

Razvoj dekorativne tkanine otpornije na toplinu i plamen

Sandra Flinčec Grgac*, Ksenija Višić, Ana Sutlović, Iva Strmo

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska

*Dopisni autor: sflincec@ttf.unizg.hr

Prispjelo 28. siječnja 2025.

UDK 677.016:677.027.625.162.2

Izvorni znanstveni rad**

Svakodnevna uporaba funkcionalnih i estetski privlačnih pamučnih tkanina u interijerima predstavlja značajan rizik zbog njihove visoke zapaljivosti. Da bi se spriječilo zapaljenje i širenje požara putem tekstilija često se celulozni materijali obrađuju usporivačima gorenja. Za postizanje učinkovite zaštite od topline i zapaljenja uz velike količine usporivača gorenja dodaju se i ostala sredstva koja tijekom procesa i kasnije upotrebe mogu imati negativan utjecaj na zdravlje i okoliš. U radu je istražena mogućnost dodavanja ekološki prihvatljivijeg, bezhalogenog organofosfornog spoja u tiskarsku pastu s ciljem postizanja postojanog otiska i povećanja otpornosti na toplinu i plamen celuloznih materijala. Dio uzoraka je nakon tiska opran u skladu sa HRN EN ISO 6330:2012 standardom pri 40 °C uz dodatak deterdženta bez fosfata (ECE Test Detergent 98 Without Phosphate, ISO 105-C08/C09). Zapaljivost uzoraka procijenjena je mjerenjem graničnog indeksa kisika (LOI) prema ASTM D 2863-97. Termogravimetrijska analiza (TGA) uz praćenje plinovitih produkata razgradnje IR spektroskopijom (TG-IR) korištena je za procjenu toplinske stabilnosti i praćenje emisije plinovitih produkata razgradnje novorazvijenih dekorativnih tkanina smanjene zapaljivosti. Promjena bjeline i indeksa požućenja obrađenih tkanina prije i nakon pranja ispitani su spektrofotometrijski primjenom DATACOLOR SF 600 PLUS. Dobiveni rezultati upućuju na mogućnost primjene tiskarske paste kao sredstva za umrežavanje okolišno prihvatljivog usporivača gorenja.

Cljučne riječi: celulozni materijal; ekološki prihvatljiviji usporivač gorenja; tisak; TG-IR analiza; LOI

Original scientific paper**

Development of Decorative Fabrics with Reduced Flammability

The everyday use of functional and aesthetically appealing cotton fabrics in interiors poses a significant risk because of their high flammability. To prevent ignition and the spread of fire through textiles, cellulosic materials are often treated with flame retardants. To achieve effective protection against heat and ignition, large quantities of flame retardants and other agents are added, which can negatively impact health and the environment during processing and subsequent use. This paper investigated the possibility of adding a more environmentally friendly, halogen-free organophosphorus compound to the printing paste to achieve a durable print and increase the heat and flame resistance of cellulose materials. After printing, some samples were washed according to the HRN EN ISO 6330:2012 standard at 40 °C with a phosphate-free detergent (ECE Test Detergent 98 Without Phosphate, ISO 105-C08/C09). The flammability of the samples was assessed by measuring the limiting oxygen index (LOI) according to ASTM D 2863-97. Thermogravimetric analysis (TGA) with monitoring of gaseous decomposition products by IR spectroscopy (TG-IR) was used to assess thermal stability and monitor the emission of gaseous decomposition products from the newly developed decorative fabrics with reduced flammability. The change in whiteness and yellowness index of the treated fabrics before and after washing was tested spectrophotometrically using DATACOLOR SF 600 PLUS. The results indicate the possibility of using printing paste as a crosslinking agent for an environmentally friendly flame retardant.

Keywords: cellulose material; environmentally friendly flame retardant; textile printing; TG-IR analysis; LOI

*Izlaganje na 17. znanstveno-stručnom savjetovanju „Tekstilna znanost i gospodarstvo”, 28. siječnja 2025., Zagreb, Hrvatska

1. Uvod

Tekstil, jedan od najstarijih i najvažnijih materijala u ljudskoj povijesti, oduvijek je imao funkcionalnu, estetsku i simboličku ulogu. Od prapovijesnih ukrašavanja tijela do današnjih visokotehnoloških postupaka oplemenjivanja, tekstil je kontinuirano pratio razvoj čovjeka, tehnologije, gospodarstva i društva. Posebnu ulogu u tom razvoju ima tekstilni tisak, koji omogućuje prenošenje složenih motiva i boja te daje tkaninama umjetničku i kulturnu dimenziju. Povijesna evolucija tiska, od primitivnih blokova do suvremenog sitotiska i digitalnih tehnologija, svjedoči o stalnoj potrazi za novim načinima izražavanja i funkcionalizacije tekstila. Paralelno s estetskom funkcijom, suvremeni tekstil dobiva i tehničku, medicinsku i ekološku vrijednost zahvaljujući istraživanjima usmjerenima na dodavanje novih svojstava kroz različite postupke oplemenjivanja, uključujući i uvođenje aktivnih komponenti u proces tiska [1-5]. Tekstilni materijali, osobito oni celuloznog porijekla, široko su rasprostranjeni u svakodnevnom životu te se primjenjuju u odijevanju, interijeru, medicinskoj opremi, transportu, tehničkim sustavima i zaštitnoj opremi. Prirodne celulozne tekstilije ističu se visokim apsorpcijskim kapacitetom i mekim opipom, što im daje iznimnu udobnost pri svakodnevnoj primjeni. Unatoč funkcionalnim prednostima, celulozni materijali pokazuju izrazitu sklonost brzom zapaljenju i potpunom izgaranju, čime predstavljaju ozbiljan rizik pri izloženosti toplini i otvorenom plamenu. Upravo zbog navedenog od davnine postoji potražnja za negorivim i toplinski stabilnim tekstilijama. Prvi patent vezan uz sredstva za usporavanje gorenja tekstilija prijavio je 1735. godine Obadiah Wyld primijenivši kalijev aluminijev sulfat dodekahidrat, željezov sulfat i boraks što je rezultiralo dobrom otpornošću na plamen ali nepostojanošću na pranje [6,7]. Veliki požari u Engleskoj i SAD-u u razdoblju od 1950. do 1980. godine potaknuli su intenzivan razvoj tehnologija i sredstava za smanjenu gorivost tekstilnih materijala. U tom razdoblju razvijena su dva visoko učinkovita sredstva za obradu pamuka i pamučnih mješavina, jedno temeljeno na solima tetrakis(hidroksimetil)fosfonija, a drugo na derivatu N-metilol dimetilfosfinopropionamida. Iako su ta sredstva i danas u uporabi, postoji opravdana zabrinutost pri njihovoj primjeni. Tijekom uporabe i sagorijevanja tretiranih tekstilija s navedenim sredstvima uz dodatak spojeva koji djeluju kao umreživači dolazi do oslobađanja različitih plinovitih produkata, a jedan od njih je formaldehid, spoj s dokazanim kancerogenim i iritativnim djelovanjem [8]. Nadalje, tijekom toplinske razgradnje celuloznih tekstilija obrađenih sa usporivačima gorenja, bez obzira na mehanizam djelovanja sredstva, mogu u

manjim ili većim količinama nastati hlapljivi gorivi produkti poput aldehida, ketona, laktona i akroleina, koji doprinose ne samo nastavku procesa gorenja, već i stvaranju dima i onečišćenja zraka koji postaje štetan za ljudsko zdravlje [9-11]. Novija istraživanja usmjerena su na razvoj fosfor-dušik spojeva, često u kombinaciji s metalnim ionima, koji pokazuju povoljniji toksikološki profil u smislu smanjene proizvodnje dima i toksičnih plinova u odnosu na halogene derivate. Međutim, još uvijek se proučava mogućnost dobivanja postojanih obrada na višestruke cikluse održavanja kao i mogućnosti bioakumulacije i potencijalnog oslobađanja sekundarnih toksičnih produkata poput nitrata i sulfata pri visokim temperaturama [12-15]. Najopasniji plinoviti produkti nastali pri izgaranju, bez obzira na vrstu zaštite, ostaju ugljikov monoksid (CO) i vodikov cijanid (HCN), koji su identificirani kao glavni uzročnici smrtnosti u požarima. Njihovim djelovanjem pridružuje se i akrolein, aldehid snažno iritativnog djelovanja na respiratorne puteve i sluznice, čime se dodatno pojačava štetnost udisanja dima tijekom požara [16]. Stoga se u suvremenom istraživanju problem zapaljivosti celuloznih tekstilija ne promatra samo s aspekta sprječavanja zapaljenja, već i s aspekta kontrole i minimiziranja toksičnih plinovitih produkata, što postavlja visoke zahtjeve pred znanstvenike i tehničko tehnološku izvedbu postupka. Primjena bezhalogenidnih organofosfornih spojeva za obradu celuloznih tekstilnih materijala još uvijek je u razvoju zbog nemogućnosti postojanog vezivanja. Primjenom bezhalogenidnih organofosfornih spojeva pri obradi celuloznih materijala dobiva se otpornost na gorenje te se prilikom obrade i izgaranja ne stvaraju korozivni halogeni vodici te ukupna toksičnost plinova pri gorenju je znatno manja.

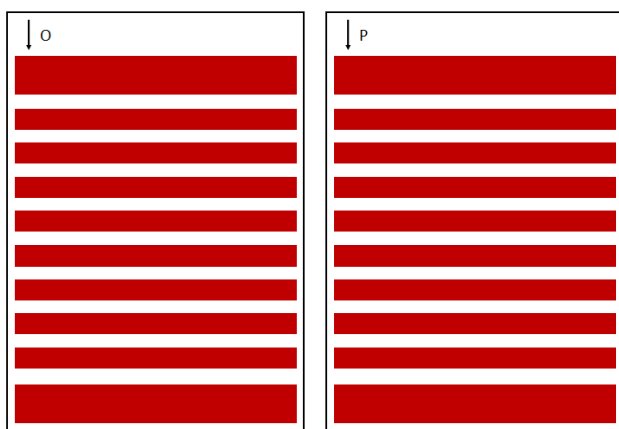
U ovom radu istražena je mogućnost primjene tiskarske paste s ciljem vezivanja bezhalogenog organofosfornog spoja na celulozni materijal uz postizanje otpornosti na plamen i toplinu. Tako otisnuta pamučna tkanina s jednostavnim geometrijskim oblicima prije i nakon postupka održavanja pokazuje značajnu toplinsku stabilnost i smanjenu količinu plinovitih produkata tijekom termičke razgradnje u odnosu na istu otisnutu pastom bez dodatka usporivača gorenja.

2. Eksperimentalni dio

2.1. Materijali

Za istraživanje je korištena odškrobljena, iskuhana te kemijski bijeljena 100 % pamučna tkanina mase 170 g/m². Uzorak pamučne tkanine (Pamuk) otisnut je pastom koja se sastojala od 60 g/L tiskarske baze

Printperfect 226-3, 0,4 g/L pigmenta Colormatch 210-red (PP226-3) te 30 g/L bezhalogenog usporivača gorenja (HFOP) (PP226-3_30HFOP). Uzorci su otisnuti tehnikom sito-tiska prema uzorku prikazanom na sl.1. Tisak je proveden ručnim sito-tiskom, korištenjem sljedećih alata: laboratorijskog stola za ručni sito-tisak, rastirala s drvenom drškom i poliuretanskim nožem tvrdoće 60 durometara i aluminijskog sita 40 × 50 cm s mrežicom finoće od 62 niti/cm². Obzirom da je primijenjena metoda ručnog sito-tiska, kut rastirala je držan između 7-10°, uz optimalan pritisak kako bi se osigurao ravnomjeran prijenos tiskarske paste na površinu tekstilne podloge.



Sl.1 Prikaz tiska na pamučnoj tkanini u smjeru osnove (o) i potke (p)

Otisnuti uzorci sušeni su na 110 °C tijekom 2 minute, a zatim kondicionirani na 165 °C tijekom 6 minuta. Postojanost na pranje otisnutih celuloznih materijala određena je prema normi ISO 6330:2012 uz uporabu standardnog deterdženta (ECE Test Detergent 98 Without Phosphate, ISO 105-C08/C09). Oznake uzoraka prikazane su u tab.1.

Tab.1 Oznake uzoraka i sastav tiskarske paste

Uzorci	Sastav tiskarske paste / njega
Pamuk	-
Pamuk_1xW	-
PP226-3	60 g baze, 0,4 g pigmenta
PP226-3_1xW	60 g baze, 0,4 g pigmenta / 1x oprana
PP226-3_30HFOP	60 g baze, 0,4 g pigmenta, 30 g Exolita OP 550
PP226-3_30HFOP_1xW	60 g baze, 0,4 g pigmenta, 30 g Exolita OP 550 / 1x oprana

2.2. Metode

Svojstva zapaljivosti neobrađenih i obrađenih uzoraka prije i nakon pranja određena su mjerenjem granič-

nog indeksa kisika (LOI) prema normi ASTM D 2863-97, na instrumentu LOI Chamber, Dynisco, Franklin MA. Ispitivanje je provedeno na uzorcima dimenzija 14 × 5,2 cm, koji su prethodno kondicionirani tijekom 24 sata u standardnoj atmosferi (T = 65 ± 2 °C, RH = 65 ± 2%).

Vrijednost indeksa kisika služi kao granična vrijednost za klasifikaciju vlakana prema zapaljivosti, i to kako slijedi:

- LOI ≤ 20 vrlo zapaljiva vlakna
- 27 ≥ LOI > 20 sporogoreća vlakna
- LOI > 27 samogasiva vlakna.

Vrijednost LOI-a (%) izračunava se prema izrazu navedenom u normi:

$$LOI = \frac{O_2}{O_2 + N_2} \times 100 [\%] \quad (1)$$

gdje su:

O₂ – volumna brzina protoka kisika (cm³/s) pri određenim koncentracijama navedenima u tablicama norme

N₂ – odgovarajuća volumna brzina protoka dušika (cm³/s) navedena u tablicama norme.

Termogravimetrijska (TG) ispitivanja provedena su na termogravimetrijskom analizatoru PerkinElmer TGA Pyris 1 (SAD). TGA mjerenja su provedena u temperaturnom rasponu od 50 °C do 750 °C, pri brzini zagrijavanja od 30 °C/min i uz kontinuirani protok zraka na masi uzoraka 5–6 mg. TG-FTIR analiza pamučne tkanine te svih otisnutih pamučnih tkanina izvedena je uporabom analizatora PerkinElmer Pyris TG, FT-IR spektrometra PerkinElmer i TG-IR sučelja. Za FTIR analizu korištena je stanica za termičku analizu (TAGS) opremljena detektorom. Prijenosna linija, visokotemperaturna protočna ćelija i TG sučelje tijekom cijelog su mjerenja održavani na 280 °C kako bi se spriječila kondenzacija produkata razgradnje. Plinovi nastali tijekom termičke razgradnje prenošeni su u FT-IR protočnu ćeliju peristaltičkom pumpom pri protoku od 60 mL/min.

Stupanj bjeline i indeks požućenja otisnutih tkanina prije i nakon postupka pranja određeni su pomoću spektrofotometra DATACOLOR SF 600 PLUS (Švicarska).

2. Rezultati i rasprava

Niže u tekstu grafički i tablično prikazani su rezultati s obzirom na svojstva otpornosti na gorenje i djelovanje topline te promjene bjeline, indeks požućenja neotisnutog pamučnog dijela uzorka prije i nakon provedenog ciklusa pranja.

Ponašanje obrađenih tkanina pri gorenju određeno je mjerenjem graničnog indeksa kisika pri sobnoj temperaturi te su u tab.2 prikazane srednje vrijednosti dobivenih rezultata.

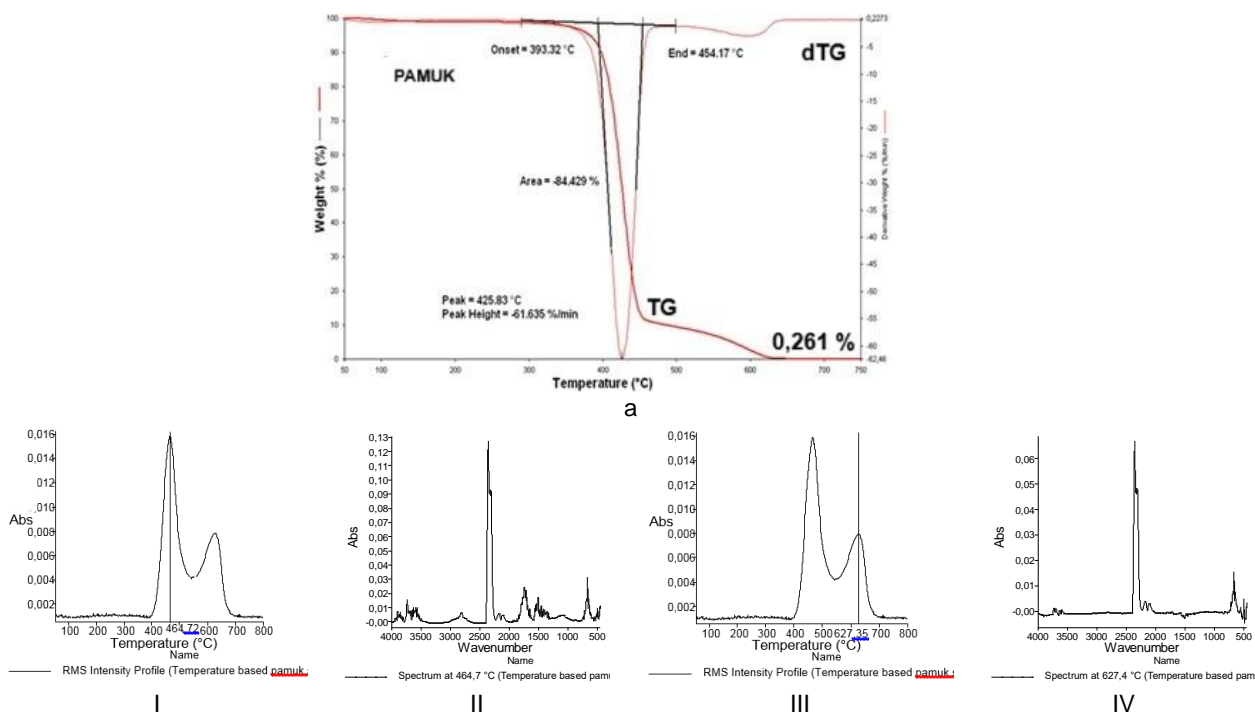
Tab.2 LOI vrijednosti uzoraka

Uzorak	LOI, %
Pamuk_osnova	18
Pamuk_potka	
Pamuk_osnova_1xW	19
Pamuk_potka_1xW	
PP226-3_osnova	19
PP226-3_potka	
PP226-3_osnova_1xW	20
PP226-3_potka_1xW	
PP226-3_30HFOP_osnova	26
PP226-3_30HFOP_potka	
PP226-3_30HFOP_osnova_1xW	22
PP226-3_30HFOP_potka_1xW	

Iz tab.2 vidljiv je učinak dodatka sredstva za smanjenje gorivosti u tiskarsku pastu (PP226-3_30HFOP_osnova, PP226-3_30HFOP_potka) kroz povećanje LOI vrijednosti uzoraka, prije pranja tiskana tkanina u smjeru osnove i potke ima LOI vrijednost 26 što ju svrstava u sporigoruće tkanine s otpornošću na djelovanje otvorenog plamena. Nakon provedenog ciklusa pranja (PP226-3_30HFOP_osnova_1xW, PP226-3_30HFOP_potka_1xW) vrijednost LOI se smanjila na 22, što ukazuje na djelomičnu postojanost vezivanja

HFOP uz primjenu tiskarske paste na celulozu pamuka, no još uvijek je viša u odnosu na neobrađenu pamučnu tkaninu čija vrijednost iznosi 18 (Pamuk_osnova, Pamuk_potka). Učinkovitost HFOP-a dodatnog u tiskarsku pastu vidljiva je i kroz razliku LOI pamučnu tkaninu otisnutu s pastom bez dodatka HFOP u smjeru osnove i potke koji iznosi 19 (PP226-3_osnova, PP226-3_potka). Nastalo povećanje LOI vrijednosti kod uzorka PP226-3_osnova_1xW, PP226-3_potka_1xW i neobrađenih pamučnih uzoraka nakon provedenog procesa pranja Pamuk_osnova_1xW, Pamuk_potka_1xW uzrokovano je promjenom dimenzije odnosno laganim skupljanjem uzoraka u smjeru osnovinih i potkinih niti.

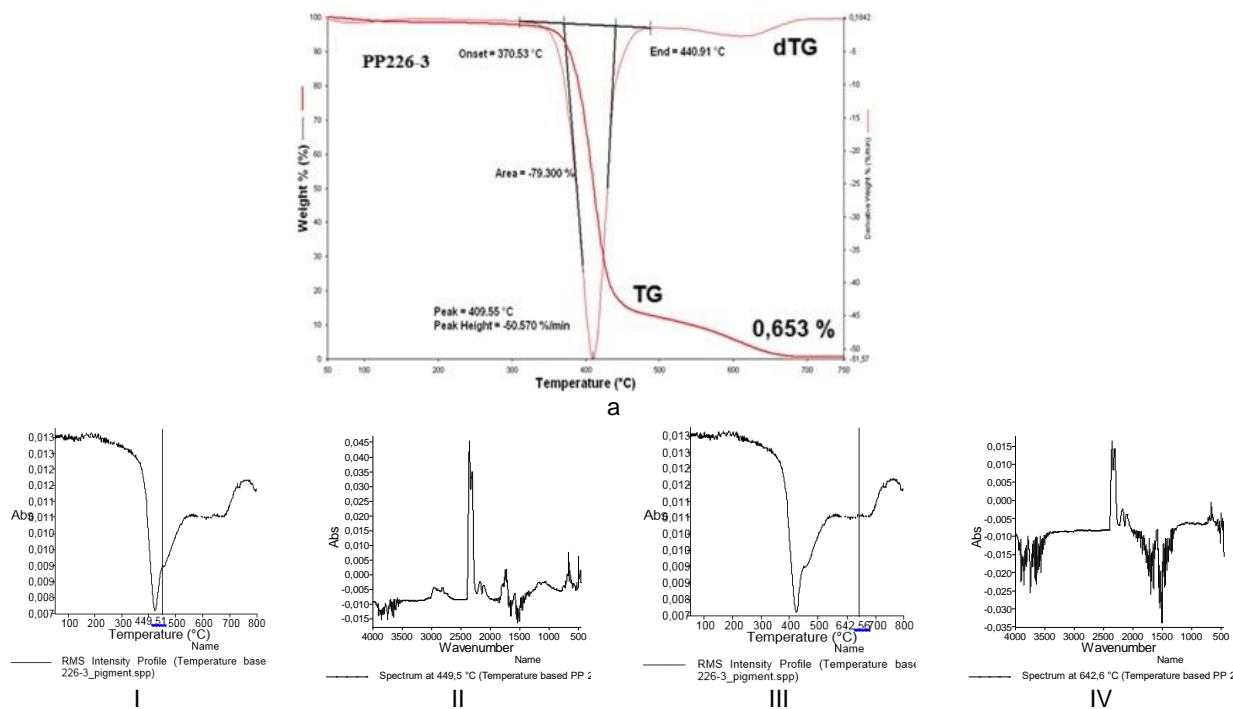
Neobrađena pamučna tkanina (sl.2a) ima početak termičke razgradnje pri 393 °C, dok je najveća dinamika razgradnje zabilježena na 425 °C te 99 % težine gubi na 627 °C te je pri 750 °C zabilježen ostatak 0,261 %. Promjene u intenzitetu adsorpcije identificirane pirolize proizvoda kao funkciju temperature za pamučne tkanine su prikazani na sl.2, I i III, te FTIR spektri razvijenih plinova na sl.2, II i IV. U početnoj fazi, gdje je raspon temperatura ispod 300 °C, najvažnije promjene u vlaknima su neke od fizičkih svojstava i mali gubitak na masi. Praćenjem plinovitih produkata razgradnje, sl.2 I-IV, vidljivo je da je kod neobrađene pamučne tkanine formirana značajna količina levoglukozana (C₆H₁₀O₅), CO, CO₂, CH₄ i aldehida RCHO pri 465 °C, što je vrlo blizu temperature pri kojoj je zabilježena maksimalna razgradnja što je vidljivo iz krivulja dTG (sl.2a).



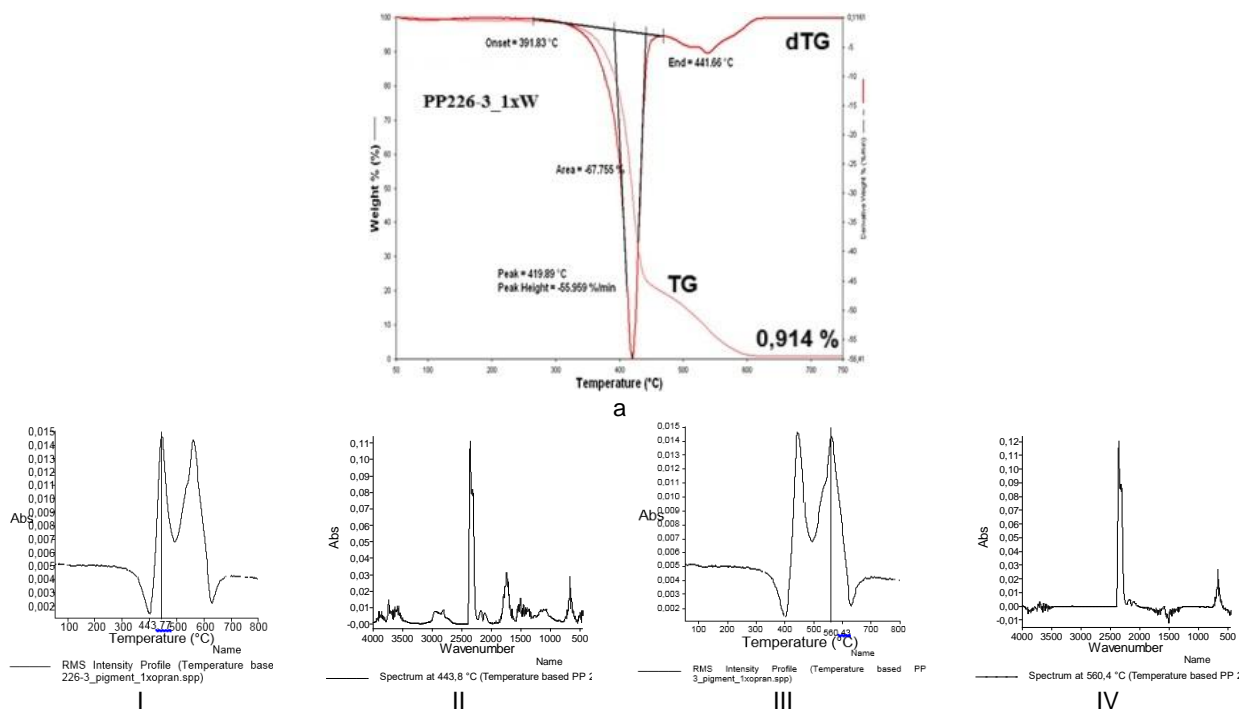
Sl.2 TG i dTG krivulje za uzorak PAMUK (a) s TG-IR analizom tijekom termooksidativne razgradnje na 464,7 i 627,4 °C: I) i III) intenziteta profila plinova, II) i IV) FTIR spektrar plinova

Do oštećenja dolazi uglavnom u amorfnom području polimera. Proizvedeni plinovi koji nastaju za vrijeme termičke razgradnje tiskanog uzorka s PP226-3 pastom prije i poslije pranja su također karakterizirani TG-IR tehnikom, kao što je prikazano na sl.3 i sl.4. Ovaj uzorak pokazuje slična svojstva sirovom pamuč-

noj tkanini. Tiskani uzorak PP226-3 pokazuje iste plinovite produkte razgradnje, kao i sirovi pamuk, ali mnogo manjim intenzitetom. Nakon provedenog jednog ciklusa pranja, intenzitet i sastav plinovitih produkata razgradnje je isti kao i kod netretiranog pamuka.



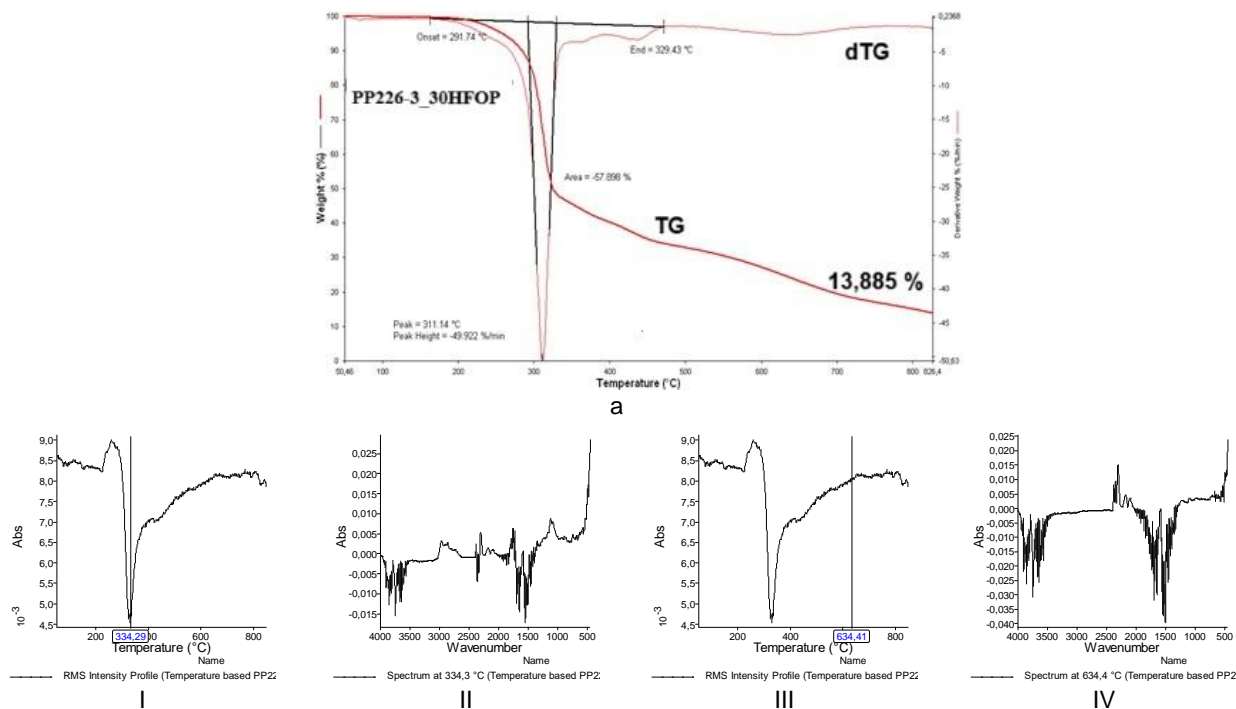
SL3 TG i dTG krivulje za uzorka PP226-3 (a) s TG-IR analizom tijekom termooksidativne razlaganje pri 491,5 i 642,6 °C: I) i III) intenziteta profila plinova, II) i IV) FTIR spektrar plinova



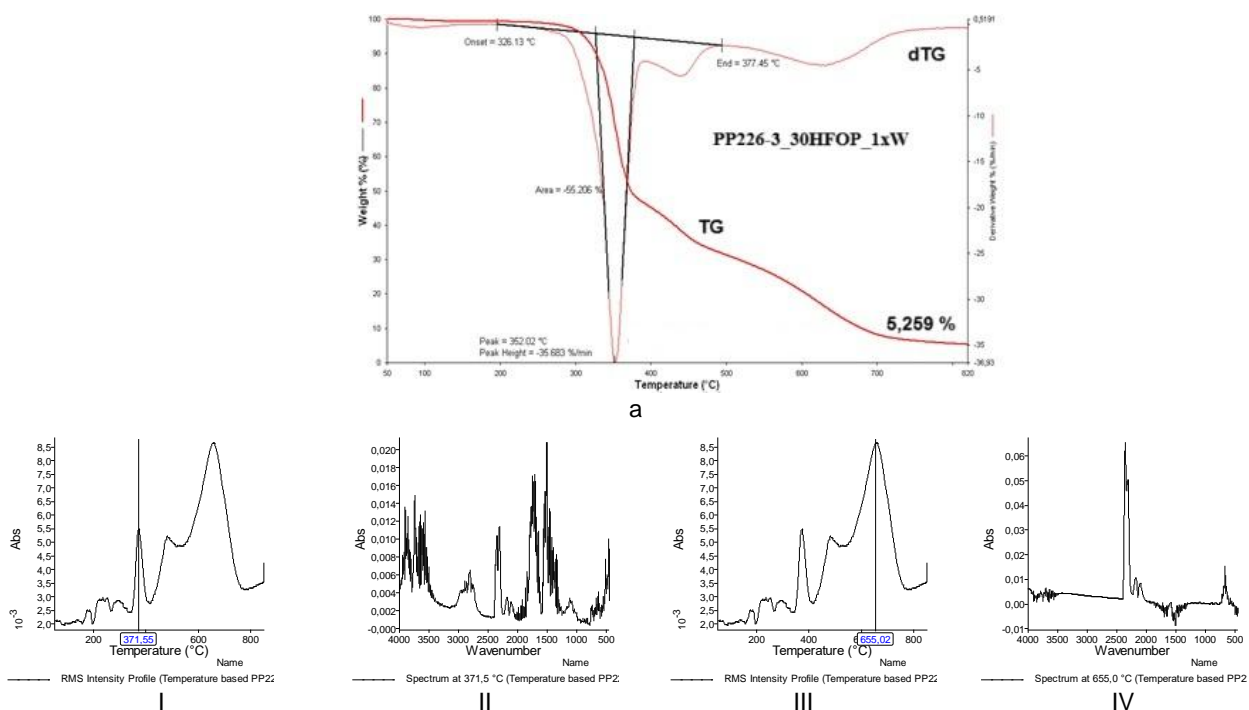
SL4 TG i dTG krivulje za uzorak PP226-3_1xW (a) uz TG-IR analizu tijekom termooksidativne razgradnje na 443,8 i 560,4 °C: I) i III) intenziteta profilu plina evoluirala, II) i IV) FTIR razvijeni spektri plinova

Otisnute tkanine s tiskarskom pastom u kojoj je dodano 30 g/l HFOP (PP226-3_30HFOP) (sl.5) imaju niže temperature razgradnje od čiste pamučne tkanine (Pamuk) kao i tiskane pamučne tkanine (PP226-3) zbog katalitičke dehidracije celuloze uslijed djelovanja usporivača gorenja. Razlike između TGA krivulja pamuka, PP226-3 i PP226-3_30HFOP (sl.2a, sl.4a) je

početna temperatura razgradnje, koja je najniža kod uzorka otisnutog s HFOP dodanog u tiskarsku pastu i iznosi 291 °C. Kod tog uzorka je i ostatak nakon termooksidativne razgradnje najveći i iznosi 13,885 %. TG krivulje tiskane pamučne tkanine s dodatkom HFOP nakon provedenog ciklusa pranja (PP226-3_30HFOP_1xHLWD) (sl.6a) pokazuje djelomično



Sl.5 TG i dTG krivulje za uzorak PP226-3_30HFOP (a) uz TG-IR analizu tijekom termooksidativne razgradnje na 334,3 i 634,4 °C: I) i III) intenzitet profila plinova, II) i IV) FTIR spektri plinova



Sl.6 TG i dTG krivulje za uzorak PP226-3_30HFOP_1xW (a) uz TG-IR analizu tijekom termooksidativne razgradnje na 371,5 i 655 °C: I) i III) intenzitet profila plinova, II) i IV) FTIR spektri plinova

smanjenje otpornosti na toplinu no još uvijek je vidljiva termička stabilnost uz ostatak od 5,259 % pri 750 °C.

Praćenjem plinovitih produkata razgradnje kod svih ispitivanih uzoraka vidljivo je da su najveće količine plinovitih produkata zabilježene u blizini temperature pri kojoj se događa maksimalna brzina raspada uzorka. Uzorci PP226-3_30HFOP (sl.5 I-IV) i PP226-3-30HFOP_1xW (sl.6 I-IV) pokazali su veliku toplinsku stabilnost prilikom termooksidativne razgradnje te u skladu s tim imaju i malu količinu plinovitih produkata razgradnje zabilježenu prilikom TG-IR analize. Tako je kod uzorka PP226-3_30HFOP početak maksimalne količine plinovitih produkata zabilježen pri temperaturi od 334,29 °C (sl.5 I i II) gdje je detektiran vrlo mali apsorpcijski maksimum CO₂ (0,005) i CO dok pri temperaturi 634,41 °C zabilježene su znatno manje količine CO₂ i CO (sl.5 III i IV). Nakon provedenog postupka pranja (PP226-3-30HFOP_1xW) intenzitet se je neznatno povećao te pri temperaturi od 371,5 °C za CO₂ iznosi 0,012 (sl.6 I i II), a drugi stupanj maksimalne količine plinovitih produkata razgradnje zabilježen je pri temperaturi od 655,3 °C te apsorpcija zabilježenih plinova ukazuje na CO₂ 0,06 i CO u manjim količinama u odnosu na pamučnu i otisnutu pamučnu tkaninu bez dodatka HFOP (sl.6 III i IV).

Stupanj bjeline W_{CIE} prema ISO 105-J02:1997 i indeks požućenja (YI) neotisnutog pamučnog djela uzorka prije i nakon provedenog ciklusa pranja prikazani su u tab.3.

Tab.3 Stupanj bjeline (W_{CIE}) i indeks požućenja (YI) pamučne tkanine s pastom PP226-3 i sredstvom protiv gorenja HFOP

Uzorci	W _{CIE}	YI
Pamuk	91,5	-3,8
Pamuk_1xW	92,0	-3,5
PP226-3	74,3	2,6
PP226-3_1xW	80,3	0,6
PP226-3_30HFOP	77,0	1,7
PP226-3_30HFOP_1xW	79,1	1,0

Na temelju dobivenih vrijednosti jasno je vidljivo da je došlo uslijed tiska do laganog smanjenja bjeline neotisnutog dijela koji može biti uzrokovan djelovanjem topline prilikom termokondenziranja no vrlo zanimljivi su rezultati bjeline i požućenja nakon provedenog pranja. Sve dobivene vrijednosti jasno ukazuju da je bjelina veća, a u skladu s tim požućenje je manje što ukazuje da nije došlo do migracije i razlijevanja bojila s otisnutog djela odnosno da je postupak tiska uspješno proveden.

4. Zaključci

TG, TG-IR i LOI rezultati ukazuju na mogućnost primjene tiskarske paste kao sredstvo za umrežavanje ekološki povoljnijeg usporivača gorenja. Iz termogravimetrijske analize uz praćenje plinovitih produkata razgradnje (TG-IR) jasno je vidljivo da dodatak HFOP utječe na toplinsku stabilnost tako otisnutih materijala no i na zabilježenu količinu plinovitih produkata razgradnje koji se pojavljuju u znatno manjoj količini kod uzorka PP226-3_30HFOP. Obzirom na estetske karakteristike novorazvijenog otisnutog materijala sa smanjenom gorivošću praćena je promjena bjeline neotisnutog dijela i indeks požućenja prije i nakon ciklusa pranja. Dobivene vrijednosti uzoraka otisnutih tkani na imaju nešto niže bjeline odnosno veći stupanj požućenja u odnosu na neotisnutu pamučnu tkaninu. Do navedene promjene je došlo zbog upotrebe visokih temperatura potrebnih za termofiksiranje otisnutog dijela. Nakon provedenih ciklusa pranja sve dobivene vrijednosti jasno ukazuju da je bjelina veća, a u skladu s tim požućenje je manje što ukazuje da nije došlo do migracije i razlijevanja bojila s otisnutog dijela odnosno da je postupak tiska uspješno proveden.

Obzirom na dobivene rezultate nastaviti će se istraživanja u smjeru optimizacije količine sredstva za smanjenje gorivosti u tiskarsku pastu i procesnih parametra obrade s ciljem dobivanja postojanih svojstva negorivosti.

Rad je izrađen i financiran u okviru kratkoročne potpore Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta, pod nazivom „Funkcionalizacija i karakterizacija tekstila i kože radi postizanja zaštitnih svojstava“, TP/9, voditeljica: Sandra Flinčec Grgac.

Literatura:

- [1] Miles, L.W.C. *Textile Printing*. Society of Dyers and Colourists: Bradford, UK, 2003. Available at: <https://books.google.hr/books?id=MlvbcXDssC&printsec=frontcover&hl=hr#v=onepage&q&f=false> (accessed on 3 September 2024).
- [2] Brunello, F. *The Art of Dyeing in the History of Mankind*; Neri Pozza: Vicenza, Italy, 1973.

- Available at:
<http://182.160.97.198:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1170/Chapter%201%20-%20Traditional%20methods.pdf?sequence=2>
(accessed on 8 December 2024).
- [3] Glogar, M. *Tekstilni tisak* [Lecture Notes]; Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Croatia, 2018.
- [4] Glogar, M.I.; Flinčec Grgac, S.; Zanchi Sarwari, A.; Canal, J.M. Interaction of colour and cotton fabric surface coated with ultrafine cellulose (UFC). In *Proceedings of the International Colour Association (AIC) Conference 2021*; International Colour Association: Milano, Italy, 2021; pp. 903–908.
- [5] Flinčec Grgac, S.; Višić, K.; Sutlović, A.; Strmo, I. Investigating possibilities of applying environmentally-friendly flame retardant agent in the process of textile printing. In *16th World Textile Conference AUTEX 2016*, Ljubljana, Slovenia, 8–10 June 2016; University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Textiles, Graphic Arts and Design, Ljubljana, Slovenia, 2016; pp. 1–7.
- [6] Troitzsch, J.H. Fires, statistics, ignition sources, and passive fire protection measures. *J. Fire Sci.* 2016, 34, 171–198.
<https://doi.org/10.1177/0734904116636642>
- [7] Wyld, O. Making or Preparing of Paper, Linen, Canvass and Such Like Substances, Which Will Neither Flame nor Retain Fire, and Which Hath Also a Property in it of Resisting Moisture and Damps; British Patent No. 551: London, UK, 1735.
- [8] Yuan, Q.; Wang, S.; He, L.; Xu, S. Advances in the study of flame-retardant cellulose and its application in polymers: A review. *Polymers* 2025, 17, 1249.
<https://doi.org/10.3390/polym17091249>
- [9] Salmeia, K.A.; Gaan, S.; Malucelli, G. Recent advances for flame retardancy of textiles based on phosphorus chemistry. *Polymers* 2016, 8, 319. <https://doi.org/10.3390/polym8090319>
- [10] Malucelli, G. Bio-sourced flame retardants for textiles: Where we are and where we are going. *Molecules* 2024, 29, 3067.
<https://doi.org/10.3390/molecules29133067>
- [11] Kaurin, T.; Pušić, T.; Dekanić, T.; Flinčec Grgac, S. Impact of washing parameters on thermal characteristics and appearance of Proban®—flame retardant material. *Materials* 2022, 15, 5373–5390.
<https://doi.org/10.3390/ma15155373>
- [12] Flinčec Grgac, S.; Katović, A.; Katović, D. Flame Retardant protection // Young scientists in the protective textiles research. Zagreb: Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2011. str. 191-214.
- [13] Katović, D.; Flinčec Grgac, S.; Bischof Vukušić, S.; Katović, A. Formaldehyde Free Binding System for Flame Retardant Finishing of Cotton Fabrics. *Fibres & textiles in Eastern Europe* 2011, 20 (1), 94–98.
- [14] Kovačević, Z.; Flinčec Grgac, S.; Bischof, S. Progress in Biodegradable Flame Retardant Nano-Biocomposites. *Polymers* 2021, 13, 741.
<https://doi.org/10.3390/polym13050741>
- [15] Jefferson, A.J.; Sain, M.; Ramakrishna, S.; Jawaid, M.; Dhakal, H.N. Environmentally friendly fire retardant natural fibre composites: A review. *International Materials Reviews* 2024, 69 (5-6), 267–308.
<https://doi.org/10.1177/09506608241266302>
- [16] Purser, D. Fire toxicity and toxic hazard analysis. In *Comprehensive Fire Safety*. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2011, 721–734. https://doi.org/10.3850/978-981-08-7724-8_11-01