

Značenje katalaza u procesima oplemenjivanja tekstila

Jelena Peran, mag.ing.techn.text.
Prof.dr.sc. **Tanja Pušić**, dipl.ing.
Prof. emeritus **Ivo Soljačić**
Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
Zagreb, Hrvatska
e-mail: tanja.pusic@ttf.hr
Prispjelo 30.4.2016.

UDK 677.017:254.13
Pregled

Enzimi katalaze su vrsta oksidoreduktaza, a primarna uloga im je dekompozicija dvije molekule vodikovog peroksida u vodu i kisik. Zbog te specifične reakcije primjenjuju se u brojnim područjima, poput biomedicine, prehrambene industrije, kemijske i farmaceutske industrije kao biokatalizatori za razgradnju vodikovog peroksida. Primjenu su našle i u tekstilnoj industriji za uklanjanje vodikovog peroksida nakon procesa peroksidnog bijeljenja. U radu su opisane vrste katalaza, mehanizam njihovog djelovanja i područje primjene u oplemenjivanju.

Ključne riječi: enzimi, katalaze, bijeljenje tekstila, razgradnja vodikovog peroksida, oplemenjivanje tekstila

1. Uvod

Posljednjih se godina intenzivno istražuju ekološki prihvatljivi spojevi i napredne tehnologije, sa svrhom unapređenja procesa i usklađivanja sa smjernicama održivog razvoja [1-13]. Enzimi zauzimaju značajno mjesto u procesima oplemenjivanja tekstila kao zamjena za agresivne kemikalije, a procesi u kojima su uključeni su ekološki, energetski i ekonomski povoljniji u usporedbi s tradicionalnim procesima [14-16]. Enzimi su proteini velike molekularne mase i trodimenzionalne strukture. Dobivaju se iz prirodnih izvora, biorazgradljivi su te su u potpunosti sigurni i jednostavni u primjeni [7-9].

Prema vrsti katalitičke reakcije enzimi se mogu podijeliti u 6 skupina [14, 17]:

1. Klasa EC 1: Oksidoreduktaze – kataliziraju reakcije oksidacije i

redukcije. U tekstilnoj industriji mogu se primijeniti katalaze, peroksidaze, katalaze-peroksidaze, glukoza-oksidge, nitrilaze, lakaze i sl.

2. Klasa EC 2: Transferaze - kataliziraju reakcije u kojima dolazi do premještanja različitih grupa sa jedne strane molekule na drugu (npr. aldehidne ili ketonske skupine).

3. Klasa EC 3: Hidrolaze - kataliziraju reakcije u kojima dolazi do hidrolize (cijepanje C-O, C-N, C-C veze i dr.). Ovoj skupini pripada većina enzima koji se primjenjuju u tekstilnoj industriji - proteaze, pektinaze, amilaze, celulaze, lipaze, kutinaze, ksilanaze, najlonaze i esteraze.

4. Klasa EC 4: Liaze – kataliziraju reakcije u kojima se supstrat raspada na dvije komponente (isključujući redoks reakcije i hidrolizu)

te reakcije eliminacije uz stvaranje dvostruke veze ili adicije na dvostruku vezu.

5. Klasa EC 5: Izomeraze – kataliziraju pregradnju unutar molekula (reakcije izomerizacije) pri čemu se uspostavlja ravnoteža između izomera.

6. Klasa EC 6: Ligaze – kataliziraju reakcije u kojima dolazi do nastajanja novih spojeva pomoću energije koja se oslobađa raspadom neke treće komponente.

Unutar pojedinih klasa, enzimi se imenuju prema vrsti supstrata na koje imaju specifično djelovanje [14, 17]. U tab.1. prikazani su neki od enzima koji se primjenjuju u procesima oplemenjivanja tekstila u kojima zamjenjuju toksične kemikalije.

2. Katalaze

Louis Jacques Thénard, profesor na Collège de France, 1818. godine ot-

Tab.1 Enzimi s primjenom u tekstilnoj industriji [8, 14, 17, 18]

Enzim	Primjena	Mehanizam reakcije
α -amilaze	Odškrbljavanje Deterdžent - pranje	Razgradnja škroba do jednostavnih u vodi topljivih šećera, polisaharida, dekstrina i maltoze hidrolizom unutarnje α -1,4-glikozidne veze u škrobu.
Celulaze	Obrada džinsa (<i>stone wash</i>) Iskuhavanje Biopoliranje pamuka (<i>peach skin</i>) Deterdžent - pranje Karbonizacija vune	Uklanjanje pigmentnih prljavština, oživljavanje tona boje na materijalima i povećavanje mekoće uklanjanjem stršećih celuloznih fibrila. Kataliziraju reakcije cijepanja β -1,4-glikozidne veze. Uklanjanje vegetabilnih nečistoća u procesu karbonizacije vune.
Katalaze	Bijeljenje	Dekompozicija vodikovog peroksida nakon bijeljenja: $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
Katalaze - peroksidaze	Obezbojavanje bojila nakon bojadisanja	Oksidacija bojila.
Ksilanaze	Bijeljenje pamuka	Hidroliza linearnog polisaharida β -1,4-ksilana u ksilozu
Kutinaze	Iskuhavanje	Kataliziraju reakciju hidrolize kutina, linearnog polimera masnih kiselina koji je sastavni dio kutikule celuloze.
Lakaze	Obrada džinsa (<i>stone wash</i>) Obezbojenje indigo bojila	Hidroliza, uklanjanje vodikovog atoma iz hidroksilne skupine <i>orto</i> i <i>para</i> supstituiranih mono i polifenolnih supstrata te iz aromatskih amina.
Lipaze	Deterdžent - pranje Modifikacija poliestera	Hidroliza triglicerida u slobodne masne kiseline diglicerida, monoglicerida i glicerola.
Glukoza- -oksidaze	Bijeljenje	Oksidacija glukoze u glukonsku kiselinu i vodikov peroksid.
Pektinaze	Iskuhavanje	Hidroliza pektina polisaharidnog sastava u galakturonsku kiselinu i niže šećere.
Proteaze	Deterdžent - Pranje Obrada vune protiv skupljanja Degumiranje svile Iskuhavanje	Kataliza peptidne veze (-CONH-) u proteinu ili peptidu pri čemu nastaju polipeptidi ili aminokiseline

krio je vodikov peroksid (H_2O_2), danas važan spoj s primjenom u proizvodnji papira i pulpe (50 % ukupne proizvodnje), tekstilnoj industriji, metalurgiji, kemijskoj industriji, medicini, prehrambenoj industriji itd. [19]. Istražujući svojstva novootkrivenog spoja, uvidio je da dodatkom različitih tvari, uključujući i krv, dolazi do dekompozicije vodikovog peroksida uz oslobađanje kisika [20]. Svojstva i mehanizam djelovanja spoja odgovornog za razgradnju H_2O_2 nisu bila poznata do 1900. godine, kada Oscar Loew, istražujući enzime u listu duhana, dolazi do spoznaja koje objavljuje u radu *A New Enzyme of General Occurrence in Organisms*, gdje opisuje svoja istraživanja i novom enzimu dodjeljuje naziv *katalaze* [21]. Daljnja istraživanja se nastavljaju, ali mehanizam djelovanja, svojstva i struktura spojeva nisu razjašnjena [22]. Godine 1937. James B. Sumner i Alexandar L. Dounce prvi puta su izolirali katalazu iz goveđe jetre procesom kristaliza-

cije [23], a godine kasnije izračunata je molekularna masa [24]. Potom je 1969. godine identificiran točan redoslijed aminokiselina [25], a 1981. godine otkrivena trodimenzionalna struktura katalaze [26].

2.1. Struktura i svojstva katalaza

Katalaze pripadaju skupini oksidoreduktaza te se nalaze u živim stanicama mnogih aerobnih i anaerobnih organizama gdje imaju ulogu obrane od reaktivnih oksidativnih vrsta koje nastaju kao produkt metaboličkih procesa. Mogu biti biljnog, bakterijskog i gljivičnog porijekla, te mogu biti male podjedinice enzima iz bakterija, arhabakterija, gljivica i drugih eukariota [27]. Najčešće se dobivaju iz mikroba zbog njihovog brzog razmnožavanja, jednostavnog rukovanja i mogućnosti genetske modifikacije prema željenim svojstvima. S obzirom na fizikalna i biokemijska svojstva, razlikuju se 4 tipa katalaza [28]: a) monofunkcionalne hem katalaze (klasične katalaze);

- b) katalaze - peroksidaze (atipične katalaze);
- c) pseudokatalaze (manganaze katalaze);
- d) niži red katalaza (kloroperoksidaze, bromoperoksidaze, katalaze-fenol oksidaze).

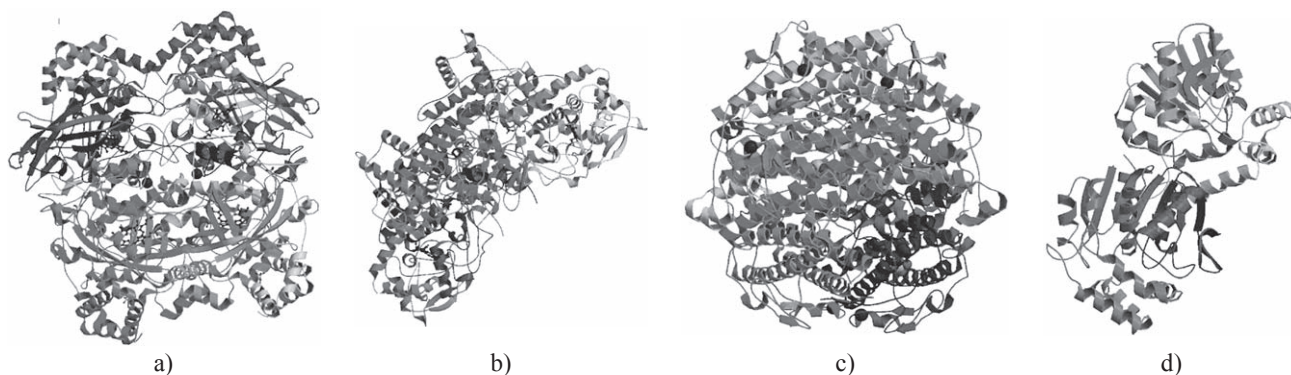
U tab.2 su prikazne bakterijske vrste i gljivice koje proizvode katalaze [27, 28].

Struktura navedenih tipova katalaza prikazana je na sl.1 [28].

Monofunkcionalne hem katalaze (sl. 1a) su klasične katalaze prisutne u životinjama, biljkama i mikroorganizmima. Imaju strukturu tetraedra - građene su od četiri identične podjedinice, pri čemu svaka od njih u aktivnom centru sadrži molekulu hema [29]. Hem je prostetička (aktivna skupina) koja se sastoji od atoma željeza smještenog u centru velikog heterocikličkog organskog prstena porfirina. Upravo je hem skupina odgovorna za katalitičko djelovanje enzima. Molekulska masa iznosi 200 – 340 kDa, a primarna uloga je dekom-

Tab.2 Mikrobi za dobivanje katalaza [27, 28]

Monofunkcionalne hem katalaze			
<i>Emericella nidulans</i>	<i>Helicobacter pylori</i>	<i>Streptomyces coelicolor</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>
<i>Aspergillus niger</i>	<i>Neisseria gonorrhoea</i>	<i>Vibrio fischeri</i>	<i>Haemophilus influenzae</i>
<i>Bacillus firmus</i>	<i>Erinea caratovora</i>	<i>Xanthomonas oryzae</i>	<i>Pseudomonas aureginosa</i>
<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Sinorhizobium meliloti</i>	<i>Xanthomonas campestrisi</i>	<i>Pseudomonas syringae</i>
<i>Brucela abortus</i>	<i>Staphylococcus simulans</i>	<i>Dinococcus radiodurans</i>	<i>Pseudomonas putida</i>
<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Salmonella typhimurium</i>	<i>Bacteroides fragilis</i>
Katalaze - peroksidaze			
<i>Emericella nidulans</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella typhimurium</i>	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
<i>Rhizobium elti</i>	<i>Streptomyces reticuli</i>	<i>Mycobacterium smegmatis</i>	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>
Pseudokatalaze			
<i>Pyrobaculum calidifontis</i>		<i>Salmonella typhimurium</i>	<i>Lactobacillus plantarum</i>
Niži red katalaza			
<i>Streptomyces aureofaciens</i>			

Sl.1 Prikaz trodimenzionalne strukture a) monofunkcionalne hem katalaze dobivene iz *Enterococcus faecalis*, b) bifunkcionalne katalaze – peroksidaze dobivene iz *Mycobacterium tuberculosis*, c) pseudokatalaze dobivene iz *Lactobacillus plantarum* i d) katalaze nižeg reda (kloroperoksidaza) dobivene iz *Streptomyces aureofaciens* [28]

pozicija dviju molekula vodikovog peroksida u vodu i kisik [28, 30]. Reakcija se sumarno može prikazati na sljedeći način:



Reakcija se odvija kroz dva stupnja. U prvom stupnju dolazi do oksidacije katalaze jednom molekulom vodikovog peroksida u spoj I uz nastajanje vode (2). U drugom stupnju dolazi do regeneracije katalaze uz oslobađanje kisika i vode iz druge molekule vodikovog peroksida (3) [17, 28, 30].

Prva katalaza – peroksidaza dobivena je iz *E. coli* 1979. godine, a struktura je definirana 1988. godine [27]. Katalaze - peroksidaze (sl.1b) uglavnom se nalaze u aerobnim bakterijama te imaju molekulska masu u rasponu od 120 do 130 kDa. To su bifunkcional-

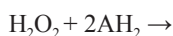
ni enzimi koji se najčešće pojavljuju u dimernom obliku te sadrže hem. Imaju katalitičko i peroksidativno djelovanje [28, 30]. Općenito, kataliziraju peroksidnu reakciju (4) koja



Hem katalaza



Spoj I



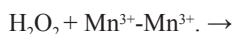
Elektron donor



Spoj I



Spoj II



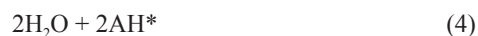
uključuje primjenu organskog elektron-donora (AH₂) za redukciju spoja I. Reakcija se odvija kroz tri stupnja. U prvom stupnju dolazi do oksidacije enzima molekulom vodikovog pe-



Spoj I



Hem katalaza



Slobodni radikal



Spoj II



Hem katalaza



Tab.3 Svojstva katalaza dobivenih iz različitih mikroorganizama [28]

Mikroorganizam	pH/ opt.temp.	Mikroorganizam	pH/ opt.temp.
<i>Bacillus subtilis</i>	4-12/75 °C	<i>Bacillus sp. F26</i>	11,0/20 °C
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	6,3/30 °C	<i>Rhodospirillum rubarum S1</i>	7,0/30 °C
<i>Halobacterium halobium</i>	6,5/50 °C	<i>Oceanobacillus oncorhynchi</i>	9,0/40 °C
<i>Methanosarcina barkeri</i>	4-10/55 °C	<i>Bacillus sp.</i>	9,0/70 °C
<i>Vibrio rumoiensis</i>	6-10/40 °C	<i>Bacillus subtilis 168</i>	8,0/37 °C
<i>Bacillus SF</i>	8-9/60 °C	<i>Thermoascus aurantiacus</i>	6-11/70 °C
<i>Archaeoglobus fulgidus</i>	6,0/70 °C	<i>Beauveria bassiana</i>	7,0/55 °C
<i>Thermus brockianus</i>	8,0/90 °C	<i>Scytalidium thermophilum</i>	7,0/60 °C
<i>Desulfovibrio gigas</i>	7-9/60 °C	<i>Hansenula polymorpha</i>	2,5/45 °C

roksida (2), potom redukcije spoja I u spoj II (5) i konačno do redukcije spoja II u početno stanje hem katalaze (6) [28].

Treća skupina, pseudokatalaze (sl. 1c), naziv dobivaju zbog toga što u svojoj strukturi ne sadrže hem, već mangan. Iz tog razloga nazivaju se još i manganaze katalaze i dimanganaze katalaze. Molekulska masa se nalazi u rasponu od 170 do 210 kDa te nisu toliko rasprostranjene koliko prve dvije skupine katalaza [27, 28]. Oba oksidacijska stanja dimangana su jednako stabilna, stoga se može nalaziti u obliku $Mn^{2+}-Mn^{2+}$ i $Mn^{3+}-Mn^{3+}$. Ako se nalazi u obliku $Mn^{2+}-Mn^{2+}$, vodikov peroksid djeluje kao oksidans (7), a u drugom obliku djeluje kao reducens (8) [27, 28].

U četvrtu, najmanju skupinu katalaza, pripada nekoliko vrsta hem katalaza poput kloroperoksidaza, bromoperoksidaza i katalaze-fenol oksidaza koje imaju slabo katalitičko djelovanje (sl.1d). Kloroperoksidaze se pojavljuju kao monomeri molekulske mase 42 kDa, a katalaze-fenol oksidaze imaju strukturu tetramera molekulske mase 320 kDa te imaju sposobnost oksidacije određenih spojeva na bazi fenola bez prisutnosti vodikovog peroksida [28].

Da bi se mogle primjenjivati u industriji, katalaze moraju biti postojane u velikom rasponu temperatura i pH.

Ovisno o porijeklu, katalaze pokazuju različita svojstva. U tab.3 prikazana su optimalna područja temperature i pH pojedinih vrsta katalaza dobivenih iz različitih mikroorganizama [28].

2.2. Primjena katalaza

Katalaze su našle primjenu u brojnim industrijskim procesima kao biokatalizatori za degradaciju vodikovog peroksida. Konvencionalne metode uklanjanja H_2O_2 uključuju uzastopno ispiranje alkalnim otopinama zbog njegove relativne slabe stabilnosti pri visokim vrijednostima pH. No ovaj postupak uključuje veliku potrošnju vode, što je ekološki problem. Primjenjuje se i postupak primjene redukcijskih sredstava poput natrijevog tiosulfata, $Na_2S_2O_3$ (9), natrijevog hipoklorita, $NaOCl$ (10) i natrijevog sulfita, Na_2SO_3 (11), ali ovi postupci rezultiraju nastajanjem velikih količina soli [30, 31].

Katalaze su se pokazale kao izvrsna, ekološki prihvatljiva alternativa konvencionalnim procesima razgradnje vodikovog peroksida [30]. U optimalnim uvjetima jedan mol katalaza može razgraditi 500 milijuna mola vodikovog peroksida u minuti [14]. Svoju primjenu našle su u sljedećim područjima [28, 30]:

- medicina: biomedicina i klinička dijagnoza, inhibicija metastaze tu-

mora, zaštita od akutnih oksidativnih ozljeda u tkivu pluća i dr.;

- biosenzori za detekciju vodikovog peroksida,;
- prehrambena industrija: sprječavanje oksidacije i kvarenja hrane, uklanjanje vodikovog peroksida tijekom pasterizacije mlijeka, detekcija kalcija u mlijeku i vodi;
- kemijska i farmaceutska industrija: katalizatori u proizvodnji različitih kemijskih spojeva;
- tekstilna primjena: uklanjanje vodikovog peroksida nakon procesa bijeljenja;
- drugo: uklanjanje peroksida iz otopine za čišćenje kontaktnih leća, biokorozija metala i dr.

2.3. Primjena katalaza u tekstilnoj industriji

Bijeljenje vodikovim peroksidom jedan je od najčešćih načina bijeljenja prirodnih vlakana [32, 33]. Nakon provedenog procesa potrebno je provesti temeljito ispiranje kako bi se uklonio ostatak neizreagirano vodikovog peroksida koji može nepovoljno utjecati na proces bojadisanja. Da bi se izbjegla velika potrošnja vode, uveden je postupak uklanjanja vodikovog peroksida primjenom katalaza [14, 33]. Razvijeno je nekoliko postupaka primjene, a najčešći postupak uključuje izdvajanje kupelji primijenjene u postupku bijeljenja i dodatak vode sa sadržajem katalaza u kojoj se obrađuje izbijeljeni materijal [33]. Drugi postupak uključuje dodatak katalaza direktno u kupelj za bijeljenje i upotrebu te iste kupelji u procesu bojadisanja. Ovaj postupak je prihvatljiv jer katalaze imaju specifično djelovanje samo s vodikovim peroksidom, no potrebno je pažljivo dozirati bojilo, soli i alkalne sastojke te točno odrediti potrebnu količinu enzima kako bi se izbjegao utjecaj na ton boje u procesu bojadisanja [34, 35]. Razvijeno je i jednokupeljni postupak odškrobljavanje-bijeljenje-bojadisanje koji se temelji na primjeni enzima – amilaze za odškrobljavanje, glukoza-oksidaze za bijeljenje i katalaze za uklanjanje ostatka vodikovog



peroksida. Ovim postupkom postiže se znatno smanjenje potrošnje štetnih kemikalija te ušteda vode i energije, u usporedbi s konvencionalnim postupcima odškrobljavanja, iskuhavanja, bijeljenja i bojadisanja [36]. Primjer konvencionalne katalaze koja se primjenjuje u procesu uklanjanja peroksida je *Terminox Ultra* koja se proizvodi iz gljivice *Scytalidium thermophilum*. Dolazi u obliku koncentrirane tekućine smeđe boje. Primjenom enzima postiže se smanjenje potrošnje energije za oko 48 %, potrošnje kemikalija za oko 83 %, potrošnja vode za oko 50 % te se skraćuje vrijeme obrade za 33 % [37]. Na temperaturi 70 °C dolazi do naglog pada aktivnosti katalaze za oko 95 % u odnosu na početnu aktivnost u prvih 8 sati, a zadržava gotovo punu aktivnost na 35 °C nakon 30 sati. U odnosu na početnu vrijednost, aktivnost se smanjuje za samo 4 % [37]. S obzirom na rezultate ispitivanja preporučuje se primjena katalaze pri temperaturama do 50 °C. Ovaj enzim postojan je pri višim vrijednostima pH, te prema *Subramanian, M. et al.* [32] pokazuje visoku aktivnost u rasponu pH 9 – 10,5 što odgovara pH vrijednosti kupelji nakon procesa bojadisanja. To omogućuje dodatak enzima direktno u kupelj nakon bijeljenja, bez prethodnog izdvajanja kupelji i ispiranja. Drugi primjer komercijalne katalaze je *Oxy-gone®T400* tvrtke Genecor International Inc. Prema tvrdnjama proizvođača *Oxy-gone®T400* je robusna, termostabila enzimatska tekućina aktivna u širokom rasponu temperatura (30 – 70 °C) i pH vrijednosti te njezina primjena ne utječe na ton bojila [38, 39].

2.4. Stabilnost katalaza

Za industrijsku primjenu katalaze moraju biti stabilne u širokom rasponu temperatura i pH, ali i u uvjetima dugotrajnog skladištenja. Do deaktivacije enzima dolazi denaturiranjem proteina, a uzročnici mogu biti promjene čimbenika okoliša poput temperature, pH i tlaka te utjecaj vlage i mikrobiološka kontaminacija. Kako

je već spomenuto, ovisno o porijeklu, odnosno izvoru dobivanja, katalaze pokazuju različita svojstva. Provedena su mnoga istraživanja sa svrhom povećavanja stabilnosti katalaza pri visokim vrijednostima temperature i pH. Stabilizacija enzima može se postići kemijskim modifikacijama, primjenom termostabilnih enzima, genetskim modifikacijama, imobilizacijom i primjenom različitih aditiva [40].

Istražen je utjecaj različitih sredstava na stabilnost katalaze dobivene iz bakterije *Bacillus Sp.* koja pokazuje najveću aktivnost u temperaturnom rasponu 20 – 50 °C i pH 6 – 8 [40]. Utjecaj sredstava poput polietilen glikola, glicerola, poliola na aktivnost katalaze ispitan je u različitim uvjetima skladištenja (pH 7, T = 30 °C/ 4 °C, pH 10 – 12 i T = 60 °C/ 70°C). Također, ispitan je utjecaj pH i temperature na aktivnost enzima uz dodatak različitih sredstava. Rezultati potvrđuju da dodatak svih primijenjenih sredstava već u niskim koncentracijama doprinosi povećanju stabilnosti katalaza u uvjetima skladištenja pri čemu su se polioli pokazali kao najučinkovitija sredstva. Također, primjena aditiva utjecala je na pomak enzimatske aktivnosti u područje viših vrijednosti temperature i pH, a kao najučinkovitije sredstvo pokazao se glicerol. Ipak, potrebno je uzeti u obzir da izbor aditiva ovisi o vrsti katalaze, stoga je preliminarno ispitivanje poput ovoga potrebno provesti za svaku vrstu katalaze zasebno.

Uz visoku stabilnost katalaza, za primjenjivost u industriji postavlja se zahtjev uporabe primijenjenog enzima i njegova ponovna primjena. U tu svrhu provodi se imobilizacija enzima. Imobilizacija je postupak vezivanja topljivog enzima na različite vrste podloga, što rezultira smanjenjem mobilnosti enzima. Kao podloga za vezivanje katalaza u procesu imobilizacije mogu se primijeniti različiti organski i anorganski materijali [41]. Katalaze su uspješno imobilizirane na aluminijskim i ugljikovim podlogama, poliakrilamidnim podlogama,

celulozi, silikonskim gelovima i hidrogelovima [41, 42]. Proveden je proces imobilizacije katalaze dobivene iz *Bacillus sp* na aluminijsku podlogu koju karakterizira visoka stabilnost pri visokim temperaturama i pH [42]. Imobiliziranu katalazu primijenili su u procesu uklanjanja vodikovog peroksida te je ista kupelj upotrijebljena za bojadisanje pamučnih tkanina reaktivnim bojilom *Reactive Blue 198* (monoklorotriazinsko bojilo). Uspješno je vezano 93 % enzima na aluminijsku podlogu, pri čemu je očuvano 87 % aktivnosti katalaze. Rezultati pokazuju da primjenom slobodnog enzima dolazi do promjene tona obojenja na tkaninama, što se može pripisati reakcijom proteina iz enzima s reaktivnim bojilom. Primjenom imobiliziranog enzima također dolazi do male promjene tona obojenja, ali rezultati su unutar prihvatljivih granica. Vidljivo je da se imobilizacijom enzima mogu postići dodatne uštede u pogledu smanjenja potrošnje vode, energije, ali i cijene koštanja kemikalija. Pogotovo se prikladnim pokazala primjena tekstilnih materijala kao podloge za vezivanje enzima zbog niske cijene podloge te jednostavnog uklanjanja iz reakcijske kupelji bez potrebe za filtracijom. *Opwis, K. et al.* uspješno su kovalentno imobilizirali katalazu dobivenu iz govede jetre na tkanine od polietilentereftalata i poliamida 6.6 fotokemijskim procesom uz prisustvo umreživača [43]. Čak i nakon 20 ponovnih primjena imobilizirani enzim je sačuvao svoju aktivnost, čime se potvrđuje odlična prikladnost tekstila kao podloge za enzime.

3. Zaključak

Oplemenjivanje tekstila ima značajno mjesto u procesu proizvodnje tekstilnih proizvoda. U skladu s koncepcijom održivog razvoja i smjernicama u zaštiti okoliša, razvijaju se nove tehnologije i pristupi u procesima oplemenjivanja tekstila koji uključuju razvoj tehnologija za smanjenje potrošnje vode, postupaka suhog

oplemenjivanja, razvoj tehnologija za uštedu energije te primjenu enzima. Enzimi se mogu primjenjivati u gotovo svim postupcima oplemenjivanja tekstila kao alternativa agresivnim kemikalijama. Katalaze se primjenjuju u procesu uklanjanja vodikovog peroksida iz kupelji nakon bijeljenja. U optimalnim uvjetima jedan mol katalaza može razgraditi 500 milijuna mola vodikovog peroksida u minuti. Katalaze su izvrsna alternativa kemikalijama koje se uobičajeno primjenjuju za razgradnju vodikovog peroksida, a njihovom primjenom postiže se smanjenje troškova za kemikalije, potrošnja vode i energije.

Literatura:

- [1] Arputharaj A., A.S.M. Raja, S. Saxena: Developments in Sustainable Chemical Processing of Textiles, in Green Fashion (Eds.) Muthu, S.S., Gardetti, M.A., Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes, Springer Science+Business Media Singapore 2016, 217-252
- [2] Gunasekar, V., Ponnusami, V.: Eco-friendly Textile Dyeing Processes, in Hydrogen Production and Remediation of Carbon and Pollutants (Eds.) Lichtfouse, E. et al., Environmental Chemistry for a Sustainable World 6, Springer International Publishing Switzerland 2015, 255-287
- [3] Ren, X.: Development of environmental performance indicators for textile process and product, *Journal of Cleaner Production*, 8 (2000), 473-481
- [4] Parac-Osterman, Đ., Sutlović, A.: Analiza otpadnih voda praonica s osvrtom na ekološku prihvatljivost, radionica FP7 projekta SMILES: Uloga inovacija s naglaskom na sektore tekstila/odjeće i informatičkih tehnologija, dostupno na 431122.SMILES_Zaton_Parac_Sutlovic.pps
- [5] Wang, Z., Huang, K., Xue, M., Liu, Z.: Textile dyeing wastewater treatment, in *Advances in Treating Textile Effluent*, (Ed.), Peter Hauser, InTech, 2011, 91-116
- [6] Hasanbeigi, A., Price, L.: Review of Energy Use and Energy Efficiency Technologies for the Textile Industry, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012), 3648-3665
- [7] Doshi, R., Shelke, V.: Enzymes in textile industry – An environment-friendly approach, *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 26 (2001), 202-205
- [8] Shaikh, M.A.: Enzymes: A reevaluation in textile processing, *Pakistan Textile Journal*, 2010, 48-51
- [9] Kirk, O., Borchert, T.V., Fuglsang, C.C.: Industrial enzyme applications, *Current Opinion in Biotechnology*, 13 (2002), 345-351
- [10] Soljačić I, T. Pušić: Textiles and ecology, *Colourage* 59 (2012) 4, 33-41
- [11] Montero, G. A., Smith, C. B., Hendrix, W. A., Butcher, D. L.: Supercritical fluid technology in textile processing: an overview, *Industrial & engineering chemistry research*, 39 (2000) 12, 4806-4812
- [12] Samanta, K.K., Basak, S., Chattopadhyay, S.K.: Environment-Friendly Textile Processing Using Plasma and UV Treatment, in *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*, S.S. Muthu (Ed.), Textile Science and Clothing Technology, Springer Science+Business Media Singapore 2014, 161-201
- [13] El-Dessouky, H.M.: Novel surface treatments for high performance textiles, in *High Performance Textiles and Their Applications*, C.A. Lawrence (Ed.), Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute, UK, 2014, 70-90
- [14] Choudhury, A.K.R.: Sustainable Textile Wet Processing: Application of Enzymes, in *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*, S.S. Muthu (Ed.), Textile Science and Clothing Technology, Springer Science+Business Media Singapore 2014, 203-238
- [15] Zulić, D., Grancarić, A.M.: Alkalne pektinaze za iskuhavanje pamuka, *Tekstil*, 51 (2002) 3, 128-135
- [16] Grancarić, A.M. i sur.: Utjecaj obrade pamuka alkalnim pektinazama na prošivljivost pamučnog pletiva, *Tekstil*, 2001., 50 (2): 55-62
- [17] Cavaco-Paulo, A., Gübitz, G.M.: *Textile processing with enzymes*, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England, 2003.
- [18] Peran, J., Pušić, T.: Enzimi – bioinovatori u pranju rublja, *Tekstil* 62 (2013) 7-8; 329-337
- [19] Claus-Dieter, K., Wagner, T.: *Gas Sensing Fundamentals*, Springer, 2014.
- [20] Stock, J.T., Stuart, J.D.: The Decomposition of Hydrogen Peroxide by Blood. George Senter's Discovery of the Enzyme Involved, *Bull. Hist. Chem*, 30 (2005) 1, 113-117
- [21] Loew, O.: A New Enzyme of General Occurrence in Organisms, *Science, New Series*, 11 (1900) 279, 701-702
- [22] May, D.W.: Catalase, a New Enzyme of General Occurrence, *Science, New Series*, 14 (1901) 360, 815-816
- [23] Sumner, J.B., Dounce, A.L.: Crystalline Catalase, *J. Biol. Chem*, (1937) 121, 417-424
- [24] Sumner, J.B., Gralén, N.: The Molecular Weight of Crystalline Catalase, *J. Biol. Chem*, (1938) 125, 33-36
- [25] Schroeder W.A. et al.: The Amino Acid Sequence of Bovine Liver Catalase: A Preliminary Report, *Arch Biochem Biophys*, 2 (1969) 131, 653-655
- [26] Murthy, M.R.N. et. al.: Structure of Beef Liver Catalase, *J. Mol. Biol.*, (1981) 152, 465-499
- [27] Chelikani, P., Fita, I., Loewen, P.C.: Diversity of Structures and Properties Among Catalases, *CMLS, Cell. Mol. Life Sci*, 61 (2004), 192-208
- [28] Sook B.S. et al: Recent Insights into Microbial Catalases: Isolation, Production and Purification, *Biotechnol Adv*, 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.09.003>
- [29] Scibior, D., Czczot, H.: Catalase: Structure, Properties, Functions, *Postępy Hig Med Dosw. (online)*, (2006) 60, 170-180
- [30] Lončar, N., Fraaije, M.W.: Catalases as Biocatalysts in Technical Applications: Current State and Perspectives, *Appl Microbiol Biotechnol*, (2015) 99, 3351-3357

- [31] Liu, W. et al.: Optimal Methods for Quenching H₂O₂ residuals prior to UFC testings, *Water research* 37 (2003), 3697-3703
- [32] Subramanian, M., Kannan, S., Nithyanandan, R.: Enzymatic application for bleach cleanup, *Indian Textile Journal*, 118 (2008) 5, 36-40
- [33] Farr, J.P., Smith, W.L., Steichen, D.S.: Bleaching Agents, in *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley & Sons Ltd., New York, 2003, 43-81
- [34] Tzanov et al.: Dyeing With Enzymatically Treated Bleaching Effluents, *AATCC Review*, 1 (2001) 10, 25-28
- [35] Tzanov, T. et al.: Effect of temperature and bath composition on the dyeing of cotton with catalase-treated bleaching effluent, *Coloration Technology*, 117 (2001) 3, 166-170
- [36] Eren, H.A., Anis, P., Davulcu, A.: Enzymatic One-bath Desizing – Bleaching – Dyeing Process for Cotton Fabrics, *Textile Research Journal*, 78 (2009) 12, 1091-1098
- [37] Milek, J., Wójcik, M., Vershelde, W.: Thermal Stability for the Effective Use of Commercial Catalase, *Polish Journal of Chemical Technology*, 16 (2016) 4, 75-79
- [38] http://primagreen.dupont.com/fileadmin/user_upload/live/primagreen/documents/Textiles_Product_List_for_Textile_Processing.pdf, preuzeto 18. ožujka 2016., dostupno na: <http://primagreen.genencor.com/>
- [39] <http://www.fibre2fashion.com/sustainability/genencor/product.asp>, preuzeto 18. ožujka 2016.
- [40] Costa, S.A. et. al.: Studies of Stabilization of Native Catalase Using Additives, *Enzyme and Microbial Technology* 30 (2002), 387-391
- [41] Soares, J.C. et. al.: Application of Immobilized Enzyme Technologies for the Textile Industry: a Review, *Biocatalysis and Biotransformation*, 29 (2011) 6, 223-237
- [42] Paar, et. al.: Thermo-alkali-stable Catalases from Newly Isolated *Bacillus* sp. for the Treatment and Recycling of Textile Bleaching Effluents, *Journal of Biotechnology*, 89 (2001), 147-153
- [43] Opwis, K. et. al.: Photochemical Enzyme Immobilization on Textile Carrier Materials, *Eng. Life Sci.*, 5 (2005) 1, 63-67

SUMMARY

The significance of catalases in textile finishing processes

J. Peran, T. Pušić, I. Soljačić

The enzymes catalases are kind of oxidoreductases primarily aimed for decomposition of two molecules of hydrogen peroxide to water and oxygen. As biocatalysts in the decomposition of hydrogen peroxide are applied in many fields, such as biomedical sciences, food industry, chemical and pharmaceutical industries. Specific application in the textile industry covers the removal of hydrogen peroxide after the process of peroxide bleaching. The paper describes types of catalases, reaction mechanisms and scope in the finishing processes.

Key words: enzymes, catalases, hydrogen peroxide decomposition, textile bleaching, textile finishing

University of Zagreb, Faculty of Textile Technology

Zagreb, Croatia

e-mail: tanja.pusic@ttf.hr

Received April 30, 2016

Die Bedeutung von Katalasen in Textilveredelungsprozessen

Die Katalaseenzyme sind eine Art von Oxidoreduktasen. Sie spielen eine primäre Rolle beim Abbau von zwei Wasserstoffperoxidmolekülen zu Wasser und Sauerstoff. Aufgrund dieser spezifischen Reaktionen werden sie in vielen Bereichen, wie zum Beispiel in biomedizinischen Wissenschaften, Lebensmittelindustrie, chemischer und pharmazeutischer Industrie als Biokatalysatoren für den Abbau von Wasserstoffperoxid angewendet. Die spezifische Anwendung in der Textilindustrie umfasst die Entfernung von Wasserstoffperoxid nach dem Prozess der Peroxidbleiche. Der Artikel beschreibt Arten von Katalasen, Reaktionsmechanismus und Einsatzbereich in Veredelungsprozessen.