

PREGIBANJE PAPIRJA

1 UVOD

Pokanje premaznega sloja na pregibu je napaka, ki se pojavlja, ko se premazani papir ali karton prepogiba med tiskanjem. Premaz na površini papirja zagotavlja boljše, izrazitejše in barvitejše odtise, poslabša pa mehanske lastnosti papirja, kot je pregibanje. Pomembna lastnost oz. zahteva pregibanja papirja je, da se dovolj razplasti in se tako sile pregiba porazdelijo na zunanjo stran in s tem preprečijo pokanje premaznega sloja.

2 POKANJE PREMAZNEGA SLOJA

Pokanje premaznega sloja pri pregibanju se pokaže kot bela črta vzdolž pregiba. Kadar je površina pregiba potiskana s temnimi barvami, postane ta še toliko bolj izrazita in opazna. Pokanje premaza je posledica slabše vrhnje plasti premaza, ki razkrije vlakna pod njim. V najslabših primerih se osnovne vlaknine celo oslabijo. Posledica tega se lahko kaže kot precejšnja izguba natezne odpornosti. Največkrat se pojav imenuje »poškodba pri pregibu« in ga v splošnem raje uvrščamo med slabosti kot prednosti. Opazno večje poškodbe nastanejo na sušilnem delu ofsetnega tiskarskega stroja, kjer ima izguba vlage v procesu sušenja tiskarske barve težnjo, da papir oslabi, še preden se prepogne. S stališča proizvajalcev papirja ima vsak papir, ki se lahko prepogne, ne da bi prišlo do pokanja površine premaznega sloja, izjemno prednost, saj se s tem izognejo reševanju velikega števila reklamacij.

2.1 Poenostavljen napetostni model

Ko se papir prepogne, je premaz na zunanji in notranji strani pregiba podvržen različnim ravnem napetosti. Prek debeline papirja lahko določimo dve neenaki področji, tj. zunanjo stran pregiba, ki je podvržena natezni napetosti, in notranjo stran pregiba, ki je izpostavljena tlačnim napetostim (slika 1). Po enačbi 1 je ravnotežje sil izraženo z integralom prečnega prereza površine papirja:

$$\int \sigma dz = 0, \quad [1]$$

pri čemer je σ napetost.

Začetek koordinate z je v 0 oz. na »gredi«, ki pa v splošnem ni pozicionirana na polovici debeline papirja. Zato v skladu s sliko 1 definiramo še parameter ξ , pri čemer je razdalja od neprepognjene površine papirja do stisnjene in raztegnjene površine potem ξt in $(1 - \xi)t$, t je debelina papirja in ξ je med 0 in 1. Enačbo 1 lahko sedaj zapišemo kot:

$$\int_0^{1-\xi t} \sigma dz = \int_0^{\xi t} \sigma dz, \quad [2]$$

pri čemer je σ absolutna vrednost napetosti.

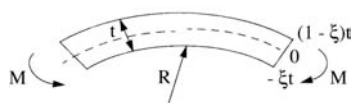
Učinek pregibanja lepenke je odvisen od sposobnosti kartona, da se razsloji na notranji strani pregiba, kar omogoča, da se izbočeni del generira na notranjo stran pregiba (slika 2). Običajno je zaželeno, da se izognemo pokanju premaznega sloja na zunanji strani, predvsem pri večbarv-

nem tisku, ko se slika oz. odtis razprostira po celotni površini tiskovnega materiala. Zato je zelo pomembno, da imajo premazni sloji visoko planarno sposobnost raztezanja z zadostno natezno odpornostjo proti pregibu.

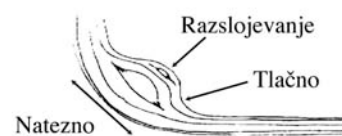
Pri manj odpornih papirjih se vlakna na razpokah pretrgajo in se vezi med vlakni prekinajo. Pri kakovostnejših papirjih (daljša in predvsem številčnejša celulozna vlakna) se vlakna ne pretrgajo, temveč le upognejo. C. Guyot je glede na prepogibanje predlagal klasifikacijo štirih različnih vrst premazanega papirja:

1. Premazani papir je manj odporen proti pokanju kot nepremazani; pregibanje ne oslabi kohezije med vlakni.
2. Premazani papir je manj odporen proti pokanju, toda pregibanje oslabi povezavo med vlakni v papirju.
3. Premaz je tisti, ki zagotavlja preostalo odpornost proti pokanju premazanega papirja, pri katerem je odpornost premaza višja od surovega papirja in se ta poškoduje pri pregibanju.
4. Na drugi strani so ravno vlakna v papirju tista, ki zagotavljajo odpornost proti pregibanju premazanega papirja.

V idealnem primeru se premazani sloj in vlakna na notranji strani pregiba tako deformirajo, da zmanjšajo natezno odpornost zunanje strani. Posledica manjše



Slika 1. Osnova gred, podvržena upogibu.



Slika 2. Območje zgibanja lepenke.

izgube natezne odpornosti so manj opazne poškodbe na zunanji strani pregiba, tj. lična ali tiskana stran papirja, kartona ter lepenke.

Po mnenju R. N. Jopsona so »opozorilni znaki« za prepoznavo papirja s slabimi pregibnimi lastnostmi naslednji:

- ⌘ znatno povečanje natezne odpornosti pri premazovanju surovega papirja,
- ⌘ izguba natezne odpornosti, ko pregibamo surovi papir in
- ⌘ znatno zmanjšanje natezne odpornosti, ko pregibamo premazani papir.

2.2 Parametri, ki vplivajo na pregibne lastnosti

Problem pokanja premaznega sloja se pojavi, ko je čvrstost oz. togost premaza previsoka, gledano v sorazmerju s surovim papirjem, zlasti ko je odpornost premaza proti stisljivosti visoka glede na natezno odpornost vlaken. Površinska masa surovega papirja in količina nanesenega premaza lahko pri pregibanju znatno vplivata na mehanizem pokanja površine papirja. Pri papirju nižjih gramatur zlahka pride zaradi vpliva premaza do pokanja površine prav zaradi togosti materiala, ki je posledica večje debeline surovega papirja.

P. H. Dähling opozarja, da je višja odpornost proti pokanju površine dosegljiva bodisi z izbiro surovega papirja, ki se lahko stisne, bodisi z znižanjem mase premaza ali s povečanjem količine vpivanja premazne mešanice v notranjost surovega papirja. Vpojnost lahko povečamo z zmanjšanjem količine veziva v premazu ali z izbiro ustreznega pigmenta, ki dopušča lažjo deformacijo premaznega sloja. Prodor premazne mešanice v notranjost surovega papirja omogoča odpornost proti pokanju premaznega sloja na površini papirja. Omenjeno dokazuje, da je težnja po dobrih pregibnih lastnostih v nasprotju s težnjo po dobrih tiskarskih lastnostih.

Jopson raziskuje lastnosti v vzdolžni (machine direction – MD) in prečni (cross direction – CD) smeri teka vlaken v papirju, kartonu ali lepenki. Znano je dejstvo, da papir kaže anizotropno vedenje mehanskih lastnosti v odvisnosti od smeri izvajanja meritev. Če je pregibanje v MD, se pokanje premaznega sloja pojavi v pravokotni smeri orientacije vlaken. Jopson trdi, da je natezna odpornost višja, ko pregibamo papir v MD, kot pa če ga pregibamo v CD. Kadar se pregiba v MD, ima tudi tiskarski stroj malo mehanskih problemov. Treba je omeniti, da je papir pogosto težko pregibati v MD, predvsem papir površinskih mas, nižjih kot 130 gm².

Izbira pigmentov

Pigmenti, kot sta kalcijev karbonat in kaolin, se razlikujejo po geometriji delcev in površinskem kemizmu. Razlike pojasnjujejo, kako omenjenje lastnosti vpliva na lastnosti premaznega sloja, kot sta togost in kohezivnost. Večji delež kaolina znatno izboljša

odpornost premazanega papirja proti pokanju pri pregibanju. Delci kaolina so podobni ploščicam in so zaradi takšne geometrijske oblike podvrženi hitrejšemu pokanju zunanjega sloja in ne poškodujejo osnovnih vlaken papirja. Delci kalcijevega karbonata imajo okroglo obliko in jih posledično lahko izpostavimo večjim deformacijam kot papirje, premazane s kaolinskim pigmentom.

Masa premaza

Natezna odpornost narašča s količino nanesenega premaza, kajti debelina papirja in posledično presek prav tako naraščata. Z večjo maso premaza se izboljšujejo tudi pregibne lastnosti papirja. Na zunanji strani pregiba lahko že manjši polmer upogiba povzroči poškodbe na premaznem sloju. Pri ofsetnem tiskanju je pri premaznih papirjih nizek delež vlaken v sorazmerju s premazom. Poveča se togost in nevarnost poškodbe pri pregibanju.

Temperatura

Temperatura ima na natezno obremenitev večji vpliv, kot ga ima površinska masa. Z višanjem temperature natezna obremenitev pada in poslabšajo se pregibne lastnosti. Papir, prepognjen pri sobni temperaturi oz. pri temperaturi 170 °C, se drugače vede. Glavna razlika je v krivini premaza na notranji strani pregiba, natančneje na črti pregiba. Krivina se z višjo temperaturo poveča, povzroča pa nižjo odpornost na notranji strani pregiba, kar vodi do tlačne obremenitve ali preloma. Povečanje krivine upogiba pri višjih temperaturah povzroči, da se osnovna vlakna pretrgajo tudi v notranjosti pa-

pirja in posledično se zmanjša pregibna odpornost. Ne smemo zanemariti dejstva, da sta temperatura in vlaga tesno povezani. Vlaga namreč daje papirju mehko. Dosežemo lahko zelo visoke temperature, odvisno od tehnike tiska, kar pa vodi k še večjim težavam pri pregibanju.

3 RAZSLOJEVANJE

Razslojitev nastopi, ko se list papirja ali lepenke zlomi tako, da je zlom vzporeden s površino. To je torej geometrijska opredelitev vrste odpovedi materiala, ki je lahko zelo pomembna za kompozitne materiale, kot je premazani papir. Tovrstna odpoved materiala je v primeru pregibanja pozitivna. Kot sem že omenil, razslojevanje notranje strani pregiba zmanjša nevarnost pokanja premaznega sloja na zunanji, tiskani strani papirja ali lepenke. Natezna odpornost v z-smeri, tj. debelini, kot tudi strižna napetost, ki je vzporedna s površino papirja, sta zadostna pogoja za razslojevanje. V splošnem se pri predelavi papirja ali lepenke pojavljata obe obremenitvi, natezna in strižna. Pri pregibanju oz. mečkanju homogenega lista papirja se na površini pojavita maksimalna natezna in tlačna obremenitev, medtem ko se maksimalna strižna obremenitev pojavi na sredini lista papirja. Razslojevanje ima znatnejši vpliv pri

večslojnih listih papirja ali lepenke, kot jo ima pri homogenih.

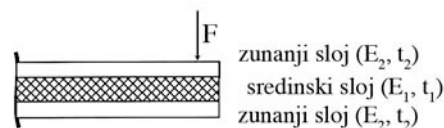
Maksimalna strižna napetost pri upogibu je prav tako odvisna od razmerja med debelino in moduli različnih slojev. Razmerje sil za sorazmerno enakomeren list papirja, sestavljenega iz treh slojev, dveh zunanjih in enega sredinskega, je prikazan na sliki 3. Za predpisano upogibno deformacijo je razmerje dejavnikov vpliva nekomplikirano in ga zapišemo z enačbo 3. V njej je A prečni prerez, r pa polmer ukrivljenosti upogiba.

Indeks 1 je uporabljen za sredinski sloj in indeks 2 za zunanji sloj (spodnji in zgornji), medtem ko sta E in t definirana z enačbo

$$E = \frac{E_2}{E_1} \quad t = \frac{t_2}{t_1} \quad [4]$$

Iz enačbe 3 razberemo močno odvisnost razmerja strižne napetosti od debeline in modula. V praksi lahko nadzorujemo le silo in ne deformacije. Odvisnost razmerja strižne napetosti od debeline in modula je torej zelo majhna. Zaradi pridobitve drugih pomembnih informacij lahko vrednosti strižne napetosti papirjev enake togosti primerjamo z Youngovim modulom in debelino papirja upoštevamo kot spremenljivo. Pri tem dobimo dobro ujemanje s teorijo oblike delcev pigmenta.

$$\tau_{\text{maks}} = \frac{1}{4} \times (E_1) \times \frac{A^2}{r^2} \left\{ \frac{1}{(1 + 2t)^2} + \frac{4t(1 + t)}{(1 + 2t)^2} \right\} E \quad [3]$$



Slika 3. Upogib trikomponentnega lista papirja.

4 KARAKTERIZACIJA PREGIBANEGA PAPIRJA

Fizikalne lastnosti papirja lahko izmerimo z uporabo različnih metod. Preizkušanje papirja se uporablja za nadzor proizvodnje, merjenje vrednosti materiala v blagovni izmenjavi med prodajalcem in kupcem ali iz funkcionalnih vzrokov, npr. ko uporabimo papir za izdelavo koledarja.

4.1 Običajne testne metode

4.1.1 Natezne lastnosti

Trak papirja, širine 15 mm in vpenjalne dolžine 180 mm, se vpne med dve prižemi dinamometra in izpostavi osni obremenitvi, vse dokler se ne pretrga. Kot izhodno informacijo poda dinamometer obremenitev kot funkcijo napetosti. Natezna odpornost je definirana kot obremenitev pri pretrgu (FT), ulomljeno s širino traku (b) in je zapisana z enačbo:

$$\sigma_T^b = \frac{F_T}{b} \quad [5]$$

Treba je opozoriti, da natezna odpornost, kot se jo meri v papirni industriji, ni povsem prava natezna obremenitev, saj se meri pretržno obremenitev glede na širino in ne na površino. Za običajne potrebe je natezna obremenitev, kot jo merijo v papirni industriji, dovolj nazorna, saj poda uporabnost papirja (uporaba papirja v formatih). V primerih, ko pa na papir gledamo in ga tudi uporabimo kot strukturni material oz. material za konstrukcijske namene (laminati), pa je treba upoštevati lastnost, kot je natezni indeks. Definiran je z natezno odpornostjo na površinsko maso. Natezni indeks za papirje znaša med 10 in 100 kNmkg⁻¹. Krivulja je na začetku ravna lini-

ja, kar pomeni, da se papir na začetku vede kot popolnoma elastično telo. Navsezadnje je treba poudariti, da elastične lastnosti papirja niso enostavno razumljive in je treba elastični modul zaradi porozne strukture papirja obravnavati z določeno previdnostjo.

4.1.2 Pregibna togost

Pregibna togost je definirana kot razmerje med uporabljenim upogibnim momentom in odklonom znotraj elastičnega področja. Določena je z debelino lista papirja, kartona ali lepenke in s sposobnostjo, da se notranji in zunanji sloji upirajo nateznim in tlačnim silam. Pregibna togost se torej spreminja s togostjo, surovinsko sestavo in gramaturo. Našteto pa tudi vpliva na mehurjenje papirja.

4.1.3 Viskoelastične lastnosti

Papirje uvrščamo med polimerne materiale. Njihove mehanske lastnosti so bolj podobne različnim plastikam kot npr. kovinam. Ena od značilnosti polimernih materialov je, da je odziv na obremenitev časovno odvisna spremenljivka. Zatorej ni mogoče pri tovrstnih polimerih natančno določiti mejo med elastičnim vedenjem in plastično deformacijo, kot jo lahko pri kovinah. Literatura deli teste za viskoelastične lastnosti papirja v:

- ⌘ dinamično-mehanske teste,
- ⌘ teste relaksacije napetosti,
- ⌘ študije prehodne odzivnosti papirja, izpostavljenega različnim obremenitvam, kot je lezenje.

Prednost dinamično-mehanskih testov je v tem, da lahko pre-

učujemo široko območje frekvence testiranja. Papir pri konstantni obremenitvi kaže zvezno podaljševanje ali t. i. lezenje. Papirju se med lezenjem plastična deformacija linearno povečuje in je skladna z relativno majhnim pojavom elastičnega in viskoelastičnega povratka (telo, ki se vede na eni strani kot trdna elastična snov, za katero velja Hookov zakon, na drugi strani pa kot viskozna snov, ustrezno z Newtonovim zakonom). Meja elastičnosti materiala je predvsem meja dopustnih obremenitev, katerim se lahko papir med procesom izpostavi. Tu gre za čas, pri katerem odvisnost med obremenitvijo in deformacijo opišemo z znanimi mehanskimi modeli (slika 4).

V modelu se za čisto elastično telo vzame vzmet, za čisto plastično telo pa v viskoznem mediju gibajoči se bat. Tako lahko npr. izrazimo odvisnost med

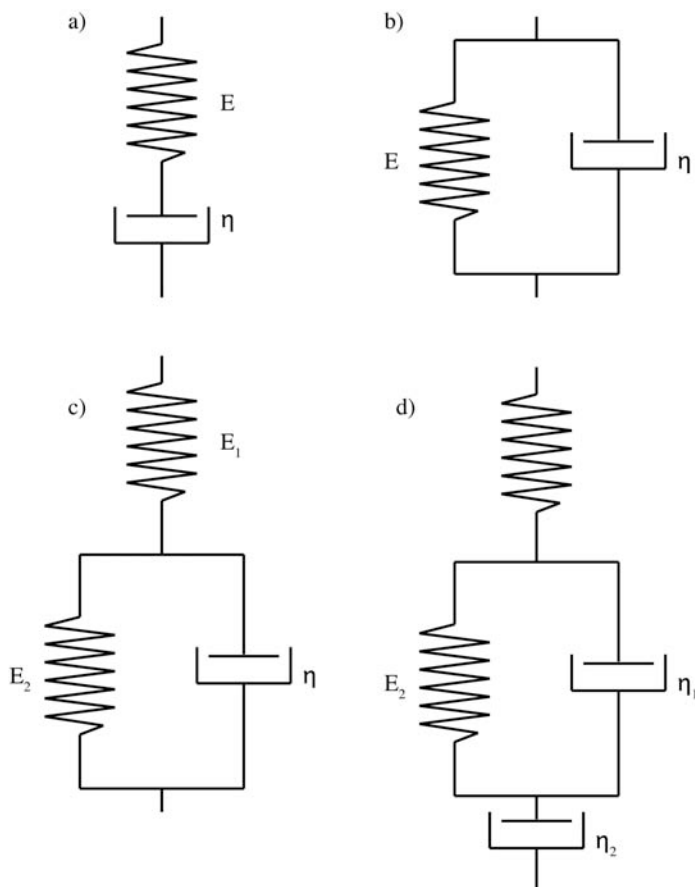
obremenitvijo in deformacijo z Maxwellovim modelom, pri katerem gre za zaporedno vezano vzmet, ki predstavlja Hookovo področje na krivulji napetost-deformacija, in dušilko, ki predstavlja viskozne lastnosti materiala, ustrezno Newtonovemu zakonu. Odvisnost sile in deformacije podamo z enačbo [6]:

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{1}{E_m} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta_m}$$

- de sprememba raztezka,
- E_m - modul vzmeti,
- η_m - viskoznost dušilke,
- dσ - sprememba napetosti in
- dt - sprememba časa.

4.1.4 Lastnosti premaznega sloja

Povečanje vsebnosti veziva stiren-butadiena v premazni meša-



Slika 4. Modeli deformacij: a) Maxwellov, b) Voigt-Kelvinov, c) standardni linearni viskoelastični model za trdne snovi in d) standardni viskoelastični model za trdne snovi s plastično deformacijo.

PAPIR ...



- **BELJENA CELULOZA LISTAVCEV
IN IGLAVCEV**
- **ČASOPISNI PAPIR**
- **GRAFIČNI PAPIRJI**
- **EKOLOŠKI/RECIKLIRANI PAPIRJI**

• Tovarniška 18, 8270 Krško, SLOVENIJA
Tel.: +386(0)7 48 11 100
Fax: +386(0)7 49 21 115, 49 22 077
E-mail: vipap@vipap.si, <http://www.vipap.si>



MICHAEL HUBER

GmbH München

TISKARSKÉ BARVE VRHUNSKÉ NEMŠKE KVALITETE

Huber, Hostmann & Steinberg,
Gleitsmann,
Stehlin & Hostag,
Npi, Info Lab

- SKALNE** barve (Unicum®, Rapida®, Reflecta®, Resista®)
- PANTONE®** osnovne nianse
- HKS®** osnovne nianse
- ROTO** heat in cold set barve
- SPECIALNE** barve (Tyvek, Syntape, Folien)
- ECO** barve
- LAKI** (disperzijski, ofsetni, UV)
- pomožna sredstva
- FLEKSO** barve na vodni in organski osnovi

SVETOVANJE IN SERVIS

SEDEŽ V LJUBLJANI

TORAY polimerni klišeji za vodno razvijanje (torelief, toreflex) in Dantex razvijalni stroji.

MEŠALNICA OFSETNIH TISKARSKIH BARV

- mešanje iz barvnih koncentratov
- maksimalna pigmentacija barv
- odlična kakovost
- barve tipa sveže, folije, plakatne, brez vonja (tudi dc), uv
- kratki roki izdelave

Zastopa in prodaja
PERLA d.o.o., Motnica 2, IOC Trzin
1236 Trzin, tel. 01 563 74 26, faks 01 563 74 27
elektronska pošta: perla@siol.net

nici na osnovi kaolina vodi k višjim vrednostim natezne odpornosti in k višjim pretržnim raztezkom.

Prav tako je pomembna tudi oblika delcev pigmenta. Omejeno je že bilo, da so delci kaolina, geometrijsko gledano, ploščice in so zaradi tega bolj odporne proti osni obremenitvi, medtem ko so delci kalcijevega karbonata izometrične oblike in zaradi tega bolj odporni proti drugim oblikam obremenitev. Natezna odpornost se zviša, ko se vezivu zvi-

ša temperatura steklastega prehoda. Torej, mehkejša je vezivo, nižja bo odpornost premaznega sloja proti obremenitvam. Elastični modul (E) variira podobno kot natezna odpornost. Mehanske lastnosti premaznega sloja so še zlasti določene z lastnostmi veziva, kar pomeni, da vezivo aktivno vpliva na prenos napetosti v deformiranem premaznem sloju. Uporaba kalcijevega karbonata kot pigmenta v premaznem sloju zmanjša trdnost in elastičnost papirja.

4.1.5 Premazani papirji

Iz meritev debeline kompozitnih materialov z različno količino premaza se pri tovrstnih materialih tvori meja med srednjim in zunanjim slojem (slika 3). Penetracija premaznih komponent v papir tvori področje medsebojnega delovanja z mehanskimi lastnostmi, ki se razlikujejo od drugih slojev papirja. V skladu s Hagenovo raziskavo ima penetracija premazne mešanice v notranjost (globino) papirja lastnosti, ki so bolj podobne lastnostim premaznega sloja kot lastnostim papirja.

5 ZAKLJUČEK

Problematika pregibanja papirja doslej z matematičnimi modeli še ni bila natančno opisana. V literaturi je težko najti članke, ki niso zasnovani na opisovanju eksperimentalnih rezultatov. Ti v večini primerov obravnavajo problematiko samo na specialnih vrstah papirja, kot so LWC (low weight coated), oz. še pogosteje na lepenkah. Navsezadnje je treba poudariti, da za sorodna področja mehanizmi pregibanja že obstajajo in so lahko zelo uporabni kot pomoč pri osnovanju modelov za opis vedenja različnih vrst papirja, kartonov ali lepenk.

Klemen MOŽINA

Univerza v Ljubljani

LITERATURNI VIRI

Guyot C., Bacquet G., Schwob J. M.
Folding resistance of magazine papers
Tappi proceedings, 1992 coating conference, 17-20 may, p. 255-268.

Jopson R. N., Towers K.
Improving fold quality in coated papers and boards – the relationship between basestock and coating
1995 coating conference Dallas, 21-25 may 1995, book 2, p. 459-477

Dähling P. H., Gürter A., Kessler H. -J.
Zur Problematik des Falzbrechens von Papieren im Rollenoffset
Wochenblatt für Papierfabrikation, vol. 121, p. 799-802

Lindblom J.
Digitalt slutar manuellt
AGI, 308, august 1999, p. 55-56

Franklin A. T.
Print quality and runnability of coated paper
Printing Technology, april 1970, p. 21-24

Dietz A. G. H.
Engineering Laminates
1949, New York: Wiley; London: Chapman & Hall, Chapter 1 by Hoff

Možina K.
Viskoelastične lastnosti papirja za tisk
Magistrsko delo, Naravoslovnotehniška fakulteta Ljubljana, Oddelek za tekstilstvo 2004, str. 56-58

Heikkilä I.
Viscoelastic model of paper surface compressibility
Paperi ja Puu – Paper and Timber, 1997, vol. 79, no. 3, p. 186-192

Šajn D., Geršak J., Bukošek V.
Študij odnosa med obremenitvijo in relaksacijo tkanin z dodanim elastanom
Tekstilec 2003, let. 46, št.9-10, str. 274-281

Desjumaux D.
Structure of coating layers in FPIRC-Kurs
Paper Surface-Surface Treatment, Characterization and Printing, STFI Stockholm, april 12-15, 1999

Parpaillon M., Engström G., Pettersson I., Fineman I., Svanson S. E., Dellenfalk B., Rigdahl M.
Mechanical properties of clay coating films containing styrene-butadiene copolymers
J. Appl. Polymer Sciences, vol. 30, p. 581-592

Hagen R., Salmén L., De Ruvo A.
Dynamic Mechanical studies of a highly filled composite structure; a light-weight coated paper
J. Appl. Polymer Sciences, vol. 48, p. 603-610

