

## Vpliv prisotnosti nanosrebra na funkcionalne in uporabne lastnosti tkanin

### *Influence of Nanosilver on Functional and Applicable Fabrics Properties*

Izvirni znanstveni članek/Original Scientific Paper

Prispelo/Received: 06-2012 • Sprejeto/Accepted 09-2012

#### Izvleček

Namen raziskave je bil proučiti vpliv prisotnosti protimikrobnega sredstva na podlagi nanosrebra (Ag) na morfološke, kemijske in fizikalne lastnosti tkanin. Uporabljene so bile tri tkanine, in sicer dve 100-odstotni bombažni (CO1 in CO2) in tkanina iz mešanice bombaža in poliestra v razmerju 65 % / 35 % (CO/PES). Tkanine so se razlikovale po morfološki strukturi, debelini, gostoti, zavojih preje, hidrofilnosti in predobdelavah. Kot protimikrobno sredstvo je bilo uporabljeno koloidno srebro, ki je bilo naneseno na tkanine po izčrpalnem postopku pri koncentraciji 0,05 % na maso blaga. Koncentracija Ag na apretiranih vzorcih tkanin je bila določena z analizo ICP-MS. Morfološke lastnosti vlaken so bile določene s SEM, omočljivost tkanin z metodo tankoplastnega pronicanja in meritvami stičnih kotov vode. Določeni so bili belina, indeks porumenitve, zračna prepustnost ter pretržna sila in raztezek tkanin. Iz rezultatov je razvidno, da sta na količino adsorbiranega Ag neposredno vplivali surovinska sestava in predobdelava tkanin. Koncentracija Ag na tkaninah je naraščala v naslednjem vrstnem redu: CO/PES < CO2 < CO1. Na manjšo količino Ag na tkanini CO/PES je vplivala prisotnost hidrofobnih poliestrskih vlaken v mešanici, ki so zmanjšala omočljivost tkanine. Mercerizacija tkanine CO1 je povečala absorptivnost vlaken za Ag v primerjavi z beljeno tkanino CO2. Omočljivost tkanin CO1 in CO2 se v prisotnosti Ag ni spremenila, pri tkanini CO/PES pa se je celo povečala. Nanos Ag ni vplival na morfološke lastnosti vlaken, povzročil je rahlo zmanjšanje beline, zračne prepustnosti in pretržne trdnosti.

Ključne besede: bombaž, poliester, adsorpcija srebra, vpliv morfoloških lastnosti, vpliv predobdelave, omočljivost, belina, fizikalne lastnosti

#### Abstract

*The purpose of this research was to determine the influence of the presence of the antimicrobial agent based on nanosilver (Ag) on the morphological, chemical and physical properties of fabrics. In the experiment, two 100% cotton woven fabrics (CO1 and CO2) and a cotton/polyester (65%/35%) woven fabric (CO/PES) were used. Fabrics differ from each other in the morphological structure, thickness, density, twist of threads, hydrophilicity and pretreatment processes. Colloidal silver of the concentration 0.05% on the fabric weight was applied on fabrics with the exhaustion method. The concentration of Ag was determined with the ICP-MS analysis. The morphological properties of fibres were determined with SEM, the wettability of fabrics with thin-layer wicking and the*

measurement of the contact angle with water. Whiteness, yellowness index, air permeability as well as breaking strength and breaking elongation were determined as well. The results showed that the composition and pretreatment processes of fabrics greatly influenced the amount of adsorbed Ag. The concentration of adsorbed Ag on fabrics increased as follows: CO/PES < CO2 < CO1. The lowest concentration of the adsorbed Ag was affected by the presence of hydrophobic polyester fibres in the CO/PES fabric that decreased the fabric wettability. The mercerization of the CO1 fabric increased the absorptivity of fibres for Ag in comparison with the bleached CO2 fabric. The presence of Ag did not change the wettability of CO1 and CO2 fabric, in the case of the CO/PES fabric it even increased. The application of Ag did not influence the morphological properties of fibres; it only slightly decreased whiteness, air permeability and breaking strength.

Keywords: cotton, polyester, adsorption of silver, influence of morphological properties, influence of pretreatment, wettability, whiteness, physical properties

## 1 Uvod

Koloidno srebro je danes splošno uporabno kot protimikrobno sredstvo za zaščito različnih trdnih substratov. Je vodna suspenzija, ki vsebuje dve obliki srebra (Ag) v ustreznem razmerju, in sicer srebrove katione, Ag<sup>+</sup>, in srebrove nanodelce, Ag ND [1]. Koncentracijsko razmerje med Ag<sup>+</sup> in Ag ND je odvisno od postopka priprave koloidnega srebra, kjer se največkrat uporabljata redukcija srebrove soli in elektroliza. Mehanizem protimikrobnega delovanja koloidnega Ag pripisujejo tako Ag<sup>+</sup> kot Ag ND, ki lahko tvorijo privlačne interakcije z negativno nabitno membrano mikroorganizmov. Delci Ag lahko zato, ker so majhni, prodrejo v celico mikroorganizma, kjer se vežejo s tiolno skupino encimov, pri čemer zavirajo metabolizem celice, kar posledično vodi k uničenju mikroorganizma [2–4]. Protimikrobna aktivnost srebra se povečuje z manjšanjem delcev [5] in višanjem njihove koncentracije [6], vendar pa je z ekološkega vidika pomembno, da je biocidna aktivnost srebra na tekstilnih vlaknih dosežena že pri čim nižjih koncentracijah.

Z uporabo tržnih produktov na podlagi koloidnega srebra je že bila dosežena učinkovita protimikrobna aktivnost na tekstilnih substratih [7–23]. Le-to smo dosegli tudi v naših predhodnih raziskavah [21–23], kjer smo uporabili tržni produkt koloidnega srebra Ionosil [24], ki je proizveden z elektrolizo in je registriran kot vodno razkužilo z učinkovitim protimikrobnim delovanjem [25]. Vpliv koloidnega srebra na protimikrobno aktivnost na tekstilijah smo določili s testom zakopa v humusno ilovico, bogato z mikroorganizmi [21, 22], ter na bakterijsko vrsto *Escherichia coli* [23]. Z uporabo enake koncentracije sredstva

(0,05 % na maso blaga) smo dosegli učinkovito zaščito tkanin pred biorazgradnjo, kjer se je pretržna trdnost apretirane tkanine CO po 12 dneh zakopa v humusno ilovico zmanjšala za 2,5 %, pri apretirani tkanini CO/PES pa za 3,8 % [22] ter 91-% bakterijsko redukcijo za bakterijo *Escherichia coli* na tkanini CO [23].

Količina adsorbiranega Ag na tekstilna vlakna iz apreturke kopeli je neposredno odvisna od sorpcijske sposobnosti tekstilij, na katero vplivajo različni dejavniki, kot so surovinska sestava vlaken, konstrukcijski parametri in predobdelava tkanin. Splošno je znano, da so naravna hidrofilna celulozna vlakna v vodnih raztopinah veliko bolj omočljiva kot hidrofobna sintetična vlakna in da lahko zato navzamejo večjo količino kopeli. Prav tako je Marsh s sodelavci ugotovil, da se anorganski delci iz kopeli teže mehansko vežejo na gladko površino sintetičnih vlaken kot na bolj hrapava in zavita celulozna vlakna [26]. Na adhezijsko sposobnost tekstilij vplivajo tudi konstrukcijski parametri tkanine. Pri tem predvidevamo, da imajo voluminozne debelejšje tkanine večjo adsorpcijsko sposobnost kot tanjše tkanine enakih konstrukcijskih parametrov. Iz dosedanjih raziskav je tudi razvidno, da tkanine, ki vključujejo bolj vite in sukane niti osnove in votka, v vodi teže nabrekajo in zato navzamejo manjšo količino apreturke kopeli kot tkanine, tkane iz manj vitih prej enake surovinske sestave [27, 28]. Postopki predobdelave bombažnih tkanin, s katerimi povečamo vpojnost vlaken, kot so alkalno kuhanje, beljenje in merceriziranje, zagotovijo večjo afiniteto do barvil in različnih tekstilnih pomožnih sredstev [29].

V literaturi nismo zasledili raziskav, ki bi sistematično proučevale medsebojni vpliv koncentracije nanosenega nanosrebra, morfološke strukture vlaken,

konstrukcijskih parametrov preje in tkanine, poroznosti tkanine in postopkov predobdelave na funkcionalne in uporabne lastnosti tkanine. Pri protimikrobnem apretiranju tekstilnih vlaken je namreč poleg doseganja učinkovite biocidne aktivnosti sredstev [30, 31] izjemno pomembno, da prisotnost sredstva na tekstilnih vlaknih ne poslabša drugih lastnosti tkanin, ki so prav tako ključne za uporabnost končnega izdelka. Zato je bil namen naše raziskave proučiti vpliv prisotnosti protimikrobnega sredstva na podlagi nanosrebra biocidne koncentracije na lastnosti treh različnih tkanin, in sicer 100-% beljene bombažne tkanine, 100-% beljene in mercerizirane bombažne tkanine ter beljene tkanine iz mešanice bombaža in poliestra. Pri tem smo se osredotočili na določitev morfoloških lastnosti, adsorpcijskih sposobnosti, omočljivosti, beline, zračne prepustnosti ter pretržne sile in raztezka apretiranih tkanin.

## 2 Eksperimentalni del

### 2.1 Materiali

V raziskavi smo uporabili tri različne tkanine v vezavi platno, in sicer 100-% beljeno in mercerizirano bombažno tkanino (CO1), 100-% beljeno bombažno tkanino (CO2) ter tkanino iz mešanice 65 % bombaža in 35 % poliestra (CO/PES), katerih lastnosti so podane v preglednici 1. Tkanine so bile pred tem nevtralizirane z razredčeno  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Kot protimikrobno sredstvo smo izbrali tržni izdelek Ionosil (Ion Silver, Švedska), ki je koloidno srebro s povprečno velikostjo delcev manj kot 10 nm. Uporabili smo ga pri koncentraciji 10 mg/l in ga prej nismo redčili z vodo.

### 2.2 Nanos apreturnega sredstva na tkanine

Tkanine smo apretirali z 10 mg/l (0,05 % na maso blaga) protimikrobnega sredstva po izčrpalnem postopku v barvalnem aparatu Starlet-2 (DaeLim Starlet Co., Ltd) 30 minut v kopelnem razmerju 1 : 50 pri

sobni temperaturi. Po apretiranju smo vzorce oželi na dvovaljčnem fularju s 100-% ožemalnim učinkom in jih pustili, da so se posušili pri sobni temperaturi. Primerjalno smo vzorce tkanin obdelali tudi v vodi brez protimikrobnega sredstva pri enakih pogojih.

### 2.3 Metode preiskav

#### 2.3.1 Vrstična elektronska mikroskopija (SEM)

Morfološke lastnosti neapretiranih in apretiranih vzorcev tekstilnih vlaken smo določili z uporabo vrstičnega elektronskega mikroskopa JEOL JSM 6060 LV. Da bi preprečili nabijanje električno neprevodnih delov vzorca, smo na površino vzorca nanесли približno 10 nm tanko plast ogljika in zlitine Au/Pd (90 % / 10 %). Analizo smo izvedli z uporabo energije elektronov 15-keV.

#### 2.3.2 Masna spektroskopija z induktivno sklopljeno plazmo (ICP-MS)

Koncentracijo srebra na apretiranih vzorcih tkanin smo določili z analizo ICP-MS na spektrofotometru Perkin Elmer SCIED Elan DRC. Vzorec velikosti 0,5 g smo pripravili v mikrovalovnem sistemu Milestone s kislinsko dekompozicijo s 60 %  $\text{HNO}_3$  in 30 %  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

#### 2.3.3 Omočljivost

Omočljivost neapretiranih vzorcev tkanine z vodo smo določili z metodo tankoplastnega pronicanja. Meritve tankoplastnega pronicanja smo izvedli v horizontalni smeri, to je za tkanine priredil Chibowski [32]. Vzorce tkanine smo pred meritvami sušili 30 minut pri temperaturi 105 °C. Po vzpostavitvi stika med vodo in vzorcem smo merili čas,  $t$ , v katerem je voda pronicala v vzorec do določene razdalje  $x$ . Za vsak vzorec smo opravili najmanj sedem ponovitev. Meritve smo opravili pri temperaturi 20 °C.

Omočljivost neapretiranih in apretiranih vzorcev tkanin smo določili tudi z merjenjem stičnih kotov vode

Preglednica 1: Oznaka, ploščinska masa (PM), gostota (G) in debelina (D) tkanine ter vitje preje (VP)

Oznaka tkanine	PM [g/m <sup>2</sup> ]	G [niti/cm]		D [mm]	VP [zavoji/m]	
		osnova	votek		osnova	Votek
CO1	119	50	31	0,310	1011	998
CO2	154	26	23	0,398	674	666
CO/PES	93	36 (CO)	34 (PES)	0,234	883	0

na aparatu FIBRO DAT 500/1100 (Fibro, Švedska). Meritve smo opravili tako, da smo na površino vzorca tkanine s 6  $\mu\text{l}$  pipeto avtomatsko nanašali kaplje vode ter merili časovno spreminjanje stičnega kota med vodo in tkanino. Vzorce tkanine smo pred meritvami 30 minut sušili pri temperaturi 105 °C. Za vsak vzorec smo opravili najmanj 10 meritev stičnih kotov. Kot rezultat smo podali srednjo vrednost stičnega kota. Meritve smo opravili pri temperaturi 20 °C.

#### 2.3.4 Belina in indeks porumenitve

Belino vzorcev tkanin smo določili na podlagi meritev CIE barvnih vrednosti z uporabo dvožarkovnega spektrofotometra Spectraflash 600 PLUS-CT (Datacolor, Švica). Meritve smo opravili pri naslednjih pogojih: velikost merilne odprtine 30 mm, standardna svetloba D65 in  $T = 6500$  K, kot opazovalca je bil D65/10° z izključenim spekulacijem. Belino,  $W_{10}$ , smo izračunali iz naslednje enačbe [33]:

$$W_{10} = Y_{10} + 800(0.3138 - x_{10}) + 1700(0.3310 - y_{10}) \quad (1)$$

kjer je  $Y_{10}$  standardizirana barvna vrednost vzorca ter  $x_{10}$  in  $y_{10}$  standardizirana barvna deleža vzorca. Indeks porumenitve,  $YI$ , smo izračunali iz naslednje enačbe:

$$YI = \frac{100(1.3013 X - 1.1498 Z)}{Y} \quad (2)$$

kjer  $X$ ,  $Y$  in  $Z$  pomenijo vrednosti v CIE barvnem prostoru.

Vrednosti  $W_{10}$  in  $YI$  smo določili za neapretirane in apretirane tkanine. Meritve smo opravili na vzorcih, ki so bili pred tem 24 ur izpostavljeni standardnim pogojem (relativna vlažnost  $65 \pm 2$  %, temperatura  $20 \pm 1$  °C).

#### 2.3.5 Zračna prepustnost

Zračno prepustnost neapretiranih in apretiranih vzorcev tkanin smo določili po standardu SIST EN ISO 9237 : 1999. Meritve smo izvedli tako, da smo pri tlaku 20 mm vodnega stolpca določili količino presejanega zraka,  $q$ , skozi vzorec. Na vsakem vzorcu smo izvedli po 10 meritev. Kot rezultat smo podali količino presejanega zraka,  $Q$ , skozi ploščinsko enoto tkanine v eni minuti, ki smo jo izračunali iz enačbe:

$$Q = \frac{q}{6a} \quad (3)$$

v kateri je  $Q$  količina presejanega zraka v  $\text{m}^3/\text{min}$ ,  $q$  je količina zraka, ki prehaja skozi površino preizkušane vzorca v l/h, in  $a$  pa je preizkusna površina v  $\text{cm}^2$ , ki je znašala 10  $\text{cm}^2$ . Meritve smo opravili na vzorcih, ki so bili pred tem 24 ur izpostavljeni standardnim pogojem (relativna vlažnost  $65 \pm 2$  %, temperatura  $20 \pm 1$  °C).

#### 2.3.6 Pretržna sila in raztezki

Pretržno silo in raztezek neapretiranih in apretiranih vzorcev tkanin po osnovi smo določili z uporabo dinamometra Instron 6022 v skladu s standardom SIST ISO 5081 : 1996. Kot rezultat smo določili povprečno vrednost petih meritev pretržne sile in raztezka. Iz njihovih vrednosti smo izračunali relativno spremembo pretržne sile,  $F_{rel}$ , in raztezka,  $\epsilon_{rel}$ , in sicer takole:

$$F_{rel} = \frac{F_A}{6a}; \epsilon_{rel} = \frac{\epsilon_A}{\epsilon_N} \quad (4)$$

kjer sta  $F_A$  in  $F_N$  pretržni sili apretirane in neapretirane tkanine ter  $\epsilon_A$  in  $\epsilon_N$  pretržna raztezka apretirane in neapretirane tkanine. Meritve smo opravili na vzorcih, ki so bili pred tem 24 ur izpostavljeni standardnim pogojem (relativna vlažnost  $65 \pm 2$  %, temperatura  $20 \pm 1$  °C).

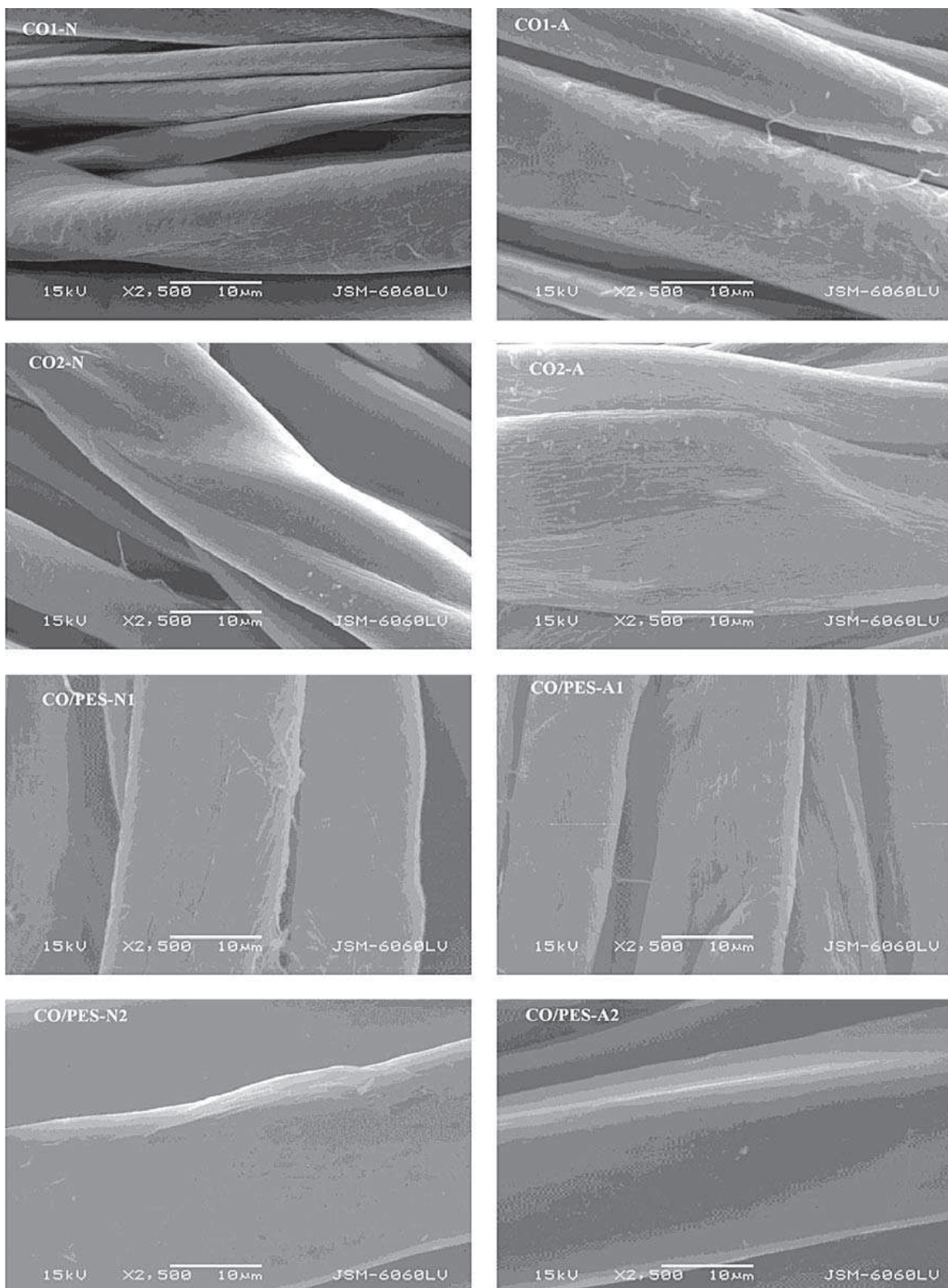
## 3 Rezultati z razpravo

### 3.1 Morfološke lastnosti vlaken

Na sliki 1 so prikazani SEM-posnetki neapretiranih in apretiranih vzorcev tkanin. Iz slike je razvidno, da se morfološke lastnosti tako bombažnih kot poliestrskih vlaken po apretiranju bistveno niso spremenile. Iz SEM-posnetkov nismo mogli sklepati o prisotnosti Ag na vlaknih, saj so bili delci premajhni, da bi jih lahko zaznali z mikroskopom. V naši predhodni raziskavi [5] smo pri večji povečavi na vzorcu CO2-A lahko opazili enakomerno porazdelitev delcev Ag, kjer le-ti niso presegli velikosti 20 nm.

### 3.2 Adsorpcijska sposobnost vlaken za Ag

Koncentracija Ag na tkaninah, določena z analizo ICP-MS, je prikazana v preglednici 2. Iz nje je razvidno, da so pri enaki koncentraciji sredstva v apreturki kopeli proučevane tkanine adsorbirale različno količino Ag, in sicer: CO/PES tkanina < CO2 tkanina < CO1 tkanina. Iz rezultatov je razvidno, da sta



Slika 1: SEM-posnetki vlaken proučevanih tkanin. Neapretirane tkanine: CO1-N, CO2-N, CO/PES-N1 (bombažna vlakna), CO/PES-N2 (poliestrna vlakna); apretirane tkanine: CO1-A, CO2-A, CO/PES-A1 (bombažna vlakna), CO/PES-A2 (poliestrna vlakna).

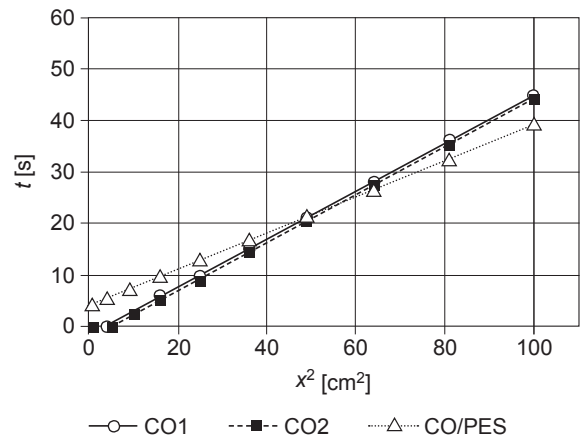
na adsorpcijo Ag vplivali tako surovinska sestava tkanine kot tudi njena predhodna obdelava.

Preglednica 2: Koncentracija srebra,  $c_{Ag}$  na apretiranih tkaninah

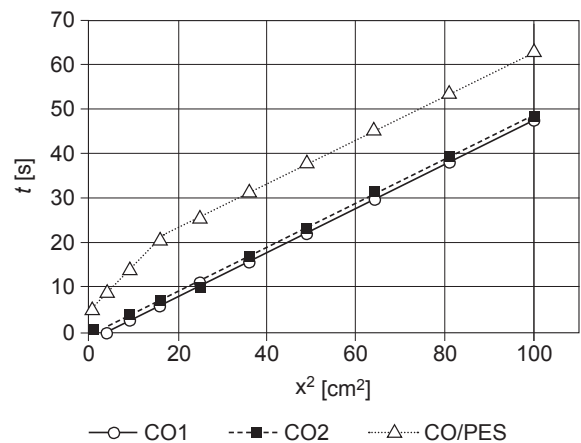
Oznaka tkanine	$c_{Ag}$ [mg/kg]
CO1	$200 \pm 40$
CO2	$130 \pm 30$
CO/PES	$89 \pm 18$

Vzrok za manjšo količino adsorbiranega Ag na tkanini CO/PES smo pripisali slabi adsorpcijski sposobnosti PES-vlaknen in njihovi veliki hidrofobnosti. Izjemno majhno adsorpcijsko sposobnost za Ag smo dokazali pri 100-% PES-tkanini [22], apretirani z enako koncentracijo sredstva (0,05 % na maso blaga), na kateri smo določili le 13 mg/kg Ag. Poleg tega je velika hidrofobnost PES-vlaknen vzrok za to, da vlakna v vodi ne nabrekajo in se zelo težko omočijo. To potrjujejo tudi rezultati na sliki 2, iz katerih je razvidno, da je hitrost tankoplastnega pronicanja vode v vzorce tkanin po votku večja za tkanino CO/PES kot za tkanini CO1 in CO2. Ker so votkovne niti v tkanini CO/PES iz poliestrnega filameta, lahko voda pronica le med nitmi votka in ne tudi v notranjost filameta. Zato je njena hitrost pronicanja večja kot pri hidrofilnih tkaninah CO1 in CO2, kjer voda pronica med votkovnimi nitmi, ob tem pa tudi v amorfna območja celuloznih vlaknen. To povzroči nabrekanje vlaknen ter s tem zmanjšanje hitrosti pronicanja vode skozi tkanino. Ti rezultati so v skladu z našimi predhodnimi raziskavami [34–36]. Približno enaki nakloni premic  $t$  od  $x^2$  (slika 3), dobljeni pri časih merjenja, večjih od 25, so potrdili, da je hitrost prodiranja vode v vzorce po osnovi, ki je pri vseh treh tkaninah iz bombažnih vlaknen, približno enaka. Glede na konstrukcijske parametre proučevanih bombažnih tkanin bi pričakovali, da bo tkanina CO2 z večjo ploščinsko maso in debelino ter manjšo gostoto in številom zavojev niti osnove in votka lažje nabrekala v vodi ter zato navzela večjo količino Ag kot lažja in tanjša tkanina CO1 z večjo gostoto in vitjem niti [27, 28]. A so bili rezultati raziskave prav nasprotni. Koncentracija Ag na tkanini CO1 je bila za več kot 1,5-krat višja kot na tkanini CO2 (preglednica 2). Iz tega smo lahko sklepali, da je na absorpcijsko sposobnost bombažne tkanine bolj kot njeni konstrukcijski parametri vplival postopek

mercerizacije tkanine CO1. Ta je pomembno izboljšal hidrofilnost bombažnih vlaknen, zmanjšal stopnjo kristaliničnosti, povečal delež amorfnih področij in s tem zmogljivost vlaknen za navzemanje Ag.



Slika 2: Odvisnost časa,  $t$ , od kvadrata razdalje,  $x^2$ , pri tankoplastnem pronicanju vode v suhe vzorce tkanin CO1, CO2 in CO/PES po votku

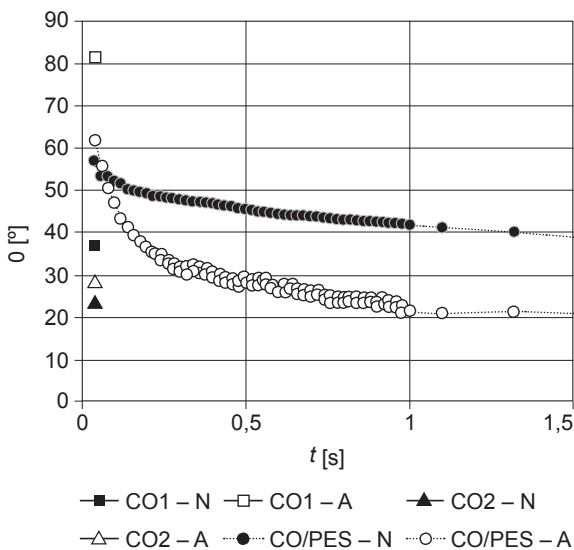


Slika 3: Odvisnost časa,  $t$ , od kvadrata razdalje,  $x^2$ , pri tankoplastnem pronicanju vode v suhe vzorce tkanin CO1, CO2 in CO/PES po osnovi

### 3.3 Omočljivost

Iz slike 4 je razvidno, da nanos Ag ni poslabšal omočljivosti tkanin. Čeprav je bil stični kot vode v času 0 s za obe apretirani tkanini CO1 in CO2 večji kot za neapretirani, so apretirane tkanine ostale visoko hidrofilne. To je bil tudi vzrok, da pri njih časovne odvisnosti spreminjanja stičnega kota vode nismo mogli izmeriti, saj je kaplja vode popolnoma omočila obe tkanini že v času 0,04 s. Pri tkanini CO/PES se je stični kot vode s časom zmanjševal počasneje kot pri tkaninah CO1 in CO2, kar ni bilo posledica

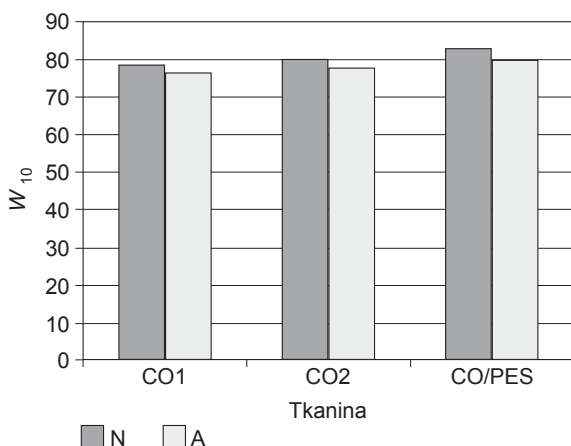
prisotnosti Ag, temveč večje hidrofobnosti tkanine CO/PES. Pri daljših časih močenja je prisotnost Ag celo izboljšala omočljivost tkanine CO/PES.



Slika 4: Stični kot,  $\theta$ , vode v odvisnosti od časa,  $t$ , na vzorcih neapretiranih (N) in apretiranih (A) tkanin CO1, CO2 in CO/PES

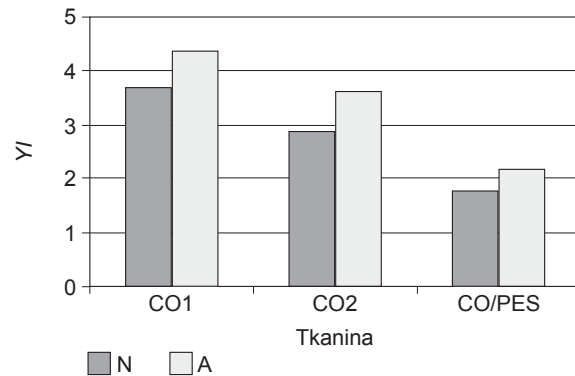
### 3.4 Belina in indeks porumenitve

Prisotnost Ag je pri vseh proučevanih tkaninah znižala belino (slika 5). Glede na količino adsorbiranega Ag bi pričakovali, da bo največji padec beline pri tkanini CO1 z največjo vsebnostjo Ag, vendar je bil celo nekoliko manjši kot pri tkanini CO/PES z najmanjšo količino absorbiranega Ag. To nakazuje, da na spremembo beline apretiranih tkanin pomembno vpliva surovinska sestava vlaken. Znižanje beline tkanin je sovpadalo z rahlo porumenitvijo



Slika 5: Belina,  $W_{10}$ , vzorcev neapretiranih (N) in apretiranih (A) tkanin CO1, CO2 in CO/PES

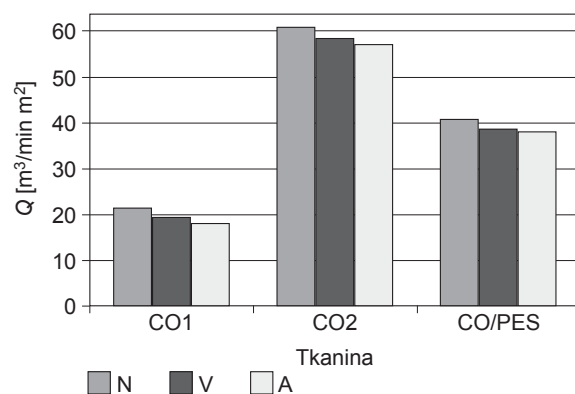
apretiranih tkanin, kar se je odrazilo v povečanju indeksa porumenitve (slika 6). Podobne rezultate smo zasledili v literaturi [20]. Vendar je poslabšanje beline zaradi prisotnosti Ag, dobljeno v naši raziskavi, zanemarljivo v primerjavi s tistimi, kjer je prisotnost Ag na vlaknih povzročila celo močnejše sive madeže [37, 38].



Slika 6: Indeks porumenitve, YI, vzorcev neapretiranih (N) in apretiranih (A) tkanin CO1, CO2 in CO/PES

### 3.5 Fizikalne lastnosti tkanin

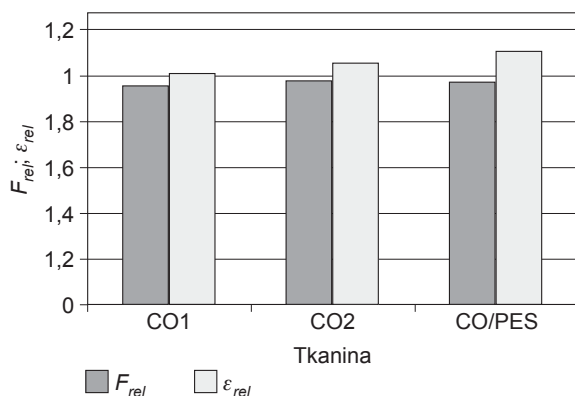
Nanos protimikrobnega sredstva je vplival na zmanjšanje zračne prepustnosti vseh treh proučevanih tkanin (slika 7). Vendar pa je bilo iz rezultatov jasno razvidno, da na zmanjšanje zračne prepustnosti ni vplivala le prisotnost Ag, temveč že sama obdelava tkanin v vodi. Pri zadnji je prišlo do nabrekanja bombažnih vlaken ter s tem posledično do sprememb v strukturi tkanin, posledica pa je bilo zmanjšanje njihove poroznosti in s tem otežen pretok



Slika 7: Zračna prepustnost,  $Q$ , vzorcev neapretiranih (N), obdelanih v vodi (V) in apretiranih (A) tkanin CO1, CO2 in CO/PES

zraka. Zmanjšanje zračne prepustnosti zaradi prisotnosti Ag je bilo 7,7 % za CO1, 2,1 % za CO2 in 1,3 % za tkanino CO/PES, kar je bilo v skladu s koncentracijo adsorbiranega Ag.

Na sliki 8 so prikazani rezultati meritev pretržne sile in raztezka proučevanih tkanin. Meritve smo po osnovi izvedli zato, ker je bila le-ta pri vseh tkaninah iz bombažnih vlaken in so bili zato rezultati med seboj primerljivi. Iz rezultatov je razvidno, da je nanos Ag pri vseh proučevanih tkaninah povzročil relativno zmanjšanje pretržne sile in relativno povečanje pretržnega raztezka. Pri tem je bilo največje zmanjšanje pretržne sile ob hkratnem najmanjšem raztezkju dobljeno pri tkanini CO1, ki je vključevala najvišjo koncentracijo Ag. To pomeni, da prisotnost Ag poslabša trdnost bombažnih vlaken, ki jo le-ta pridobijo pri mercerizaciji. Pri tkaninah CO2 in CO/PES se pretržna sila ni zmanjšala v tolikšni meri kot pri tkanini CO1, pa tudi raztezek je bil precej večji. Iz tega bi lahko sklepali, da prisotnost le večjih koncentracij Ag vpliva na zmanjšanje pretržne trdnosti kot tudi elastičnosti tkanine.



Slika 8: Relativna sprememba pretržne sile,  $F_{rel}$  in raztezka,  $\epsilon_{rel}$  vzorcev tkanin CO1, CO2 in CO/PES po osnovi

#### 4 Sklepi

Iz rezultatov raziskave lahko sklepamo, da je bil vpliv prisotnosti nanosrebra biocidne koncentracije na spremembo morfoloških, kemijskih in fizikalnih lastnosti proučevanih tkanin neposredno odvisen od surovinske sestave vlaken, konstrukcijskih parametrov tkanin in njihove predobdelave. Ker so hidrofilna bombažna vlakna absorbirala večjo koli-

čino Ag kot hidrofobna poliestrna vlakna, je bila koncentracija Ag na tkaninah CO1 in CO2 višja kot na tkanini CO/PES. Višja koncentracija Ag na tkanini CO1 v primerjavi s tkanino CO2 je bila posledica mercerizacije tkanine CO1, ki je močno povečala zmogljivost bombažnih vlaken za navzemanje nanosrebra. Prisotnost Ag na vlaknih ni spremenila njihovih morfoloških lastnosti, prav tako ni poslabšala omočljivosti vlaken. Nanos Ag je povzročil rahlo porumenitev vlaken, vendar ta ni negativno vplivala na estetski videz apretiranih tkanin. Zračna prepustnost apretiranih tkanin ni bila odvisna le od koncentracije Ag, temveč tudi od odprte površine same tkanine. Pretržna trdnost in elastičnost tkanin se je občutno zmanjšala le pri višjih koncentracijah adsorbiranega Ag. Iz tega sledi, da je z vidika funkcionalnih in uporabnih lastnosti najprimernejša aplikacija nanosrebra na voluminozno, porozno, mercerizirano 100-% bombažno tkanino.

#### Zahvala

Raziskavo je finančno podprla Agencija za raziskovalno dejavnost RS v okviru programa P2-0213 Tekstilije in ekologija ter financiranja mlade raziskovalke D. Klemenčič.

#### 5 Literatura

1. Silver Colloids. *What Is Colloidal Silver?* <<http://www.silver-colloids.com/Papers/FAQ.html#colloidal-silver>> [accessed: 4. 7. 2012].
2. PETICA, A., GAVRILIU, S., LUNGU, M., BURUNTEA, N., PANZARU, C. Colloidal silver solutions with antimicrobial properties. *Materials Science and Engineering B*, 2008, vol. 152 (1-3), p. 22–27.
3. MORONES, J. R., ELECHIGUERRA, J. L., CAMACHO, A., HOLT, K., KOURI, J. B., RAMÍREZ, J. T., YACAMAN, M. J. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 2005, vol. 16 (10), p. 2346–2353.
4. *Delovanje srebrne vode na bakterije in glive.* <[http://www.srebrnavoda-maxlab.com/delovanje\\_srebrne\\_vode/bakterije\\_i\\_gljivice.html](http://www.srebrnavoda-maxlab.com/delovanje_srebrne_vode/bakterije_i_gljivice.html)> [accessed: 4. 7. 2012].
5. TOMŠIČ, B. Vpliv velikosti delcev srebra na baktericidno učinkovitost celuloznih vlaken. *Tekstilec*, 2009, vol. 52 (7-9), p. 181–194.



6. RAI, M., YADAV, A., GADE, A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Bio-technology Advances*, 2009, vol. 27 (1), p. 76–83.
7. LEE, H. J., YEO, S. Y., JEONG, S. H. Antibacterial effect of nanosized silver colloidal solution on textile fabrics. *Journal of Materials Science*, 2003, vol. 38 (10), p. 2199–2204.
8. MAHLTIG, B., FIEDLER, D., BÖTTCHER, H. Antimicrobial sol-gel coatings. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 2004, vol. 32 (1-4), p. 219–222.
9. LEE, H. J., JEONG, S. H. Bacteriostasis and Skin Innocuousness of Nanosize Silver Colloids on Textile Fabrics. *Textile Research Journal*, 2005, vol. 75 (7), p. 551–556.
10. GHOSH, S., YADAV, S., REYNOLDS, N. Antibacterial properties of cotton fabric treated with silver nanoparticles. *The Journal of The Textile Institute*, 2010, vol. 101 (10), p. 917–924.
11. LEE, H. J., JEONG, S. H. Bacteriostasis of Nanosized Colloidal Silver on Polyester Nonwovens. *Textile Research Journal*, 2004, vol. 74 (5), p. 442–447.
12. DASTJERDI, R., MONTAZERA, M., SHAHSAVAN, S. A new method to stabilize nanoparticles on textile surfaces. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical & Engineering Aspects*, 2009, vol. 345 (1-3), p. 202–210.
13. KI, H. Y., KIM, J. H., KWON, S. C., JEONG, S. H. A study on multifunctional wool textiles treated with nano-sized silver. *Journal of Materials Science*, 2007, vol. 42 (19), p. 8020–8024.
14. JEONG, S. H., HWANG, J. H., YI, S. C. Antibacterial properties of padded PP/PE nonwovens incorporating nano-sized silver colloids. *Journal of Materials Science*, 2005, vol. 40 (20), p. 5413–5418.
15. MONTAZER, M., MOHAMMADI, F. A., SHAMEI, A., RAHIMI, M. K. Durable antibacterial and cross-linking cotton with colloidal silver nanoparticles and butane tetracarboxylic acid without yellowing. *Colloids and Surfaces B: Bio-interfaces*, 2012, vol. 89, p. 196–202.
16. KHALIL-ABAD, M. S., YAZDANSHENAS, M. E., NATEGHI, M. R. Effect of cationization on adsorption of silver nanoparticles on cotton surfaces and its antibacterial activity. *Cellulose*, 2009, vol. 16 (6), p. 1147–1157.
17. KHODDAMI, A., SHOKOHI, S. S., MORSHED, M., ABEDI, D. Simultaneous application of silver nanoparticles with different crease resistant finishes. *Fibers and Polymers*, 2011, vol. 12 (5), p. 635–641.
18. SU, W., WEI, S. S., HU, S. Q., TANG, J. X. Antibacterial finishing of cotton textile with nanosized silver colloids synthesized using polyethylene glycol. *Journal of the Textile Institute*, 2011, vol. 102 (2), p. 150–156.
19. MALTHIG, B., HAUFE, H., BÖTTCHER, H. Functionalisation of textiles by inorganic sol-gel coatings. *Journal of Materials Chemistry*, 2005, vol. 15 (41), p. 4385–4398.
20. MAHLTIG, B., TORSTEN, T. Silver Containing Sol-gel Coatings on Polyamide Fabrics as Antibacterial Finish-Description of a Technical Application Process for Wash Permanent Antibacterial Effect. *Fibers and Polymers*, 2010, vol. 11 (8), p. 1152–1158.
21. KLEMENČIČ, D., SIMONČIČ, B., TOMŠIČ, B., OREL, B. Biodegradation of silver functionalised cellulose fibres. *Carbohydrate Polymers*, 2010, vol. 80 (2), p. 426–435.
22. TOMŠIČ, B., KLEMENČIČ, D., SIMONČIČ, B., OREL, B. Influence of antimicrobial finishes on the biodeterioration of cotton and cotton/polyester fabrics: Leaching versus bio-barrier formation. *Polymer Degradation and Stability*, 2011, vol. 96 (7), p. 1286–1296.
23. KLEMENČIČ, D., TOMŠIČ, B., SIMONČIČ, B. Effect of silica binder on antimicrobial activity of colloidal silver. V *10<sup>th</sup> Autex Conference : Abstract book : Autex 2010*. Kaunas: Kaunas University of Technology, Faculty of Design and Technologies, Department of Textile Technology, 2010, str. 131.
24. Silver Colloids. *The Thruth About Ionic Silver*. <<http://www.silver-colloids.com/Pubs/AboutIonic.html>> [accessed: 4. 7. 2012].
25. Natural-Immunogenics Corp. *A Comparative Study of the Antibacterial Efficacy of Colloidal Silvers (IA, IB) vs. Staphylococcus aureus*. <<http://ebookbrowse.com/inhibition-of-staph-aureus-with-ionosil-pdf-d90020132>> [accessed: 3. 7. 2012].
26. MARSH, D. H., RILEY, D. J., YORK, D., GRAYDON, A. Sorption of inorganic nanoparticles in woven cellulose fabrics. *Particuology*, 2009, vol. 7 (2), p. 121–128.
27. OZKAYA, Y. A., ACAR, M., JACKSON, M. R. Yarn twist measurement using digital imaging.

- Journal of The Textile Institute*, 2010, vol. 101 (2), p. 91–100.
28. NYONI, A. B., BROOK, D. Wicking mechanisms in yarns—the key to fabric wicking performance. *Journal of The Textile Institute*, 2006, vol. 97 (2), p. 119–128.
29. FORTE TAVČER, P. *Priprava tekstilij na plemenitenje*. Ljubljana: Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, 2011, 69 p.
30. SIMONČIČ, B., TOMŠIČ, B. *Biorazgradnja tekstilnih vlaken in njihova protimikrobna zaščita*. Ljubljana: Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, 2010, 94 p.
31. SIMONČIČ, B., TOMŠIČ, B. Structures of novel antimicrobial agents for textiles – A review. *Textile Research Journal*, 2010, vol. 80 (16), p. 1721–1737.
32. CHIBOWSKI, E., GONZALES-CABALLERO, F. Theory and practice of thin-layer wicking. *Langmuir*, 1993, vol. 9 (1), p. 330–340.
33. HUNT, R. W. G. *Measuring colour*. Sec EDD. Ellis Horwood, 1991, New York.
34. SIMONČIČ, B., ČERNE, L., DIMITROVSKI, K., PLANINŠEK, O. Uporaba Washburnove enačbe za določitev poroznosti tkanin. *Tekstilec*, 2003, vol. 46 (11-12), p. 335–341.
35. ČERNE, L., DIMITROVSKI, K., PLANINŠEK, O., SIMONČIČ, B. Primjena metode tankoslojne penetracije za određivanje parametara poroznosti tkanine. *Tekstil*, 2004, vol. 53 (12), p. 613–622.
36. TOMŠIČ, B., KRIŽMAN LAVRIČ, P., SIMONČIČ, B., OREL, B., JOCIĆ, D. Sol-gel technology for functional finishing of PES fabric by stimuli-responsive microgel. *Journal of sol-gel Science and Technology*, 2012, vol. 61 (3), p. 463–476.
37. THOMAS, V., BAJPAI, M., BAJPAI, S.K. In situ formation of silver nanoparticles within chitosan-attached cotton fabric for antibacterial property. *Journal of Industrial Textiles*, 2010, vol. 40 (3), p. 229–245.
38. PERELSHTEIN, I., APPLEROT, G., PERKAS, N., GUIBERT, G., MIKHAILOV, S., GEDANKEN, A. Sonochemical coating of silver nanoparticles on textile fabrics (nylon, polyester and cotton) and their antibacterial activity. *Nanotechnology*, 2008, vol. 19 (24), p. 245705 (6pp).