

dr. **Vanja Kokol**, univ. dipl. inž.

izr. prof. dr. **Vera Golob**, univ. dipl. inž.

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Oddelek za tekstilstvo

Inštitut za tekstilno kemijo, ekologijo in koloristiko, LBEE, Smetanova 17, SI-2000 Maribor

E-pošta: vanja.kokol@uni-mb.si; vera.golob@uni-mb.si

Biotehnologija v tekstilnih procesih plemenitenja

2. del: Encimsko plemenitenje tekstilnih vlaken

– tehnološki postopki

Članek obravnava današnjo uporabo encimov v industrijskih procesih tekstilnega plemenitenja ter ob njihovem intenzivnem znanstvenem razvoju kompleksno opozarja na obstoječe aplikativne probleme in cilje v prihodnje.

Po razloženi strukturalno – funkcionalni aktivnosti encimov, njihovem tehnološkem postopku pridobivanja in vlogi genetskega inženiringa so podane ekološke in ekonomske prednosti njihove industrijske uporabe. Sledi podrobnejši opis možnosti uporabe encimov v posameznih postopkih tekstilnega plemenitenja in njihov znanstveni razvoj. Pregled je usmerjen tako na posamezne postopke v obdelavi naravnih vlaken kot tudi na prve poizkuse obdelave sintetičnih vlaken. Opisani so obstoječi problemi klasičnih plemenitilnih postopkov, od predobdelave, beljenja in barvanja do plemenitenja/apretiranja, ter predstavljene možnosti za vključitev encimskih postopkov. Podrobneje so opisana nova spoznanja na posameznih vlaknih in fazah encimskega plemenitenja; poseben poudarek je na razvoju novih encimov, primernih za njihovo obdelavo, novih encimskih postopkih, njihovih prednostih in slabostih, predusem poškodbe vlaken in življenjska doba oz. ostala aktivnost encimov na tkanini. Podrobneje so opisani alternativni tehnološki postopki za doseganje posebnih končnih učinkov na površini tkanine. Po krajšem opisu razvoja novih, izjemno stabilnih encimov in njihovih prednostih je opozorjeno na obetavno uporabo biotehnologije v tekstilno obdelovalnih postopkih in perspektivo njihovega razvoja v prihodnje.

Ključne besede: tekstilno plemenitenje, biotehnologija, encimi, ekologija, raziskave in razvoj

Biotechnology in Textile Finishing Processes

Part 2: Enzymatic Textile Finishing of Fibres – Particular Technological Processes

The authors investigate today's use of enzymes in industrial textile finishing processes and in view of their intense scientific development point to the existing application problems and objectives.

The explained structural – functional activity of enzymes, the technological process of their obtaining and the genetic engineering are followed by ecological and economical benefits of their industrial usage and then by a detailed description of possibilities of using enzymes in particular processes of textile finishing and their scientific development. The review includes individual procedures of natural fibres treatment and the first trials of synthetic fibres treatment. The existing problems of standard finishing processes, from pretreatment, bleaching and dyeing to finishing and the possibilities for incorporating enzymatic processes are presented. New achievements regarding individual fibres and enzymatic processes phases are described in detail; a special emphasis is put on development of new enzymes, new enzymatic processes, their advantages and disadvantages, and above all on damages of fibres and on the lifetime of enzymes, i.e. their remaining activity on fabric. Alternative technological processes for achieving special final effects on a fabric surface are described in detail. After a short description of development of new extremely stable enzymes and their advantages the authors point to promising usage of biotechnology in textile processing processes and to the prospect of their future development.

Keywords: textile finishing, biotechnology, enzymes, ecology, researches and development

5.0 POSTOPKI ENCIMSKEGA PLEMENITENJA

Dobro poznavanje biokemijske/encimske razgradnje polisaharidnih in proteinskih makromolekul je privedlo do številnih raziskav, usmerjenih tako na netekstilne kot na tekstilne substrate oz. vlakna. Raziskave so usmerjene na vrednotenje funkcionalnih lastnosti modificiranih tekstilnih materialov kot posledica različne encimske obdelave z namenom izvesti proizvodni proces ekonomsko donosnejši in ekološko sprejemljivejši. V preglednici 2 so zbrane današnje možnosti encimske obdelave naravnih in sintetičnih vlaken.

Zaradi različne kemijske strukture posameznih vlaken je uporaba določenih encimov v njihovih procesih modificiranja zelo različna. Učinek delovanja encimov je poleg fizikalno-kemijskih lastnosti vlaken odvisen tudi od makro- in mikrostrukture tekstilnih materialov in od pogojev obdelave; določeni encimi tako dajo na različnih materialih različne vrste končnih učinkov. Ker torej delujejo specifično (npr. amilaze razgrajujejo le makromolekule škroba, pektinaze razgrajujejo le pektin, celulaze delujejo le na celulozne molekule in pro-

teaze na volneni keratin), je tudi njihova aktivnost specifična in odvisna od [1,2]:

- pH in temperature kopeli; vsak encim je najučinkovitejši v natančno določenem optimalnem območju delovanja;
- koncentracije encimov v kopeli, ki je specifična za vsak postopek obdelave; količinsko razmerje med encimom in materialom se giblje v razmerju 1 : 500; pri kopelnem razmerju 1 : 5 – 1:15 znaša koncentracija celulaze med 0,5 % in 3,0 %;
- časa obdelave; pri nizkih koncentracijah encima traja proces predolgo, pri višjih pa encimi pričnejo razgrajevati osnovno substanco, kar zmanjša težo in zniža pretržno trdnost materiala;
- prisotnosti ostalih kemikalij, predvsem površinsko aktivnih snovi (PAS); kot so omakalna sredstva (c = 0,5 – 1 g/l), sredstva za preprečevanje lomov (c = 0,2 g/l), gladilna sredstva oz. mehčala (c = 1,5 g/l) ter pufri (Na-acetat, c = 3 – 5 g/l) za vzdrževanje konstantne pH vrednosti;
- mehanskega obdelovanja, ki je pogojeno z vrsto uporabljenih encimov in s konstrukcijo naprave.

Preglednica 2: Možnosti encimskega plemenitjenja naravnih in sintetičnih vlaken [3, 4, 5]

Vrsta vlaken	Vrsta obdelave	Vrsta encimov	Namen/učinek
Celulozna vlakna (bombaž, viskoza, liocel, tencel)	• Razškrobljenje	• Amilaze	• Odstranitev škroba
	• Merceriziranje	• Mešanica encimov: proteaze, pektinaze, lipaze	• Odstranitev nečistoč in primesi: voskov, maščob, hemiceluloze
	• Izkuhavanje	• Lakaze, gluko-oksidge	• Odstranitev lignina in naravnih barvil
	• Beljenje • Barvanje	• Katalaze, oksidge, peroksidaze	• Odstranitev ostanka H ₂ O ₂
	• Bio-kamnanje	• Celulaze, oksidativni encimi	• Odstranitev barvila
	• Bio-poliranje/ plemenitjenje	• Celulaze, ostali encimi	• Odstranitev nečistoč in kratkih vlakenc s površine, zmanjšanje tendence pilinga in fibrilacije liocela in celuloze
Beljakovinska vlakna (volna, naravna svila, živalske dlake)	• Pranje, čiščenje	• Proteaze, lipaze	• Odstranitev lanolina, znoja, rastlinskih nečistoč in živalskih ostankov
	• Karboniziranje volne	• Celulaze	• Odstranitev celuloznih primesi
	• Proti-polstilni učinek, • Odpornost na krčenje		
	• Beljenje	• Proteaze, lipaze	• Odstranitev naravnih barvil, povišanje stopnje beline
	• Barvanje	• Proteaze, lipaze, lakaze s peroksidat. in oksidat. encimi	• Povišanje obarvljivosti in globine barve
	• Plemenitjenje volne	• Proteaze, ostali encimi	• Izboljšanje otipa, odpornosti na krčenje
	• Degumiranje naravne svile	• Sericinaze	• Odstranitev sericina
Ličja (lan, konoplja)	• Plemenitjenje lanu	• Celulaze, pektinaze, hemicelulaze	• Odstranitev ne-celuloznih substanc, povišanje čistosti površine vlaken
Juta	• Beljenje • Mehčanje	• Celulaze • Ksilanaze	• Odstranitev nečistoč in spremijajočih substanc
	• Hidroliziranje	• Lipaze	• Povečanje hidrofilitnosti – omakanja in absorpcije PES vlaken
Sintetična vlakna (PES, PAC, PA)		• Nitrilaze	• Modificiranje PAC in PA vlaken

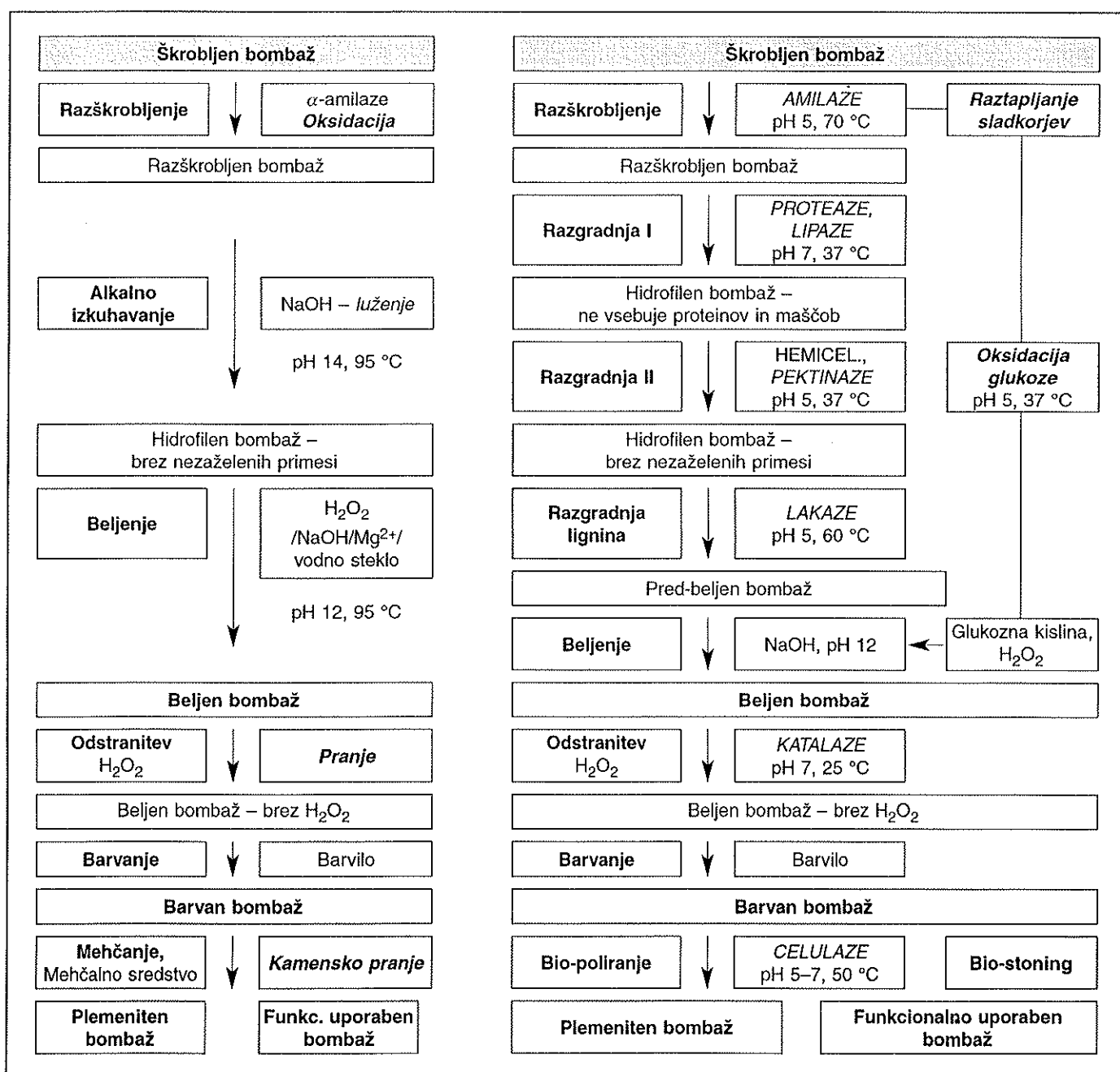
Biološko plemenitenje lahko izvajamo diskontinuirno ali kontinuirno ter tudi v kombinaciji z ostalimi tehnološkimi postopki istočasno (v isti kopeli), vendar le ob dovolj močnem mehanskem obdelovanju in usklajenih ostalih parametrih (pH, T). Encimski kompleksi z velikimi molekulami (npr. celuloze) težko prodirajo v notranjost morfološke strukture vlakna in zahtevajo višjo stopnjo mehanskega obdelovanja, sicer delujejo le na njegovi površini.

Encimska obdelava pri tem povzroči določene *strukturne* (stopnja polimerizacije, stopnja fibrilacije, gostota, indeks kristaliničnosti, delež razgradnje celuloze – nastalih glukoznih molekul), *fizikalno-kemične* (veza-

nje vlage, čas maksimalne absorpcije, stopnja nabrekanja) in *mehanske* (otip, teža, pretržni raztezek, pretržna trdnost) *spremembe tkanine*; le-te so odvisne od pogojev obdelave, vezanega deleža encimov, deleža odstranjenih nečistoč in primesi, časa desorbcije encimov itd.. Nekateri viri navajajo, da obstaja določeno razmerje med izgubo teže tkanine in količino nastalih glukoznih molekul, ki tako opredeljuje učinkovitost encimske obdelave [5].

5.1 Celulozna vlakna

Zamenjava klasičnih postopkov plemenitenja z encimskimi je najbolj raziskana in razširjena v obdelavi



Slika 7: Klasična (a) in encimska (b) obdelava bombaža [5]

celuloznih vlaken, ki jih delimo na naravna (bombaž, lan, juta, konoplja) in kemijska (viskoza, modalna, acetatna, bakrova vlakna, liocel) vlakna. Osnovni gradnik celulozne verige je celobioza, tj. kondenzat dveh z 1,4- β -glukozidno vezjo povezanih D-glukoznih molekul [6, 7]. Vodikove vezi in van der Waalove sile stabilizirajo vzporedne celulozne verige v elementarno fibrilno strukturo, ki se preko mikrofibrilov povezujejo v makrofibrile. Celuloza tako tvori kristalinično strukturo, ki odvisno od njenih interfibrilarnih por (velikosti med 1–5 nm) oz. amorfne strukture predstavlja zelo majhno dostopnost za zunanje molekule. Encimski postopki obdelave celuloznih vlaken se lahko, kot je prikazano na primeru bombaža na sliki 7, vključujejo v naslednje procese obdelave:

1. Izkuhavanje – odstranitev primesi in nečistoč; surov bombaž vsebuje poleg celuloze tudi do 12 % različnih neceluloznih primesi (proteine, pektin, hemicelulozo, lignin, naravna barvila, ostanki semen, voske in maščobe)[6], ki jih klasično odstranjujemo z vročo alkalno obdelavo (NaOH), običajno v prisotnosti omakalnega in dispergirnega sredstva. Alkalija ne odstrani samo nečistoče, temveč poškoduje tudi celulozo, kar vpliva na zmanjšanje trdnosti in povečanje izgube teže tkanine. Odpadne vode imajo po izkuhavanju visoko KPK (kemijska potreba po kisiku) in BPK (biokemijska potreba po kisiku) vrednost ter so obremenjene z visoko vsebnostjo soli. Proces lahko uspešno izvedemo v eni delovni fazi z mešanico izbranih encimov (proteaza, lipaza, pektinaza) ali postopoma v posameznih fazah pri bolj blagih pogojih obdelave.
2. Z mercerizacijo oz. luženjem dosegamo posebne lastnosti tkanine, kot so povečanje leska, absorpcijskih sposobnosti, stabilizacijo dimenzij, izboljšanje trdnosti. Zaradi močne alkalne narave uporabljene NaOH pri klasičnem postopku mercerizacije in posledično nastalih mikrostrukturnih sprememb v celulozi [6] encimi nedvomno predstavljajo alternativo rešitev.
3. Beljenje – razgradnja v bombažu prisotnih naravnih barvil. Klasična razgradnja poteka z oksidacijskimi belilnimi sredstvi v alkalnem mediju in ob prisotnosti običajno anorganskega stabilizatorja (vodno steklo). Danes še edino ekološko sprejemljivo belilno sredstvo H_2O_2 je izpodrinilo vsa ostala belilna sredstva na osnovi klora zaradi obremenjevanja odpadnih vod z AOX (adsorbiljivi organski halogenidi). Uporaba encimov je v intenzivnem preučevanju.
4. Priprava na barvanje – antioksidacija oz. odstranitev preostalega H_2O_2 iz procesa beljenja. Encimska antioksidacija skuša nadomestiti klasični postopek antioksidacije z večkratnim pranjem pri visokih temperaturah in običajno ob prisotnosti reducentov. Ne-reaktivna katalaza uspešno odstrani odvečen H_2O_2 iz blaga po beljenju. Obdelava lahko poteka neposredno v kasnejši barvalni kopeli, s čimer zmanjšamo porabo energije in vode ter skrajšamo čas.
5. *Bio-stoning* oz. bio-kamnanje – dosegamo različne »stone wash« učinke (učinki ponošenega, izpranega videza in neenakomernega obarvanja) predvsem na indigo barvanem kepru (blue jeansu). Zelene učinke lahko namesto agresivne obdelave s kamni v pralnih strojih uspešno dosežemo s pomočjo celulaz.
6. *Bio-finishing* oz. bio-apretiranje/bio-poliranje – vplivamo na površinski videz bombažne tkanine. Z odstranitvijo lasavosti površine zmanjšamo nevarnost pilinga, z odstranitvijo kratkih in štrlečih vlakenc pa povečamo lesk, mehko in gladkost površine.

5.1.1 Razškrobljenje

Naravni škrob je sestavljen iz [7] nerazvejanega (amiloz) in razvejanega (amilopektin) polisaharidnega polimera, kjer se posamezne D-glukozne molekule povezujejo med seboj z 1,4- α -glukozidno vezjo. Amilopektin kot glavna sestavina škroba (70–80 %) ima zraven tega na vsakih 23–27 D-glukoznih enot z 1,6- α -glukozidno vezjo dodatno vezano D-glukozno molekulo. Današnji številni na trgu razpoložljivi proizvodi, ki so v vodnem mediju sposobni razgraditi tako naravne kot modificirane oblike škroba do sladkorjev, ne da bi pri tem poškodovali celulozno vlakno, temeljijo na specifičnih *amilazah* [4]. Temperatura ($T = 20\text{--}70\text{ }^\circ\text{C}$, $T = 70\text{--}90\text{ }^\circ\text{C}$, $T = 85\text{--}115\text{ }^\circ\text{C}$) in pH ($\text{pH} = 5\text{--}6,5$) razškrobljenja sta odvisna od vrste uporabljene amilaze (β -amilaze, gluko-amilaze, α -amilaze) (Aquazim, Aquazim Ultra, Termamyl; Novo Nordisk). Medtem ko α -amilaze razgrajujejo škrob v sredini makromolekule (do maltoze), jo β -amilaze razgrajujejo na njenih koncih. Današnje študije so usmerjene v razvoj encimov, ki bi v isti alkalni kopeli omogočili istočasno izvesti oba postopka, razškrobljenje in izkuhavanje ter s tem zamenjali klasičen dvofazni proces.

5.1.2 Mercerizacija/luženje

Uporaba encimov v procesu mercerizacije je še zmeraj zelo slabo raziskana [4]. Buschle-Diller in Zeronian [8] sta ob primerjanju delovanja kislih celuloznih encimov na učinek mercerizacije celulozne tkanine v napetem oz. nenapetem stanju ugotovila, da sta boljše dostopnost encima in nizka stopnja kristaliničnosti celuloze v nenapetem stanju odločilna dejavnika za učinkovitejšo encimsko hidrolizo; nasprotno ima alkalna celulaza večji učinek na celulozi v napetem stanju. Izguba teže med kislom celulozno hidrolizo je minimalna v primerjavi z alkalno zaradi morfoloških sprememb vlakna.

5.1.3 Izkuhavanje in beljenje

Encimski postopek izkuhavanja bombaža pred beljenjem predstavlja realno alternativo v zamenjavi klasičnega vročega alkalnega postopka (NaOH, $T = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 14$) zaradi ekonomskih in ekoloških prednosti. Encimski procesi potekajo pri precej nižjih temperaturah ($T = 40\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$) in v odsotnosti alkalije. Pri tem se ne odstranijo le primesi in nečistoče, temveč tudi kratka vlakenca, zaradi česar se istočasno povečata gladkost in mehkoča tkanine. Med različnimi vrstami preizkušenih encimov (celulaze, pektinaze, lipaze in proteaze) [9] so se **celulaze v kombinaciji** z drugimi encimi [10] (*hemicelulaze, pektinaze, amilaze, proteaze, endopeptidaze, lipaze itd.*), specifičnimi za odstranitev določene vrste nečistoč (*hemiceluloze, pektina, škroba, beljakovin, maščob, lignina itd.*), izkazali kot najbolj učinkoviti. Prisotnost celulaze v obdelovalni raztopini poviša topnost v bombažu prisotnih snovi in nečistoč za okrog 28–34 %, odvisno od časa obdelave in koncentracije encima. Čeprav pri tem pride do delne razgradnje kutikule [11] in poškodb amorfnih predelov celuloznega vlakna [9, 12, 13], ki vodijo do povišanja absorpcijskih sposobnosti vlaken in nezaželenega 78–86 % [14] zmanjšanja teže tkanine (ki je še zmeraj primerljiv s 66-odstotno izgubo teže po alkalni obdelavi), je encimski proces z ekološko manj obremenjujočimi in biološko popolnoma razgradljivimi odpadnimi vodami ($\text{KPK} : \text{BPK}_5 < 2 : 1$) veliko primernejši. Razmeroma majhna učinkovitost ostalih necelulaznih encimov je najverjetneje posledica slabše dostopnosti encimov [15] do hidrofobnih neceluloznih komponent celuloze, ki pa jo lahko izboljšamo s predhodno obdelavo bombaža v vodnem mediju pri $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ [10]. Kljub nezaželenim vplivom celulaze na celuloznem vlaknu se študije delovanja tega encima intenzivno nadaljujejo, predvsem zaradi še zmeraj neizdelanega mehanizma, ki bi natančno razložil reakcijski potek dejavnosti celulaze na tekstilnem materialu.

Zaradi želje po tehnološki uporabnosti encimov pri izkuhavanju bombaža so raziskave usmerjene predvsem v ugotavljanje, katere vrste encimov so odgovorne za odstranitev posameznih nečistoč in kakšna mora biti kombinacija encimov za njihovo popolno odstranitev ob čim manjših poškodbah vlakna. Največ raziskav je opravljenih na področju odstranitve pektinov, ki predstavljajo približno 1-odstotni delež vseh nečistoč [6] in skupaj s prisotnimi maščobami povzročajo naravno vodoodbojnost surovega bombaža. Pektini so polimeri 1,4- linearne vezanih α -galakturonskih kislin s stranskimi verigami, ki jih predstavljajo razni mono-, di- in/ali oligosaharidi (arabinoza, ksiloza, galaktoza, glukoza, itd.) [9, 6]. V surovem bombažu se nahajajo kot netopne Ca, Mg ali Fe soli. Pektine skoraj popolnoma odstranijo **pektinaze**, ki so podobno kot pektini konglomerati, tj. mešanica več vrst encimov (*pektinesteraze, endo- in ekso-galakturonaze, pektinilaze*). Encimski postopek

izkuhavanja z izbranimi pektinazami in v optimalnih pogojih obdelave (rahlo kisel do alkalni medij $\text{pH} = 4\text{--}7$, nizke temperature $T = 25\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$ in kratek čas obdelave $t = 10\text{--}30\text{ min}$) je enako ali celo bolj učinkovit od klasičnega vroče alkalnega postopka z visokimi koncentracijami luga, pri čemer se gostota in poroznost bombažne tkanine spremenita v precej manjši meri [16, 17, 18, 19, 20]. Poleg tega vroča alkalna obdelava povzroči tudi do 1 % večjo izgubo teže tkanine. Ob ustrezno vodenih pogojih obdelave lahko pektinaze razgradijo pektin tudi do mono-galakturonskih kislin. Čeprav se pri pektinazno obdelani bombažni tkanini odstrani manj maščobnih nečistoč kot pri konvencionalni alkalni obdelavi, ima encimsko (predvsem kombinacija celulaze s pektinazo) obdelana bombažna tkanina veliko mehkejši otip in boljše omakalne lastnosti [10]. *Dodatek neionske PAS* [21] v encimsko obdelovalno kopel dodatno izboljša omenjene lastnosti bombaža, saj se dejavnost encima ne spremeni.

Po celulazni obdelavi bombaža je pričakovati prisotnost pektina v obdelovalni kopeli, hemiceluloze in celuloze. Hemiceluloza [9, 22] je polimer, sestavljen iz glavne linearne verige, ki jo tvorijo z 1,4- β -glikozidnimi vezmi medsebojno povezane D-ksilopiranozne enote, in različnih stranskih verig, ki so lahko heksoze (D-manoze, D-galaktoze in D-glukoze) in/ali pentoze (D-ksiloze, L-arabinoze in L-ramnoze). Popolna razgradnja ksilopiranozne verige poteka s pomočjo različnih (a) *endo-1,4- β -D-ksilanaznih* in (b) *ksilan-1,4- β -ksilosidaznih* (ksilobiase, β -ksilosidaze, ekso-1,4- β -ksilosidaze) ter *1,4- β -D-ksilan-ksilohidrolaznih* encimov, običajno tipa *P. janthinellum* [3].

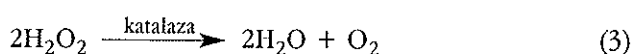
Pri hidrolizi pektina in hemiceluloze je torej pomembno, da zraven galakturonske kisline in njenih oligomerov nastanejo tudi heksoze oz. pentoze. Okarakteriziranje hidroliznih produktov po celulazni obdelavi bombaža [9] (identificiranje mono- in disaharidov, reduciranih substanc ter nevtralnih monosaharidov) je pokazalo, da nastanejo biološko lahko razgradljivi topni sladkorji, pri čemer predstavljajo reducirane substance le manjši delež v izgubi teže tkanine. Izguba teže tkanine je lahko posledica: (i) nastanka oligomerov, (ii) skupaj z bombažnimi substancami odstranjenega nerazgrajenega pektina in (iii) nastanka netopnih delcev vlakna.

Raziskovalci intenzivno preučujejo tudi možnosti vključitve encimov v procese beljenja celuloznih vlaken [4]. Dosedanji poskusi, ki temeljijo predvsem na encimsko katalizni aktivaciji H_2O_2 s **peroksidazo** in **oksidativno lakazo**, niso dali zadovoljivih in uporabnih rezultatov. Kot najboljše encimsko belilno sredstvo, ki ob visoki belini in čistosti daje bombažu tudi pomembno mehkejši otip, se je izkazala **kombinacija gluko-oksidade in gluko-amilaze**. Dolgoročni cilj raziskav je razvoj sistema, v katerem bi obdelavi s H_2O_2 sledila encimska obdelava.

5.1.4 Priprava na barvanje – antioksidacija po beljenju s H₂O₂

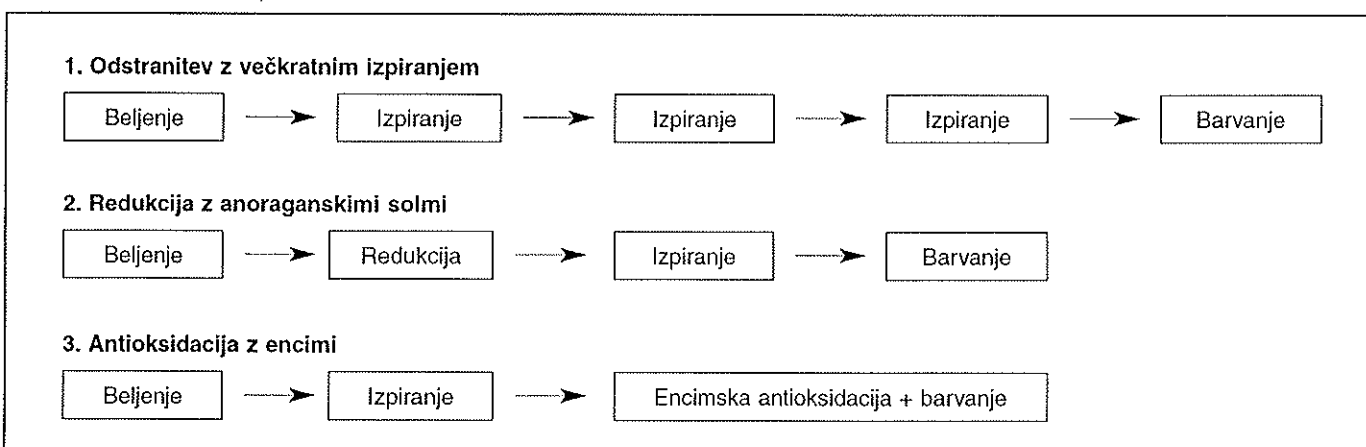
Klasični postopek antioksidacije z večkratnim pranjem pri visokih temperaturah in običajno ob prisotnosti reductentov obremenjuje odpadne vode z žveplovimi solmi (npr. Na₂SO₄, Na₂S₂O₄) in s presežkom reductenta, ki lahko razgradi določena za redukcijo občutljiva barvila.

Encimska antioksidacija po beljenju s H₂O₂ s pomočjo *katalaz* (oksidaz, peroksidaz), kjer encimi ne odstranijo presežka H₂O₂ neposredno, ampak posredno z razgradnjo na vodo in molekularni kisik, je v fazi intenzivnega preučevanja [23]:



Preglednica 3: Ekološke in ekonomske prednosti encimske obdelave [24]

Prednost	Dekahleya		AmirTex
	Delno beljenje	Popolno beljenje	Delno beljenje
Manjša poraba energije	48 %	24 %	45 %
Manjši stroški za kemikalije	40 %	83 %	–
Manjša poraba vode	36 %	50 %	43 %
Krajši čas obdelave	13 %	33 %	29 %



Slika 8: Primerjava klasičnega in encimskega procesa odstranitve H₂O₂

Uporaba katalaze v diskontinuirnih procesih pranja omogoča hiter in kompleten razpad na vlaknu ostajajočega peroksida. Reakcija poteka pri nizkih temperaturah (T = 20–50 °C) kratek čas (t ≤ 20 min) in v alkalnem mediju (pH = 6–10) brez procesa nevtralizacije. Ena molekula encima lahko samo v eni minuti razgradi tudi do okrog 5·10⁶ molekul H₂O₂ v 10⁸ krajšem času glede na klasičen postopek obdelave. Ker je katalaza odporna in stabilna na mehansko obdelavo, tem-

peraturo, pH in prisotnost PAS, lahko v isti kopeli izvajamo tudi kasnejše barvanje tkanine. Katalazna razgradnja H₂O₂ kot enofazni proces nedvomno predstavlja visoko učinkovito, reproduktivno ter ekonomsko in ekološko prijaznejšo različico (preglednica 3) dosedanjemu večfaznemu procesu z nevtralizacijo, antioksidacijo in večkratnim izpiranjem (slika 8) [3, 23].

Nadaljevanje v prihodnji številki. / *To be continued.*