

rendszeren végrehajtott kisebb módosítások már eddig is jelentős veszteség-csökkentéseket és az eddigi ártalmatlanítási költségek jelentős csökkentését eredményezték.

A lista a bemutatott új technológiai fejlesztésből eredő lehetőségeket sorolja. A javulás nem csak egy kis lépés előre, hanem igazi áttörés.

**Hol vannak a határok?** Az igazat megvallva, ezt még nem tudjuk, érdekes jövőbeni feladat a válasz

megadása. Annál a közel 20 létesítménynél, ami az első alkalmazásba vétel óta eltelt egy-másfél év óta megvalósult, nem váltak nyílvánlövő a határok. A legtöbb esetben az indulás semmiféle problémát nem okozott és a vevők azonnal élvezhették a nagyobb üzembiztonság előnyeiből adódó hasznot az ezzel együtt javuló rossz-anyag paraméterekkel, illetve a rostveszteségek akár 70 %-os csökkenéséből eredően.

Térpál Sándor

ETO: 676.034.2: 676.014.84:

676.022.62: 676.023.1

Keywords: biomass, morphological properties, forming, energy grass

## Energiafűvek sejtösszetételének hatása a papírlapképző tulajdonságokra\*

Lele István – Polyánszky Éva – Rab Attila\*\*

### Bevezetés

A biomassza energetikai és ipari hasznosításával világszerte – így az Európai Közösségben és Magyarországon is – már több mint egy évtizede foglalkoznak. Ennek keretében kerültek kiválasztásra Szarvason a magyarországi fűfélék közül az energetikai célra legalkalmasabb egyedek.

A gyp-ökoszisztémák alkalmazása igen széles körű, a sokirányú alkalmazás szükségessé teszi az egyes felhasználási területekre legalkalmasabb fajták felkutatását és kiválasztását. Ennek a kutatómunkának Magyarországon, így Szarvason, nagy hagyománya van. A kiválasztásra került 5 energiafű közül kettő államilag elfogadott fajta, a további három fajtajelölt.

A munka célja: annak megállapítása, hogy a kiválasztott energiafűvek felhasználhatók-e papíripari nyersanyagként.

### Az elvégzendő feladatok csoportosítása, ütemezése

Az energiafű papíripari hasznosításának kidolgozása során az alábbi feladatok elvégzése vált szükségessé, melyek közül az első négy pont elkészült, a maradék két feladat folyamatban van.

a./ A rostkinyerési technológia kidolgozásakor fontos paraméterek meghatározása:

- az energiafűvek kémiai összetétele (vízben oldható rész, gyanták, viaszok, ásványi anyagok, lignin, holocellulóz),
- az energiafűvekből készített szecskák alaktani

jellemzése (szár, levél, csomó, kalász, magház)

b./ A rostkinyerési technológia kidolgozása, a technológiai paraméterek optimalizálása:

- a feltáráshoz ható tényezők vizsgálata (hidromodulusz, feltárási idő, feltárási hőmérséklet, vegyszermennyiség),
- a kinyert cellulózok minősítése (hozam, Kappa-szám, osztályozási maradék, átlagos rost-hosszúság, rosttömeg-eloszlás).

c./ A rost-szuszenziók lapképzéskor fontos tulajdonságainak meghatározása:

- őrlésfok, lapsűrűség, fizikai és optikai tulajdonságok.

d./ Barna és fehérrost kinyerése és lapképzési tulajdonságainak vizsgálata:

- fehérítés környezetbarát TCF technológiával, a lapok minősítése.

e./ Euro-standard próbalapok készítése és tulajdonságainak vizsgálata.

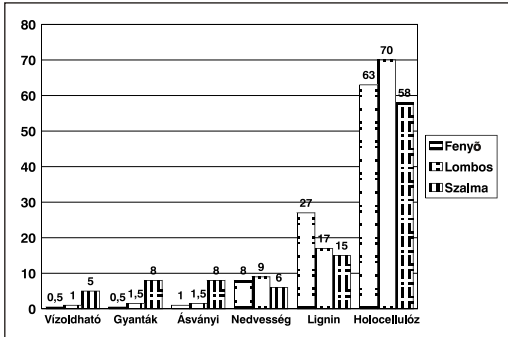
f./ Az energiafűvekből és a hagyományos szalma-cellulózból gyártott papírok műszaki tulajdonságainak és költségtényezőinek összehasonlítása.

### a. A rostkinyerési technológia kidolgozásakor fontos paraméterek meghatározása

A munka során megállapítottuk az energiafűvek kémiai összetételét és a belőlük készített szecskák alaktani jellemzőit és összehasonlítottuk az adatokat a hagyományosan használt nyersanyagokkal. Az alábbi 1.ábra a hagyományos alapanyagok kémiai összetételét mutatja be.

\* A „Fűfélék energetikai és papíripari hasznosítása” című nemzetközi konferencián (Szarvas, 2002. 07. 25.) elhangzott előadás

\*\* Papíripari kutatóintézet Kft., Budapest

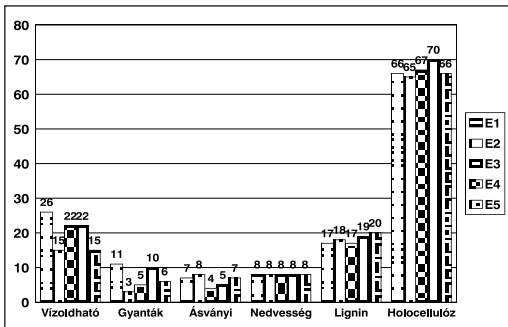


1. ábra. A hagyományos alapanyagok kémiai összetétele (%)

A nyersanyagot alkotó összetevők mennyisége lényegesen meghatározza a rostkitermelés gazdaságosságát:

- a lignin mennyisége az energia- és vegyszer-szükségletet határozza meg,
- a vízoldható részek magasabb aránya csökkenti a hozamot, és a feltáró vegyszer egy részét közömbösíti,
- a magas gyanta- és viasztartalom fölösleges vegyszerfogyasztást okoz,
- az egyényári növények ásványi anyagtartalmában magas a Si vegyületek aránya, mely kényes vegyszer-regenerálási egyensúlyt követel meg.

A következő 2. ábra a kiválasztott ötféle energiafű kémiai összetételét mutatja be:

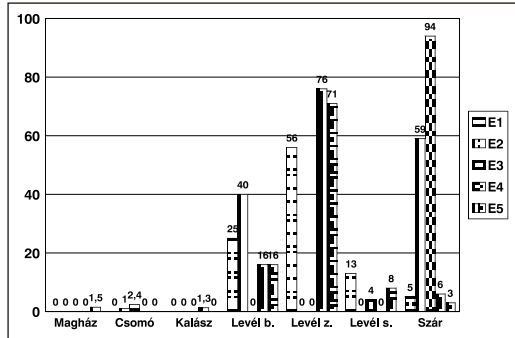


2. ábra. Az energiafű minták kémiai összetétele (%)

- a vízoldható anyagok mennyisége 15-26%, mely 3-5-szöröse az általánosan használt egyényári növényeknél mért értékeknek,
- a gyanta- és viasztartalom 3-11%, mely hasonló érték a konvencionális egyényári növényekhez viszonyítva,
- az ásványi anyagtartalom 4-8%, hasonló más egyényári növényekhez,
- a lignintartalom 17-20%, a holocellulóz tartalom 65-70%, hasonló értékeket mértek más egyényári növényeknél is.

Az alacsony gyanta-, viasz- és ásványi anyag-tartalom alapján a legkedvezőbbnek az E2 és E3 mutatkozik.

Az alábbi 3. ábra a szecsckák alakítási jellemzését mutatja be:



3. ábra. Az energiafűből készített szecsckák alakítási jellemzése (%)

A magház, csomó és kalász mennyisége gyakorlatilag elhanyagolható. Az E1, E4 és E5 jelű minta közel 90% levelet tartalmaz, mely a feltárás során – a sejttömés miatt – lapképzésre kevésbé alkalmas cellulózrostokat biztosít, gyorsabban tárolódik fel.

Az E2 mintánál a levél és szár aránya 2:3, míg az E3 minta gyakorlatilag szár.

A felsorolt 11 paraméter alapján (kémiai és alakítási) 5-ös osztályozási rendszer szerint rangsoroltuk a mintákat, és megállapítottuk, hogy rostkinyeréshez az E3 minta a legmegfelelőbb.

### b./ A rostkinyerési technológia kidolgozása, a technológiai paraméterek optimalizálása

A feltárási technológia kidolgozásánál az ú.n. szulfátos eljárást alkalmaztuk. A választás oka egyrészt a vegyszerek regenerálhatósága, másrészt a Dunaújvárosi Cellulózgyárban alkalmazott technológia. A feltárási körülmények optimalizálására – a sok egymásra ható tényező miatt – középpontos, forgatható kísérletet alkalmaztunk, ahol változtattuk a hőmérsékletet, a vegyszer mennyiségét és a feltárási időt. Az optimalizálást a legjobbnak minősített E3 jelű energiafű felhasználásával végeztük. A beállított faktorszinteket az alábbi 1. táblázat mutatja be:

Faktorszint	Hőmérséklet, °C	Vegyszer, %	Kezelési idő, perc
0	170	13	20
min	140	8	5
max	170	20	40

1. táblázat. Rostkinyerési faktorszintek három változóra; E3 energiafű

A cellulózok minősítésénél meghatároztuk a hozamot, a feltárási fokot (Kappa-szám), az osztályozási maradékot, az átlagos rosthosszúságot és a rostfrakciók tömegarányait.

Az iterálással megállapított célfüggvények alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy az E3 energiafű rostkinyerési technológiájára az optimális feltárási paraméterek az alábbiak:

- vegyszermennyiség nátriumoxidban kifejezve: 13%
- a vegyszer szulfiditása. 12-13,5,
- a feltárási idő: 20 perc,
- a hőmérséklet: 170°C,
- a hidromodulusz: 1:4.

A továbbiakban az optimalizált technológiával állítottunk elő cellulózt az ötféle energiafűből és meghatároztuk a releváns tulajdonságokat. Az eredményeket az alábbi 2. táblázat mutatja be:

	E1	E2	E3	E4	E5	Búzaszalma
Hozam,%	34,7	48,0	<b>43,6</b>	36,2	31,4	41,0
Kappa-szám	29,9	34,9	<b>19,9</b>	18,0	20,5	16,0
Szilánk-tartalom, %	0,92	1,04	<b>0,17</b>	0,44	0,16	0,10
Fehérség, %	23,0	21,0	<b>31,5</b>	29,0	25,3	23,0
Őrlésfok, °SR	39	24	<b>21</b>	45	55	35
Átlagos rosthossz, mm	0,89	1,15	<b>1,00</b>	0,66	0,55	0,95
Hosszúrostok, %	22,0	55,1	<b>56,4</b>	61,1	21,0	43,0
Rövidrostok, %	78,0	44,9	<b>43,6</b>	38,9	79,0	57,0
Hosszú/rövidrost	0,3	1,2	<b>1,3</b>	1,6	0,3	0,8

2. táblázat. A különböző energiafűvekből kinyert rostok tulajdonságai

Az eredmények alapján az alábbi megállapításokat tehetjük:

- az E1, E4, E5 hozama alacsonyabb a búzaszalma-cellulózénál,
- az E1, E2 Kappa-száma jóval magasabb a búzaszalma-cellulózénál, tehát a vegyszer nem deignifikálásra fogyott, hanem más összetevőkre,
- az E4, E5 rosthosszúsága durván a búzaszalma-cellulózénak fele,
- az E, E4, E5 őrlésfoka magas, ami azt jelenti, hogy nehezen vízteleníthető, így kevésbé alkalmas papírgyártásra,
- az E1, E5 mintáknál a hosszú/rövidrost arány nagyon kedvezőtlen, ami azt jelenti, hogy szilárd lapszerkezet kialakítása a jelenlegi technológia szintjén igen korlátozott.

### c./ A rostsuszpenziók lapképzéskor fontos tulajdonságainak meghatározása

A nyers cellulóz lapképző tulajdonságainak kialakítását két ultrastrukturális változtatás teszi lehetővé: a primer sejtfal megbontása és a szekunder sejtfal külső

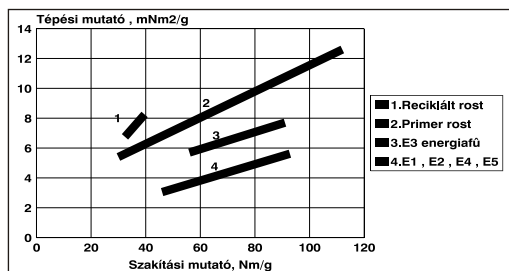
rétegének fibrillálása. A fibrillálás mértékétől függ a sejtek közötti kötéserősség, ami a papírlap szilárdságát determinálja. 1 gramm papírt kb.  $10^6$ – $10^8$  db egymástól elkülönített sejt alkot.

A papírgépen előállított lapok anizo-dimenziósak, azaz a hossz és keresztirányú tulajdonságok eltérnek a rostok orientálódása miatt. A tulajdonságok aránya általában 1:1,5. A várható tulajdonságok meghatározásához izo-dimenziós lapokat kell készíteni, ahol a tulajdonságok minden irányban azonosak. A próbalapok készítését szabvány írja elő, 200 mm szűrőátmérő, ASTM 200-as szítával, 0,03% rostkoncentráció, 27 kPa szívás a lapképzésnél, 95°C-os szárítás 96 kPa-os vákuumban.

A standard 80 g/m<sup>2</sup> laptömegű lapokból az alábbi tulajdonságokat határoztuk meg: őrlésfok, lapsűrűség, szakítás, repesztés, tépés, CMT<sub>0</sub>.

A tépési mutató változását ábrázolva a szakítási mutató függvényében, képet kapunk arról, hogy a vizsgált rost milyen típusú papírokhoz és milyen széles felhasználási tartományban alkalmazható. Az alábbi 4. ábra az egyes rostok ilyen típusú függvénykapcsolatát mutatja be:

Az ábrából látható, hogy a reciklált rostok tulajdonságai csak kis mértékben változtathatók, így alkalmazásuk egy szűk területen – általában hullám-alappapí-



4. ábra. A tépési mutató változása a szakítási mutató függvényében

rok gyártásánál – megoldható. A primer rostok felhasználási területe széleskörű, bármely típusú papír gyártásánál alkalmazhatóak.

Az energiafűvekből előállított rostok tekintetében megállapíthatjuk, hogy a vizsgált minták közül az E3 jelű minta rendelkezik a legjobb lapképző tulajdonsággal, az E1, E2, E4, E5 mintákból előállított rostok tulajdonságai csak gyenge minőségű papírok előállítását teszik lehetővé.

**d./ Barna és fehérrost kinyerése és lapképzési tulajdonságainak vizsgálata**

A fenntartható fejlődés szükségszerűségének felismerésével a cellulózgyártásban előtérbe kerültek a környezetvédelmi szempontok, melyek alapján kerülendő a kén- és klórvegyületek használata, szükséges az elhasznált vegyszerek regenerálása és új, klórmentes fehérítési technológiák kidolgozása. Az EU szigorodó környezetvédelmi törvényeinek betartásával egy cellulózgyárra vonatkozóan az alábbi követelményeket kell teljesíteni:

**erőforrás-felhasználás vonatkozásában:**

- a hőenergia-felhasználás nem lehet több, mint 10-14 GJ/t rost,
- az elektromos áram felhasználása nem lehet több, mint 0,6-0,8 MWh/t rost
- a frissvíz-felhasználás nem lehet több, mint 30-50 m<sup>3</sup>/t rost,

**környezetterhelés vonatkozásában:**

- a szennyvíz
- kémiai oxigénigénye nem lehet több, mint 8-23 kg/t rost

- lebegőanyag tartalma nem lehet több, mint 0,6-1,5 kg/t rost
- szerves-klórvegyület tartalma nem lehet több, mint 0,25 kg/t rost
- foszfortartalma nem lehet több, mint 0,01-0,03 kg/t rost
- nitrogéntartalma nem lehet több, mint 0,1-0,25 kg/t rost

**- a füstgázok**

- por (pernye) tartalma nem lehet több, mint 0,2-0,5 kg/t rost
- kén-dioxid-tartalma nem lehet több, mint 0,2-0,5 kg S/t rost
- nitrogén-oxid-tartalma nem lehet több, mint 1-1,5 kg/t rost
- illó kénvegyület nem lehet több, mint 0,1-0,2 kg S/t rost.

Mint az előzőekben láttuk, a feltárást szulfátos eljárással végeztük, melynek elhasznált vegyszerei teljes mértékben regenerálhatóak.

A fehérítés során, a környezetvédelmi szempontokat figyelembe véve, a TCF fehérítési technológiát valósítottuk meg, így az alkalmazott fehérítési technológia QPaaPP szekvenciákból állt, melynek konkrét fehérítési paramétereit a következő 3. táblázatban mutatjuk be.

Az energiafűvekből kinyert barna rostok fehérítési tömegvesztését a fehérítés előtti és utáni tömegkülönbség százalékában adjuk meg, és a 4. táblázatban ismertetjük. A 4. táblázat utolsó oszlo-

Lépcsők	A vegyszer jelölése	A vegyszer megnevezése	A vegyszer mennyisége, %	Kezelési hőmérséklet, °C	Tartózkodási idő, perc	A cellulóz szuszpenzió sűrűsége, %	pH érték
Q	MDTA	metilén-diamin-tetra-acetát	0,2	60	60	10	8
Mosás	H <sub>2</sub> O	csapvíz	1000	40	15	0,5	7
Paa	CH <sub>3</sub> COOOH	perecetsav	2	80	90	10	2-3
Mosás	H <sub>2</sub> O	csapvíz	1000	40	15	0,5	7
P1	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> NaOH	hidrogénperoxid nátriumhidroxid	6 2	80	120	10	11-10
Mosás	H <sub>2</sub> O	csapvíz	1000	40	15	0,5	7
P2	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> NaOH	hidrogénperoxid nátriumhidroxid	2 1	80	90	10	11-10
Mosás	H <sub>2</sub> O	csapvíz	1000	40	15	0,5	7

3. táblázat Az energiafűvekből kinyert barna rostok fehérítés-technológiai paramétereit

Energiafű minták	Fehérített rostkitermelés (hozam) a barna rost tömegére (100%) számítva	Fehérítési tömegvesztesség	Barnarost-hozam	Fehérített rost kitermelés a nyersanyag (energiafű) tömegére (100%) számítva
	%	%	%	%
E 1	68,7	31,3	34,7	23,8
E 2	75,4	24,6	48	36,2
E 3/1	87,9	12,1	44	38,7
E 3/2	87,3	12,7	38,5	33,6
E 3/3	85,6	14,4	53	45,4
E 3/4	82,0	18	45	36,9
E 3/5	89,7	10,3	42	37,7
E 4	75,3	24,7	36,2	27,3
E 5	61,1	38,9	31,4	19,2

4. táblázat. Fehérítési tömegvesztések és fehér rostkitermelés

pában tüntetjük fel a kiindulási energiafű tömegére (=100%) számított fehérített rostkitermelést (hozam).

A növény fajtájától és a hozamtól függően az azonos fehérítési szekvenciákkal különböző

fehértőnövekedés érhető el, melyet az alábbi 5. táblázat szemléltet.

A futtathatóssági és használati tulajdonságokra leginkább a szakítási és tégési értékek adnak választ. Az

Energiafű minták	Barna rostok „fehérsége”	Fehérség növekmény	Fehérített rostok fehérsége	Opacitás	Hamutartalom
	%	%	%	%	%
E 1	23	34,4	55,4	97,88	2,33
E 2	21	33,3	54,3	95,89	1,3
E 3/1	32	34,9	66,9	91,85	0,78
E 3/2	41,4	34,7	76,1	91,52	0,94
E 3/3	25,4	27,7	53,1	95,29	1,15
E 3/4	30,6	42,7	73,3	88,43	1,03
E 3/5	33,2	39,1	72,3	90,39	1
E 4	29,0	30,0	59,1	99,1	20,7
E 5	25,3	33,8	59,1	98,33	2,69

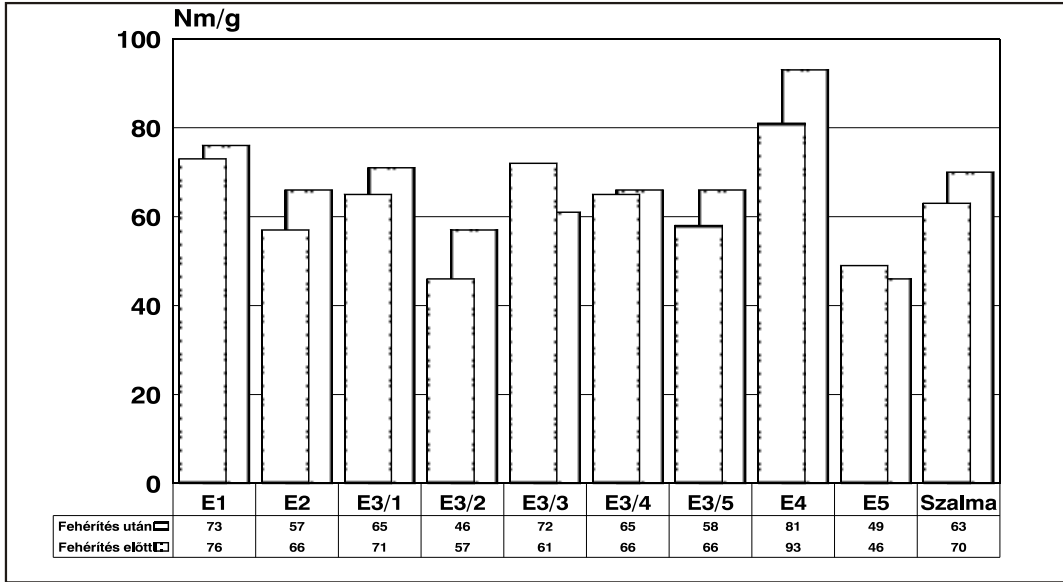
4. táblázat. Az energiafűből kinyert rostok fehérség növekménye a Qpaa PP fehérítés hatására

alábbi 5. ábra a szakítási mutató változását mutatja be a fehérités hatására.

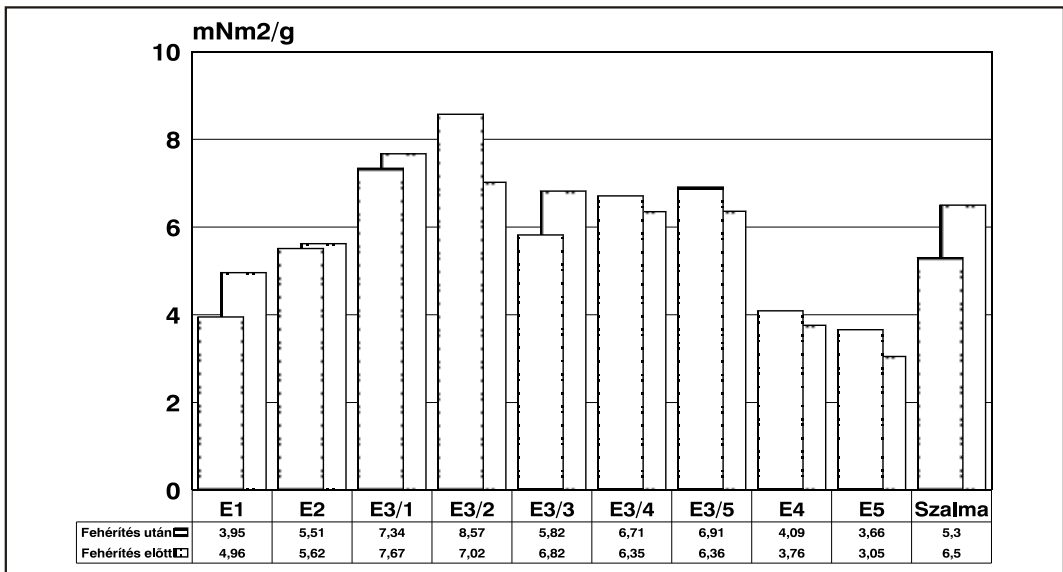
A fehérités hatására a szakítási mutató mintegy 18%-kal csökken. A 80%-os névleges fehérségű búzaszalma szakítási mutatója 45-70 Nm/g az évjáráttól, technológiai paramétereiktől függően. A leg-

jobb fehérségű energiafű fehéritett rostjánál ez az érték közel 50 Nm/g, ami azt jelenti, hogy az E3 energiafű fehérrost eléri a búzaszalma cellulóz szakítási szilárdságát.

Az alábbi 6.ábra a tépési mutató változását szemlélteti a fehérités hatására :



5. ábra. A szakítási mutató változása a fehérités hatására



6. ábra. A tépési mutató változása a fehérités hatására

A tépési mutató értékei a fehérités hatására 20-22%-kal javulnak. A 80% névleges fehérségű búzaszalma cellulóz tépési mutatója 5-6,5 mNm<sup>2</sup>/g tartományban változik, az évjáráttól és a technológiai paraméterektől függően. A legjobb fehérségű energiafű rostnál (E3/2) ez az érték 8,5 mNm<sup>2</sup>/g, mely azt jelenti, hogy az E3 energiafű fehérrost tépőszilárdsága a szalmacellulóz tépőszilárdságánál lényegesen jobb.

## Összefoglalás, konklúziók

Az eddigi eredmények alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

- az energiafűvekből mind fehéritett, mind fehéritetlen cellulóz előállítható,
- a granulometriai, fizikai és optikai vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a legjobb minőségű cellulóz az E3 mintából állítható elő,
- a kísérleti eredmények alapján 1 t energiafű tömegének 1/3 részéből válhat papíripari alapanyag, és kb. 60-65%-ából nyerhető hőenergia,
- az energiafűvekből nyert rostok alkalmasak csomagoló- és író-, nyomópapírok előállítására is.

**A szerzők köszönetet mondanak az OM Alapkezelő Igazgatóságának a munka elvégzéséhez nyújtott anyagi támogatásért.**

## Summary, conclusion

Based on the results achieved so far following conclusion can be established:

- Both bleached and unbleached pulp can be made from energy grasses
- Granulometric, physical and optical test show that the highest quality pulp can be made from sample marked E3
- Results of the trials show that 1/3 part of 1 ton of an energy grass can be transferred into paper industrial raw material and about 60-65% can be used as heat energy
- fibres gained from energy grasses are suitable to make wrapping and printing and writing papers.

## Zusammenfassung, Folgerungen

Folgende Folgerungen können aufgrund der bisherigen Ergebnisse abgezogen werden:

- Energiegrasarte sind für die Herstellung von gebleichten sowohl von ungebleichten Zellstoffen geeignet
- Granulometrische, physische und optische Untersuchungen zeigen, daß die höchste Qualität von Muster E3 hergestellt werden kann
- Die Testergebnisse beweisen, daß 1/3 Teil von Tonnen Energiegrasart zum Rohstoff für die Papierindustrie überführt wird und von etwa 60-65% kann Heizenergie produziert werden
- Die Faser aus Energiegrasarten sind auch zur Herstellung von Verpackungspapieren und Schreib- und Druckpapieren geeignet.

ETO: 577.152:676.014.82:676.024.61.04:676.017.3:676.017.62:676.164.3

Keywords: enzymatic treatment, chemical properties, morphological properties

## Effect of enzymatic treatment of cellulose fibres on their chemical and morphological properties

Alex Hernádi PhD.

Paper Research Institute Ltd., Budapest, Hungary

### Introduction

The application of biotechnological processes in pulp and paper industry began in the middle of 70-ties of the last century. The first trials were made with fungi producing enzymes, which were used in the chip treatment. It was a long lasting procedure and gave irreproducible results. The wider use of enzymes to improve manufacturing processes in global and particularly in cooking, bleaching and refining has begun since the end of 80-ties.

Enzymes being produced on an industrial scale are available at relatively low price.

Az alábbi közlemény magyar nyelvű változata a Papíripar 2002/4. számának 131. oldalán található

Producer of enzymes	Enzyme
Trichoderma reesei	Liftase A40
Trichoderma Lagibrachiatum	Pergalase A40
Aspergillus niger	Cytolase 123

Table 1 The origin of cellulase and hemicellulase enzymes used for improving sheet-formation properties

Hydrolytic enzymes (cellulase, hemicellulase) have been found to be commercially feasible for improving sheet-forming properties and bleachability of different pulp.