

UDK (UDC): 676.064.1:930.25

Tipologija: 1.09 Objavljeni strokovni prispevek na konferenci

Category: 1.09 Published Professional Conference Contribution

Marjeta Čerňič\*

## KEMIJSKA IN FIZIKALNA RAZGRADNJA PAPIRJA IN DOKUMENTA

### Izvleček:

Ohranjanje dokumentnega gradiva na papirju je odvisno od kakovosti surovin, ki sestavljajo papir in zapis, od tehnologije izdelave nosilca in zapisa ter od pogojev hranjenja gradiva. V prispevku bomo predstavili mehanizme kemijske in fizikalne razgradnje vlaken in papirja ter vplive novejših postopkov tiskanja na trajnost in obstojnost dokumentnega gradiva. Življenjsko dobo dokumenta povečata tako kemijska kot fizikalna obstojnost papirja in tako ločimo pojma trajnost in obstojnost, ki se med seboj dopolnjujeta ter večkrat tudi prepletata, zato pa je potrebno določiti njuno medsebojno povezavo. Trajnost se nanaša na ohranjanje kemijsko-fizikalnih lastnosti sestavin ob učinkovanju zunanjih dejavnikov v daljšem obdobju, medtem ko se obstojnost nanaša na procese razgradnje, ki jih pospešuje uporaba v različnih neugodnih okoljih in je odvisna predvsem od fizikalno-mehanskih lastnosti papirja in dokumenta. Pri ohranjanju dediščine na papirju je za dokumentno gradivo trajne vrednosti uporaba trajnejših vrst papirja in sredstev, s pomočjo katerih zapisujemo vsebino za ohranitev dediščine zanamcem nujna, ekonomsko opravičljiva in ekološko naravnana.

### Ključne besede:

trajnost in obstojnost papirja in dokumenta, razgradnja vlaken in papirja, digitalne tehnike tiska, ohranjanje kulturne dediščine na papirju.

### Abstract:

#### *Chemical and Physical Degradation of Paper and Document*

Preservation of paper documents depends on the quality of raw materials, which comprise paper and documents, on production technology of carriers and documents, and on the type of application, preservation and storage conditions. Mechanisms of chemical and physical degradation of fibers and paper, and the influence of newer non-conventional printing techniques on permanence and durability of paper and documents, will be presented in the article. Chemical and physical durability of fiber and paper prolong the lifespan of documents, therefore we distinguish between terms permanence and durability, which supplement each other. The terms "permanence" and "durability" are used to describe the longevity of paper. The permanence of paper/board depends on the chemical resistance of its components and on the influence of external factors. Durability depends mainly on the physical and mechanical characteristics of principal raw materials - fibers, fillers, sizing agents, additives - and on contamination from the environment, the effect of light, heat, humidity and microorganisms. In the case of archives, the use of permanent paper and recording is economically justified, ecologically regulated and absolutely necessary for the preservation of written and printed cultural heritage on paper.

### Key words:

permanence and durability of paper and documents, degradation of fiber and paper, non-conventional printing techniques, preservation of cultural heritage on paper.

\* Dr. Marjeta Čerňič, Inštitut za celulozo in papir Ljubljana, Bogiščeva 8, SI-1000 Ljubljana, Slovenija.

## 1 UVOD

*“Only on paper has humanity yet achieved glory, beauty, truth, knowledge, virtue, and abiding love.”*

*George Bernard Shaw [Waters 1983]*

Kljub temu, da je bilo v zadnjih desetletjih na področju prenosa informacij mnogo revolucionarnih sprememb, ostaja dokument na papirju v primerjavi z novjšimi nosilci informacij in zapisov na elektronskih medijih še vedno trajnejši in bolj obstojen. Trajnost novjših nosilcev informacije, kot so zvočni in optični diski ter slikovni trakovi, je največ deset do dvajset let, precej višja - do dveh stoletij - je za mikrofilm, vendar ni odvisna le od trajnosti nosilca, ampak v veliki meri od ustrezne opreme za uporabo, ki mora biti dostopna tudi v prihodnosti [Jensen 1993]. Trajnost analognih dokumentov je odvisna od lastnosti materialov, pogojev hranjenja in opreme za uporabo in hrambo, medtem ko je trajnost digitalnih informacij poleg opisanega v veliki meri omejena z razpoložljivo računalniško opremo.

Papir tudi v prihodnosti ostaja eden pomembnejših prenašalcev in nosilcev pisne, risane in tiskane kulturne dediščine. Vendar tudi papir ni večen, saj je izdelan iz nestabilnih organskih surovin in tako bolj ali manj podvržen staranju - njegove lastnosti so časovno spremenljive, kakovost za uporabo je časovno omejena. Staranje dokumentov na papirju je hitrejše ali počasnejše, odvisno od kakovosti surovin, ki sestavljajo papir, od kakovosti surovin, ki sestavljajo zapis, od tehnologije izdelave nosilca in zapisa ter od načina uporabe in pogojev hranjenja vseh vrst gradiva. Zaščita pisne, tiskane in risane kulturne dediščine na papirju pomeni zelo kompleksno in široko problematiko o vplivu notranjih in zunanjih dejavnikov na staranje gradiva. Zahteva čim boljše sodelovanje vseh udeleženi v procesu izdelave dokumenta, od proizvajalcev papirja in grafične dejavnosti do uporabnikov v arhivih, knjižnicah, muzejih, ob ustrezni podpori vladnih ustanov [Černič Letnar 1991, Černič Letnar *et al* 1995].

## 2 MORFOLOŠKA IN KEMIJSKA STRUKTURA VLAKEN IN PAPIRJA

Najpomembnejša surovina za proizvodnjo papirja so vlaknine, ki jih razvrščamo po izvoru, kemični sestavi, lastnostih in namenu uporabe. Z izbiro vlaknin dosežemo želeno kakovost in uporabnost papirja. Morfologija vlaken se nanaša na obliko, strukturo, površinske značilnosti in prečni prerez. Mehanske, fizikalne in kemijske lastnosti papirja so določene s kemijsko sestavo, strukturo, morfologijo in tehnološkimi postopki pridobivanja vlaken [Papier Chemie...2003, Retulainen *et al* 1998, Černič Letnar 2003, Černič 2009].

Rastlinska vlakna lesa in enoletnih rastlin nastanejo v naravi pri procesu fotosinteze. Osnovna sestavina celičnih sten, ki nastane v rastlinskih celicah pri fotosintezi, je celuloza. Nahaja se v vseh rastlinah, zato je v naravi najbolj razširjena organska spojina. Ogljikov dioksid iz zraka se ob prisotnosti sončne svetlobe povezuje z vodo, pri čemer nastajajo ogljikovi hidrati:  $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + (\text{svetloba, klorofil}) = \text{C}_6 \text{ H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$  [Smook 1982].

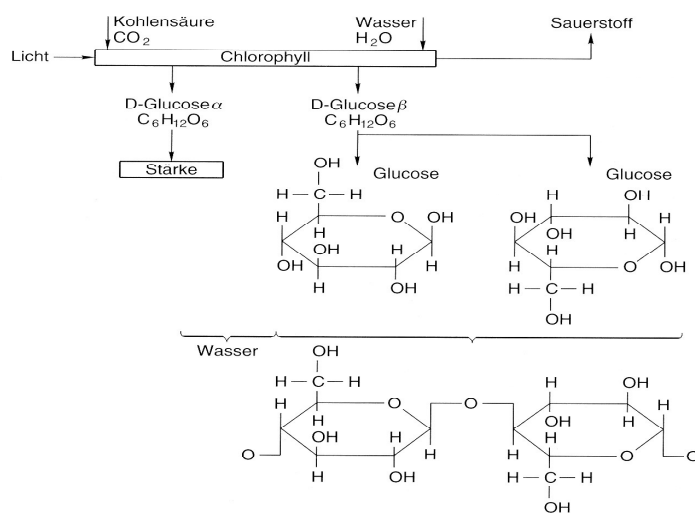


Abb. 1.3a Aufbau zu einem Polysaccharid-Makromolekül Polymerisationsgrad bei Fichtenholz ca 1550

*Schematski prikaz nastanka makromolekule poligljkovodikov [Staberock 1999]*

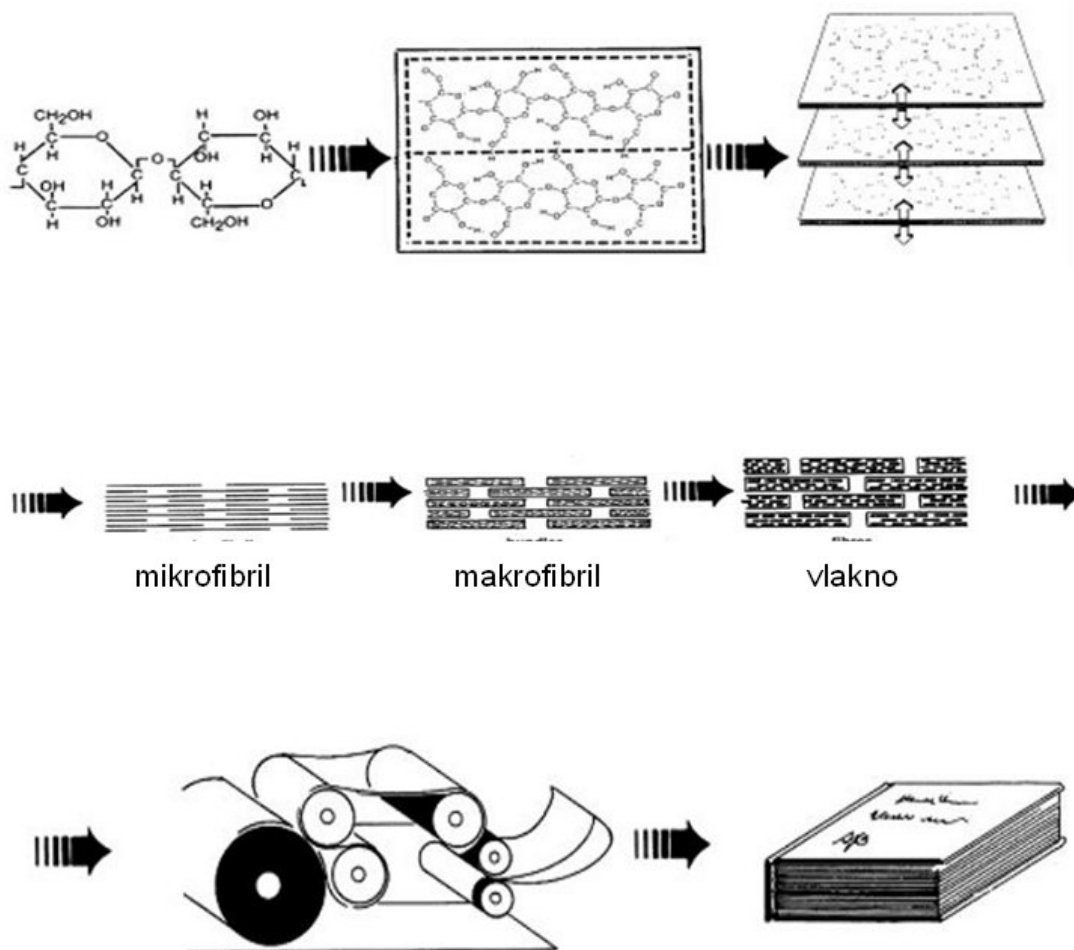
Celuloza predstavlja v rastlinah skeletno substanco, ki je sestavljena iz monosaharida  $\beta$ -D-glukoze, v katerega pri hidrolizi tudi razpade. Je naravni linearni polimer (polisaharid), sestavljen iz D-glukoznih enot. Iz  $\alpha$  glukoze nastane škrob, medtem ko iz  $\beta$  glukozne enote celuloza. Ta se v lesu in enoletnih rastlinah ne nahaja v čistem stanju, ampak jo spremljajo predvsem lignin in strukturno slične hemiceluloze, ki jih moramo v postopku pridobivanja celuloznih vlaken odstraniti. Najbolj čista celuloza se nahaja v semenskih laseh bombažnih vlaken, do 99 % [Černič 2008, Bukošek 1998].

Naravna in kemična vlakna so po zgradbi polimeri, sestavljeni iz majhnih ponavljajočih se enot, monomerov. Primarna struktura polimerov je določena z vrsto in vrstnim redom monomerov. Polimeri v celuloznih vlaknih so organskega izvora, zato se kot osnovna atoma pojavljata ogljik in vodik, lahko pa se pojavljajo še kisik, dušik, žveplo in nekateri halogeni elementi. Atomi ogljika, vodika in kisika pri povezovanju oblikujejo enote  $\beta$ -D glukoze, ki se povezujejo v dolge neskončne verige molekule celuloze z dvema vrstama kemijskih vezi.

Osnovna močna vez je *kovalentna vez*, ki povezuje molekule glukoze v celulozno verigo, medtem ko slabšo ponazarja *vodikova vez*, ki je pomembna pri povezovanju celuloznih verig pri oblikovanju papirnega lista. V mehanizmu vezave so vključene tudi Van der Waalsove sile, ker pa je privlačnost med molekulami majhna, učinkujejo le na kratkih razdaljah. Verigo celuloznih molekul, ki sestoji iz 3000 do 5000 glukoznih enot in se oblikuje prek vodikovih vezi, pri povezovanju v plasti prek Van der Waalsovih sil imenujejo mikrofibrili.

Geometrija kratkih vezi C-H zmanjša razdaljo med plastmi, zato se jakost Van der Waalsovih sil močno poveča in je obratno sorazmerna 6-kratni jakosti medmolekulske razdalje. Mikrofibrili imajo zelo dobro povezavo med seboj in med

plastmi, vsaka nenatančnost v prvi stopnji povezave oziroma kristalizacije vpliva na slabšo stopnjo povezovanja. Pri mešanju celuloznih vlaken z vodo in kemijskimi sredstvi vlakna razvlaknimo v suspenzijo in pretočimo prek sita, da se oblikuje papirni list. Nastale liste papirja stisnemo, odstranimo vodo in sušimo pri končnem oblikovanju papirja, kot je prikazano na sliki 2.



*Shematski prikaz nastanka izdelka iz papirja: od strukture celulozne verige, nastanka mikrofibrilov, makrofibrilov, fibrilov in vlakna do papirnega lista in končnega izdelka oz. knjige [Archival Papers 2006]*

## 2.1 MEHANIZMI KEMIJSKE IN FIZIKALNE RAZGRADNJE VLAKEN IN PAPIRJA

Lesna vlakna in ostali lignocelulozni materiali (celuloza, hemiceluloze in lignin) so v širokem območju izpostavljeni kemijskim spremembam, ki so odvisne od pogojev reaktivnega okolja. Lastnosti celuloznih vlaken so odvisne od izvora, kemijske sestave, nadmolekulske strukture, morfologije in stopnje degradacije. Reakcija kemijske razgradnje poteka na vseh stopnjah nadmolekulske strukture, na obrobju kristalinitnih področij in v amorfni področjih celuloznega polimera med miceli, v mikrofibrilu in v makrofibrilu znotraj celične stene. Stopnja poškodbe pri učinkovanju kisline, alkalij in ostalih kemičnih sredstev je odvisna od dostopnosti

celulozne molekule v celični steni vlakna. Lignin, ki je hidrofobnega značaja, deluje kot zadrževalec, hemiceluloze pa zaradi hidrofilnih lastnosti pospešujejo sorpcijo vode in vodnih raztopin. Dostopnost celuloznih molekul za razgradnjo je v največji meri odvisna od razmerja med amorfnimi in kristalinitnimi področji [Hon 1986]. Na degradacijo celuloze, hemiceluloz in lignina v kisljih, alkalnih in oksidativnih pogojih vplivajo kemijski in fizikalno-kemijski mehanizmi učinkovanja. Razgradnja je definirana kot sprememba lastnosti v kemijski strukturi ali v fizikalnih lastnostih, ki jih lahko bolj kot kemijski razgradnji v postopku pridobivanja vlaken pripišemo zmanjšanju mehanskih jakosti v postopku izdelave papirja. Fizikalno-mehanske poškodbe celuloznih vlaken so posledica sprememb, ki izhajajo iz kemijske razgradnje pri cepljenju celulozne verige v manjše delce. Kemijska razgradnja je lahko kislja hidroliza, oksidativna, alkalna, toplotna, svetlobna in mikrobiološka ali encimatska razgradnja [Wathen 2006].

Degradacijski procesi celuloznih vlaken so odvisni od izvora celuloznih vlaken in od pogojev hidrolitskega procesa, ki vplivajo na preoblikovanje kristalinitne strukture. Raznolika degradacija je opisana z dvema različnima fazama: začetni hitri reakciji sledi počasen proces, ki ga lahko zasledujemo z izgubo masnega deleža pri oblikovanju topne snovi ali s spremembo stopnje polimerizacije (SP) v ostanku celuloznih vlaken. Začetna faza kaže majhno raztapljanje celuloze in ostro zmanjšanje SP, ki je pokazatelj degradacije v amorfnih področjih, ki se z lahkoto razgradijo, in je odvisna od pogojev hidrolize oz. koncentracije kisljih snovi in temperature. Začetni potek hidrolize amorfnih delov je na splošno enkrat do dvakrat večji kot v kristalinitnem delu. Lesna celulozna vlakna hidrolizirajo dvakrat hitreje kot celulozna vlakna bombaža, ki pa imajo manj kristalinitnih področij kot lanena. Bombažna vlakna vsebujejo do 99 % čiste celuloze in so kristalinitna od 60 do 70 %, medtem ko je *laneno vlakno* zelo togo in se močno upira upogibanju, ker je kristalinitnost 90 %. Zato se v fragmentih starih dokumentov laneni delci vlaken ohranijo veliko dlje, medtem ko se bombažni deli vlaken že razkrojijo. *Hemiceluloze* so amorfne strukture, ker vsebujejo številne neglukozne enote, dosegaajo višjo reaktivnost in se lahko selektivno odstranijo iz lignoceluloznih snovi. Rezultat reakcije je znižanje SP celuloze in hemiceluloz, ki so v primerjavi z ligninom veliko manj odporne proti degradaciji.

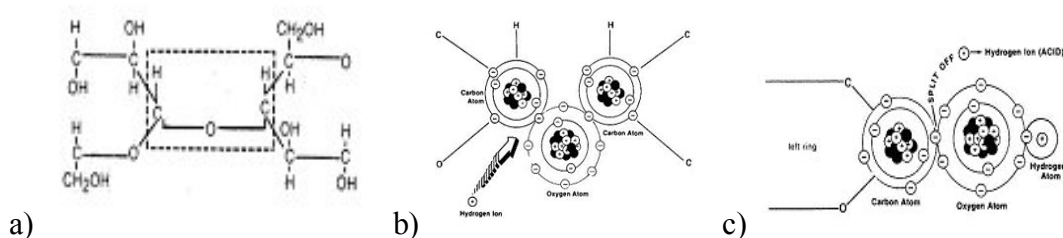
*Alkalna razgradnja* celuloznih vlaken je odvisna predvsem od morfološke strukture, ki vpliva na fizikalno sposobnost in vrsto reakcijskih mehanizmov. Nadmolekulska struktura ima ključen vpliv na začetek depolimerizacije ali piling proces, ko se degradirane končne skupine stabilizirajo in dosežejo, da so območja nedostopna za alkalije. V močnih alkalnih raztopinah celulozno vlakno močno nabrekne, vendar se ne raztaplja in ne poškoduje. Pride pa do spremembe v strukturi kristalinitne rešetke, ker se po sušenju struktura preoblikuje v celulozo II. Postopek se uporablja pri pridobivanju regeneriranih celuloznih vlaken. Hemiceluloze so v alkalnem občutljive tako za fizikalne spremembe kot za kemijske reakcije, ki vključujejo nabrekanje, raztapljanje, piling in reakcije cepljenja glukoziidnih vezi.

*Mehanizme razgradnje celuloznih vlaken in papirja* na splošno delimo v reakcije hidrolize in oksidacije, zamreženja in mikrobiološke razgradnje, mehansko-kemijske razgradnje in spremembe stopnje kristalinitnosti. Kombinacija učinkovanja

notranjih jakosti, medvlakenskih povezav in kemijskih reakcij zaradi učinkovanja zunanjih dejavnikov je osnovni vzrok množične razgradnje dokumentov na papirju, s katerim se danes srečujemo v knjižnicah, muzejih in arhivih po svetu [Černič 2009].

## KISLA RAZGRADNJA

Današnje vrste papirja vsebujejo poleg celuloznih vlaken številne dodatke, nečistoče in ostale manj obstojne polimerne snovi, ki povzročajo kislno razgradnjo. Povzročajo jo tudi kisle snovi in drugi onesnaževalci iz okolja. Razgradnja poteka po obrnjeni poti kot nastanek vlaken in papirja. Kisle snovi učinkujejo na vezi, ki povezujejo glukozni obroč, celulozno verigo, mikrofibrile, snopiče in celotno vlakno in povzročajo njihovo razgradnjo, kot je prikazano na sliki 3.

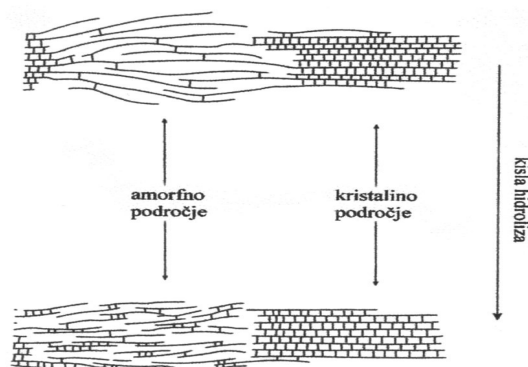


*Razgradnja celulozne verige: a) kovalentna vez povezuje dve glukozni enoti, b) vpliv učinkovanja kisline ( $H^+$ ) in c) prekinitve povezave med enotami glukoze [Archival Papers 2006]*

Prosti vodikov ion (kislina) prekine kovalentno povezavo, in ko se veriga razkroji na manjše dolžine, postaja povezava vedno slabša. Ko razpade od pol do enega odstotka vezi, se na papirju in njegovi uporabi ne pozna veliko. Ko pa veriga razpade v manjše, vedno krajše delce, se zmanjšuje jakost vodikovih povezav, zmanjša se togost, tudi C-H vez na večji razdalji nima sposobnosti, da se povezuje v ravnini, ki povezuje plasti na osnovi najmanjše razdalje med plastmi vlaken. Zaradi vedno slabših Van der Waalsovih vezi se zmanjša medvlakenska povezava med vlakni in plastmi vlaken.

Naravna celulozna vlakna so sestavljena iz amorfnih delov (nekristaltnih), odprtih za učinkovanje kemikalij, in kristaltnih delov celuloznih vlaken, ki imajo višjo gostoto in so bolj odporni proti učinkovanju razgradnih kemikalij. Rezultat hidrolitske razgradnje glukoznih povezav je zmanjšanje stopnje polimerizacije (SP), ki se znižuje do območja od 150 do 200, kar pomeni, da so mehanske lastnosti takšnih vlaken zelo slabe in neprimerne za oblikovanje papirnega lista.

Pri reakcijah hidrolize se poveča kristaltnost, ki je predvsem posledica razgradnje amorfnih delov celuloznega vlakna. Povišanje kristaltnosti vpliva na zmanjšanje fleksibilnosti vlaken, pri čemer papir postaja vedno bolj krhek [Černič 2009, Černič Letnar 2003].



*Sprememba kristalitne strukture med amorfni in kristalini področji celuloznega vlakna pri kisli hidrolizi*

Celulozna vlakna so obstojna v nevtralnih in alkalnih pogojih in zelo občutljiva za kisline, ki najprej učinkujejo v amorfna področja, kjer hidroliza povzroči cepljenje glukozidne povezave, nato pa v kristalinitna področja. Na stopnjo hidrolize vpliva več dejavnikov: vrsta in koncentracija kisle snovi, vsebnost vlage, temperatura in število dostopnih mest za delovanje. Od tega je odvisno, ali bo hidroliza omejena na amorfna področja ali bo zajela tudi mejne molekule kristalinitnih področij. Vodikovi ioni, ki povzročijo reakcije razgradnje, se ne vgradijo v kemijski mehanizem, ampak ostanejo reaktivni, dokler so na razpolago glukozne povezave za razkrajanje. Območje hidrolitskega razgradnega procesa glukoznih vezi je odvisno od molekulske strukture celuloze in nadmolekulske strukture celuloznih vlaken.

## OKSIDACIJSKA RAZGRADNJA

Pri oksidacijski razgradnji se absorbira kisik na določeni strani celulozne molekule in vpliva na nastanek karbonilnih in karboksilnih kislin. Če se sproščajo velike količine kisline, nastopi pojav hidrolize celuloze, ki vpliva na razgradnjo kovalentne povezave v celulozni verigi, na oblikovanje krajših verig in sproščanje vodikovih ionov.

Hidrolizo celuloze pospešuje prisotnost oksidiranih skupin, zato prisotnost kovinskih ionov, kot so Fe in Mn, deluje kot katalizator oksidacijskega procesa pri pretvorbi žveplovega dioksida v žveplovo kislino. Tvorijo se razgradni produkti hidrolize z nizko molsko maso, ki pospešujejo reakcije oksidacije. Preostanek lignina in ekstraktivne snovi z različnimi nedoločljivimi skupinami v vlaknih prispevajo k nastanku peroksida v postopku avtooksidacije. Nastali peroksidi so močno oksidacijsko sredstvo, ki razpadejo s pomočjo različnih radikalov, predvsem v prisotnosti kovinskih ionov.

Nizka aktivacijska energija pri reakciji pospeši nastanek novih radikalov, kar vodi do progresivne reakcije, ki se preko karbonilnih skupin prenaša po celotni verigi celuloze in vodi do popolne razgradnje vlakna.

## VPLIV SVETLOBE - FOTOKEMIJSKA RAZGRADNJA

Najbolj pogosta fotokemična poškodba celuloznih vlaken je fotooksidacija, ki povzroča: a) cepljenje glukoznih vezi, kar vpliva na zmanjšanje SP in posredno na slabšanje mehanskih lastnosti, in b) oksidacijo stranskih hidroksilnih skupin, kar vpliva na spremembo barve in sorpcijskih sposobnosti. Najprej poteče v amorfnih področjih in se širi v urejena, kristalinitna področja. Stopnja reakcije je odvisna od vrste in lastnosti celuloznih vlaken, intenzitete sevanja, temperature, prisotnosti vlage in katalizatorjev. Reakcija razgradnje poteka predvsem v amorfnih področjih, poviša stopnjo kristalinitnosti vlaken, ki postanejo bolj toga in krhka.

Občutljivost papirja za svetlobo je odvisna predvsem od vlakninske sestave in se poveča z naraščajočo vsebnostjo lignina. Sproščanje svetlobne energije lahko v celulozi povzroči cepljenje vezi, ki je posledica oksidativne razgradnje. Naravna celuloza močno absorbira UV svetlobo pri valovni dolžini, nižji od 200 nm, delno med 200 do 300 in zelo malo nad 400 nm.

Celulozna vlakna z visoko vsebnostjo lignina so zelo občutljiva za fotokemijski razkroj, enako velja za razne nečistoče in barvila, ki pod vplivom svetlobe učinkujejo podobno kot lignin. Fotokemične reakcije na celuloznih vlaknih pospešujejo kisli pogoji, kot so zračni ozon, oksidativna belilna sredstva, prisotnost kovin in visoka vlažnost.

## VPLIV TOPLOTE

Celulozna vlakna, ki so beljena ali poškodovana v postopku fotooksidacije, so še posebej občutljiva za povišano temperaturo, ker vsebujejo poškodovane povezave in proste radikale. Učinkovanje toplote vpliva na kemijsko spremembo hemiceluloze in lignina, ki vpliva na spremembe v barvi papirja.

Prostoradikalna toplotna reakcija deluje podobno kot fotooksidacija, kjer pride do oksidacije stranskih hidroksilnih skupin in do cepljenja molekul. Rezultat je dehidracija in nastanek novih, kratkih vezi, ki vplivajo na zamreženje in nastanek zamreženih oblik, ki zmanjšujejo prožnost in povečujejo krhkost papirnega lista. Toplotni razkroj, podobno kot pri fotooksidaciji, pospešujeta prisotnost vlage in katalizatorjev.

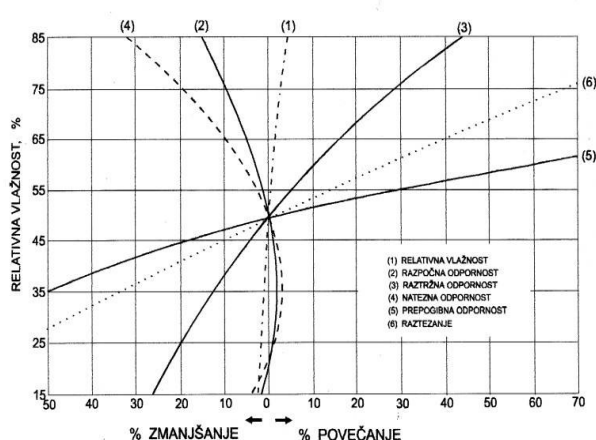
## VPLIV VLAŽNE VLAŽNE NA BIOLOŠKO RAZGRADNJO

Relativna vlaga vpliva na spremembo vsebnosti vlage v papirju in je pomemben dejavnik pri razgradnji, ki je pospešena na osnovi mikrobioloških povzročiteljev. Biološki razkroj celuloznih vlaken se prične v amorfnih in se nato širi v kristalinitna področja. Mikroorganizmi potrebujejo za rast ustrezno vlažne pogoje. Encimatska reakcija potrebuje visoko relativno vlago nad 65 %, primerno temperaturo in pH. Najpogostejša reakcija je encimatska hidroliza glukozne povezave, ki pospešeno učinkuje v vlažnih pogojih. Večkrat jo spremlja tudi oksidacija, ker nekatere bakterije in mikroorganizmi med procesom razgradnje proizvajajo vodikov peroksid, ki pospešuje kislino hidrolizo celuloznih vlaken.



## VPLIV VLAGE NA MEHANSKO RAZGRADNJO

Vlknine in papir so higroskopni materiali, ki se prilagajajo relativni vlagi okolice. V vlažnem prostoru se papir navzame vlage, v suhem jo oddaja, dokler se ne vzpostavi ravnotežje. Razlika med relativno ravnotežno vlago papirja in relativno vlago zraka v okolici v prostoru izdelave, predelave, uporabe in skladiščenja ne sme biti večja od 10 %, sicer pride do motenj in sprememb v lastnostih papirja, kot so prekomerno raztezanje in krčenje, slabo skladje, vihanje, zvijanje in zmanjšanje mehanske odpornosti, ki vplivajo na končni izdelek in njegove lastnosti. Vsebnost relativne vlage v okolju ima velik vpliv predvsem na spremembo fizikalno-mehanskih lastnosti papirja, kot je prikazano na sliki 5. Preizkušanje vseh izdelkov mora potekati v standardnih klimatskih pogojih pri temperaturi  $23\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  in relativni vlagi  $50\% \pm 2\%$ , kot jih določa standard ISO 187.



Vpliv relativne vlage v okolju na spremembo fizikalno-mehanskih lastnosti papirja  
[Černič Letnar 2003]

Povišana vsebnost vlage ima velik vpliv na pospešeno staranje papirja in je odvisna od naraščajoče relativne vlage in temperature v okolju, ki vpliva na hitrost tako oksidativne kot hidrolitske razgradnje. Tudi ciklične spremembe vsebnosti relativne vlage pospešujejo razgradnjo papirja, ker povzročajo povečane napetosti v papirnem listu, ki vodijo do fizikalnih sprememb ireverzibilnega značaja. Rezultati se kažejo v raziskavah, ki ugotavljajo, da je razgradnja papirja in dokumentov bistveno manjša v klimatskih pogojih z nižjo vsebnostjo relativne vlage.

## 2.2 VZROKI ZA RAZGRADNJO DOKUMENTA NA PAPIRJU

Kakovostna razlika med posameznimi vrstami papirja je v celokupni surovinski sestavi in tehnoloških pogojih izdelave. Lastnosti današnjih vrst papirja so za nepoznavalca zelo podobne, toda ker so časovno spremenljive, je kakovost za uporabo omejena. Na mehanizmu staranja dokumentov na papirju vplivajo številne medsebojne reakcije med snovmi v papirju in njegovi okolici, ki se kažejo predvsem v poslabšanju kemijske obstojnosti, mehanske odpornosti, optičnih lastnosti papirja in barvnometrične in mehanske obstojnosti zapisa. S karakterizacijo papirja in

dokumenta in testi naravnega in umetnega staranja lahko ugotovimo razliko v kakovosti papirja predvsem z vidika uporabnosti pri pripravi dokumenta za daljše časovno obdobje [Zou et al 1996]. Papir je izjemno občutljiv in zapleten sistem zamreženja, ki ga opredeljujejo surovine za pripravo papirne snovi (vlakna, delci vlaken in polnil) in postopek izdelave na papirnem stroju. Še danes z razpoložljivimi tehnikami merjenja ne moremo natančno določiti tridimenzionalne strukture (3D) papirja [Holmstad 2001]. Med najboljšimi je tehnika določanja 3D strukture papirja z mikrotomografijo faznega kontrasta rentgenskih žarkov s slikovno analizo v kombinaciji z metodami modeliranja strukture papirja.

Osnovni povzročitelji razgradnje papirja so kombinacija notranjih in zunanjih dejavnikov, kot so kislina in alkalna hidroliza, oksidativna degradacija, termoliza, učinkovanje mikroorganizmov, reakcije plesnenja in fizikalnomehanske poškodbe, ki jih pripisujemo dejavnikom, kot so: a) vzroki, ki izhajajo iz neustrezne vlakninske oziroma celokupne surovinske sestave in tehnoloških pogojev izdelave, b) vplivi, ki jih povzročajo postopki pisanja (črnila), tiskanja (tiskarske barve, tonerji, črnila), predelave (lepila) in vsestranske uporabe, in c) onesnaževanje zraka ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ ), učinkovanje svetlobe, toplote, vlage, mikroorganizmov, kot je prikazano na sliki 6.



Vpliv notranjih in zunanjih dejavnikov na obstojnost dokumenta na papirju [Černič Letnar 1996]

Klejenje papirja s smolnimi klejivi, ki so naravne smolne kisline, lahko poleg prispevka kisle razgradnje pri kislem klejenju papirja ob prisotnosti Al sulfata prispeva k reakcijam avtooksidacije celuloznih vlaken. Nasprotno so sintetična klejiva, kot je AKD, precej bolj obstojna. Organski dodatki, kot so optična belila, so kemijsko neobstojni in negativno učinkujejo pri reakcijah oksidacije. Dodatek karbonatnih polnil, predvsem Ca in Mg karbonata, izboljša obstojnost papirja, ker učinkuje kot alkalna puferna rezerva. Klasične tiskarske barve vsebujejo pigmente, dispergirane v rastlinskem olju z dodatki za sušenje, ki so obstojni, medtem ko novejša tehnika tiska vsebujejo surovine in dodatke, ki so slabo obstojni in negativno vplivajo na obstojnost zapisa. Ugotovljeno je, da je vpliv notranjih dejavnikov na razgradnjo od 80 do 85 %. Nanj vplivajo proizvajalci in predelovalci, predvsem

grafična dejavnost, medtem ko je vpliv zunanjih dejavnikov le od 10 do 15 % in je odvisen predvsem od uporabnikov v arhivih, knjižnicah in muzejih [Arnold 2003, Černič *et al* 2006].

### 2.3 VPLIV LASTNOSTI PAPIRJA IN TEHNIKE TISKA NA POŠKODBE DOKUMENTA

Ker velik del arhivskega gradiva vključno z zaščito nastaja na papirju, je pomembno, da poznamo vzroke za poškodbe in razgradnjo dokumentov in zaščite. Vse vrste gradiva na papirju imajo težnjo po razkroju zaradi osnovnih lastnosti sestavin, učinkovanja zunanjih dejavnikov in klimatskih pogojev hranjenja. Procesu ne moremo zaustaviti, lahko ga le upočasnimo.

Papir je izdelan iz celuloznih vlaken rastlinskega izvora, njegova razgradnja je posledica tako kemijskih kot fizikalnih dejavnikov. Do nedavnega je postopek izdelave potekal pretežno v kislem sistemu, zato je papir vseboval sestavine, ki povzročajo razkroj celuloznih vlaken v postopku hidrolize in oksidacijske razgradnje, kar vpliva na poslabšanje kemijskih, optičnih in fizikalno-mehanskih lastnosti. *Kemijska razgradnja* zaradi jakosti osvetljevanja in učinkovanja UV svetlobe vpliva na obledelost barve in razbarvanje. V pogojih visoke vlage nastopijo poškodbe zaradi plesni in mikroorganizmov, kisle snovi v papirju in v stiku z njim povzročajo mehanske poškodbe. Pogoste so poškodbe, ki nastanejo zaradi interakcij med papirjem in tiskarskim medijem; na starejšem gradivu so primer železnotaninska črnila kisle narave, ki povzročajo razgradnjo zapisa in papirja.

*Fizikalne poškodbe* vključujejo mehanske poškodbe pri uporabi, kot so pretrgi, drgnjenje, prepogibanje, zgibanje, razslojevanje papirja, ter poškodbe, ki nastajajo zaradi spremembe temperature in relativne vlage. Pospešen razkroj kislega papirja lahko delno upočasnimo s skladiščenjem v alkalnih pogojih. V novejšem času, zadnjih dvajset let, poteka izdelava papirja v nevtralnih oziroma alkalnih pogojih, kar pričakovano vpliva na izboljšanje trajnosti in obstojnosti v primerjavi s kislimi papirji industrijske izdelave v zadnjih 150 do 200 letih. Vendar tudi novejši postopki izdelave papirja ne zagotavljajo, da je kakovost papirja optimalna. *Reciklirane vrste papirja*, ki so izdelane iz različnih vrst odpadnih papirjev, so precej bolj neobstoje kot papirji iz primarnih vlaken, ker vsebujejo sekundarna vlakna slabše kakovosti in neželene sestavine, ki jih s seboj prinašajo lepila, tiskarske barve, črnila, tonerji, uporabljeni v postopku pisanja, tiskanja in kopiranja [Černič *et al* 2006].

Za odstranitev »nečistoč« v postopku recikliranja je potrebno uporabiti kemijska sredstva, kar vpliva na krajšanje celuloznih vlaken in na slabšo kemijsko in mehansko odpornost papirja. Z oznako »okolju prijazen papir in izdelki« so označeni tisti, ki glede na surovinsko sestavo in tehnologijo izdelave in predelave dosegajo predpisane zahteve za varovanje okolja, tako da posamezne vrste recikliranega papirja prištevamo v skupino okolju prijaznih izdelkov. Vendar se v primeru, če izdelamo trajen dokument na recikliranem papirju, zelo poveča možnost, da bo potrebno dokument v bližnji prihodnosti zaradi poškodb in nečitljivosti kopirati oziroma pripraviti na trajnejših vrstah. V deželah z urejeno arhivsko zakonodajo uporaba recikliranih vrst papirja pri izdelavi dokumentov za dolgotrajno hrambo informacije ni dovoljena. Uporabljati se morajo takšne vrste papirja, ki ustrezajo *standardnim zahtevam za arhivsko kakovost* in so označene kot *trajen in arhivski*

*papir* [SIST EN ISO 9706, SIST ISO 11108].

Elektrofotografija je postopek pri prenosu zapisa s privlačno silo termoplastičnega prahu, tonerja na svetlobno občutljiv fotoreceptor, ki vključuje fotokopiranje in laserski tisk v enobarvni ali večbarvni tehniki. Toner v suhi obliki se prenese na papir in fiksira pri visoki temperaturi in tlaku, tako da dobimo končno podobo - odtis, medtem so se tekoči toner fiksira s toploto ali suhim zrakom. Princip delovanja laserskega tiska je podoben, le da laserski žarek zapiše zapis na občutljivo površino fotoreceptorja, ki se oblikuje v latentni elektrostatični zapis. Na obstojnost in trajnost zapisa vplivajo vrsta barve/tonerja glede na kemijsko sestavo in način vezanja na papir ter klimatski pogoji hranjenja. *Suhi toner* je sestavljen iz toplotno občutljive polimerne snovi na osnovi akrilnih in stirenskih smol ali kombinacije obeh.

Aktivna sestavina tonerja je pigment, ki je običajno aktivno oglje, nosilec je železov prah, ki je obložen z delci veziva. Prisotnost prenašalca pri oblikovanju zapisa na papir ima velik pomen za stabilnost in trajnost dokumenta, še posebej pri uporabi tekočega tonerja, ki sestoji iz suspenzije delcev pigmenta ali obarvanega veziva v ločitveni tekočini. Delci tekočega tonerja običajno vsebujejo akrilne smole v kombinaciji z aktivnim ogljem. Zapis, ki nastane pri uporabi tekočega tonerja, penetrira v strukturo papirja in obarva vlakna, zato zapisa ne moremo odstraniti. Pri uporabi suhega tonerja poteka sušenje polovico počasneje, zapis je nagnjen k bledenju oziroma slabši obstojnosti.

Sestavine *barvnega tonerja* so podobno kot pri črnilu za kapljični tisk organska barvila, ki so manj obstojna. Barvni tonerji in črnila na osnovi pigmentov, ki so impregnirani s poliestrskimi smolami, dosegajo boljši prenos na papir, kar vpliva na boljšo obstojnost zapisa. *Fizikalna obstojnost elektrofotografskih kopij na papirju* je odvisna od vezave tonerja na papir. Največji vpliv na adhezivnost imajo čas, temperatura in tlak, vendar je odvisna tudi od sorpcijskih lastnosti površine in poroznosti papirja. Vplivi, ki jih je potrebno upoštevati pri *razgradnji* zapisa, so toplota, oksidacija, onesnaženje zraka, fizikalno-kemijske spremembe sestavin in fizikalne poškodbe, ki nastanejo pri spremembi klimatskih pogojev. Aktivno oglje, ki je osnovna sestavina tonerja in črnila črne barve, je neobčutljivo za svetlobo. Učinkuje kot absorpcijsko sredstvo in vpliva na zmanjšanje razgradnih procesov, ki jih povzroča svetloba. Zato je priporočljivo, da dokumente za trajno hrambo izdelamo v postopku elektrofotografije z uporabo suhega tonerja na papirju trajne in arhivske kakovosti.

Pri pripravi dokumentnega gradiva na papirju se množično uporabljajo novejša digitalna tehnika tiska, predvsem fotokopiranje in laserski tisk ter različne tehnike kapljičnega tiska. Če želimo, da je dokument primeren za dolgotrajno hrambo, mora biti zapis stabilen. Kakovost papirja za tisk v novejših tehnikah tiska (fotokopiranje, laserski tisk, kapljični tisk) mora ustrezati specialnim zahtevam za tiskarsko prehodnost na napravah za tiskanje, ki vključujejo ustrezno mehansko odpornost, površinske lastnosti in vsebnost vlage. Obstojnost zapisa na papirju opredeljuje standard ISO 11798, ki določa metode vrednotenja obstojnosti barvnometričnih lastnosti, svetlobno obstojnost, obstojnost proti vodi in toploti in vpliv vrste in tehnike zapisa na mehansko odpornost dokumenta.

## 2.4 TRAJNOST IN OBSTOJNOST PAPIRJA IN DOKUMENTA

Ohranjanje arhivskega gradiva na papirju je odvisno od kakovosti surovin, ki sestavljajo papir in zapis, od tehnologije izdelave nosilca in zapisa ter od načina uporabe in pogojev hranjenja dokumentnega gradiva. Vse vrste zgodovinsko in umetniško dragocenega gradiva, ki sestavljajo arhivske, knjižnične in muzejske zbirke, potrebujejo ustrezno zaščitno embalažo iz papirja, kartona, lepenke v obliki škatel, ovojev, map, paspartujev. Embalaža ščiti gradivo ves čas uporabe in hrambe, zato mora biti prilagojena zahtevam arhivske kakovosti proizvodov. Kakovost papirja vpliva neposredno na obstojnost in uporabnost dokumenta in na stroške, ki so povezani z njegovo uporabo in zaščito. Stroški konserviranja in restavriranja poškodovanih dokumentov na papirju so izredno visoki, enako tudi stroški za vzdrževanje klimatskih pogojev pri hranjenju, ki omogočajo preprečevanje nadaljnjih poškodb. Z ekonomskega vidika je primernejša uporaba kakovostnega papirja za vse namene. Primerjalno slabša kakovost papirja ni bistveno cenejša, uporaba ene vrste papirja pa je enostavnejša, ker so dokumenti večkrat v uporabi in zahtevajo optimalno mehansko odpornost, ki jo dobra kakovost papirja zagotavlja.

Trajnost dokumenta postane pomembna, ko vsebina dokumenta pridobi kulturno, znanstveno, zgodovinsko ali umetniško vrednost. Lastnosti današnjih vrst papirja so za nepoznavalca na videz zelo podobne, vendar je kakovost med posameznimi vrstami zelo različna, saj se razlikujejo v celokupni surovinski sestavi in tehnoloških pogojih izdelave in oplemenitenja. Lastnosti papirja razlikujemo glede na strukturne, fizikalno-kemijske lastnosti, mehansko odpornost, lastnosti površine in optične lastnosti. Kakovost papirja vpliva neposredno na trajnost in obstojnost dokumenta in na stroške, ki so povezani z njegovo uporabo in zaščito. Na mehanizmu staranja vplivajo številne reakcije med snovmi v papirju in njegovi okolici, ki se kažejo v poslabšanju mehanske odpornosti, kemijske obstojnosti in optičnih karakteristik. Življenjsko dobo dokumenta povečata tako kemijska kot fizikalna obstojnost papirja, saj ločimo pojma trajnost in obstojnost, ki se med seboj dopolnjujeta in večkrat tudi prepletata, zato pa je potrebno določiti njuno medsebojno povezavo. *Trajnost* se nanaša na ohranjanje kemijsko-fizikalnih lastnosti sestavin ob učinkovanju zunanjih dejavnikov (svetloba, toplota, onesnaženo ozračje) v daljšem obdobju, medtem ko se *obstojnost* nanaša na procese razgradnje, ki jih pospešuje uporaba v različnih neugodnih okoljih in je odvisna predvsem od fizikalno-mehanskih lastnosti papirja in dokumenta [Browning 1986].

*Trajnost (permanence)* je definirana kot sposobnost ohranjanja kemijske in fizikalne stabilnosti v daljšem časovnem obdobju [Gurgunal 1993]. Vsi materiali se s časom spreminjajo, vendar za trajne velja, da v pretežni meri ohranjajo prvotne lastnosti v daljšem časovnem obdobju, kar pomeni več stoletij. Trajnost se nanaša na stabilnost kemijskih in fizikalnih lastnosti papirja in pomeni, v kolikšni meri je papir zaradi nečistoč v sestavi odporen proti razgradnji. Kot trajen označimo papir, ki ga lahko hranimo zelo dolgo obdobje, ne da bi se v večji meri spremenil videz (barvne in optične lastnosti) ali molekulska struktura sestavin oziroma celotna struktura papirja. Trajnost opišemo tudi kot ohranjanje oz. retencijo obstojnosti. Papir je lahko *obstojen*, vendar *ni trajen* (v primeru recikliranih papirjev), oziroma je trajen, vendar *ni obstojen* (kakovostne vlaknine pri neustrezni pripravi in obdelavi, kislota, klejenje). Stabilizacija oziroma zvišanje trajnosti vključuje vse

nečistoče v papirnem listu, ki lahko povzročijo razgradnjo, preprečimo oz. zaustavimo pa jo lahko s postopki konserviranja. Konservatorski postopek ali postopek obdelave s kemikalijami ne sme imeti nikakršnega slabega vpliva na obstojnost dokumenta. Obsega le odstranjevanje snovi, ki povzročajo razgradnjo in preoblikovanje destruktivnih snovi v kemijsko inertne [ANSI/NISO Z39.77-2001].

Za opredelitev trajne obstojnosti papirja moramo upoštevati časovni faktor, da določimo lastnosti papirja za več sto let uporabe, ki mora z vidika uporabnosti v arhivu, knjižnici ali muzeju dosegati predpisano kemijsko in optično stabilnost in mehansko odpornost. Postopki naravnega staranja so zaradi časovne odmaknjenosti manj primerni. Od leta 1920 so se razvijale različne metode umetnega staranja, ki upoštevajo vpliv povišane temperature, relativne vlage in učinkovanja svetlobe ter številnih zunanjih dejavnikov zaradi onesnaženega ozračja, delovanja sončne svetlobe in smoga ali kislih reakcij v samem papirju [Porck 2004]. Namesto naravnega staranja se uporablja koncept zasledovanja kinetike kemijske reakcije v pogojih pospešenega umetnega staranja. Arrhenius je ugotovil, da se pri večini reakcij hitrost poveča za 2 do 3-krat, če se temperatura poviša za 10 stopinj [Arrhenius 1889]. V postopku razgradnje celuloznih vlaken potekajo številne fizikalno-kemijske reakcije, pri katerih se spreminja aktivacijska energija, potrebna za potek reakcije. Pri oksidacijski in hidrolitski razgradnji celuloznih vlaken je potrebna aktivacijska energija od 20 do 30 kcal/mol [Browning 1986]. Metoda se uporablja pri ugotavljanju vpliva temperature na razgradnjo celuloznih vlaken v papirju in na spremembo fizikalno-mehanskih lastnosti, predvsem prepegibne odpornosti papirja.

Vendar še danes ne moremo z gotovostjo potrditi, da bo papir, ki je izdelan iz celuloznih vlaken po novejših postopkih, sposoben nekaj sto let ohraniti prvotne lastnosti. To dejstvo potrjujejo rezultati raziskav za papirje oz. dokumente iz obdobja po letu 1815, ko se je začelo beljenje celuloznih vlaken s klorovimi spojinami, izredno slaba kakovost papirja po letu 1870 pri uporabi mehanskih celuloznih vlaken v sistemu kislega klejenja oziroma današnja množična uporaba optičnih belilnih sredstev, ki pričakovano vpliva na slabšo optično obstojnost dokumenta [Browning 1986]. V današnjem času je vprašljiva vedno večja uporaba recikliranih vlaken pri izdelavi grafičnih papirjev, ki v Evropi sega že do 70 % in je za izdelavo trajnih vrst papirja popolnoma neprimerna. Na staranje papirja imajo zelo velik vpliv klimatski pogoji, ki kemijske reakcije pospešijo ali jih upočasnijo. Spreminjajoči se klimatski pogoji pri povišani temperaturi in vlagi ob učinkovanju UV sevanja vplivajo na pospešeno staranje in tudi na popolno razgradnjo papirja. Enakomerni klimatski pogoji hranjenja so osnovni pogoj dolgoročne stabilnosti in ohranjanja gradiva na papirju [Waters 1983].

Z naravoslovnimi metodami danes odkrivamo vzroke razgradnje dokumentov in razvijamo metode za zaščito in konserviranje pa tudi za restavriranje. Le tiste *konservatorske in restavratorske posege*, ki so znanstveno potrjeni in praktično preskušeni, lahko uporabimo na dokumentih, ki imajo značaj kulturne dediščine, med katero sodi tudi dokumentno gradivo na papirju. Naloga konservatorske stroke je izbrati postopek, s pomočjo katerega izboljšamo kemijsko stabilnost in povečamo trajnost dokumenta. Če je potrebno, izboljšamo tudi mehansko odpornost oz. obstojnost, ki je sinonim za končno uporabnost. Še vedno se uporabljajo postopki in

tehnike razkisljevanja in obnavljanja dokumenta v vodnem mediju, tudi v kombinaciji s suhimi tehnikami čiščenja. Postopek množične nevtralizacije pri uporabi različnih kemijskih sredstev se je v zadnjih 15 letih razširil iz ZDA v Evropo predvsem pri reševanju velikih količin poškodovanega gradiva. Za dezinfekcijo se uporabljajo različne sterilizacijske tehnike, prevzete z medicinskega področja, kot so uporaba etilenoksida, mikrovalovne tehnike in različnih vrst sevanja, pri poškodbah z vodo pa tehnike zamrzovanja. Novejše tehnike, kot je lasersko čiščenje, se uporabljajo predvsem pri čiščenju muzejskega gradiva, vendar učinki postopkov na lastnosti materialov še niso popolnoma razjasnjeni. Med najnovejše tehnike pri čiščenju in nevtralizaciji, izboljšanju mehanske odpornosti in kemijsko-fizikalnih lastnosti in pri odstranjevanju mikroorganizmov in plesni prištevamo tudi obdelavo s plazmo, vendar širši rezultati raziskav pri uporabi te metode še niso znani.

Pri izdelavi dokumenta na papirju je zelo pomembno, da izberemo ustrezno vrsto papirja ne glede na to, ali pišemo pismo, izdelamo poročilo ali pripravljamo publikacijo. Kakovost in vrsta celuloznih vlaken imata ključen pomen za lastnosti papirja in vplivata na postopek izdelave zapisa. Izbor papirja je neposredno povezan s končno uporabo, ki vključuje videz, tiskovno in tiskarsko prehodnost papirja, kakovost odtisa in postopek vezanja. Publikacije, ki so namenjene neposrednemu branju, zahtevajo mat ali delno sijajno površino, nebela barva papirja onemogoča bleščanje, zato so primernejše nepremazane vrste papirja. Publikacije, ki vsebujejo ilustracije, fotografije in zapise, se lahko tiskajo na premazan, delno glajen, vendar ne sijajen papir, tako da lahko vključujemo slikovno gradivo, ne da bi poslabšali berljivost. Možnost je tudi, da tiskamo tekst na nepremazan papir in vključimo slike na premazanem papirju. *Vse publikacije, za katere želimo, da se ohranijo sto in več let, moramo tiskati na nepremazan arhivski papir.* Površinsko oplemenitenje s specialnimi premazi omogoča zelo dobre tiskovne lastnosti, vendar se lahko tiski na takšnih vrstah papirja ob učinkovanju vlage nepovratno poškodujejo. Zaščita in reševanje takšnega gradiva je zelo draga, ker premazna sredstva zaradi prisotnosti polimernih veziv pri omočenju z vodo povzročajo zlepljanje posameznih listov papirja.

### 3 SKLEPNE MISLI

Za vrednotenje kakovosti trajne obstojnosti pisalnih in tiskovnih papirjev obstajajo v svetovnem merilu posamezni standardi in priporočila, ki jih morajo upoštevati tako uporabniki kot izdelovalci in predelovalci papirja. Eden izmed osnovnih in najcenejših načinov zaščite dokumentnega gradiva je vsekakor izbor ustreznega papirja kot trajnega in obstojnega nosilca informacije. Trajno obstojen je papir, ki dosega takšne kemijske in fizikalne lastnosti, ki v primerjavi z običajnimi vrstami omogočajo večjo trajnost in obstojnost pri uporabi v daljšem časovnem obdobju, to je več sto, tudi tisoč let. Začetni prihranek pri uporabi cenejših vrst papirja je precej manjši od kasnejših velikih stroškov pri reševanju poškodovanega gradiva slabe kakovosti.

Za zagotavljanje kakovosti dokumentnega gradiva na papirju in za uporabo materialov, ki zagotavljajo dolgotrajno ohranjanje in zaščito, je pristojen nacionalni

arhiv. Njegova naloga je, da aktivno sodeluje pri razvoju in ponudbi novih izdelkov, ki ustrezajo standardom za *arhivsko kakovost*, kar pomeni, da morajo vsi izdelki iz papirja, kartona in lepenke ustrezati zahtevam trajnosti na osnovi prevzetih slovenskih standardov SIST EN ISO 9706 in SIST ISO 11108. Skladno z zahtevami je papir izdelan v nevtralnno-alkalnem področju, iz vlaknin visoke kakovosti, brez vsebnosti lignina, in dosega ustrezne mehanske odpornosti za uporabo v pisarniškem poslovanju pri velikih hitrostih. Tehnološki postopek izdelave omogoča ohranjanje kemijske in fizikalne stabilnosti za dolgotrajno hrambo dokumentov. Nacionalni arhiv oziroma ministrstvo izbere institucijo, ki je pristojna za preskušanje izdelkov za pripravo in zaščito arhivskega gradiva in ugotavljanje skladnosti z zahtevami standarda, ki omogoča pridobitev znaka za arhivsko kakovost.

*Pri ohranjanju kulturne dediščine na papirju je za gradivo trajne vrednosti uporaba trajnejših (trajno obstojnih) vrst papirja in sredstev, s pomočjo katerih zapisujemo vsebino (črnila, tiskarske barve, naprave za tiskanje in kopiranje), nujna za ohranitev dediščine zanamcem, je ekonomsko opravičljiva in ekološko naravnana.*

#### 4 LITERATURNI VIRI

- ANSI/NISO Z39.77-2001: *Guidelines for Information About Preservation Products. An American National Standard Developed by the NISO, Approved 2000, by the ANSI. Published by the NISO Press, Bethesda, Maryland, USA, 22 str. [citirano 04.01.2010]. Dostopno na: [www.niso.org/standards](http://www.niso.org/standards).*
- *Archival Papers. [citirano 04.01.2010]. Dostopno na: <http://www.conservationresources.com/Main/S%20CATALOG/Archival%20Papers.htm>.*
- Arnold, R. B. *ASTM Paper Aging Research Program. Programm Summary. ASTM International, West Conshohocken, PA., 2002, 19 str.*
- Arrhenius, S. *Über die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Säuren. Zeitschrift für Physikalische Chemie. 1889, str. 226-248.*
- Browning, B. L. in Wink, W. A. *Studies on the Permanence and Durability of Paper: Prediction of Paper Permanence. Tappi, Volume 51, No. 4, 1986, 25 str.*
- Bukošek, V. *Mikrofibrilna narava vlaken - osnovne zakonitosti mikrofibrilne morfologije, Tekstilec, letnik 41 - 7-8/98, str. 207-215.*
- Černič Letnar, M. in Vodopivec, J. *Vrednotenje in izdelava trajnega papirja kot nosilca kulturne dediščine. Papir, 1991, let. 19, št. 1, str. 18-23.*
- Černič Letnar, M. *Morfološke lastnosti vlaken in papirja. Seminarsko gradivo. NTF Ljubljana, 2003, 57 str.*
- Černič Letnar, M. *Standardizacija trajnejših papirjev in predlogi za zakonodajo. V: Zbornik predavanj. 1. izd. Ljubljana: Inštitut za celulozo in papir, 1996, str. 36-46.*
- Černič Letnar, M., Pepelnjak, G., Novak, G. in Vodopivec, J. *Vpliv surovinske sestave in tehnoloških pogojev izdelave na staranje papirja. Papir, 1995, let. 23, št. 3.-4., str. 58-64.*
- Černič, M. *Morfološke lastnosti vlaken in papirja = Morphological properties of fibre and paper. V: Humar, M. (ur.), Kraigher, H. (ur.). Trajnostna raba lesa v kontekstu sonaravnega gospodarjenja z gozdovi, (Studia forestalia Slovenica, 135). Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, Silva Slovenica, 2009, str. 149-164.*
- Černič, M. *Trajnost dokumentnega gradiva na papirju = Permanence of paper for documents and publications. V: Hladnik, A. (ur.), Debeljak, M. (ur.). Zbornik prispevkov. Ljubljana: NTF, Oddelek za tekstilstvo, 2009, str. 13-20.*
- Černič, M. *Trajnost in obstojnost dokumentarnega gradiva na papirju = Permanence and durability of paper for documents and publications. Papir, 2009, 37, 1, str. 19-23.*
- Černič, M. *Trajnost in obstojnost dokumentnega gradiva na papirju : doktorska disertacija. Ljubljana: [M. Černič], 2008. XXXVI, 263 f.*
- Černič, M., Dolenc, J., Scheicher, L. *Permanence and durability of digital prints on paper. Appl. phys., A,*



*Mater. sci. process.* 2006, let. 83, zv. 4, str. 589-595.

- Gurnagul, N., Howard, R. C., Zou, X., Uesaka, T., Page, D. H. *The Mechanical Permanence of Paper: A Literature Review. Journal of Pulp and Paper Science*, Vol.19, No.4, 1993, str. J160-J166.
- Holmstad, R., Antoine, R. C., Nygard, P., Helle, T. *Quatification of the three-dimensional paper structure - methods and potential*, COST E 11, 2001, 12 str.
- Hon, D. N.-S. *Fourier Transform IR spectroscopy for chemical Analysis. Use in the Study of Paper documents. Historic Textile and Paper materials. Conservation and Characterization. Edited by Needles, H.L. and Zeronian, S.H. Advances in Chemistry Series 212, American Chemical Society, Washington, DC, 1986, str. 350-361.*
- *ISO 11798: Information and documentation - Permanence and durability of writing, printing and copying on paper - Requirements and test methods.* 1999, 12 str.
- *Izobraževalni seminar. Papirnica Vevče. Ausbildungszentrum Osterreichshen Papierindustrie Steyrmill: Teil 3: Papier Chemie.* 2003, 34 str.
- Jensen, M. *Conservation and Retrieval of Information - Elements of a Strategy to Inform Future Societies about Nuclear Waste Repositories: Final Report of the Nordic Nuclear Safety Project KAN-1.3. Nordiske Seminar-og Arbejdsrapporter 1993:596, The Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 1993, 55 str., Appendix A1-G2.*
- Porck, H. J. *Rate of Paper Degradation The Predictive Value of Artificial Aging Tests. European Commission on Preservation and Access, Amsterdam, 2000, 40 str.*
- Retulainen, E., Niskanen, K., In Nilsen, N. *Fiber and bonds. Chapter 2 in Paper Physics (ed. Niskanen, K.), Book 16 in Papermaking Science and Technology, Fapet Oy, Jyväskylä, Finland, 1998, str. 54-87.*
- *SIST EN ISO 9706: Informacija in dokumentacija - Papir za dokumente - Zahteve za trajnost ( $\infty$ ) (Information and Documentation - Paper for Documents - Requirements for Permanence ( $\infty$ )).* 2000, 6 str.
- *SIST ISO 11108: Informacija in dokumentacija - Arhivski papir za dokumente - Zahteve za trajnost ( $\infty$ ) (Information and Documentation - Archive Paper for Documents - Requirements for Permanence ( $\infty$ )).* 2001, 4 str.
- Smook, G. A. *Hanbook for pulp & paper technologist.* Tappi, Atlanta, CPPA, Montreal, 1982, 389 str.
- Staberock, M. *Das Papierbuch. Handbuch der Papierherstellung.* ECA Pulp and Paper b.v., EPN Verlag, Houten, Die Niederlande, 1999, 599 str.
- Waters, P. *Paper Permanence: Preserving the written word. (ed. Warren, S.D. Company, A Division of Scott Paper Company), Boston, Massachusetts, 1983, 83 str.*
- Wathen, R. *Studies on fiber strength and its effect on paper properties. Dissertation. Helsinki University of Technology (Espoo, Finland), 2006, KCL Communication, 97 str.*
- Zou, X., Uesaka, T. and Gurnagul, N. *Prediction of paper permanence by accelerated ageing I. Kinetic analysis of the ageing process. Cellulose 3, 4, 1996a, str. 243-267.*
- Zou, X., Uesaka, T. and Gurnagul, N. *Prediction of paper permanence by accelerated ageing II. Comparison of the predictions with natural aging results. Cellulose 3, 4, 1996b, str. 269-279.*

# *reklama*