

# Laboratorij za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja

Sandra Flinčec Grgac<sup>1</sup>, Anita Tarbuk<sup>2</sup>, Tihana Dekanić<sup>3</sup> i Tanja Pušić<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, [sflincec@tff.unizg.hr](mailto:sflincec@tff.unizg.hr)

<sup>2</sup> suradnik, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, [anita.tarbuk@tff.unizg.hr](mailto:anita.tarbuk@tff.unizg.hr)

<sup>3</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, [tihana.dekanic@tff.unizg.hr](mailto:tihana.dekanic@tff.unizg.hr)

<sup>4</sup> Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, [tpusic@tff.unizg.hr](mailto:tpusic@tff.unizg.hr)

**Sažetak:** Laboratorij za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja osnovan je 2019. godine na Sveučilištu u Zagrebu Tekstilno-tehnološkom fakultetu. Smješten je u prostoriji S-14 na adresi Savska 16/9, Zagreb. Laboratorij je opremljen suvremenim uređajima i metodama koje omogućavaju detaljno istraživanje svojstava kupelji, sorpciju kupelji sa sredstvima za obradu u različitim omjerima, primarno uzevši u obzir međupovršinske pojave tkanina i sredstava u kupelji, praćenje procesa kvašenja, in situ praćenje utjecaja topline na fizikalno-kemijske promjene u uzorku i određivanje sposobnosti upravljanja vlagom što omogućuje preciznije optimiranje operacijskih procesa obrade tekstilija s ciljem minimalnog oštećenja uz postizanje postojanosti ciljanih svojstava na višestruke cikluse održavanja. Minimalno oštećenje će osigurati tekstilije visokih vrijednosti čija primjena može biti i u visokozahtjevnim uvjetima čistog prostora, a njihovo vrednovanje provodi se primjenom uređaj za ispitivanje generiranja tekstilne prašine. Uspostavom Laboratorija i nabavkom nove opreme povećan je institucijski kapacitet te se unapređuje nacionalna i međunarodna prepoznatljivost.

**Ključne riječi:** brojač čestica tekstilne prašine, međupovršinske pojave, kut dodira, sposobnost upravljanja kapljevitom vlagom, FTIR-ATR grijana jedinica do 300 °C.

## 1. Uvod

**HPROTEX**

Projekt UIP-05-2017-8780 „Bolničke zaštitne tekstilije“ (HPROTEX) (15. 3. 2018. – 14. 9. 2023.) financiran od Hrvatske zaklade za znanost

(HRZZ) ima dva opća cilja: 1. Osnivanje interdisciplinarnе istraživačke skupine; 2. Uspostava Laboratorija za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja. Ovi ciljevi omogućavaju sustavno istraživanje i prijenos znanja usmjerenih ka rješavanju problema pojave tekstilne prašine u bolničkom okruženju uz praćenje postupka umrežavanja pojedinih sredstava za postizanje postojećih svojstava tako razvijenih tkanina [1]. <https://hprotex.online/> Zahvaljujući temeljnom financiranju ovog projekta, proširen je znanstveno-istraživački radi u vidu dva nova projekta. Prvi je „Projekt razvoja karijera mladih istraživača - izobrazba novih doktora znanosti“ Hrvatske zaklade za znanost DOK-2018-09-4254 „Bio-inovirani poliesterski materijal za ciljnu primjenu u bolničkom okruženju“ koji omogućava financiranje ukupnog troška plaće doktoranda, s primarnim ciljem izrade doktorskog rada i usvajanja znanja o temeljnim postavkama znanstvenog rada i istraživanja na razdoblje od 4 godine (25.4.2019.-24.4.2023.); a drugi bilateralni znanstveno-istraživački projekt u sklopu zajedničke hrvatsko-srpske suradnje naziva “Bio-inovirani poliesteri” (1.5.2019-30.6.2022.) pri čemu Ministarstvo znanosti i obrazovanja financira troškove putovanja i boravka suradnika na projektu. Uspostavom Laboratorija i nabavkom nove opreme, doći će do mogućnosti realizacije svih ciljeva navedenih projekata uz edukaciju mladih istraživača - doktoranada, čime se povećava institucijski kapacitet te doprinosi se nacionalnoj i međunarodnoj prepoznatljivosti.




**Slika 1:** Laboratorij za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja

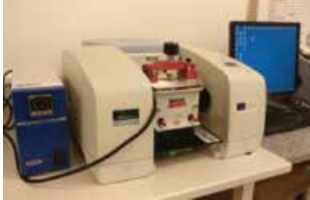

## 2. Uspostava Laboratorija za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja

Zahvaljujući financiranju HRZZ tijekom prve godine projekta nabavljena je ključna oprema za osnivanje laboratorija: Jedinica za kontroliranje i podešavanje visoke temperature (Golden Gate Controller) i Grijana jedinica ATR (temp. 300 °C) (High temperature, Golden Gate ATR (temp 300°C)) koje su nadograđene na Fourierov transformirajući infracrveni spektrometar, Perkin Elmer, goniometar s analizom kapljice i nagibnim stolićem - Drop Shape Analyzer (DSA30S), KRÜSS GmbH, uređaj za određivanje sposobnosti upravljanja vlagom (Moisture Management Tester, MMT), SDL Atlas nabavljen od strane Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta u okviru osiguranih troškova ustanove vezanih uz projekt UIP-05-2017-8780 HPRO-TEX. Osim novo nabavljenih uređaja i modularne nadogradnje, postojeći laboratorij obuhvaća ranije nabavljenu/izrađenu znanstveno-istraživačku opremu: Aparature za mjerenje prodora kapljevine izrađene u skladu s AATCC metodama ispitivanja, Aparaturu za određivanje sposobnosti zadržavanja vode, te Uređaj za ispitivanje generiranja tekstilne prašine.

"Laboratorij za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja" uspostavljen je na Sveučilištu u Zagrebu Tekstilno-tehnološkom fakultetu 21. listopada 2019. u sklopu projekta UIP-05-2017-8780 "Bolničke zaštitne tekstilije". Za uspostavu Laboratorija odgovorne su izv. prof. dr. sc. Sandra Flinčec Grgac (ujedno i voditeljica Laboratorija), izv. prof. dr. sc. Anita Tarbuk, doc. dr. sc. Tihana Dekanić i prof. dr. sc. Tanja Pušić. Oprema je smještena u Zavodu za tekstilnu kemiju i ekologiju Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta. Popis opreme, proizvođači i mogućnosti primjene dati su u tablici 1.

**Tablica 1:** Naziv opreme, proizvođači i mogućnost primjene

Naziv opreme (proizvođač)	Mogućnost primjene
Drop Shape Analyzer (DSA30S), (KRÜSS GmbH) 	Goniometar s analizom kapljice i nagibnim stolićem (DSA30) omogućuje detaljno istraživanje svojstava kupelji. Ima mogućnost određivanja slobodne površinske energije, dodirnog kuta i površinske napetosti kapljevina. Mjerenje površinske napetosti provodi se metodom viseće kapi (pendant drop method) u volumenu od samo 500 µl (oko 10 kapi). Ima jedinicu za doziranje pod pritiskom uz mogućnost doziranja dviju kapljevina istovremeno. Nagibni stolić omogućuje određivanje naprednog i nazadnog dodirnog kuta, odnosno histerezu kontaktnog kuta. Navedeni model goniometra ima mogućnost nadogradnje pikolitrenog sustava doziranja (kapi od 20 pl ili manje).

<p>FTIR spektrometar s ATR grijanom jedinicom do 300°C (Golden Gate ATR), (PerkinElmer)</p> 	<p>Instrument se koristi u infracrvenoj spektroskopiji za identifikaciju nepoznatih materijala, u određivanju omjera pojedinih komponenti u uzorku, kao i u određivanju njegove kvalitete i konzistentnosti. ATR grijana jedinica do 300 °C omogućava in situ praćenje utjecaja topline na fizikalno-kemijske promjene u uzorku.</p>
<p>M290 Moisture Management Tester, (SDL Atlas)</p> 	<p>Uređaj za određivanje sposobnosti upravljanja vlagom (Moisture management tester, MMT) daje kvantitativne pokazatelje kvašenja u skladu s dvije norme (AATCC TM 195:2020; te GB/T21655.2-2009) [2, 3]. Razvijen je za mjerenje dinamičkog prijenosa vlage u tekstilu i tekstilnim kompozitima. Mjeri se prosječna brzina apsorpcije vlage, najveći radijus vlaženja na gornjoj i donjoj površini, te računa jednosmjerni kapacitet prijenosa, te prijenos vlage, ciljani ili inherentni prijenos kapljevina kao što je znoj ili voda i vodena para.</p>
<p>Uređaj za ispitivanje generiranja tekstilne prašine (1) Klimaoprema d.d.; KTV-A, (2) Testing Equipment by Mirta Control; EN ISO 9073-10 (3) Particle Measuring System; Lasair III 310C</p> 	<p>Uređaj za ispitivanje generiranja tekstilne prašine konstruiran iz generatora tekstilne prašine (2), uređaja za mjerenje čestica (3) i kabineta s vertikalnim laminarnim strujanjem zraka koji osigurava čistu atmosferu za ispitivanje (1). Omogućava mjerenje generiranih čestica tekstilne prašine prije i nakon višestrukih ciklusa održavanja primjenom brojača čestica (Particle Counter) prema ISO 9073-10:2003 [4]. Uzorak se stavlja u zatvorenu čistu komoru generatora tekstilne prašine (2) i izlaže kontroliranom gibanju pri kojem se oslobađaju čestice tekstilnog materijala koje su potom mjerene po količini i veličini na uređaju za mjerenje čestica (3). Proces se provodi u kabinetu s vertikalnim laminarnim strujanjem zraka (1) koji osigurava čistu atmosferu za ispitivanje.</p>
<p>Aparature za mjerenje prodora kapljevine, (vlastita izrada)</p>	<p>Aparature za mjerenje prodora kapljevine izrađene su u skladu s AATCC metodama ispitivanja: 1) AATCC TM 79-2018 [5], tzv. Drop test; 2) Mjerenja brzine porasta stupca vode u vertikalno položen uzorak prema AATCC TM 197-2018 [6], tzv. vertikalni test; 3) Mjerenja brzine prodora vode u horizontalno položeni uzorak prema AATCC 198-2018 [7], tzv. horizontalni test</p>

Aparatura za određivanje sposobnosti zadržavanja vode (1) Centric 322A, Tehnica; (2) Primalab d.o.o.; (3) RU-VE d.o.o.	Aparatura za određivanje sposobnosti zadržavanja vode (Water Retention Value, WRV) sastavljena je iz centrifuge (1), nosača kiveta (2) i kiveta (3) prema DIN 53814:1974 [8]. Mogućnost mjerenja prema DIN 53814:1974 i ASTM D 2402-07 [9].
---	--

Uspostava Laboratorija za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja doprinosi znanstveno-istraživačkom razvitku tekstilno-kemijske tehnologije. Razvitak se očituje u primjeni i praćenju procesa predobrade i oplemenjivanja sa svrhom postizanja postojanog umrežavanja uz i bez dodatka umreživača s ciljem postizanja različitih višefunkcionalnih svojstava. Moguće je detaljno istražiti svojstva kupelji, sorpciju kupelji sa sredstvima za obradu u različitim omjerima, primarno uzevši u obzir među površinska svojstva tkanina i sredstava u kupelji. Goniometar omogućuje određivanja slobodne površinske energije, dodirnog kuta i površinske napetosti kapljevina, a time i istraživanje sila adhezije za definiranje postojanosti umreženog nanosa. Uređaj nam omogućuje mjerenje površinske napetosti kapljevina što je početan i izuzetno važan podatak prilikom pripreme kupelji i postavljanja operacija oplemenjivanja u doradi tekstilija, te pri optimiranju deterdženta i postupaka održavanja novo razvijenih višefunkcionalnih tekstilija s naglaskom na minimalne promjene svojstava tekstilija. Uređaj posjeduje nagibni stolić pomoću kojeg je moguće odrediti napredni i nazadni dodirni kut i izraziti histerezu kontaktnog kuta neophodnu za karakterizaciju heterogenih površina (koje je nemoguće mjeriti na uobičajenim goniometrima za polimerne filmove). Budući da se FTIR-ATR Golden Gate grijanom jedinicom do 300 °C omogućuje in situ praćenje utjecaja topline na fizikalno-kemijske promjene u uzorku, moguće je preciznije optimiranje operacijskih procesa obrade tekstilija s ciljem minimalnog oštećenja uz postizanje postojanosti ciljanih svojstava na višestruke cikluse održavanja. Minimalno oštećenje će osigurati tekstilije visokih vrijednosti čija primjena može biti i u visokozahtjevnim uvjetima čistog prostora.

Zbog heterogenosti tekstila i višenamjenskih uporabnih svojstava mnogo je metoda za ispitivanje vlaženja (eng. wetting, kvašenje, močenje), prodora kapljevine (eng. wicking; kapilarnost; penetracija; prokvašavanje) i apsorpcije, što dovodi do problema pri raspravi mjernih rezultata. Hidrofilnost tekstilnog materijala može se odrediti različitim metodama: upijanjem kapi; mjerenjem brzine porasta stupca vode ili kapljevine u tankom sloju u horizontalno i/ili vertikalno položeni uzorak; određivanjem sposobnosti zadržavanja vode u tekstilnim vlaknima ili pređi; te određivanjem sposobnosti upravljanja vlagom u tektilu. Iz tog razloga u laboratoriju se nalaze aparature za mjerenje prodora kapljevine izrađene su u skladu s AATCC metodama ispitivanja, te aparatura za određivanje sposobnosti zadržavanja vode (eng. Water Retention Value, WRV). Uređaj za određivanje sposobnosti upravljanja vlagom (Moisture management tester, MMT) razvijen je za mjerenje dinamičkog prijenosa vlage u tektilu i tekstilnim kompozitima. Dobiveni rezultati su u skladu s ručnim

AATCC metodama, primjerice vrijeme vlaženja (eng. Wetting time, WT) odgovara Drop testu. Dodatno, MMT omogućuje sustavno i kvantitativno praćenje apsorpcije, razlijevanja i prodora kapljevine. Važno je napomenuti da se primjenom MMT određuje ukupni sadržaj površinske vode – zbroj postotnog sadržaja vode gornje i donje površine, što omogućava razlikovanje celuloznih od sintetskih vlakana, i dodatno radi razliku od metoda kao primjerice WRV (Water Retention Value), gdje ukupni sadržaj vode podrazumijeva mjerenje ukupne ili vezane vode u uzorku.

Razvoj višefunkcionalnog tekstila zahtjevan je i odgovoran posao koji osim navedenih ispitivanja prilikom obrade i nakon uporabe ima još jedan parametar po kojem se tekstilije mogu izdvajati za ciljane namjene, a to je mjerenje generiranih čestica tekstilne prašine prije i nakon višestrukih ciklusa održavanja na uređaju za ispitivanje generiranja tekstilne prašine primjenom brojača čestica.

### 3. Zaključak

Uspostava Laboratorija za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja značajno će doprinijeti razvitku područja oplemenjivanja tekstilnih materijala. U Laboratoriju za kontrolirano praćenje procesa umrežavanja moći će se istražiti svojstva kapljevina, sorpcije, međupovršinska svojstva, svi parametri obrade s naglaskom na postupak umrežavanja i in situ praćenja utjecaja topline na fizikalno-kemijske promjene unutar strukture polimernih materijala što će pridonijeti preciznom optimiranju procesa s ciljem što dulje postojanosti svojstava uz minimalna oštećenja prilikom procesa umrežavanja te nakon ciklusa održavanja. FTIR-ATR Golden Gate s grijanom jedinicom do 300 °C i Moisture Management Testera za sada nema u Hrvatskoj. Iz tog razloga ovi uređaji su od velikog interesa za potrebe hrvatskog gospodarstva, te će se moći pružati usluge na ovim uređajima različitim dionicima.

Nadalje, osim za potrebe znanstveno istraživačkog rada, oprema se koristi za izvođenje nastave na diplomskom i doktorskom studiju, što uvelike doprinosi nadogradnji izlaznih kompetencija studenata.

Kontakti: [sflincec@ttf.unizg.hr](mailto:sflincec@ttf.unizg.hr), voditeljica laboratorija  
[anita.tarbuk@ttf.unizg.hr](mailto:anita.tarbuk@ttf.unizg.hr), [tihana.dekanic@ttf.hr](mailto:tihana.dekanic@ttf.hr), [tpusic@ttf.hr](mailto:tpusic@ttf.hr), suradnice



Rad je sufinancirala HRZZ projektom UIP-2017-05-8780  
“Bolničke zaštitne tekstilije” - HPROTEX.

## Literatura

- [1] HPROTEX - Uspostavni istraživački projekt "Bolničke zaštitne tekstilije", Dostupan na: <https://hprotex.online/>, Pristupljeno 2021-12-29.
- [2] AATCC TM 195:2020 Liquid Moisture Management Properties of Textile Fabrics (American Association of Textile Chemists and Colorists, 2020)
- [3] GB/T21655.2-2009: Textiles - Evaluation of absorption and quick-drying - Part 2: Method for moisture management tests (National Standard of the Peoples republic of China, 2009).
- [4] ISO 9073-10:2003 Textiles — Test methods for nonwovens — Part 10: Lint and other particles generation in the dry state (International Standardization Organization, 2003)
- [5] AATCC TM 79-2018 Absorbency of Textiles (American Association of Textile Chemists and Colorists, 2018).
- [6] AATCC TM 197-2018 Vertical Wicking of Textiles (American Association of Textile Chemists and Colorists, 2018).
- [7] AATCC TM 198-2018 Horizontal Wicking of Textiles (American Association of Textile Chemists and Colorists, 2018).
- [8] DIN 53814:1974 Testing of textiles; determination of water retention power of fibres and yarn cuttings (Deutsches Institut für Normung E.V. 1974).
- [9] ASTM D 2402-07(2018) Standard Test Method for Water Retention of Textile Fibers (Centrifuge Procedure), (ASTM International, 2018)