



Sveučilišta u Zagrebu
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije

Povećanje krutosti lameliranih hrastovih elemenata za graditeljstvo

DAN DOKTORATA BIOTEHNIČKOG PODRUČJA 2021.

Andrija Novosel mag.ing.techn.lign.

Zagreb, 17. rujan, 2021.

Drvo u graditeljstvu sve popularniji materijal

- ❑ Obnovljiv
- ❑ Biorazgradiv
- ❑ Ekološki prihvatljiv
- ❑ Inovativno projektiranje, zamjena opeci i betonu
- ❑ Odlična mehaničko - konstrukcijska svojstva
- ❑ Jednostavnost upotrebe
- ❑ Lamelirane grede u graditeljstvu-veliki poprečni presjek - četinjače
- ❑ listače – dobra prirodna trajnost, velika gustoća – problem za nosive elemente
 - Manji poprečni presjeci – upotreba ojačanja

Ciljevi istraživanja

- Istražiti prikladnost ojačanja na povećanje čvrstoće na savijanje lameliranih hrastovih građevnih elemenata
- Primjenjivost polivinilacetatna ljepila (PVAC), epoksidne smole te poliuretanskih ljepila (PUR)
- Utjecaj pripreme površine na kvalitetu lijepljenja
- Modeliranje ponašanja drvenih građevnih elemenata

- Hipoteza

Drvo u kombinaciji s odgovarajućim materijalima i ljepljom pridonosi poboljšanju krutosti građevnih elemenata

Materijali

Drvo

- Lamelirana hrastovina
 - Sadržaj vode u drvu 9%, prije ispitivanja kondicionirani uzorci $50\% \pm 5\%$ relativne vlage zraka i $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

Ojačanja

- Karbonska vlakna
- Staklena vlakna
- Aluminijski profil
- Željezni profil

Ljepila

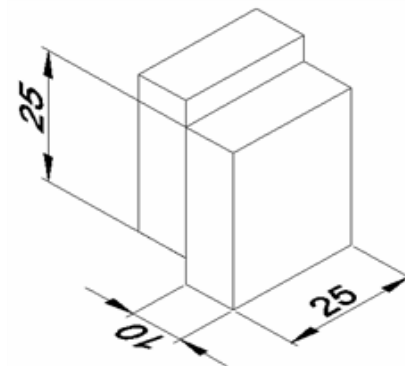
- Epoksidna smola
- Poliuretanska ljepila
- Polivinil-acetatno ljepilo
 - Utjecaj pripreme površine-čeono blanjanje, brušenje, obodno glodanje

Metodologija

Faza 1

Ispitivanje utjecaja različitih ljepila i pripreme površine

- ❑ utvrđivanje čvrstoće lijepljenog spoja - Norma ISO 6238
 - ❑ Snimanje pomaka sustavom Aramis
 - ❑ 5 vrsta ljepila
 - ❑ 3 vrste površinske obrade
 - ❑ Opcija – utjecaj vrste ljepila na lijepljenje implantata
 - ❑ Opcija – utvrđivanje trajnosti lijepljenog spoja
-
- Izlaganje uzoraka klimama $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ i $30\% \pm 5\%$ relativne vlažnosti i $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ i $70\% \pm 5\%$ relativne vlažnosti
 - Ispitivanje čvrstoće spoja i deformacija na tlak nakon kondicioniranja



Provedena ispitivanja

Faza 1

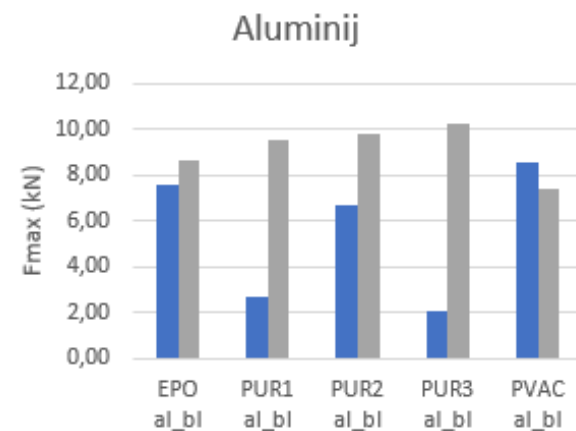
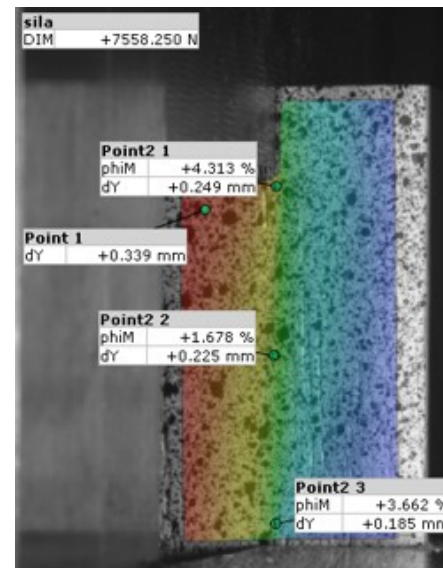
Ispitivanje utjecaja različitih ljepila i pripreme površine



Provedena ispitivanja

Faza 1

Dobiveni rezultati



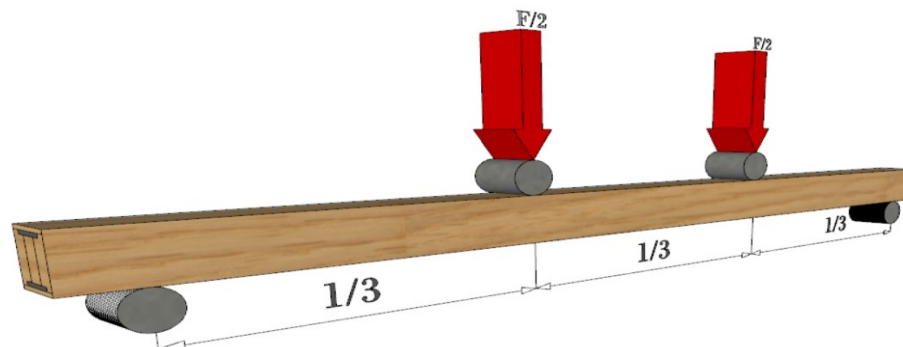
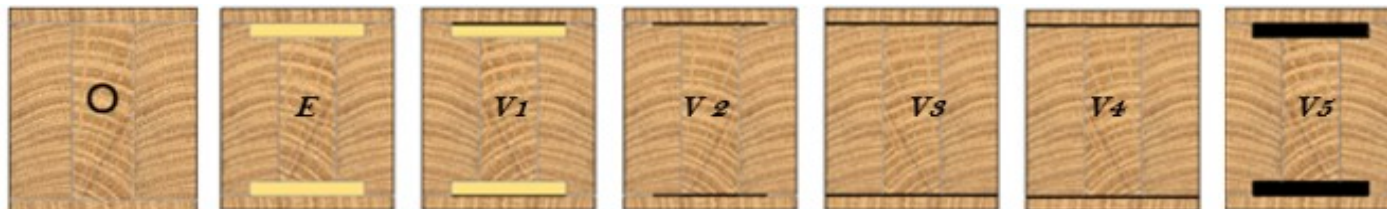
■ prosječna max sila (kN) ■ REF prosječna max sila (kN)

Metodologija

Faza 2

Mehaničko ispitivanje ojačanih greda

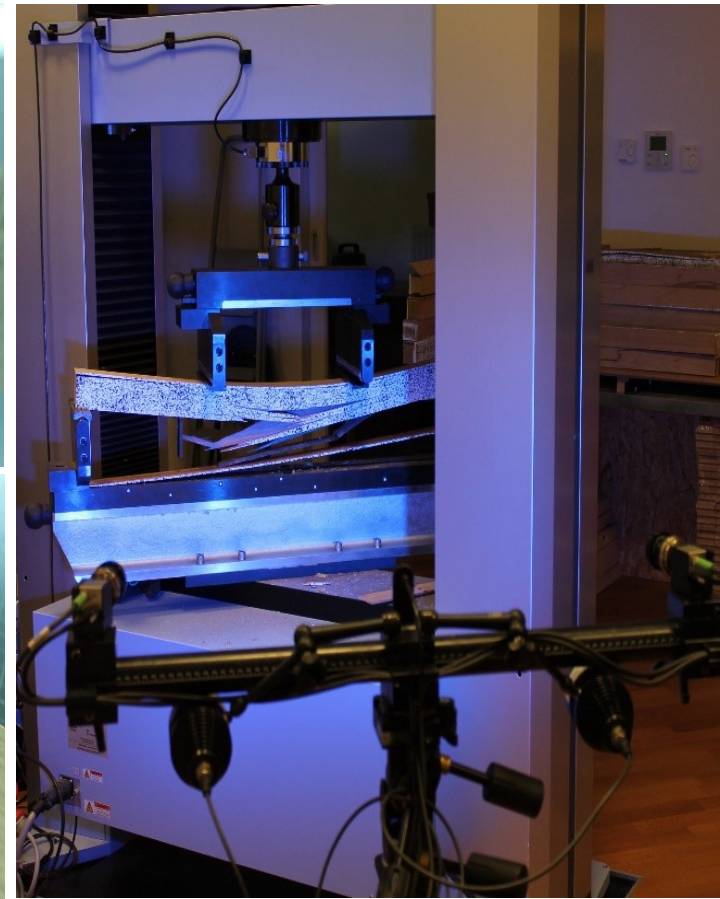
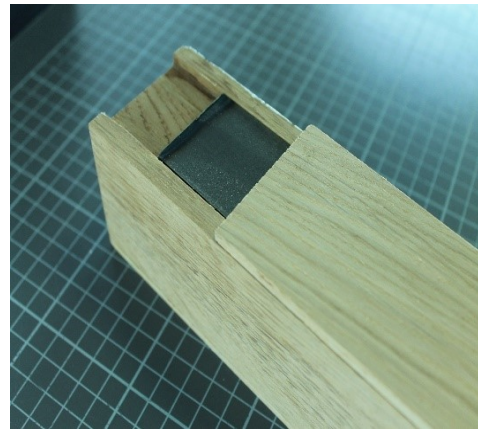
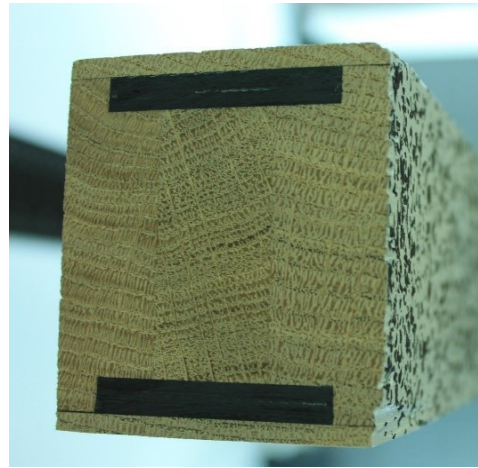
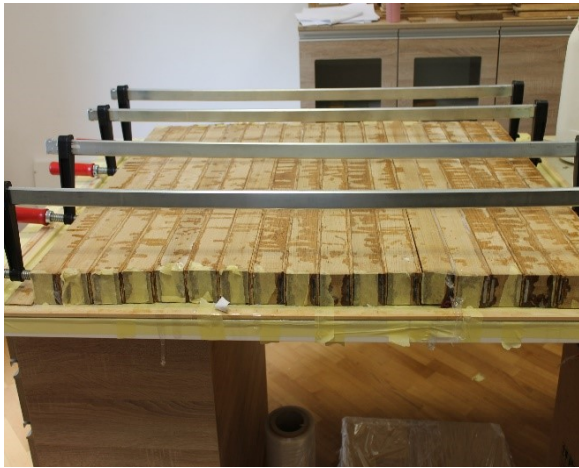
- Utjecaj ojačanja na mehanička svojstva greda
- Ispitivanje u 4 točke prema normi HRN EN 408
- Snimanje pomaka sustavom Aramis
- Ojačanja staklena i karbonska vlakna, aluminij, željezo



Provedena ispitivanja

Faza 2

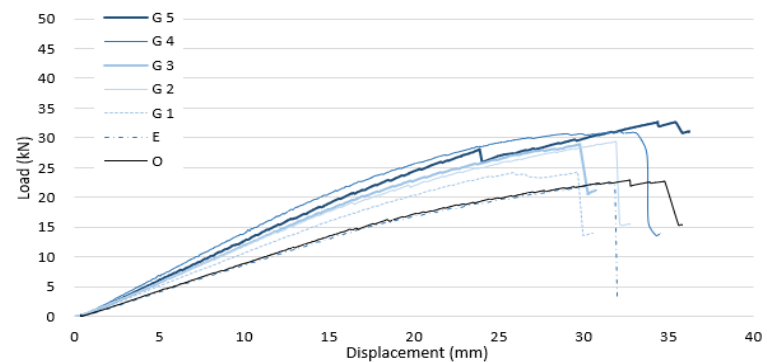
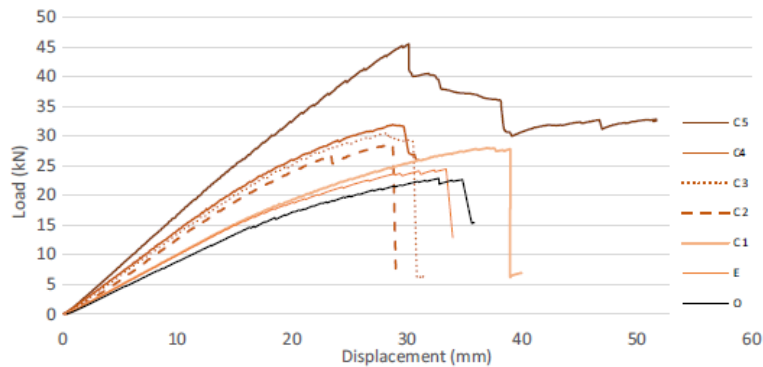
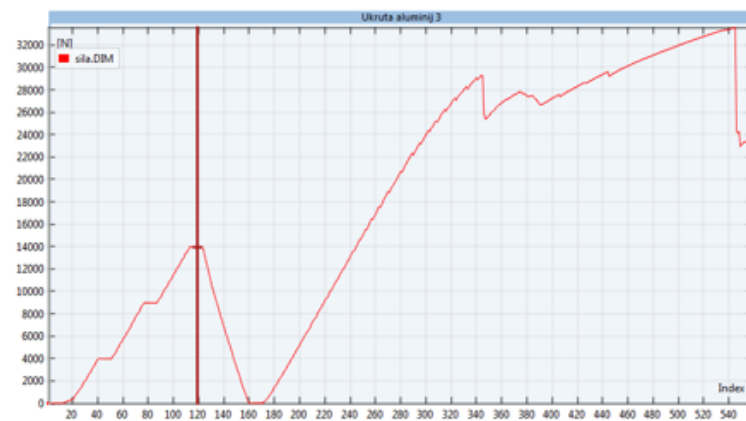
Mehaničko ispitivanje ojačanih greda



Provedena ispitivanja

Faza 2

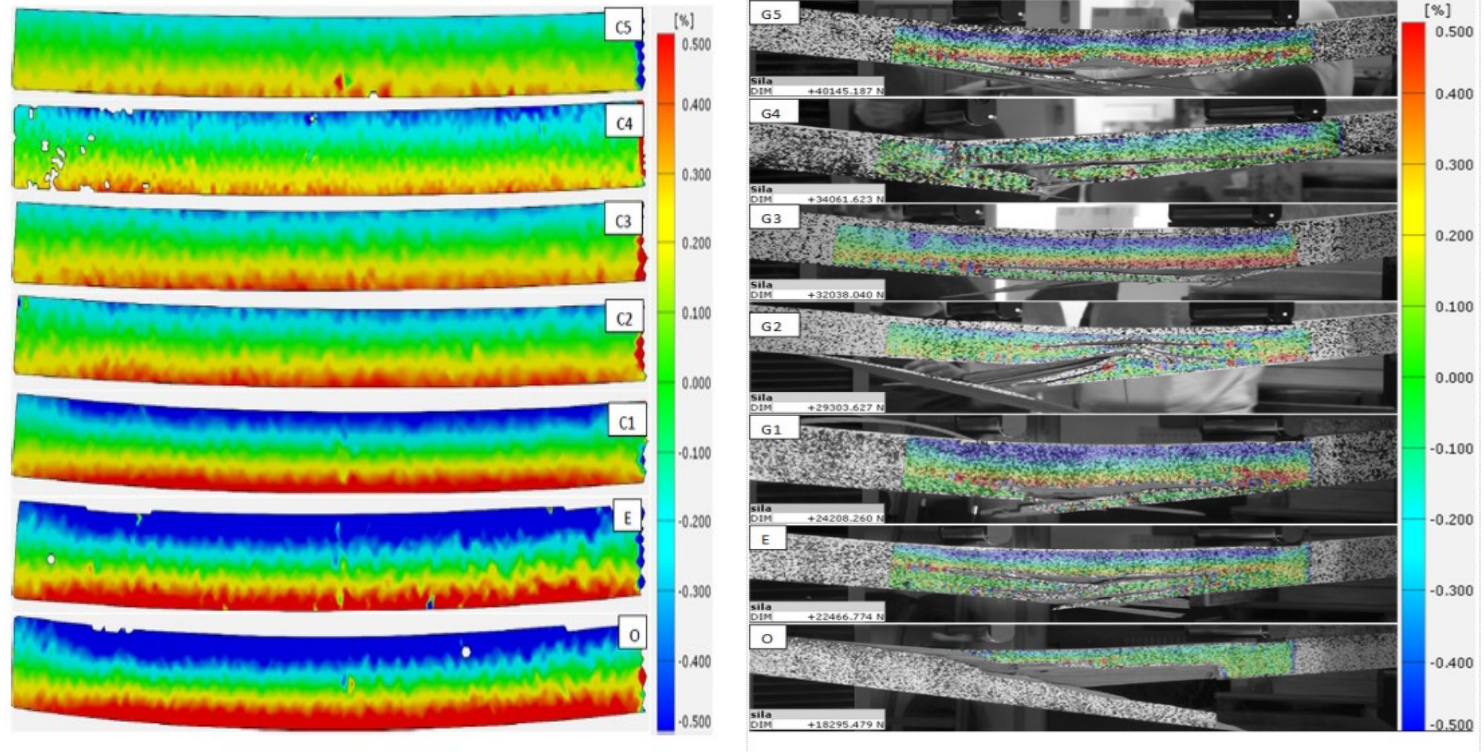
Dobiveni rezultati



Provedena ispitivanja

Faza 2

Dobiveni rezultati



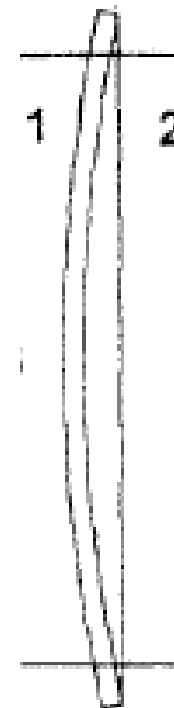
Objavljen članak Novosel, A.; Sedlar, T.; Čizmar, D.; Turkulin, H.; Živković, V. Structural reinforcement of bi-directional oak-wood lamination by carbon fibre implants (2021) Constr. Build. Mater. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123073>

Metodologija

Faza 3

Ispitivanje ojačanih lameliranih greda između različitih klimatskih uvjeta

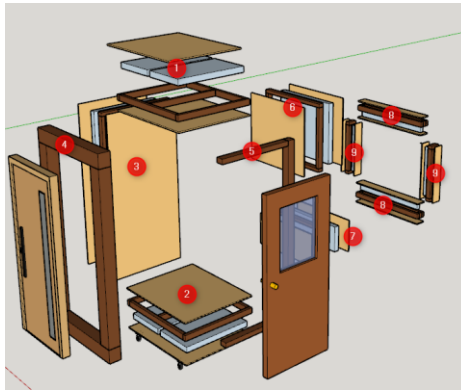
- Odabir uvjeta izlaganja prema EN 1121
- Izlaganje ojačanih greda 2 m dužine klimama
 - $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ i $50\% \pm 5\%$ relativne vlažnosti zraka – strana 1, konst. klima
 - $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ i $85\% \pm 5\%$ relativne vlažnosti zraka – strana 2, 4 tjedna
 - $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ i $30\% \pm 5\%$ relativne vlažnosti zraka – strana 2, 4 tjedna
- Ispitivanje pomaka i deformacija sustavom Aramis



Provedena ispitivanja

Faza 3

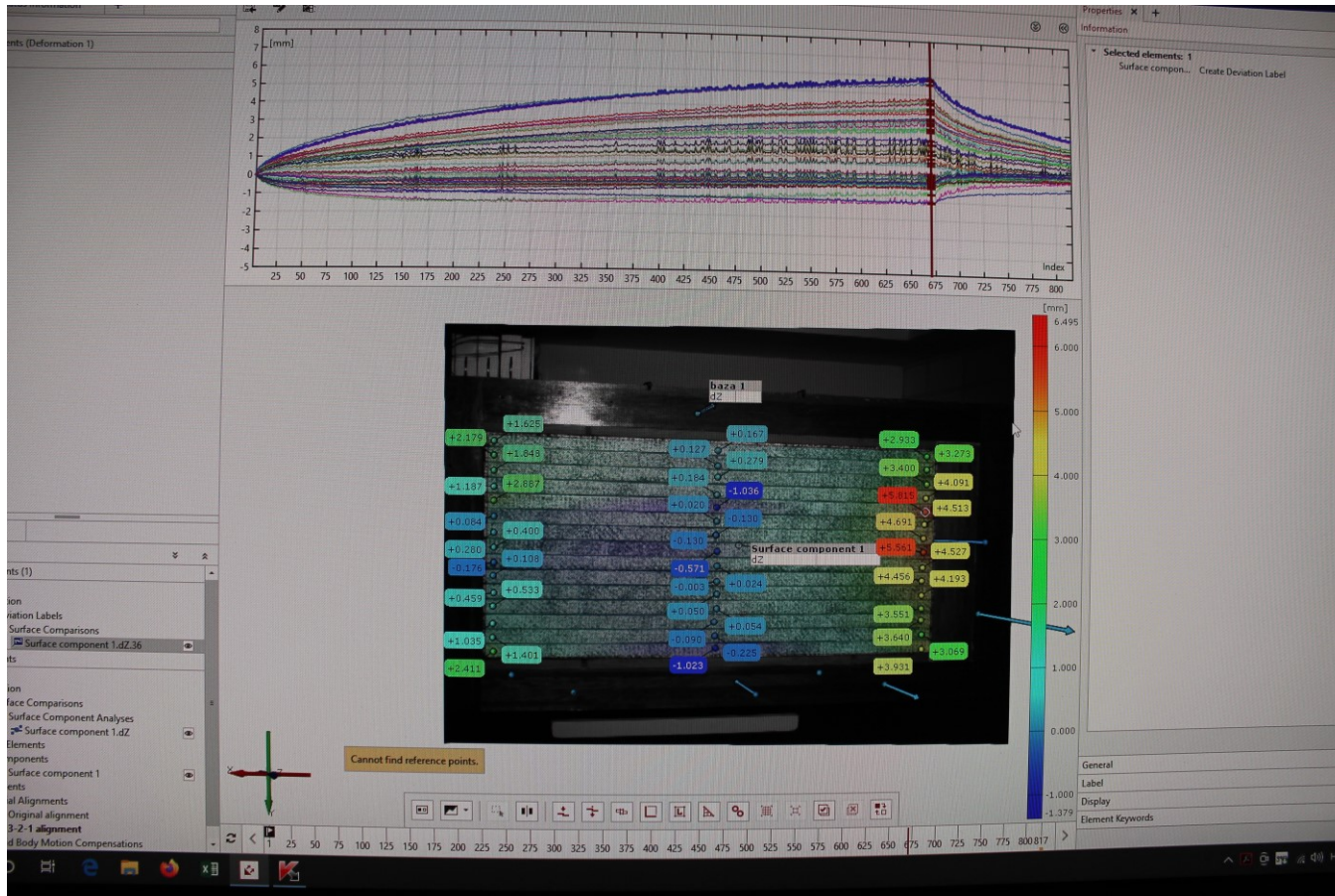
Ispitivanje ojačanih lameliranih greda između različitih klimatskih uvjeta



Provedena ispitivanja

Faza 3

Dobiveni rezultati



Dan doktorata biotehničkog područja 2021. "Povećanje krutosti lameliranih hrastovih elemenata za graditeljstvo", Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 2021

Metodologija

Faza 4

Ispitivanje ojačanih lameliranih ploča s odabranim ojačanjima

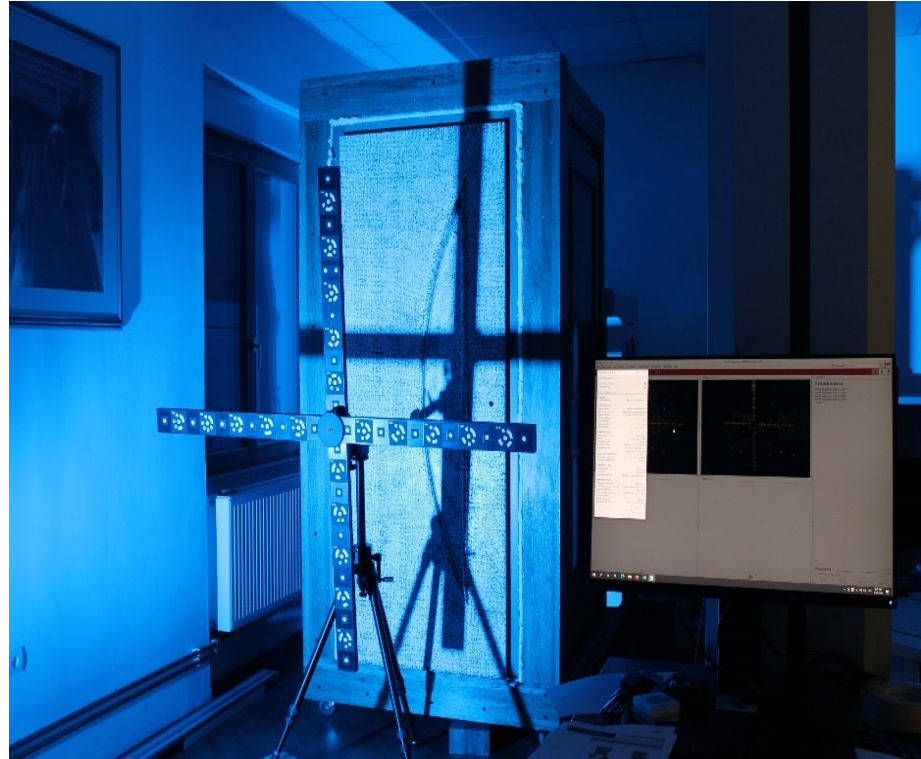
- Ispitivanje neojačanih ploča
 - Izlaganje uvjetima diferencijalne klime, snimanje sustavom Aramis
- Izrada ploča s karbonskim vlaknima
 - Izlaganje uvjetima diferencijalne klime, snimanje sustavom Aramis
- Izrada ploča sa staklenim vlaknima
 - Izlaganje uvjetima diferencijalne klime, snimanje sustavom Aramis
- Upotreba epoksidne smole



Provedena ispitivanja

Faza 4

Ispitivanje ojačanih lameliranih ploča s odabranim ojačanjima



Provedena ispitivanja

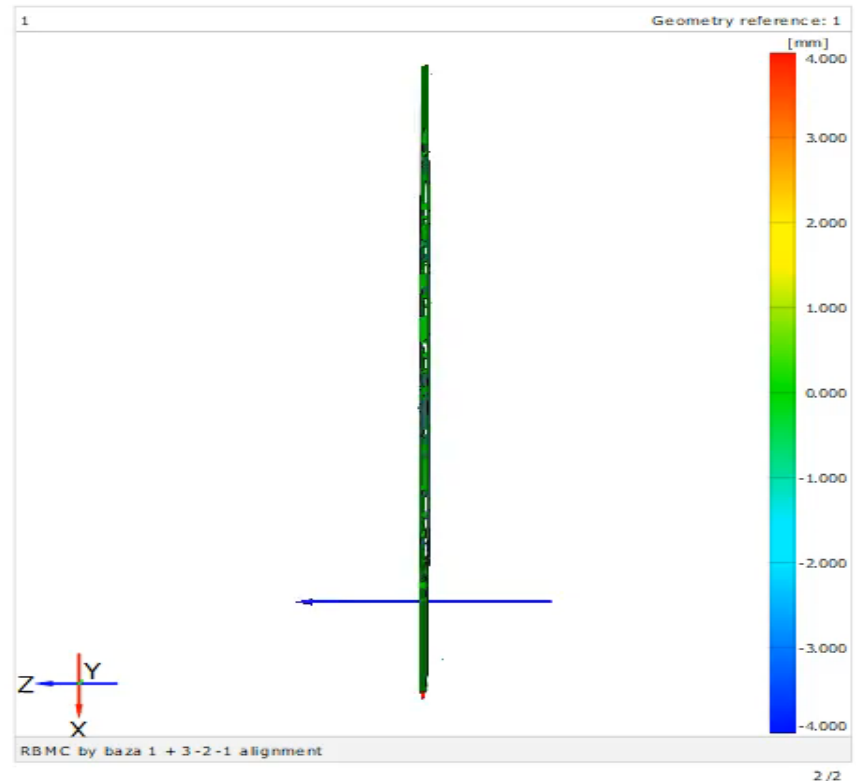
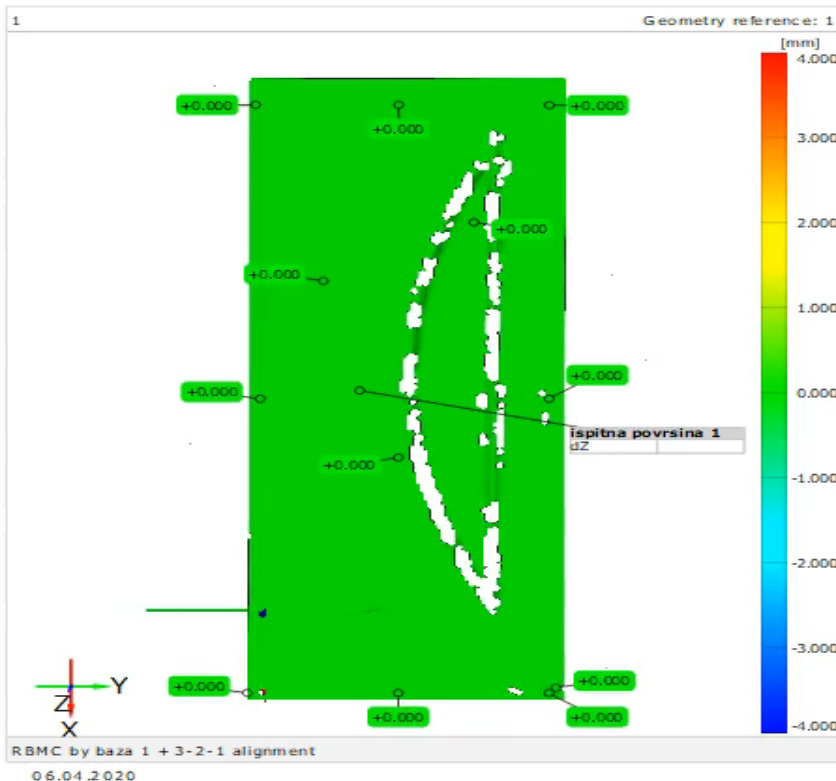
Faza 4

Dobiveni rezultati

Generated with ARAMIS Professional 2019



Castorama 6-1



Provedena ispitivanja

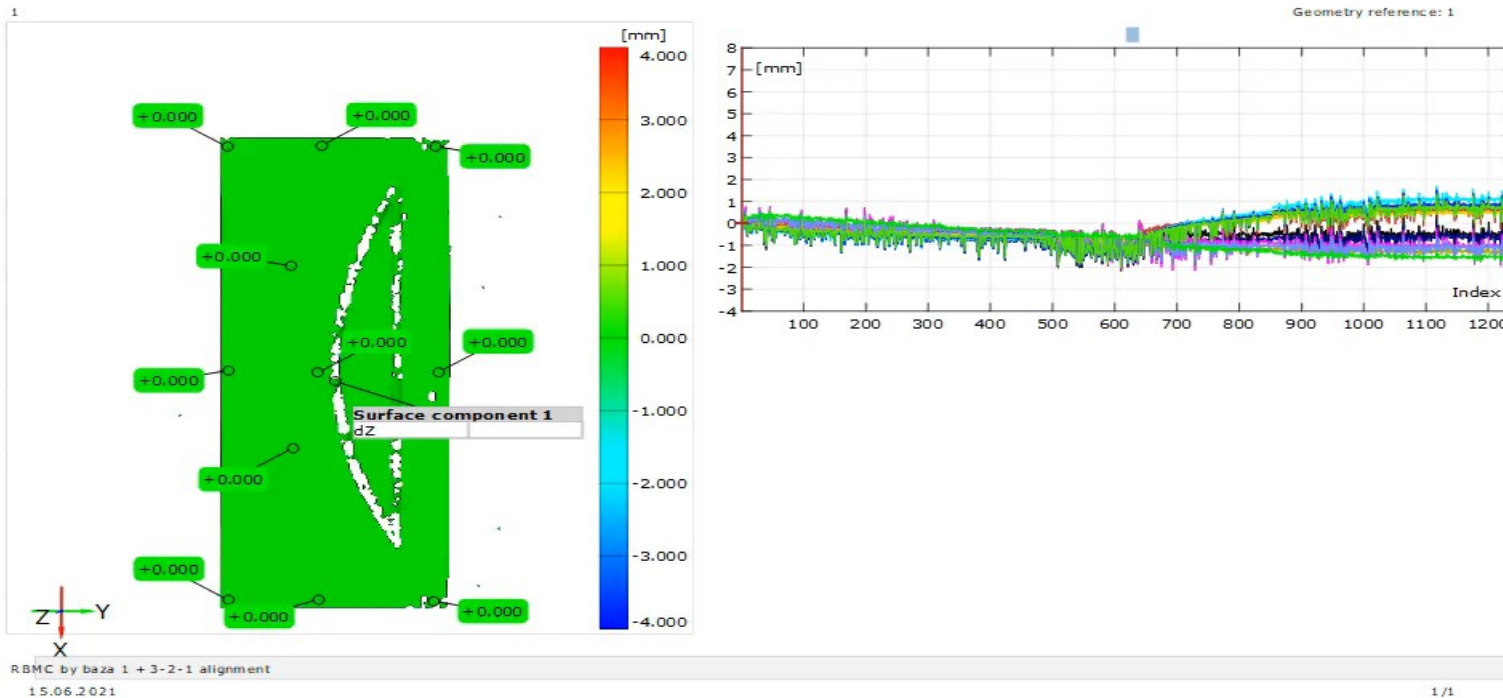
Faza 4

Dobiveni rezultati

Generated with ARAMIS Professional 2019



Castorama with carbon



Metodologija

Faza 5

Modeliranje ponašanja drvenih građevnih elemenata prema mehaničkim zahtjevima i upotrebi

- Modeliranje modela drvenih građevnih elemenata prema njihovim mehaničkim zahtjevima i krajnjoj upotrebi softverom

Hvala Vam na pažnji!

Andrija Novosel mag.ing.techn.lign.