

# ŠTUDIJA DEGRADACIJE ZGODOVINSKEGA PAPIRJA Z METODAMI POSPEŠENE RAZGRADNJE

Nik Nikolić\*, Jan Ocepek‡, Ida Kraševac, Matija Strlič

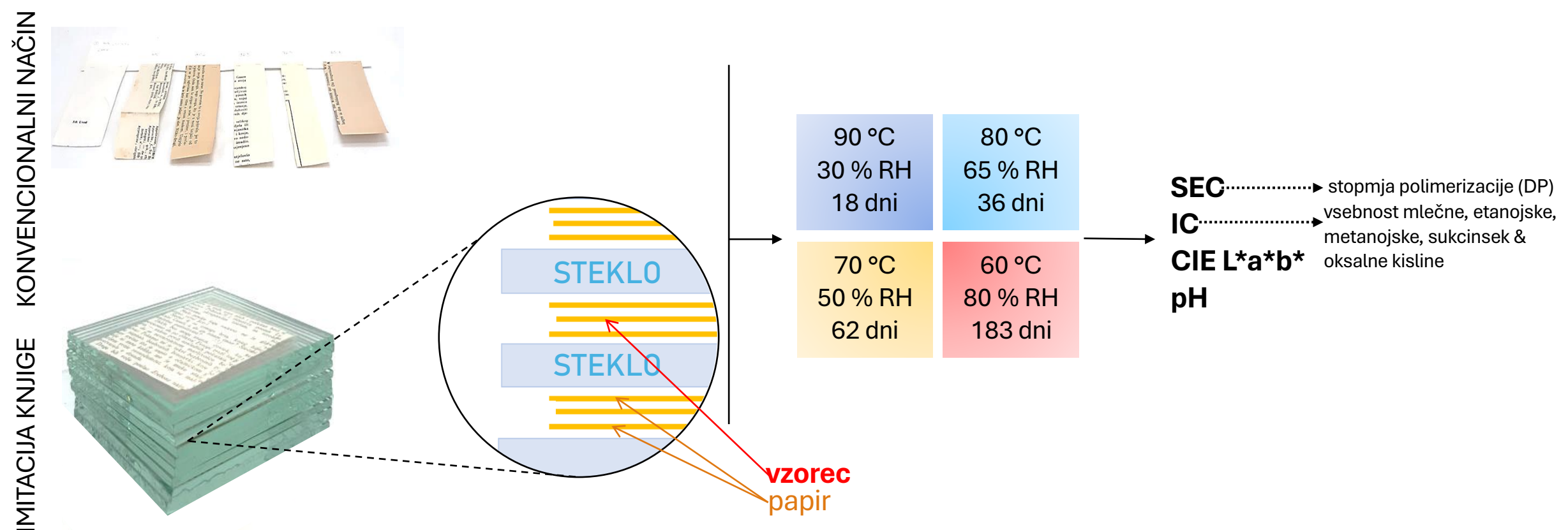
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo

\*nik.nikolic18@gmail.com, ‡jan.ocepek@gmail.com

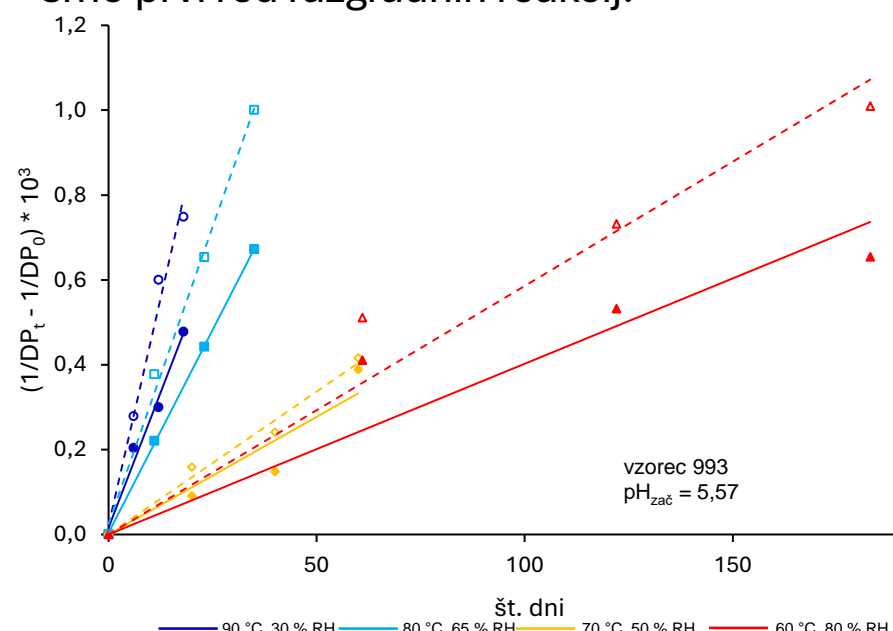
Kislinsko katalizirana hidroliza in oksidacija sta glavna procesa razgradnje papirja. Njune posledice lahko vodijo do izgube knjižne in tiskane dediščine. Med razgradnjo papirja se krajšajo polimerne celulozne verige; oksidacijski produkti povzročijo njegovo rumenenje; kisli produkti pa znižujejo pH-vrednost papirja.

Spremembe papirja med njegovim staranjem, ki so pri sobnih pogojih nezaznavne, opazujemo z **metodo pospešene razgradnje**, pri kateri vzorce izpostavimo povečani temperaturi in relativni vlažnosti. Na podlagi ekstrapolacije rezultatov na sobne pogoje lahko proučimo dejavnike, ki pospešujejo oz. zavirajo razgradnjo in napovemo, kako se bodo lastnosti papirja spreminjale in življenjsko dobo papirja.

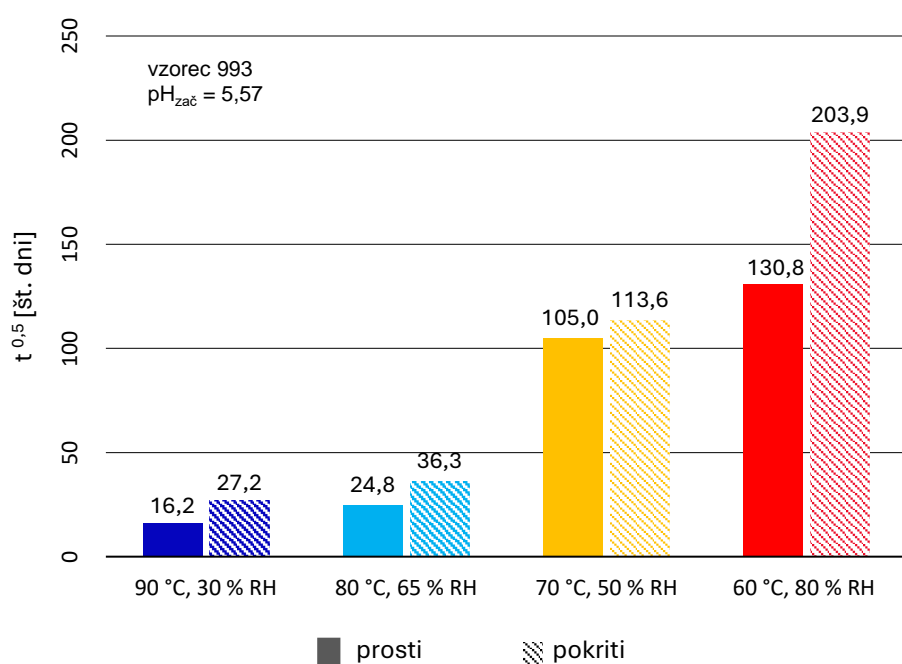
CILJ RAZISKAVE: Ovrednotenje vpliva temperature, relativne vlažnosti (RH), lignina in načina razgradnje na degradacijo papirja



Iz sprememb stopenj polimerizacije (DP) med pospešeno razgradnjo smo izračunali konstante razgradnje pri posameznih pogojih, iz teh pa nato razpolovni čas razgradnje. Predpostavili smo prvi red razgradnih reakcij.



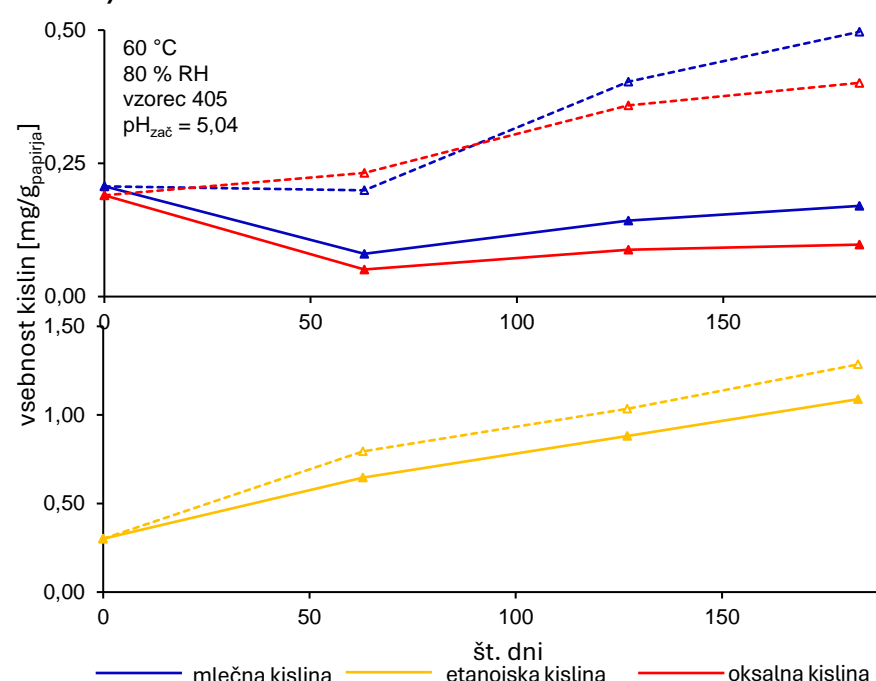
Graf 1: Vpliv različnih eksperimentalnih pogojev na razgradnjo celuloze v vzorcu 993. Prosti vzorci so označeni s polno črto, pokriti pa s črtkano



Graf 2: Primerjava  $t^{0.5}$  med pokritimi in prostimi vzorci pri različnih pogojih

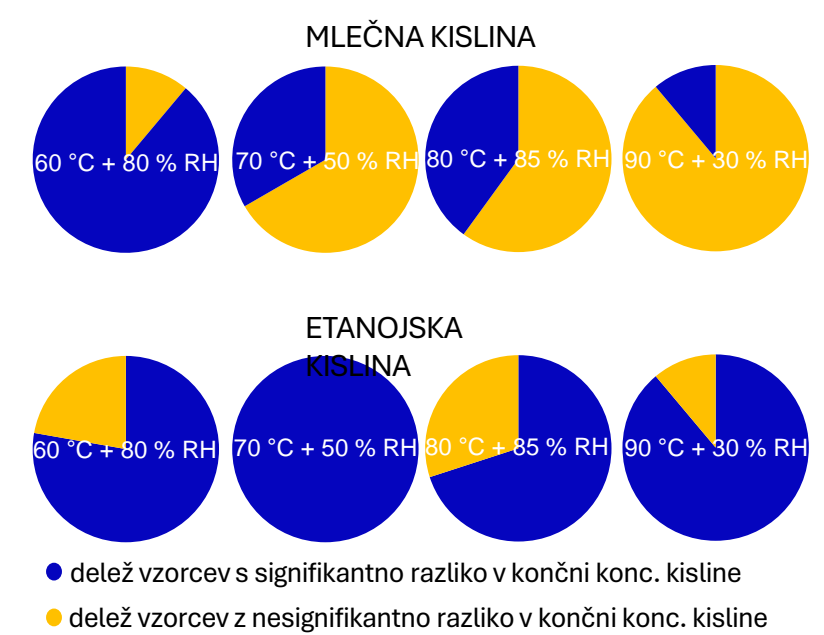
Pri vseh pogojih pospešene razgradnje je degradacijski razpolovni čas  $t^{0.5}$  **manjši pri pokritih vzorcih**, kar pomeni, da tam razgradnja poteka hitreje. Razgradnja je najhitrejša pri 90 °C, 30 % RH, najpočasnejša pa pri 60 °C, 80 % RH.

**Pokritim vzorcem se je pH-vrednost med pospešeno razgradnjo znižala bolj kot prostim vzorcem.** Hitrosti spreminjanja pH so višje pri višjih temperaturah pospešene razgradnje. Vsebnost večine kislin, ki so v vzorcu že prisotne, na začetku pade zaradi njihovega izhlapevanja (metanojska, etanojska kislina) oz. oksidacije (mlečna kislina). Koncentracija oksalne kisline narašča med celotno razgradnjo, predvideva se, da je pri pogojih razgradnje končni produkt oksidacije. **Izhlapevanje/oksidacija je izrazitejša pri prostih vzorcih** (polna črta grafu spodaj), akumulacija pa v pokritih (prekinjena črta).

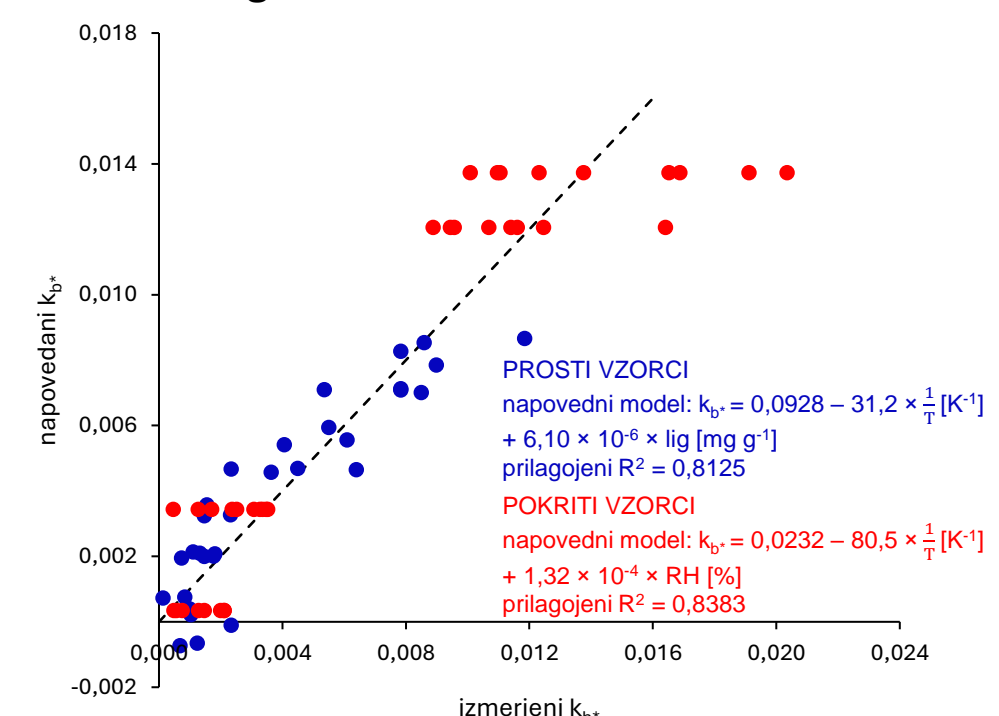


Graf 3: Koncentracija kislin v vzorcu 405 med njegovo razgradnjo

Končne koncentracije merjenih kislin v pokritih vzorcih smo primerjali s Studentovim testom. Razlika med koncentracijo etanojske kisline v pokritih in prostih vzorcih je statistično pomembna pri večini vzorcev; za mlečno kislino je razlika v koncentraciji statistično pomembna pri nižjih temperaturah. Pri ostalih kislinah razlike med končnimi koncentracijami v prostih in pokritih vzorcih niso statistično pomembne.



Med razgradnjo papirja sta se najbolj spreminjali barvni koordinati  $b^*$  in  $L^*$ . Hitrost rumenjenja smo izračunali kot  $k_{b^*} = \ln(b^*)/t_{\text{razgradnje}}$  in s pomočjo MLR ustvarili model, ki napove  $k_{b^*}$ . **Hitrosti rumenjenja pokritih vzorcev so višje od hitrosti rumenjenja prostih vzorcev.**  $k_{b^*}$  je odvisna predvsem od temperature, pri pokritih vzorcih pa tudi od RH in pri prostih vzorcih od vsebnosti lignina.



V nadaljnjih raziskavah bomo poskusili merjene lastnosti povezati z vsebnostjo lignina.

