

Namen raziskave klasičnega in recikliranega pisarniškega papirja je bil kvantitativno ovrednotenje obstoječih razlik med preiskovanima papirjema. Poraba pisarniškega materiala se iz leta v leto povečuje. Za potrebe trga moramo najti alternativni oz. izmenljivi vir. Eden izmed načinov reševanja težave je, da nadomestimo ali le delno zmanjšamo porabo svežih sestavnih delov, predvsem lesovinskih vlaknin, tj. iglavcev in listavcev. Večji del časopisnega papirja je že desetletja iz recikliranih vlaknin. Navadili smo se na njegovo teksturo, otip, barvo in strukturo. Pri pisarniškem papirju pa smo povsem nepripravljeni na sporazum, predvsem na področju mehanskih in optičnih lastnosti (belino). V skladu s povedanim so bile zasnovane in izvedene meritve mehansko-fizikalnih, optičnih in mikroskopskih lastnosti na treh klasičnih in treh recikliranih pisarniških papirjih. Preiskovani papir se razlikuje po gramaturi in proizvajalcu. Mehansko-fizikalne lastnosti so bile določene na podlagi štirih metod; analizi utržne sile in raztezka, razpočne odpornosti in sili nadaljnjega trganja. Optične lastnosti so bile ovrednotene z belino, neprosojnostjo in zrcalnim sijajem. Površinske lastnosti pisarniškega papirja so bile izmerjene s hrapavostjo in poroznostjo po metodi Bendtsen ter kapilarno vpojnostjo po Klemmu. Mikroskopski posnetki na optičnem mikroskopu prikazujejo sestavo papirja, predvsem delež posameznih vlaken in njihovo dolžino. Rezultati meritev potrjujejo predpostavko, da lahko po mehansko-fizikalnih in površinskih lastnostih vzorce papirja med seboj primerjamo. Pri klasičnem in recikliranem pisarniškem papirju ni opaznih razlik, razen v primeru optičnih lastnosti, pri čemer se reciklirani nekoliko opazneje razlikuje od klasičnega pisarniškega papirja. Sklenemo lahko, da je reciklirani pisarniški papir povsem zadovoljive in sprejemljive kakovosti, zato ne vidimo zadržkov za širšo in smotrnejšo uporabo tovrstnega papirja.

UPORABA

KLASIČNEGA ALI RECIKLIRANEGA PISARNIŠKEGA PAPIRJA

Klemen MOŽINA

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo

Vera RUTAR

Inštitut za celulozo in papir, Ljubljana

Okoljevarstvena znanost je zaskrbljena zaradi globalnega vpliva človeških aktivnosti na naravno ravnovesje. Posledica nenadzorovanega spuščanja toplogrednih plinov v ozračje je zvišanje temperature za okrog 1 °C. Recikliranje je zasnovano na zbiranju in ponovni uporabi surovin (papir, plastika, steklo, aluminij, tekstil). Vse odpadne surovine niso obnovljive, vendar z recikliranjem vzpostavimo sistem, v katerem odpadki postanejo vir za proizvodnjo česa novega [1]. Recikliranje papirja zajema odstranjevanje tiskarskega črnila (deinking), papirnega premaza, lepila, kovinskih sponk, plastičnih ovojev in vrvic.

Deinking je postopek odstranjevanja neželenih primesi v recikliranem papirju in svetljenja (brightening) pridobljenih vlaken oziroma »pranje vlaken«. Kemizmi v postopku odstranjevanja nečistoč so kritični dejavniki, ki vplivajo na učinek odstranjevanja in končno svetlost oziroma belino vlaken. Pomemben parameter je vrednost pH, ki v alkalnem vpliva na

nabrekanje vlaken in pospešuje odstranjevanje lepil in črnil oziroma tiskarskih barv (TB). Visoka vrednost pH vpliva na hidrolizo veziv v TB, to pa na odlepljanje s površine celuloznih vlaken in na velikost dispergiranih delcev TB. Uporaba površinsko aktivnih snovi (surfactant) izboljša učinek odstranjevanja nečistoč. Velikost odstranjenih nečistoč pa je odvisna od površinsko aktivnih snovi in toplotnih ter mehanskih sil v razpuščevalniku. Površinsko aktivne snovi imajo v procesu flotacije velik vpliv na površinsko kemijo delcev, na tvorbo zračnih mehurčkov, in sicer njihovo velikost in stabilnost. Mehanizmi odstranjevanja TB s površine celuloznih vlaken vsebujejo: raztapljanje površinsko aktivnih snovi v vodnem mediju, povečanje omočljivosti površine celuloznih vlaken s površinsko aktivnimi snovmi, nabrekanje celuloznih vlaken, ki vpliva na zmanjševanje adhezivnosti TB na površini vlaken in zmanjševanje medvlakenske povezave. Črnila in tiskarske barve se razlikujejo v sestavi in površinski kemiji in se različno vedejo med deinkingom, pri mehanskem

mešanju, dodanih kemikalijah, pranju, flotiranju ipd. Velikost dispergiranih delcev vpliva na učinkovitost prebiranja, čiščenja, pranja in flotacijo ter posledično na optične lastnosti papirja.

Tako očiščena papirna suspenzija se vključi v proizvodnjo papirja le kot določen delež ali kot 100-odstotna papirna suspenzija, iz katere je proizveden papir iz povsem reciklirane papirovine [2]. Postopek recikliranja nekoliko poškoduje vlakna, predvsem jih skrajša in poslabša njihovo morfologijo, zato je v večini primerih treba dodajati sveže vlaknine, če želimo, da papir ohrani strukturo [3]. Ponovna uporaba odpadnega papirja ni izključno zeleno naravnana. Proizvodnja tone »novega« papirja zahteva okrog 1,4 tone odpadnega papirja oz. do 60 m³ sveže vode, ki mora biti za potrebe razsvitvenega postopka segreta in z dodatkom kemikalij. Izток po uporabi vsebuje poleg kemikalij še tiskarsko pasto, kar je trden odpad, ki ga je treba kakor koli odstraniti [4]. Pozitivna stran recikliranja je torej ohranjanje okolja.



Analiza problema

Recikliranje papirja ima v Evropi dolgoletno tradicijo. Predelava odpadnega papirja se je razvila v obsežno industrijo. Leta 2004 je bilo v Evropi zbranih 55 odstotkov oz. 46,2 milijona ton odpadnega papirja [5]. Polovica zbrane količine odpadnega papirja je v predpotrošniškem segmentu, to so neprodane publikacije, revije, časniki, magazini [6]. Po raziskavah IIED se na papir še vedno shrani več kot 95 odstotkov informacij in raznih podatkov [5].

Najpogostejše povezujemo uporabo papirja z branjem, pisanjem in tiskanjem, a so sodobne tehnologije sporočanja naravnane predvsem na embalažo, ki je največji posamezni segment porabe papirja, tj. v višini 41 odstotkov [7]. Nenazadnje, letno v povprečju posameznik porabi 115 milijard listov papirja, povprečni uporabnik spleta pa dnevno natisne 28 strani [8]. Navedena dejstva so vodila k razmišljanju o možnostih zamenjave klasičnega pisarniškega papirja z recikliranim. Raziskava, predstavljena v nadaljevanju članka, zato nima zgolj znanstvenega pridih s kvantitativnim ovrednotenjem argumentov za širšo uporabo recikliranega pisarniškega papirja in proti njej, ampak ima tudi praktični pomen, predvsem spodbuditi zavest o smotrnejšem ravnanju, ob ne preveč občutnem odreknanju.

Uporabljeni materiali in metode

V raziskavo sta bila vključena dva komercialna pisarniška papirja (klasični in reciklirani) treh gramatur (100, 150 oz. 160 in 200 g/m²). Klasični pisarniški papir je označen od 1 do 3, reciklirani pa s 4 do 6. Preiskovani klasični pisarniški papir je proizvod podjetja Fabriano, blagovne znamke Multipaper, za recikliranega pa je bil izbran proizvajalec papirja Mondi Austria s komercialnim imenom papirja Nautilus. Izbrani papir je splošni predstavnik svoje skupine, s pomočjo katerega je določena razlika v kakovosti in končni uporabi, predvsem pa podajo odgovor na vprašanje, ali lahko reciklirani pisarniški papir nadomesti klasičnega.

Osnovne lastnosti

Za boljše razumevanje in lažje primerjanje v nadaljevanju predstavljenih lastnosti je nujno najprej predstaviti osnovne lastnosti, kot so gramatura (SIST ISO 536) (slika 1), gostota (SIST ISO 534) (slika 2), vsebnost vlage (SIST ISO 287) (slika 3) in vsebnost polnila (SIST ISO 2144) (slika 4). Kot je razvidno iz slike 2, ima reciklirani pisarniški papir v povprečju za 6,7 odstotka večjo gostoto kot klasični. V primeru vsebnosti vlage pa ima reciklirani za 37,5 odstotka nižjo vrednost kot klasični (slika 3). Vlaga se veže na celulozna vlakna. Večja vsebnost vlage posredno vpliva na večjo vsebnost vlaken, kar je s stališča mehansko-fizikalnih lastnosti bolj ugodno, manj pa za optične lastnosti. Ker ima klasični papir v primerjavi z recikliranim boljše optične lastnosti, so zadnjemu poskušali vrednosti beline izboljšati z dodatkom polnil (slika 4).

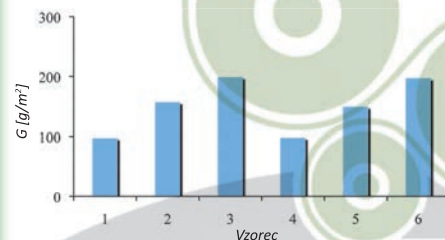
Mehansko-fizikalne lastnosti

Z mehansko-fizikalnimi lastnostmi je opredeljena odpornost papirja proti zunanji vplivom. Te so sila nadaljnega trganja (Elmendorf – SIST ISO 1974) (slika 5), razpočna odpornost (Mullen – SIST ISO 2758) (slika 6), utrna sila (slika 7), raztezek (slika 8) in dolžina (SIST ISO 1924/2) (slika 9). Navedeni parametri vplivajo na končno uporabo. Podajo dovolj reprezentativnih argumentov v prid uporabe recikliranega pisarniškega papirja, predvsem za vsakodnevno domačo in poslovno uporabo, pri čemer se od dokumentov ne zahteva hranjenje dlje kot deset let, kar je zagotovo več kot 90 odstotkov vseh uporabljenih listov papirja.

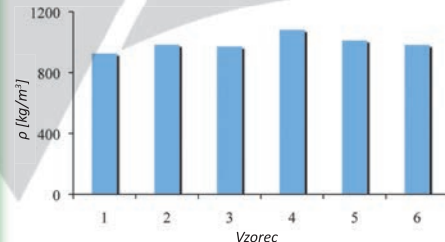
Meritve sile nadaljnega trganja so bile izvedene na Elmendorfu. Rezultati meritev so grafično predstavljeni na sliki 5, kjer se iz diagrama vidi, da ni večjih razlik med preiskovanima vrstama papirja.

Rezultate razpočne odpornosti, izvedene po metodi Schopper, slika 6, lahko primerjamo z rezultati vsebnosti vlage (slika 3). Razpočna odpornost klasičnega v primerjavi z recikliranim pisarniškim papirjem je za 27,9 odstotka večja. Glavni vzrok za takšno razliko je v vsebnosti polnil oz. v razmerju vlakno/polnilo, kot je opisano v poglavju vsebnosti vlage.

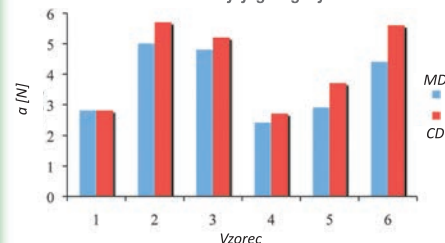
Slika 1: Gramatura.



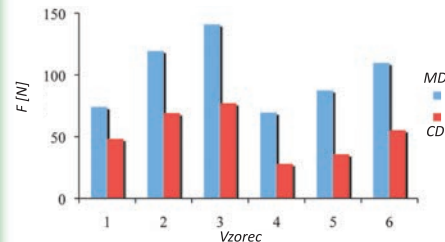
Slika 2: Gostota.



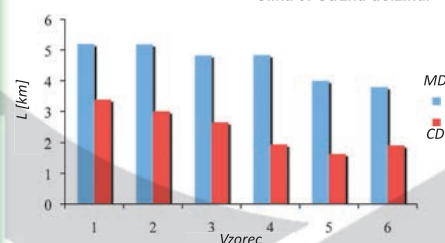
Slika 5: Sila nadaljnega trganja - Elmendorf.



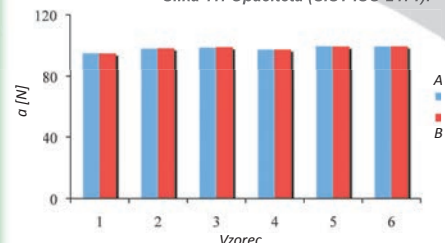
Slika 7: Utrna sila.



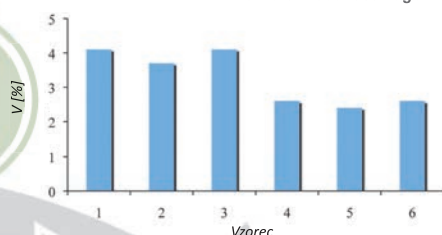
Slika 9: Utrna dolžina.



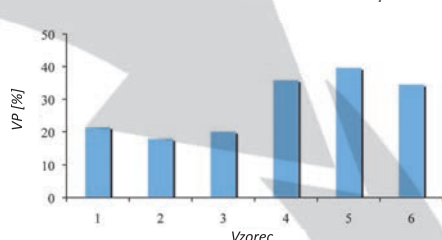
Slika 11: Opaciteta (SIST ISO 2471).



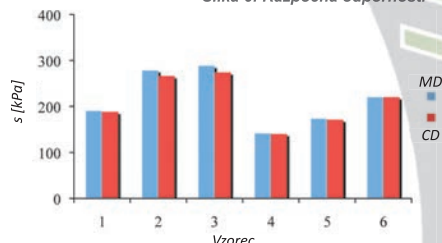
Slika 3: Vsebnost vlage.



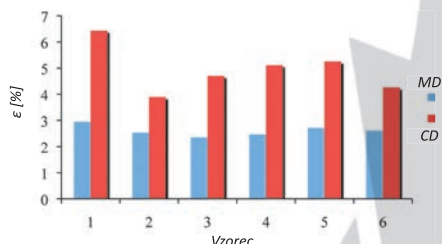
Slika 4: Vsebnost polnil.



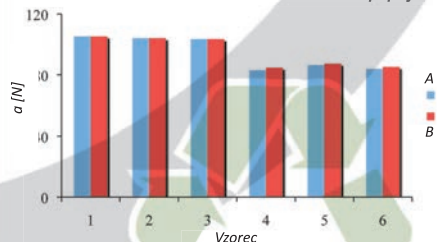
Slika 6: Razpočna odpornost.



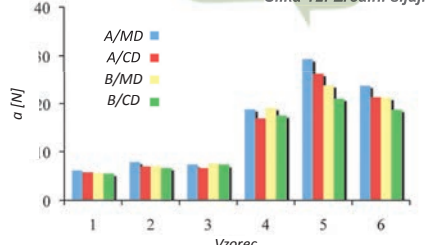
Slika 8: Raztezek.



Slika 10: ISO belina papirja.



Slika 12: Zrcalni sijaj.



Meritve utržne sile (slika 7) in raztezka (slika 8) so bile izvedene na dinamometru Instron 6022. Rezultati so v tesni korelaciji z razpočno odpornostjo. Utržna sila za vzorec od 1 do 3 je v MD (machine direction) 20,3 odstotka in v CD (cross direction) 38,8 odstotka višja v primerjavi z recikriranimi vzorci od 4 do 6. Podobne razlike med vzorci od 1 do 3 in od 4 do 6 so prav tako vidne iz rezultatov meritev na sliki 9, tj. utržne dolžine.

Mehansko-fizikalne lastnosti recikliranega papirja so res nekoliko slabše, kar je posledica uporabe večje količine polnil. Ta negativno vplivajo na mehansko-fizikalne lastnosti, saj zmanjšajo število veznih členov (mehanskih s prepletanjem in kemijskih s povezovanjem prek vodikovih vezi) med vlakni in pozitivno vplivajo na optične lastnosti, kot je prikazano v nadaljevanju članka.

Optične lastnosti

Primerjava izmerjenih vrednosti ISO beline (SIST ISO 2470) (slika 10) obeh preiskovanih vzorcev pisarniškega papirja kaže na sicer opazno razliko, ki pa jo je treba upoštevati z rezervo, saj oba papirja presegata 85 odstotkov vrednosti ISO beline, kar pa je za običajno uporabo (dopisi, zapisniki, sklepi, obvestila) povsem dovolj. Vzorci od 1 do 3 imajo sicer za deset odstotkov višjo vrednost ISO beline kot vzorci od 4 do 6. Neprosojnost (slika 11) na drugi strani ne kaže večjih razlik med vzorci in med stranema papirja (A in B).

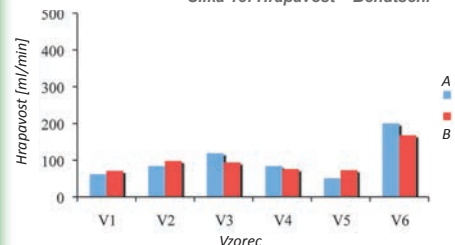
Iz diagrama na sliki 12 in posnetkov površin papirja na optičnem mikroskopu (slike 26–31) se vidijo višje vrednosti zrcalnega sijaja za reciklirani pisarniški papir. Višja vsebnost polnil v recikliranem papirju je vodilni razlog za tovrstne izmerjene vrednosti.

Površinske lastnosti

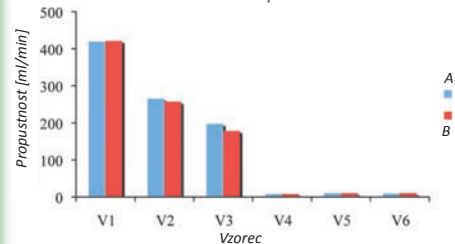
Meritve hrapavosti po metodi Bendtsen (SIST ISO 5636-3) (slika 13) potrjujejo že omenjeno dejstvo o možnostih zamenjave klasičnega pisarniškega papirja z recikliranim, saj med preiskovanim papirjem ni večjih razlik, razen v primeru vzorca 6, ki od drugih odstopa za 56 odstotkov. Hrapavost znatno vpliva na

kakovost odnosa, prepustnost pa na možnost obojestranskega tiska. Iz slike 14 je razvidno, da reciklirani papir ni zaznavno prepusten oz. je celo 32-krat manj prepusten kot klasični pisarniški. Struktura recikliranega papirja je kompaktnejša, bolj zaprta in nekoliko bolj toga. So pa odtisi na tovrstnem papirju z višjo optično gostoto in z nižjo globino penetracije tiskarske barve. Ker je reciklirani papir nekoliko manj bel (slika 10), je končni videz ali zaznava informacije, natisnjene nanj, enakovreden.

Slika 13: Hrapavost – Bendtsen.



Slika 14: Prepustnost – Bendtsen.

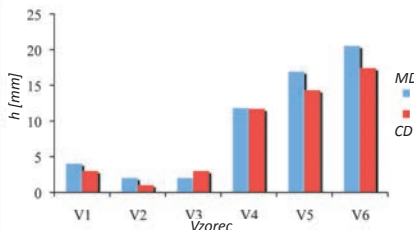


Strukturne lastnosti

Metoda preučevanja strukturnih lastnosti preiskovanega papirja, kapilarna vpojnost po metodi Klemm, je bila izbrana na podlagi praktične uporabe papirja. Predvsem gre pri pisarniškem papirju za pretežno suhe tehnike tiska (laserski tiskalniki in fotokopirni stroji) in deloma tudi za mokro tehniko tiska, tj. kapljični tisk. Predvsem zadnja se uporablja pri tiskanju barvnih dokumentov, medtem ko se prvi dve še vedno pretežno le za ČB-dokumente, saj so stroški tonerjev za barvne laserske tiskalnike in fotokopirne stroje še vedno velik finančni zalogaj. Rezultati meritev kapilarne vpojnosti po Klemmu (ISO 8787), predstavljeni na sliki 15, nazorno kažejo recipročnost merjenih vrednosti s prepustnostjo (slika 14). Večja je prepustnost, nižja je kapilarna vpojnost. Večja ko je prepustnost, bolj so

vlakna med seboj oddaljena, manj je veznih členov med vlakni, nižja je kapilarna vpojnost po metodi Klemm.

Slika 15: Kapilarna vpojnost – Klemm.



Mikroskopske lastnosti

Vlakna na slikah od 16 do 25 so bila posneta na optičnem mikroskopu Olympus CX21 pri 100- oz. 400-kratni povečavi, medtem ko so bile slike od 26 do 31 posnete na optičnem mikroskopu Leica E24D pri 35-kratni povečavi. Na slikah od 16 do 18 so vlakna klasičnega pisarniškega papirja in na slikah od 19 do 25 vlakna, ki so v največjem deležu v preučevanem recikliranem papirju. V obeh papirjih so vlakna iglavcev (smreke in bora) in listavcev (evkaliptus, topol, bukev in breze). V recikliranem papirju je razumljivo večji nabor celuloznih vlaken (mehanska meljavina), saj izvor ni tako pomemben, kot je struktura končnega proizvoda. Je pa tudi veliko lažje nadzorovati sveže vhodne surovine, pri čemer proizvajalec sam odredi, kakšna in v kolikšnem deležu bodo celulozna vlakna v papirju. Reciklirani papir vsebuje vlakna, ki so opazno bolj poškodovana in krajša, kar je posledica nekajkratnega prehoda skozi tehnološki postopek priprave papirne suspenzije. Za zadnje je vzrok v slabših mehansko-fizikalnih lastnostih, saj krajša ko so vlakna, manjša je verjetnost mehanskega vozliččenja vlaken in količina medmolekulskih vezi (vodikove in van der Waalsove).



Sl. 16: Evkaliptus.



Sl. 17: Topol.



Sl. 18: Bukev.

Klasični pisarniški p.; OM Olympus CX21.



Sl. 19: Smreka, topol.



Sl. 21: Evkaliptus.



Sl. 24: Bukev.



Sl. 23: Breza.



Sl. 20: Topol.



Sl. 22: Bor.



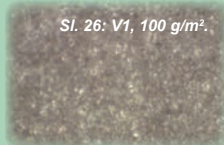
Sl. 25: Mehanska meljavina.

Reciklirani pisarniški p.; OM Olympus CX21.

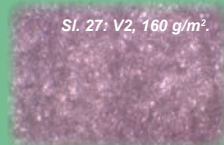
Klasični pisarniški papir

Reciklirani pisarniški papir

Sl. 26: V1, 100 g/m².



Sl. 27: V2, 160 g/m².



Sl. 28: V3, 200 g/m².



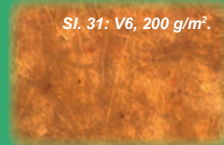
Sl. 29: V4, 100 g/m².



Sl. 30: V5, 150 g/m².



Sl. 31: V6, 200 g/m².



Posnetki aparata OM Leica E24D.

Slike od 26 do 31 kažejo na enakost površine preiskovanega papirja in posledično na možnost menjave klasičnega pisarniškega papirja z recikliranim. Podobno je razvidno tudi iz meritev hrapavosti po metodi Bendtsen na sliki 13.

SKLEP

Recikliranje papirja in njegova ponovna uporaba znižujeta potrebo po pridobivanju celuloznih vlaken izključno iz lesa. Celulozna in papirna industrija sta med velikimi porabniki naravnih, obnovljivih surovin, tj. lesa in energije (fosilna goriva, elektrika), še zlasti pa vodnih virov. Zanju je značilno, da v proizvodnem procesu nastane skoraj enaka količina odpadnih voda, kot je bilo v proces dovedene sveže vode, hkrati pa velja, da si vodo le »izposoja« in jo običajno vrača v naravo bolj očiščeno, kot pa jo sprejema. Zbiranje odpadnega papirja ima pozitiven ekonomski kazalnik, saj se znižajo stroški odvoza odpadkov. Bel pisarniški papir ohrani večino svojih lastnosti tudi pri ponovni uporabi, kar je razvidno tudi iz predstavljene raziskave. Reciklirani pisarniški papir zadovolji uporabne zahteve. Vzpostavitev sistema recikliranja in

uporabe recikliranih materialov zahteva predanost in čas, da se zaposleni izobražijo in privadijo na nov režim porabe in uporabe pisarniškega materiala. Na koncu lahko rečemo: zmanjšajte, ponovno uporabite in reciklirajte.

Literatura:

1. MOŽINA, K. Recikliranje papirja. Grafičar, št. 2, str. 24, 34 in št. 3, 2007, str. 24–28.
2. Tyler, G. Living in the Environment, Pacific Grove, CA: Brooks & Cole publishing company, 2000.
3. NOVAK, G. Papir, karton, lepenka. Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, 1998, str. 41.
4. MOŽINA, K. Problematika odpadnih voda v celulozni in papirni industriji. Ljubljana: Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, 2004, str. 22–29.
5. International Institute for Environment and Development (IIED), Discussion Paper, London, 2002 and 2004.
6. MOŽINA, K. Papir v dobi digitalnih medijev. Grafičar, št. 5, 2006, str. 21–28.
7. North American Factbook PPI, 2003.
8. Hewlett Packard, Office paper recycling study, Bristol, UK, 2005.