



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar

ENZIMOLÓGIA

Kiselőadás

## **A Papírgyártás és enzimei**

**Készítették:**

Kereszty Flóra

Kiss Csaba

Pinczés Zsuzsanna

Rózsahegy Alexandra

Budapest, 2019. november

## A Papírgyártás lépései

### Alapanyag-előkészítés

A papírgyártáshoz szükséges rostok több, mint felét fákból nyerik ki. Ilyen fák lehetnek egyes fenyőfélék (puhafa), például: lucfenyő, jegenyefenyő, vagy erdeifenyő. A fenyőféléket szívesen használják, mert a cellulóz szálak hosszabbak, és az ebből készített papír erősebb. Az egyre növekvő papír igény miatt már majdnem bármelyik fa lehet az alapanyaga a papírgyártásnak, például lombos fák is: nyárfa, nyírfa, bükkfa. Fontos alapanyag még a használt papír, és rongy is.

Az előkészítés során a fát áztatják, majd hántolják. A cellulózsálak kinyeréséhez a faanyagot felaprítják, őrlik apró forgácsá, amit a nagy facsiszoló és aprító gépek végeznek. A vegyi oldás során a faforgácsot főzik nátrium-hidroxidot, illetve nátrium-szulfidot tartalmazó oldatban. Vékony, különálló cellulózsálakat a rostokat összetartó lignin kötőanyag feloldásával kapják.

Ezután a fehérités következik. A papír fehéritéséhez régebben klórt alkalmaztak, ezt manapság már xilanázzal végzik. A klórral a lignin eltávolítható, de ennek a módszernek a környezeti megterhelése nagy volt. Erre megoldást jelentett a klórt részben, vagy teljesen kiváltó környezetbarát fehéritési eljárások. Ilyen például a xilanázos előkezeléssel kiegészített kémiai fehérités. A nem keményítő poliszacharidokat (NSP)-bontó enzimeket gombák tenyésztésével állítják elő. Az enzimkeverék iparilag legfontosabb összetevői a celluláz, és a xilanáz. Elsősorban tömlősgombákat alkalmaznak, mint például *Aspergillus oryzae*, és *Trichoderma viridis*.

A következő lépés a foszlatás, amit foszlató hollandi nevű gép végzi. Ez egy nagy kád, amiben késekkel telerakott henger forog, és a cellulózsálak aprítását végzi. Amennyiben a csőhöz hasonló sejteket hosszában is szétvágják, akkor sűrű anyag keletkezik, amiből vízhatlanabb, vékonyabb papírt lehet előállítani.

Ezután a cellulózpéphez több, különböző adalékanyagot adnak, amikkel meghatározzák a végtermék tulajdonságait. Kalcium-karbonátot adhatnak hozzá töltőanyagként, amivel a papír átlátszatlanságát növelik. Enyvet is adnak hozzá, ami meghatározza, hogy hogyan reagál a papír a tintával. Enyv nélkül a papír túlságosan beszívja a nedvességet. Szerves alkoholfajták hozzáadásával nedvességtartóvá teszik a papírt. Ezenkívül alkalmazhatnak még például: gombaölő, habzágátló, vagy pH-szabályozó anyagot is. Homogénre keverik, és így kapják a papírpépet.

## Lapkészítés a papírgépen

Ezen a szakaszon a víz eltávolítása a fő cél. A papír előállításához a papírpépet nagy, automatizált gépbe töltik. Az első rész a felfutó szekrény (headbox). A papírpép még nagyon híg. Ez a gépelem forgó, perforált keverőt tartalmaz. Majd a papírpépet az adagológép egységesen viszi fel a következő elemére a gépsornak, ami a szita szakasz része.

A leggyakrabban alkalmazott gépet Fourdrinier-gépnek nevezik. A papírpépet szitafelületű mozgó hengersonra vezetik. A hengerson 20-1000 m/perc sebességgel is haladhat a papír. Több hengeren keresztül átvezetve kinyomják a víz egy részét a papírpépnek. A víz a szita lyukain át távozik a pépből. A gépsor ezen a szakaszán szoktak vákuum szárítoszekrényeket alkalmazni a nedvességtartalom további csökkentése miatt.

A száradó papírpép ezután a présszakaszra kerül, ahol a vizet egymással szemben mozgó hengerek sorozatával csökkentik. Ennek a szakasznak a végére a papírpép 40-45% vizet tartalmaz. A szárítószakasz következik, ami 40-70 gőzzel fűtött szárító hengert tartalmaz, ahol a nedvesség gőzként távozik. Ennek végére eléri a megfelelő nedvességtartalmat, tehát eltávozott több, mint 90%-a víznek. Vertikálisan elhelyezkedő acélhengerek sorozata közé vezetik a papírszalagot, ami által a papír felszíne simává válik.

### 3. Kiszerezés

A száraz papírt végül feltekerceslik nagy papírtekerccsé, és a végső felhasználásnak megfelelően még tovább alakíthatják, például méretre vágják. [1]-[6]

## **Enzimfelhasználás története, alkalmazásuk ma**

A papír növényi rostból készült, írásra alkalmas lap. A mai értelemben vett papír i.e. 105-ből származik, a készítés fő lépései a feltalálástól napjainkig nem változtak. A módszert azonban tökéletesítették és ma már fejlett enzimes technológiákkal egészítették ki, amelyek megkönnyítik nem csak az előállítást, feldolgozást, de a papírhulladék lebontását is.

A papír- és cellulózipar évente hatalmas mennyiségű lignocellulóz tartalmú biomasszát dolgoz fel. A pép előállításának technológiája nagyon változatos és számos lehetőség létezik a mikrobiális enzimek alkalmazására. Egészen a közelmúltig, az enzimek papíriparban való felhasználása nem teljesen volt technikailag vagy gazdasági szempontból megvalósítható. Egyszerű okokból, a megfelelő enzimek nem voltak könnyen elérhetőek. A tudományos intézmények és az enzimgyártók kutatásai azonban olyan enzimek kifejlesztéséhez vezettek, amelyek jelentős előnyökkel jártak az ipar számára. A történelem során számos enzimet találtak alkalmasnak papíriparban való felhasználásra, de ezek elsősorban olyan területekre korlátozódtak, mint a nyers keményítő módosítása. Az 1980-as évek közepe óta használatuk gyorsan növekedett, elsősorban a pép tulajdonságainak módosítása céljából, sok esetben viszont felhasználásuk még mindig kutatás és fejlesztés alatt áll.

A **lipázok** felhasználásával végzett nagyipari faanyag-feldolgozás az 1990-es évektől terjedt el, ez volt az első eset a világon, amikor egy enzimet sikeresen alkalmaztak papírgyártás során. A fafeldolgozás során a gyanta eltávolítására **lipáz** enzimeket használnak, ami egy igen öko-barát és nem toxikus technológia. A gyanta zsírsavakból, gyantasavakból, szterinekből, zsírsav-glicerín-észterekből, egyéb zsírokból és viaszokból áll, és általában metilénben oldódó fa-összetevőként határozzák meg. Ez a fa teljes tömegének kevesebb, mint 10% -a, de a fa feldolgozás során komoly problémákat okoz. Az enzimekkel történő gyanta redukálása nagyon hatékony biotechnológiai módszer. Számos előnnyel jár, mint például a gép tisztításának gyakoriságát csökkenti, ugyanakkor javul a cellulóz- és papírminőség. Emellett a lipázok jelenléte növeli a papír fehérségét, valamint csökkenti a gyártás során keletkező szennyvíz szennyezettségének mértékét.

Ezután az enzimátikus szennyeződésmentesítést tehát sikeresen alkalmazták, majd a technika egyre jobban elterjedt, mivel egyre nagyobb mennyiségű újságpapírt kellett festékmentesíteni és újrahasznosítani.

Mivel egyre inkább fontosabbá vált az ipari vegyi anyagok csökkentése, így egy lehetséges alternatíva, az enzimes pép-fehérítés került előtérbe, amely jelenleg is az enzimek legfontosabb alkalmazási területe a papíriparon belül. Erre a hemicelluláz enzimek közé tartozó **xilanázokat** találták a legalkalmasabbnak.

Mellettük kiemelt jelentőségűek a lignolitikus enzimek, amelyek közvetlenül a lignint támadják, így hatékonyan bizonyultak a használt papírok szintelenítésében. Ezeket fehér korhasztó gombákból (*Ascomycetes*, *Deuteromycetes*, *Basidiomycetes*) izolálták először. Most már ismert, hogy bár a **lignin-peroxidázok** és a polifenol-oxidázok (multicopper oxidázok) közé tartozó **lakkázok** fontos szerepet játszanak a lignin *in vivo* lebontásában, viszont az enzim által katalizált oxidációs reakciók *in vitro* a lignin további polimerizációját eredményezik. Az egyes enzimek tehát nem képesek utánozni a teljes biológiai rendszert. 1987-ben a német Lignozyme vállalat kezdte el lignolitikus enzimek kémiai mediátorait fejleszteni, nemsokára sikerült felfedezniük és alkalmazniuk *Coriolus versicolor* lakkáz enzimének mediátorát, a hidroxibenzotriazolot.

További nagy jelentőségű felhasználási terület a rostok felületének változtatása. A szálak enzimatisz módosítása csökkenti az energiafogyasztást a cellulózok előállításánál, és javítja a rostok tulajdonságait. Már 1942-ben felfedezték, hogy *Bacillus* és az *Aspergillus* különféle fajtái elősegíthetik a cellulózrostok finomítását és hidratálását. Rájöttek, hogy xilanázok és **cellulázok** együttes, korlátozott idejű alkalmazása a rostok felületének azon részeit távolítja el, amelyek a vízhez nagy affinitással kötnek, de a rostok közötti kölcsönhatáshoz kevésbé járulnak hozzá. Így csökken a cellulóz-víz kölcsönhatás, és víztelenedik a cellulóz anélkül, hogy a cellulóz mechanikai tulajdonságai észrevehető változásokat szenvednének. Hosszabb kezelés azonban a vízvezeték csökkenését eredményezi, a átlagos rosthossz csökken, a finom szemcsék eltűnnek, a cellulóz szilárdsági tulajdonságai romlanak. A *Clostridium*, a *Cellulomonas*, a *Thermomonospora*, a *Trichoderma* és az *Aspergillus* nemzetségek a legszélesebb körben vizsgált celluláz termelők.

Egyéb alkalmazás a hulladékpapírok szintelenítése, melyhez leginkább **alkalikus-cellulázokat** és amilázokat használnak. Az **amiláz** enzimek további jelentősége a viszkozitás csökkentésében, ezzel a keményítőmolekulák méretének módosításában van. [7]–[11]

## Xilanázok

A papírgyártás során alkalmazott kémiai fehéritést általában klór-alapú szerekkel végzik, a folyamat során különféle szerves klórszármazékok képződnek, melyeknek mutagén – és feltételezhetően rákkeltő – hatása komoly veszélyt jelent. Részben a felhasználók elégedettségének biztosítására, illetve a környezetterhelő hatás csökkentésére fejlődött ki a „biobleaching“ az utóbbi években. A technológia kulcseleme a xilanáz enzim, a következőkben ezt szeretnénk részletesen ismertetni.

Enzimeket a fa papíripari feldolgozása során először nyolcvanas évek elején alkalmaztak a pép tulajdonságainak módosításához, valamint tanulmányozták a csökkentett vegyi anyag igényű, enzimes pép-fehéritést.

A növényi sejtfalban, a cellulóz rostokban lévő ligninnel szorosan összekapcsolt xilán depolimerizálása elősegíti a lignin extrakcióját. A xilanázok a polimer láncközi béta 1,4-es glikozidkötéseinek hidrolízisét katalizálják. A xilán a ligninhez és a cellulózhoz szorosan kapcsolódik, a xilán lánc szétesésével ezek könnyebben elválaszthatóak (könnyebb lesz az „értékes” cellulóztól történő elválasztása). Ezen tulajdonsága mutatja, hogy a xilanáz inkább fehéritő segédanyagként, mint valódi „delignifikáló“ (lignin-eltávolító) adalékként működik, mivel az enzim nem bontja le közvetlenül a lignint.

A xilanázokat az 5, 7, 8, 10, 11 és 43 glikozid-hidroláz (GH) családba soroljuk. Különböznek szubsztrát-specifikusságuk, működési mechanizmusuk (retaining - megtartó vagy inverting-megfordító) és felépítésük szerint. A GH11 xilanázok az arabinoxilán elágazásmentes régióit hidrolizálják, megtartó mechanizmussal (C-konformációja) katalizálja a hidrolízist.

Különböző mikroorganizmusok képesek xilanázokat termelni, ideértve a baktériumokat, élesztőket és fonalas gombákat. A gombák a leghatékonyabb xilanáz termelők, sokkal magasabb hozammal választják ki, mint a baktériumok vagy élesztők. A mezofil gombák között az *Aspergillus* és a *Trichoderma* gomba nemzetségek, a termofil gombák között a *Thermomyces* a domináns a xilanáz termelésben. Ugyanakkor a baktériumokból származó xilanázok nagyobb hőstabilitást mutatnak, mint a gombáké.

Fontos megjegyezni, hogy xilanázokat olyan mikrobák felhasználásával állítsák elő, amelyeknek nincs celluláz-termelő képességük, ellenkező esetben ezt mutációval vagy génmérnökséggel kell elérni.

A enzimpiacon a kereskedelemben hozzáférhető xilanázok leggyakrabban a (glikozid hidroláz)GH11. családból származnak. E család alkalmazásának előnyei:

- a xilanázok e családjának kizárólagos specifikussága a d-xilózt tartalmazó szubsztrátokra vonatkozik (nem aktívak cellulózon!, mint másik család enzimeit)
- alkalmazásuk olcsó: a pép fehéritéséhez használt xilanáz kezelés becsült ára 2007-ben kevesebb volt, mint 2 USD/ tonna cellulóz
- ma már rendelkezésre állnak olyan xilanázok, melyek magas hőmérsékleten (90-100 Celsius) és pH-n (10) is működnek
- kevesebb fehéritő vegyszer kerül a szennyvízbe (folyók, tavak)
- kevesebb vegyi anyag használata kevesebb vízfogyasztást jelent a fehéritett pépből származó fehéritő vegyszerek mosásához, ez fontos szempont a vízhiánnyal küszködő fejlődő országokban.

Az ipari méretű papírgyártás hagyományos eljárása megköveteli a pép lúgos főzését magas hőmérsékleten (170 ° C), majd a lignint ezután távolítják el kémiai alapú fehéritő eljárás alkalmazásával. Az említett körülmények miatt a biotechnológiai fő cél a hőstabil és lúgos közegben stabil xilanázok azonosítása ezen a területen. Folyamatosan növekszik az érdeklődés az új xilanázok és egyéb termékkészítmények fejlesztése iránt, hogy ezek ipari használatra alkalmazhatók legyenek. Az egyik legfontosabb előrelépés a xilanáz Ecopulp TX-200C fejlesztése volt, amely lúgos pH-n és magas hőmérsékleten működik.

A xilanázos eljárás hatékonyságát befolyásoló fő tényezők a

- pH,
- a hőmérséklet,
- az enzim adagolása,
- a pép állaga és a reakcióidő.

A xilánáz tartalmú kezelés optimális pH értéke az enzimek körében változó. Általában a prokarióták xilánázai 6-os és 9-es pH között hatékonyabbak, míg a gomba eredetű tenyészetekből származóké a legjobban pH 4–6 mellett működnek. (viszonylag széles pH-tartományban mutat stabilitást).

Az optimális hőmérséklet 35–60 ° C, tehát igény van termofil mikroorganizmusokra. Van példa 30 perces, 70 ° C-os inkubálásra is, mikor az enzim aktivitásának 52% -át megtartotta.

Ezen túlmenően a pép állagát optimalizálni kell az enzim hozzáférhetősége szempontjából.

Jellemzően 1–2 órás kezelés szükséges az enzimes úton történő sikeres fehérités végrehajtásához.

Fehéritéskor vizsgált paraméterek: pép végső élénksége-világossága, mennyivel csökkent a klórvegyületek fogyasztása, és a Kappa-szám. A Kappa-szám a pép lignintartalmának vagy fehéritetőségének jelzésére szolgál egy szabványosított elemzési módszerrel. A Kappa-számot az ISO 302: 2004 határozza meg, és értéke 1-100-ig terjed. A standard mérési módszer lényege : a  $\text{KMnO}_4$  oldatot feleslegben adjuk 1 g nedvességmentes péphez, mielőtt a tioszulfát oldatot és a kálium-jodidot hozzáadjuk. A  $\text{KMnO}_4$  oldat többletmennyiségét standard tioszulfát-oldattal titrálással mérjük, miután feleslegben kálium-jodidot adtunk hozzá. Eredményképp milliliterben megkapjuk, mennyi –adott koncentrációjú– kálium-permanganát-oldatot „fogyaszt“(redox-reakcióban) 1 g nedvességmentes pép. A Kappa szám becsüli meg a fapép fehéritéséhez szükséges vegyi anyagok mennyiségét egy adott fehérségi fokú pép előállításához. Mivel a szükséges fehéritőszer-mennyiség függ a pép lignintartalmáról, a Kappa-szám felhasználható a pépesítés lignin-extrahálási fázisának hatékonyságának ellenőrzésére.

A xilán polimer oldalcsoportok egyike a 4-O-metil-glükuronsav, amely lúgos főzés során hexuronsavvá alakul át. Ez a termék hozzájárul a megnövekedett kappa-számhoz és a pép sárgaságához . Ezért a xilán eltávolítása a xilánáz előkezeléssel a hexuronsav alacsonyabb felszabadulását és a pép élénkségének növekedését eredményezi.



Ha a Kappa-szám értéke nagyobb, akkor a szükséges fehérítő reagens mennyisége is nagyobb, illetve ha értéke kisebb, könnyebb fehéríteni az adott pépet. A  $\text{KMnO}_4$  nem csak a lignint oxidálja, hanem más sejtfa alkotót is, ez valamivel megnöveli fogyasztását, következésképpen emeli a pép Kappa-számát. Nagyjából arányos a pép maradék lignintartalmával.

A biofehérítés nemcsak csökkenti a papírgyártás általános költségeit, hanem javítja a papír minőségét is.

A pép biofehérítésénél szinergizmus fedezhető fel enzimek alkalmazásakor: például xilanázok és lakkázok együttes alkalmazásánál. A lignin eltávolításának mechanizmusa xilanáz és lakkáz enzimek esetén eltérő, a xilanáz csak érzékenyebbé teszi a pépet a vegyi anyagok fehérítő hatására. A lakkázok javíthatják a pép fizikai, kémiai és mechanikai tulajdonságait reaktív gyököket képezve a ligninnel. [12]-[17]

## Újrahasznosítás

Az újrahasznosítás első lépése a papírhulladék szelektív begyűjtése. A begyűjtést akár otthon is elkezdhetjük, a legtöbb lakóépületben megtalálható szelektív hulladékgyűjtő, vagy a lakóhely környékén erre megfelelő konténer. Az újrahasznosítás technológiájának következő lépése a papír áztatása, melynek során a papír egy péppé alakul át. Ezt a pépet tovább vezetik a soron, ahol különböző osztályozó funkciójú gépek (pl.: vibrációs rosta, hidrociklon) megszabadítják a szennyeződésektől. Így egy tisztított papírpépet kapunk, amely tovább feldolgozható a hagyományos besűrítő és lapképző eljárással.

A hulladékpapír újrahasznosítói közé tartozik az építőipar is, ahol többek között gipszkarton gyártására használják. Ebben a technológiában a hulladékpapírt kisebb darabokra (tenyérnagyságú) tépik, majd szárazon szinte rostjaira bontják. Jól elkeverik gipsszel és vízzel, majd megfelelő formájúra préselik és szárítják.

A primer rostokhoz képest az újrahasznosított rostok gyengébb tulajdonságokkal bírnak mind mechanikai, mind esztétikai szempontból. Ennek a hátterében az áll, hogy a papír újrahasznosítása során történő mechanikai (rostosítás, őrlés) és vegyi (fehérítés) hatások irreverzibilis változásokat okoznak a rostok szerkezetében. Minél többször történik meg az újrahasznosítás, annál jobban romlik a rostok szerkezetének állapota, így maximum 5-6 alkalommal végezhető el a művelet.

Alapanyagként többnyire irodai hulladékot, újságpapírt és hullámpapírt, azaz kartonpapírt használnak. Fontos kiemelni, hogy nem minden típusú papírt lehet újrahasznosítani, mint például a tapétát vagy a cigarettapapírt, és ennek megfelelően nem is lehet minden fajta papírt gyártani újrahasznosítással. Leggyakrabban csomagolóanyagokat, háztartási- és egészségügyi papírfajtákat készítenek belőle.

A leromlott rost-tulajdonságok azonban javíthatóak. *Trichoderma reesei* által termelt cellulázokkal (endoglükanázok) való előkezelés javítja az örölhetőéget. A víztelenedési tulajdonságot is cellulázokkal, illetve hemicellulázokkal javítják (vegyszerfelhasználás, környezetterhelés csökken). A festékek eltávolítása lúgos közegben, felületaktív anyagokkal történik. Ám ez rendkívül környezetterhelő, a rostok gyengülnek és sárgulást is okoz, amelyet később hidrogén-peroxidos kezeléssel orvosolnak, így az enzimes technológiák előnyt élveznek.

Két féle módon történhet az eltávolítás: a festéket bontják le, vagy a hordozó felületet részlegesen. Növényi olaj alapú festékek esetén lipázokat és észterázokat használnak, amelyek magát a festéket bontják (hidrolízis). Cellulázok, xilanázok és pektinázok hatására a szénhidrát részlegesen hidrolizálódik, így a festék részecskék eltávolíthatóak. Lignin-bontó enzimek esetén a szénhidráthoz kötődő lignin bomlik el, ezáltal felszabadul a festék a rostról. Az enzimatikusan leválasztott festékszemcsék eltávolítása flotálással vagy mosással történik csak úgy, mint a lúgos-detergenses technológia esetében.

A rostgyártás során kioldódó lipofil és hidrofil extraktanyagok, illetve szénhidrátok (gyanták, hemicellulózok) rontják a rostsuszpenzió víztelenedését és lerakódásokat okoznak a papírgépen. Az extraktanyagok eltávolítására lakkáz enzimeket, míg a lipid-bázisú kollid anyagok eltávolítására lipázos kezelést alkalmaznak. Emellett problémát okoznak a papírgépeken lerakódó nyálkás, mikrobiális eredetű anyagok is. Mivel a papírgyártás nem steril művelet, így bármely gépen megjelenhetnek a mikrobák. Ennek megelőzésére biocid anyagokat használnak. A szénhidrátból és fehérjékből álló biofilmeket pedig amiláz és proteáz enzimekkel távolítják el. [18]-[21]

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] <https://sites.google.com/site/paradivanda/a-papirgyartas-technologiaja> (1)
- [2] <http://www.madehow.com/Volume-2/Paper.html> (2)
- [3] <http://www.fibrelab.ubc.ca/files/2013/01/Topic-11-Papermaking-Introduction-text.pdf> (3)
- [4] Szendefy Judit: Xilanáz enzimek előállítás szilárd fázisú fermentációval, és papíripari hasznosításuk
- [5] Dr. Vermes Miklós: A cellulózipar
- [6] Dr. Kutasi József, Fermentációs biotechnológia, Digitális Tankönyvtár, 2007
- [7] P. Bajpai, “Topical paper,” *Biotechnology*, no. 15, pp. 147–157, 1999.
- [8] N. V. Kumar, M. E. Rani, R. Centre, T. Nadu, and T. Nadu, “Microbial enzymes in paper and pulp industries for bioleaching application,” *Res. Trends Microbiol.*, 2019.
- [9] M. C. Petra, “Ipari hulladékok enzimes kezelése,” pp. 1–11, 2018.
- [10] G. Singh, “Enzymes : Applications in Pulp and Paper Industry Author ’ s personal copy,” *Agro-Industrial Wastes as Feed. Enzym. Prod.*, no. October, pp. 157–168, 2017.
- [11] N. Patel, D. Rai, Shivam, S. Shahane, and U. Mishra, “Lipases: Sources, Production, Purification, and Applications,” *Recent Pat. Biotechnol.*, vol. 13, no. 1, pp. 45–56, 2018.
- [12] G. Singh, N. C. (2016). CHAPTER 7 Enzymes: Applications in Pulp and Paper Industry . In *Agro-Industrial Wastes as Feedstock for Enzyme Production* (pp. 157-172). Panjab University, Chandigarh, India : Elsevier.
- [13] Charin Techapun, N. P. (2003). Thermostable and alkaline-tolerant microbial cellulase-free xylanases produced from agricultural wastes and the properties required for use in pulp bleaching bioprocesses: a review . *Process Biochemistry* , 38, 1327-1340.
- [14] Sinma, K. K. (2010). Beta-xylanase from *Thermomyces lanuginosus* and its Biobleaching Application. *Pakistan Journal of Biological Sciences* , 13 (11), 513-526.

- [15] Sushil Nagar, R. K. (2013). Biobleaching application of cellulase poor and alkali stable xylanase from *Bacillus pumilus* SV-85S . *3 Biotech* , 277-285.
- [16] Braz J. Demuner, N. P. (2011). Technology Prospecting on Enzymes for the Pulp and Paper Industry . *Journal of Technology Management & Innovation* , 6 (3), 148-158.
- [17] Vishal Kumar, J. M.-N. (2016). Thermostable microbial xylanases for pulp and paper industries: trends, applications and further perspectives . *World J Microbiol Biotechnol* , 32 (34), 1-10.
- [18] Nagy, B. (2011.) Újrahasznosítási ismeretek, Szent István Egyetem, TÁMOP-4.1.2 A1 és a TÁMOP-4.1.2 A2 könyvei
- [19] OKSANEN, T., PERE, J., BUCHERT, J. (1997.) The effect of *Trichoderma reesei* cellulases and hemicellulases on the paper technical properties of never-dried bleached kraft pulp, *Cellulose*, 4(4): 329–339
- [20] Pratima, B. (1997.) Enzymatic deinking, *Advances in Applied Microbiology*, 45:241-269.
- [21] Dienes, D. (2006.) Celluláz enzimek hatása a szekunder rostok tulajdonságaira, PhD értekezés