

# Izboljšanje adhezije površine lesa z obdelavo z netermično atmosfersko plazmo

Klemen Kotnik<sup>1</sup>, Milan Šernek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

E-naslov: [klemen.kotnik@bf.uni-lj.si](mailto:klemen.kotnik@bf.uni-lj.si)



## POUDARKI:

- Zaradi podnebnih sprememb se sestava gozdov spreminja - povečuje se delež listavcev.
- Adhezijo med lepilom in lesom lahko izboljšamo z ustrežno pripravo površine lesa.
- Plazemska obdelava se pogosto uporablja za spreminjanje lastnosti površin materiala.
- Na osnovi rezultatov delaminacije lepilnih spojev lahko trdimo, da ima obdelava s plazmo pred lepljenjem z MUF lepilom vpliv na adhezijo pri bukovih lepljenjih.

## VSEBINA:

Zaradi večje okoljske ozaveščenosti in splošnega trenda k trajnostni gradnji ter zmanjševanju ogljičnega odtisa postaja les v gradnji vse bolj zanimiva alternativa jeklu in betonu. V gradbeništvu se uporabljajo predvsem iglavci, bodisi kot masiven žagan konstrukcijski les ali kot lepljen lameliran les (GLULAM) in križno lameliran les (CLT). Na tem področju se pojavljajo precejšnje spremembe, saj se sestava gozdov zaradi podnebnih sprememb spreminja in nakazuje večji delež listavcev (Slika 1). To pomeni, da bo potrebno v bližnji prihodnosti za proizvodnjo kompozitov na osnovi lesa uporabiti več listavcev, zato so temeljne raziskave o lepljenju teh lesnih vrst ključnega pomena. Lepljenje ima pomembno vlogo pri lesenih nosilnih konstrukcijah. Če pride do nezadostne adhezije, lahko lepilni spoj zaradi vlage ali toplote popusti ali se celo poruši. Adhezijo med lepilom in lesom lahko izboljšamo z ustrežno pripravo površine lesa, kjer podlage običajno predhodno obdelamo, da povečamo hrapavost in/ali prosto površinsko energijo ter tako zagotovimo boljši oprijem (Frihart & Hunt, 2017).

To dosežemo z uporabo različnih tradicionalnih tehnik, kot sta brušenje in skobljanje. Površine lahko tretiramo s kemikalijami, ki spremenijo kemijsko sestavo površine lesa, ali z raznimi encimi in temelji (Šernek in sod., 2004).

Plazemska obdelava je sodoben pristop k tretiranju površin z namenom izboljšanja adhezije. Reaktivni delci plazme ob stiku s površino materiala povzročajo kemijske

Slika 1: Shema raziskovalnega problema



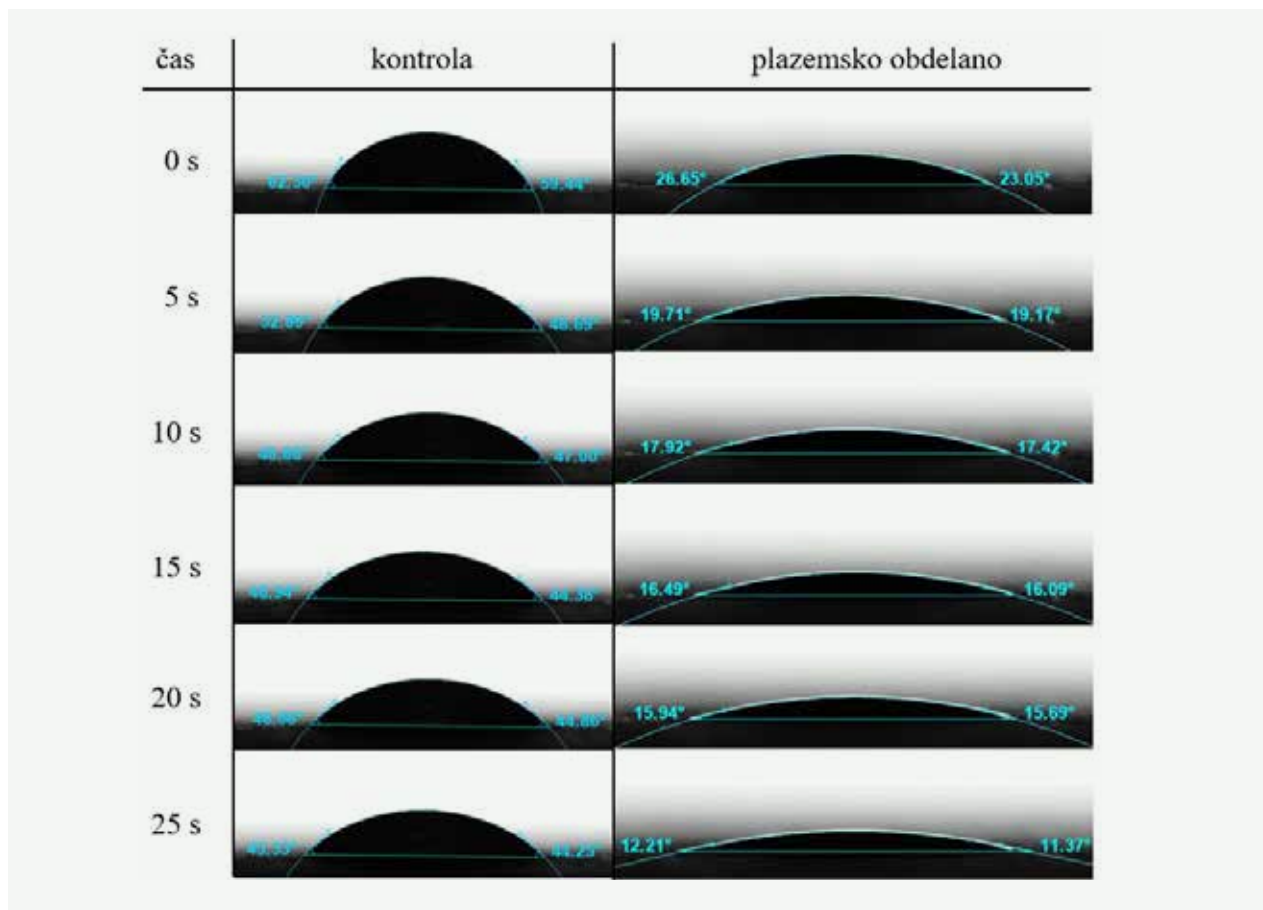
reakcije, ki vodijo do spremembe njegove kemijske sestave (Blanchard in sod., 2009). Plazma ne vsebuje le nabitih delcev, kot so elektroni in ioni, ampak tudi reaktivne radikale (npr. O, H, OH), reaktivne molekule (npr. N<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) in fotone (Penetrante in sod., 1997). Najbolj očitne spremembe so aktivacija površine lesa, povečanje proste površinske energije, boljša omočitev površine lesa in izboljšana penetracija (absorpcija).

V tej raziskavi smo proučevali vpliv obdelave z netermično plazmo na lepljenje navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.) in smreke (*Picea abies* Karst.) z melamin-urea-formaldehidnim (MUF) lepilom. V prvem delu raziskave smo izvedli preizkuse delaminacije, v drugem delu pa dva različna tipa strižnih testov (EN 14080:2013 in EN 302-1:2023). Pri obeh delih raziskave je bila polovica lamel pred lepljenjem obdelana z netermično plazmo, druga polovica pa je ostala neobdelana in je predstavljala kontrolno skupino. Za izdelavo lepljencev smo uporabili les navadne bukve in smreke. Iz celotnega nabora lesa smo izbrali material brez vidnih napak (grče, razpoke, diskoloracije) in s polradialno usmeritvijo vlaken glede na lepilno površino. Plazemska obdelava je potekala s Plasmamatreat Openair® enoto v podjetju Rogač Plus d. o. o. (Orehova vas, Slovenija). Plazemsko obdelane lamele smo takoj po obdelavi zložili v sestavo lepljencev in jih zaščitili z aluminijasto folijo, da ne bi prišlo do kontaminacije obdelanih površin in minimalne deaktivacije površin. Pred lepljenjem smo na vsaki lameli izmerili kontaktni kot s kapljico destilirane vode na Theta goniometru. Netermična plazemska obdelava je kontaktni kot destilirane vode zmanjšala za 62,6 %, kar kaže na izboljšano omočljivost površine lesa.

Iz izdelanih lamel smo zlepili 12 lepljencev: 4 iz bukovine, 4 iz smrekovine in 4 hibridne, pri katerih sta bili zunanji lameli iz bukovine, notranja pa iz smreke. Kvaliteto lepilnih spojev smo ovrednotili s testiranjem delaminacije in strižne trdnosti v skladu s standardom EN 14080:2013. Naknadno smo izdelali še strižne preizkušance v skladu s standardom EN 302-1:2023. V omenjenem standardu so določeni razredi tretiranja (A1-A5) preizkušancev pred izvedbo strižnega testa. V vsakem razredu tretiranja smo strižno testirali 10 kontrolnih in 10 plazemsko obdelanih preizkušancev. Testiranje strižne trdnosti lepilnih spojev je potekalo na računalniško podprtem univerzalnem testirnem stroju Z100 (Zwick/Roell). Preizkušance smo vstavili v posebno kovinsko čeljust in vsak posamezen lepilni spoj strižno obremenili s hitrostjo 5 mm/min do porušitve. Po porušitvi smo lepilnim spojem vizualno ocenili delež loma po lesu na 10 % natančno (0–100 %).

Netermična plazemska obdelava je kontaktni kot destilirane vode zmanjšala za 62,6 %, kar kaže na izboljšano omočljivost površine lesa (Slika 2). Ugotovili smo, da plazemska obdelava ni bistveno vplivala na strižno trdnost lepilnih spojev pri standardnem testiranju po EN

Slika 2: Rezultati merjenja kontaktnih kotov na bukovih lamelah



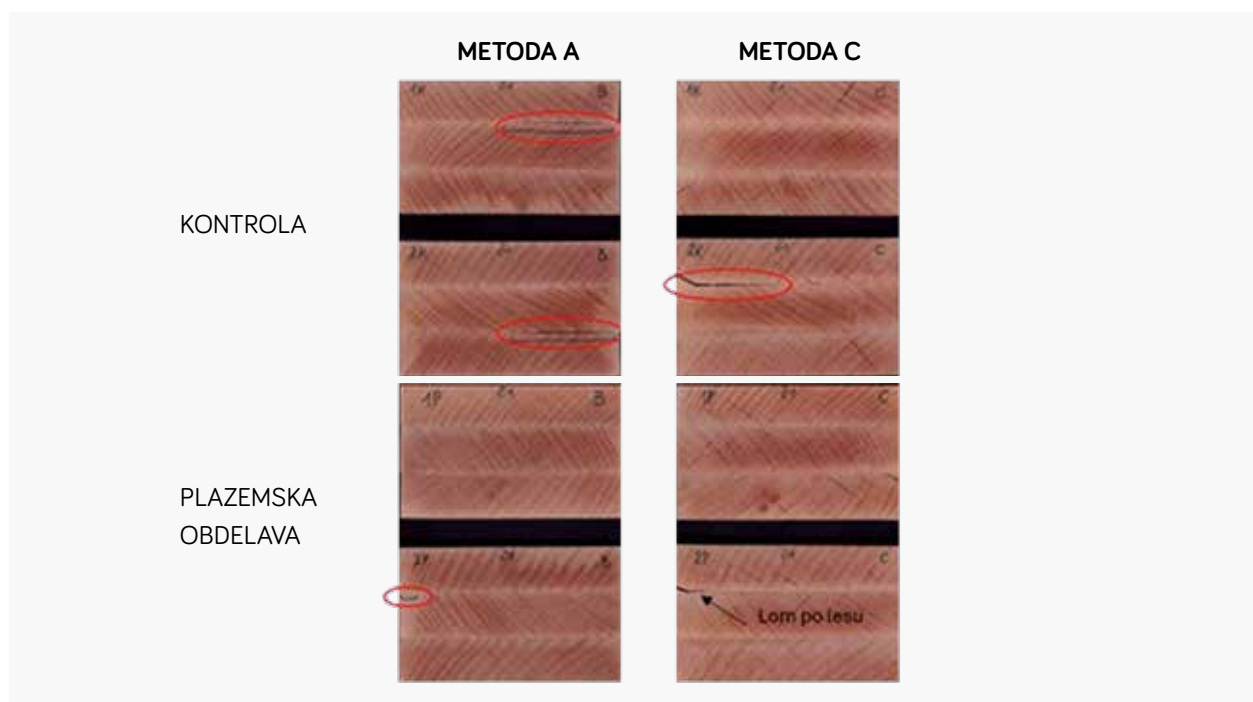
14080:2013. Tako kontrolni kot s plazmo obdelani lepljenci so izkazovali podobne strižne trdnosti znotraj istega tipa nosilca (bukov, smrekov in hibridni), lom lepilnih spojev pa je v večini primerov potekal po lesu. Tudi lepilni spoji, ki so imeli manjši delež loma po lesu, so dosegli predpisano vrednost strižne trdnosti (10 MPa).

Ugotovili smo, da so kontrolni smrekovi in hibridni preizkušanci ter vsi preizkušanci, ki so bili pred lepljenjem obdelani s plazmo, ustrezali standardnim zahtevam z vidika delaminacije. Do prekomerne delaminacije je prišlo le pri kontrolnih bukovih preizkušancih, ki so imeli po metodi B celotno delaminacijo nad 25 % (slika 3). Na osnovi rezultatov delaminacije lepilnih spojev lahko trdimo, da ima

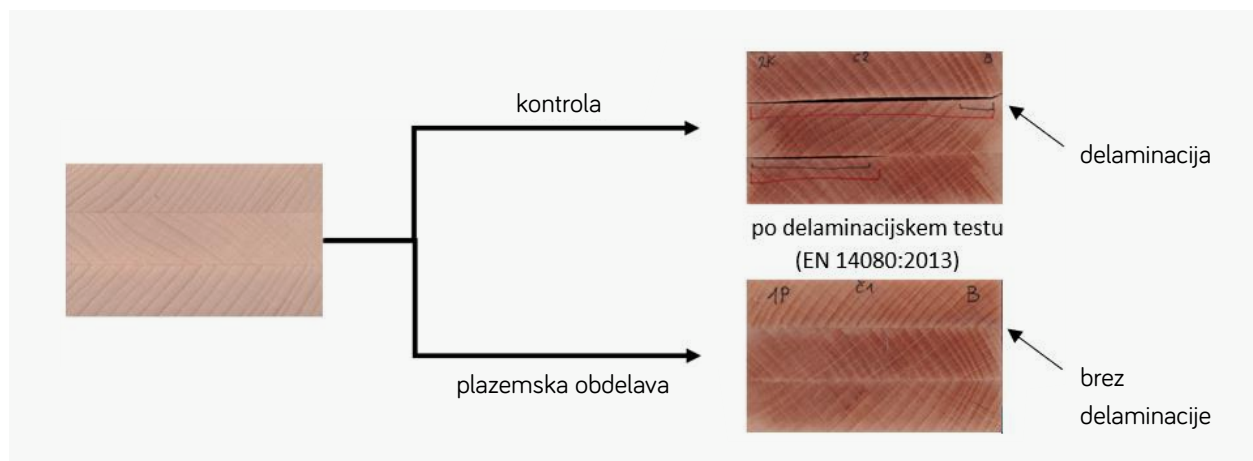
obdelava s plazmo pred lepljenjem z MUF lepilom vpliv na adhezijo pri bukovih lepljencih (slika 4), medtem ko je bilo lepljenje smrekovih in hibridnih lepljencev kakovostno tako z kot brez obdelave površin s plazmo.

Pri strižnih testih po standardu EN 302:2013 smo ugotovili, da je imela plazemska obdelava največji vpliv pri preizkušancih, ki so bili namočeni v hladno ali vrelo vodo (razredi tretiranja A3–A5), kjer je plazemska obdelava značilno izboljšala adhezijo med lesom in lepilom, saj je bila povprečna strižna trdnost večja (slika 5). Statistično značilne razlike so se pokazale pri strižnih testih v razredih A3–A5.

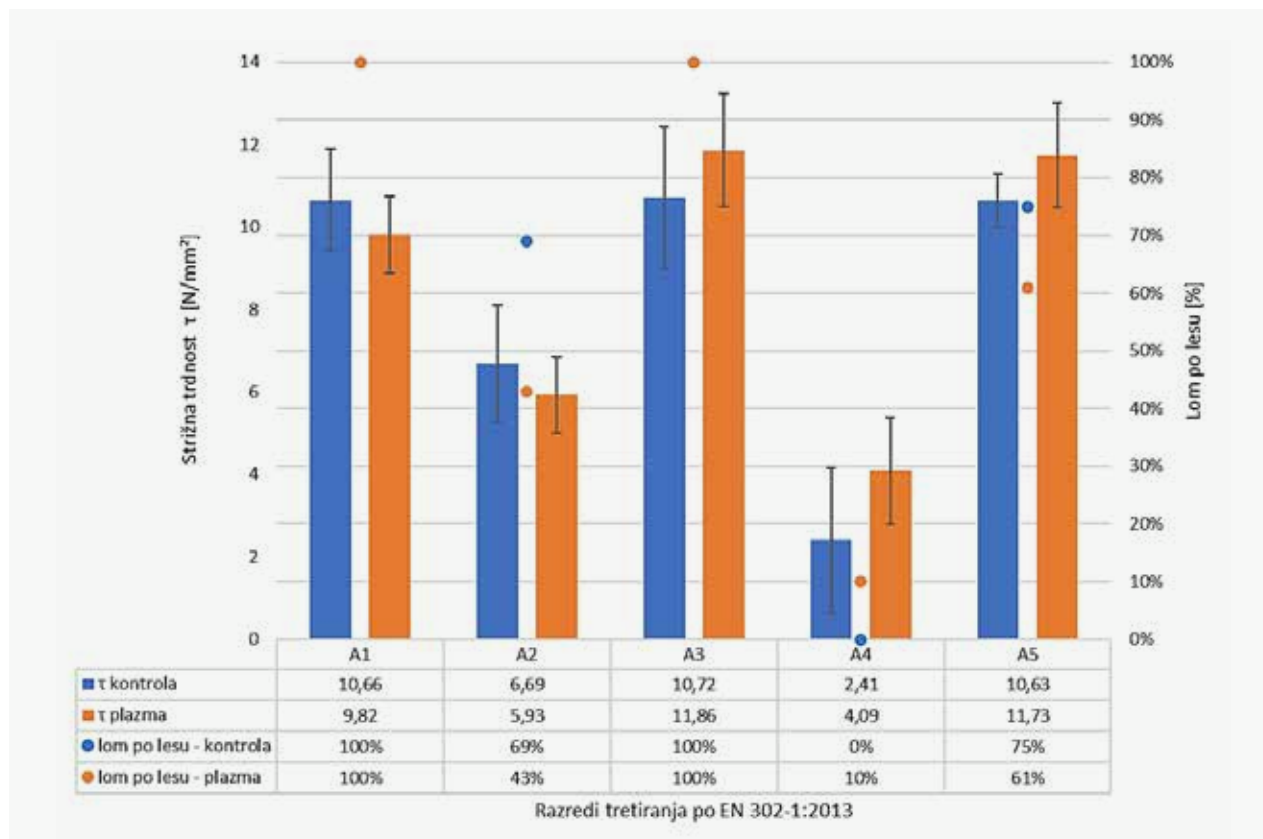
Slika 3: Rezultati delaminacijskega testa po metodi B in C pri bukovih preizkušancih



Slika 4: Delaminacija kontrolnega in plazemsko obdelanega bukovega lepljenca



Slika 5: Rezultati strižnega testa (SIST EN 302-1:2013)



## LITERATURA IN VIRI:

Blanchard, V., Blanchet P., Riedl B. (2009). Surface energy modification by radiofrequency inductive and capacitive plasmas at low pressures in sugar maple: An exploratory study. *Wood and Fiber Science*, 41, 3: 245–254

Frihart, C. & Hunt, C. (2017). Adhesives with wood materials : bond formation and performance. <https://www.semanticscholar.org/paper/Adhesives-with-wood-materials%3A-bond-formation-and-Frihart-Hunt/4c87859c793a37332484c4c9ecde9e14d12ddc8d>

Penetrante, B. M., Hsiao, M. C., Bardsley, J. N., Merritt, B. T., Vogtlin, G. E., Kuthi, A., Burkhart, C. P., Bayless, J. R. (1997). Identification of mechanisms for decomposition of air pollutants by non-thermal plasma processing. *Plasma Sources Science and Technology*, 6, 3: 251

Šernek, M., Kamke, F. A., & Glasser, W. G. (2004). Comparative analysis of inactivated wood surfaces. *Holzforschung*, 58(1), 22–31. <https://doi.org/10.1515/HF.2004.004>

## KLJUČNE BESEDE:

adhezija, bukev, delaminacija, MUF lepilo, plazma, smreka, strižna trdnost

## ZAHVALE:

Prispevek je nastal v okviru raziskovalnega projekta J4-60072, ki ga financira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS).

CC BY SA · DOI 10.20315/SFS.191.14