

UPORABNOST KONOPLJINIHL VLAKEN V PAPIRNIŠTVU

APPLICABILITY OF HEMP FIBERS IN PAPERMAKING

Janja Zule¹, Marjeta Čerňič², Matej Šuštaršič¹

IZVLEČEK

Konoplja je najstarejša znana surovina za pridobivanje papirniških vlaken, v zadnjem času pa se zaradi ekoloških in ekonomskih razlogov zanimanje zanjo ponovno povečuje. Vlakna odlikujejo morfološke, mehanske in kemijske lastnosti, ki se ohranjajo s časom, tako da so primerna za izdelavo kakovostnih trajnejših in obstojnih vrst dokumentnega in embalažnega papirja. Na Inštitutu za celulozo in papir smo opravili uvodne raziskave celulozne pulpe, ki je bila pridobljena s kombinacijo »shark« tehnologije in hidrodinamske kavitacije. Surovo vlaknino smo ovrednotili s pomočjo mikroskopije ter nekaterih kemijskih, mehanskih in optičnih analiz. Rezultati so pokazali, da so nekatere lastnosti primerljive ali celo boljše od »tipičnih« papirniških vlaken lesnega izvora, vendar pa bi bilo treba celoten postopek pridobivanja vlaknine še optimirati.

Ključne besede: celulozna vlakna konoplje, morfološke, kemijske in fizikalne lastnosti, novejši tehnološki postopki razvlaknjevanja, ekološke in ekonomske prednosti uporabe, dokumentni in embalažni papirji.

ABSTRACT

Hemp is the oldest known papermaking raw material. It has recently gained importance due to ecological and economic reasons. Fibers are characterized by excellent morphological, mechanical and chemical properties that do not change with time, which makes them suitable for the production of high quality permanent and durable grades of document and packaging paper. A preliminary testing of hemp cellulose pulp produced by »shark« technology combined with hydrodynamic cavitation was performed at the Pulp and Paper Institute. Raw pulp was evaluated by microscopy as well as by certain chemical, mechanical and optical tests. The results indicate that some of the properties are comparable while others are even better than in the case of »typical« papermaking fibers of wood origin. Despite this fact, however, further optimization of pulp production is recommended.

Keywords: hemp pulp fibres, morphological, chemical and physical properties, latest pulping technological processes, ecological and economic benefits of using, archival and packaging paper.

1 UVOD

Navadna konoplja (*Cannabis Sativa*) je tehnološko pomembna rastlina, ki izvira iz centralne Azije, dobro pa uspeva v zmerno toplem podnebnju, zato je precej razširjena v Evropi ter v Severni in Južni Ameriki. Je enoletnica, ki lahko zraste do 3 m visoko, gojijo pa jo predvsem zaradi vlaken in semen. Slednja vsebujejo do 30 % olja, ki ga uporabljajo v živilski, farmacevtski in kemični industriji. Rastlina dobro uspeva brez uporabe pesticidov in praktično nima naravnih sovražnikov – v nasprotju z bombažem, za pridelavo katerega so potrebne precejšnje količine kemikalij. Konopljna vlakna imajo izredne morfološke, mehanske in kemijske lastnosti, zato jih je možno uporabljati za proizvodnjo papirja, tekstila, vrvi in gradbenih materialov. Navadno konopljo ne smemo zamenjevati z indijsko, ki vsebuje znatne količine aktivne sestavine THC (delta-9-tetrahidrokanabinol), ki se uporablja

za pripravo droge. THC je v navadni konoplji prisoten zgolj v sledovih (1, 2).

Znano je, da je bila konoplja prva in dolgo časa edina surovina za izdelavo papirja. Najstarejši ohranjeni papirni lističi, ki izvirajo iz Kitajske, so stari preko 2000 let. V Evropi sta bila lan in konoplja dolga leta edini surovini za proizvodnjo papirja – vse dokler ju ni nadomestil les, ki je bil cenejši in ga je bilo tedaj v izobilju. Tako je ostalo do danes, saj ocenjujejo, da je iz enoletnih rastlin, kot je konoplja, izdelanega le še okrog 5 % papirja.

V zadnjih letih se med papirničarji zanimanje za konopljo ponovno povečuje. Prekomerna sečnja gozdov za potrebe papirne industrije bi lahko načela naravno ravnovesje, kar bi negativno vplivalo na proizvodnjo kisika in odstranjevanje ogljikovega dioksida iz ozračja. Za izdelavo 1 tone papirja potrebujemo vsaj 3 tone lesa, za kar je treba posekati najmanj 17 odraslih dreves. Konoplja ima v primerjavi z drevesi približno 4-krat večji hektarski

donos; medtem ko slednja za svojo rast potrebujejo vsaj 50 do 100 let, konoplja zraste že v pičlih 100-tih dneh. Za pridobivanje vlaken in izdelavo papirja potrebujemo manj energije, vlakna je možno z uporabo ozona ali vodikovega peroksida učinkovito beliti na ekološko prijazen način. Papir, ki vsebuje konopljna vlakna, je izredno stabilen, saj ne spreminja barve, mehanskih in kemijskih lastnosti (3, 4).

1.1 Morfološka in kemijska struktura vlaken

Steblo konoplje sestavljata zunanji del oziroma ličje in notranja olesenela sredica. Preglednica 1 prikazuje kemijsko sestavo, preglednica 2 pa dimenzije vlaken konoplje (5).

Za proizvodnjo papirja se uporabljata obe vrsti vlaken, skupaj ali ločeno. Dolga vlakna ličja so primerna za izdelavo cigaretnega papirja, filter papirjev in visokokakovostnih dokumentnih papirjev za arhivske namene uporabe, vlakna

Preglednica 1. Kemijska sestava konopljinih vlaken ličja in sredice

Table 1: Chemical composition of hemp – bast and core fibres

Komponenta	Ličje	Sredica
celuloza, %	70	35
hemiceluloza, %	15	35
lignin, %	5	23

Preglednica 2. Dimenzije konopljinih vlaken

Table 2: Dimensional properties of hemp fibres – bast and core fibres

Vlakna	Ličje	Sredica
dolžina, mm	5–40	0,5
premer, µm	25–50	22
debelina, µm	10–25	1,4

sredice, ki predstavljajo 75 % stebelne mase, pa nadomeščajo lesovino pri proizvodnji tiskovnih papirjev (5, 6). Sliki 1 in 2 prikazujeta različna vlakna, ki se nahajajo v steblih navadne konoplje (7).

Večjo uporabo konopljinih vlaken v papirništvu preprečuje njihova relativno visoka cena. Obrati za pridobivanje vlaken imajo nizko kapaciteto, v povprečju le okrog 5.000 ton na leto. Delignifikacija z uporabo alkalnih kemikalij, visoke temperature in tlaka je draga in zamudna, poleg tega pa ne ustreza visokim okoljskim standardom. Iščejo se novi, ekološko prijaznejši postopki



Slika 1: Dolga vlakna konoplje (ličje) (7)
Figure 1: Hemp long fibres (bast)



Slika 2: Kratka vlakna konoplje (sredica) (7)
Figure 2: Hemp short fibres (core)

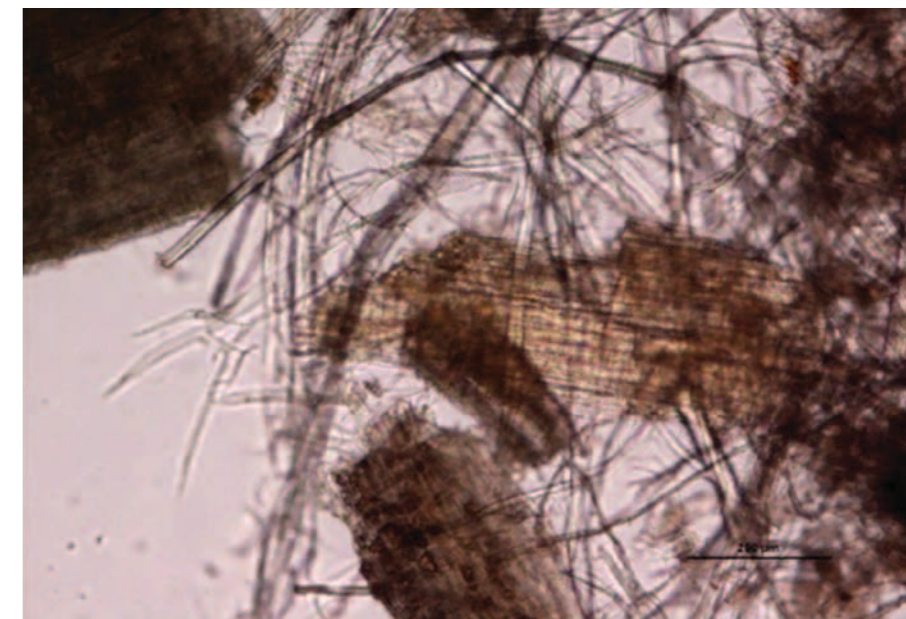
delignifikacije in razvlaknjevanja, in sicer predvsem v okoljih, kjer pridelujejo konopljo za namene živilske stroke, stebelna biomasa pa predstavlja odpadek, ki v mnogih primerih konča v sežigalnicah. Od novih postopkov pričakujemo, da bodo omogočili visok izkoristek, minimalno porabo kemikalij, čim manjšo porabo energije, nizke investicijske stroške in enostavno upravljanje. Eden takih postopkov razvlaknjevanja je kombinacija ultrazvočne ali hidrodinamske kavitacije in napredne tehnologije mletja (»shark technology«), pri kateri za razliko od klasičnega mletja papirniških vlaken prevladujejo strižne sile (8). Postopek so za fragmentacijo različnih naravnih organskih materialov (zaradi lažje pretvorbe v bioplin) razvili na Univerzi v Budimpešti (9).

Namen uvodne raziskave je bil ugotoviti, ali je možno z uporabo »shark« tehnologije in hidrodinamske kavitacije konopljno stebelno biomaso razvlakniti do te mere, da bi bila vlaknina primerna za izdelavo papirja (10).

2 EKSPERIMENTALNI DEL

Konopljna vlakna, ki smo jih proučevali, so izvirala iz rastlin, ki so bile vzgojene za namene živilsko predelovalne industrije na kmetijskih površinah v Prekmurju. Vlakninsko pulpo so iz prebranih stebel s pomočjo »shark« pilotne tehnologije pridobili na Univerzi v Budimpešti. Očiščena stebela je bilo treba najprej razrezati na 2 do 3 cm dolge kose, ki so jih v vodi pustili namakati od 24 do 48 ur. Vodno zmes so obdelali s kombinacijo »shark« tehnike in hidrodinamske kavitacije, pri čemer je prišlo do razvlaknjevanja biomase in krajšanja vlaken. Dobljeno celulozno pulpo so oželi in do analize shranili v hladilniku pri 4 °C.

Analizo celulozne pulpe smo izvedli na Inštitutu za celulozo in papir. Vlakna



Slika 3: Mikroskopski posnetek celuloznih vlaken konoplje (nativni preparat, povečava 100-krat)
Figure 3: Microscopic image of hemp pulp fibers (native preparation, 100x magnification)

celulozne suspenzije smo najprej pregledali pod mikroskopom. Na napravi Kajaani FS – 200 (metoda ICP) smo izmerili povprečno dolžino vlaken, pH vrednost vodne suspenzije (ISO 6588) in določili CED viskoznost suspenzije vlaken (ISO 5351-1). Pred pripravo laboratorijskih listov na standardnem oblikovalniku Rapid Köthen smo morali grobo vlaknino prebrati, s čimer smo odstranili trske in večje skupke, ki so sestavljali približno tretjino celotne vlakninske mase.

Na standardnem laboratorijskem oblikovalniku smo pripravili laboratorijske liste in izvedli analize posameznih kemijskih, fizikalno-mehanskih in optičnih lastnosti v standardnih klimatskih pogojih preskušanja (ISO 287). Fizikalne meritve posameznih lastnosti vzorcev celuloze smo izvedli na osnovi standardnih metod preskušanja:

- ▶ osnovne fizikalne lastnosti: gramatura (ISO 536), prostorninska masa (ISO 534), prepustnost zraka Gurley (ISO 5636-5),
- ▶ mehanske odpornosti: utržna jakost in raztezek (ISO 1924-2), raztržna odpornost (ISO 1974), razpočna odpornost (ISO 2758), odpornost na prepogibanje Shopper (ISO 5626),
- ▶ optične lastnosti: belina (ISO 2470 in opaciteta (ISO 2471).

Rezultati posameznih meritev so prikazani na sliki 3 in v preglednici 3.

3 REZULTATI IN KOMENTAR

Iz mikroskopskega posnetka (slika 3) je razvidno, da je vlakninska pulpa vlaken konoplje sicer vsebovala precej nepoškodovanih dolgih vlaken, vendar so bili hkrati prisotni tudi večji skupki in trske, ki so pri proizvodnji papirja nezaželeni.

pH vrednost vlakninske suspenzija 7,2 je bila nevtralna, medtem ko je bila izmerjena CED viskoznost 765 ml/g, kar je dokaj visoka vrednost in kaže na to, da so vlaknino sestavljale relativno dolge celulozne verige. To dejstvo potrjujejo tudi dosežene ugodne mehanske lastnosti.

Izmerjene vrednosti osnovnih fizikalnih lastnosti, mehanskih odpornosti in optičnih lastnosti laboratorijskih listov celuloznih vlaken konoplje so zbrane v preglednici 3.

Preglednica 3: Fizikalne, mehanske in optične lastnosti celuloznih vlaken konoplje
Table 3: Physical, mechanical and optical properties of hemp fibres

Lastnosti	Izmerjena vrednost
Gramatura, g/m ²	79,1
Prostorninska masa, kg/m ³	438
Prepustnost zraka Gurley, s	33
Povprečna dolžina vlaken, AAV, Kajaani, mm	0,66 (1,08 LWAV)
Utržni indeks, kNm/kg	24,0
Utržna dolžina, km	2,44
Raztezek, %	0,88
Raztržni indeks, mNm ² /g	4,05
Razpočni indeks, kPam ² /g	0,78
Dvojni prepogibi Schooper, št.	2 - 3
Belina ISO, brez UV, %	34,1
Opaciteta, %	98,0

Dosežene vrednosti kažejo, da so lastnosti primerljive lastnostim tipičnih papirniških vlaken iglavcev in evkaliptusa, ki so najpogosteje uporabljena lesna celulozna vlakna za proizvodnjo papirja. To se kaže v ustreznih doseženih vrednostih za natezno, raztržno in razpočno odpornost. Precej slabše so dosežene vrednosti za sposobnost prepogibanja, kar kaže na dejstvo, da je postopek razvlaknjenja vplival pretežno na krajšanje vlaken in le v manjši meri na fibrilacijo, s katero bi dosegli večjo kristalino strukturo vlaken, ki pri oblikovanju lista papirja vpliva na večjo sposobnost medsebojnih povezav vlaken v mrežasto strukturo. Naloga papirničarja je, da celulozna vlakna v postopku priprave in mletja obdela tako, da so sposobna preko vodikovih in medvlakninskih vezi tvoriti čim večjo vezno površino med vlakni in da z mešanjem vlaken različnega izvora in morfoloških lastnosti izdelava papir želene kakovosti (11).

Optične lastnosti, izražene z belino, kažejo zelo nizke vrednosti, saj je naravna vlaknina obarvana rjavkasto. Pilotni postopek razvlaknjenja sodi med tehnologije visokega izkoristka, pri katerem zaradi same narave procesa pride zgolj do mehanskega razvlaknjenja oziroma mehčanja strukture, medtem ko vlakna zadržijo praktično ves prisotni lignin, ki ima značilno blede rumeno-rjavo barvo. Opaciteta dosega zelo visoko vrednost.

Celulozna vlakna konoplje so bila pridobljena po postopku, ki se uporablja za drobljenje in homogenizacijo raznih agrarnih odpadkov – ti v bioplinarnah služijo kot substrat ali ko-substrat za proizvodnjo bioplina. V doseženih rezultatih posameznih analiz za kemijske, mehanske in optične lastnosti lahko opazimo potrebo po optimizaciji postopka, da bi dobili homogenejši material z bistveno manjšo vsebnostjo trsk in optimalnejšo dolžino vlaken. Poleg tega bi bilo treba material tudi pobeliti, kar

bi bistveno povečalo njegovo nadaljnjo uporabnost. Proces beljenja bi namreč precej spremenil osnovne kemijske in mehanske lastnosti vlaken, zato bi bilo dobro slednje izmeriti tudi po postopku beljenja, kar je bistveno, če želimo vlaknino uporabiti za izdelavo kakovostnih trajnih in obstojnih vrst papirja.

4 ZAKLJUČEK

Prvi poskus razvlaknjenja odpadne konopljinne stebelne biomase s kombinacijo patentirane "shark" tehnologije in hidrodinamske kavitacije je dokazal, da je na ta način sicer možno pridobiti vlaknino visokega izkoristka, vendar pa bi bilo treba različne procesne parametre optimirati, da bi dobili več finejših vlaken, ki bi bila neposredno uporabna za izdelavo papirja. Postopek je sicer ekološko neoporečen, saj ni potrebe po dodajanju kemikalij in zato ne nastanejo strupeni stranski produkti. Nova pilotna tehnologija v primerjavi s klasičnimi postopki razvlaknjenja in mletja porabi bistveno manj energije, zato je cenovno ugodna in hkrati enostavna za rokovanje. Morda bi bilo v prihodnosti smotno postaviti kakšen pilotni obrat v neposredni bližini kmetijskih površin, kjer nastaja odpadna stebelna biomasa. Na ekološko in cenovno sprejemljiv način pridobljena konopljinna vlaknina je lahko izvrstna alternativa celuloznim vlaknom lesnega izvora in bi se po predhodnem beljenju lahko uporabljala

za izdelavo trajnih vrst arhivskega, dokumentnega in umetniškega papirja. Druga možnost predpostavlja uporabo vlaken za proizvodnjo embalažnih vrst papirja in papirnih izdelkov, ki bi nadomestili nerazgradljive plastične materiale in produkte, s čimer bi močno razbremenili okolje.

Konopljinna vlakna sodijo med tradicionalne papirniške surovine, hkrati pa predstavljajo velik potencial v prihodnosti. Od učinkovitosti sodobnih postopkov pridobivanja in cenovne sprejemljivosti je odvisno, ali bo ta potencial v prihodnosti tudi v polni meri izkoriščen.

5 LITERATURA IN VIRI

- [1] Krotov, V.S. Hemp or Wood: Potential Substitutes, Journal of the Industrial Hemp Association, Vol. 1, No. 1, 1994, str. 20–30.
- [2] Van Roekel, G. Hemp Pulp and Paper Production, Hemp Today, Rosenthal, E., Editor, Quick Trading Company, San Francisco, 1994.
- [3] Roulac, J.W. Hemp Horizons – The comeback of the World's Most Promising Plant, Chelsea Green Publishing Company, White River Junction, VT (1997).
- [4] Walker, D.W. Can Hemp Save Our Planet?, Hemp Today, Rosenthal, E. Editor, Quick Trading Company, San Francisco, 1994.
- [5] Herak, S., Oblak Rainer, M., Drnovšek, T. Stebla konoplje kot vir vlaken za proizvodnjo papirja, Papir 1 (1990), str. 12–17.
- [6] Barovič, R., Rutar, V. Enoletne rastline – Tehnologija in možnost uporabe, 21. Mednarodni letni simpozij, Bled, 1994, Zbornik predavanj, str. 36–43.
- [7] Dostopno na: <http://www.hemptraders.com/c/4445639/1/hemp-fiber.html>.
- [8] Gogate, P.R. Hydrodynamic Cavitation for Food and Water Processing. Food Bioprocess Technol. 4 (2011), str. 996–1011.
- [9] Nemeth, Z., Csoka, L. Shark and Hydrodynamic Cavitation for making cellulose pulp and paper from Hemp, World Hemp Congress, Slovenia, Lendava, August 27, 2012.
- [10] Zule, J., Černič, M., Šuštaršič, M. Hemp fibers – raw material for paper: [presented at World Hemp Congress, Slovenia, Lendava, August 28, 2012]. 2012.
- [11] Černič, M. Morfološke lastnosti vlaken in papirja. V: Humar, M. (ur.), Kraigher, H. (ur.). Trajnostna raba lesa v kontekstu sonaravnega gospodarjenja z gozdovi, (Studia forestalia Slovenica, 135). Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, Silva Slovenica, 2009, str. 149–164.

¹dr., univ. dipl.biol.,
Inštitut za celulozo in papir Ljubljana
²dr., DITP

Contact autor:
janja.zule@icp-lj.si

POVZETKI IZ TUJE STROKOVNE LITERATURE

ABSTRACTS FROM FOREIGN EXPERT LITERATURE



Adsorpcijski deinking – Nov pristop za boljšo energetsko učinkovitosti pri recikliranju Adsorption deinking – A new approach for higher energy efficiencies in paper recycling

Handke, T., Schrinner, T., Grossmann, H.: Professional Papermaking 9 (2012) 1: 32–37

Pri recikliranju je ključnega pomena odstranjevanje tiskarske barve. V industrijskem merilu se v ta namen največ uporablja flotacijski deinking. Pri njem se sicer običajno doseže

zadovoljiva belina, vendar imamo precejšnje snovne izgube. Ker delamo z nizkimi koncentracijami, potrebujemo precej energije za transport vode. Zaradi teh pomanjkljivosti so strokovnjaki

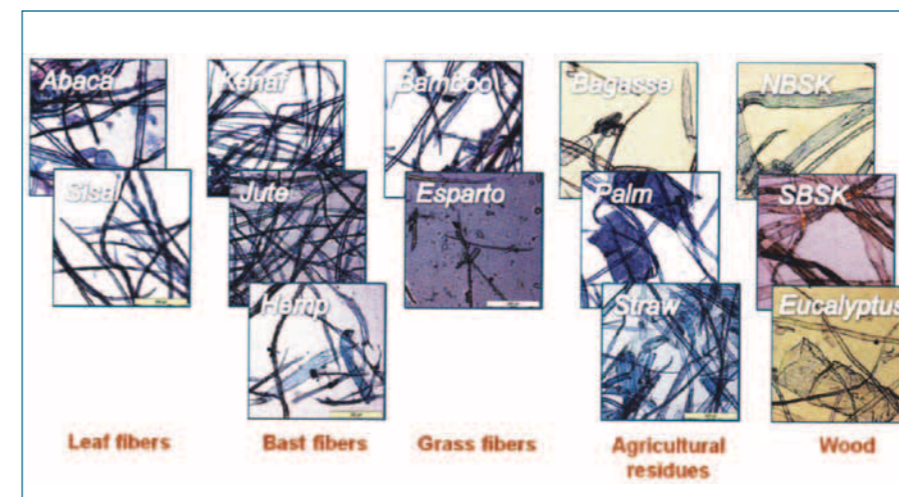
z Univerze v Dresdnu začeli razvijati ekonomičnejšo tehnologijo deinkanja, ki je bila prvotno namenjena čiščenju tekstilij. Ta tehnologija temelji na dejstvu, da lahko nekateri polimeri zaradi svojih površinskih lastnosti ekstrahirajo umazanijo s tekstila in jo akumulirajo na svoji površini, seveda v primeru, če so delci nečistoč že predhodno odstranjeni z detergenti. Adaptacija omenjene tehnologije za namen deinkanja pa ni povsem preprosta. Številni laboratorijski testi so potrdili, da lahko s pomočjo plastičnega materiala deinkamo reciklirana vlakna, podobno kot pri flotacijskem deinkanju, vendar pri precej večji gostoti snovi, torej z manj potrošene energije. **S to tehnologijo nadomestimo disperzijski postopek, ki je običajno najbolj energetsko zahteven pri deinkanju.**



Slika 1:Plastična zrna pred in po adsorpciji ostankov tiskarske barve pri recikliranju grafičnega papirja.

The challenge of non-wood pulp – experience from industrial application Potencial brezlesnih vlaken – izkušnje iz industrije

Seger, B., Kühn, J., Borner, S.: Professional Papermaking 9 (2012) 1: 16–20



Slika 2: Primerjava različnih brezlesnih vlaken s standardnimi vlakni lesnega izvora (slike dobljene s pomočjo optične mikroskopije).

Podjetje Glatfelter ima dolgoletne izkušnje s proizvodnjo in uporabo specialnih vlaken (na primer abaca, sisal, kenaf, juta, lan, konoplja, esparto itd.), ki so skupaj z običajnimi lesnimi in sintetičnimi vlakni pomembna za proizvodnjo specialnih papirjev. Nekatera vlakna imajo karakteristične lastnosti, ki se znatno razlikujejo od običajnih kratkih ali dolgih lesnih vlaken in prav to lahko s pridom izkoristimo pri izdelavi papirja. Na trgu primanjkuje tovrstnih vlaken, zato je njihova cena dokaj visoka. Pomembno je ekonomizirati njihovo pridobivanje, saj je stebelna biomasa po navadi stranski produkt v kmetijstvu, ki pa se ga da koristno uporabiti za namene papirništva.