čas	tlak	
papier	Aktivácia a hydrofilizácia	DBD, C-DBD, vyfukovaný výboj	O ₂ , H ₂ , Ar/H ₂ , O ₂ /H ₂	20-100W	0-16 min.	Nízky tlak, 4,4 Pa	
papier	hydrofobizácia	-	Ar + PFE CF ₄	10-120W 500W	2 – 60 min. 10 min.	0,55 až 1 Torr 0,3Torr	Zvýšenie kont. uhlov z 80° na 160°
papier	sterilizácia	Atmosf. plazma - microJet	He			Atmosf.	
papier	sterilizácia		O ₂ , N ₂	100-900W	20-30 min.	0,17-0,89 mbar	
drevo	Aktivácia a hydrofilizácia	DBD Korónový výboj	O ₂ , N ₂ , He, Ar	520W 400-1200W	0-20 s		Testované dreviny teak, dub, smrek, buk, smrekovec, borovica
drevo	hydrofobizácia	DBD, SBD	NH ₃ HDMSO CH ₄ , C ₂ H ₄ C ₃ F ₆ C ₂ F ₃ Cl 1 l/min		1-5 s. 2-3 min.	0,008 mbar	Zvýšenie kontaktného uhla z 60-70° až na 138-145°
drevo	sterilizácia	DBD ADRE	N ₂ /O ₂	900 W	1-15 min.	Atm.	

koža	Aktivácia a hydrofilizácia	DBD	HDMSO/Tol uén + Ar O ₂ /H ₂ O (150ml/min)	20-100W	0-120s 5-10 min	Atm. Alebo 0,1Pa	Zníženie kont. uhlov zo 105° až na 0° Hydrofilnosť sa po niekoľkých dňoch vracia do normálu
koža	hydrofobizácia	Vákuová plazma, paralelné elektródy	CH ₄ O ₂ /He VTES	30-50W	120-300s	1-10 Torr	Stabilná uprava
koža	Sterilizácia	Korónový výboj	O ₂	100W	30 - 60 min.	3,5 mbarr	
tkaniny	Aktivácia a hydrofilizácia	DBD	Ar, vzduch	50-130W 600W			
tkaniny	Hydrofobizácia	DBD	HDMS + Ar.	2000W			Do 140°
tkaniny	Sterilizácia	Mikrovlnná plazma	O ₂ O ₂ /Ar	200W		0,05 torr	

Zhrnutie

Z predloženej štúdie vyplýva, že pre aktiváciu a hydrofilizáciu všetkých materiálov, ktoré sú súčasťou projektového zámeru je možné použiť difúzny koplánary bariérový výboj (DCSBD) plazmu v atmosférach vzduchu (najlacnejšia) a čistých plynov O₂, N₂, H₂, CO₂ a Ar. Z hľadiska možnej využiteľnosti technológie v praxi doporučujem sústrediť pozornosť na využitie vzduchu, no bude potrebné porovnať účinnosť aj s čistými plynmi. Výkony uvádzané v literatúre sa pohybujú na úrovniach 20-1200W. Je zrejme, že silnejší efekt bude možné dosiahnuť pomocou plazmy horiacej pri vyššom výkone, optimálne na úrovni okolo 400W z hľadiska predídania možného poškodenia opracovávaných materiálov účinkom zvyšujúcej sa teploty pri nadmernom vystavení vysokoenergetickej plazme. Navyše, výkony na úrovni okolo 400W umožňujú využiť krátke časy pre opracovanie, v trvaní rádovo sekúnd, alebo desiatok sekúnd. Pre testovanie hydrofobizácie povrchov sa ako najefektívnejšia javí nízkotlaková plazma, no je možné využiť aj plazmovú trysku pracujúcu s Argónom ako nosným plynom, obsahujúcom rôzne druhy halogenovaných uhlíkovodíkov. Trvanie takýchto režimov je možné nastaviť v rozmedzí 2-10 minút. Je možné očakávať, že s predĺžovaním času bude rásť hrúbka ochrannej vrstvy na povrchu substrátu. Z hľadiska testovania sterilizačných účinkov plazmy na testované materiály je tiež možné využiť bariérový a korónový výboj najčastejšie v atmosfére obsahujúcej hlavne O₂ a N₂. Ten je v prípade plazmy horiacej za atmosferického tlaku zodpovedný za tvorbu reaktívnych častíc, ktoré sú zodpovedné za dekontamináciu a v niektorých prípadoch až za sterilizáciu povrchu vystavenému účinku plazmy. Výkony by sa v tomto prípade mali používať čo najvyššie, aby došlo k tvorbe čo najväčšieho množstva reaktívnych častíc. Pre efektívnu sterilizáciu je potrebné rátať s časmi 10 – 20minút (v závislosti od stupňa kontaminácie povrchu a typu mikroorganizmov kolonizujúcich povrch substrátu).