

Új egynyári növény (Ipari fű) a cellulóz- és papíripar számára

*Hernádi Sándor**, *Lele István**, *Rab Attila**, *Vig András***,
*Lepénye György***, *Janowszky János****

Összefoglalás

Az évente megújuló nyersanyagok hasznosítása fontos kérdés a fenntartható fejlődés szempontjából. Az Alföldön nagy kiterjedésű földterület található, melyet nem hasznosítanak élelmiszer-termelésre, így ezek a területek alkalmasak ipari célú növények termesztésére.

A biomassa energetikai és ipari hasznosítása több évtizede világszerte a kutatás tárgya. Szarvason a kutatók a magyar fűfélékből nemesítettek ki energetikai célra alkalmas fűféléket. A fűfélék felhasználása igen széleskörű; a felhasználási körülmények gondos kutatómunkát és az adott felhasználásra legalkalmasabb fajok kiválasztását igénylik. Az ilyen jellegű kutatómunkának Magyarországon nagy hagyománya van. A kiválasztott fűfélék közül két fajta államilag elismert, három pedig fajtajelölt. Korábbi vizsgálatok azt mutatták, hogy papíripari célra a legmegfelelőbb a Szarvasi-1 fajta. Jelen tanulmányunkban a Szarvasi-1 fű kémiai és morfológiai jellemzőit hasonlítottuk össze a hagyományos nyersanyagokkal, illetve meghatároztuk a Szarvasi-1 fű optimális feltérési és fehéritési paramétereit, majd a kapott cellulózból előállított próbalapok fizikai-mechanikai tulajdonságait hasonlítottuk össze a facellulóz, szalmacellulóz és a visszanyert papírból előállított rostok megfelelő tulajdonságaival.

A kísérleti eredmények azt mutatták, hogy 1 tonna energifűből mintegy ½ tonna papírgyártásra alkalmas rostanyag állítható elő. A fennmaradó rész, amely a rostanyag előállításánál kioldódik, megfelelő technológiai lépcsők beiktatásával energianyerésre hasznosítható. Az ipari fűből előállított rostok alkal-

masak csomagoló- és író-, nyomópapírok gyártására. Az ipari fűből előállított cellulóz rost gyártási költsége kb. 10 %-kal kevesebb, mint a szalmacellulóz előállítási költsége.

Bevezetés

Az új lehetséges nyersanyagra utaló cím egy új, hazánkban kifejlesztett évelő növényre, a „Szarvasi 1 ipari fű”-re utal. Ez a fű több évtizedes növény-nemesítés eredménye, amelynek hasznosítása megújuló energiaforrásként sikeresnek bizonyult. Vetés után az Ipari fű kb. 10 éven át aratható (1. ábra).



1. ábra. Ipari fű tábla

Az aratás után a tél beállta előtt takarmányozási célokra a sarjak is felhasználhatók. Az Ipari fű a nádhoz hasonló vastagságú, magassága eléri a két métert.

A betakarításhoz, bálázáshoz a gabona-termesztés gépei használhatóak (2. ábra).

Az Ipari fű termesztése egyre nagyobb volumenben azért is kívánatos, mert két kiemelt célt is szolgálhat.

1. Mezőgazdaságban előállítható megújuló energiaforrás.

*Papíripari Kutatóintézet Kft., Budapest

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest

***Mezőgazdasági Kutató és Fejlesztő Kht., Szarvas



2. ábra Ipari fű bálák

2. Hozzájárulhat több millió hektárnyi termőföld ipari hasznosításához, amely hagyományos módon gazdaságosan tovább már nem művelhető. Mivel azonban az Ipari fű jelentős mennyiségű cellulózt tartalmaz, az energia nyeresén kívül további ipari (pl. papíripari) hasznosítása is kívánatos.

A papír napjainkig az emberi kultúra valamennyi megnyilvánulásának hordozója volt. Bár egyeduralmát a digitális adathordozók már korlátozzák, jövője belátható időn belül még jelentős marad ezen a területen, viszont környezetbarát csomagoló anyagként egyelőre nincs versenytársa.

Minden cellulózforrás elvileg alkalmas papírgyártásra. Azt, hogy gazdaságosan alkalmazható-e papírgyártásra az adott cellulózforrás, cellulóztartalmának mennyiségi és minőségi jellemzői (egyebek között szupermolekuláris szerkezete), valamint a kísérő anyagok (inkrusztáló anyagok) összetétele és aránya határozza meg. Régi törekvés a világ papíriparában, hogy a nyersanyagforrásokat a facellulóz mellett egyre növekvő arányban más évelő illetve egyéves növényekkel is bővítsék. Magyarországon évtizedek óta – Európában szinte egyedülállóan – hasznosítják (a Papíripari Kutatóintézetben kidolgozott és a Dunaújvárosi Papírgyárban nagyüzemi alkalmazásba vett) szalmacellulózt papírgyártásra.

Felvetődött a kérdés, hogy a „Szarvasi 1 ipari fű”-ből kinyerhető cellulóz állja-e a minőségi és mennyiségi összehasonlítást a papírgyártásban a szalmacellulózzal?

Eredmények és értékelésük

Mint ismeretes, a feltérési és természetesen a fehérítési technológia kidolgozásánál – egyebek mellett – három fontos szempontot kell figyelembe venni :

Az egyik szempont – a gazdaságossági mutatók miatt – a hektáronként előállítható biomassa mennyisége. A **3. ábra** az évente előállítható biomassa-mennyiségeket mutatja be, összehasonlítva a tradicionális nyersanyagokkal.

Nyersanyag típusa	Éves biomassa-termelődés hektáronként t/év
Tűlevelű fa	1,5 – 2,0
Lombhullató fa	2,5 – 3,0
Gabonaszalma	3,5 – 4,0
Len	2,5 – 3,0
Kender	6,0 - 8,0
Ipari fű	10,0 – 15,0

3. ábra : 1 hektár területről betakarítható biomassa

A táblázat alapján megállapíthatjuk, hogy a „Szarvasi-1” ipari fű biomassa éves hozama hektáronként 2-5-szöröse a hagyományos nyersanyagok hozamának.

A második szempont – a technológiai beállítások miatt – a felhasználandó nyersanyag kémiai összetétele. A **4. ábra** a „Szarvasi-1” ipari fű kémiai összetételét mutatja be, összehasonlítva a hagyományos nyersanyagok azonos tulajdonságaival:

Kémiai összetétel	Tűlevelű fa	Lombhullató fa	Gabonaszalma	Ipari fű
Extrakt (n-hexan)	1,5	1,5	3,5	5,0
Forróvízes extrakt	1,0	3,0	16,0	15,0
Holocellulóz	65	68	62	67
Lignin	29	17	13	17
Hamutartalom	1,0	2,0	8,0	3,5

4. ábra : A hagyományos nyersanyagok és az ipari fű kémiai összetétele [%]

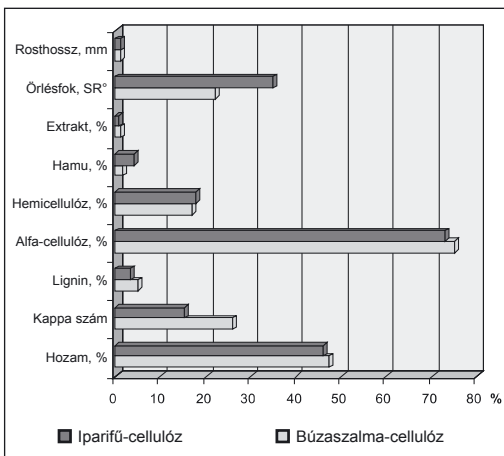
A nyersanyagot alkotó összetevők mennyisége meghatározza a rostkitermelés gaz-

daságosságát. A lignin mennyisége az energia- és vegyszerszükségletet határozza meg, a vízoldható részek magasabb aránya csökkenti a hozamot, a feltáró vegyszer egy részét közömbösíti, a magas gyanta- és viasztartalom főlegesen vegyszerfogyást okoz, a magas ásványianyag-tartalom (főként a Si vegyületek) kényes vegyszer-regenerálási egyensúlyt követelnek meg.

A harmadik nagyon fontos szempont a környezet védelme. Ennek érdekében kénmentes feltárási és ECF, illetve TCF fehérítési technológiát dolgoztunk ki laboratóriumi körülmények között 1-1 kg alapanyag felhasználásával.

A kísérletterv összeállítása során változtattuk a hőmérsékletet, a feltárási időt és a vegyszerek mennyiségét. Az eredmények alapján megállapítottuk az optimális feltárási technológiát. Az optimális feltárási technológiával előállított cellulóz morfológiai, granulometriai vizsgálatának eredményeit összehasonlítva a búzaszalma-cellulóz azonos tulajdonságaival mutatjuk be az **5. ábrán**.

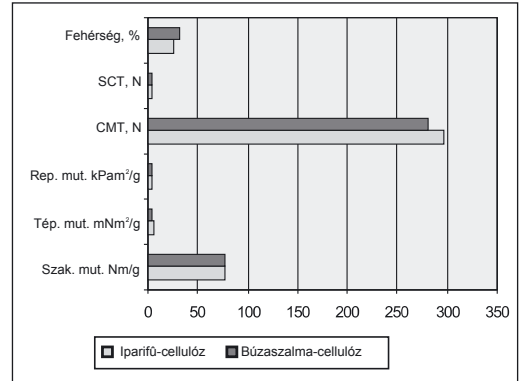
A tulajdonságok összehasonlítása alapján azt látjuk, hogy az ipari fűből előállított cellulóz tulajdonságait tekintve a lombos fákból előállított cellulózokhoz hasonlít (őrlésfok : 22 °SR, rosthosszúság : 1,16 mm). A magasabb Kappa szám a fehérítés során több energiát (vegyszer, hőmérséklet, idő) igényel azonos



5. ábra : Az ipari fűből és a búzaszalmából előállított cellulózok releváns tulajdonságai

fehérség eléréséhez, viszont az alacsonyabb őrlésfok a papírgépen jobb futtathatóságot biztosít.

Az előállított cellulózokból standard lapokat állítottunk elő és megállapítottuk a fizikai és optikai tulajdonságokat. Az eredményeket a **6. ábra** szemlélteti:



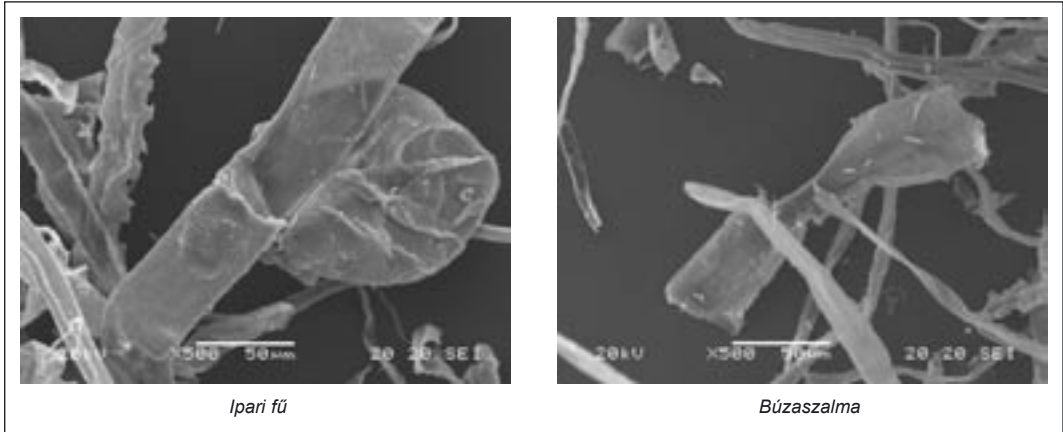
6. ábra: A fehérítetlen cellulózokból előállított lapok tulajdonságai

Az adatok elemzésénél figyelembe kell venni, hogy az ipari fűből előállított cellulóz őrlésfoka 22 °SR, míg a búzaszalmából készített cellulózé 35 °SR. A fizikai tulajdonságok és a fehérségi érték is közel azonos, az őrlésfok növelésével természetesen a fizikai tulajdonságok javulnak és meghaladják a búzaszalmából előállított cellulóz azonos tulajdonságait.

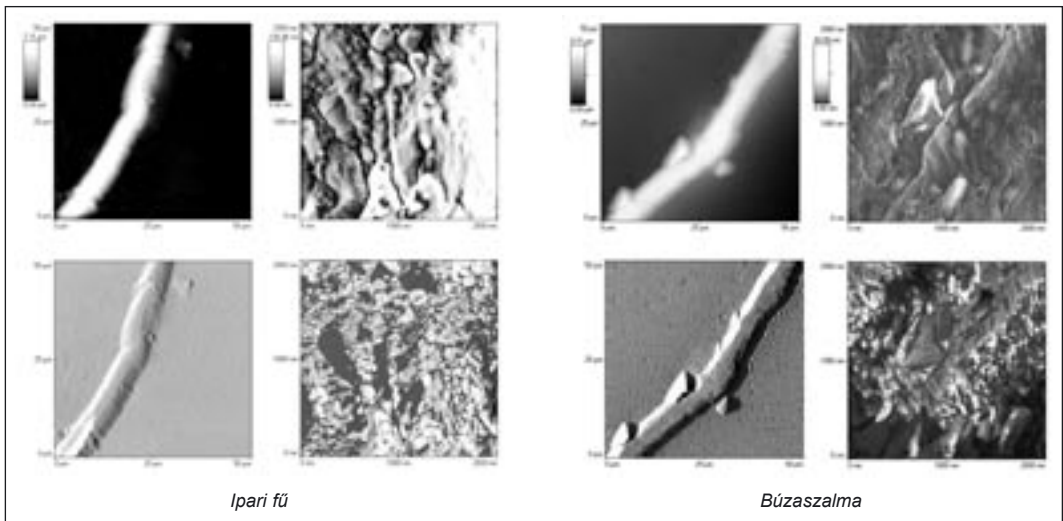
A továbbiakban elektronmikroszkópos (SEM), atomerő-mikroszkópos (AFM) és Raman spektroszkópos vizsgálatokkal hasonlítottuk össze a cellulózmintákat. A **7. ábra** az elektronmikroszkópos felvételeket mutatja be:

Az ábrából megállapítható, hogy a szalma-, illetve Szarvasi-1 iparifű-cellulóz minták képe kis eltérést mutat. Mind az ipari fű, mind a szalma SEM képén többfajta izodimenziós képződmény mellett a főtomeget az anizodimenziós rostok alkotják.

Jellemző az anizodimenziós rostok átmérője, amit 10⁻⁴-szeres nagyítású SEM felvételekről határoztunk meg. A búzaszalma-cellulóz rost-átmérője 7,8 µm, az iparifű-cellulóz rostátmérője 6,6 µm.



7. ábra. Iparifű-cellulóz és búzaszalma-cellulóz, 500x-os nagyítás



8. ábra. Az iparifű-cellulóz és a búzaszalma-cellulóz atomerő-mikroszkópos felvételei

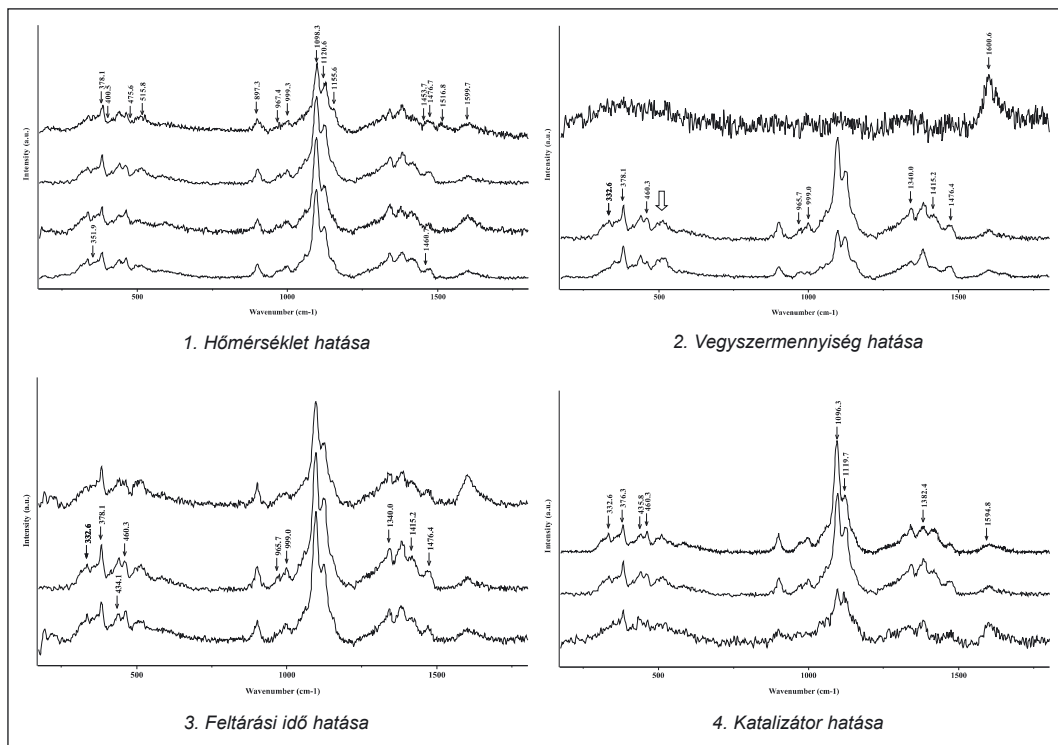
Az atomerő-mikroszkópos felvételeket a **8. ábrán** láthatjuk:

Az atomerő-mikroszkópos felvételeknél a letapogatást egy mechanikusan mozgatott hegyes tű végzi. Attól függően, hogy állandó távolságot tartunk a minta és a tű között és mérjük a felület és tű közötti erőhatást, vagy az erőt választjuk állandóra és mérjük a felület és a tű közötti távolságot, megkülönböztetünk topográfiai és fázisképet.

A felvételeknél az 1. kép 50×50 μm-es topo-

gráfiai kép, a 2. kép 2×2 μm-es topográfiai kép, a 3. kép 50×50 μm-es fáziskép, a 4. kép 2×2 μm-es fáziskép. A felvételekből megállapítható, hogy az ipari fűből előállított cellulóz topográfiai képe erősebben barázdált, az átlagos érdessége nagyobb. A búzaszalma és az ipari fűből előállított cellulóz rostátmérője csak kis mértékben tér el egymástól.

A Raman spektroszkópos vizsgálatok eredményeit az **9. ábrán** mutatjuk be:



9.ábra: Az ipari fű feltárási körülményei hatásának vizsgálata Raman-spektroszkópiával

A fenti görbék alapján az alábbiak állapíthatók meg:

- a hőmérséklet növelésével csökken a lignintartalom (1098-1120 cm^{-1} csúcs), a hőmérséklettől függetlenül a cellulóz I. polimorf állapotú,
- a vegyszer mennyiségének növelésével az oligoszacharidok, pektinek mennyisége csökken (999 és 460 cm^{-1} csúcs), nő a hidrolízis és az amorfizáció mértéke (1120, 1098 cm^{-1} csúcsok arányának növekedése),
- a feltárási idő növelésével a lignin csökken (1600 cm^{-1} csúcs), a hidrolízis mértéke kicsit változik,
- a katalizátor mennyiségének növelésével csökken a lignintartalom (1600 cm^{-1} csúcs), az oligoszacharidok mennyiségének csökkenése nem jelentős.

Az optimális technológiával előállított fehéritetlen cellulózt ECF és TCF technológiákkal

fehéritettük. A **10. ábrán** mutatjuk be a fehéritési technológiák hatását a cellulózok kémiai, morfológiai és granulometriai tulajdonságaira:

A kémiai és granulometriai tulajdonságok alapján megállapíthatjuk, hogy a fehéritett ipari fű cellulóz őrlésfoka 22 °SR, míg a fehéritett szalmacellulózé 42 °SR. A kémiai összetételt tekintve a fehéritett ipari fű hamutartalma 1/3 része a fehéritett búzaszalma-cellulóz hamutartalmának.

Az optimális körülmények között feltárt fehéritetlen cellulózból és a különböző fehéritett anyagokból standard lapokat állítottunk elő; a fizikai és optikai tulajdonságokat mutatjuk be a **11. ábrán**.

A fizikai és optikai tulajdonságokat tekintve, itt is figyelembe kell venni az őrlésfokok közötti különbséget. A fehérségi értékeket vizsgálva, összehasonlítva a fehéritett szalmacellulózzal, az 1. és 3. fehérités (TCF) hasonló fehérséget ad, míg a 4. fehérités (ECF) után a fehérség 5 fokkal magasabb.

N°	SR°	Rosthossz mm	κ-szám	Lignin %	α-cellulóz %	Hemicellulóz %	Hamu %	Oldószeres extrakt,%
0	22	1,16	25,7	4,92	75,15	16,72	1,53	1,10
1	21	1,15	4,6	0,80	78,23	16,87	1,25	0,33
2	18	1,15	5,3	1,10	77,33	16,44	1,32	0,37
3	21	1,11	4,0	0,36	78,89	14,86	1,13	0,43
4	22	1,12	1,9	0,21	83,19	9,78	0,86	0,45
Fsz	42	0,93	0,60	0,13	82,90	9,42	3,60	0,34

Megi.: 0=fehérítetlen , 1=oxigénes , 2=enzimés , 3=perecetsavas , 4=klórdioxidos , Fsz= fehérített szalmacellulóz (CEH)

10. ábra A fehérítési lépcsők hatása a cellulózok kémiai és morfológiai tulajdonságaira (N°=0-4=ipari fű)

N°	SR°	Szakadási hossz m	Szakítási mutató Nm/g	Nyúlás %	Tépesi mutató mNm ² /g	Repesztési mutató kPam ² /g	Fehérség %
0	22	7794	76,46	1,72	5,65	4,17	25,6
1	21	6871	67,60	1,88	6,46	4,26	78,5
2	18	7509	74,04	1,93	7,13	4,93	71,5
3	21	6784	66,74	2,07	6,21	3,96	79,2
4	22	7060	69,45	1,89	5,47	4,37	85,1
FSZ	42	6763	66,16	2,78	5,17	4,34	80,3

11. ábra : A fehérített cellulózok fizikai és optikai tulajdonságai (N° jelöléseit ld. az előző ábrán)

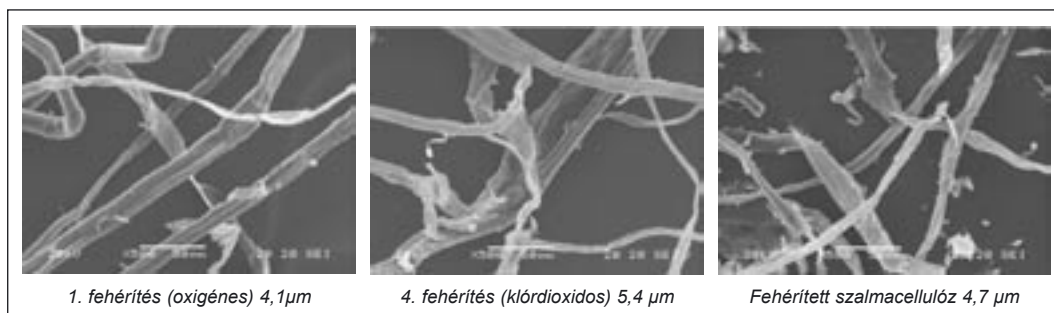
A továbbiakban elektronmikroszkópos, atomerő-mikroszkópos és Raman spektroszkópos vizsgálatokkal hasonlítottuk össze a cellulózmintákat. Az alábbi **12. ábra** az elektronmikroszkópos felvételeket mutatja be.

Az ábra alapján megállapítható, hogy mind két rostfajta esetén fehérítéskor a rostátmérő csökken, a kétféle fehérített rost között nincs lényeges átmérőkülönbség, az eltérés a hiba-

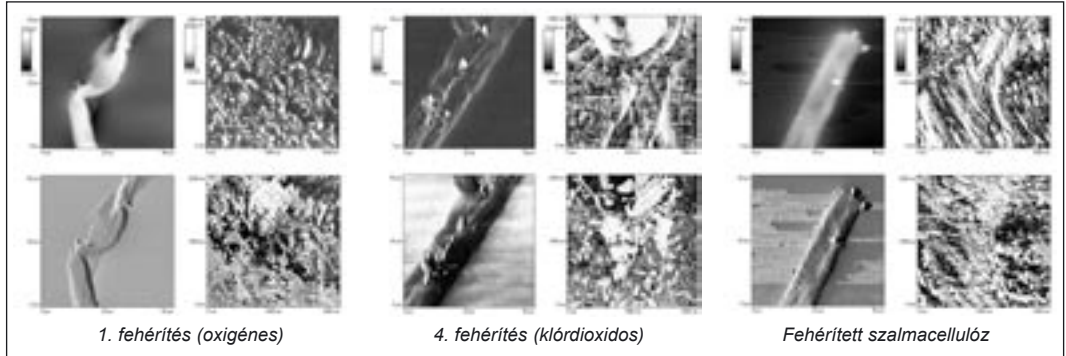
határon belül van. Továbbá megállapítható, hogy a fehérítési technológia paraméterei kisebb hatással vannak a rostátmérőre, mint a feltárési paraméterek.

Az atomerő-mikroszkópos felvételeket a **13. ábrán** láthatjuk.

A felvételek alapján az alábbi megállapításokat tehetjük:



12. ábra. A fehérített cellulózok elektronmikroszkópos felvételei (500x-os nagyítás; 1. és 4. ipari fű)



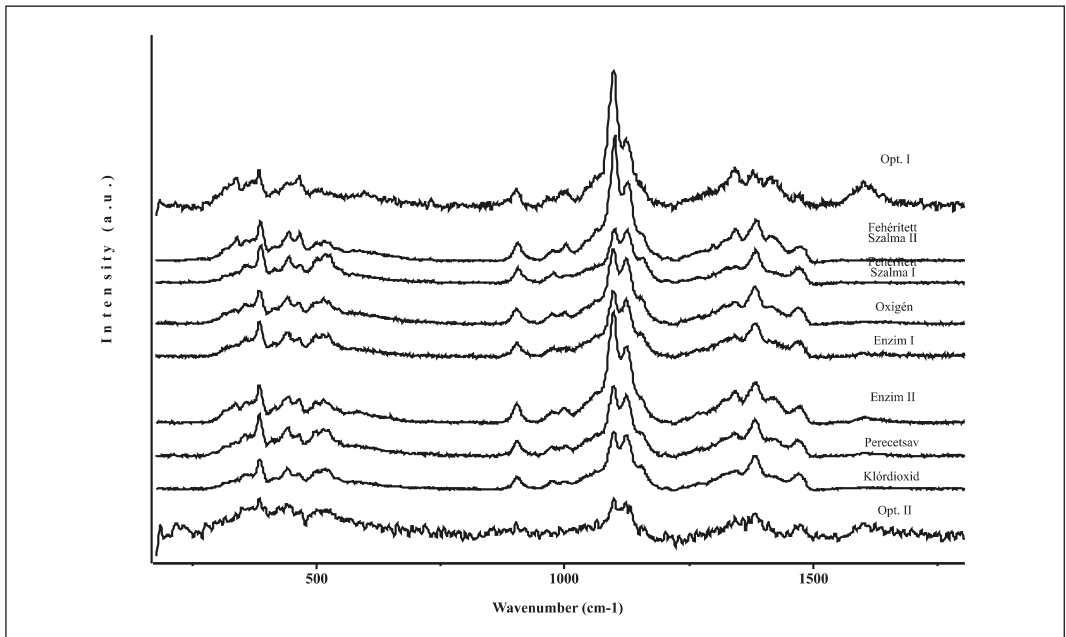
13. ábra: A fehéritett cellulózok atomerő-mikroszkópos felvételei

- A búzaszalma fehéritésekor eltávolítód-
nak a felszíni „bőrszövet” maradványok,
erőteljesebben látható a fibrilláris szerkezet.
- Mind a búzaszalma, mind az ipari fűvek
fázisfelvételein jól látható a felület heteroge-
nitása.
- Fehéritéskor az ipari fű felülete nagyobb
mértékben változik, mint a szalmáé.
- Az ipari fűvek fehéritése során a fázis-
képek tanulsága szerint az eltérő technoló-

giák erőteljesebb hatást fejtenek ki a felület
jellemzőire, mint a búzaszalma esetén.

A Raman spektroszkópos vizsgálatok ered-
ményeit a **14. ábrán** mutatjuk be.

A fehéritett szálak összehasonlításából
megállapítható, hogy az energiafű sávjainak
szerkezete nagyrészt megegyezik a szalma-
cellulóz spektrumáéval. A fehéritésben az



14. ábra. A különbözőképpen fehéritett ipari fű cellulózok Raman spektroszkópos felvételei

adalékok hatékonyságának sorrendje: 1. klórdioxid (4.es fehérítés), 2. Oxigén (1.es fehérítés), 3. Percetsav (3.as fehérítés), 4. Enzim (2.es fehérítés). Az 1120 és 1098 cm^{-1} sávok aránya jellemzően 1:1, ennek oka valószínűleg a nagy mértékű hidrolízis, vannak azonban sávok, ahol 1098 cm^{-1} -es sáv jóval intenzívebb (fehérített szalma II, enzim II), ezekben az esetekben a felvétel egy épségben maradt szárlól készült. Az ilyen szálak a szalmacellulóz esetében gyakoriak, de az ipari fű esetében jóval nagyobb hányadban fordul elő az elhidrolizált forma.

Konklúziók

- A hektáronkénti 10-15 t/év biomassa mennyisége alacsonyabb költségeket jelent,
- Az alapanyag természetű más mezőgazdasági célra nem alkalmas (pl. szikes) területen is,
- A fehérített és fehérítetlen anyagok morfológiai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata alapján megállapíthatjuk, hogy a „Szarvasi-

1 ipari fű”-ből előállított papíripari alapanyag mind a két tulajdonságát tekintve a lombos fák azonos tulajdonságát hordozza,

- Az alacsony őrlésfok jobb futtathatóságot biztosít a papírgépen,
- A fehérítési eljárások közül mind a TCF, mind az ECF technológia alkalmas megfelelő fehérség biztosításához,
- A nagyműszeres vizsgálatok eredményei alapján megállapítottuk, hogy a feltárási folyamat követésére legalkalmasabb a Raman-spektroszkópia. A mikroszkópos, SEM-mel és AFM-mel kapott eredmények pedig a felületek és a morfológiai jellemzők megállapítására alkalmasak.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a Gazdasági és Közlekedési Minisztériumnak, az általa meghirdetett és a fenti munkához elnyert GVOP-3.1.1.-2004-05-0066/3.0 pályázat pénzügyi támogatásáért.

Mindenre kiterjedő szerviz Sprembergben

A Hamburger Spremberg papírgyár, mely 2003 novemberében kezdte meg a fehér és barna hullámalappapír gyártását, most teljes szervizre vonatkozó szerződést kötött a Voith Paper Automation céggel. Ennek keretében a – jelenleg is érvényes – alapszerviz kiegészül a megelőző karbantartással és a minőségellenőrző rendszerrel, amely magában foglalja az asszisztenciát vészhelyzetben, illetve a „távdiagnosztikát”. Tréningprogram egészíti ki a szolgáltatást.

Ezzel a Hamburger Spremberg hosszú távra biztosítja automatikájának magas szintű működését.

Forrás: Voith Paper Sajtóközlemény, 2005.08.03.

P. É.