ODDELEK ZA KONSTRUKCIJE
Odsek za lesene konstrukcije

ZAVOD ZA GRADBENIŠTVO SLOVENIJE

SLOVENIAN NATIONAL BUILDING AND CIVIL ENGINEERING INSTITUTE

Dimičeva ulica 12
1000 Ljubljana
Slovenija

info@zag.si
www.zag.si

POROČILO
919/24-640-2

o pregledu in oceni stanja lesene nosilne konstrukcije strehe športne dvorane v Bovcu

Naročnik:	**Kolektor Koling d.o.o., Arkova ulica 43, 5280 Idrija**
Naročilo:	**Ponudba ZAG 965/2024 z dne 20. 9. 2024 (potrjena z e-sporočilom dne 23. 9. 2024)**
Nosilec naloge:	**dr. Boris Azinović, univ. dipl. inž. grad.**
Vodja enote:	**dr. Tomaž Pazlar, univ. dipl. inž. grad.**
Direktor:	**doc. dr. Aleš Žnidarič, univ. dipl. inž. grad.**
Datum:	19. 11. 2024

Digitalno podpisano:
ALJOŠA ŠAJNA, ZAG

(po pooblastilu direktorja)



Poročilo so interno pregledale in odobrile vse navedene osebe, kar potrjuje končni elektronski podpis.
Preverjanje pristnosti dokumenta: www.zag.si/pristnost

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.
Rok za reklamacije je 15 dni od izdaje poročila. Skupno število strani: 49; število prilog: 4 (A1-A9, B1-B79, C1-C5, D1-D5).

Vsebina

1. Uvod 4
1.1 Uporabljeni standardi in tehnične smernice 5
1.2 Podloge in pridobljena dokumentacija 6
1.3 Druga literatura 7
2. Opis obravnavane konstrukcije 9
3. Ugotovitve pregleda stanja (lesenih) konstrukcij 11
3.1 Ugotovitve terenskega pregleda 11
3.1.1 Leseni nosilni elementi – materiali, izdelava, montaža 11
3.1.2 Splošna ocena kakovosti vgrajenih lesenih nosilnih elementov 12
3.1.3 Sušne in delaminacijske razpoke med posameznimi lamelami 14
3.1.4 Sanacija nosilca 6.1 14
3.1.5 Neustrezno podpiranje nosilcev na armiranobetonski konstrukciji 16
3.1.6 Druge poškodbe 18
3.2 Preskusi strižne trdnosti lepljenih spojev 18
4. Ugotovitve pregleda projektne dokumentacije 22
4.1 Zasnova in statični izračun 22
4.1.1 Oblika in velikost nosilcev 23
4.1.2 Oblika strehe in določanje vplivov 26
4.1.3 Metoda izračuna sestavljenega »T« prereza 27
4.1.4 Projektiranje prečnih prerezov s kombinacijo napetosti 28
4.1.5 Požarna obtežba 29
4.2 Načrti PZI, dokumentacija proizvajalca / monterja lesene konstrukcije in ostali relevantni dokumenti 30
4.2.1 Uporabljeni materiali in zahteve projektne dokumentacije 30
4.2.2 Vremenski vplivi 33
5. Statična presoja strešne konstrukcije 38
5.1 Obtežba 38
5.2 Računski model z opisom robnih pogojev in predpostavk 39
5.3 Statična presoja nepoškodovane konstrukcije 41
5.4 Scenarij porušitve nosilcev 42
6. Zaključki 45
6.1 Ugotovitve terenskega pregleda 45
6.2 Ugotovitve pregleda dokumentacije 46
6.3 Najverjetnejši scenarij porušitve – statična presoja 48

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

6.4 Predlogi nadaljnjih ukrepov 49
Priloga A Shematski prikaz poškodb A1-A9
Priloga B Slikovno gradivo B1-B79
Priloga C Rezultati preskušanja strižne trdnosti lepljenih spojev C1-C5
Priloga D Določitev obtežbe zelene strehe D1-D5

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

1. Uvod

V tem poročilu je podana detajlna ocena stanja in analiza nosilnih elementov lesene strešne konstrukcije v športni dvorani v Bovcu (slika 1.1), povzetek ugotovitev pa je predstavljen v poročilu ZAG 919/24-640-1. Naloga je bila izvedena na osnovi povpraševanja glavnega izvajalca gradbenih del, podjetja Kolektor Koling d.o.o., Arkova ulica 43, 5280 Idrija, z dne 17. 9. 2024, in sicer zaradi prevelikih deformacij oz. porušitve nekaterih glavnih strešnih nosilcev. V nalogi so identificirani najverjetnejši razlogi za nastale poškodbe in sicer z naslednjimi aktivnostmi:

1. Podrobni pregled vseh lesenih nosilcev oz. strešne konstrukcije z odvzemom vzorcev za preskuse strižne trdnosti lepljenih spojev in
2. Pregled projektne dokumentacija (arhitekturni načrti, statični izračun, projekt izvedenih del, dokumentacija proizvajalca / monterja lesene konstrukcije, ostali relevantni dokumenti).

Pregled nosilne strešne konstrukcije je bil izveden iz notranjosti objekta, z dvižno košaro, ob tem so bila identificirana najbolj poškodovana mesta (Prilogi A in B), dodatno so bili odvzeti vzorci - valji, ki so bili nadalje v skladu z zahtevami standarda EN 14080 preskušeni v laboratoriju (strižna trdnost lepljenih spojev - Priloga C). Pregled z zunanje strani objekta je obsegal oceno debeline vrhnjih slojev zelene strehe z oceno možnosti zastajanja vode, pri čemer je bil odvzet vzorec za določitev lastne teže zemljine v zasičenem stanju (Priloga D).

Pregledi nosilne lesene strešne konstrukcije so bili opravljeni v dneh 10. 10., 11. 10. in 15. 10. 2024. Sestanek pri proizvajalcu in monterju lesenih delov strešne konstrukcije Hoja d.o.o. je bil opravljen 23. 10. 2024, preskusi strižne trdnosti lepljenih spojev so bili izvedeni 5. 11. 2024 v Laboratoriju za polimerne materiale Zavoda za gradbeništvo Slovenije (ZAG). Pregleda dokumentacije kontrole proizvodnje lepljenih lameliranih elementov proizvajalca Hoja d.o.o. (delavniška dokumentacija, zapisi proizvodnje, dokazila o vhodnih materialih, rezultati kontrolnega preskušanja pri proizvodnji elementov) ni bilo mogoče opraviti, saj gradivo, kljub večkratnim pozivom, ni bilo posredovano v pregled.



Slika 1.1: Poškodovani leseni lepljeni nosilci v športni dvorani v Bovcu.

1.1 Uporabljeni standardi

STANDARDI EVROKOD

EVROKOD 0 (SIST EN 1990) – Osnove projektiranja

[S1] SIST EN 1990:2004. Evrokod – Osnove projektiranja
[S2] SIST EN 1990:2004/A101. Evrokod – Osnove projektiranja -nacionalni dodatek

EVROKOD 1 (SIST EN 1991) – Vplivi na konstrukcije

[S3] SIST EN 1991-1-1:2004. Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Gostote, lastna teža, koristne obtežbe stavb
[S4] SIST EN 1991-1-1:2004/A101. Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Gostote, lastna teža, koristne obtežbe stavb – Nacionalni dodatek
[S5] SIST EN 1991-1-2:2004. Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-2. del: Splošni vplivi – Vplivi požara na konstrukcije
[S6] SIST EN 1991-1-3:2004. Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-3. del: Splošni vplivi – Obtežba snega
[S7] SIST EN 1991-1-3:2004/A101. Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-3. Del: Splošni vplivi – Obtežba snega – Nacionalni dodatek
[S8] ÖNORM B 1991-1-3. Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten. Nationale Festlegungen zur ÖNORM EN 1991-1-3, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen

EVROKOD 3 (SIST EN 1993) – Projektiranje jeklenih konstrukcij

[S9] SIST EN 1993-1-1:2005. Evrokod 3 – Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1.1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe
[S10] SIST EN 1993-1-1:2005/A101. Evrokod 3 – Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1.1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe – Nacionalni dodatek
[S11] SIST EN 1993-1-8:2005. Evrokod 3 – Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1.8. del: Projektiranje spojev
[S12] SIST EN 1993-1-8:2005/A101. Evrokod 3 – Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1.8. del: Projektiranje spojev – Nacionalni dodatek

EVROKOD 5 (SIST EN 1995) – Projektiranje lesenih konstrukcij

[S13] SIST EN 1995-1-1:2005. Evrokod 5 – Projektiranje lesenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe
[S14] SIST EN 1995-1-1:2005/A101. Evrokod 5 – Projektiranje lesenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe – Nacionalni dodatek, marec 2006
[S15] SIST EN 1995-1-2:2005/A102. Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe – Nacionalni dodatek A102, januar 2018
[S16] CEN/TC 250. Osnutek prEN 1995-1-1:2023, Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij - 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe, september 2023
[S17] CEN/TC 250. Osnutek prEN 1995-3:2023, Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij – 3. del: Izvedba, april 2023

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

HARMONIZIRANI STANDARDI

[S18] EN 14081-1:2005+A1:2011: Lesene konstrukcije - Razvrščanje konstrukcijskega lesa pravokotnega prečnega prereza po trdnosti - 1. del: Splošne zahteve
[S19] EN 15497:2014: Konstrukcijski zobato spojen masivni les - Zahteve za uporabo in minimalne zahteve za proizvodnjo
[S20] EN 14080:2013: Lesene konstrukcije - Lepljeni lamelirani les in lepljeni masivni les
[S21] SIST EN 338:2016. Konstrukcijski les - Trdnostni razredi

OSTALI STANDARDI

[S22] DIN 4074 – 1: 2012. Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadelschnittholz. Razvrščanje lesa po trdnosti – 1. del: Žagani les iglavcev
[S23] EN 1912:2012/AC-2013. Konstrukcijski les – Trdnostni razredi – Določitev trdnostnih razredov na podlagi vizualnega razvrščanja in vrste lesa (veljaven v času proizvodnje lesenih lepljenih elementov)
[S24] SIST EN 13183-2:2002. Delež vlage v žaganem lesu – 2. del: Ocena z metodo električne upornosti
[S25] SIST EN ISO 17892-2:2015. Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Laboratorijsko preskušanje zemljin – 2.del: Ugotavljanje prostorninske gostote

1.2 Podloge in pridobljena dokumentacija

Pri pregledu lesene nosilne konstrukcije in pri pripravi poročila je bila uporabljena tehnična dokumentacija, dostavljena s strani naročnika in s strani občine Bovec:

[D1] ŠPORTNA DVORANA BOVEC (PZI – projekt za izvedbo del, načrt s področja gradbeništva)
Projektant: Projekt d.d., Kidričeva ulica 9a, 5000 Nova Gorica
Odg. projektant: Vilko Šuligoj, u.d.i.g. (IZS G-0711) / Matej Jan, u.d.i.g. (IZS G-3857)
Vodja projekta: Robert Potokar, u.d.i.a. (ZAPS A-0735)
Datum: julij 2021 in spremembe marec 2023
[D2] ŠPORTNA DVORANA BOVEC (PZI – projekt za izvedbo del, načrt arhitekture)
Projektant: Ravnikar Potokar arhitekturni biro d.o.o., Gregorčičeva ulica 9, 1000 Ljubljana
Odg. projektant: Robert Potokar, u.d.i.a. (ZAPS A-0735)
Vodja projekta: Robert Potokar, u.d.i.a. (ZAPS A-0735)
Datum: april 2023
[D3] ŠPORTNA DVORANA BOVEC (Gradbeni dnevnik)
Izvajalec: Kolektor Koling d.o.o., Arkova ulica 43, 5280 Idrija
Datum: september 2023 do oktober 2024
[D4] Izjave o lastnostih za lepljene lesene elemente, vijačni material in kovinske dele v spojih
Izdelovalec: Hoja, lepljene konstrukcije in žaga, d.d., Žagarska ulica 5, 1291 Škofljica
Datum: 13. 5. 2024
[D5] Poročilo o pregledu poškodb na lesenih lepljenih nosilcih na gradbišču Športne dvorane Bovec
Izdelovalec: ZRMK, Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana
Nosilec naloge: mag. Anton Štampfl, univ. dipl. inž. grad.
Datum: 12. 9. 2024

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

[D6] TEHNOLOŠKO EKONOMSKI ELABORAT za izdelavo jeklene konstrukcije: Športna dvorana Bovec
Izdelovalec: MKK KUS d.o.o., Župeča vas 7c, 8263 Cerklje ob Krki
Datum: 14. 11. 2023

[D7] Usklajevanje delavniške dokumentacije med projektantom (Projekt d.d.) in izdelovalcem lesene konstrukcije (Hoja d.o.o.) – elektronska sporočila

[D8] Opredelitev sestave zelene strehe, Izdelovalec: Humko d.o.o., Avtor: Tomaž Čufer - elektronsko sporočilo z dne 13. 9. 2024

[D9] Zapisnik in fotografije terenskega ogleda izdelanih lesenih elementov na Hoji, Datum: 1. 12. 2022

[D10] Fotografska dokumentacija naročnika dvorane vezana na izgradnjo strehe
Izdelovalec: Občina Bovec, Trg golobarskih žrtev 8, 5230 Bovec
Datum: 12. 4. 2023 do 4. 9. 2024

[D11] Fotografska dokumentacija izvajalca vezana na izgradnjo strehe
Izdelovalec: Kolektor Koling d.o.o., Arkova ulica 43, 5280 Idrija
Datum: 15. 5. 2024 do 25 .9. 2024

[D12] Fotografska dokumentacija izvajalca vezana na odstranitev zelene strehe
Izdelovalec: Kolektor Koling d.o.o., Arkova ulica 43, 5280 Idrija
Datum: 15. 10. 2024

1.3 Druga literatura

[L1] Thelandersson, Sven. Timber Engineering. Vol. 169. John Wiley & Sons, LTD, 2003.

[L2] Frühwald, Eva, et al. "Design of safe timber structures - How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber?" (2007)

[L3] Winter, Stefan, and Heinrich Kreuzinger. "The Bad Reichenhall ice-arena collapse and the necessary consequences for wide span timber structures." WCTE 2008

[L4] Frese, Matthias, and Hans Joachim Blaß. "Statistics of damages to timber structures in Germany." Engineering Structures 33.11 (2011): 2969-2977

[L5] Dietsch, Philipp, and Stefan Winter. "Robustness of Secondary Structures in wide-span Timber Structures." WCTE. 2010

[L6] Vida, Christoffer, et al. "Size effect on bending strength of glued laminated timber predicted by a numerical simulation concept including discrete cracking." Materials & Design 225 (2023): 111550

[L7] Fink, Gerhard, et al. "Volume Effects in Glued Laminated Timber Beams." 14th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, ICASP14 Dublin, Ireland, July. 2023

[L8] Franke, Bettina, et al. "Moisture content and moisture-induced stresses of large glulam members: laboratory tests, in-situ measurements and modelling." Wood Material Science & Engineering (2019)

[L9] Tannert, T., Anthony, R. W., Kasal, B., Kloiber, M., Piazza, M., Riggio, M., Rinn, F., Widmann, R., & Yamaguchi, N. (2014). In situ assessment of structural timber using semi-destructive techniques. Materials and Structures, 47(5), 787–804

[L10] Brandner, Reinhard, and Gerhard Schickhofer. "Glued laminated timber in bending: new aspects concerning modelling." Wood science and technology 42.5 (2008): 401-425

[L11] Toratti, Tomi, Simon Schnabl, and Goran Turk. "Reliability analysis of a glulam beam." Structural safety 29.4 (2007): 279-293

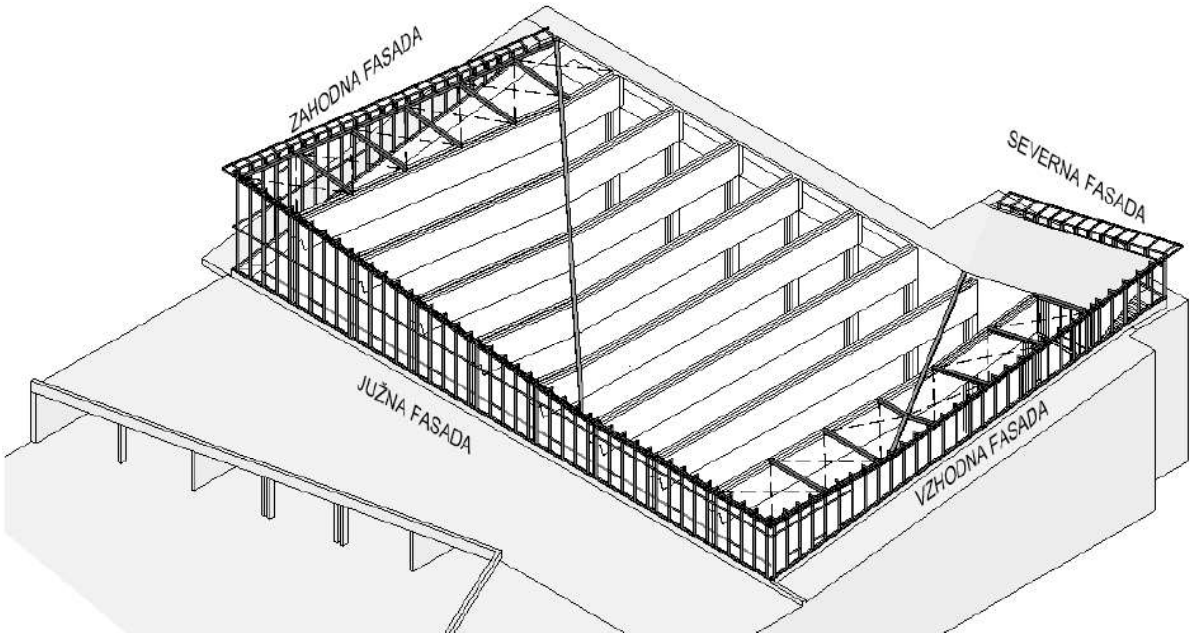
Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

[L12] Glass, Samuel V., and Samuel L. Zelinka. Moisture Relations and Physical Properties of Wood. General Technical Report FPL–GTR–190, U.S. Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010
[L13] Poročilo o vremenskem dogajanju med 2. in 5. novembrom 2023: https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/obilne-padavine-veter_2-5nov2023.pdf, dostopno 6. 11. 2024
[L14] Poročilo o vremenskem dogajanju med 30. novembrom in 2. decembrom 2023 https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/nenavadno-vreme_30nov-2dec2023.pdf, dostopno 6. 11. 2024
[L15] Poročilo o vremenskem dogajanju med 19. in 21. oktobrom 2023 https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/toplo-vreme-veter-padavine_19-21okt2023.pdf, dostopno 6. 11. 2024
[L16] Gaspar, F., Cruz, H., & Gomes, A. Evaluation of glue line shear strength of laminated timber structures using block and core type specimens. Eur. J. Wood Prod. 76, 413–425 (2018)
[L17] Radovic B, Wiegand T. Oberflächenqualität von Brettschichtholz. Bauen mit Holz. 2005;7:33-38
[L18] Franke S, Franke B, Harte AM. Failure modes and reinforcement techniques for timber beams – State of the art. Constr Build Mater. 2015;97:2-13
[L19] Akter ST, Binder E, Bader TK. Moisture and short-term time-dependent behavior of Norway spruce clear wood under compression perpendicular to the grain and rolling shear. Wood Material Science and Engineering. 2023; 18(2):580-593
[L20] Merhar, M. Application of Failure Criteria on Plywood under Bending. Polymers 2021, 13, 4449. https://doi.org/10.3390/polym13244449
[L21] Dlubal RFEM v5.34.01. https://www.dlubal.com/en/products/older-products/rfem-5/what-is-rfem-5?srsltid=AfmBOorwMAZiZcsq9ngXxlnJNkf4PjuVgzIY8No2QM-TpSKzbUQ8HqC
dostopno 10. 11.2024

2. Opis obravnavane konstrukcije

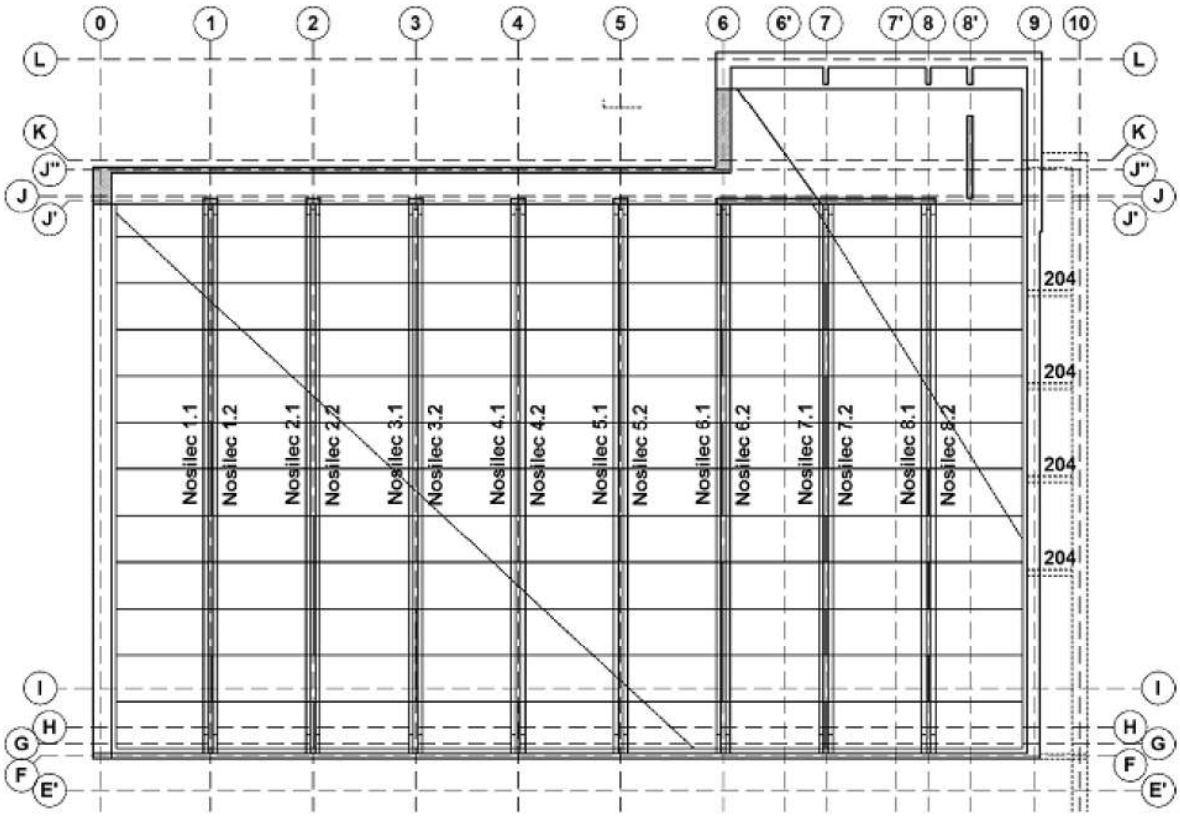
Glavna nosilna strešna konstrukcija nad osrednjim delom športne dvorane je zasnovana iz lesenih lepljenih lameliranih nosilcev, lomljenih, v obliki črke ˝V˝, dimenzij prečnega prereza b/h = 24/245 cm (trdnostni razred GL 28h) in ravnih dimenzij prečnega prereza b/h = 24/245 cm (trdnostni razred GL 28h). Oblika nosilcev sledi konturi geometrijsko razgibane strešine (slika 2.1), ki je tlorisnih dimenzij cca. 30 x 50 m (slika 2.1). V vsaki osi sta načrtovana dva soležna nosilca (medsebojni osni razmik 51 cm, z distančniki na razmiku ca 5 m) v rastru 5,5 m. Nosilci premagajo celoten razpon (ca 29 m) osrednjega prostora brez podpore in se naslanjajo na razširitve AB stene na eni strani (AB stebri) ter lesene stebre prečnega prereza b/h = 24/100 cm (trdnostni razred GL 28h), ki so ojačani - povezani z vmesnim stebrom dimenzij b/h 27/45 cm (končni H prerez) na drugi strani. Vijačenje na delu, kjer je konstrukcija vidna je utopljeno in prekrito z lesenimi čepi.

Na leseno konstrukcijo ostrešja se pritrjuje še jeklena konstrukcija fasade (slika 2.1), med katero je tro-slojna izolacijska zasteklitev. Jeklena konstrukcija fasade je sestavljena iz stebrov RHS 180/60/6-8 mm, na osnem razmiku ca. 1,2 m, razen na območju lesenih stebrov, kjer so stebri osno postavljeni na razmiku ca. 0,70 m. Prečke ob vpetju stebrov in oken (spodaj in zgoraj) so iz profilov RHS 90/60/3,2 mm. Na južni fasadi prečke niso neposredno navpično obremenjene, na vzhodni in zahodni fasadi pa podpirajo še del lesene strehe. Po obodu strehe poteka še konzolni robni venec, ki je preko obodnega nosilca HEB 240 obešen na fasadne stebre na severni, vzhodni in zahodni strani, na južni strani pa se pritrjuje na lesene nosilce in tvori del vertikalnega zavetrovanja. Jeklena konstrukcija je izvedena iz jekla kvalitete S355 JR.

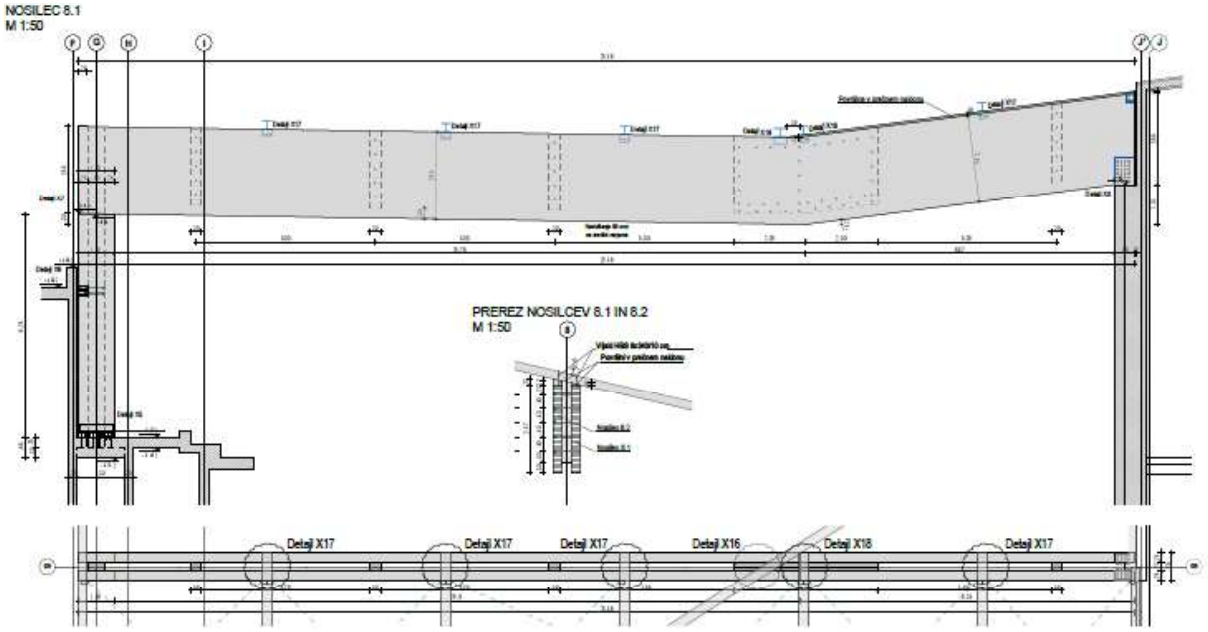


Slika 2.1: 3D prikaz obravnavane strešne lesene konstrukcije z jekleno fasado [D1].

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.



Slika 2.2: Tloris ostrešja z označenimi osmi oz. shema poteka nosilcev [D1].



Slika 2.3: Vzdolžni prerez nosilca v osi 8 [D2].

3. Ugotovitve pregleda stanja (lesenih) konstrukcij

3.1 Ugotovitve terenskega pregleda

Namen terenskega pregleda je bila identifikacija trenutnega stanja nosilne strešne konstrukcije. Pregled je obsegal:

- Preverbo dimenzij nosilnih elementov strešne konstrukcije (razponi, prečni prerezi idr.). Uporabljena je bila kalibrirana oz. preverjena merska oprema (tračni meter, kljunasto merilo, laserski merilnik razdalje).
- Oceno ukrivljenosti in odstopanja od vertikale, ki so bila ocenjena z vodno tehtnico dolžine 2 m.
- Oceno oz. merjenje globine in širine razpok in sicer z merilni lističi debeline 0,1 mm in merilno kartico z označeno mersko skalo oz. širinami.
- Meritve vlažnosti lesa z vlagomerom Gann Hydromette CH 17, po določilih standarda SIST EN 13183-2:2002 [S24].
- Odvzem vzorcev za preskus strižne trdnosti lepljenih spojev, z uporabo vrtalnega stroja na stojalu, s posebno vrtalno krono (podrobnosti so podane v Prilogah B in C).

Identificirane poškodbe so podrobneje opisane v Prilogah A in B. Rezultati preskušanja strižne trdnosti lepljenih spojev so podani v Prilogi C, določitev lastne teže zemljine v zasičenem stanju pa v Prilogi D.

V nadaljevanju so podrobneje opisane pomembnejše ugotovljene napake, za katere se ocenjuje da so oz. so lahko prispevale k prevelikim deformacij oz. porušitvi nosilnih elementov. Izpostavlja se, da so nekateri strešni nosilci porušeni strižno (6.2 7.2, 8.1 in 8.2), nekateri pa izrazito upogibno (7.1). Na strešnih nosilcih v osi 1 in 2 zaenkrat še ni zaznane vidne strižne porušitve, vendar se lahko, glede na ugotovljene delaminacije spoja dveh delov - komponent nosilca, ob povečani koristni obtežbi, pojavi.

3.1.1 Leseni nosilni elementi – materiali, izdelava, montaža

Proizvajalec lesenih nosilnih elementov (Hoja d.o.o.) je na sestanku pojasnil uporabljeno tehnologijo in časovnico izdelave, skladiščenja, transporta in montaže.

Leseni nosilni elementi – nosilci – so izdelani iz ploskovno lepljenih lamel debeline 40 mm lesa smreke / jelke, vendar niso zlepljeni naenkrat v celotni višini, temveč so bili izdelani iz dveh predhodno zlepljenih kosov – komponent dimenzij ca. 24 x 125 cm. Posamezna kosa – komponenti nosilca - sta bila izdelana z nadmero in skladiščena na prostem, vendar pokrita pred vremenskimi vplivi [D9]. Pred lepljenjem dveh kosov - komponent v celoto - sta bila skobljana in nato zlepljena v celoto (ca 24 x 245 cm), v modelirniku. Za zobato stikovanje lamel in za ploskovno lepljenje (obe opisani fazi) je bilo po informacijah proizvajalca uporabljeno konstrukcijsko dvokomponentno melamin-urea-formaldehidno lepilo (MUF EN 301 I 90 GP 0,3 S) [D4]. Pri stebrih se je posebej izdelalo krajna dela (»pasnici«), v enem kosu (dimenzije ca 24 x 100 cm) in posebej »stojino« (dimenzije ca 27 x 50 cm) – tudi ta del je izdelan iz dveh kosov – komponent širine 13,5 cm ki sta v primeru stebrov bočno zlepljena (slika B143). Enak postopek izdelave (lepljenje dveh komponent) je bil uporabljen tudi za izdelavo ojačitev med strešnima nosilcema (slika B141).

Proizvajalec je za vse stebre, nosilce in ojačitve predložil izjavo o lastnostih za »lepljeni lamelirani les«. Za ta proizvod je v standardu SIST EN 14080:2013 [S20] zahtevano, da se

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

vse lamele oz. celotna višina elementa ploskovno zlepi naenkrat. Proizvod, ki se izdeluje iz predhodno zlepljenih kosov – komponent lepljenega lameliranega lesa, se po določilih standarda SIST EN 14080:2013 [S20] opredeljuje kot **blokovno zlepljeni lepljeni lameliran les** (angl. »block glued glulam«). Za to vrsto proizvoda omenjeni standard predpisuje obvezno uporabo konstrukcijskega lepila za debeloslojno lepljenje (angl. »gap filling adhesive«), ki lahko zapolni morebitne neravnine ob nepopolnem naleganju dveh ali več kosov – komponent lepljenega lameliranega lesa v nov skupen element. Ta zahteva se pojavi, ker so v splošnem dimenzijske tolerance in tolerance ravnosti in pravokotnosti pri skobljanju večjih kosov lepljenega lameliranega lesa, kot sestavnih delov blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa, večje, kot so pri posameznih lamelah debeline do 40 mm. Zaključuje se, da predložene izjave o lastnostih niso ustrezne (za elemente, ki so izdelani kot blokovno zlepljeni lepljeni lamelirani les) ter da proizvajalec ni uporabil ustreznega lepila za blokovno lepljenje.

Pri pregledu je bila na več nosilcih (1.1, 6.2, 7.2, 8.1 in 8.2) ugotovljena popolna delaminacija lepljenega spoja (po celotni širini nosilca, v različnih dolžinah) na polovici višine nosilca (ca 120 cm), torej ravno na spoju dveh kosov - komponent. Kot primer neustrezne zlepljenosti, je že s prostim očesom viden lepljeni spoj na nosilcu 1.1; ob odvzemu vzorca N 1.1_3, pa je bilo ugotovljeno, da površini dveh kosov – komponent nosilca pred stiskanjem očitno nista bili vzporedni oz. nista nalegali po celotni širini. Za vizualno popravilo elementa, neposredno po zlepljenju, je bila uporabljena lesena zagozda širine ca 15 mm in debeline ca 3 mm, kar pomeni, da je bila v stiku z lepilom le zagozda, preostali del pa ne. Z merilnim ličičem je bila na mestu vgrajene zagozde izmerjena globina delaminacijske razpoke do ca 12 cm. Izvrtek N 1.1_3 se je razslojil že ob koncu vrtanja (slika B125). Podobno se je zgodilo tudi pri izvrtku N 8.1_1 (slika B140), kjer pa lahko na spoju opazimo debel sloj lepila, zopet zaradi neustreznega naleganja kosov – komponent (uporabljeno lepilo je namreč namenjeno le za spoje do max. debeline 0,3 mm). Na nosilcu 6.1 je bil na mestu »blok« spoja odvzet izvrtek 6.1_7, ki je sicer brez napak – brez delaminacij. Tudi po izvedenem preskusu in izvrednotenju strižne trdnosti je le-ta ustrezna glede na zahteve standarda. Navedeno ne dokazuje, da je z uporabljenim lepilom in postopkom izdelave mogoče izdelati ustrezen blokovno zlepljeni lepljeni lamelirani les, saj se je večina tako zlepljenih nosilcev izkazala za problematične.

Na podlagi ogleda nosilcev in informacij, pridobljenih s strani proizvajalca, lahko zaključimo, da predložene izjave o lastnostih ne ustrezajo dobavljenemu materialu ter da je bilo pri izdelavi blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa uporabljeno neustrezno lepilo. Nezadostna strižna trdnost lepljenih spojev med kosi – komponentami blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa predstavlja **pomemben, kot potrjuje računsko modeliranje, pa tudi poglavitni razlog porušitve nosilcev.**

3.1.2 Splošna ocena kakovosti vgrajenih lesenih nosilnih elementov

V projektni dokumentaciji je za stebre in strešne nosilce opredeljen trdnostni razred GL28h, za kar je proizvajalec predložil tudi izjave o lastnostih [D4], ki pa so – kot je opisano v prejšnjem poglavju – zaradi drugačnega proizvoda (blokovno zlepljeni lepljeni lamelirani les) neustrezne.

Pri izdelavi lepljenih lameliranih elementov mora proizvajalec posamezne lamele vizualno ali strojno razvrstiti v trdnostne razrede, v kolikor so napake nedovoljene je le-te mogoče izrezati in posamezne kose lesa dolžinsko spojiti. Velikost napak v lesu je predpisana za posamezni trdnostni razred lamel. Konkretno, pri izdelavi lamel za lepljeni lamelirani les (in

tudi blokovno zlepljeni lepljeni lamelirani les) trdnostnega razreda GL28h je potrebno lamele razvrstiti v sortirni razred S13 (ki ustreza trdnostnemu razredu C30 – iz teh lamel se izdelujejo proizvodi trdnostnega razreda GL28h).

Po informacijah, pridobljenih na sestanku pri proizvajalcu, se lamele v proizvodnji razvrščajo vizualno – razvrščevalec mora lamelo pregledati na vseh štirih ploskvah, in jo razvrstiti v trdnostni razred (oz. po potrebi označiti napake, ki se izrežejo). Pregled lamel in posledično njihov razvrstitev v trdnostne razrede po ploskovnem zlepljenju ni več mogoča, z izjemo krajnih lamel (na nosilcih je vidna le spodnja lamela). Pri pregledu je bilo na spodnjih lamelah na več mestih identificiranih več nedovoljenih napak v lesu (predvsem grče), ki bi morale biti v procesu vizualnega razvrščanja izločene (izrezane), saj njihova velikost presega dovoljeno velikost za sortirni razred S13 (slika B35, slika B40, slika B41). Velikost posamezne grče v sortirnem razredu S13 je v DIN 4074 omejena na do 1/5 dvojne širine lamele, pri skupini grč pa do 1/3 dvojne širine lamele (grče se obravnava na vseh ploskvah). Za širino lamel 24 cm ta zahteva torej znaša ca. 5 cm za posamezno grčo in do 9 cm v primeru skupine grč (velja za grče, ki potekajo skozi celotno debelino lamele). Na posameznih mestih sušne razpoke nakazujejo naklon vlaken, ki je na zgornji meji sprejemljivosti za zahtevani sortirni oz. trdnostni razred (do 7 % to je do 7 cm na razdalji 1 m).

Poleg posameznih prevelikih grč in mejnega naklona vlaken, so bili na nekaterih nosilcih zaznani tudi primeri zobatih spojev, ki ne ustrezajo zahtevam SIST EN 14080 [S20]: (i) prevelika reža med zobmi (slika B6); (ii) razcepljena lamela v spoju (prisotna razpoka, ki po izvoru najverjetneje ni ne sušna in ne delaminacijska, npr. slika B33, slika B55, slika B58), (iii) grča neposredno v zobatem spoju (slika B34), (iv) grča preblizu zobatega spoja (slika B3). Pri zobatem spajanju lamel je po SIST EN 14080 dovoljena reža med zobmi določena z dolžino zoba. Dolžina zob v izvedenih zobatih spojih znaša ca 20 mm, iz tega pa sledi, da je dovoljen razmik med zobmi med 0,2 mm in 1,6 mm. Slednje je bilo prekoračeno na več mestih, kar je lahko posledica neprimerne izdelave zobatega spoja, posredno pa lahko tudi posledica povesa nosilcev. Na več zobatih spojih so bile zasledene razcepljene lamele, kar je lahko posledica nepopolnega prileganja v času nanašanja lepila ali neustreznega stiskanja. Izpostavlja se, da so vidni le zobati spoji v spodnjih lamelah, ki so tudi najbolj upogibno obremenjene in s tem tudi najbolj izpostavljene preobremenitvi. Neustrezno zobato spajanje lamel bi moralo biti izločeno že v proizvodnem procesu. Izpostavlja se še, da se na več mestih nahajajo nedovoljena popravila zobatega spoja (npr. slika B6, slika B93).

Na podlagi navedenih ugotovitev (posamezne prevelike grče, mejni naklon vlaken v posameznih lamelah, napake pri zobatem stikovanju) se ocenjuje, da **obstaja velika verjetnost, da izdelani nosilni elementi ne ustrezajo trdnostnemu razredu GL28h.** Slednje posredno potrjuje tudi dejstvo, da so pri upogibni porušitvi nosilca 7.1 in pri delaminaciji nosilca 6.1 odpovedali zobati spoji in mestoma spodnje lamele, vzdolžno z vlakni, zaradi prekoračene natezne trdnosti lesa (npr. slika 3.1 in slika B95 - slika B100).

Glede na določila standarda SIST EN 14080 mora proizvajalec v okviru tovarniške kontrole proizvodnje hraniti delavniško dokumentacijo, zapise o proizvodnji, dokazila o vhodnih materialih in rezultate kontrolnega preskušanja (preskus upogibne trdnosti zobatega spoja – 3 vzorci na izmeno in preskus zlepljenosti oz. strižne trdnosti – 1 vzorec na proizvedenih 20 m^3 oz. 1x na izmeno). Ker nam navedena dokumentacija ni bila posredovana, se o navedenem ne moremo podrobneje opredeliti.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

3.1.3 Sušne in delaminacijske razpoke med posameznimi lamelami

Po podatkih pridobljenih s strani občine Bovec in naročnika poročila (Kolektor Koling d.o.o.) se ugotavlja, da so bili nosilci in stebri strešne konstrukcije po montaži dlje časa (več tednov, v pozno jesenskem obdobju z obilico padavin) neposredno izpostavljeni vremenskim vplivom (npr. slika 4.10 in slika 4.11). Spreminjajoča se vlažnost lesa ima vpliv na dimenzijske spremembe, kar povzroča razpoke – bodisi v lesu (v lamelah) bodisi v lepljenem spoju:

- Sušne razpoke v lesu (v nadaljevanju sušne razpoke): Razpoke lesa, za katere se ugotavlja, da se običajno pojavljajo v lepljenih elementih obravnavanih dimenzij in so praviloma relativno plitve (do ca 4 cm). Tovrstne razpoke najdemo na bočnih straneh nosilca ter tudi na spodnji strani oz. v spodnji lameli. V kolikor gre za sušne razpoke le-te niso kritične. Večje sušne razpoke so vidne tudi s čela nosilcev, predvsem na mestih, kjer so elementi izpostavljeni UV sevanju in lokalni spremembi vlage in temperature (npr. v območju sicer zaščitenih čel nosilcev na južni strani objekta).
- Delaminacijske razpoke: Le-te so nastale kot posledica dimenzijskih sprememb lamel pri navlaževanju / sušenju lesa, prisotne so na lepljenih spojih med posameznimi lamelami, na vseh lesenih elementih (stebri, nosilci). Glede na meritve se te razpoke ocenjuje kot manj kritične saj običajno ne presegajo globine ca 3 - 4 cm (širina nosilcev oz. stebrov znaša 24 cm). Standard SIST EN 14080:2013 ne sušnih in ne delaminacijskih razpok ne obravnava. O kritičnosti tovrstnih razpok je pisano v [L17], kjer je navedeno, da lahko globina delaminacijskih razpok pri lepljenem lameliranem lesu, izpostavljenemu le upogibu ali strigu, lahko doseže do eno šestino širine prečnega prereza z vsake strani (tj. skupaj do ene tretjine širine). V navedenem primeru ni potrebno zmanjšati njihovo izračunano nosilnost. Ta globina razpok je namreč že upoštevana pri določanju karakterističnih vrednosti strižnih trdnosti, ki se uporabljajo pri načrtovanju. Pri komponentah iz lepljenega lameliranega lesa, ki so izpostavljene natezni obremenitvi pravokotno na os nosilca, pa izkušnje [L17] kažejo, da globina razpok ne sme presegati ene osmine širine prečnega prereza na vsaki strani (tj. skupaj do ene četrtine širine). Pri pregledu nosilcev je bil dostop do le-teh mogoč le iz ene strani, kar pomeni, da so razpoke do globine 4 oz. 3 cm v okviru oz. na meji dopustnih. Izpostavlja se, da se obstoječe razpoke ob spreminjajočih se pogojih okolja lahko še povečajo.

Strokovni postopek sanacije sušnih razpok je obravnavan npr. v [L17] in [L18]. Če razpoke segajo pregloboko v prečni prerez (t.j. v globino več kot 1/6 debeline prečnega prereza z vsake strani), potem se priporoča sanacija, saj je lahko nosilnost lepljenega spoja in posledično lepljenega lameliranega lesa ogrožena. Za tovrstna popravila se predvideva uporaba epoksidnega lepila. Poleg tega se mora uporabiti posebna priprava za nanos lepila, da le-to lahko prodre v razpoko v celoti. V Nemčiji se za strokovno izvedbo postopka sanacije razpok zahteva usposobljene strokovnjake, ki se postopka priučijo na izobraževanjih organiziranih s strani združenja proizvajalcev lepljenih konstrukcij in inštituta MPA Stuttgart. Dodatno se mora ustreznost vsakega popravila oz. trdnost saniranega lepljenega spoja preveriti s strižnim preskusom.

3.1.4 Sanacija nosilca 6.1

Nekaj tednov pred upogibno porušitvijo nosilca 7.1 so se pojavile večje poškodbe tudi na nosilcu 6.1 (delaminacija oz. razslojitev v območju med tretjo in četrto lamelo, iz spodnje strani). Ocenjuje se, da se je delaminacija lepljenega spoja intenzivirala v obdobju intenzivnega sušenja dvorane, to je zaradi izdelave AB plošče (slika 3.1) [D10]. S strani

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

proizvajalca (Hoja d.o.o.) je bila opravljena sanacija delaminacijske razpoke. Sanacija je bila izvedena z uporabo različnih materialov (najverjetneje je bilo uporabljeno belo / rjavo silikonsko lepilo, (najverjetneje) poliuretansko lepilo (PUR)) in samovrezni lesni vijaki dimenzij 8 x 200 mm, dolžina navoja 100 mm (slika B72). Po širini lamele sta bila vgrajena 2 vijaka, medsebojna razdalja med vijaki znaša med ca 80 do 100 cm (vijaki so vgrajeni v območju, kjer so se lamele razslojile).

V saniranem območju nosilca 6.1 so bili odvzeti trije izvrtki: 6.1_2 na mestu sanacije z belim silikonskim lepilom, 6.1_4 na mestu sanacije s PUR lepilom in 6.1_6 na mestu manjše delaminacijske razpoke. Na mestu uporabe silikonskega lepila je bila sanacija zgolj vizualne narave, saj je silikonsko lepilo le vizualno prekrilo razpoko z zunanje strani, z merilnim lističem pa je bila izmerjena globina delaminacijske razpoke ca. 15 cm. V območju sredine razpona so bile vidne sledi uporabe poliuretanskega (PUR) in rjavega silikonskega lepila. Predvideva se, da je bila delaminacijska reža na tem območju večja in je omogočala aplikacijo lepila po večji / celotni širini lamele. Na tem mestu je bil odvzet izvrtek, kjer je sledi lepila mogoče najti vsaj do globine ca. 10 cm. Z merilnim lističem je bila sicer izmerjena delaminacija globine ca. 15 cm. Kot je razvidno iz izvrtka N 6.1_4 s pomočjo vijakov ni bil dosežen zadostni pritisk za efektivno lepljenje oz sanacijo poškodovanega nosilca. Na mestu N 6.1_6 je bila izmerjena tudi manjša delaminacijska razpoka, ki s stališča njene globine ni problematična, vendar pa s preskusom določena strižna trdnost lepljenega spoja ne zadošča zahtevam standarda SIST EN 14080:2013. Dodatno je na izvrtku N 6.1_6 ugotovljen zelo nizek delež loma po lesu.

Iz fotografij, ki jih je predložila Občina Bovec je razvidno, da se je približno v sredini polja nosilca 6.1 poškodoval tudi les (natezna porušitev po lesu) (slika 3.1), tako da v tem primeru ne moremo govoriti le o sušnih oz. delaminacijskih razpokah. Posledično je prišlo do prevelikega povesa nosilca, da bi lahko z izvedeno sanacijo vzpostavili prvotno stanje oz. da bi se sploh lahko uporabile ustrezne metode za sanacijo, navedene v [L17] in [L18].

Zaključuje se, da pri sanaciji nosilca 6.1 ni bilo uporabljeno ustrezno epoksidno lepilo, prav tako lepilo ni ustrezno penetriralo v celotno razpoko. Obenem v saniranem območju odvzeti vzorci izkazujejo nezadostno strižno trdnost lepljenega spoja. **Izvedena sanacija razpok v nosilcu 6.1 se zato ocenjuje kot neustrezna oz. kot nestrokovna.** Nosilec 6.1 po izvedeni sanaciji zato **nima ustrezne, s projektno dokumentacijo določene statične višine**, posledično je nosilnost premajhna. Prav tako je prisoten vidno (pre)velik poves nosilca glede na zahteve mejnega stanja uporabnosti.



Slika 3.1: Pojav razpok na spodnjem delu nosilca v času sušenja dvorane, fotografija z dne 13.8. 2024 [D10].

3.1.5 Neustrezno podpiranje nosilcev na armiranobetonski konstrukciji

Na mestu naleganja lesenih strešnih nosilcev na armiranobetonske (AB) stebre (razširjen del AB stene) se pojavlja več napak povezanih s samo izvedbo del.

Kot prvo napako se izpostavlja preveliko odstopanje geometrije izvedenega AB dela objekta, na mestu naleganja nosilcev (npr. slika 3.2). Pri pregledu je bilo ugotovljeno, da so vnaprej izdelani jekleni spoji (»čevlji«), glede na armiranobetonsko ležišče, zamaknjeni pri več nosilcih, v skrajnem primeru tudi do ca. 5 cm (npr. nosilec 7.1, slika B92). Tako velik zamik nosilcev glede na ležišče (zamik več kot 1/5 širine prereza) lahko povzroča dodatne torzijske obremenitve v nosilcu, na katere le-ti niso bili dimenzionirani in ki jih ne bi smeli brez nasprotnega dokaza zanemariti. **Navedeno je zagotovo v manjši meri prispevalo h končni porušitvi nosilca 7.1.** Navedeno prilagajanje pozicije nosilcev je s stališča zagotavljanja mehanske odpornosti in stabilnosti nesprejemljiva rešitev - četudi so bile strešne plošče že pred izdelane.

Kot drugo bistveno pomanjkljivost se izpostavlja **neustrezno kakovost betonerskih del in izvedbe jeklenih ležišč / spojev**, kar lahko bistveno vpliva na mehansko odpornost in stabilnost strešne konstrukcije. Zaradi pomanjkljive protikorozijske zaščite se izpostavlja tudi vprašanje trajnosti. Hkrati se na tem mestu izpostavlja vloga nadzornika, ki bi moral na takšne (vidne) pomanjkljivosti opozoriti izvajalca ter zahtevati da se le-te pred nadaljevanjem del sanirajo.

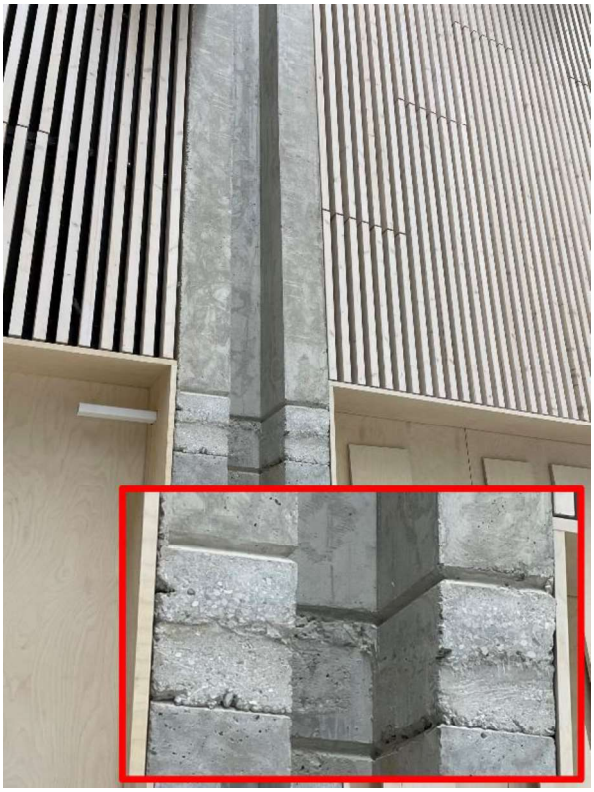
Na večini jeklenih ležišč na betonskih stebrih je že prisotna korozija, saj ležišča niso bila ustrezno protikorozijsko zaščitena. Korozija se izrazito pojavlja na mestih zvarov (varjenje na terenu), ki sploh niso bili zaščiteni. Izpostavlja se že vizualno očitna slaba kakovost zvarov, ki bi sicer, glede na zahteve v projektu, morali biti pregledani in po varjenju zaščiteni (slika

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

B103) in pa nesprejemljive improvizacije pri izdelavi ležišč (slika B22, slika B103). Na več mestih so ležišča (neustrezno zaključena / dobetonirana / sanirana (npr. slika B21), delovni stiki med stebri so neustrezno izvedeni (slika 3.3, slika B1), opazna pa je tudi segregacija betona (slika B111) ipd. Pregled armiranobetonskih stebrov in jeklenih spojev je sicer presegal obseg dogovorjenega pregleda, priporoča se podrobnejši pregled.



Slika 3.2: Nesimetrična postavitev nosilcev na armiranobetonsko podlago, fotografija s časa montaže, z dne 3.10.2024 [D10].



Slika 3.3: Steber, betoniran v več kampadah, neustrezni delovni stiki, vidna segregacija betona.

3.1.6 Druge poškodbe

Pri pregledu strešne konstrukcije so bile opažene tudi določene (vizualne) pomanjkljivosti, ki povečini nimajo trenutno bistvenega vpliva na mehansko odpornost in stabilnost nosilnih elementov:

- Mehanske poškodbe, ki so predvsem posledica transporta in montaže (slika B7, slika B80).
- Vertikalni zamik nosilcev (slika B32, slika B104).
- Površina lepljenih lameliranih elementov je bila ponekod pred barvanjem pomanjkljivo zbrušena, saj so pod barvo vidne črne lise - posledice zgodnjega razvoja plesni, zaradi vremenske izpostavitve v obdobju montaže (slika B2, slika B105).
- Na mestih stikovanja jeklenih povezovalnih nosilcev je opaziti sledi korozije, ki je zaradi dežja vidna na lesu. Korozija se je pojavila zaradi poškodb jeklenega profila med montažo, ki niso bile po montaži sanirane. V primeru pojava kondenza bi lahko v prihodnosti prišlo do neželenih madežev na omenjenih stikih (slika B5).
- Na mestih mehanizma za dvig in spust pregradne zavese je predrta parna zapora, ki v enem primeru ni bila sanirana, v drugem pa je bila sanirana neustrezno - z uporabo neustreznega lepilnega traku (slika B30, slika B85).

3.2 Preskusi strižne trdnosti lepljenih spojev

Ker proizvajalec ni posredoval dokumentacije o kontrolnem preskušanju strižne trdnosti lepljenih spojev v fazi proizvodnje, so bili odvzeti vzorci, tako iz stebrov kot tudi nosilcev. Pri procesu vzorčenja in ugotavljanja strižne trdnosti se je sledilo metodologiji opisani v [L9], poglavje 5.

Preskušanje strižne trdnosti lepljenih spojev je bilo izvedeno v skladu s standardom SIST EN 14080:2013, aneks D [S20].

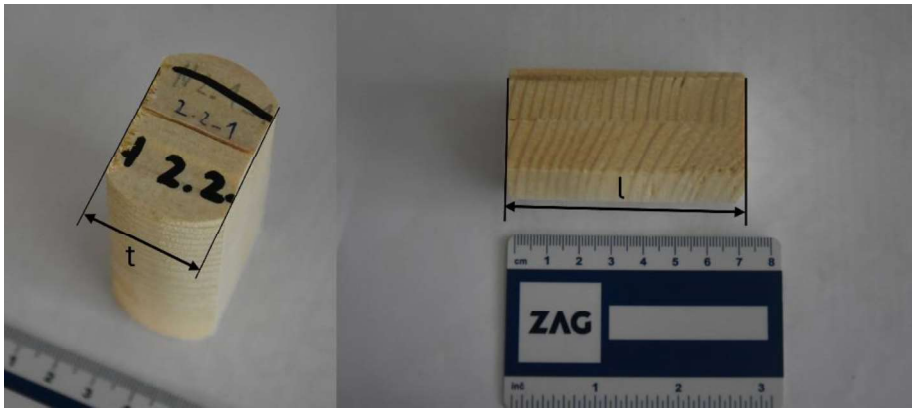
Rezultati so bili zaradi manjšega števila vzorcev vrednoteni kot posamične vrednosti. Zahtevano je, da je strižna trdnost, ob 100 % deleža loma po lesu, večja ali enaka 4 MPa. V primeru deleža loma, ki je manjši od 100 % in večji od 74 % je zahtevana minimalna strižna trdnost več kot 6 MPa. Minimalne vrednosti loma po lesu v korelaciji s strižno trdnostjo, več kot 6 MPa, so sicer podane z empirično enačbo: 153,3 – (13,3 * f_v) [%], kjer je f_v strižna trdnost lepljenega spoja. Pri izračunu strižne trdnosti je bil upoštevan še korekcijski faktor k_v, saj so bili vzorci tanjši od 50 mm (t < 50 mm). Korekcijski faktor za vzorce v večini primerov znaša 0,9. Strižna trdnost lepljenega spoja je izračunana po enačbi:

$$f_v = k_v \frac{F_u}{l \cdot t}; k_v = 0{,}78 + 0{,}0044\, t$$

kjer je F_u maksimalna strižna sila v N, l dolžina in t debelina vzorca v mm. Delež loma po lesu je bil ocenjen vizualno na 10 % natančno (0, 10 …100 %) s strani dveh ocenjevalcev.

Shematični prikaz mest odvzema izvrtkov je prikazan v Prilogi A, točne lokacije s slikami izvrtkov ob odvzemu in pred testiranjem pa so podane v Prilogi B (slika B123 do slika B140). V Prilogi C je podan seznam vseh odvzetih izvrtkov (tabela C1) ter rezultati preskušanja (tabela C3).

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.



Slika 3.4: Vzorec za preskus strižne trdnosti lepljenega spoja v skladu s standardom SIST EN 14080:2013, aneks D [S20].

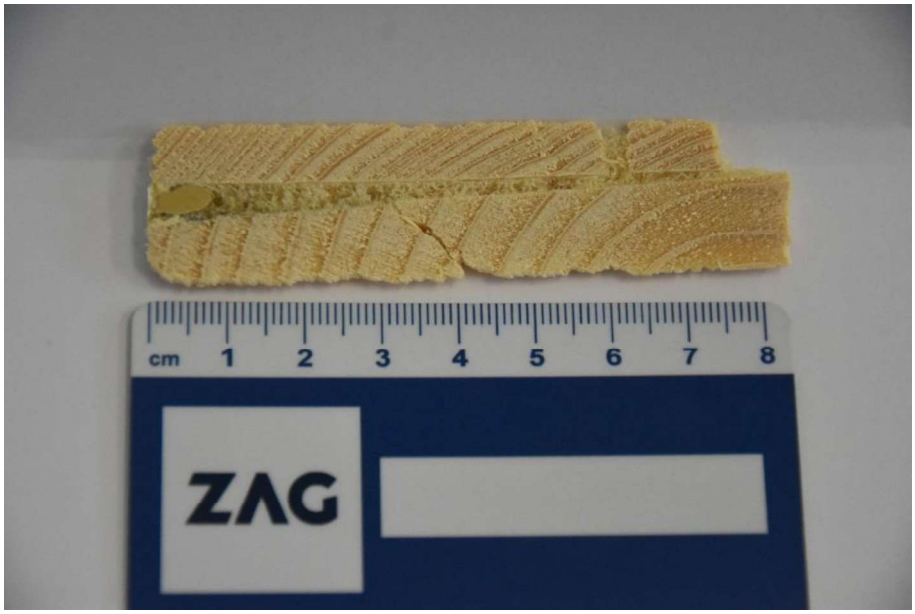
V [L9] je zapisano, da je tovrsten preskus namenjen določanju lokalne strižne trdnosti lepljenega spoja, iz tega se nato predvideva o celovitosti in kakovosti celotnega elementa, pri čemer je pomembno odvzeti več izvrtkov na enem elementu za bolj zanesljive rezultate. Za pridobitev reprezentativnih informacij o strižni trdnosti vgrajenih nosilcev in stebrov so bili na podlagi vizualnega pregleda določena posamezna kritična mesta, torej lokacije, kjer lahko pomanjkljivi lepljen spoj bistveno vpliva na nosilnost. Tako v literaturi [L9] kot standardu [S20] postopek preskušanja spojev, ki bi že bili delaminirani sicer ni predviden.

Za lokacije izvtrkov so bili izbrani: (i) spoji na sredini prereza nosilca oz. lokacije kjer prihaja do največjih strižnih deformacij; (ii) že sanirana mesta lepljenih spojev; (iii) mesta, kjer so identificirane delaminacije lepljenega spoja ter (iv) mesta brez vidnih delaminacij.

(i) S sredine prereza nosilcev so bili vzeti 4 izvrtki, pri čemer sta bila dva povsem delaminirana že pri vrtanju (N 1.1_3 in N 8.1_1). Vzorec N 6.1_7, ki je bil vzet na mestu brez vidne delaminacije, je dosegel zadostno strižno trdnost (7,4 MPa). Vzorec N 2.2_3 je bil vzet na mestu daljše delaminacijske razpoke. Na vzorcu je delaminacija prisotna do globine 35 mm. Vzorec je na testu dosegel nezadostno strižno trdnost (2,28 MPa), ko je bil upoštevana celotna dolžina vzorca (brez delaminacije globine 35 mm). V primeru upoštevane manjše strižne površine, strižna trdnost znaša 4,56 MPa, kar bi, ob 100 % lomu po lesu, ustrezalo zahtevi standarda [S20]. Ocenjevalca sta za lom po lesu določila vrednosti 90 in 100 %. V primeru 90 % loma po lesu vzorec ne dosega zahtev standarda.

(ii) Za kritično mesto je bil izbran spoj med 3. in 4. lamelo na nosilcu 6.1 (nosilec, ki je bil že saniran). Po dva izvrtka sta bila odvzeta na mestu popravila. Na mestu popravila s silikonskim lepilom je bil izvrtek popolnoma delaminiran že pri vrtanju, na mestu popravila s PUR lepilom (najverjetneje) pa je bil pridobljen celovit vzorec, ki ga je bilo možno preskusiti. Pri popravilu je bilo verjetno najprej nanešeno lepilo do globine ca 10 cm (slika 3.5) ter nato s spodnje strani vijačeno s (prekratkimi) samovreznimi vijaki, s čimer naj bi se zagotovil tlak stiskanja. Navedeno ni bilo doseženo, problematična je tudi debelina lepljenega spoja, ki je prevelika za uporabo konstrukcijskega PUR lepila, ki se lahko uporablja le za tankoslojne spoje, torej do debeline 0,30 mm. S strižnim preskusom je bila ugotovljena prenizka strižno trdnost lepljenega spoja, ki je znašala le 0,38 MPa.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.



Slika 3.5: Prerez popravila s PUR lepilom na nosilcu 6.1. Debelina spoja znaša od ca 2 do 5 mm.

(iii) Izvrtek N 6.1_6 je bil odvzet na mestu, kjer je bila vidna manjša delaminacija, ki ni bila upoštevana pri izračunu. Na izvrtku je prisoten tudi razbremenilni utor širine ca 4 mm. Strižna trdnost vzorca je znašala le 2,59 MPa, oz. 2,73 MPa z neupoštevanjem dolžine razbremenilnega utora. Poleg prenizke trdnosti ima vzorec tudi nizek odstotek loma po lesu – 50 oz. 60 %. Posledično je obravnavani spoj med 3. in 4. lamelo neustrezen.

(iv) Poleg izvrtkov na kritičnih mestih so bili odvzeti tudi izvrtki, ki niso bili delaminirani npr. S 1.1_1, S 1.1_2, S 5.2_1, N 1.1_1, N 2.2_2, N 6.1_3 in N 6.1_7. Strižne trdnosti naštetih so v okviru zahtev standarda. Na mestih manjših delaminacij so bili odvzeti izvrtki S 6.1_1, N 1.1_2, N 2.2_1 in N 6.1_1. Ob upoštevanju celotnega prereza in ocenjenega manjšega deleža loma po lesu noben od naštetih vzorcev ne ustreza zahtevam standarda. Ob upoštevanju zmanjšanega prereza bi zahtevam standarda ustrezal vzorec N 6.1_1. Ob upoštevanju 100 % deleža loma po lesu, bi zahtevam ustrezal vzorec N 1.1_2. K neustreznosti vzorcev S 6.1_1 in N 2.2_1, kljub zmanjšanem prerezu, bi lahko vplivali radialni lameli v spoju. Na mestu globje delaminacijske razpoke globine cca. 35 mm, je bil odvzet izvrtek 6.1_5, ki se je razslojil že pri odvzemu. Na izvrtku je lahko opaziti majhen delež loma po lesu, ki je ocenjen na ca 50 %.

Iz sicer omejenega števila vzorcev lahko zaključimo, da je **strižna trdnost spoja na polovici višine prečnega prereza (spoj med dvema kosoma – komponentama blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa) prenizka.** Vzrok je pisan v Poglavju 3.1.1- nepravilen postopek lepljenja (uporaba neustreznega lepila). Slednje potrjujejo tudi strižne porušitve nosilcev v oseh 1, 6, 7 in 8 na mestu omenjenega spoja. Le na enem vzorcu (nosilcu) spoj izkazuje zadostno strižno trdnost, kar ne more potrjevati ustreznosti uporabljenega postopka lepljenja.

Na mestih, kjer so bili odvzeti izvrtki brez vidnih delaminacij, je bila dosežena zahteva standarda [S20] – izjema je le vzorec N 6.1_6. Na mestih manjših delaminacij strižne trdnosti niso zadostne, če se upošteva celotno dolžino izvrtka. Če bi se delaminiran del zanemaril, bi bili rezultati sprejemljivejši. Postopek obdelave rezultatov za delno delaminirane spoje sicer ni določen v standardih, v [L16] so npr. izvedli preiskave na izvrtkih odvzetih iz naravno

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

staranih lesenih lepljenih lameliranih nosilcev (uporabljeno je bilo MUF lepilo), vendar so lete vzorčili na mestih brez vidnih delaminacij.

Dodatno se na podlagi rezultatov zaključuje, da so bile pri proizvodnji posamezne lamele najverjetneje ustrezno zlepljene v lepljene lamelirane elemente (kose - komponente). Za potrditev domneve oz. za podrobnejšo oceno bi morali analizirati še zapise proizvajalca o kontrolnem preskušanju strižne trdnosti, ki pa niso bili predloženi.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

4. Ugotovitve pregleda projektne dokumentacije

V tem razdelku so podane ugotovitve pregleda projektne dokumentacije vezane na leseno strešno konstrukcijo. V pregled so bili zajeti tako PZI projekt arhitekture in gradbenih konstrukcij, kot tudi dokumentacija z gradbišča in dokumentacija proizvajalca lesenih lepljenih elementov (razdelek 1.2). Opisane so pomanjkljivosti, ki so podkrepljene z izkušnjami preteklih porušitev lesenih lepljenih elementov in s strokovno (razdelek 1.1) ter znanstveno literaturo (razdelek 1.3).

4.1 Zasnova in statični izračun

Uporaba lepljenih lameliranih elementov v gradbeništvu se je bolj masovno začela razvijati po letu 1940 [L1]. Zaradi izboljšanih postopkov razvrščanja lesa in medsebojnega lepljenja lamel je lepljen lameliran les postal zanimiv predvsem za upogibno obremenjene nosilce, in sicer za premoščanje večjih razponov. Z različnimi konstrukcijskimi sistemi je možno premoščati običajne razpone od 10-30 m in tudi daljše razpone, do 100 m. V več kot 80 letni rabi lepljenega lameliranega lesa, so se v Evropi pridobile številne izkušnje s poškodovanimi ali porušenimi nosilci npr. [L2] - [L5], ki so bile nadalje upoštevane pri nastajanju priporočil in tehničnih specifikacij (standardov) npr. [S13] - [S17], da do poškodb ali celo porušitev ne bi več prihajalo.

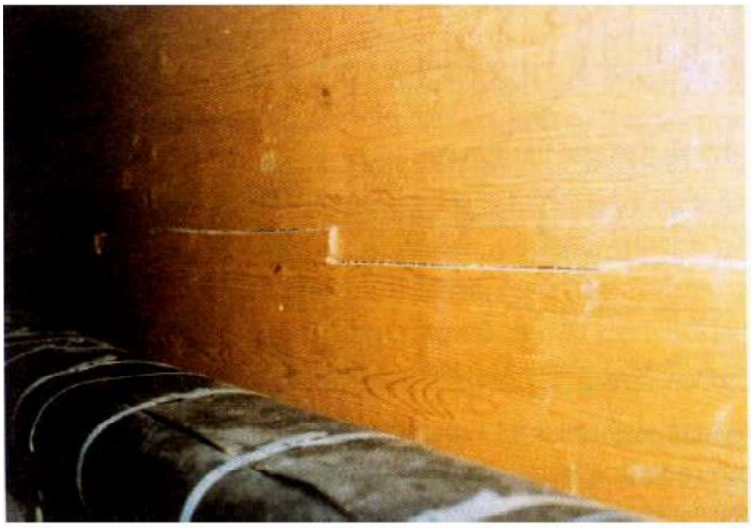
Obsežne raziskave lepljenih nosilcev večjih razponov v Evropi je sprožila porušitev ledene dvorane v Bad Reichenhallu, ki se je zgodila januarja 2006 [L3]. Na podlagi odredbe sodišča so pripravili ekspertizo, ki je določila naslednje glavne razloge za porušitev: (i) uporaba neustreznega lepila za klimatske pogoje ledene dvorane (povečana vlažnost); (ii) napake v statičnem izračunu, revizija projekta ni bila izvedena; (iii) vgrajeni nosilci so dimenzijsko odstopali od izdanega tehničnega soglasja; (iv) velika snežna obremenitev, čeprav karakteristična snežna obtežba po standardu ni bila prekoračena; (v) nerobustna konstrukcija - odpoved glavnih konstrukcijskih elementov brez možnosti prerazporeditve obtežbe [L5] ter (vi) pomanjkljivo vzdrževanje. Po ugotovitvah preiskave so se v Nemčiji odločili za intenziven pregled obstoječih lesenih konstrukcij večjih razponov – rezultat pregledov pa je pokazal presenetljivo število objektov z napakami [L4].

Več informacij o najpomembnejših odkritih napakah in možnostih za njihovo preprečevanje je podanih v prispevku Frese-ja in Blaß-a [L4], kjer je ovrednoteno skupno 550 primerov. Ugotovila sta, da je večina poškodb povezanih z razpokami lesa vzporedno z vlakni, sledijo strižne in natezne poškodbe ter propadanje lesa. Pri približno 90 % primerov je bil poškodovan lepljeni les, predvsem zaradi: (i) prekoračenih napetosti prečno na vlakna, (ii) velikega nihanja temperature in vlage ter (iii) preobremenitev (povečani vplivi na konstrukcijo). Ključna posledica analize nemških primerov je pokazala, da je potrebno posvetiti več pozornosti in časa za pravilno načrtovanje in detajliranje lesenih konstrukcij. Na podlagi ugotovljenega so v Nemčiji predpisali obvezno revizijo projektov, nadzor kakovosti gradnje lesenih objektov in priporočili redne preglede lesenih konstrukcij.

Podobne zaključke poškodovanih oz. porušenih lesenih nosilcev so pridobili tudi z raziskavo primerov v Skandinaviji [L2], kjer dodatno izpostavljajo problem krhkih porušitev spojev, kar je bil glavni razlog večje porušitve Ballerup arene na Danskem leta 2003. V poročilu [L2] je veliko primerov, kjer se je neustrezno upoštevalo vplive krčenja in nabrekanja lesa zaradi spreminjajoče se vlažnosti, kar je povzročilo nesprejemljive učinke na lesene konstrukcije. Najpogostejša težava so razpoke pravokotno na vlakna oz. pravokotno na os lepljenih

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

lameliranih nosilcev, ki so posledica deformacij zaradi krčenja/nabrekanja lesa podvrženega večjim nihanjem vlage. Slika 4.1 prikazuje primer, ki je po tipu in nastanku poškodb podoben poškodovanim nosilcem v športni dvorani v Bovcu. Številne vzdolžne razpoke v glavnih lepljenih strešnih nosilcih so se pojavile ko je bila stavba (športna dvorana) stara dve leti [L2]. Razpoke so nastale predvsem zaradi hitrega sušenja lesa po končani gradnji. Posebej močne razpoke so nastale na tistem delu strehe, kjer so bile nameščene cevi za toplo vodo. Razpoke so povzročile povečan in neenakomeren upogib ravne strehe, kar je ob močnem dežju povzročilo dodatno zamakanje. Streha se ni zrušila, vendar jo je bilo treba iz varnostnih razlogov začasno podpreti.



Slika 4.1: Vzdolžna razpoka v strešnem nosilcu iz lepljenega lameliranega lesa zaradi učinka krčenja [L2]. K hitremu sušenju je prispeval cevovod z vročo vodo v bližini nosilca.

4.1.1 Oblika in velikost nosilcev

Eden izmed razlogov porušitve nosilcev v ledeni dvorani v Bad Reichenhallu je bila tudi zasnova s statično določenimi nosilci velikih dimenzij [L3]. Nosilci so bili škatlaste oblike, skupne višine 2,87 m, in dodatno ojačani po dolžini zaradi preprečitve bočne zvrnitve. Razmeroma velik vpliv na nosilnost ima lahko velikost prečnih prerezov. V znanstveni in strokovni literaturi je vpliv velikosti prečnega prereza lepljenih lameliranih nosilcev dobro poznan [L6] in [L7]. Za lepljeni lamelirani les s pravokotnim prečnim prerezom je v standardu Evrokod 5 [S13] referenčna višina pri upogibu ali širina pri nategu 600 mm. Za višine upogibnih ali širine nateznih elementov, ki so manjše od 600 mm, se lahko karakteristične vrednosti upogibne trdnosti ($f_{m,k}$) povečajo s faktorjem k_h. V dosedanjih različicah standarda Evrokod 5 [S13] redukcija upogibne trdnosti pri nosilcih višjih od 600 mm ni bila predvidena. V novi različici Evrokoda 5 [S16], ki še ni v veljavi, pa bo redukcijo upogibne trdnosti potrebno upoštevati (enačba 5.8 v [S16]):

$$k_{\mathrm{h}} = \min\left\{\left(\frac{600}{h}\right)^{0,08}; 1,1\right\}.$$

Prav tako bo potrebno upoštevati velikost nosilca pri izračunu strižne nosilnosti (enačba 5.9 v [S16]):

$$k_{\mathrm{h,v}} = \min\left\{\left(\frac{600}{h}\right)^{0,1}; 1,1\right\} \geq 0,9\ ;$$

kjer je h višina nosilca v mm.

Preprost izračun za strešne nosilce v športni dvorani v Bovcu pokaže, da znašata faktorja $k_h = 0{,}89$ in $k_{h,v} = 0{,}90$. Neupoštevanje obeh faktorjev ne moremo šteti kot projektantske napake, saj v trenutno veljavnem Evrokodu 5 [S13] redukcije trdnosti (še) ni bilo potrebno upoštevati. Kljub temu pa se ocenjuje, da je izkoriščenost primarnih nosilcev na upogibno obremenitev v mejnem stanju nosilnosti po statičnem izračunu projektanta zelo visoka, saj znaša v ravnih nosilcih 103 %, oz. ca 90 % s – sicer neupravičenim – upoštevanjem vzajemnega delovanja strešne plošče, podrobneje razloženo v razdelku 4.1.3. Izkoriščenost bi ob upoštevanju redukcije zaradi velikosti prereza tako narasla na približno 114% oz. 101%.

Poleg velike izkoriščenosti je treba omeniti tudi dejstvo, da zalomljeni nosilci zaradi svoje »V« oblike (»konkavna oblika«) povzročajo v stebrih dodatne vodoravne pomike. Slednji v izračunu projektanta v PZI niso bili prikazani, obravnavani so le upogibi nosilca (vertikalni pomiki v globalni Z smeri), na podlagi katerih je bilo predpisano oz. določeno nadvišanje nosilcev [D1], da so bili zadoščeni pogoji mejnega stanja uporabnosti. Ocenjuje se, da lahko vodoravni pomiki v osi 1, kjer je »V« oblika najbolj neugodna, znašajo ca. 20 mm v mejnem stanju uporabnosti (na zgornjem robu nosilcev), slednjega pa ne bi smeli zanemariti, saj je na vrhu nosilcev posredno pritrjena jeklena konstrukcija fasade, med katero je postavljena tro-slojna izolacijska zasteklitev. Dodatno se leseni stebri približno do polovice naslanjajo na betonsko steno, kjer je zaradi vodoravnih pomikov stebra lahko prisoten tlak prečno na vlakna, kar v projektu pri dimenzioniranju stebrov ni bilo upoštevano oz. ni bilo možno zaslediti.

V tem razdelku se izpostavlja še podobnost zasnove s škatlastim prerezom nosilcev ledene dvorane v Bad Reichenhall z zasnovo dveh medsebojno povezanih nosilcev v Športni dvorani v Bovcu. V statičnem izračunu dvorane v Bovcu je bila na nosilce privzeta enakomerna porazdeljena obtežba, določena glede na vplivno širino 5,5 m po enostavnem strešnem pravilu [D1]. Slabosti omenjene zasnove z dvema povezanima nosilcema pa so lahko tudi: (i) (ne)vzajemno delovanje obeh nosilcev preko projektiranih vertikalnih strižnih povezav in (ii) prenos točkovne obtežbe iz jeklenih nosilcev potopljenih med strešnimi ploščami na posamezni leseni nosilec v paru ter (iii) (ne)enakomerno naleganje strešnih plošč.

Kot prikazuje slika 4.2 so bile ojačitve predhodno prilepljene v proizvodnji samo na en nosilec. Na samem gradbišču, po vgradnji so nosilca v isti osi povezali z navojnimi palicami, je bil spoj verjetno tudi dodatno zlepljen. Dobro nosilni lepljeni spoj po višini nosilca je težko zagotoviti zaradi geometrijskih toleranc ploskve (neravnosti), kar je razvidno tudi iz slike 4.2 in slike B142. Projektant gradbenih konstrukcij je v svojem izračunu upošteval, da so vertikalni povezovalni elementi in zaplate, ki delujejo kot ojačitev nosilca v temenskem delu, zlepljeni in hkrati vijačeni na nosilec že pred montažo. Izvedba v tem primeru odstopa od projekta, saj montaže dveh nosilcev hkrati ni bilo možno izvesti zaradi prevelike lastne teže za dvig z avtodvigalom. Točne ocene vpliva podajnosti stika med vertikalami in nosilci je težko podati, saj so efekti lahko lokalni, torej le v določenem območju. V statičnem izračunu za scenarij porušitve nosilca, ki je podan v nadaljevanju poročila, je bila podajnost povezanega dela stika upoštevana glede na vrednosti modula pomikov $K_{ser.}$ kot ga podaja Evrokod 5 [S13].

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.



Slika 4.2: Montaža lesenih nosilcev, fotodokumentacija občine Bovec [D10].

Lokalni efekti povečanja obtežbe lahko nastopijo tudi zaradi izvedbe naleganja jeklenih nosilcev. Po fotodokumentaciji, ki nam je bila posredovana s strani Občine Bovec (slika 4.3) je razvidno, da jekleni nosilci v nekaterih primerih ne nalegajo povsem enakomerno po obeh nosilcih. Slednje lahko povzroči določeno koncentracijo napetosti v nosilcih ali pa tudi vpliv torzije, ki lahko dodatno vplivata na skupno nosilnost nosilcev. Točne ocene vpliva vnosa točkovnih obtežb na izvedeni strehi športne dvorane v Bovcu je težko podati, saj so efekti lahko lokalni, torej le na določenem strešnem nosilcu, mesta naleganja pa niso bila dostopna za pregled.



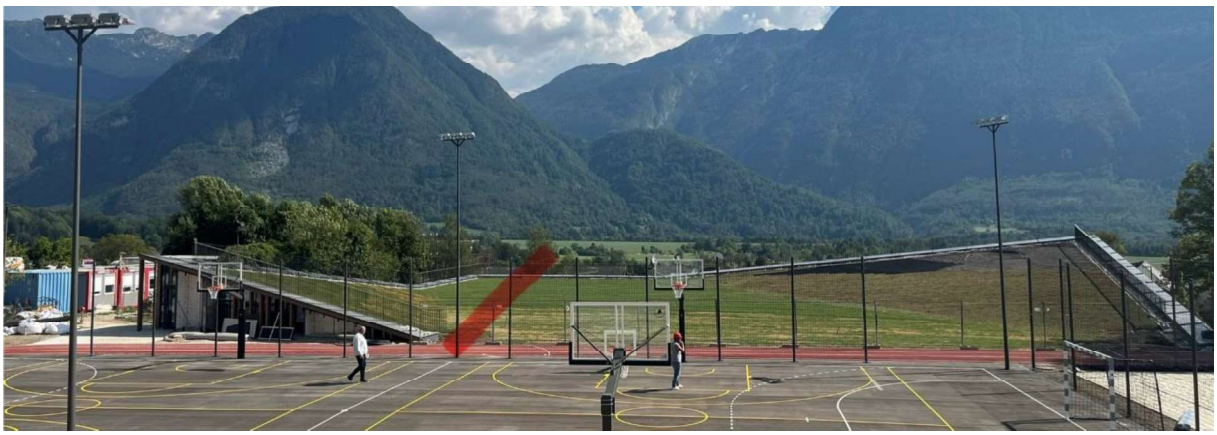
Slika 4.3: Montaža jeklenih nosilcev in lesenih lepljenih plošč, fotodokumentacija občine Bovec [D10].

V statičnem izračunu, ki je podan v nadaljevanju poročila (razdelek 5.4) za del strehe s poškodovanimi nosilci je bila zato ustrezno modelirana tudi jeklena konstrukcija, kjer smo se skušali z numeričnim modelom čim bolj približati dejanskim izvedenim robnim pogojem, torej da bi ugotovili koliko le-ti odstopajo od PZI.

Vezano na obliko strešnih nosilcev se izpostavlja, da so zalomljeni »V« nosilci izdelani kot ukrivljeni nosilci, pri čemer se zalomljeno obliko dobi s prirezovanjem lamel na spodnjem robu. V tem delu nosilca bi projektant za izračun upogibne nosilnosti lahko upošteval redukcijo upogibne trdnosti s faktorjem $k_{m,\alpha}$, ki je v Evrokodu 5 [S13] predpisan za nosilce z nagnjenim robom (enačbe 6.38 – 6.40). S tem faktorjem se upošteva znižanje projektne upogibne trdnosti, ker vlakna oz. lamele ne potekajo vzporedno z obliko / geometrijo nosilca. Neupoštevanje faktorja ni mogoče obravnavati kot projektantsko napako, saj je večina nosilcev na zalomljenem delu ojačanih z zaplatami. Kljub temu bi bilo smiselno preveriti nosilnost za lomljene nosilce v oseh 1 in 5, ki na mestu loma nista ojačana z zaplatami.

4.1.2 Oblika strehe in določanje vplivov

Podobno kot oblika nosilcev ima na statični izračun lahko velik vpliv tudi zasnova oz. oblika strehe s spreminjajočimi se nakloni (slika 4.4). Neposredni vpliv ima oblika strehe na določitev vplivov na strešno konstrukcijo. V nacionalnem dodatku Evrokoda 1-3 [S7] za določitev obtežbe s snegom je v členu 5.2(6) določeno, da kadar sneg in led lahko preprečita odtok vode s strehe, je potrebno upoštevati 50-odstotno povečanje obtežbe zaradi zastajanja vode, ki nastane zaradi oblike strehe ali dvignjenih robov strehe. Ocenjuje se, da je v športni dvorani v Bovcu oblika strehe takšna, da bi lahko nastopilo omenjeno zastajanje vode. Slednje potrjuje tudi dejstvo, da se je zastajanje vode v konkavnem delu strehe že zgodilo v času nastanka večjih poškodb nosilcev, o čemer je poročano v poročilu inštituta ZRMK [D5].



Slika 4.4: Oblika strehe – prikaz zelene strehe z zunanje strani, okvirna pozicija osi 7 je nakazana z rdečo barvo; fotodokumentacija s strani izvajalca Kolektor [D11].

Pri določevanju projektne obtežbe s snegom, kot je določena v Evrokodu 1-3 [S6], ima velik vpliv poleg lokacije tudi oblikovni koeficient μ, s katerim se lahko upošteva redukcijo obtežbe karakterističnega snega na tleh ali pa tudi povečanje v primeru neugodne oblike strehe, kjer je pričakovati kopičenje snega. Ocenjuje se, da bi bilo smiselno glede na pozicijo strehe, ki se nadaljuje v športno igrišče (slika 4.4) oblikovni koeficient upoštevati najmanj μ = 1,0 ali več. V statičnem izračunu [D1] je projektant upošteval oblikovni koeficient za ravne strehe, ki znaša μ = 0,8, kar je v tem primeru težko utemeljeno, saj ima streha privzdignjene robove, prav tako pa je ob robu objekta ograja, ki preprečuje da bi sneg odpihnilo oz. bi zdrsnil s strehe. Izpostavlja se, da avstrijski nacionalni dodatek za določanje obtežbe s snegom [S8] v

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

primeru večjih površin strehe z manjšim naklonom (širina strehe ≥ 50 m, naklon strehe ≤ 15°) določa, da je potrebno snežno obremenitev strehe približati karakteristični obtežbi snega na tleh, za kar uvajajo dodaten koeficient C_A. Ocenjuje se, da bi bila v primeru spremembe oblikovnega koeficienta iz μ =0,8 na μ = 1,0 obtežna kombinacija s snegom merodajna za izračun in ne obtežna kombinacija s koristno obtežbo kot je bilo določeno v projektu PZI [D1]. Ker v projektu ni bilo upoštevano zastajanje vode kot tudi ne oblikovni koeficient μ = 1,0 se ocenjuje, da bi se izkoriščenost nosilcev v projektnem mejnem stanju nosilnosti (MSN) še povečala in v takšni obliki konstrukcije ne bi zadostila MSN.

V tem razdelku se obravnava tudi določanje redukcije nosilnosti zaradi trajanja obtežbe in vlažnosti, ki je v Evrokodu 5 [S13] predpisana s faktorjem k_{mod}. Ocenjuje se, da je projektant določil faktorje k_{mod} v skladu s priporočili standarda. Standard sicer dopušča tudi uporabo nižjih faktorjev; (i) za koristno obtežbo k_{mod} = 0,80 namesto upoštevanega k_{mod} = 0,90 in (ii) za obtežbo s snegom k_{mod} = 0,80 namesto upoštevanega k_{mod} = 0,90. V trenutno veljavni različici nacionalnega dodatka je določeno, da se obtežba snega v krajih z nadmorsko višino pod ali enako 1000 m lahko v odvisnosti od lokalnih pogojev upošteva kot kratkotrajna ali srednjetrajna obtežba. V predhodni verziji nacionalega dodatka [S14] pa je bilo določeno, da se obtežba snega s karakteristično vrednostjo nad 2 kN/m^2 upošteva kot srednjetrajna obtežba. Glede na to, da je Bovec na nadmorski višini 454 m, je po trenutno veljavni verziji nacionalnega dodatka dovoljeno upoštevati k_{mod} = 0,90, vendar glede na dejstvo, da je Bovec v neposredni bližini hribovitih območij ter da je karakteristična vrednost snežne obtežbe nad 2 kN/m^2 bi bilo bolj smiselno upoštevati k_{mod} = 0,80. Podobno se lahko utemelji nižji faktor k_{mod} za koristno obtežbo na zeleni strehi.

Pri samem izboru sestave strehe glede na njeno obliko se izpostavlja tudi, da je izbrana rešitev zelene strehe na leseni podlagi sicer možna, vendar ima morebitno zamakanje strehe (npr. poškodovani oz. predrti sloj hidroizolacije) veliko večji vpliv na nosilnost (povečana vlažnost, degradacija lesa idr.), če ni odpravljen pravočasno, kot pri ravnih AB strehah. Močnejše zamakanje zaradi predrte strehe se je že zgodilo v času gradnje, ki pa je, glede na poročano v gradbenem dnevniku, bilo kmalu sanirano [D3].

4.1.3 Metoda izračuna sestavljenega »T« prereza

Zaradi prekoračenosti upogibnih trdnosti v sredini razpona nosilcev (za ca. 3 %), se je projektant zanašal na vzajemno delovanje strešne plošče in nosilcev, ki bi izkoriščenost zmanjšala pod zahtevano mejo polne izkoriščenosti [D1]. Pri tem je upošteval metodo izračuna iz Dodatka B v standardu Evrokod 5 [S13], ki temelji na poenostavljeni linearni elastični teoriji in določenih predpostavkah. Ocenjuje se, da projektant ni pravilno predvidel vseh predpostavk, predvsem naslednje:

- posamezni deli (iz lesa ali lesnih plošč) po dolžini niso prekinjeni oziroma so spojeni z lepljenimi stiki.

Kot je razvidno iz slike 4.3 in 4.5 so bile za strešne plošče uporabljene plošče iz lepljenega lameliranega lesa in ne plošče iz križno lepljenega lesa kot je prvotno predvidel projektant. Med seboj so plošče stikovane s pokrivno desko in vijaki (slika 4.3). Iz slike 4.5 a, kjer so prikazane plošče s spodnje strani je očitno, da je bila med ploščami že v času montaže mestoma razmeroma velika rega. Slika 4.5 b prikaže izvedbo dodatnih nastavkov zaradi prilagajanja nosilcev na naklon strehe. Kot je razvidno s slike dodatni nastavki niso sestavni del nosilcev (vidna večja rega med nastavki in nosilcem), ampak so na njih privijačeni, zato jih ne moremo upoštevati kot polno nosilne. Poleg tega v projektu na tem mestu niso

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

predvideni daljši vijaki za pritrjevanje plošč, torej lesni vijaki na tem delu penetrirajo le v nastavek in ne prodrejo v celoti do nosilca oz. v nosilni del.

Na podlagi izvedbe del ni mogoče trditi, da so posamezni deli (iz lesnih plošč) neprekinjeni po dolžini nosilca oziroma niso lepljeni. Slednje tudi pomeni, da niso izpolnjene vse predpostavke za uporabo poenostavljene metode za načrtovanje ter da je bolj verjetno, da strešne plošče ne bodo bistveno prispevale k upogibni nosilnosti, ampak bi jih morali upoštevati le kot dodatno stalno obtežbo na nosilce. Dodatno se izpostavlja slabost krčenja plošč iz lepljenega lameliranega lesa prečno na vlakna v primeru sprememb vlažnosti, s čimer se ocenjuje, da bi zelo težko zagotovili polno togi spoj med ploščami v primeru medsebojnega zlepljenja po njihovi dolžini.

a. b.



Slika 4.5: a. Uporaba lepljenih lameliranih plošč namesto plošč iz križno lepljenega lesa; b. izvedba dodatnih nastavkov na nosilcih zaradi prilagajanja naklonom; fotodokumentacija občine Bovec [D10].

4.1.4 Projektiranje prečnih prerezov s kombinacijo napetosti

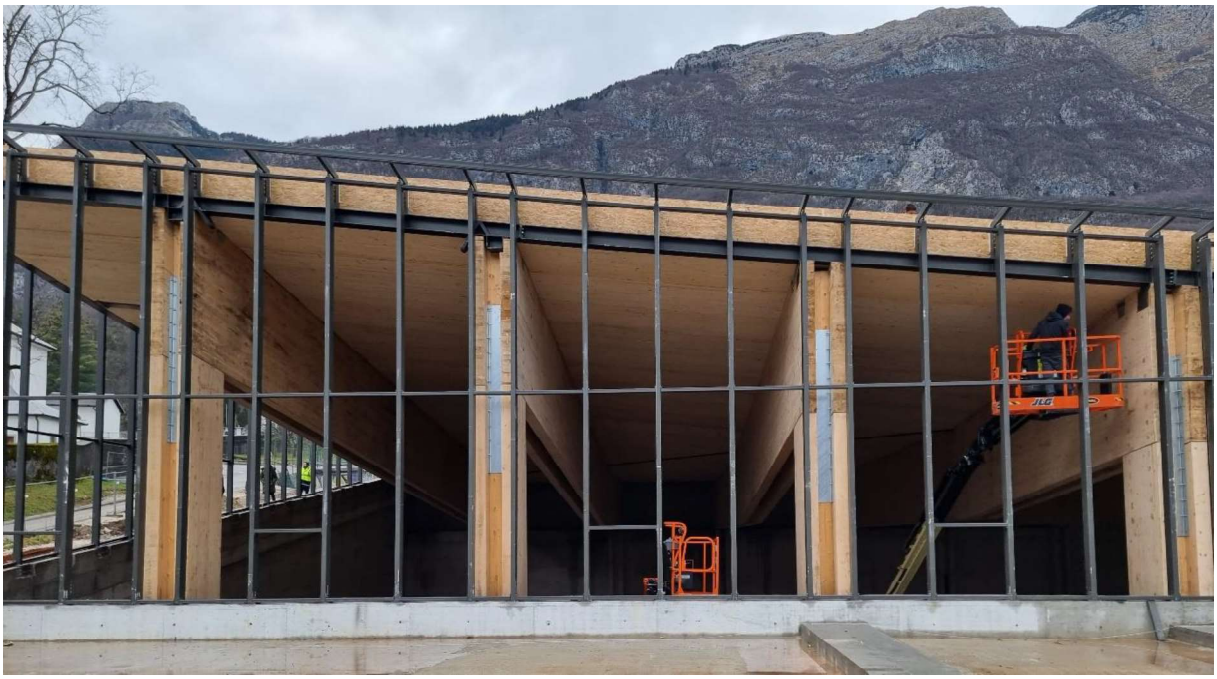
Projektant je v statičnem izračunu navedel preglednico z maksimalnimi napetostmi, ki se lahko pojavijo v nosilcih glede na štiri kritične točke; (i) ležišče 1 nad lesenim stebrom, (ii) sredina razpona - max M_y, (iii) lom nosilca in (iv) ležišče 2 nad AB stebrom (preglednica 43 v [D1]). Preglednica je bila določena na podlagi notranjih statičnih količin iz statičnega računa in enačb za določitev napetosti skladnih z Evrokodom 5 [S13]. Na podlagi napetosti so bile določene izkoriščenosti, ki so navedene za vsak tip napetosti (normalne, upogibne in strižne napetosti) posebej. Iz navedene preglednice ni jasno, ali je projektant upošteval kombinacijo upogiba in natega oz. kombinacijo upogiba in tlaka, ki so določene z enačbami 6.17-6.20 v Evrokodu 5 [S13]. Zaradi posebne »V« oblike nosilcev se v nekaterih zalomljenih nosilcih pojavijo tudi osne sile, ki bi jih morali upoštevati pri načrtovanju. Res pa je, da so zaradi razmeroma majhnih naklonov osne sile majhne in se zato predvideva, da je projektant omenjeni vpliv zanemaril. Kljub vsemu, glede na visoko izkoriščenost primarnih lesenih lepljenih nosilcev na upogibne obremenitve, se ocenjuje, da prispevka osnih sil brez dokaza ni smiselno oz. mogoče zanemariti.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

Zaradi strižne porušitve nosilcev po sredini prereza se izpostavlja v tem razdelku še definicija faktorja k_{cr}, s katerim se reducira prečni prerez ob podpori pri računu strižne nosilnosti vzdolžno z vlakni zaradi razpok, ki se pojavijo ob podpori zaradi delovanja lesa na spreminjajočo se vlago. Ker so pri masivnem lesu razpoke ravno v sredini prečnega prereza, kjer so običajno strižne napetosti najvišje, je redukcija za masivne prereze razmeroma velika in znaša k_{cr} = 0,67 [S15]. V predhodni verziji nacionalnega dodatka [S14] je bilo potrebno upoštevati enako velik faktor k_{cr} oz. enako redukcijo prereza tudi za lepljene lamelirane nosilce. V trenutni verziji nacionalnega dodatka pa se je faktor k_{cr} za lepljene lamelirane nosilce povečal in znaša k_{cr} = 0,83. Na podlagi vrednosti, ki jih je podal projektant za izkoriščenost strižnih napetosti se ocenjuje, da je upošteval pravilno vrednost k_{cr}, glede na trenutno veljavni nacionalni dodatek.

4.1.5 Požarna obtežba

V statičnem izračunu je preverjena požarna odpornost armiranobetonskih in jeklenih elementov, medtem ko se lesene konstrukcije (lepljeni lamelirani stebri in nosilci) ne obravnava. Ocenjuje se, da požarna odpornost R30 za nosilce ni merodajna obtežba. V primeru stika lesenih stebrov z nosilci pa se pojavijo vidni jekleni spoji, ki so lahko izpostavljeni požaru (slika 4.6). Na tem mestu bi bil smiseln izračun oz. dokaz opredelitve požarne odpornosti.



Slika 4.6: Naleganje jeklene konstrukcije na lesene strešne nosilce, spoji med nosilci in stebri niso proti-požarno zaščiteni; fotodokumentacija občine Bovec [D10].

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

4.2 Načrti PZI, dokumentacija proizvajalca / monterja lesene konstrukcije in ostali relevantni dokumenti

4.2.1 Uporabljeni materiali in zahteve projektne dokumentacije

Na podlagi ugotovitev pregleda (razdelek 3) lahko pomanjkljivosti vgrajenih materialov razdelimo na sledeče:

(i) Uporaba blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa namesto lepljenega lameliranega lesa

V načrtih gradbenih konstrukcij [D1] je bila tako pri izračunu kot tudi na vseh načrtih dosledno upoštevana uporaba lepljenega lameliranega lesa trdnostnega razreda GL28h. Proizvajalec lesenih lepljenih elementov (Hoja d.o.o.) je glavnemu izvajalcu predložil Izjave o lastnostih in CE oznake [D4] v katerih navaja, da je dobavil lepljen lameliran konstrukcijski les trdnostnega razreda GL28h (slika 4.7a). Na tem mestu se izpostavlja, da sta **priloženi izjava o lastnostih in CE oznaka napačni, saj dobavljeni proizvod ne ustreza definiciji lepljenega lameliranega lesa**, ki je podana v standardu SIST EN 14080 [S20]. Kot je bilo obširneje utemeljeno v razdelku 3.1.1, gre pri dobavljenem proizvodu za blokovno zlepljeni lepljeni lamelirani les (angl. »block glued glulam«), ki predstavlja drug proizvod, kar bi moralo biti razvidno tudi iz predloženih CE oznak oz. izjave o lastnostih.

a.

CE

16

HOJA
lepljene konstrukcije in žaga d.d.
Žagarska ulica 5, 1291 Škofljica, Slovenija

Lepljen lameliran konstrukcijski les GL 28h
Za stavbe in mostove

4/13.05.2024

EN 14080: 2013
1404

Mehanske lastnosti	GL 28h
Geometrija (dim. v mm)	240 x 2450
Trdnost zlepljenja	
- zobati spoj	T18 (C30)
- zlepljenost lamel	S
Požarna odpornost	
- geometrija	glej geometrija
- gostota lesa	$\rho_{g,k}$ = 425 kg/m^3 $\rho_{g,mean}$ = 460 kg/m^3
- vrsta lesa	smreka/ jelka
Odziv na ogenj	D-s2, d0
Emisija formaldehida	E1
Vsebnost ostalih snovi	NPD
Trajnost ni razred	4
Trajnost zlepljenja	
- drevesna vrsta	Smreka/ jelka
- vrsta lepila	MUF EN 301 I 90 GP 0,3 S

b.

CE

16

HOJA
lepljene konstrukcije in žaga d.d.
Žagarska ulica 5, 1291 Škofljica, Slovenija

Lepljen lameliran konstrukcijski les GL 24h
Za stavbe in mostove

4/ 13. 05. 2024

EN 14080: 2013
1404

Mehanske lastnosti	GL 24h
Geometrija (dim. v mm)	240 x 2000
Trdnost zlepljenja	
- zobati spoj	T14 (C24)
- zlepljenost lamel	S
Požarna odpornost	
- geometrija	glej geometrija
- gostota lesa	$\rho_{g,k}$ = 385 kg/m^3 $\rho_{g,mean}$ = 420 kg/m^3
- vrsta lesa	smreka/ jelka
Odziv na ogenj	D-s2, d0
Emisija formaldehida	E1
Vsebnost ostalih snovi	NPD
Trajnost ni razred	4
Trajnost zlepljenja	
- drevesna vrsta	Smreka/ jelka
- vrsta lepila	MUF EN 301 I 90 GP 0,3 S

Slika 4.7: a. CE oznaka za dobavljene nosilce in b. CE oznaka za dobavljene plošče [D4].

(ii) Uporaba plošč iz lepljenega lameliranega lesa namesto križno lepljenih plošč

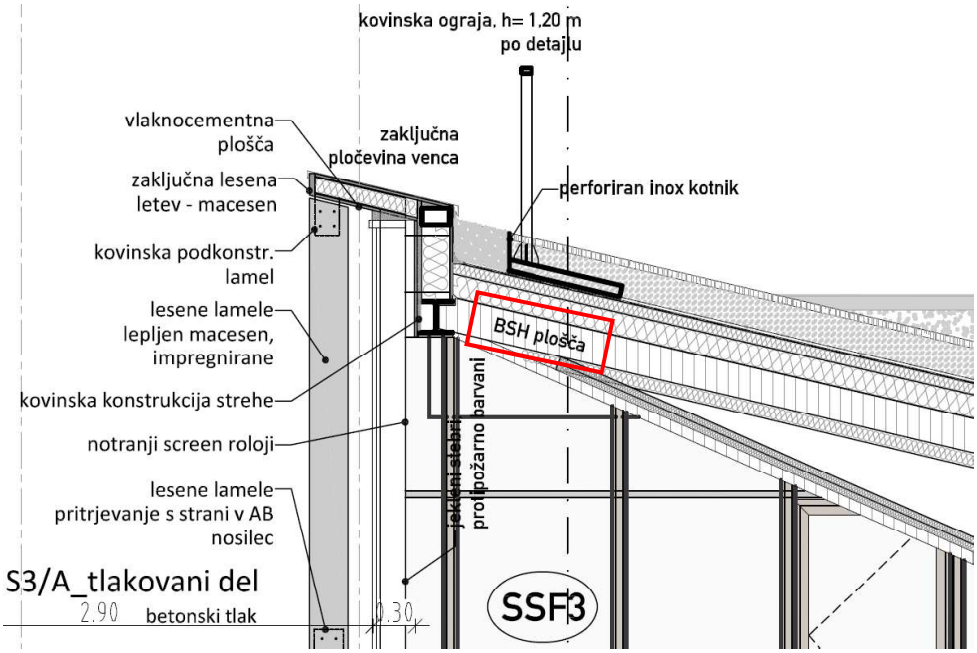
V načrtih gradbenih konstrukcij [D1] je bila tako pri izračunu kot tudi na vseh načrtih dosledno opredeljena uporaba 7-slojnega križno lepljenega lesa iz lamel trdnostnega razreda C24 v debelini 240 mm (sloji 30-40-30-40-30-40-30 = 240 mm). Pri izračunu je bil uporabljen komercialni program enega izmed proizvajalcev križno lepljenih plošč – t.j. KLH Massivholz GmbH. Zaradi tega se ponekod v PZI načrtih gradbenih konstrukcij pojavlja tudi izraz »KLH

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

plošče«. Nasprotno so v projektu arhitekture [D2] navedbe materiala lesenih plošč ponekod protislovne in se ne skladajo s statičnim izračunom. V načrtih arhitekture je v prerezih navedena »BSH plošča« (slika 4.8). Izraz izvira iz nemščine, kjer je BSH okrajšava za Brettschichtholz, kar je izraz za lepljeni lamelirani les in ne za križno lepljen les, ki bi ga v nemščini označili z »Brettsperrholz oz. BSP«. V fasadnem pasu, ki je del arhitekturnih načrtov, so v opisu zavedene lesene-križno lepljene plošče tip KLH ali enakovredne. Oznaka v prerezih je torej najverjetneje napačna, medtem ko je v fasadnem pasu navedba pravilna. Podobno protisloven je tudi izdelan popis del, kjer se izsek za strešne plošče glasi sledeče:

»Izdelava, transport, dobava, vgradnja s pomočjo avtodvigala ali gradbiščnega žerjava nosilne konstrukcije strehe po sestavi S1, iz lesenih križno lepljenih plošč debeline 24 cm, tip BSH ali enakovredne, vgrajene na primarne lesene lepljene nosilce v projektiranem naklonu, GL24H - nevidno, z 2x lazurno zaščito. Z obdelavo, tesnjenjem, opasovanjem stikov med posameznimi ploščami, z vijačnim materialom, z zavetrovanjem in ostalo kovinsko konstrukcijo, katera je vroče cinkana in vidni deli prašno barvani po RALu po izboru arhitekta. Z vsem pritrdilnim materialom, z izvedbo izrezov. Po shemah, načrtu gradbenih konstrukcij in arhitekture. Izvajalec pripravi delavniške načrte, ki jih potrdita arhitekt in statik.«

V popisu del je torej napačno navedena kratica BSH, ki ne pomeni križno lepljene plošče. Ravno tako pa je napačna tudi navedba trdnostnega razreda GL24h, ki ne ustreza opisu križno lepljenega lesa, ampak se podaja v primeru rabe lepljenega lameliranega lesa. Kot je bilo opisano v razdelku 4.1.3 so bile na samem objektu izvedene plošče iz lepljenega lameliranega lesa (slika 4.5), za kar je izvajalec tudi podal pravilno izjavo o lastnostih in CE oznako (slika 4.7b).



Slika 4.8: Izsek iz načrta arhitekture (Prerez C-C), kjer je za strešne plošče zaveden lepljen lameliran les oz. BSH [D2].

Iz pregledane projektne dokumentacije in ostalih dostavljenih dokumentov se lahko sklepa, da je bilo nedosledno poimenovanje oz. navedba lesenih plošč prisotno tudi pri nekaterih dokumentih, ki dokumentirajo proces gradnje, kot npr. v zapisniku o ogledu proizvodnje [D9], kjer je govora o križno lepljenih ploščah, čeprav proizvajalec (Hoja d.o.o.) nima tehnologije za izdelavo križno lepljenih plošč. Predmet ogleda so bile plošče iz lepljenega lameliranega lesa, kot je razvidno s slik zapisnika [D9]. Ker so bili na ogledu prisotni predstavniki glavnega

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

izvajalca (Kolektor Koling d.o.o.) in predstavnik nadzora (Lokainženiring d.o.o.) se lahko zaključi, da so bili seznanjeni, da se bodo vgrajevale plošče iz lepljenega lameliranega lesa. Iz poslane korespondence med izvajalcem (Kolektor Koling d.o.o.), proizvajalcem lepljenih elementov (Hoja d.o.o.) in projektanti (Projekt d.d., Ravnikar-Potokar d.o.o.) je ponovno opaziti neskladja glede poimenovanja strešnih plošč [D7], tako da ni popolnoma razvidno ali so bili projektanti obveščeni o spremembi vrste materiala za strešno konstrukcijo. V vsakem primeru pa **spremememba osnovnega materiala primarne nosilne konstrukcije zahteva obravnavo oz. soglasje projektanta z utemeljitvijo, da je rešitev enakovredna kot je bila obravnavana v projektu in statičnem izračunu**, česar pa od naročnika poročila (Kolektor Koling d.o.o.) nismo prejeli. Na tem mestu se ponovno izpostavlja vloga nadzornika, ki bi se moral prepričati, da izvedena strešna plošča ne bo odstopala od projektne rešitve in slednje uskladiti s projektanti in izvajalcem.

(iii) Pomanjkljiva zaščita jeklenih konstrukcij in neustrezni zvari na spojnih elementih

Pri pregledu je bilo opaženo, da jeklena podkonstrukcija za strešne plošče ni ustrezno zaščitena, prav tako pa niso zaščiteni jekleni spoji na mestu naleganja lesenih nosilcev na armiranobetonsko podlago ter zvari po varjenju. Omenjene napake so zabeležene v Prilogi B: slika B1, slika B5, slika B18, slika B19, slika B22, slika B56, slika B61, slika B68, slika B83 idr. Pregled jeklenih konstrukcij, kvalitete izdelave zvarov in ustrezne zaščite presega obseg tega poročila. Kljub temu se izpostavlja, da je projektant gradbenih konstrukcij za vse nosilne jeklene elemente v športni dvorani predpisal požarno zaščito in sicer s proti-požarnim premazom, ki bi zagotovil 30-minutno stopnjo zaščite pred požarom [D1]. Vsi pregledani kovinski elementi nosilne konstrukcije, ki niso bili zaščiteni in so bili dostopni med pregledom (t. j. niso prekriti z oblogo), bi morali enako biti ustrezno zaščiteni pred požarom s požarnim premazom. **Pomanjkljiva zaščita kovinskih elementov nosilne konstrukcije in neustrezni zvari na spojnih elementih (opisano v razdelku 3.1.5) niso imeli neposrednega vpliva na poškodbe nosilcev, je pa le-to nujno potrebno nasloviti pri sanaciji strešne konstrukcije.** Priporoča se podrobnejši pregled jeklenih ležišč.

(iv) Kvaliteta betonskih ležišč

Poleg pomanjkljivosti lesene in jeklene konstrukcije se izpostavlja tudi nekakovostno izdelane armiranobetonske stebre, na katere nalegajo strešni nosilci, kot je bilo predstavljeno v razdelku 3.1.5:

- geometrijska odstopanja

Neposredne posledice (pre)velikega odstopanja geometrije betonskega dela objekta so opisane v razdelku 3.1.5.

- kvaliteta betonerskih del

Ocenjevanje kvalitete betonerskih del glede na zahteve projektne dokumentacije presega obseg tega poročila. Kljub temu se - glede na videno stanje (npr.: slika B1, slika B18, slika B22, slika B56 idr.) - izpostavlja, da so betonerska dela izvedena pomanjkljivo, saj se mestoma že pojavlja krušenje betona, vidna je segregacija betona in neustrezno dobetoniranje ob vrhu AB stebrov, delovni stiki so izvedeni nekvalitetno. Ocenjuje se, da izvedena dela niso skladna z zahtevami tehničnih specifikacij, da beton najverjetneje ne dosega zahtevane tlačne trdnosti C30/37, priporoča se podrobnejši pregled AB konstrukcije vsaj v območju stebrov – ležišč.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

Slaba kakovost izvedbe AB stebrov ni imela neposrednega vpliva na poškodbe nosilcev, kljub temu pa je potrebno pomanjkljivo izvedbo nasloviti v času prenove strehe.

Nadalje se opozarja, da bi ležišča v takem stanju lahko predstavljala kritične dele nosilne konstrukcije v primeru povečanih horizontalnih obremenitev (npr. potresna obtežba).

4.2.2 Vremenski vplivi

Les je higroskopen material, kar pomeni, da se vlažnost lesa spreminja glede na temperaturo in vlago v prostoru (ozračju), kjer je izpostavljen. Prav tako se z naraščanjem vlažnosti lesu spreminjajo mehanske lastnosti (zmanjšanje modula elastičnosti, nižja tlačna trdnost ipd.). V strokovni literaturi lahko zasledimo, da je nosilnost linearno odvisna od vsebnosti vlage v lesu, pri čemer je približna ocena, da se nosilnost reducira za približno 2 %, če se vlažnost lesa poveča za 1 % [L19].

Cikli sušenja in navlaževanja lesa (vlažnost se spreminja po prečnem prerezu) rezultirajo tudi v razpokah in zvitosti. V primeru lepljenih nosilcev dimenzijske spremembe vplivajo tudi na lepljene spoje. Ob prevelikih dimenzijskih spremembah in neustreznem lepljenju se lahko pojavijo tudi razpoke v lepljenem spoju kar označuje termin delaminacijske razpoke, negativen vpliv pa imajo tudi pogoji zunanje izpostave, predvsem UV sevanje.

Glede na predloženo dokumentacijo o poteku gradnje in glede na večje število sušnih razpok v leseni konstrukciji (Priloga B) se izpostavlja, da je bila lesena nosilna konstrukcija (stebri, nosilci) v času gradnje **daljše obdobje neposredno izpostavljena vremenskim vplivom**. Lesena konstrukcija je bila po večini izdelana že v letu 2022, kar se ugotavlja iz zapisnika ogleda proizvodnje z dne 1. 12. 2022 [D9]. V zapisniku je zavedeno, da so bili takrat že proizvedeni vsi primarni strešni nosilci, stebri ter približno polovica vseh strešnih plošč. V zapisniku je prikazano skladiščenje primarnih nosilcev na zunanjem dvorišču, pred vremenskimi vplivi pa so bili zaščiteni s PVC folijo. Takšno skladiščenje je ustrezno, v kolikor so bili v celoti pokriti. Po zapisniku sodeč so se stebri skladiščili v sušilnici, kar bi bilo lahko potencialno problematično v kolikor ni bilo poskrbljeno za ustrezne klimatske pogoje v sušilnici. Strešne plošče so bile glede na zapisnik [D9] skladiščene v notranjosti ogrevanega proizvodnega obrata, kar je sicer ustrezno, v kolikor so bili za čas skladiščenja zagotovljeni ustrezni klimatski pogoji (podatkov o tem proizvajalec ni predložil). Obstoja možnost, da se je lahko vlažnost stebrov in strešnih plošč v času skladiščenja znižala pod referenčno oz. ravnovesno 12 % vlažnost, saj so bili skladiščeni v času ogrevalne sezone. Zaradi dimenzijske nestabilnosti lepljenega lameliranega lesa (oz. blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa) se ob večjih spremembah vlažnosti lesa pojavljajo večje dimenzijske spremembe (razpoke, ukrivljenost) kot bi se v primeru ustreznega skladiščenja, transporta in vgradnje. Po predloženi fotodokumentaciji lepljeni elementi niso bili zaščiteni ne med samim transportom iz proizvodnega obrat na gradbišče (slika 4.9) in tudi ne v času skladiščenja pred vgradnjo. Glede na veliko število poškodb lesenih konstrukcij zaradi prekomernega izpostavljenja vremenskim vplivom med gradnjo [L2], bo v drugi generaciji Evrokod standardov izdan tudi izvedbeni standard za lesene konstrukcije Evrokod 5-3 [S17]. V tem izvedbenem standardu bo v prihodnje za zahtevne lesene konstrukcije kot je tudi lesena nosilna konstrukcija športne dvorane v Bovcu predpisano obvezno ščitenje lesene konstrukcije tudi med montažo, kar bo moralo biti predhodno predvideno v načrtu montaže. Hkrati se za izpostavljene dela predvideva redne kontrole vlažnosti lesa.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

Glede na zapise v gradbenem dnevniku [D3] je bila identificirana okvirna časovnica montaže lesenih lepljenih nosilcev, strešnih plošč in zaključne hidroizolacije:

(i) Montaža lesenih nosilcev in stebrov je potekala med 3. 10. 2023 in 16. 10. 2023. Osnovna konstrukcija je bila postavljena do 9. 10. 2023, nato pa je do 16. 10. 2023 potekalo še vijačenje vseh spojev. Kot je razvidno s slike 4.10 je bila v tem obdobju lesena konstrukcija v celoti izpostavljena vremenskim vplivom. Po zapisih iz gradbenega dnevnika se večina gradbenih del v obdobju 16. 10. 2023 – 10. 11. 2023 ni izvajala zaradi neugodnih vremenskih pogojev - padavin.

(ii) Lesene plošče so se skupaj z jekleno podkonstrukcijo začele montirati šele 10. 11. 2023. Princip montaže plošč je predvideval takojšnjo namestitev zaščitnih slojev, t.j. parne ovire, toplotne in hidroizolacije. Kljub temu je postavitev plošč trajala vse do 11. 12. 2023, 2. sloj hidroizolacije pa se je dokončal šele 25. 1. 2024. Kot je razvidno s slike 4.11 je bila večina nosilne konstrukcije kljub pričetku montaže plošč nezaščitena. Na prepočasno montažo strešnih plošč in jeklene konstrukcije je opozarjal tudi nadzornik gradbenih del in sicer z zapisi v gradbenem dnevniku 21. 11. 2023 ter 29. 11. 2023. Izvajalec je sicer delno naslovil problem izpostavljenosti lesene konstrukcije, vendar je bila PVC folija nameščena le po zgornjem robu nosilcev in očitno ni kljubovala vremenskim vplivom, kar je vidno s slike 4.11.



Slika 4.9: Leseni elementi med transportom niso bili zaščiteni [D10].



Slika 4.10: Lesena nosilna konstrukcija je bila povsem izpostavljena vremenskim vplivom, slika z dne 7. 11. 2023, fotodokumentacija občine Bovec [D10].



Slika 4.11: Neustrezno zaščitena lesena konstrukcija, odpadla PVC folija, slika z dne 21. 11. 2023, fotodokumentacija občine Bovec [D10].

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

Za določitev vremenskih vplivov na stanje lesene konstrukcije so bili pridobljeni in analizirani podatki samodejne meteorološke postaje Bovec – letališče. Podatki so bili pridobljeni s spletne strani meteo.arso.gov.si. Zajeti so bili podatki o povprečni temperaturi, povprečni vlažnosti in skupni količini padavin v polurnem obdobju. Analizirano obdobje obsega dneve od 3. 10. 2024 (začetek montaže lesenih nosilcev) do 12. 12. 2024 (položene vse plošče in parna zapora v celoti, kar se lahko šteje kot zaščita lesenih delov nosilne konstrukcije).

V tem obdobju vlažnost lesa ni bila spremljana, vlažnost nosilcev iz proizvodnje, glede na zahteve standarda SIST EN 14080:2013, pa naj bi bila med 6 in 15 %, običajno so vrednosti okoli 12%.

Spremembe vlažnosti lesa se dogajajo v daljšem časovnem obdobju posebno pri večjih prerezih elementov, ob dlje časa stalnih pogojih pa se vlažnost lesa uravnovesi – ravnovesna vlažnost. V času zunanje izpostavitve so izrazita nihanja med dnevno in nočno temperaturo ter posledično tudi zračno vlažnostjo. Očiten je tudi vpliv padavin, ki neposredno vplivajo na vlažnost lesa. Za določitev ravnovesne vlažnosti je torej potrebno zajeti večje obdobje, v katerem se spremlja temperaturo in vlago v ozračju (v našem primeru 14 dni). Ravnovesno vlažnost lesa določimo s krivulje sorpcijske izoterme, ki predstavlja odvisnost ravnovesne vlažnosti lesa od temperature in relativne zračne vlažnosti. Takšen pristop je konzervativen, saj neposredno navlaževanje zaradi padavin ni upoštevano.

V Tabeli 4.1 so predstavljeni podatki za pet 14-dnevnih obdobij med 3. 10. 2023 in 12. 12. 2023. Tovrstna analiza podaja zgolj približne pričakovane vrednosti vlažnosti lesa, za točne podatke bi bila potrebna kontrola vlažnosti v času gradnje (kot jo npr. predvideva predstandard [S17], kar v tem primeru ni bilo izvedeno). V času dveh tednov se pričakuje, da se lesu spremeni - uravnovesi vlažnost. K analizi so dodani tudi podatki o količini padavin. Glede na veliko količino padavin obstaja možnost, da je bila vlažnost lesa, vsaj na površini, še precej večja. O vsaj enem močnejšem nalivu v Bovcu je poročal tudi ARSO v poročilu [L13] z dne 2. 11. in 3. 11. 2023. O večji količini padavin med 30. 11 in 2. 12. 2024 je pisano tudi v [L14]. Nasprotno pa je bilo v obdobju od 19. 10 in 21. 10. 2023 poročano tudi o nenavadno toplem vremenu [L15], ki mu je sledilo s padavinami bogato dvo tedensko obdobje.

Vlažnost lesa je določena s tabele podane v [L12], pri čemer je za določevanje vlažnosti uporabljen princip linearne interpolacije med vrednostmi (slika 4.12).

Povprečne vrednosti relativne zračne vlažnosti in ocenjene vrednosti vlažnosti lesa so prikazane v tabeli 4.1.

Temperature		Moisture content (%) at various relative humidity values																	
(°C	(°F))	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
–1.1	(30)	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.4	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
4.4	(40)	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.3	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
10.0	(50)	1.4	2.6	3.6	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.4	14.8	16.4	18.4	20.9	24.3
15.6	(60)	1.3	2.5	3.6	4.6	5.4	6.2	7.0	7.8	8.6	9.4	10.2	11.1	12.1	13.3	14.6	16.2	18.2	20.7	24.1
21.1	(70)	1.3	2.5	3.5	4.5	5.4	6.2	6.9	7.7	8.5	9.2	10.1	11.0	12.0	13.1	14.4	16.0	17.9	20.5	23.9

Slika 4.12: Določevanje ravnovesne vlažnosti lesa na podlagi temperature in relativne zračne vlažnosti.

Tabela 4.1: Obdelani vremenski podatki samodejne postaje Bovec – letališče. Prikazane so povprečne vrednosti za obdobje 14 dni.

Obdobje	Povprečna temperatura (°C)	Povprečna relativna zračna vlažnost (%)	Skupna količina padavin (mm)	Ocenjena vlažnost lesa (%)
3. 10. 2023 do 17. 10. 2023	13,6	83,8	76,0	17,7
18. 10. 2023 do 31. 10. 2023	12,3	90,5	733,5	21,2
1. 11. 2023 do 14. 11. 2023	6,8	88,8	381,1	20,2
15. 11. 2023 do 28. 11. 2023	4,5	69,1	18,3	13,3
29. 11. 2023 do 12. 12. 2023	1,4	87,4	287,6	19,7

Ob upoštevanju, da je bila vlažnost lesa ob montaži med 6 in 15 % je imel lepljeni les, glede na vremenske podatke, pred pokritjem dvorane, zagotovo večjo vlažnost – po grobi oceni vsaj 20 % (tabela 4.1). Po namestitvi slojev strešne konstrukcije se je v nekaj tedenskem obdobju zaprl celoten zunanji ovoj dvorane. Podatki o temperaturi in vlažnosti v notranjosti dvorane niso na voljo, zato ni mogoče oceniti, kako hitro se je vlažnost lesa spreminjala oz. zmanjševala. Glede na dokumentirano intenzivno uporabo sušilcev (slika 3.1) se lahko predvideva da je bila vlažnost v lesu v času sušenja nižja od vlage izmerjene ob pregledih (10. 10. 2024 in 11. 10. 2024, od cca. 11 do 13 %). Kot je bilo opisano v prejšnjih poglavjih, pa so bile v preteklosti hitre spremembe vlažnosti (najpogosteje zaradi intenzivnega sušenja pri gradnji) velikokrat identificirane kot poglavitni vzrok večje poškodovanosti lesenih konstrukcij (slika 4.1). V [L2] navajajo podatke spremljanja vlažnosti za različne tipe zgradb, kjer je prišlo do močnejših poškodb v lesenih konstrukcijah. Pri tem navajajo zelo nizke izmerjene vlažnosti lesa v opazovani športni dvorani, ki so v povprečju znašale le 7,8 %.

Ocenjuje se, da je **delovanje lesa zaradi spreminjajoče se vlažnosti lesa, kot posledica vremenskih vplivov med gradnjo, drugi najpomembnejši razlog porušitve oz. poškodb lesenega ostrešja** v športni dvorani v Bovcu. Zaradi spreminjajoče se vlažnosti lesa so bili neustrezni lepljeni spoji v blokovno zlepljenem lepljenem lameliranem lesu (razdelek 3.1.1) še toliko bolj obremenjeni, posledično so se delaminacijske razpoke povečale, vse do porušitve kritičnih stikov.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

5. Statična presoja strešne konstrukcije

Statično presojo izvedemo za del strehe, kjer so se zgodile največje poškodbe, t.j. med osmi 5 - 8. Analize so bile izvedene s programom RFEM v5 [L21]. Izdelan je bil 3D model poškodovanega dela strehe, pri čemer so upoštevane obtežbe, ki so ocenjene za čas porušitve nosilcev. Kontrole temeljijo na podatkih, dokumentiranih ob pregledu nosilne konstrukcije in na podlagi dostavljene projektne dokumentacije. V nadaljevanju je prikazan najverjetnejši scenarij porušitve, s čimer lahko potrdimo dejanski potek do končne upogibne porušitve nosilca 7.1. Z namenom primerjave, je za enako obtežbo prikazana tudi referenčna konstrukcija brez upoštevanja poškodovanosti stika na polovici prereza nosilcev (t.j. spoja dveh komponent blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa). V razdelku 5.1 je prikazana določitev obtežbe za dogodek oz. čas porušitve, v razdelku 5.2 je navedeno nekaj značilnosti numeričnega modela, v razdelku 5.3 je prikazan odziv nepoškodovane konstrukcije kot je bila predvidena v projektu, v razdelku 5.4 pa je opisan scenarij porušitve nosilcev podkrepljen z numeričnim modelom. Izpostavlja se, da se izračun izrednega dogodka razlikuje od projektnih stanj, ki so predpisani v Evrokodih. Torej se v tem primeru ne uporablja dodatnih varnostnih faktorjev za faktoriranje obtežb, faktorjev za redukcijo materialnih lastnosti idr. Za trdnostne lastnosti uporabljenih materialov so upoštevane karakteristične vrednosti, kar je pri lesenih konstrukcijah z velikim raztrosom materialnih lastnosti možen scenarij in ga lahko zasledimo v literaturi (npr. [L10] in [L11]).

5.1 Obtežba

Pregled nosilne konstrukcije je obsegal tudi določitev debelin dejansko vgrajenega sloja zemljine za zeleno streho, kar je bilo izvedeno 11. 10. in 15. 10 in je podano v Prilogi D. Za odvzeti vzorec zemljine v napojenem (zasičenem) stanju je v Prilogi D podana tudi določitev prostorninske mase. Ker se je sestava zelene strehe v času izvedbe nekoliko spremenila, določitev obtežbe temelji tudi na podatkih podizvajalca Humko d.o.o., ki je izvajal dela na zaključnih slojih zelene strehe [D8]. Za oceno zastajanja vode smo uporabili slikovno gradivo iz poročila ZRMK [D5]. Lastna teža lesene konstrukcije je upoštevana v programu samodejno.

Tabela 5.1: Stalna teža pohodne zelene strehe po slojih – zasičeno stanje.

Sloj	**Vir za določitev obtežbe sloja**	**d [cm]**	**γ (kN/m³)**	**g_k kN/m²**
travna ruša oz. travni zvitki	[D8]	/	/	0,20
zemljina	Priloga D	23	21,3	4,90
PP filc	[D8]	/	/	0,01
vodozadrževalni sloj – plovec	[D8]	/	/	0,02
vodozadrževalni sloj – drenažne plošče	[D8]	2	11,5	0,23
toplotna izolacija	[D1]	24	1,5	0,36
hidroizolacija in parna zapora	[D1]	2	24	0,50
plošče iz lepljenega lameliranega lesa	[D4]	24	4,2	1,01*
toplotna izolacija	[D1]	10	1,5	0,15
spuščen strop in instalacije	[D1]	/	/	0,80
			SKUPAJ	**7,16**

*upoštevano v programu

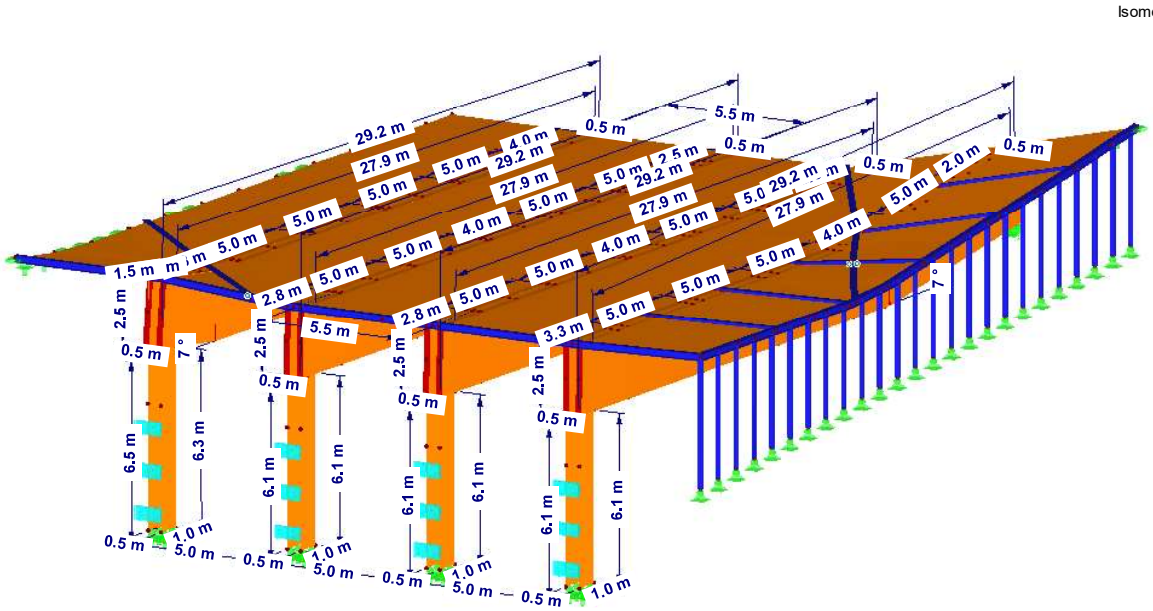
Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

Projektna obtežba za napojeno stanje, ki je bila upoštevana v statičnem izračunu projektanta znaša g_k = 6,90 kN/m^2 [D1]. V tabeli 5.1. podana obtežba, ki je bila določena na podlagi izvedenega pregleda in podatkov podizvajalca za zeleno streho (Humko d.o.o.) se ne razlikuje bistveno od projekta (odstopanje manj kot 5 %). Za zastajanje vode je uporabljena ocena, da je voda zapolnila celotno travno rušo, na kar se sklepa iz slik v poročilu ZRMK [D5]. Pri tem privzamemo srednjo vrednost debeline travne ruše 4 cm, kar pomeni da je dodatno upoštevano še **q_v = 0,40 kN/m^2.**

Skupna ocena je, da je bila **obtežba v času porušitve nosilcev manjša od obtežbe upoštevane s strani projektanta za mejno stanje nosilnosti**. Lastno in stalno obtežbo je projektant upošteval pravilno, saj na terenu ni bilo ugotovljenih večjih odstopanj. Dodatno je upoštevano zastajanje vode, po presoji, glede na poslano dokumentacijo. Zastajanje vode v tem obsegu, kot je lahko razbrati iz posredovanih dokumentov, ni preseglo s strani projektanta predvidene merodajne koristne obtežbe.

5.2 Računski model z opisom robnih pogojev in predpostavk

Računski model je bil izdelan glede na geometrijo podano v PZI načrtih arhitekture [D2]. Na sliki 5.1 je prikazan 3D model z označenimi dimenzijami in robnimi pogoji. Uporabljen je model s ploskovnimi elementi za lesene konstrukcije, jeklena konstrukcija pa je modelirana z linijskimi elementi. Plošče so modelirane vse do osi 4, pri čemer so na tem mestu modelirane pomične podpore, ki simulirajo poves nosilcev v osi 4, tako da so robni pogoji približno enaki dejanskemu izvedenemu stanju. Na stebrih so podane členkaste podpore ob vpetju po celotni širini stebra in pa tudi po višini stebra, ki simulirajo odpor AB stene (podpora je aktivna samo v primeru tlaka). Med lesenimi stebri in strešnimi nosilci je dovoljeno razpiranje stika, v tlaku pa je upoštevan polno togi stik. Na mestu vpetja strešnih nosilcev v armiranobetonske stebre so modelirane členkasto pomične podpore (slika 5.2). Jekleni stebri fasade so podprti s členkastimi nepomičnimi podporami. Plošče so modelirane z vsemi delovnimi stiki, pri čemer se na strešne nosilce pritrjujejo z upoštevanjem podajnosti vijačnega stika. V modelu so upoštevani dodatni leseni nastavki na nosilcih (z upoštevanjem podajnosti stika), s katerimi so v montaži omogočili ustrezen naklon strehe oz. naleganje strehe (vijačeni so v strešne nosilce). Ciljna minimalna dimenzija za ploskovne končne elemente lesene konstrukcije je znašala 0,5 m.



Slika 5.1: Prikaz 3D modela z označenimi robnimi pogoji in dimenzijami.

Za plošče je uporabljen ortotropni elastični material, ki ustreza lepljenim lameliranim nosilcem trdnostnega razreda GL24h (tabela 5.2), pri tem je upoštevana usmerjenost lokalnih koordinatnih osi in usmerjenost lamel oz. vlaken materiala (lokalna os X – vzporedno z vlakni, lokalna os Y – pravokotno na vlakna). Za nosilce je uporabljen ortortropni bilinearni plastični material s katerim se lahko približno oceni stopnjo poškodovanosti lesa z uporabo kriterija za seštevanje napetosti *Tsai-Wu*, ki se pogosto uporablja za lesene konstrukcije (npr. [L20]) in je na voljo v programu Rfem Dlubal v5.34 [L21], hkrati pa je upoštevana usmerjenost lokalnih koordinatnih osi, ki je sledila usmerjenosti vlaken v lepljenem lameliranem lesu (lokalna os X – vzporedno z vlakni, lokalna os Y – pravokotno na vlakna). Za nepoškodovano konstrukcijo so predvideni strešni nosilci in stebri trdnostnega razreda GL28h (tabela 5.3), kot je bilo predvideno v projektu. Za primer scenarija porušitve so strešni nosilci razvrščeni v nižji trdnostni razred GL24h (tabela 5.2), ker je bilo med pregledom ugotovljenih več pomanjkljivosti v spodnjih lamelah izdelanih nosilcev (razdelek 3).

Tabela 5.2: Lastnosti materiala GL24h za ortotropni elastični odziv in upoštevane trdnosti za kontrolo porušitve. Vrednosti so zaokrožene na eno decimalno vrednost v primerjavi s SIST EN 14080:2013.

Moduli elastičnosti [kN/cm²]		Strižni moduli [kN/cm²]			Poissonov količnik [-]	
E_x	E_y	G_{yz}	G_{xz}	G_{xy}	n_{xy}	n_{yx}
Lepljen lameliran les GL24h | SIST EN 14080:2013-08						
1150,0	30,0	6,5	65,0	65,0	0,350	0,009
Natezna trdnost:				$f_{t,x}$	1,9	kN/cm^2
				$f_{t,y}$	0,1	kN/cm^2
Tlačna trdnost:				$f_{c,x}$	2,4	kN/cm^2
				$f_{c,y}$	0,3	kN/cm^2
Strižna trdnost:				$f_{v,xy}$	0,3	kN/cm^2

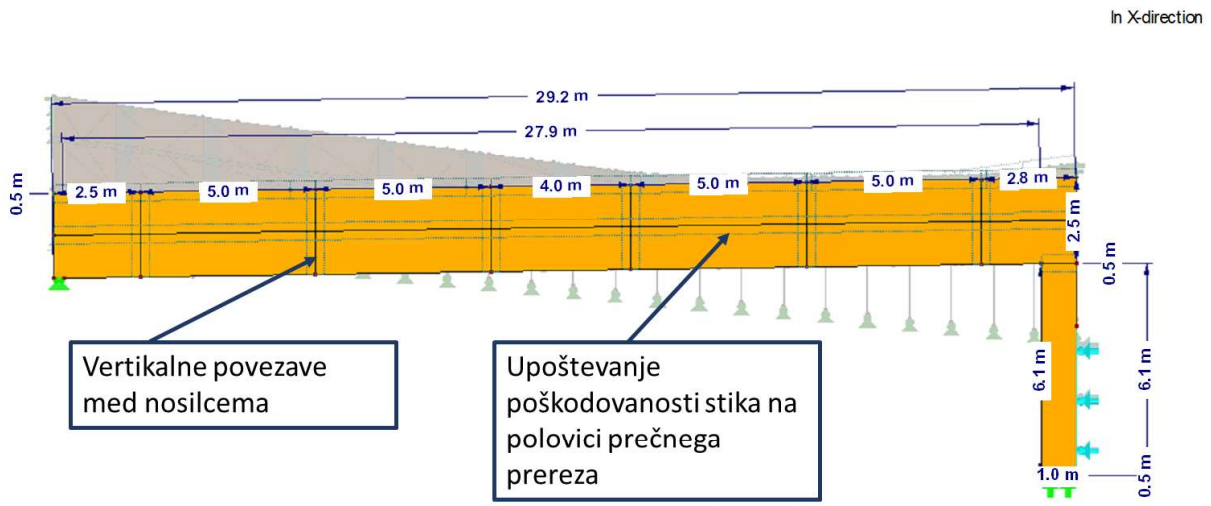
Tabela 5.3: Lastnosti materiala GL28h za ortotropni elastični odziv in upoštevane trdnosti za kontrolo porušitve. Vrednosti so zaokrožene na eno decimalno vrednost v primerjavi s SIST EN 14080:2013.

Moduli elastičnosti [kN/cm²]		Strižni moduli [kN/cm²]			Poissonov količnik [-]	
E_x	E_y	G_{yz}	G_{xz}	G_{xy}	n_{xy}	n_{yx}
Lepljen lameliran les GLh28h | SIST EN 14080:2013-08						
1260,0	30,0	6,5	65,0	65,0	0,350	0,008
Natezna trdnost:				$f_{t,x}$	2,2	kN/cm^2
				$f_{t,y}$	0,1	kN/cm^2
Tlačna trdnost:				$f_{c,x}$	2,8	kN/cm^2
				$f_{c,y}$	0,3	kN/cm^2
Strižna trdnost:				$f_{v,xy}$	0,3	kN/cm^2

Na sliki 5.2 je prikazan prečni pogled nosilca v osi 7. Iz slike je razvidno, da so v modelu upoštevane navpične povezave med strešnima nosilcema, pri čemer je uporabljena linijska sprostitev med ploskovnimi elementi (angl. »line release«) s togostjo v lokalni x-smeri k_x = 50000 kN/m/m, ki odgovarja togosti izvedenega spoja, glede na vrednosti modula pomikov K_{ser} podanega v Evrokodu 5 [S13] (razdelek 4.1.1). Navpične povezave so približno na medsebojni razdalji 5 m. V modelu, kjer je simuliran scenarij porušitve strešnih nosilcev, je upoštevana polna poškodovanost spoja na polovici višine strešnega nosilca in sicer za tiste nosilce, kjer je tudi na pregledu in preizkušanju potrjeno, da so tam lepljeni spoji že odpovedali (razdelek 5.4). Poškodovanost spoja je modelirana z linijsko sprostitvijo, kjer je upoštevana porušitev spoja z naslednjimi karakteristikami: (i) v lokalni x-smeri je togost $k_x = 0$ in (ii) v lokalni y-smeri je togost enaka 0 v primeru natega, v tlaku pa je upoštevan polni kontakt. V primeru statične presoje referenčne (nepoškodovane) konstrukcije je upoštevana celovitost spoja oz. popolnoma tog spoj pri vseh strešnih nosilcih (razdelek 5.3). Obtežba določena v razdelku 5.1 (stalna obtežba in zastajanje vode) je podana kot enakomerno porazdeljena obtežba na ploskovne elemente, s katerimi so modelirane strešne plošče:

$$q = g_{\mathrm{k}} + q_{\mathrm{v}} = 7{,}56\,\mathrm{kN/m^2}$$

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

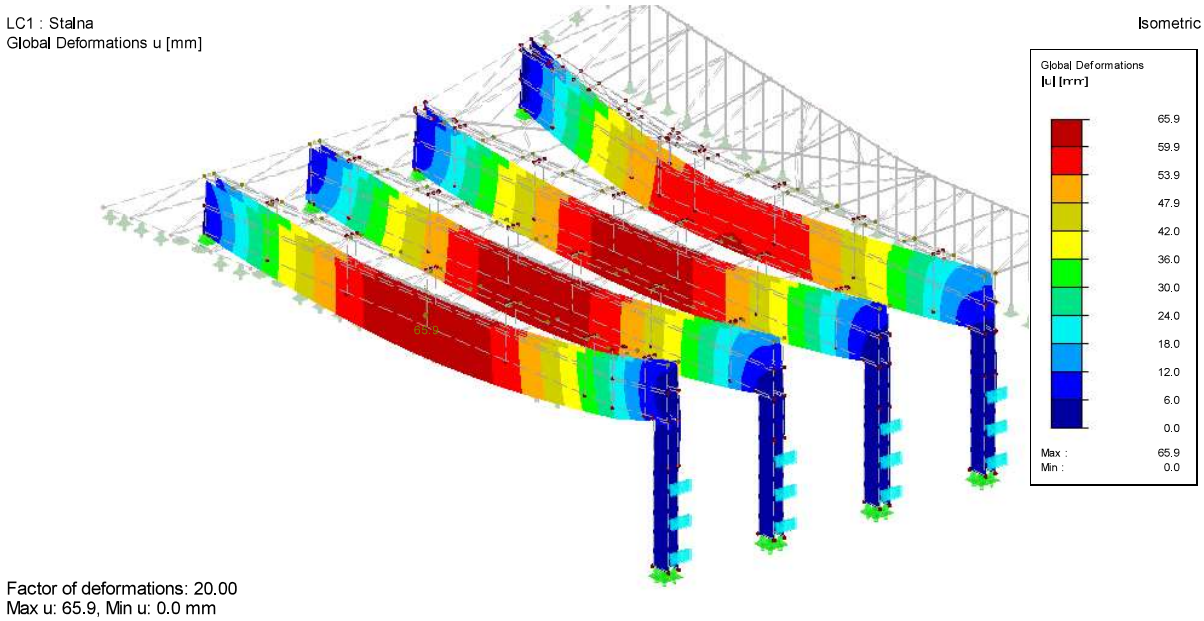


Slika 5.2: Prikaz geometrije ravnih nosilcev in opis predpostavk modela v osi 7.

5.3 Statična presoja nepoškodovane konstrukcije

Statična presoja je podana najprej za referenčno konstrukcijo – to je za konstrukcijo brez poškodb. V modelu referenčne konstrukcije je uporabljena enaka obtežba kot je bila ocenjena za čas porušitve nosilcev (q = 7,56 kN/m^2). Zaradi obsežnosti so prikazani le glavni rezultati v obliki pomikov (slika 5.3) in izkoriščenosti nosilnosti lepljenih lameliranih elementov glede na kriterij *Tsai-Wu* (slika 5.4).

Zaradi večje preglednosti so prikazani pomiki le za lepljene lamelirane nosilce in stebre. Pomiki referenčne konstrukcije so pričakovani, povesi v nosilcih ne presegajo vrednosti, ki jih je določil projektant in znašajo največ cca. 6,6 cm. Z uporabo modela s ploskovnimi elementi ter bolj natančnega modeliranja robnih pogojev so računski povesi celo nekoliko nižji kot jih je upošteval projektant. Z modelom se lahko tudi potrdi, da je bilo predpisano nadvišanje nosilcev za 8,0 cm s strani projektanta smiselna ocena.

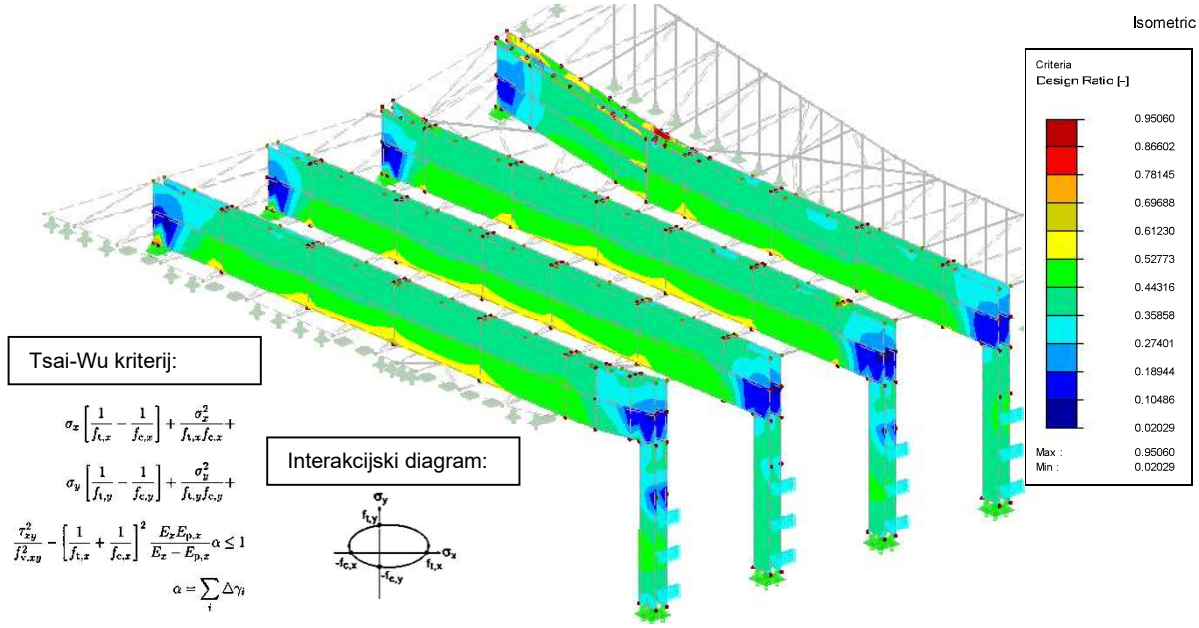


Slika 5.3: Pomiki referenče (nepoškodovane) konstrukcije, zaradi izboljšanega prikaza so pomiki faktorirani s faktorjem 20.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

Zaradi večje preglednosti je prikazana izkoriščenost nosilnosti le za lepljene lamelirane nosilce in stebre (slika 5.4). Ocenjuje se, da so rezultati za izkoriščenosti nosilnosti nepoškodovane konstrukcije pričakovani in ne odstopajo bistveno od rezultatov modela v PZI statičnem izračunu. Pri tem je potrebno poudariti, da neposredne primerjave izkoriščenosti nosilnosti niso možne, saj je projektant upošteval mejno stanje nosilnosti, v predstavljeni statični presoji pa je obravnavana obtežba za stanje, ki je povzročilo porušitev (torej z upoštevanjem nefaktorirane obtežbe in brez materialnih varnostnih faktorjev). Za takšno primerjavo bi bilo treba izvesti ponovni statični izračun celotnega ostrešja kar pa presega obseg te naloge in je predmet predlagane revizije. Različni sta tudi metodi za določitev izkoriščenosti nosilnosti. Manjša razlika, ki jo izkazuje predstavljeni numerični model v primerjavi z modelom iz statičnega izračuna se kaže v koncentracijah napetosti na mestih vertikalnih ojačitev. Vrednosti izkoriščenosti nosilnosti so zato najvišje ravno na teh mestih, kar je tudi smiselno saj se obtežba prenaša preko medsebojnih vertikalnih povezav na oba nosilca. Najvišja izkoriščenost nosilnosti za nosilce v osi 6 in 7 znaša približno 0,66. Pri tem se ponovno poudarja, da je navedena izkoriščenost za nefaktorirano obtežbo brez dodatne obtežbe s snegom in brez koristne obtežbe kot jih predvideva Evrokod za mejno stanje nosilnosti ter brez materialnih varnostnih faktorjev.

Na podlagi statične presoje se ocenjuje, da do porušitve lepljenih lameliranih nosilcev pri obravnavani obtežbi ne bi prišlo, če bi bili nosilci pravilno izdelani in nepoškodovani.



Slika 5.4: Izkoriščenost referenče (nepoškodovane) konstrukcije po kriteriju *Tsai-Wu* za nefaktorirano obtežbo in za karakteristične vrednosti trdnosti materiala.

5.4 Scenarij porušitve nosilcev

V tem razdelku je z numeričnim modelom prikazan najverjetnejši scenarij, ki je privedel do upogibne porušitve strešnega nosilca 7.1. Z modelom je upoštevana poškodovanost strešnih nosilcev 6.1, 6.2, 7.2, 8.1 in 8.2 na mestu neustreznega spoja dveh lepljenih lameliranih elementov v en nosilec (spoj na sredini višine nosilca), ter s tem zajeto zmanjšanje odpornostnega momenta za tako poškodovane nosilne elemente. Nadalje se z modelom ugotavlja, da se je dodatna obtežba zaradi strižnih porušitev ostalih strešnih nosilcev prerazporedila in dosegla prekoračitev napetosti v nosilcu 7.1 in njegovo porušitev.

Da je prišlo najprej do strižnih porušitev nosilcev 6.1, 6.2, 7.2, 8.1 in 8.2 in kasneje do končne upogibne porušitve nosilca 7.1 se sklepa na podlagi fotografij poslanih s strani Občine Bovec, ki so bile posnete v času sanacije nosilca 6.1 na dan 27. 8. 2024. Iz fotografij je razviden strižni zamik na polovici nosilca 7.2 in delaminacija lepljenega stika na polovici nosilca 8.2 (slika 5.5). V pridobljeni dokumentaciji je bilo poročano, da se je končna upogibna porušitev v nosilcu 7.1 zgodila 4. 9. 2024 [D3], torej cca. 1 teden po opravljeni sanaciji nosilca 6.1. V vmesnem času (od 27. 8. do 4. 9.) so na strehi potekala zaključna dela za dokončanje zelene strehe – polagala se je travna ruša in pričelo se je z zalivanjem preko namakalnega sistema, kar je povzročilo dodatno obtežbo in končno vodilo do upogibne porušitve na strižno nepoškodovanem nosilcu 7.1. Glavna razloga za neugodno prerazporeditev večjega dela obtežbe na nosilec 7.1. sta torej: (i) zmanjšanje odpornostnega momenta preostalih nosilcev zaradi njihove strižne porušitve ter (ii) značilnost konstrukcijskega sistema povezanih nosilcev, ki zagotavlja enakost pomikov na mestu medsebojnih vertikalnih povezav.

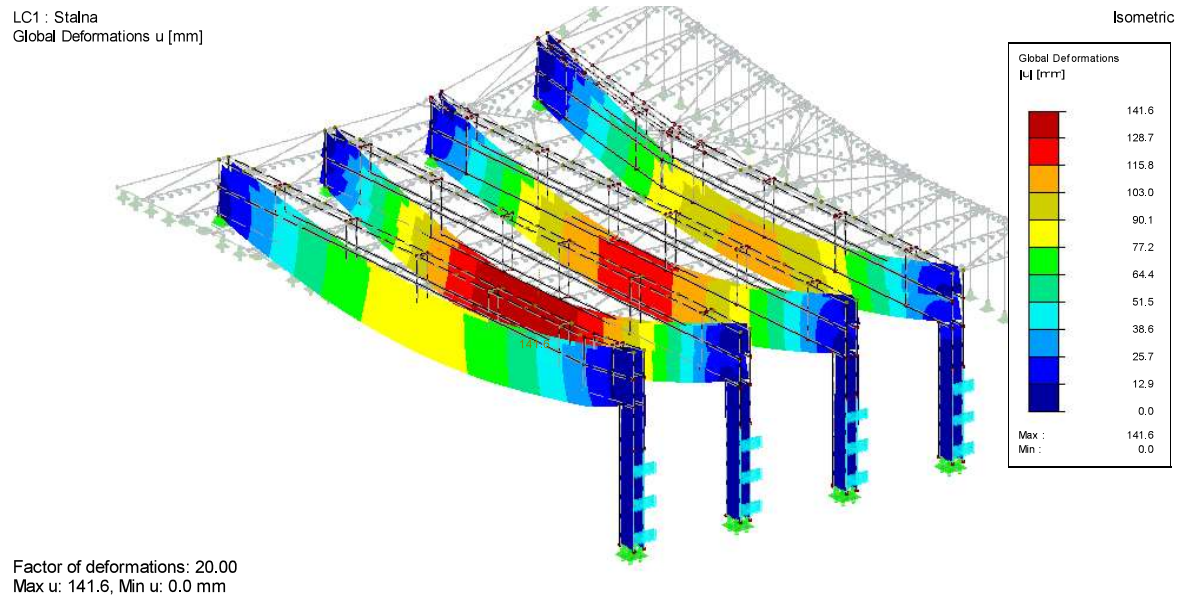


Slika 5.5: Strižne poškodbe na sredini nosilca 7.2, fotografija z dne 27. 8. 2024 [D10].

Rezultati pomikov za scenarij porušitve so prikazani na sliki 5.6. Pri samem pregledu nosilne strešne konstrukcije povesi strešnih nosilcev niso bili merjeni, saj bi to bilo smiselno le, če bi obstojali podatki o meritvah povesov v referenčnem (nepoškodovanem) stanju, ob znani obtežbi in ob upoštevanju nadvišanja strešnih nosilcev. Neposredna primerjava povesov, ki so se dejansko zgodili v času porušitev in povesov iz modela za scenarij porušitve zato ni podana. Kljub temu se lahko s primerjavo med numeričnima modeloma (neporušeni : strižno porušeni strešni nosilci) pokaže, da se poves pri strižno porušenih strešnih nosilcih poveča za več kot dvakrat v primerjavi z referenčnim modelom. Največji poves v modelu znaša cca. 14,2 cm. Potrebno je dodati še, da se z obravnavanim modelom ne more zajeti odziva lesa

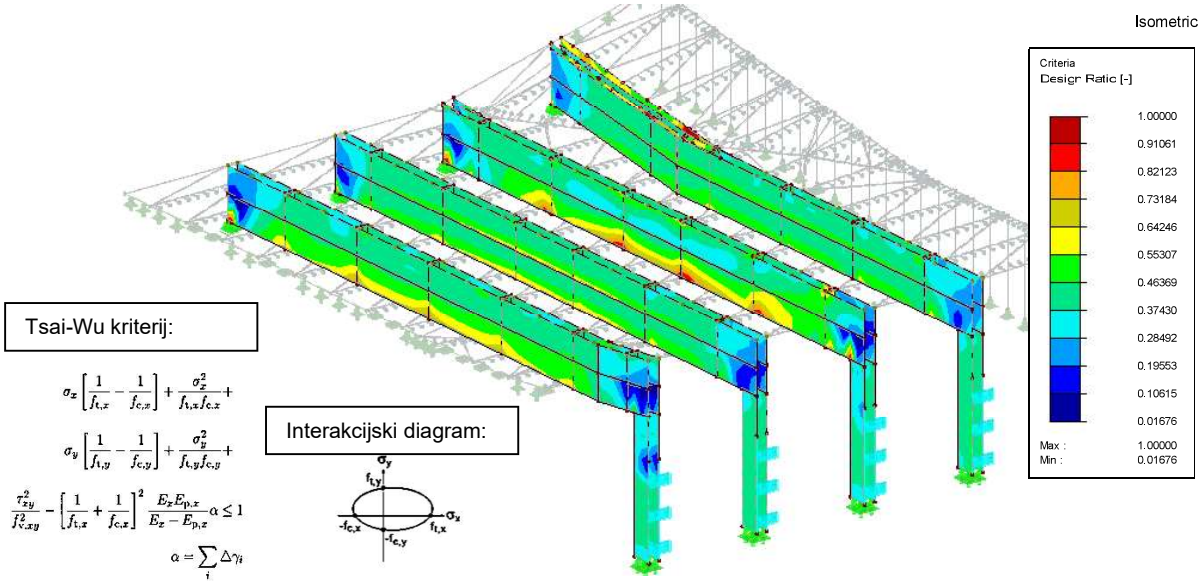
Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

po tem, ko se pojavijo prve poškodbe, torej za stanje globoko v nelinearnem območju, ko se razpoke v lesu širijo in nastopi končna izguba nosilnosti. Zaradi tega je mogoče pričakovati, da so dejanski povesi prav tako večji.



Slika 5.6: Pomiki poškodovane konstrukcije; zaradi izboljšanega prikaza so pomiki faktorirani s faktorjem 20, enako kot v referenčni (nepoškodovani) konstrukciji (slika 5.3).

Povsem drugačen odziv v primeru poškodovanega modela pa rezultira v bistveno drugačni izkoriščenosti nosilnosti glavnih konstrukcijskih elementov (slika 5.7) kot v referenčnem modelu, brez poškodb (slika 5.4). Z rdečo barvo je prikazana izkoriščenost nosilnosti nad 0,90. Vsota napetosti po *Tsai-Wu* kriteriju za nosilec 7.1 je najvišja v območju vertikalnih povezav med dvema nosilcema v paru. Izkoriščenost nosilnosti za model s scenarijem porušitve potrjuje predpostavko, da je prišlo do prekoračitve nosilnosti lesa (prevladujoča izkoriščenost natezne trdnosti) na mestu navpičnih povezav. Tip porušitve, ki se ga razbere iz modela je primerljiv z rezultati pregledane konstrukcije (slika A13), kot je razvidno tudi s slik B95 - B100. Z modelom se lahko zajame tudi tlačne poškodbe nosilca ob naleganju na lesen steber, kjer pride do večjega zasuka in napetosti prečno na vlakna (slika B101).



Slika 5.7: Izkoriščenost nosilnosti za poškodovano konstrukcijo; po kriteriju *Tsai-Wu* določamo prekoračitev trdnosti v nosilcu 7.1.

6. Zaključki

Zaključki so podani v enakem vrstnem redu kot si sledijo poglavja poročila in so sestavljeni iz ugotovitev pregleda na terenu in pregleda projektne dokumentacije, statičnega izračuna scenarija porušitve ter iz predloga nadaljnjih korakov.

6.1 Ugotovitve terenskega pregleda

Terenski pregledi združeni z laboratorijskim preskušanjem so obsegali:

- pregled vidnih delov lesenih nosilnih elementov strešne konstrukcije (strešni nosilci, stebri),
- odvzem vzorcev in laboratorijski preskusi strižne trdnosti lepljenih spojev,
- določitev lastne teže zemljine v zasičenem stanju.

Na osnovi izvedenih pregledov in laboratorijskih preiskav se podaja naslednje ugotovitve, ki najverjetnejše razloge za poškodbe oz. porušitev lesenih lepljenih nosilcev identificirajo po relevantnosti, od najpomembnejšega vzroka do najmanj vplivnega (1-5):

1. Vsi strešni nosilci v oseh 1 - 8 niso bili izdelani kot lepljeni lamelirani les temveč kot »blokovno zlepljeni lepljeni lamelirani les« (ang. blocked glued glulam). Strešni nosilci so bili izdelani iz dveh približno enako velikih naknadno zlepljenih kosov – komponent (t.j. blokov) lepljenega lameliranega lesa. Pri lepljenju je bilo uporabljeno neustrezno lepilo, ki je primerno le za tankoslojno lepljenje, to je za izdelavo klasičnega lepljenega lameliranega lesa. Zaradi več, v nadaljevanju podanih, vzrokov so se na navedenih lepljenih spojih, lociranih približno na polovici višine strešnih nosilcev, na več mestih pojavile delaminacijske razpoke, ki so ob obremenjevanju vodile v strižne porušitve strešnih nosilcev v oseh 6, 7 in 8. Izpostavlja se, da se bodo ob morebitnem povečevanju obtežbe strižno porušili tudi ostali strešni nosilci, ki so na navedenem lepljenem spoju že delno delaminirani.

2. Na strešnih nosilcih in tudi na stebrih so bile ugotovljene številne sušne (to je razpoke v lesu – v lamelah) in delaminacijske razpoke (razpoke po lepljenih spojih), ki so najverjetneje nastale zaradi večtedenske neposredne izpostavljenosti nosilnih elementov vremenskim vplivom, in sicer v času njihove montaže oz. v času do njihove zaščite pred zunanjimi vplivi, to je z vgradnjo ostalih slojev strešnega sestava. Spremembe vlažnosti zunanjega okolja povzročajo spremembe vlažnosti lesa, le-ta pa se odraža v dimenzijskih spremembah lesa, ki so vidne kot pojav razpok ter ukrivljenosti. Dimenzijskim spremembam zaradi spremembe vlažnosti lesa so izpostavljeni vsi lepljeni spoji, v konkretnem primeru se je kot izrazito problematično izkazalo delovanje lesa na mestu spojev, kjer so posamezni bloki lepljenega lameliranega lesa zlepljeni v »blokovno zlepljeni lepljeni lamelirani les«.

3. V uporabljenih lamelah (spodnje lamele v strešnih nosilcih in krajne lamele v stebrih) je bilo identificirano večje število nedovoljenih napak v masivnem lesu (zlasti grče), ki bi morale biti z izžagovanjem in zobatim spajanjem izločene v procesu vizualnega razvrščanja lamel v trdnostne razrede, da bi se zadostilo zahtevam standarda za izdelavo lepljenih elementov trdnostnega razreda GL28h. Prav tako je bilo v vidnih spodnjih lamelah v več primerih identificirano pomanjkljivo zobato spajanje lamel. Kljub temu, da je mogoče oceniti le spodnje in krajne lamele (le-te se pri vidnih elementih praviloma izbere še z manj napakami kot sicer), obstoja utemeljeni dvom, da izdelani nosilci ne dosegajo v statičnem izračunu predpisanega trdnostnega razreda GL28h.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

4. Sanacija upogibnih razpok v najprej vidno poškodovanem nosilcu 6.1 je bila izvedena nestrokovno in ni ustrezna. Nosilec 6.1 po izvedeni sanaciji nima ustrezne statične višine, kot je bila predvidena v projektni dokumentaciji, saj je nosilnost saniranega lepljenega spoja med 3. in 4. lamelo v spodnjem delu nosilca nezadostna, prav tako pa je nosilec vidno povešen, prekomerno glede na zahteve mejnega stanja uporabnosti. Del obtežbe, ki bi jo morala prenesti nosilca v osi 6, se je tako prenesel na nosilce v sosednjih oseh 5 in 7.

5. Strešni nosilci so zaradi netočnosti v izdelavi podpornih armirano betonskih stebrov v več primerih zamaknjeni, kar lahko povzroča torzijske obremenitve in je lahko dodatno prispevalo k porušitvi nosilcev.

Poglavitne ugotovitve, navedene v točkah 1, 2 in 4, potrjujejo tudi preskusi strižne trdnosti lepljenih spojev izvedeni na odvzetih vzorcih.

Dodatne pomembne ugotovitve, ki niso neposredno vodile do poškodovanosti nosilcev, vendar se ocenjuje, da jih je treba nujno nasloviti pred sanacijo strešne konstrukcije:

- na več podpornih armirano betonskih stebrih je vidna izredno slaba kakovost izvedbe betonerskih del,
- na jeklenih podporah oz. spojnih elementih so zvari očitno nekvalitetni in neustrezni, pomanjkljiva pa je tudi protikorozijska zaščita.

Na podlagi pregleda lesene strešne konstrukcije in rezultatov preskusov strižne trdnosti lepljenih spojev lahko, glede na določbo 22. točke 3. člena Gradbenega zakona – GZ-1 (Uradni list RS, št. 199/21 in 105/22 - ZZNŠPP) oz. v skladu z določbami 26. člena Gradbenega zakona, objekt označimo kot nevaren. Potrebna bo celovita sanacija, to je nadomestitev strešnih nosilcev, predvsem zaradi dejstva, da je nastopila (tudi) upogibna porušitev nosilca 7.1 ter da je večina nosilcev na mestu neustreznega stika v blokovno zlepljenem lepljenem lameliranem lesu (lepljeni spoj približno na polovici višine nosilca) že porušenih (t.j. nosilci v oseh (1), 6, 7 in 8). Metod primernih za sanacijo tako močno poškodovanih nosilcev literatura ne navaja (prisotne so namreč tudi natezne in tlačne porušitve v posameznih lamelah oz. v lesu). Izpostavlja se, da je sanacija vprašljiva tudi zaradi relativno velikih povesov, strižnega zamika v strižno porušenih nosilcih, nedostopnosti poškodovanih lepljenih spojev (dvojni nosilci v posamezni osi) ter splošne zahtevnosti postopka sanacij razpok, to je učinkovitega lepljena na terenu.

6.2 Ugotovitve pregleda dokumentacije

Pregled projektne dokumentacije in ostale literature (načrti, statični izračun, projekt izvedenih del, dokumentacija proizvajalca / monterja lesene konstrukcije in ostali relevantni dokumenti) je bil izveden z namenom ugotovitve morebitnih pomanjkljivosti pri projektiranju in / ali pri izvedbi. Pregleda dokumentacije kontrole proizvodnje (delavniška dokumentacija, zapisi o proizvodnji, dokazila o vhodnih materialih in rezultati kontrolnega preskušanja) ni bilo mogoče opraviti, saj proizvajalec lepljenih elementov, kljub večkratnim pozivom, dokumentacije ni posredoval. Ključne ugotovitve pregleda dostavljene dokumentacije so:

1. <u>Zasnova in statični izračun</u>

- Zasnova dveh povezanih nosilcev je pomanjkljiva zaradi možnosti pojava koncentracij napetosti na mestu projektiranih medsebojnih povezav (ojačitev) ter zaradi vnosa točkovnih sil na mestu jeklenih nosilcev.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

- Konkavna »V« oblika nosilcev zahteva kompleksno računsko modeliranje, ki je pogojeno s principom postopka izdelave nosilcev. Prav tako so zaradi zalomljene oblike v strešni konstrukciji prisotni tudi vodoravni pomiki, ki v predloženem statičnem izračunu niso bili prikazani.
- V statičnem izračunu ni bilo upoštevano zastajanje vode v konkavnem delu, dodatno bi bilo priporočljivo, da bi projektant izbral nižje vrednosti faktorja k_{mod} (vpliv trajanja obtežbe in pogoji okolja) in večji oblikovni koeficient strehe pri izračun obtežbe s snegom. Posledično bi bila za dimenzioniranje merodajna druga obtežna kombinacija kot je bila sicer upoštevana kot merodajna v predloženem statičnem izračunu. Izkoriščenost nosilcev v projektnem mejnem stanju nosilnosti (MSN) bi se tako še povečala in konstrukcija v takšni obliki oz. geometriji kot je izvedena ne bi zadostila zahtevam glede MSN.
- Uporabljena računska metoda sestavljenega »T« prereza za načrtovano in izvedeno rešitev s ploščami iz lepljenega lameliranega lesa ni ustrezna. Izpostavlja se, da plošče prečno na nosilce, spojene z mehanskimi veznimi sredstvi, ne zagotavljajo polne togosti in ne prispevajo k dodatni upogibni nosilnosti nosilcev kot je upoštevano v predloženem statičnem izračunu.
- Glede na razmeroma veliko statično višino obravnavanih nosilcev se ugotavlja, da bi bilo smiselno upoštevati smernice za znižanje projektne upogibne trdnosti, kot je priporočeno v strokovni literaturi in kot bo v prihodnosti vključeno v novo izdajo standardov za načrtovanje lesenih konstrukcij.
- Ugotavlja se, da v statičnem izračunu manjkajo izkazi glede projektiranja prečnih prerezov s kombinacijo napetosti (npr. kombinacija upogiba in natega) ter izkazi požarne odpornosti lesenih elementov in vidnih jeklenih spojev.

2. Načrti PZI, dokumentacija proizvajalca / monterja lesene konstrukcije

- Nekonsistentne navedbe zahtev za proizvode v PZI projektu in popisu del: na določenih mestih je za strešne plošče navedena uporaba križno lepljenih plošč (trdnostni razred lamel C24), ponekod pa uporaba plošč iz lepljenega lameliranega lesa trdnostnega razreda GL24h. Navedena sta dva različna proizvoda z različnimi lastnostmi, ki jih obravnavata dve različni tehnični specifikaciji.
- Proizvajalec lesenih lepljenih elementov ni predložil ustreznih izjav o lastnostih za dobavljene / vgrajene materiale. Predložena je bila izjava o lastnostih za proizvod »lepljeni lamelirani konstrukcijski les«, vgrajen pa je bil »blokovno zlepljeni lepljeni lamelirani les« (ang. block glued glulam).

3. Ostali dokumenti (gradbeni dnevnik, fotodokumentacija, poročilo ZRMK idr.)

- S pomočjo gradbenega dnevnika in slikovnega gradiva, posredovanega s strani Občine Bovec, je bila ugotovljena podrobna časovnica montaže lesene nosilne konstrukcije in nadalje zaščitnih slojev strešne konstrukcije. Potrjeno je bilo, da je bila lesena konstrukcija med montažo neustrezno zaščitena in kar nekaj tednov neposredno izpostavljena neugodnim zunanjim vremenskim vplivom.
- Nosilno konstrukcijo plošče nad strešnimi nosilci sestavljajo elementi iz lepljenega lameliranega lesa, za katerega je - ob spremembah vlažnosti - dimenzijska nestabilnost v prečni smeri splošno poznana slabost. Kljub mestoma nasprotujočim se informacijam, iz pregleda dostavljene dokumentacije ni razvidno, da bila sprememba materiala nosilne konstrukcije podkrepljena z utemeljitvijo, da je rešitev enakovredna načrtovani rešitvi s križno lepljenimi ploščami.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

- V poročilu ZRMK št. DN2007762 je navedeno zastajanje vode v času neposredno po upogibni porušitvi nosilca v osi 7.1. Po podatkih glavnega izvajalca gradbenih del se je porušitev zgodila sočasno z delovanjem sekcijskega zalivanja zelene strehe z namakalnim sistemom.

Na podlagi pregleda projektne dokumentacije in relevantne literature se izpostavlja, da je zaradi več očitnih pomanjkljivosti, predvsem pa zaradi same zasnove konstrukcije, pred kakršno koli sanacijo potrebna **revizija projektne dokumentacije za nosilno strešno konstrukcijo.**

6.3 Najverjetnejši scenarij porušitve – statična presoja

Izdelan je bil ponovni statični izračun z upoštevanjem 3D modela s ploskovnimi končnimi elementi za najbolj poškodovani del strehe, (t.j. med osmi 5 - 8) in z upoštevanjem obtežbe, ki je ocenjeno obremenjevala strešne nosilce v času njihove porušitve.

Opisan je najverjetnejši scenarij porušitve, z upoštevanjem poškodovanosti nosilcev 6.1, 6.2, 7.2, 8.1 in 8.2 na mestu neustreznega oz. oslabljenega spoja v blokovno zlepljenem lepljenem lameliranem lesu (stik na polovici višine nosilca). Da so bili navedeni strešni nosilci že porušeni se lahko sklepa na podlagi fotografij poslanih s strani Občine Bovec, ki so bile posnete v času sanacije nosilca 6.1, na dan 27. 8. 2024. Iz fotografij je že razviden strižni zamik na polovici višine nosilca 7.2 in delaminacija lepljenega stika na polovici višine nosilca 8.2. Iz računskega modela je nadalje razvidno, da se je obtežba zaradi strižnih porušitev in zasnove konstrukcijskega sistema strešnih nosilcev prerazporedila in posledica česar je prekoračitev napetosti v nosilcu 7.1.

V pridobljeni dokumentaciji je bilo poročano, da se je končna upogibna porušitev v nosilcu 7.1 zgodila dne 4. 9. 2024, torej ca. 1 teden po opravljeni sanaciji nosilca 6.1. V tem vmesnem času so na strehi potekala zaključna dela za ureditev zelene strehe – polagala se je travnata ruša, pričelo se je zalivanje preko namakalnega sistema. Izvedena dela, zlasti zalivanje, so povzročila dodatno obtežbo in postopno prerazporeditev obremenitev, kar je končno vodilo do upogibne porušitve na strižno še nepoškodovanem nosilcu 7.1. Glavna razloga za neugodno prerazporeditev večjega dela obtežbe na nosilec 7.1. sta torej: (i) zmanjšanje odpornostnega momenta preostalih nosilcev zaradi njihove strižne porušitve ter (ii) značilnost konstrukcijskega sistema povezanih nosilcev, ki zagotavlja enakost pomikov na mestu medsebojnih vertikalnih povezav.

Z namenom primerjave je bil z enako obtežbo obremenjen tudi računski model konstrukcije brez upoštevanja poškodovanosti lepljenega spoja na polovici višine strešnih nosilcev. Ugotavlja se, da v primeru strižno nepoškodovanih nosilcev upogibna porušitev pri podani obtežbi ne nastopi. Med računskima modeloma je očitna tudi bistvena razlika v povesih, ki so zaradi večje podajnosti v primeru strižno poškodovanih nosilcev približno dvakrat večji.

Ker geometrija obravnavanih strešnih nosilcev ni zajeta v veljavnemu Evrokodu 5, bi bilo pri načrtovanju smiselno uporabiti natančnejši model za njihovo preverbo oz. za izvedbo statičnega izračuna, ki bi hkrati zajel razpored napetosti ter lokalne vplive oz. morebitne koncentracije napetosti.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

6.4 Predlogi nadaljnjih ukrepov

V zaključkih se navaja bistvena priporočila glede nadaljnjih ukrepov:

1. Ker poškodovani strešni nosilci tvorijo statično določen sistem primarne nosilne konstrukcije in ker je pregled pokazal močnejše poškodbe zaradi upogibnih obremenitev v nosilcih 6.1 in 7.1 ter zaradi strižnih porušitev na mestu neustreznega lepljenega spoja v blokovno zlepljenem lepljenem lameliranem lesu (stik na polovici višine nosilca v oseh (1), 6, 7 in 8), se ocenjuje, da njihova sanacija ni smiselna. Vse strešne nosilce bo potrebno nadomestiti, vendar je pred nadomestitvijo treba izvesti revizijo projektne dokumentacije. Delne sanacije, pri katerih bi se ohranilo manj poškodovane (delaminirane) strešne nosilce v oseh 2, 3, 4 in 5, se odsvetuje, saj se je porušitev nosilcev zgodila pri obtežbi, manjši od v projektni dokumentaciji upoštevane obtežbe za primer mejnega stanja nosilnosti (MSN). To pomeni, da bi se v MSN lahko porušili ali močno poškodovali tudi do sedaj manj poškodovani nosilci v oseh 2, 3, 4 in 5, ki so bili izdelani na enak način in so bili prav tako enak čas izpostavljeni zunanjim vremenskim vplivom.
2. Zaradi smotrnosti se priporoča, da se zaključna gradbena dela v športni dvorani ne izvajajo. Pri pregledu je bilo mestoma opaženo neustrezno podpiranje poškodovanih strešnih nosilcev in sicer zaradi nezadostne površine naleganja. Priporoča se, da se slednje čim prej odpravi.
3. Pred sanacijo strešne konstrukcije se priporoča tudi pregled kakovosti izvedbe betonerskih del in jeklenih elementov.
4. Na podlagi izvedenega pregleda projektne dokumentacije ter hkrati poznavanja problematike poškodb in porušitev lepljenih lameliranih nosilcev večjih prerezov, se ocenjuje, da je pred odločitvijo o izvedbi sanacije potrebna revizija projektne dokumentacije, ki se nanaša na strešno konstrukcijo. Namen revizije projekta je opredelitev do primernosti trenutne rešitve oz. do opredelitve najprimernejše in trajnostne prenovljene rešitve strešne konstrukcije, ki bo zadoščala vsem projektnim stanjem v predvideni življenjski dobi športne dvorane v Bovcu.

Pripravili:

dr. Boris Azinović, univ. dipl. inž. grad.

Martin Capuder, mag. inž. les.

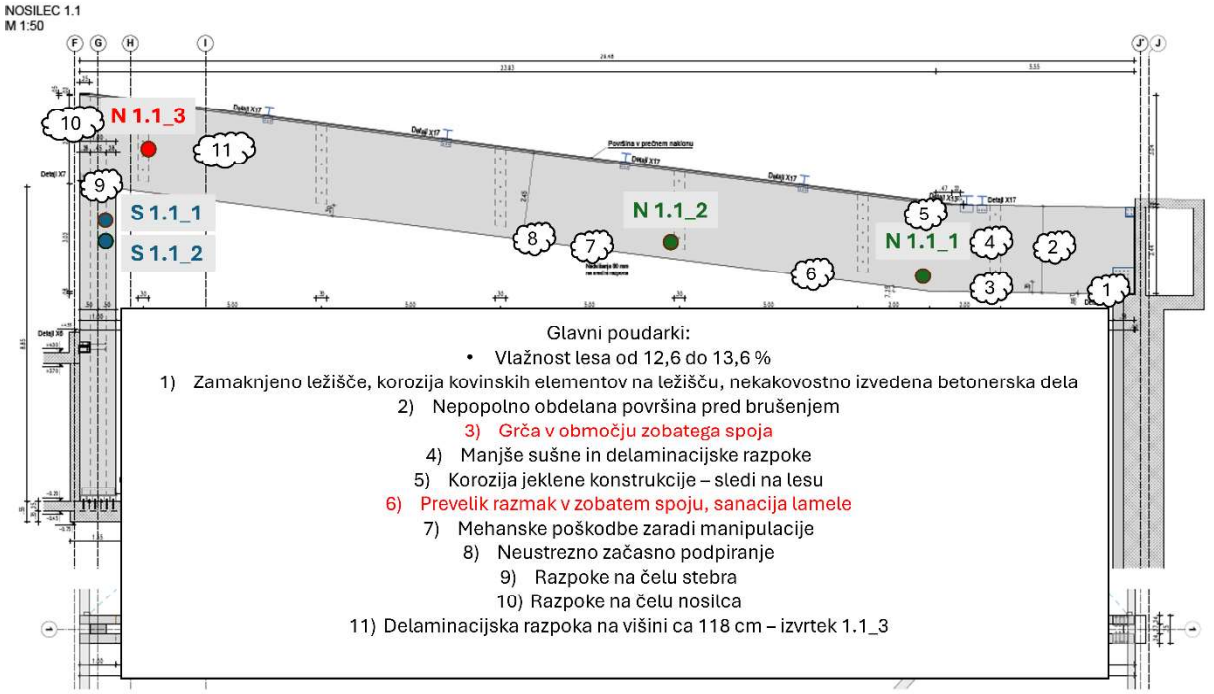
Luka Naumovski, mag. inž. grad.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

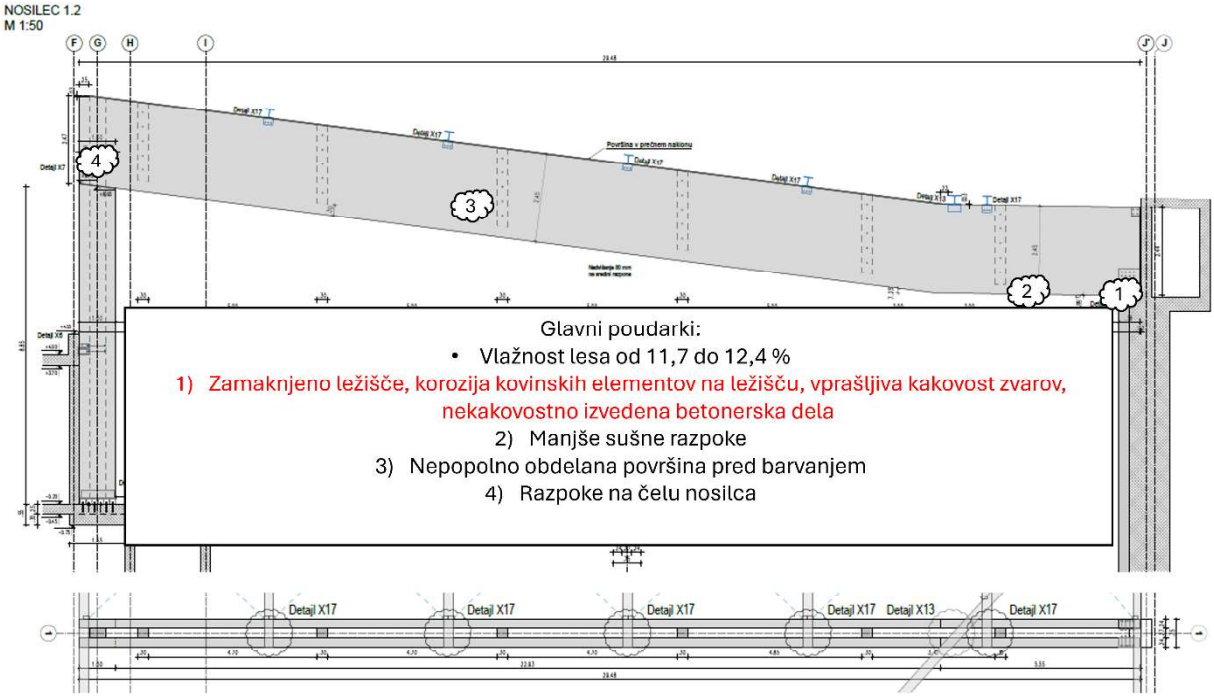
Priloga A

Shematski prikaz poškodb

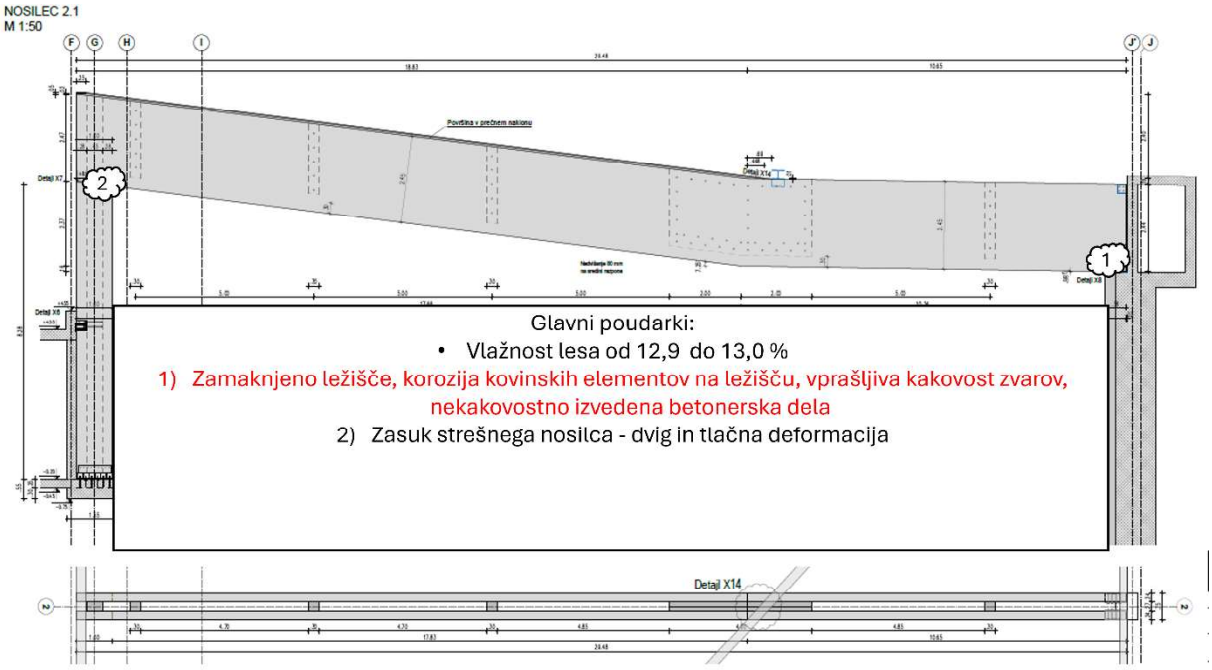
Shematski prikaz lokacij služi za boljšo predstavo o lokaciji posameznih prikazanih poškodb. Zaradi časovnih omejitev pregleda, ni bilo mogoče določevati točne lokacije vsake izmed poškodb. Ponavljajoča in manj pomembna opažanja (npr. manjše mehanske poškodbe zaradi manipulacije, pomanjkljivo zbrušena površina), niso dokumentirana za vse nosilce. Bolj problematične poškodbe so označene z rdečo barvo. Lokacije odvzetih izvrtkov so na strešnih nosilcih prikazane informativno, točne lokacije pa so podane v opisih slik izvrtkov (Priloga B).



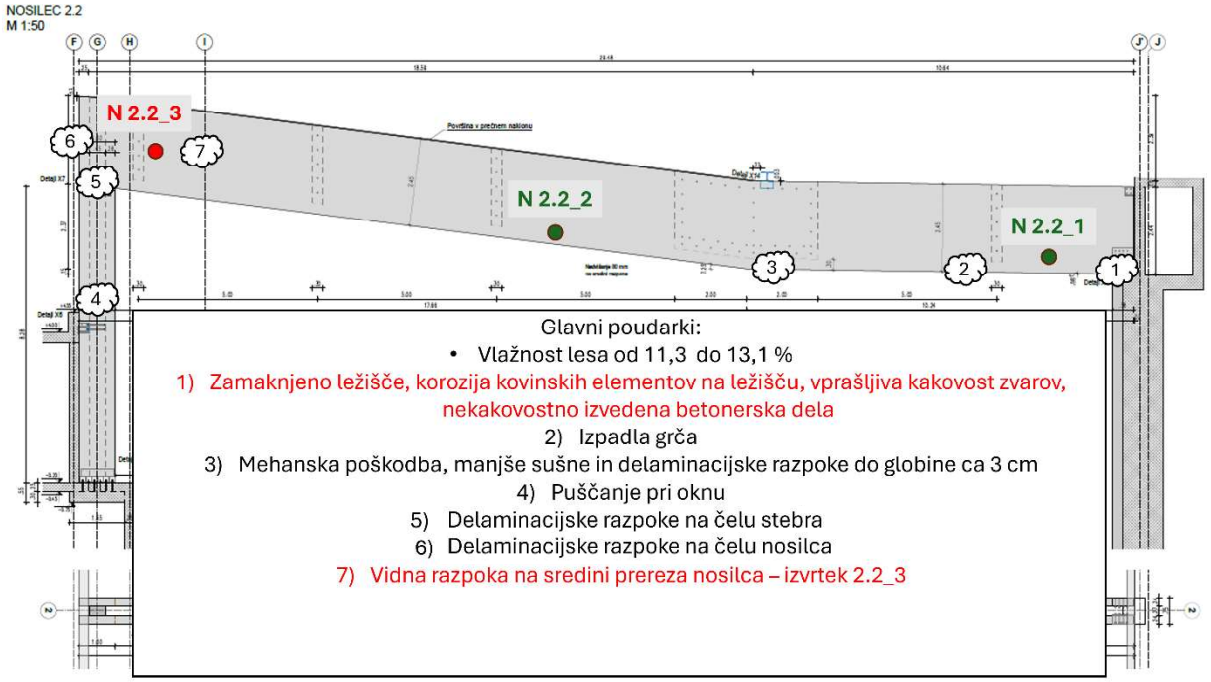
Slika A1: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 1.1. Prikazana tudi lokacija odvzetih izvrtkov za preskus strižne trdnosti lepljenih spojev.



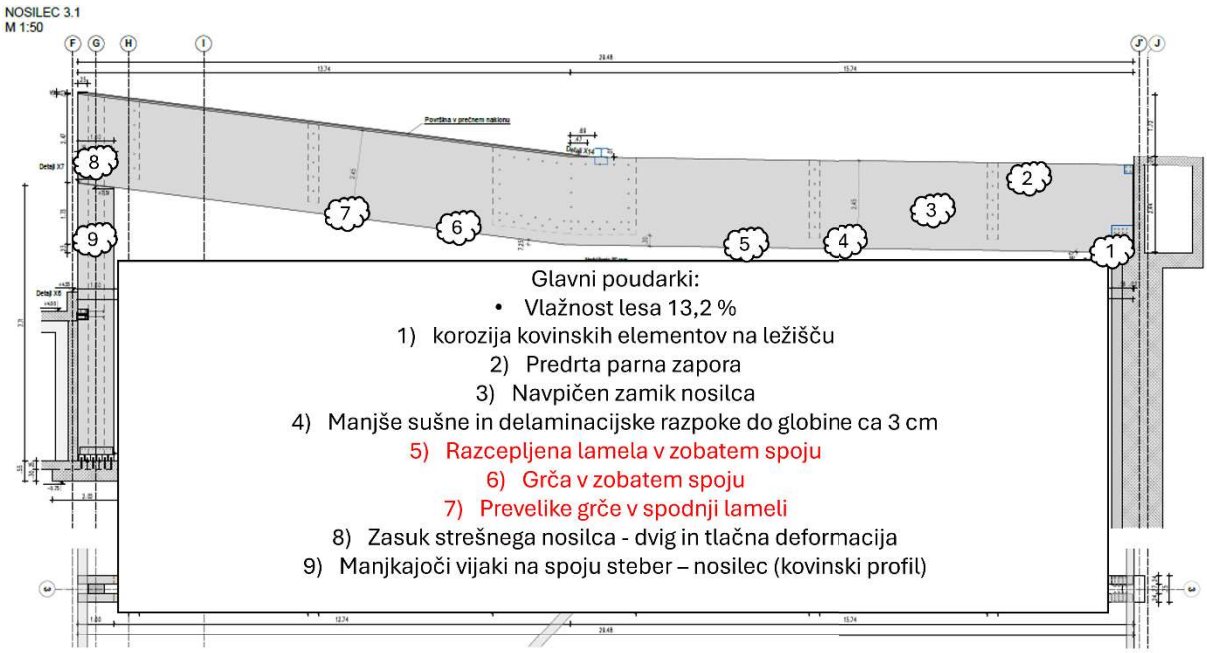
Slika A2: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 1.2.



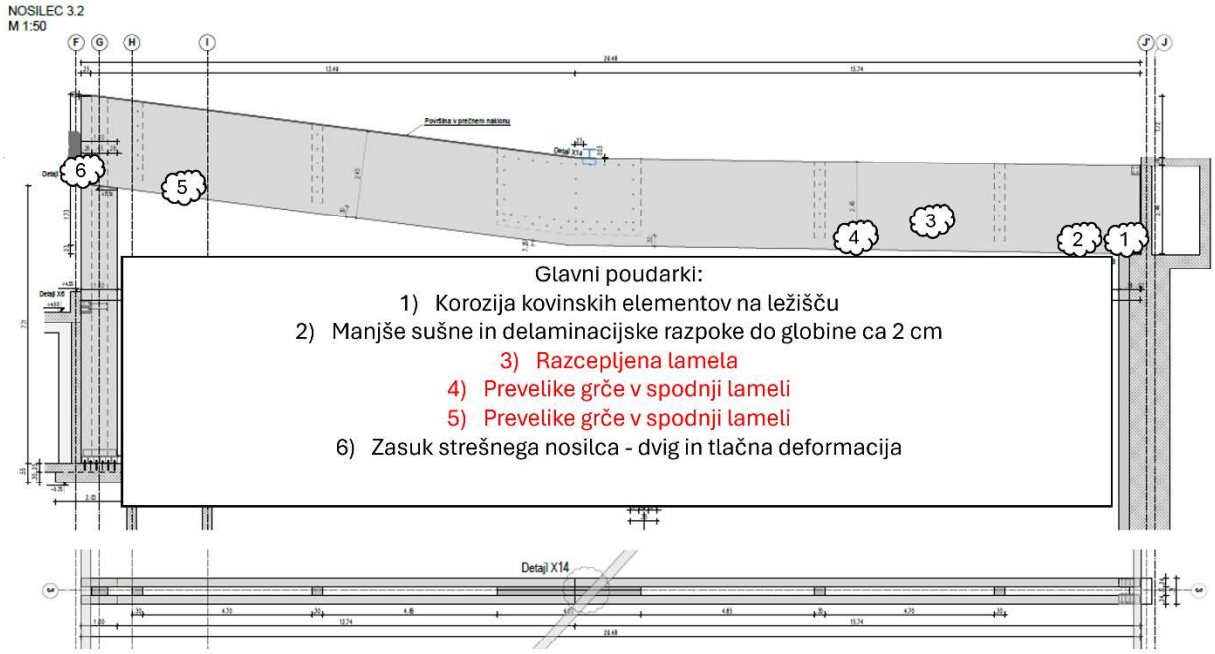
Slika A3: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 2.1.



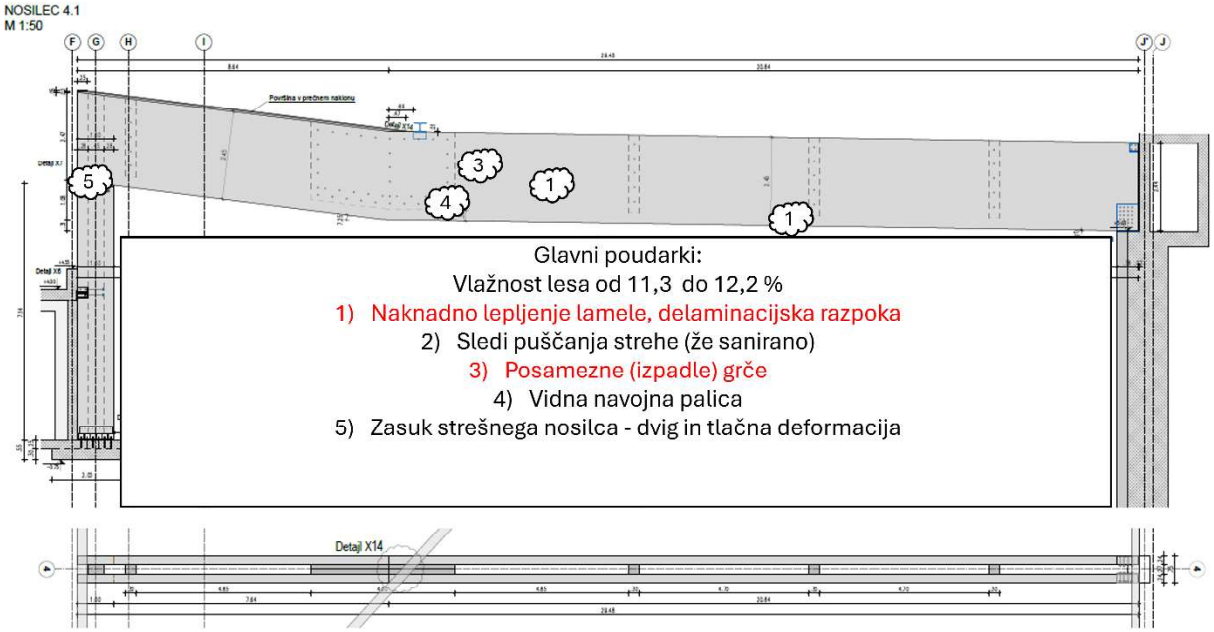
Slika A4: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 2.2. Prikazana tudi lokacija odvzetih izvrtkov za preskus strižne trdnosti lepljenih spojev.



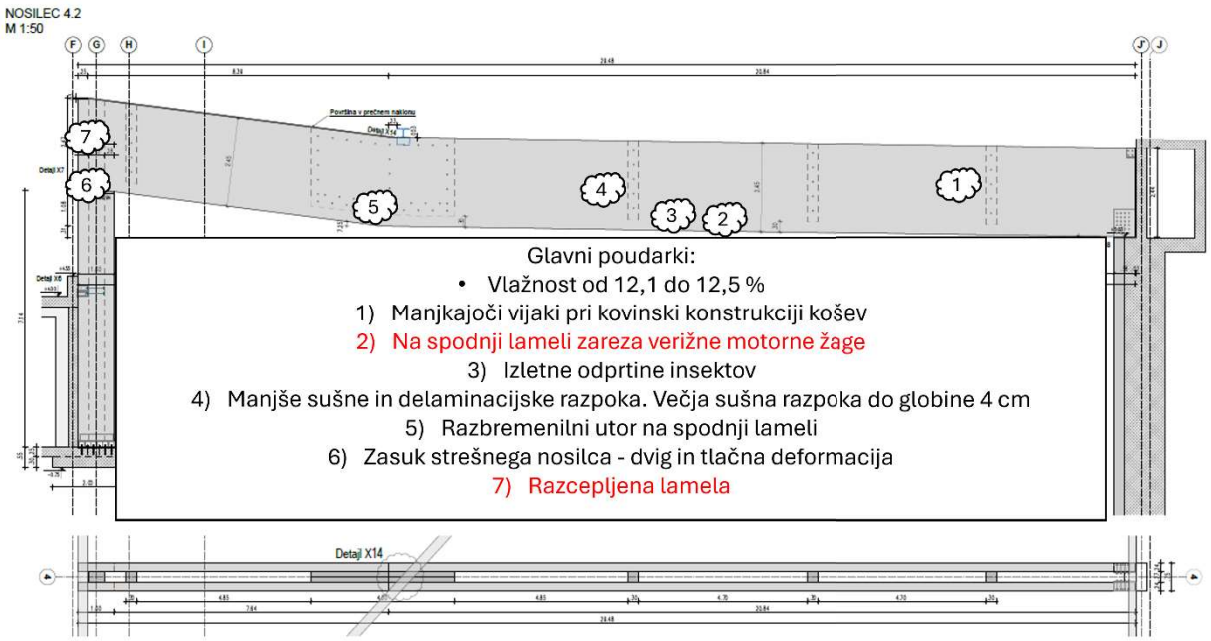
Slika A5: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 3.1.



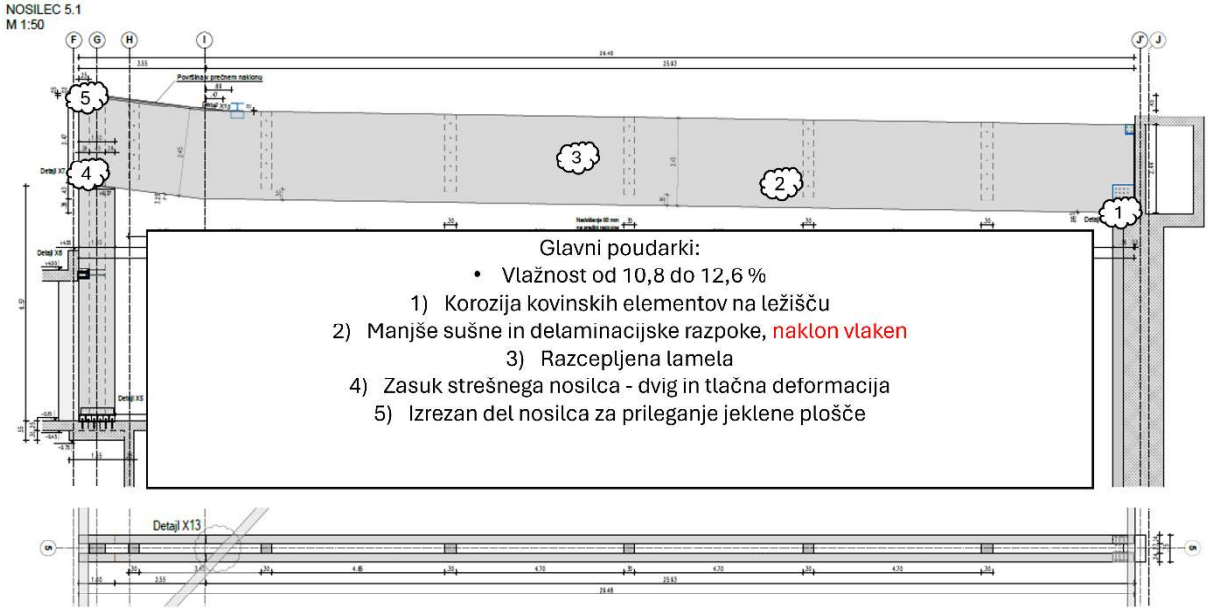
Slika A6: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 3.2.



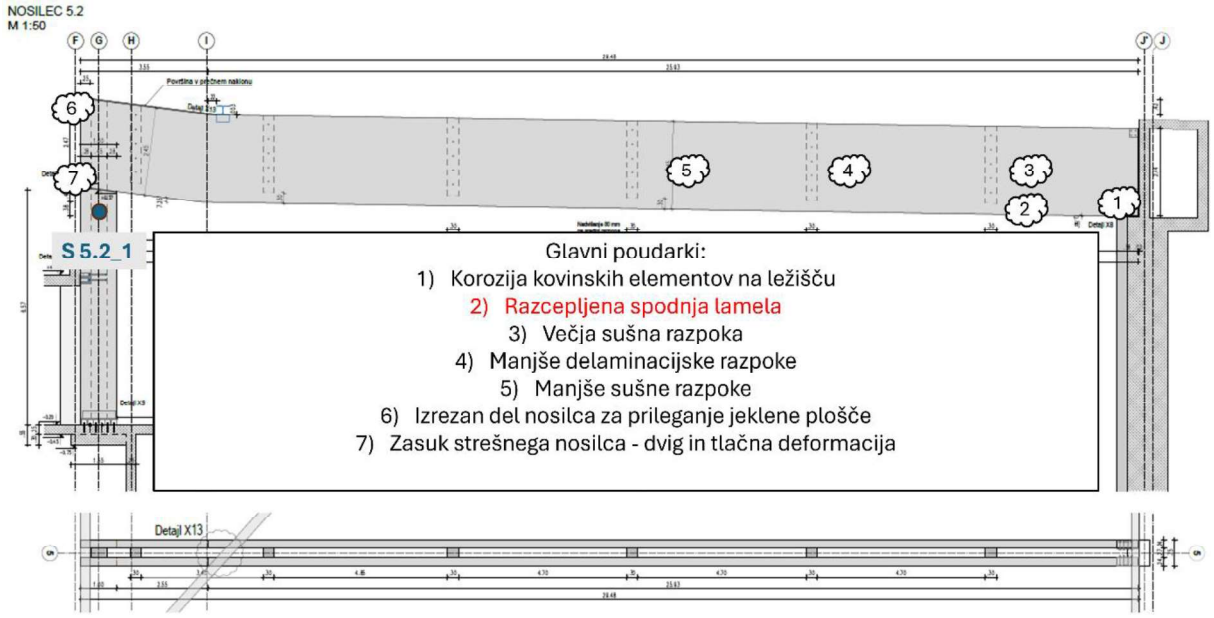
Slika A7: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 4.1.



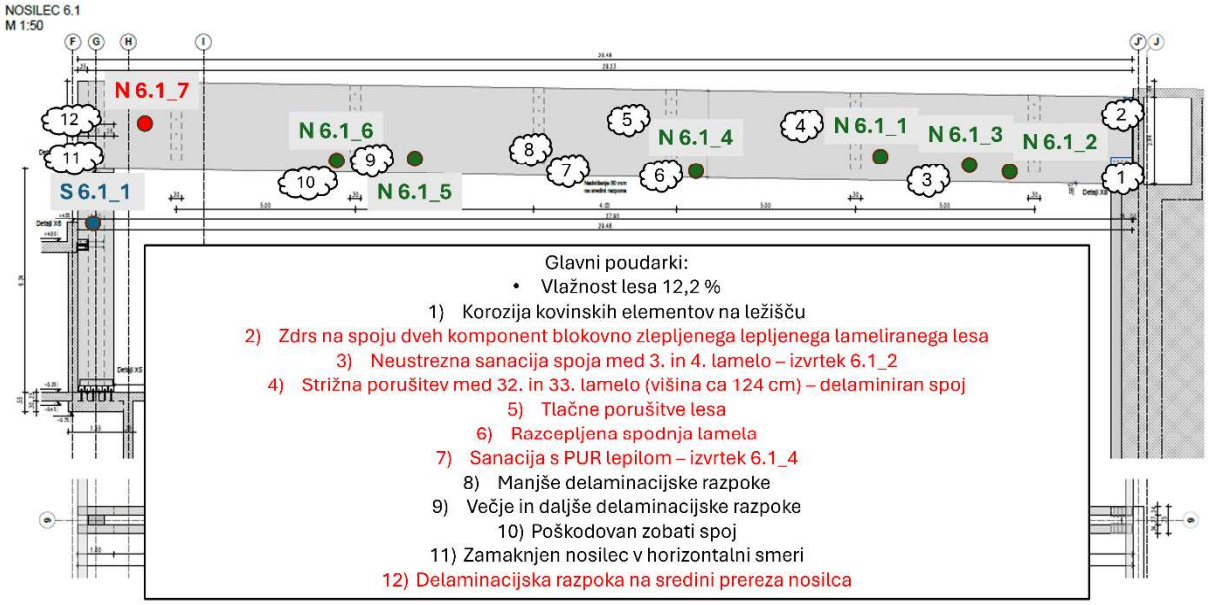
Slika A8: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 4.2.



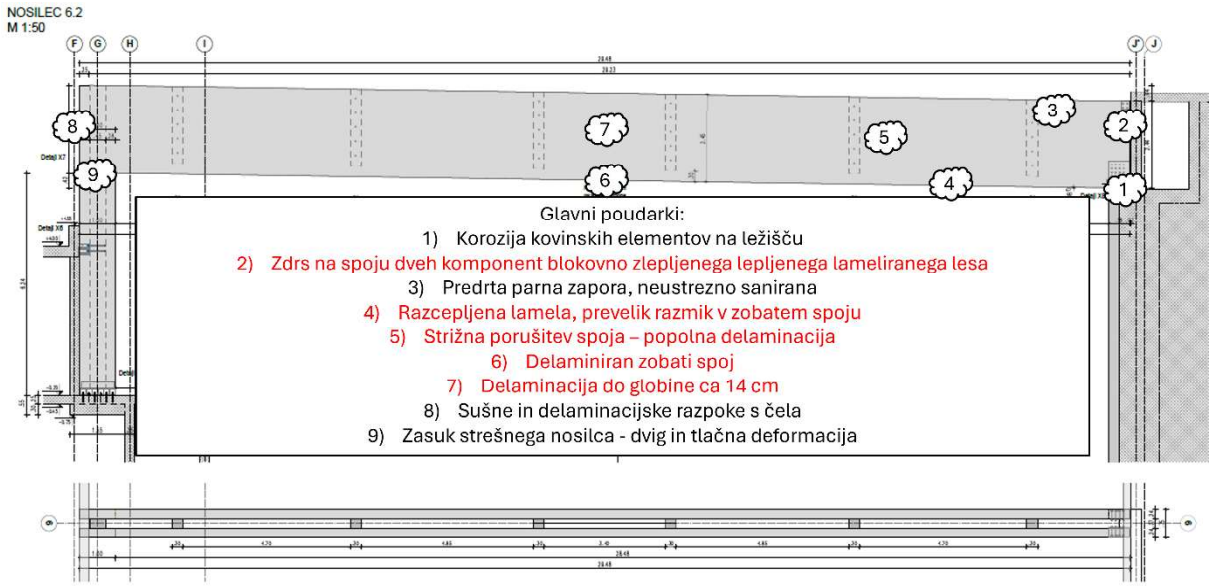
Slika A9: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 5.1.



Slika A10: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 5.2. Prikazana tudi lokacija odvzetega izvrtka za preskus strižne trdnosti lepljega spoja.

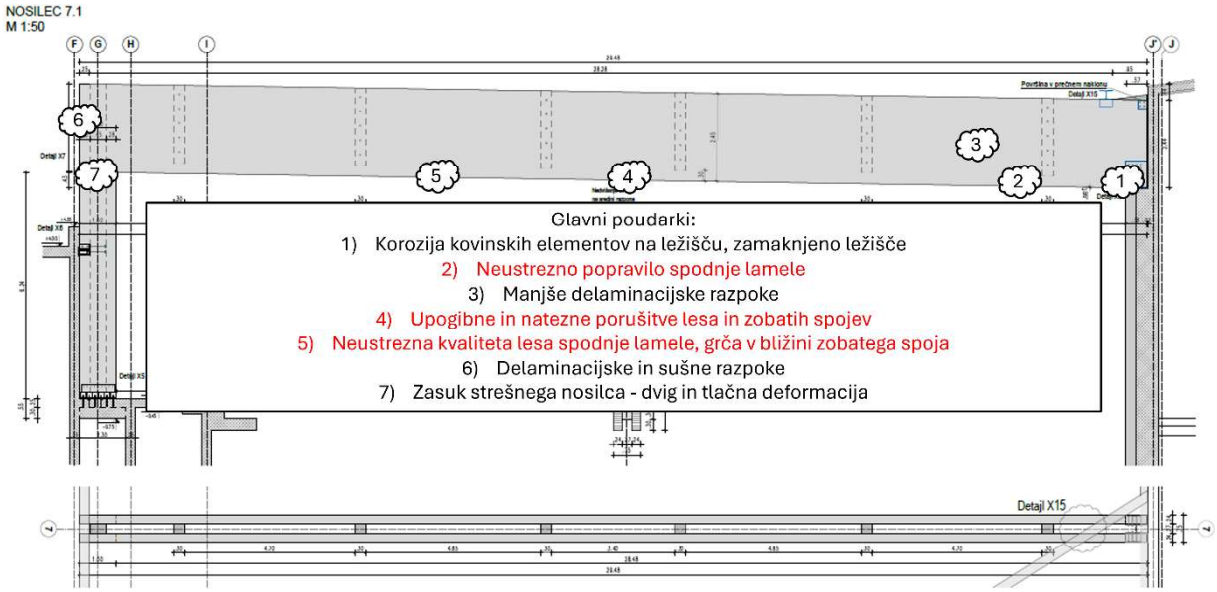


Slika A11: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 6.1. Prikazana tudi lokacija odvzetih izvrtkov za preskus strižne trdnosti lepljenih spojev.

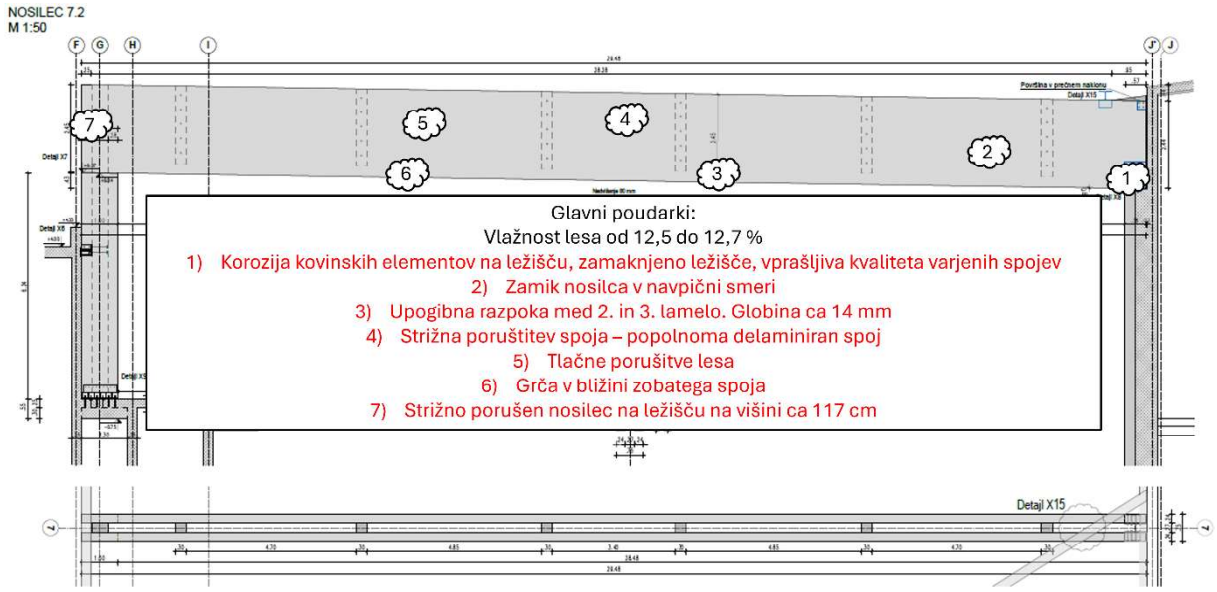


Slika A12: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 6.2.

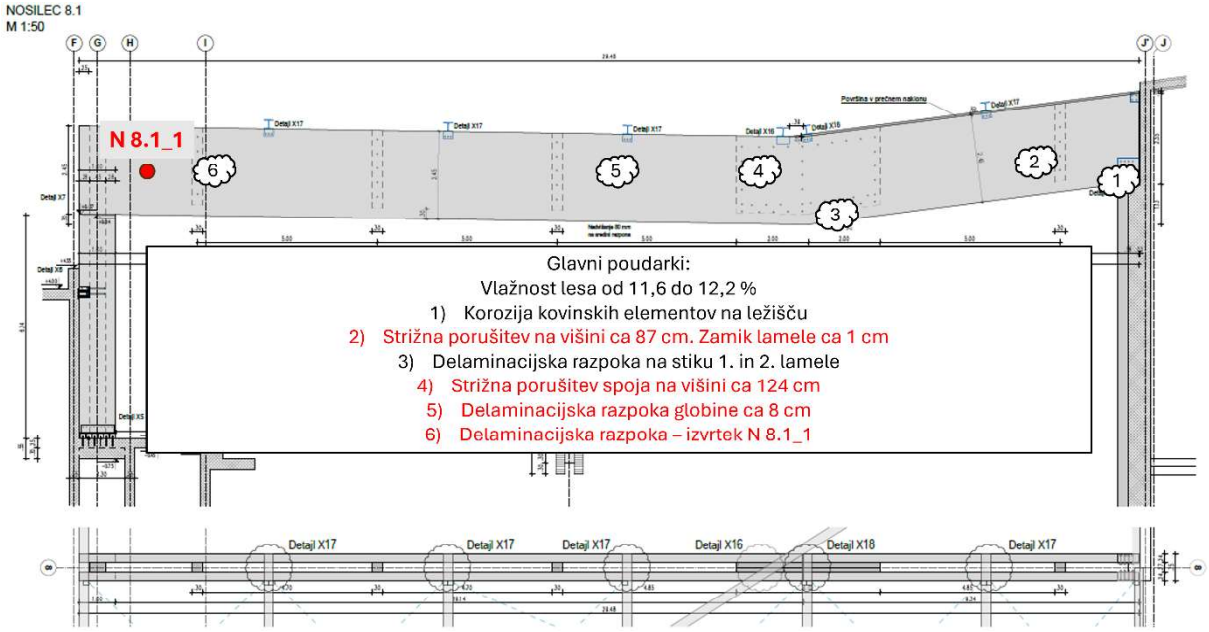
Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.



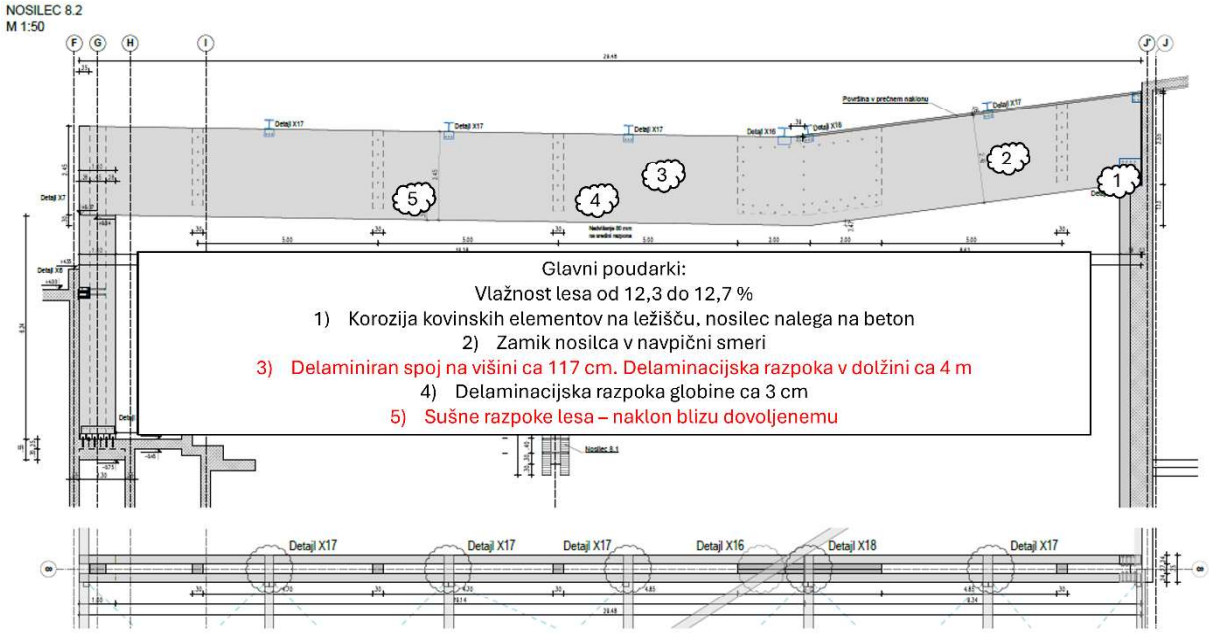
Slika A13: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 7.1.



Slika A14: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 7.2.



Slika A15: 8.1. Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 8.1. Prikazana tudi lokacija odvzetega izvrtka za preskus strižne trdnosti lepljenega spoja.



Slika A16: Shematski prikaz poškodb na strešnem nosilcu 8.2.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.

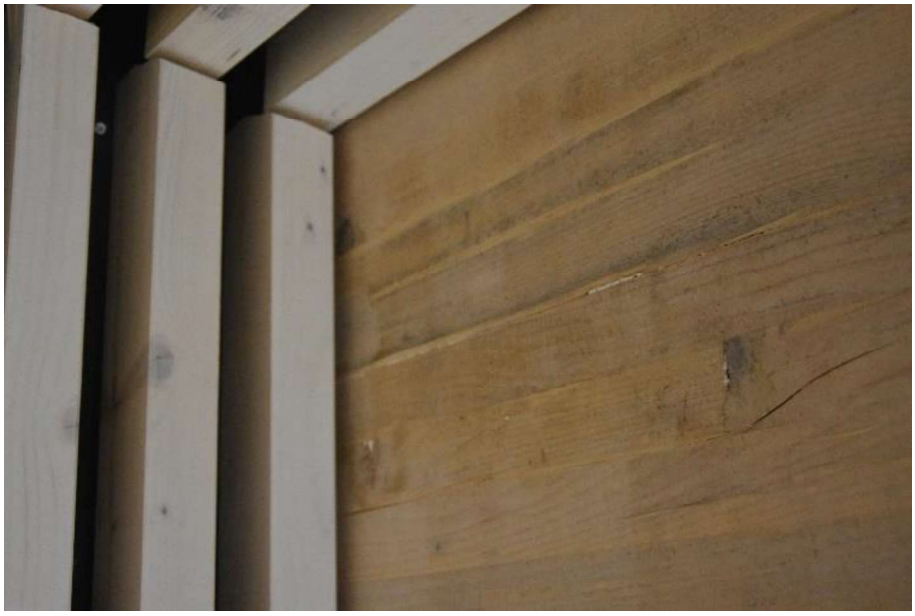
Priloga B

Slikovno gradivo

Nosilni elementi v osi 1.1



Slika B1: Steber betoniran v več delih – slabo izvedeni delovni stiki, dobetoniran vrh stebra oz. betonsko ležišče, korozija kovinskega ležišča.



Slika B2: Pomankljivo brušenje strešnih nosilcev - pred nanosom lazurnega premaza bi moral biti zbrušen celotni nosilec in sicer v stanje ki bi bilo po izgledu enakovredno sveže skoblani površini.



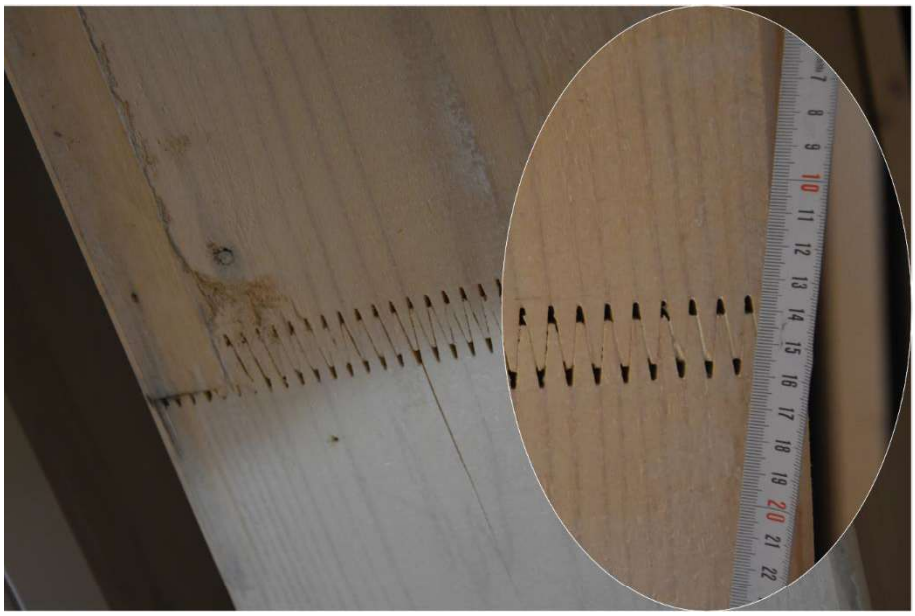
Slika B3: Grča (premer ca 3 cm) v spodnji lameli strešnega nosilca se nahaja preblizu zobatega spoja – najmanjša dovoljena razdalja od roba grče do začetka zobatega spoja po standardu EN 14080:2013 znaša 3 x premer grče (ca 9 cm).



Slika B4: Sušne in delaminacijske razpoke med posameznimi lamelami. Globina le-teh ne presega ca 4 cm (z izjemo lepljenega spoja v blokovno zlepljenem lepljenem lameliranem lesu).



Slika B5: Na stikih jeklenih nosilcev in strešnih nosilcev so vidne sledi korozije – protikorozijska zaščita je neustrezna oz. pomanjkljiva.



Slika B6: Zobati spoj s prevelikim razmikom – po standardu SIST EN14080:2013 je, glede na dolžino zoba (ca 20 mm), dovoljen razmik med 0,2 in 1,6 mm – na sliki je razmik od ca 4 do 5 mm. Standard prav tako ne dovoljuje poškodb robov lamel v območju zobatega spoja.



Slika B7: Lokalno se na nosilcu pojavljajo mehanske poškodbe, ki so najverjetneje posledica manipulacije z nosilcem v času od proizvodnje do montaže, vendar le-te niso kritične.



Slika B8: Neustrezno podlaganje – nosilec bi moral biti podprt po celotni širini četudi gre za začasno podpiranje.



Slika B9: Vidna delaminacijska razpoka na spoju dveh komponent blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa, ki je bila v proizvodnji sanirana z lesenimi lamelicami - gre za vizalno sanacijo. Na mestu, kjer ni bila sanirana, smo izmerili delaminacijsko razpoko širine 3 mm ter globine 2,5 cm.



Slika B10: V bližini lesenega stebra je na spoju dveh komponent blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa viden zamik v vertikalni smeri. Izvrtek je bil odvzet na mestu navedenega spoja, ca 2 m od roba nosilca, na višini ca 118 cm (merjeno od spodnjega roba strešnega nosilca). Ugotovljeno je, da strešni nosilec ni ustrezno zlepljen, nosilec pa je delaminiran še vsaj do globine ca 12 cm.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.



Slika B11: Na vrhu lesenega stebra se pojavljajo sušne razpoke s čela do globine ca 5 cm in širine do ca 3,5 mm.



Slika B12: Tlačne deformacije strešnega nosilca na mestu naleganja na steber.

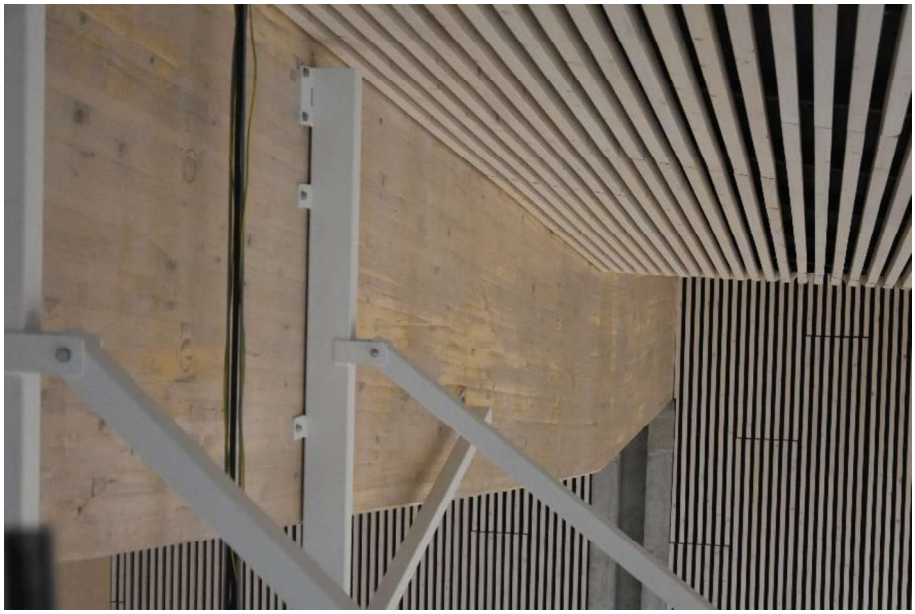


Slika B13: Na čelu nosilca se pričakovano pojavljajo sušne in delaminacijske razpoke. Nosilec je sicer s čela zaščiten pred direktnim vplivom UV svetlobe.

Nosilni elementi v osi 1.2



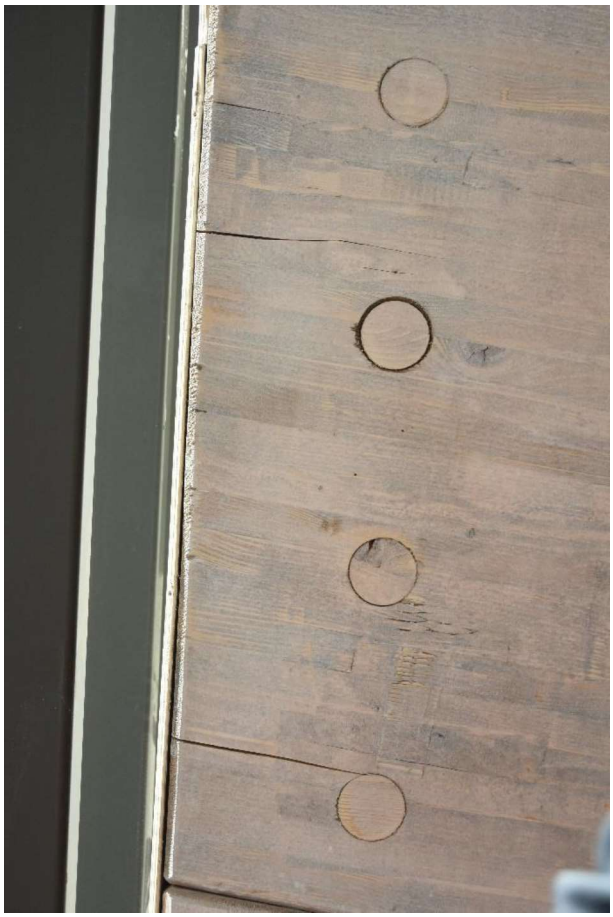
Slika B14: Nosilec je - glede na ležišče - zamaknjen. Nekvalitetno dobetonirano ležišče. Vertikalna plošča kovinskega podpornega elementa v le manjšem delu nalega na horizontalno ploščo, zvari niso izvedeni kvalitetno. Zvari po varjenju niso bili zaščiteni – pojavlja se korozija, neustrezna je tudi protikorozijska zaščita osnovnega materiala.



Slika B15: Pomanjkljivo brušenje površine strešnih nosilcev.



Slika B16: Na strešnem nosilcu se pojavljajo manjše sušne razpoke. Izmerjena je bila sušna razpoka v spodnji lameli. Širina le-te znaša ca 1,6 mm, globina pa ca 2 cm.



Slika B17: Na čelu strešnega nosilca se pojavljajo sušne in delaminacijske razpoke. Spodnja razpoka je globoka ca 8 cm in široka ca 2,5 mm, zgornja pa je manjša – do globine ca 3 cm in širine ca 2,5 mm.

Nosilni elementi v osi 2.1



Slika B18: Ležišče na betonskem stebru je nekakovostno dobetonirano, zamik oz. improvizacija pri varjenju kovinskega podpornega elementa. Pojavlja se korozija kot posledica neustrezne protikorozijske zaščite.



Slika B19: Kovinski podporni element na mestu betonske podpore ni zaščiten proti koroziji. Tudi zvari po izdelavi niso bili ustrezno zaščiteni.



Slika B20: Dvig strešnega nosilca za ca 6 mm na mestu podpore, zaradi globalnega upogiba - Prisotnost tlačne deformacije.

Nosilni elementi v osi 2.2



Slika B21: Nekakovostno izvedena betonerska dela.



Slika B22: Zamaknjeno naleganje nosilca na AB steber. Neustrezno varjenje in protikorozijska zaščita.



Slika B23: Izpadla grča na spodnji lameli.



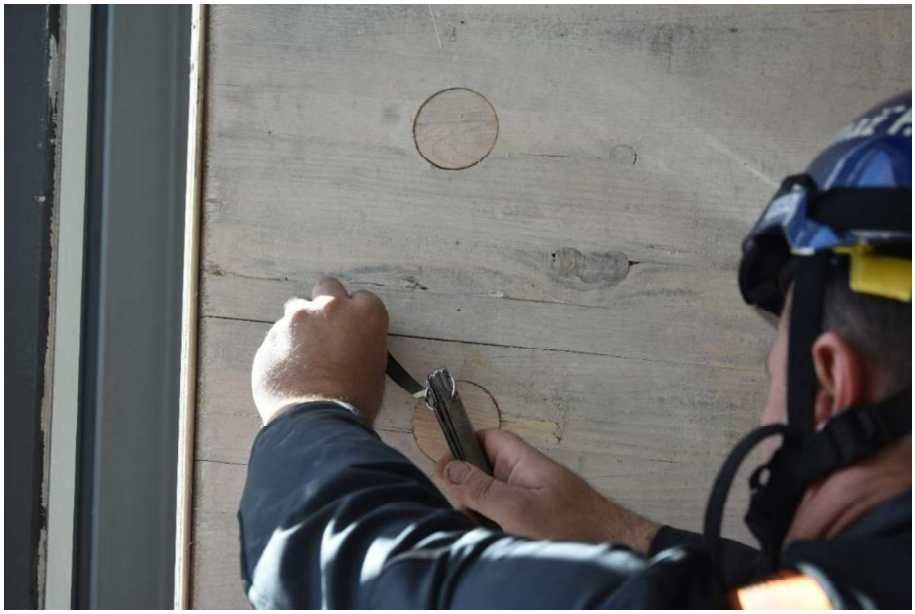
Slika B24: Mehanska poškodba spodnje lamele in delaminacijska razpoka globine ca 1,5 – 2 cm ter širine ca 1,5 mm na spoju med prvo in drugo lamelo v območju zalomljenega dela nosilca.



Slika B25: Pomanjkljivo tesnenje zasteklitve predstavlja potencialno nevarnost za navlaževanje lesa.



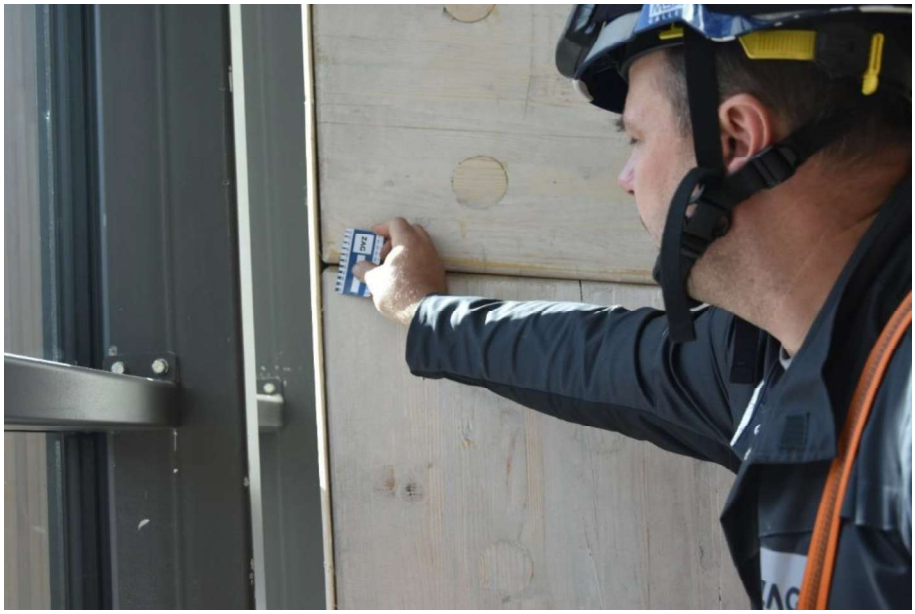
Slika B26: Vidna delaminacijska razpoka na spoju dveh komponent blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa. V bližini odvzet izvrtek N 2.2_3.



Slika B27: Na čelu strešnih nosilcev se pojavljajo sušne in delaminacijske razpoke. Delaminacijska razpoka na spoju dveh komponent blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa je globoka do ca 6 cm.

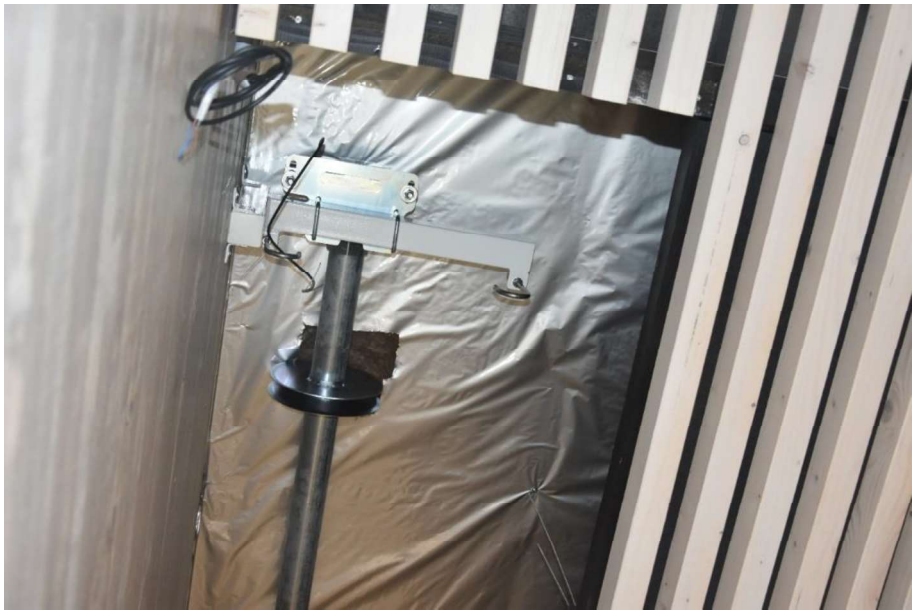


Slika B28: Na stebru S2 izmerjena delaminacijska razpoka širine ca 2,5 mm in globine do ca 6 cm.



Slika B29: Dvig strešnega nosilca na mestu podpore za ca 3 mm, zaradi globalnega upogiba.

Nosilni elementi v osi 3.1



Slika B30: Poškodovana parna zapora. Na tem mestu je bila odstranjena toplotna izolacija in izmerjena vlažnost v strešni plošči, vlažnost znaša 13,2 %.



Slika B31: Na spoju dveh komponent blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa je očiten zamik v navpični osi dveh nosilcev. Vidne so sledi ročnega popravila - skobljanja.



Slika B32:Ukrivljenost (koritavost) strešnega nosilca.



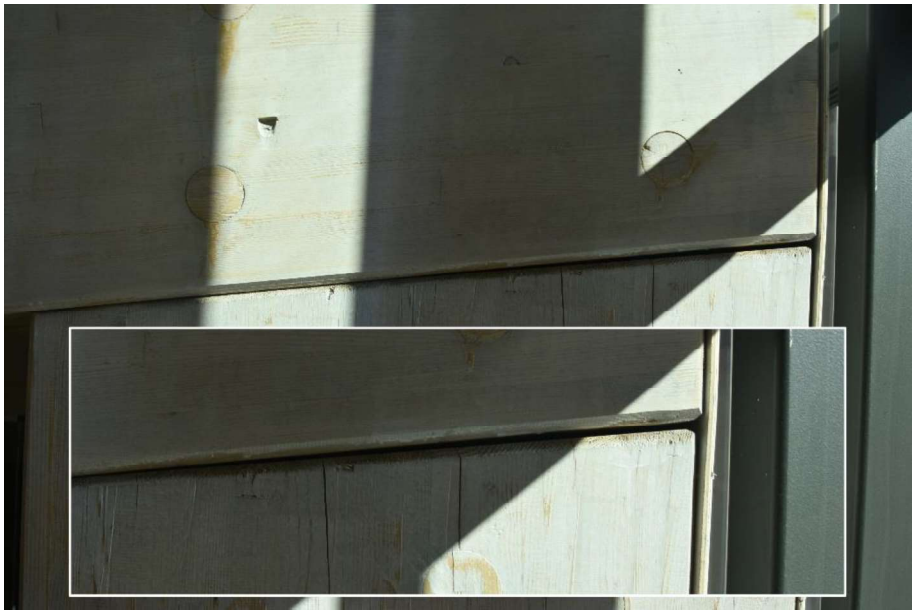
Slika B33: Razpoka na spodnji lameli v dolžini ca 30 cm, širine ca 5 mm ter globine ca 1,5 cm. Razpoka poteka po celotni debelini lamele (debelina lamele je ca 1,5 cm) in je najverjetneje posledica razcepitve le-te pri zobatem spajanju lamel.



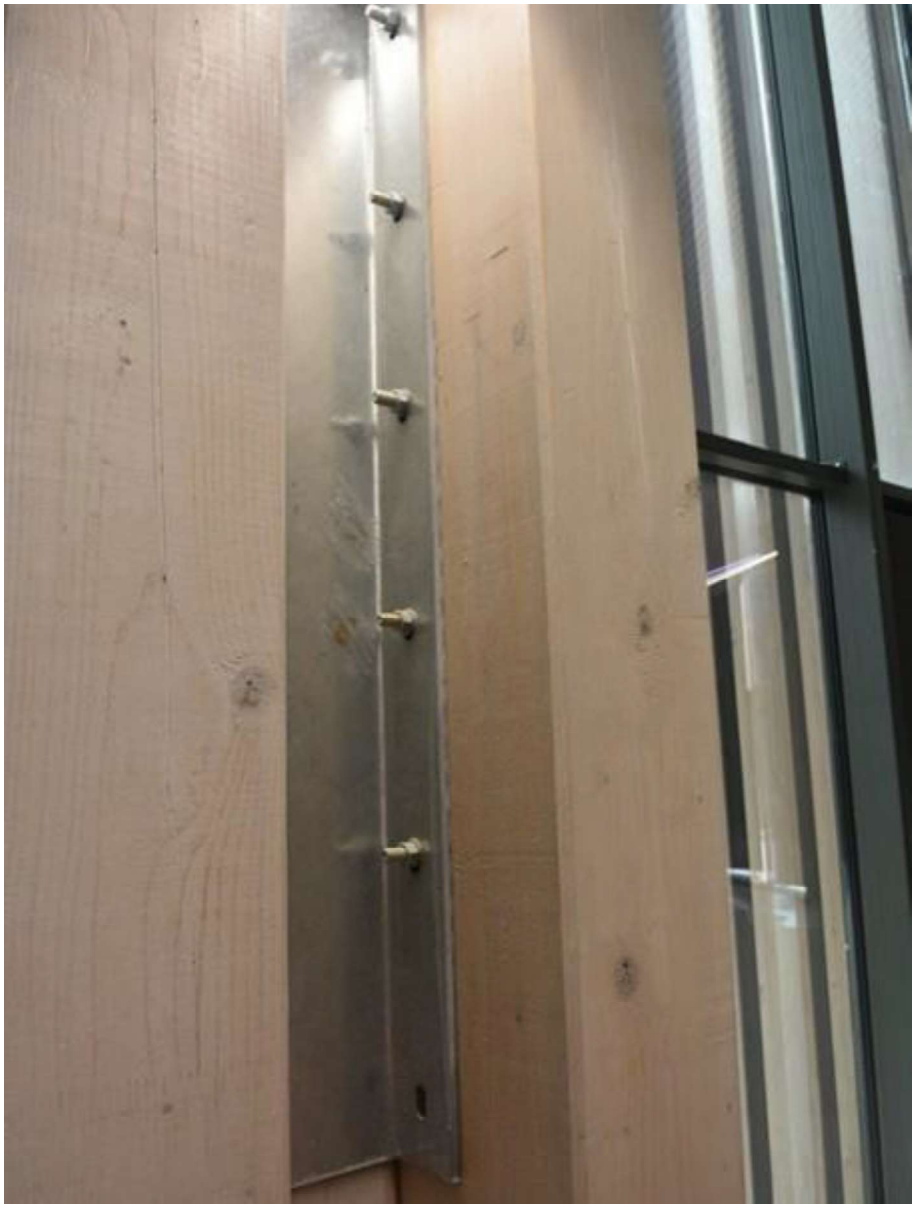
Slika B34: Grča v zobatem spoju. Po standardu SIST EN14080:2013 grče v zobatem spoju niso dovoljene.



Slika B35: Preveliki grči za razvrstitev lamel v trdnostni razred C30. Velikost grč ca 4,5 in 6 cm.



Slika B36: Strešni nosilec je na robu stebra dvignjen za ca 8 mm, zaradi globalnega upogiba, na stebru pa se pojavljajo manjše delaminacijske razpoke.



Slika B37: Manjkajoč vijak – opaženo na več stebrih.

Nosilni elementi v osi 3.2



Slika B38: Večje število sušnih razpok na spodnji strani nosilca, ki pa ne presegajo globine ca 2 cm in širine ca 2 mm.



Slika B39: Razcepljena lamela.



Slika B40: Grči v spodnji lameli premera ca 6 in ca 8 cm.



Slika B41: Grči, ki dimenzijsko presegata polovico širine spodnje lamele.



Slika B42: Sušne in delaminacijske razpoke na čelu strešnega nosilca.



Slika B43: Nosilec dvignjen za ca 5 mm, zaradi globalnega upogiba.

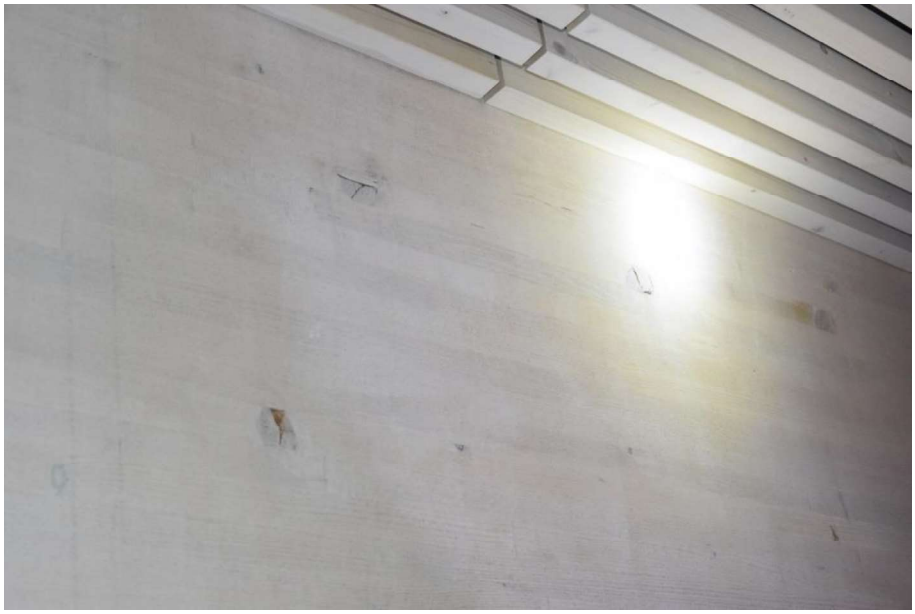
Nosilni elementi v osi 4.1



Slika B44: Delaminacijska razpoka po lepljenem spoju (najverjetneje posledica naknadnega lepljenja) dolžine ca 210 cm, globine ca 1 cm in širine ca 0,8 mm.



Slika B45: Sledi zamakanja. Po informacijah izvajalca (Kolektor Koling d.o.o.) je bila poškodovana hidroizolacija, vendar je bila napaka sanirana ob prvih znakih zamakanja. Vlažnost v strešnem nosilcu na prikazanem mestu znaša 12,2 %.



Slika B46: Posamezne (izpadle) grče. Glede na velikost grč na bočni strani lamel, obstoja možnost, da je delež grč prevelik za zahtevani trdnostni razred lamel (C30).

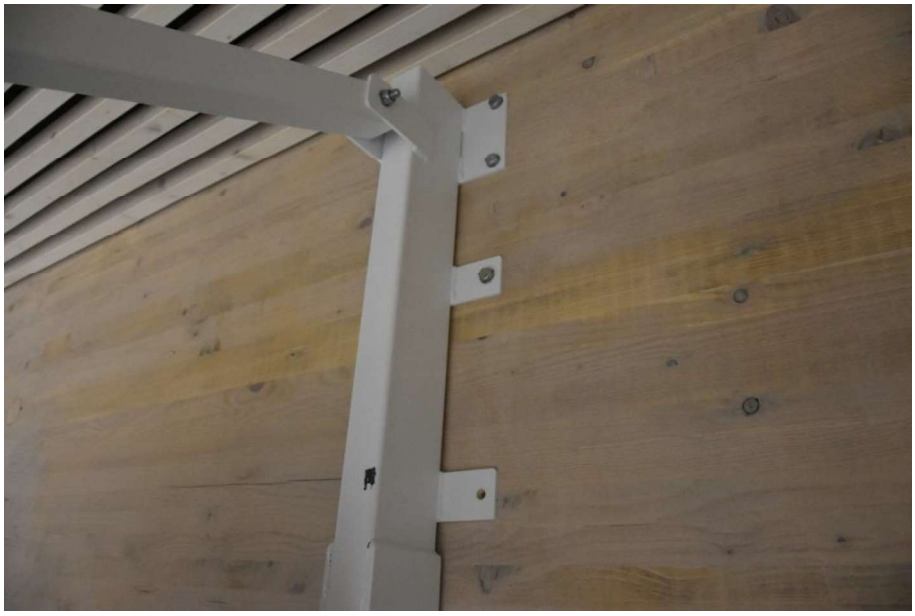


Slika B47: Na mestu ojačitve oz. povezave med strešnima nosilcema 4.1 in 4.2 je vidna ena od povezovalnih navojnih palic (M 16).
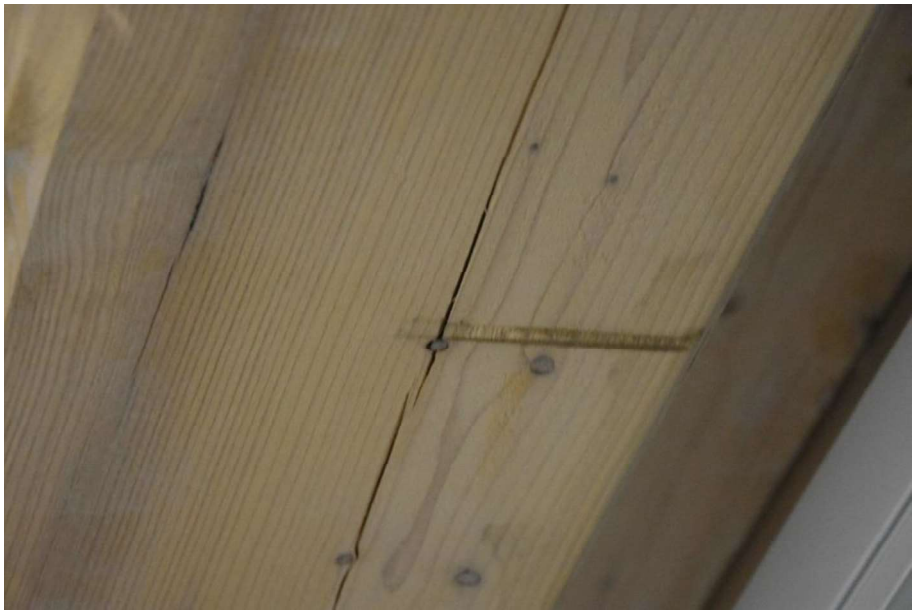


Slika B48: Strešni nosilec je na robu stebra dvignjen dvignjen za ca 1 cm, na drugi strani je prisotna tudi vidna deformacija lesa v smeri pravokotno na vlakna. Na čelu nosilca se pojavljajo manjše sušne in delaminacijske razpoke do globine ca 2 cm.

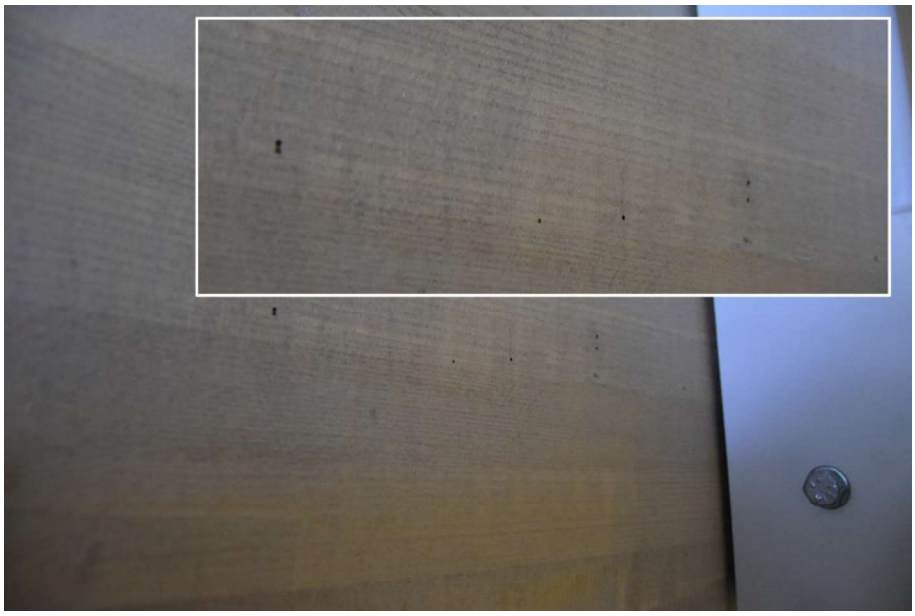
Nosilni elementi v osi 4.2



Slika B49: Pomanjkljiva pritrditev košev - manjkajoči vijaki.



Slika B50: Sled uporabe (verjetno) verižne motorne žage na spodnji strani nosilca.



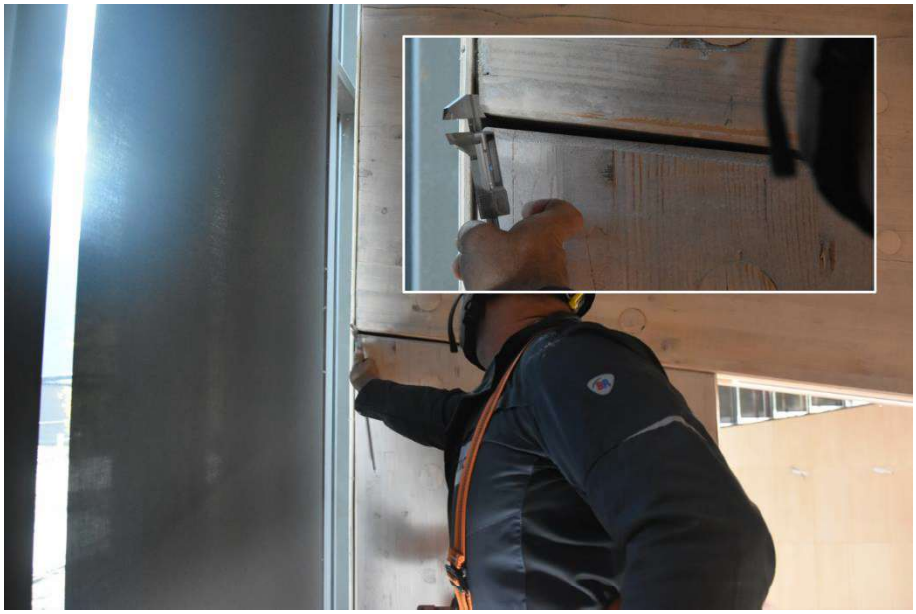
Slika B51: Sledi prisotnosti insektov. Izletne odprtine ne presegajo velikosti 2 mm, kar predstavlja dovoljeno napako v lesu.



Slika B52: Globlja sušna razpoka globine ca 4 cm in širine ca 1,1mm.



Slika B53: Zaradi naknadne obdelave strešnih nosilcev (skobljanje) je s spodnje strani viden razbremenilni utor.



Slika B54: Strešni nosilec je na robu stebera dvignjen ca 1 cm, na drugi strani je prisotna tudi vidna deformacija lesa v smeri pravokotno na vlakna.



Slika B55: Razcepljena lamela.

Nosilni elementi v osi 5.1



Slika B56: Dobetonirano ležišče. Korozija jeklenih elementov



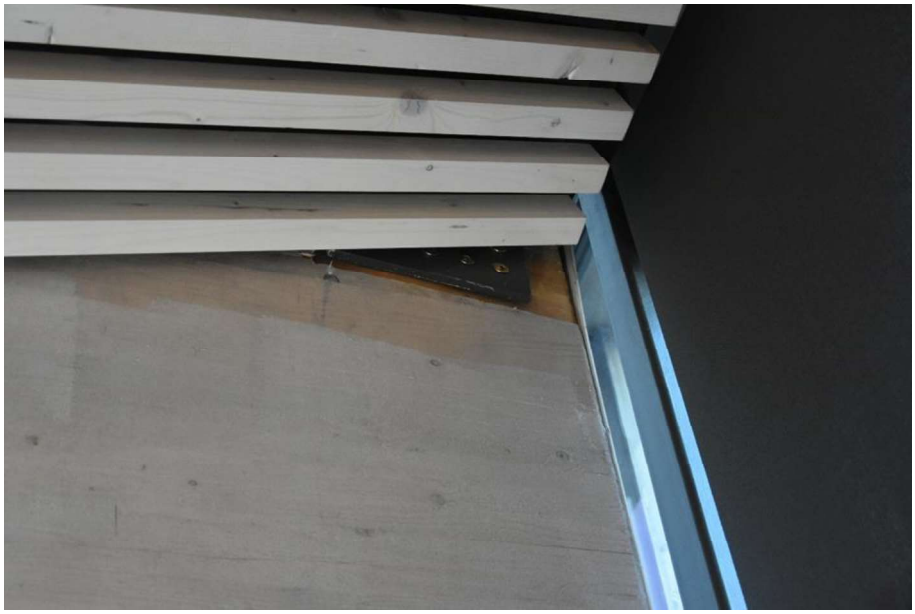
Slika B57: Na strešnem nosilcu se pojavljajo manjše sušne razpoke, ki nakazujejo naklon vlaken, blizu mejnemu za izbrani trdnostni razred.



Slika B58: Razcepljena lamela v dolžini ca 2 m.



Slika B59: Tlačna deformacija na ležišču strešnega nosilca v smeri pravokotno na vlakna.



Slika B60: Obdelan / izrezan del nosilca za prileganje jeklene plošče – konstrukcija fasade.

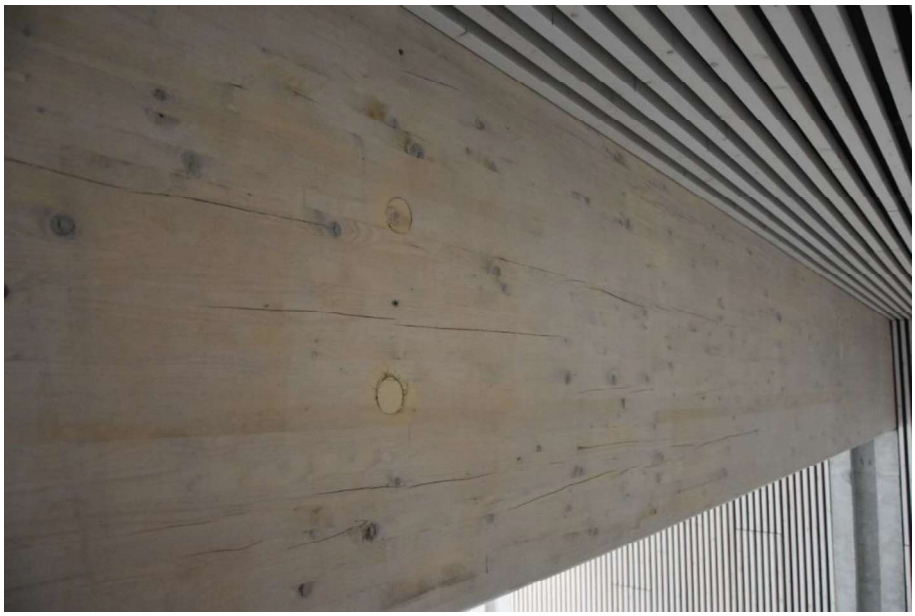
Nosilni elementi v osi 5.2



Slika B61: Korozija jeklenih elementov, vključno z zvari (le-ti sploh niso bili zaščiteni).



Slika B62: Razpoka, ki je nastala v procesu izdelave zobatega spoja (razcepljena lamela). V globino meri ca 3 cm, široka je ca 3,5 mm.



Slika B63: Po celotnem nosilcu se pojavlja večje število manjših sušnih razpok, katerih globina ne presega ca 2 cm.



Slika B64: Večja sušna razpoka v strešnem nosilcu dolžine ca 1 m, globine ca 4 cm in širine ca 1,8 mm.



Slika B65: V strešnem nosilcu se pojavljajo manjše delaminacijske razpoke, ki pa ne presegajo globine ca 2 cm in širine ca 0,8 mm.



Slika B66: Na robu stebra nosilec dvignjen za ca 3 mm, zaradi globalnega upogiba.



Slika B67: Zarezan nosilec za prileganje jeklene plošče – konstrukcija južne fasade.

Nosilni elementi v osi 6.1



Slika B68: Korozija jeklenih delov v območju ležišča.



Slika B69: Na razdalji ca 2 m od ležišča se prične strižna razpoka na višini ca 124 cm od spodnjega roba nosilca, to je med 32. in 33. lamelo. Na začetku kot lasasta razpoke po spoju, ki nato, zaradi naklona vlaken v območju grče (lokalna oslabitev), preide na lom po lesu in se nato nadaljuje kot kombinacija loma po lesu in lepilu. Na razdalji ca 3 m od ležišča se skozi obravnavani spoj vstavi celoten merilni listič (dolžine 20 cm), iz česar se sklepa, da je lepljeni spoj po celotni širini prekinjen - delaminiran. To nakazuje tudi zdrs v območju ležišča, na lepljenem spoju dveh komponent blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa. Zgornja komponenta, to je zgornji del nosilca, je naslonjen na betonski oporni zid, posledično so na strešnem nosilcu vidne tlačne porušitve lesa. Delaminacijska razpoka se nadaljuje v zgornji polovici nosilca na razdalji ca 19 m od ležišča. Dostop do zgornje polovice strešnega nosilca je omejevala stropna obloga.



Slika B70: Zamaknjeni komponenti blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa, zgornja komponenta oz. del je naslonjen na betonsko steno.



Slika B71: Tlačne porušitve lesa.



Slika B72: Po podatkih naročnika je bil strešni nosilec 6.1 saniran zaradi vidne razpoke. Ob pregledu je bilo ugotovljeno, da je bil saniran spoj med 3. in 4. lamelo. Spoj je bil saniran z uporabo samovreznih vijakov in različnih vrst lepila. Na razdalji ca 3 m od ležišča je bila, po odstranitvi silikonskega lepila, izmerjena delaminacijska razpoka v globini ca 10 cm. Za popravilo so bili uporabljeni samovrezni lesni vijaki dimenzij 8 x 200 mm s 100 mm navoja. Razporejeni so bili, kot prikazuje slika B73, osna razdalja med vijaki je znašala od ca 80 do ca 100 cm. Na mestu popravila s silikonskim lepilom je bil odvzet izvrtek 6.1_2.



Slika B73: Sanacija delaminacijske razpoke. Za zagotovitev pritiska stiskanja so uporabljeni vijaki, izvrtine so zapolnjene s čepi grčami.



Slika B74: Najverjetneje že v procesu spajanja razcepljena lamela.



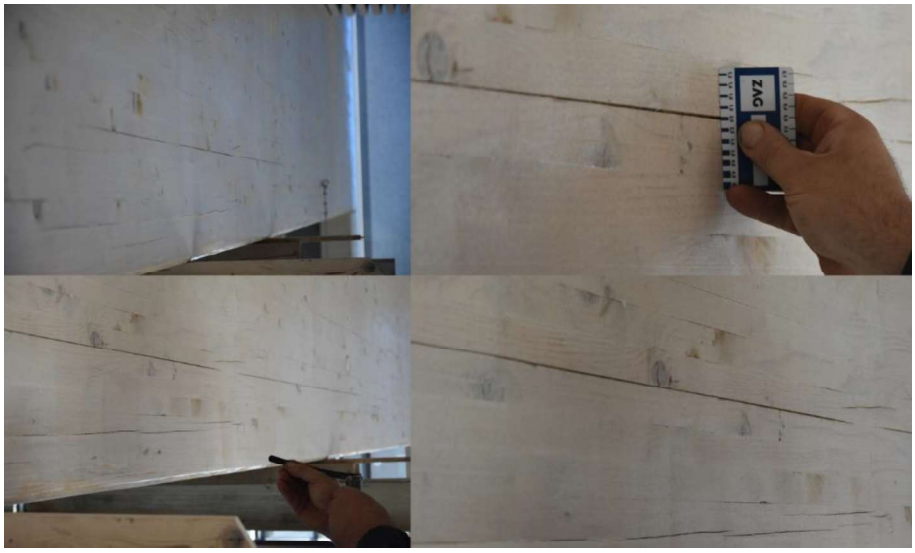
Slika B75: Na sredini razpona je bil spoj med 3. in 4. lamelo saniran z uporabo poliuretanskega in silikonskega lepila ter vijakov – za zagotovitev pritiska stiskanja. V bližini je bil vzet izvrtek 6.1_4, kjer je izmerjena delaminacija globine ca 15 cm.



Slika B76: Delaminacijske razpoke v spodnjem delu prereza strešnega nosilca. Globina razpok ne presega ca 3 cm.



Slika B77: Med 15. in 16. lamelo se nahaja večja delaminacijska razpoka dolžine ca 2 m, globine ca 6 cm in širine ca 2 mm. V razpoki najdemo sledi barve, kar pomeni, da je bila razpoka prisotna že pred barvanjem nosilcev.



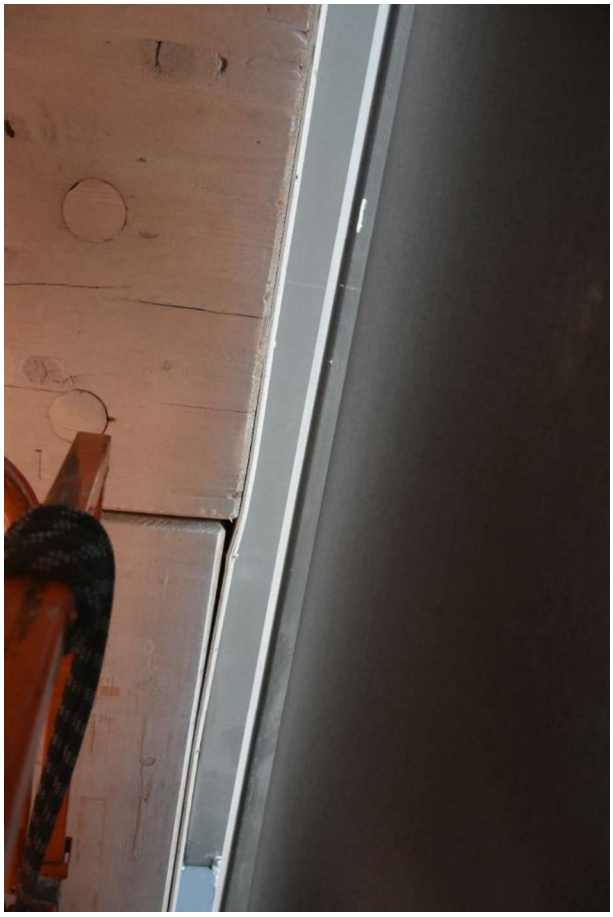
Slika B78: Med 7 in 8 lamelo poteka delaminacijska razpoka v dolžini 5 m, globine do 4 cm in širine ca 2 mm. V razpoki ni sledov barve, kar pomeni, da je nastala po zadnjem barvanju nosilcev.



Slika B79: Razcepljena lamela v zobatem spoju.



Slika B80: Mehanska poškodba.



Slika B81: Strešni nosilec je na mestu podpore zamaknjen v horizontalni smeri za ca 1 cm in dvignjen za ca 8 mm.



Slika B82: Delaminacijska razpoka na čelu strešnega nosilca in sicer na sredini višine nosilca. Razpoka je široka ca 3 mm in globoka ca 5 cm.

Nosilni elementi v osi 6.2



Slika B83: Korozija jeklenih elementov na ležišču, neprimerni zvar.



Slika B84: Strižno porušen nosilec na podpori.



Slika B85: Predrta in neustrezno sanirana parna zapora.



Slika B86: Razcepljena spodnja lamela (globina razpoke ca 4 cm in širina ca 3 mm) ter prevelik (ca 4 mm) razmak v zobatem spoju.



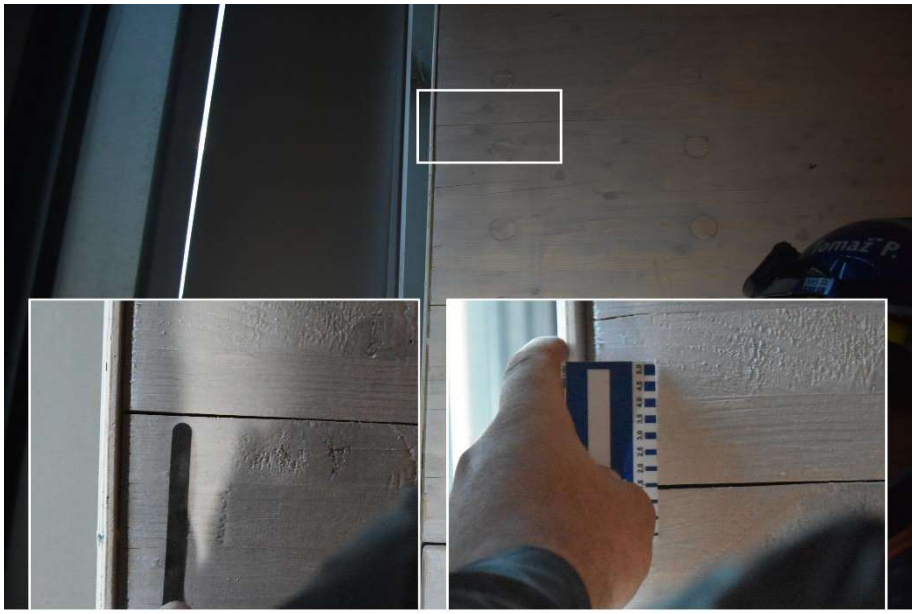
Slika B87: Na mestu ca 7,5 m od ležišča je bila na višini ca 124 cm izmerjena delaminacijska razpoka v globini 20 cm (dolžina lističa je 20 cm).



Slika B88: Delaminiran zobati spoj približno na sredini razpona strešnega nosilca.



Slika B89: Na sredini razpona nosilca globina delaminacijske razpoke znaša ca 14 cm, razpoka se nahaja na višini ca 124 cm od spodnjega roba nosilca.

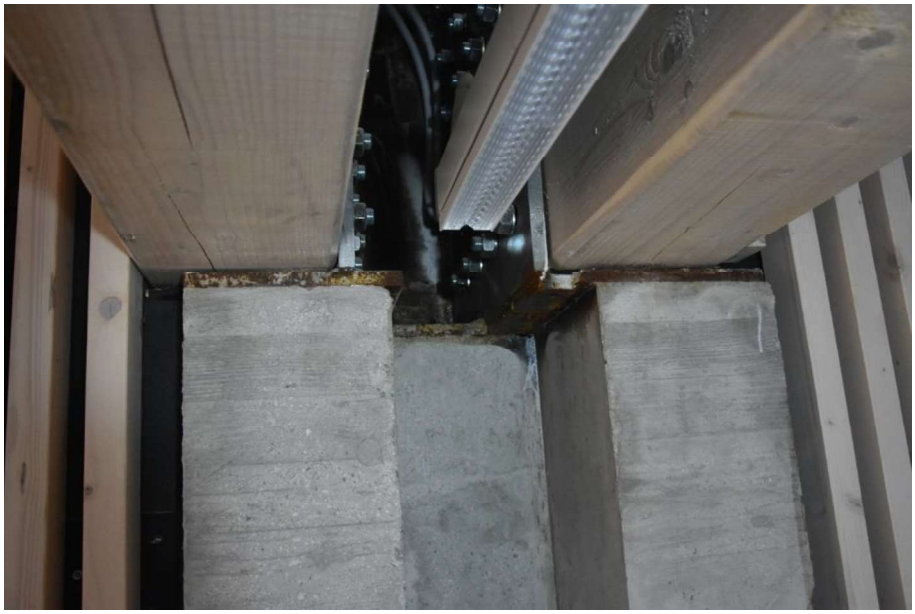


Slika B90: Na sredini višine strešnega nosilca se nahaja razpoka širine 1,8 mm in globine ca 10 cm iz čela in do globine ca 5 cm ca 0,5 m od čela.



Slika B91: Tlačna deformacija strešnega nosilca pravokotno na vlakna nosilca.

Nosilni elementi v osi 7.1



Slika B92: Izrazito zamaknjeno ležišče strešnega nosilca, korozija jeklenih elementov.



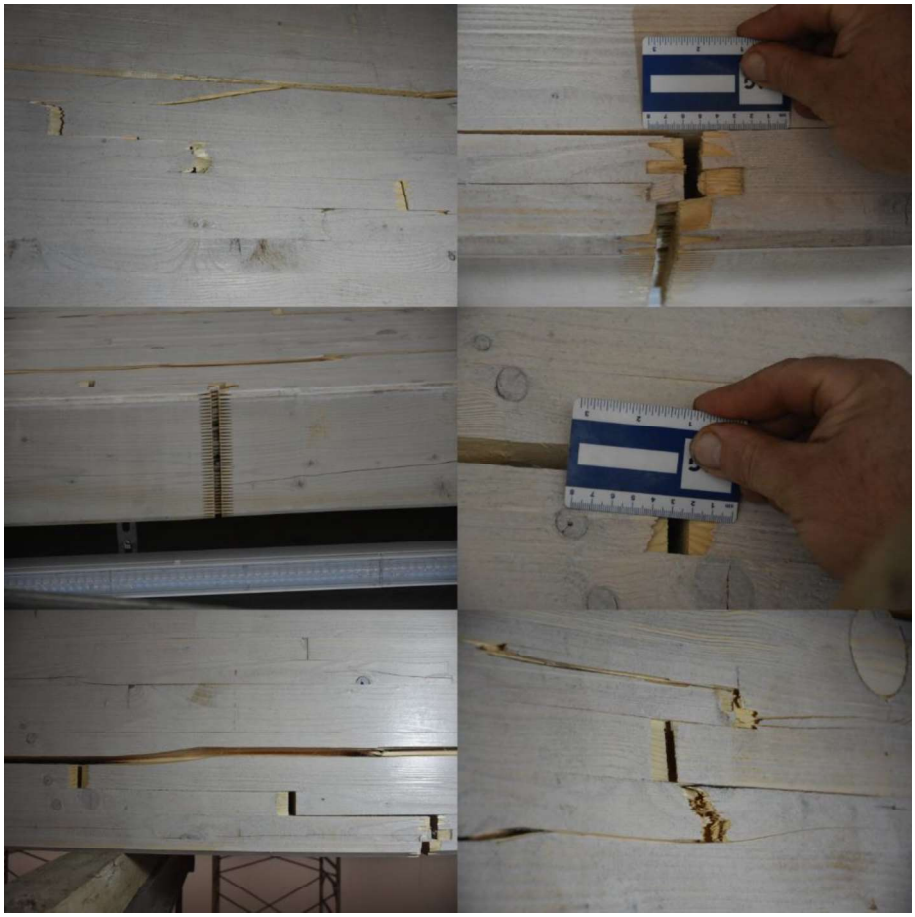
Slika B93: Neustrezno popravilo spodnje lamele. Glede na potek sušnih razpok v bližini sosednjih lamel, bi lahko šlo za sanacijo zobatega spoja, ki prav tako ni ustrezna.



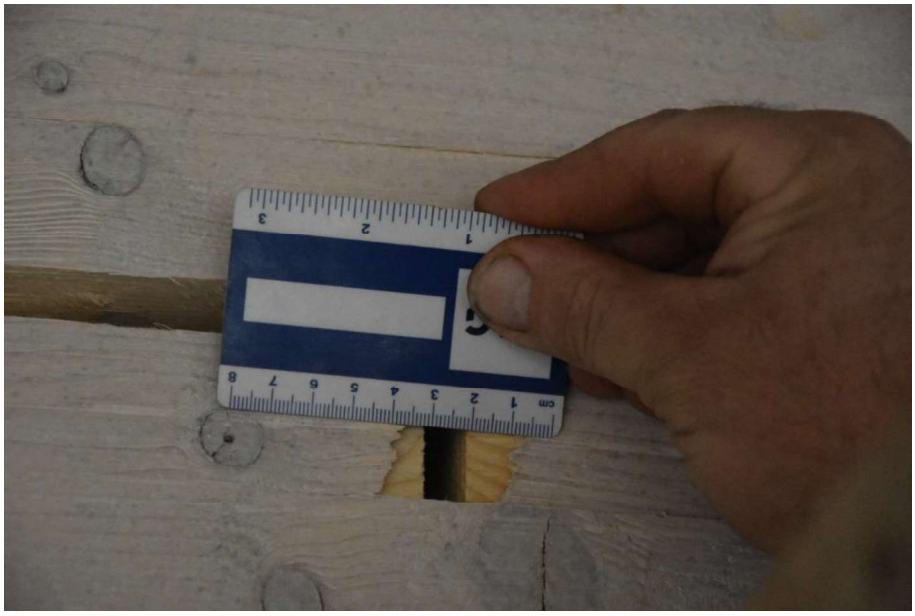
Slika B94: Na območju do ca 10 m od betonskega stebra se pojavljajo manjše delaminacijske razpoke do globine ca 4 cm in širine do ca 1,5 mm



Slika B95: Na ca 9,5 m od betonskega ležišča se pričnejo pojavljati upogibne razpoke ter natezne porušitve zobatih spojev. Območje glavnih porušitev meri v dolžino ca 10 m.



Slika B96: Natezne porušitve zobatih spojev in lesa.



Slika B97: Delaminacijske razpoke ter sušne razpoke v lesu v območju glavne upogibne porušitve. V večini primerov je v razpokah viden lom po lesu, kar nakazuje na ustrezno zlepljenost (spodnjega dela) strešnega nosilca (to je zlepljenost posamezne komponente blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa).



Slika B98: Delaminacijske razpoke ter razpoke lesa v območju glavnih porušitev. V večini primerov je v razpokah viden lom po lesu, kar nakazuje na ustrezno zlepljenost (spodnjega dela) nosilca.



Slika B99: Zaključek razpoke v območju upogibne razpoke.



Slika B100: Spodnja lamela, ki bi morala biti v procesu vizualnega razvrščanja izločena zaradi velikosti in števila grč. Lamele niso ustrezno spojene - grča premera ca 2 cm na razdalji ca 4 cm od zobatega spoja.

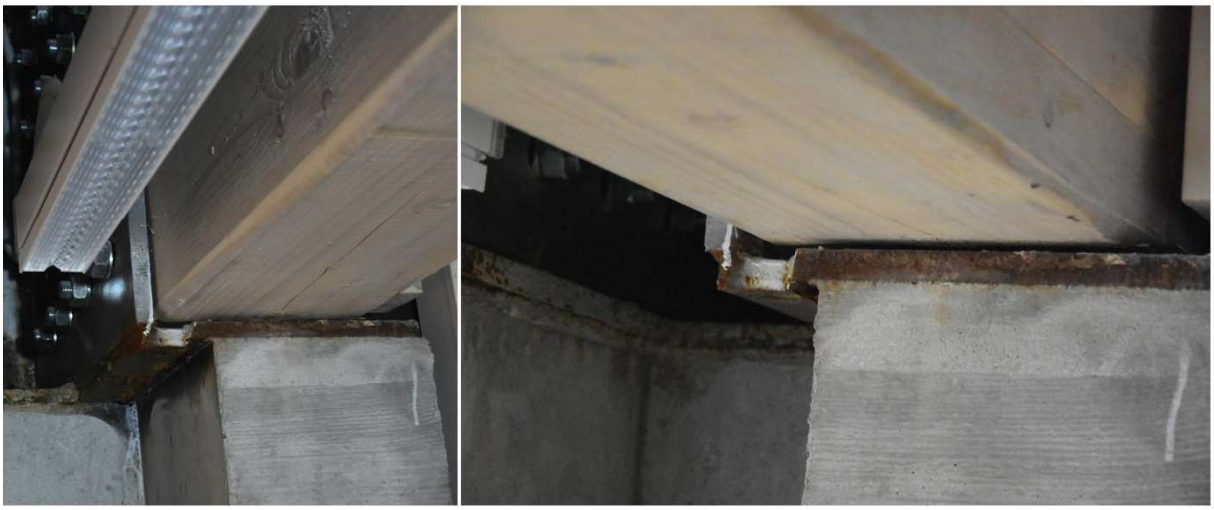


Slika B101: Strešni nosilec zamaknjen v horizontalni smeri in dvignjen ca 9 mm zaradi globalnega upogiba, tlačne deformacije pravokotno na vlakna na nasprotni strani.

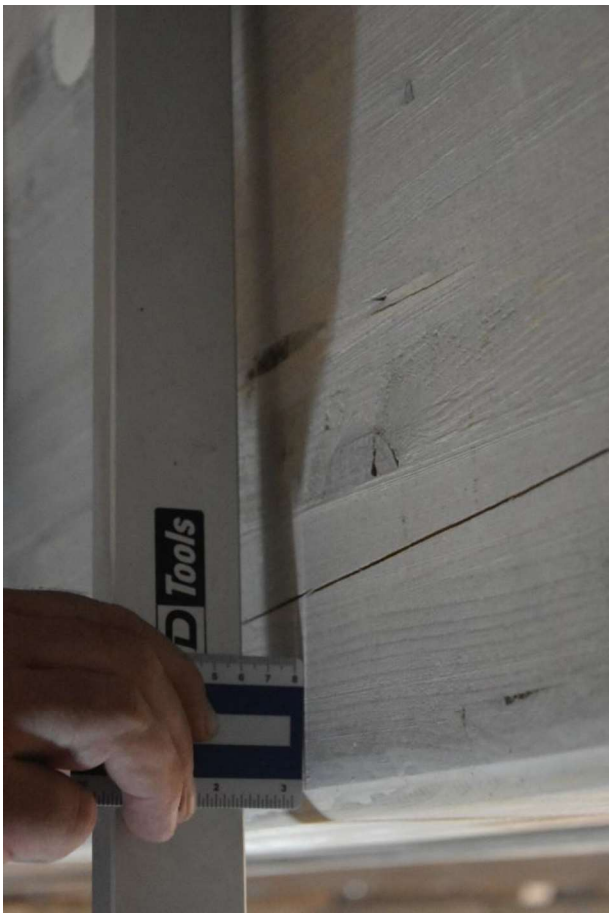


Slika B102: Večje delaminacijske razpoke (npr. 2,5 mm in 4,5 mm) na čelu do globine ca 5 cm.

Nosilni elementi v osi 7.2



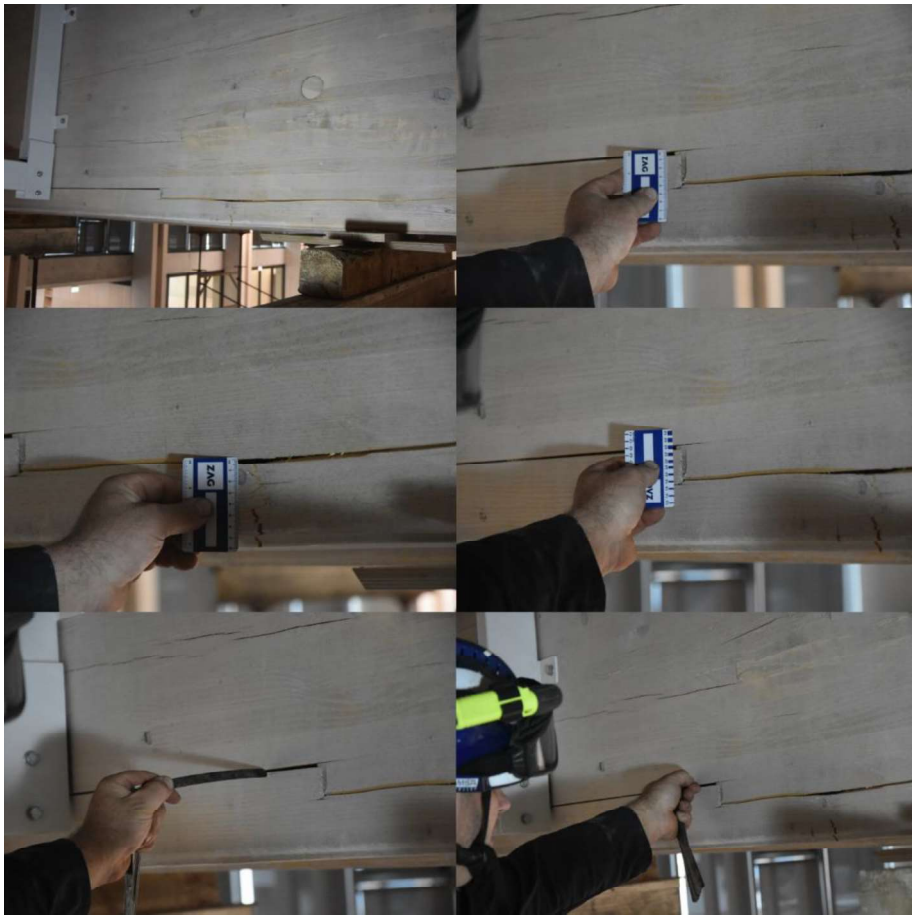
Slika B103: Strešni nosilec, zamaknjen na ležišču. Naknadno varjenje vprašljive kakovosti. Prisotna korozija kovinskih elementov.



Slika B104: Nosilec ni povsem navpičen. Na višini ca 1 m zamik znaša ca 2 cm.



Slika B105: Nepopolno zbrušena površina pred barvanjem.



Slika B106: Na sredini razpona je med 2. in 3. lamelo zaradi upogibne porušitve prisotna razpoka, ki poteka preko lepljenega spoja med lamelama in na zobatem preide na lom po lesu. Globina razpoke meri ca 14 cm, širina pa ca 4 mm.



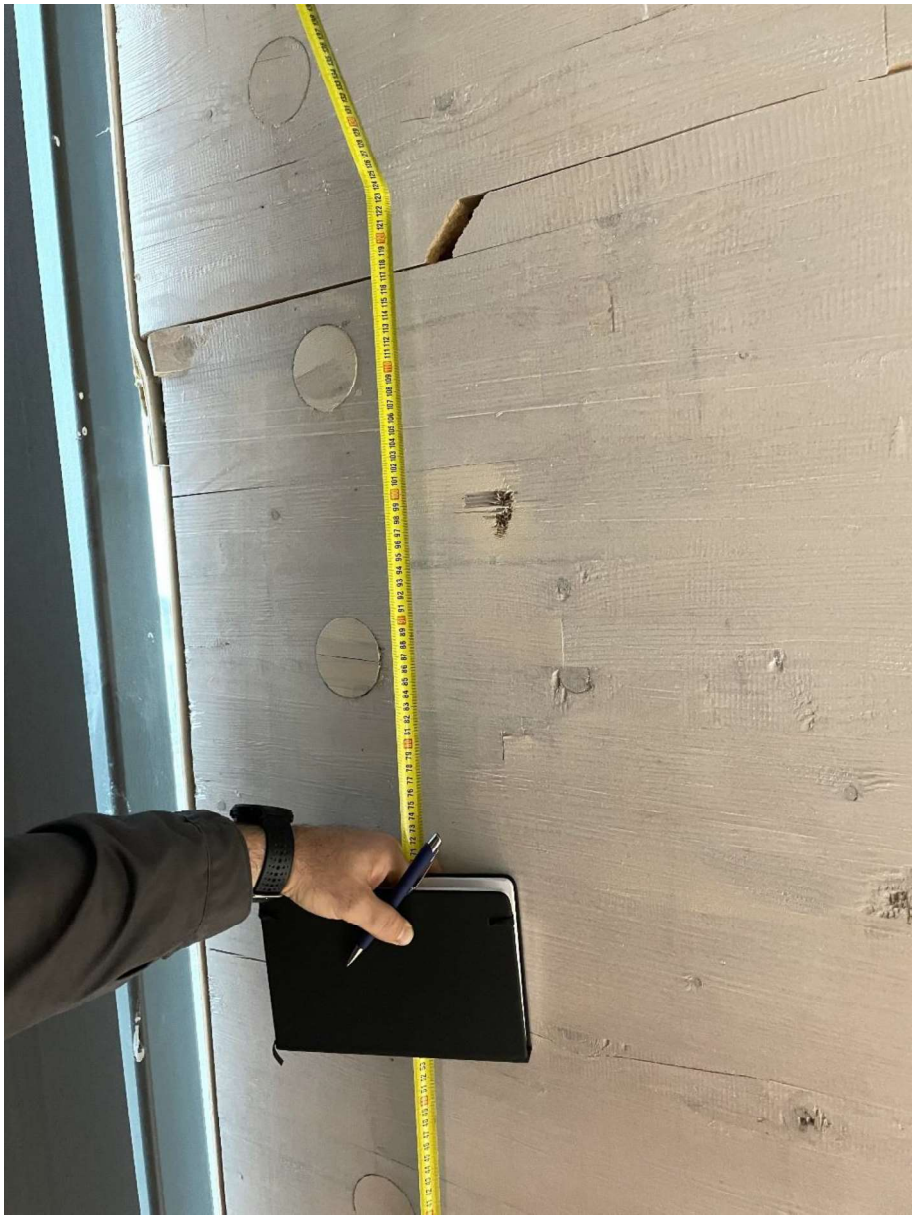
Slika B107: Delaminacijska razpoka, v sredini razpona, spoju dveh komponent blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa. Spoj je popolnoma delaminiran.



Slika B108: Tlačne porušitve lesa, podobne kot v primeru nosilcev 6.1 in 6.2.

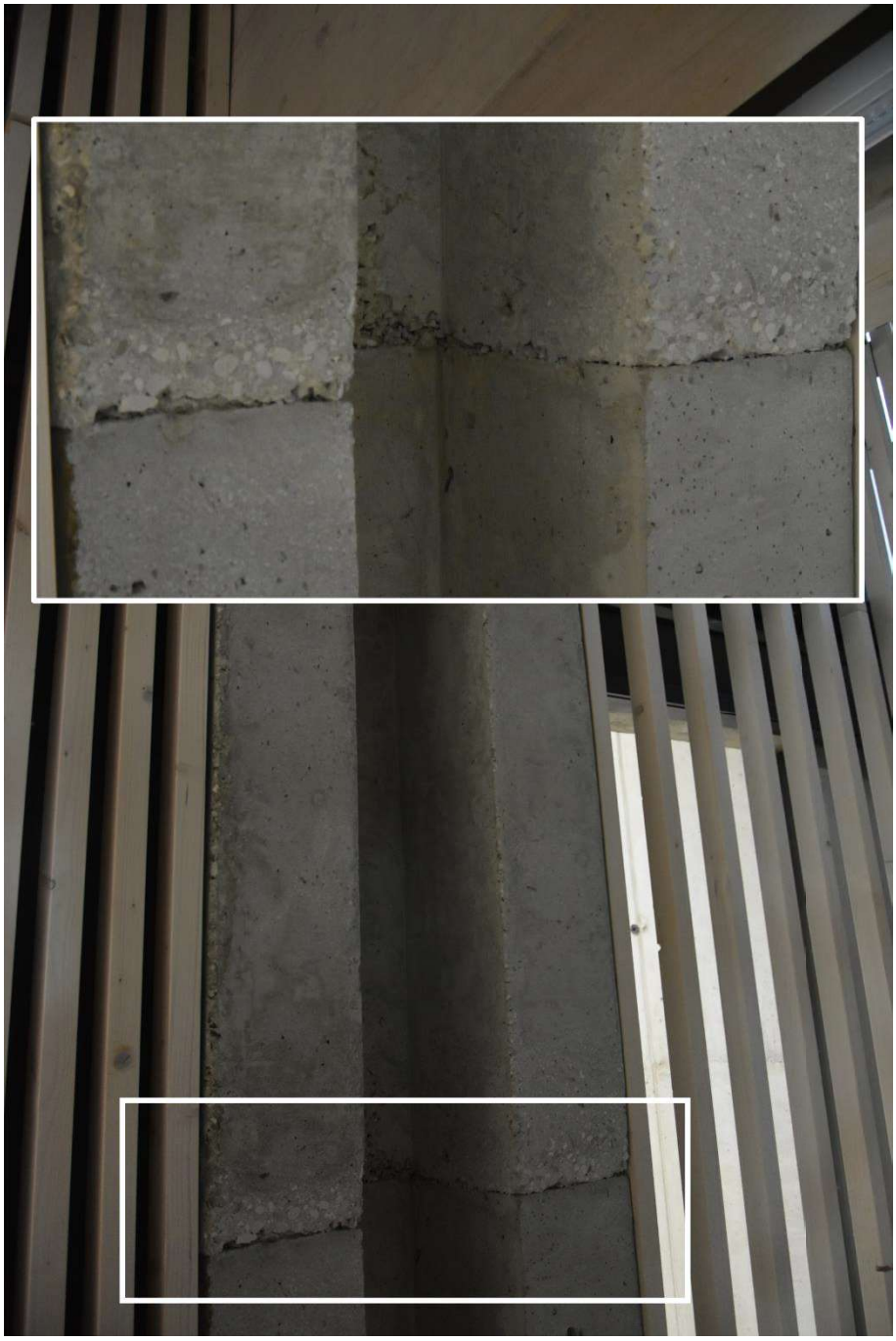


Slika B109: Grča premera ca 2 cm na razdalji ca 1 cm do zobatega spoja.



Slika B110: Strižno porušen strešni nosilec na višini ca 117 cm.

Nosilni elementi v osi 8.1



Slika B111: Steber betoniran v več kampadah, segregacija betona, neustrezni delovni stik.



Slika B112: Na strešnem nosilcu so vidne sušne razpoke v lesu, ki nakazujejo tudi naklon vlaken v lesu. Naklon vlaken je blizu zgornje meje dopustnega – 7 % (7 cm na 1 m).



Slika B113: Na razdalji ca 2 m od betonskega ležišča poteka strižna razpoka na višini ca 87 cm merjeno od spodnjega roba nosilca do globine ca 8 cm. Zamik med lamelama oz. delaminiranima deloma znaša ca 1 cm.



Slika B114: Na stiku 1. in 2. lamele je vidna delaminacija do globine ca 5 cm.



Slika B115: Na zalomljenem delu strešnega nosilca je na višini ca 124 cm prisotna strižna razpoka v lesu, na tem mestu pa je tudi vidna tudi tlačna porušitev lesa.



Slika B116: Razpoka na sredini višine prečnega prereza strešnega nosilca poteka do razdalje ca 14 m od betonskega ležišča, kjer je izmerjena globina razpoke ca 8 cm in širina ca 3 mm.



Slika B117: Vidna delaminacija se nadaljuje do konca strešnega nosilca, kjer je bil vzet izvrtek 8.1_1.

Nosilni elementi v osi 8.2



Slika B118: Strešni nosilec poteka v naklonu, vendar pa ležišče ni izvedeno v naklonu, temveč je nameščena lesena zagozda. Le na skrajnem robu stebra strešni nosilec nalega neposredno na beton, kjer je vidna tlačna deformacija strešnega nosilca prečno na vlakna..



Slika B119: Strešni nosilec je navpično zamaknjen ca 2 cm na razdalji ca 1,2 m.



Slika B120: Na višini ca 117 cm od spodnjega roba, na razdalji ca 9 m od betonskega ležišča, je v dolžini ca 4 m lepljeni spoj popolnoma delaminiran – razpoka v globino meri več kot 20 cm (celotno merilo).



Slika B121: Na razdalji ca 75 cm od spodnjega roba strešnega nosilca je vidna delaminacijska razpoka, ki pa v globino ne meri več kot ca 3 cm.



Slika B122: Na strešnem nosilcu so vidne sušne razpoke v lesu, ki nakazujejo tudi naklon vlaken v lesu. Naklon vlaken je blizu zgornje meje dopustnega – 7 % (7 cm na 1 m).

Izvrtki

Nosilec 1.1



Slika B123: Izvrtek N 1.1_1 vzet iz nosilca 1.1. Lociran na spoju 11. in 12. lamele na razdalji ca 5,23 m od betonskega stebra. Brez vidne delaminacije.



Slika B124: Izvrtek N 1.1_2 vzet iz nosilca 1.1. Lociran na spoju 11. in 12. lamele na razdalji ca 12,3 m od betonskega stebra. Izmerjena delaminacija 8 mm.



Slika B125: Izvrtek N 1.1_3 vzet iz nosilca 1.1., v bližini lesenega stebra. Lociran na spoju ca 118 cm od spodnjega roba in ca 192 cm od čela nosilca. Ob vrtanju oz. odvzemu je vzorec razpadel, delaminacija do globine ca 12 cm.

Steber 1.1



Slika B126: Izvrtek S 1.1_1 vzet iz stebra 1.1. Lociran na spoju ca 30 cm od notranjega roba in ca 130 cm od čela stebra. Brez vidne delaminacije.

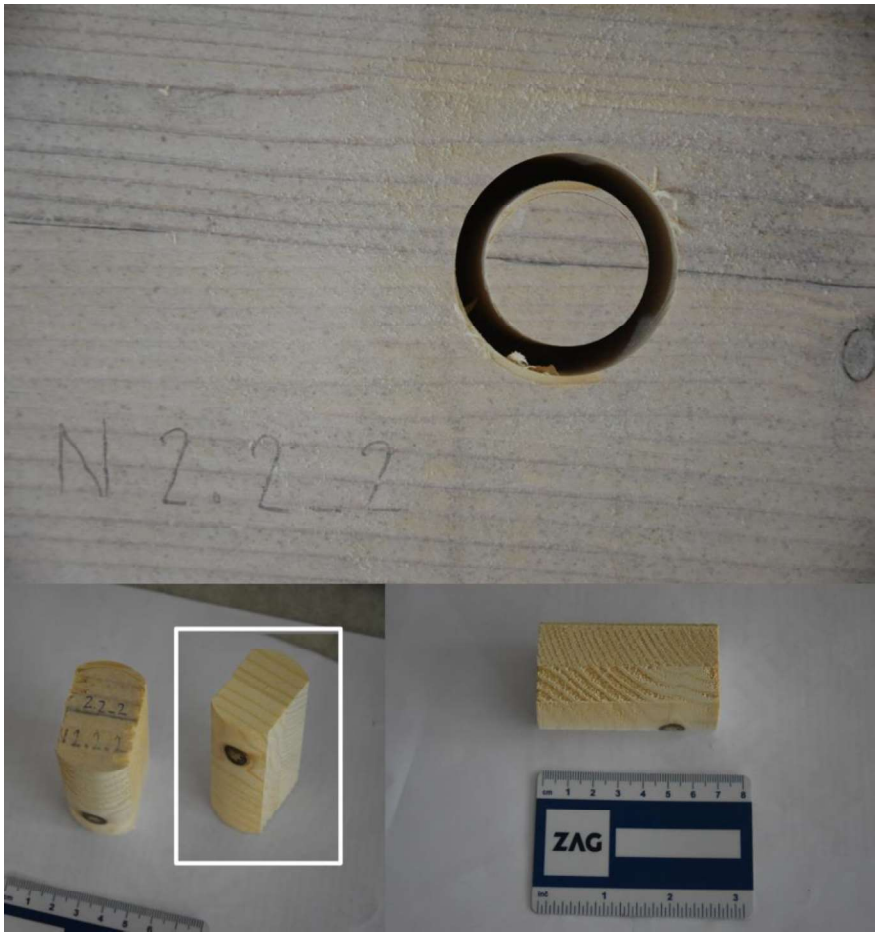


Slika B127: Izvrtek S 1.1_2 vzet iz stebra 1.1. Lociran na spoju ca 30 cm od notranjega roba in ca 157 cm od čela stebra. Brez vidne delaminacije.

Nosilec 2.2



Slika B128: Izvrtek N 2.2_1 vzet iz nosilca 2.2. Lociran na spoju 12. in 13. lamele na razdalji ca 1,8 m od betonskega stebra. Izmerjena delaminacija ca 15 mm.



Slika B129: Izvrtek N 2.2_2 vzet iz nosilca 2.2. Lociran na spoju 7. in 8. lamele na razdalji ca 15,5 m od betonskega stebra. Brez vidne delaminacije.



Slika B130: Izvrtek N 2.2_3 vzet iz nosilca 2.2. Lociran na spoju 30. in 31. lamele (ca 118 cm od spodnjega roba) na razdalji ca 2,1 m od čela nosilca. Delaminacija globine 35 mm.

Steber 5.2



Slika B131: Izvrtek S 5.2_1 vzet iz stebra 5.2. Lociran na lepljenem spoju ca 46 cm od zunanjega roba in ca 64 cm od čela stebra. Brez vidne delaminacije.

Nosilec 6.1



Slika B132: Izvrtek N 6.1_1 vzet iz nosilca 6.1. Lociran na spoju ca 62 cm od spodnjega roba in ca 6,5 m od betonskega stebra. Delaminacija 22 mm. Izvrtek je vzet na sredini ca 1,5 m dolge delaminacijske razpoke.



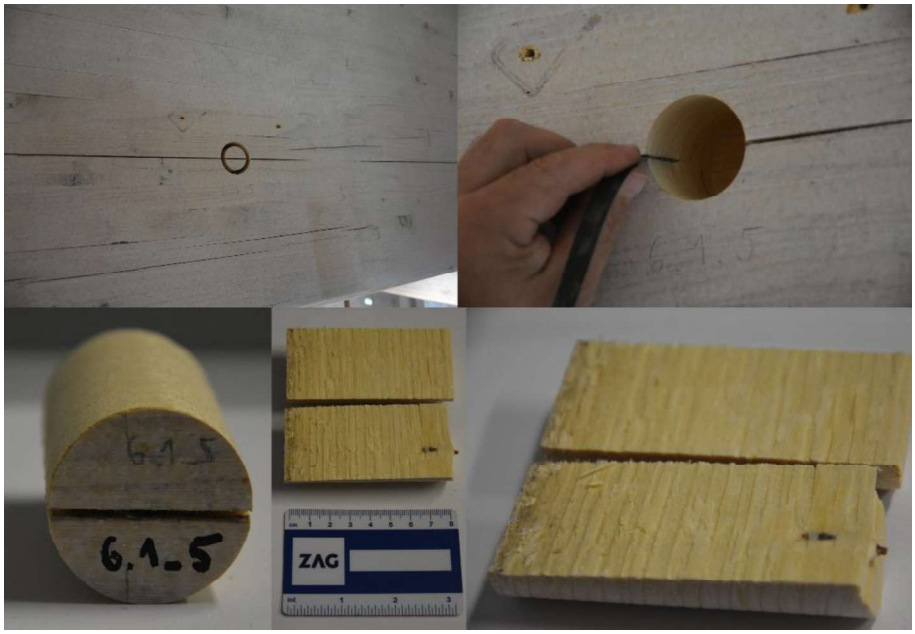
Slika B133: Izvrtek N 6.1_2 vzet iz nosilca 6.1. Lociran na spoju 3. in 4. lamele in 2,9 m od betonskega stebra. Ob vrtanju oz. odvzemu je vzorec razpadel, delaminacija do globine ca 15 cm.



Slika B134: Izvrtek N 6.1_3 vzet iz nosilca 6.1. Lociran na spoju 11. in 12. lamele in ca 4 m od betonskega stebra. Brez vidne delaminacije.



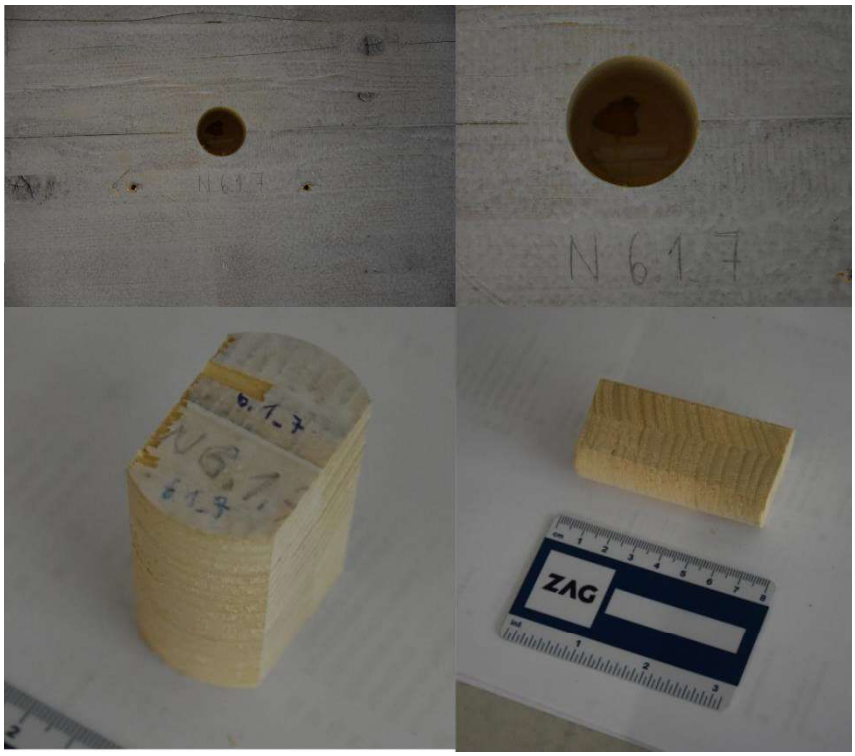
Slika B135: Izvrtek N 6.1_4 vzet iz nosilca 6.1. Lociran na spoju 3. in 4. lamele in ca 11,5 m od betonskega stebra. Delaminacija do globine ca 15 cm.



Slika B136: Izvrtek N 6.1_5 vzet iz nosilca 6.1. Lociran na spoju 7. in 8. lamele in 19 m od betonskega stebra. Delaminacija do globine ca 35 mm. Ob vrtanju oz. odvzemu je vzorec razpadel.



Slika B137: Izvrtek N 6.1_6 vzet iz nosilca 6.1. Lociran na spoju 3. in 4. lamele in ca 21,6 m od betonskega stebra. Minimalna delaminacija – ni bila upoštevana pri izračunu. Pri izračunu se upošteva razbremenilni utor.



Slika B138: Izvrtek N 6.1_7 vzet iz nosilca 6.1. Lociran na spoju 31. in 32. lamele (ca 124 cm od spodnjega roba) in ca 1,9 m od čela nosilca. Brez vidne delaminacije.

Steber 6.1



Slika B139: Izvrtek S 6.1_1 vzet iz stebra 6.1. Lociran na spoju ca 42 cm od zunanjega roba in ca 1,5 m od čela stebra. Delaminacija 13 mm.

Nosilec 8.1

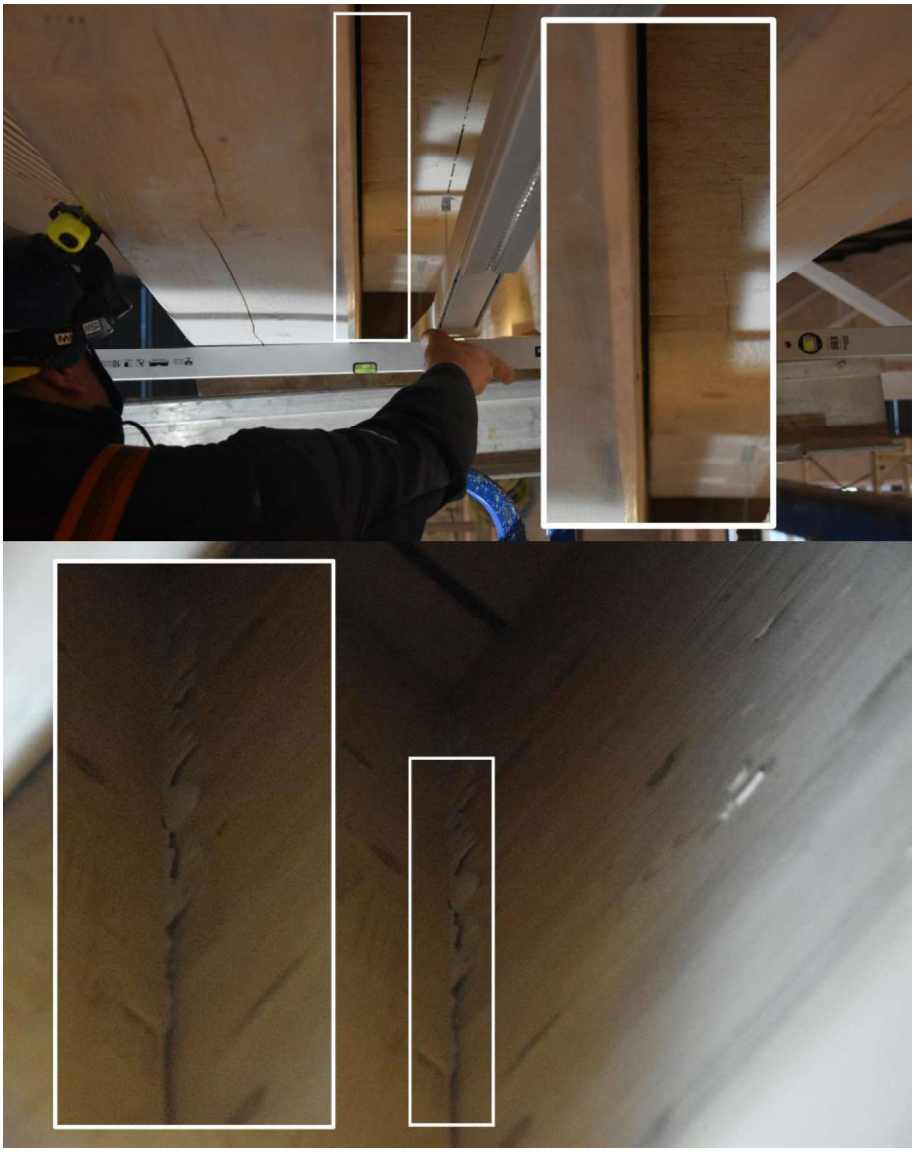


Slika B140: Izvrtek N 8.1_1 vzet iz nosilca 8.1. Lociran na spoju ca 122 cm od spodnjega roba in ca 1,8 m od čela nosilca. Vidna delaminacija, ob vrtanju oz. odvzemu je vzorec razpadel. Na obeh ploskvah viden debelejši sloj lepila debeline ca 1 mm.

Blokovno zlepljeni lepljeni lamelirani les za ojačitve in stebre



Slika B141: Vidne delaminacije na spoju blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa.



Slika B142: Nepopolno prileganje ojačitve na strešni nosilec.



Slika B143: Steber izdelan kot blokovno zlepljeni lepljeni lameliran les.

Priloga C

Rezultati preskušanja strižne trdnosti lepljenih spojev

Iz stebrov 1.1, 5.2 in 6.1 ter strešnih nosilcev 1.1, 2.2, 6.1 in 8.1 je bilo skupno odvzetih 18 izvrtkov premera 40 mm dolžine od ca 60 do 80 mm. Pri vzorčenju je bila posebna pozornost namenjena “raznolikosti” odvzetih vzorcev. Izvrtki so bili odvzeti na mestih, ki so bili po vizualnem pregledu, opredeljeni kot kritični (stik na spoju dveh komponent blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa, delaminacijske razpoke) in mestih, kjer je bilo pričakovati kakovosten lepljen spoj. Priloga A podaja informativno lokacijo odvzetih izvrtkov, točne lokacije pa so podane v opisih slik v Prilogi B. Seznam izvrtkov je podan v tabeli C1. Pri odvzemu izvrtkov so se štirje izvrtki delaminirali že pri odvzemu oz. rokovanju z njimi (označeno z “*”). Izvrtki, odvzeti na stebrih, so označeni z modro barvo, na nosilcih z zeleno ter na mestih, kjer poteka spoj dveh komponent blokovno zlepljenega lepljenega lameliranega lesa, z rdečo barvo. Na mestu odvzetih izvrtkov, smo odprtine premera ca 54 mm zapolnili z lesenimi čepi premera ca 52 mm, pri čemer je bilo uporabljeno konstrukcijsko PUR lepilo (Purbond HB S209, proizvajalca Henkel). Lepilo reagira v stiku z vlago in posledično nabrekne in zapolne prazne prostore med čepom in izvrtino.

Tabela C 1: Seznam odvzetih izvrtkov

S	
Oznaka	Opombe
1.1_1	OK
1.1_2	OK
5.2_1	OK
6.1_1	Delaminacija 13 mm
N	
Oznaka	Opombe
1.1_1	OK
1.1_2	Delaminacija 8 mm
1.1_3*	Delaminiran
2.2_1	Delaminacija 15 mm
2.2_2	OK - grča
2.2_3	Delaminacija 35 mm
6.1_1	Delaminacija 22 mm
6.1_2*	Delaminiran
6.1_3	OK
6.1_4	Popravljen s PUR
6.1_5*	Delaminiran
6.1_6	OK – razbremenilni utor
6.1_7	OK
8.1_1*	Delaminiran

Izvrtke se je, od trenutka odvzema do končne obdelave in preskusa, shranjevalo v PVC vrečkah, kamor so bili dani takoj po odvzemu. Zaprte vrečke se je shranjevalo v klimatiziranem laboratoriju (temperatura 20 °C ± 2 °C in relativna vlažnost 65 % ± 5 %). Končna dimenzija preizkušancev znaša 55 oz. 70 x 26 mm^2 (tabela C2). Dimenzije so podane kot povrečne vrednosti treh meritev. Preskušanje je potekalo s konstantno hitrostjo obremenjevanja 5 mm/min, pri čemer se spremlja strižno silo in ob lomu zabeleži največjo vrednost (F_u). Strižna trdnost (f_v) je bila izračunana na podlagi površine strižne ravnine (A). Po preskušanju je bil vizualno ocenjen delež loma po lesu.



Slika C1:Odvzem izvrtkov.



Slika C2: Vstavljen čep po odvzemu izvrtka.



Slika C3: Preskus strižne trdnosti lepljenega spoja.

Tabela C2: Seznam izvrtkov za preskus strižne trdnosti lepljenega spoja z izmerjenimi delaminacijami.

S	T (mm)	L (mm)	Delaminacija (mm)
1.1_1	26,46	55,28	0
1.1_2	26,66	69,94	0
5.2_1	26,38	69,92	0
6.1_1	26,31	70,10	13
N			
1.1_1	26,16	55,41	0
1.1_2	26,21	69,95	8
2.2_1	26,51	69,98	15
2.2_2	26,08	69,96	0
2.2_3	26,26	69,98	35
6.1_1	26,35	55,31	22
6.1_3	26,48	54,92	0
6.1_4	25,79	69,43	lepilo
6.1_6	26,15	69,98	4
6.1_7	26,27	70,02	0

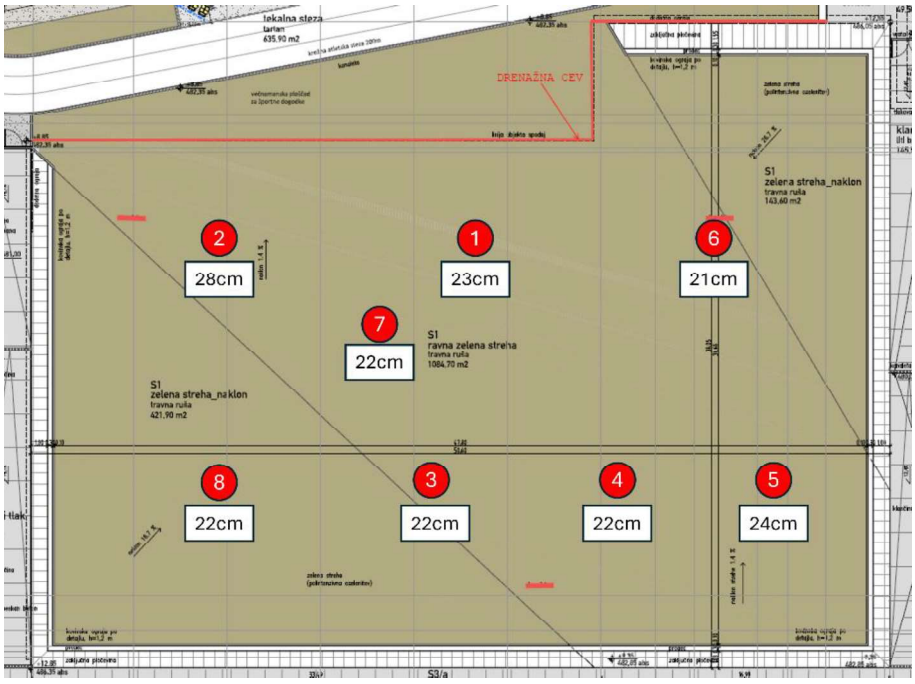
Tabela C3: Rezultati strižnega preskusa. V tabeli so prikazani tudi že delaminirani izvrtki. Z »*« so označeni rezultati, ki ustrezajo le ob upoštevanju 100 % deležu loma po lesu oz. ob upoštevanem zmanjšanem prerezu zaradi delaminacije.

/	fv - s korekcijo "k"(MPa)	Delaminacija (mm)	fv - brez delaminacije (upoštevan manjši prerez) (MPa)	Opombe	Lom po lesu (%) Ocena 1	Lom po lesu (%) Ocena 2	Ustreza
S							
1.1_1	**11,46**	**0**	**11,46**		**100**	**100**	**DA**
1.1_2	**9,34**	**0**	**9,34**		**100**	**100**	**DA**
5.2_1	**8,11**	**0**	**8,11**		**90**	**90**	**DA**
6.1_1	**1,55**	**13**	**1,90**	2 radialni lameli	**100**	**80**	**NE**
N							
1.1_1	**9,39**	**0**	**9,39**		**100**	**90**	**DA**
1.1_2	**5,47**	**8**	**6,18**	tangencialna lamela	**100**	**90**	**NE***
1.1_3	**Že delaminiran**						**NE**
2.2_1	**1,69**	**15**	**2,15**	radialna lamela	**100**	**100**	**NE**
2.2_2	**5,79**	**0**	**5,79**	grča v spoju	**100**	**100**	**DA**
2.2_3	**2,28**	**35**	**4,56**		**100**	**90**	**NE***
6.1_1	**2,46**	**22**	**4,08**		**100**	**100**	**NE***
6.1_2	**Že delaminiran**						**NE**
6.1_3	**6,12**	**0**	**6,12**		**80**	**80**	**DA**
6.1_4	**0,38**			lepilo (sanirano)	**0**	**0**	**NE**
6.1_5	**Že delaminiran**						**NE**
6.1_6	**2,59**	**4**	**2,73**	razbremenilni utor	**50**	**60**	**NE**
6.1_7	**7,40**	**0**	**7,40**		**100**	**90**	**DA**
8.1_1	**Že delaminiran**						**NE**

Priloga D

Določitev obtežbe zelene strehe

Za določitev obtežbe zelene strehe je bila na več mestih izmerjena debelina zemljine (slika D1). Meritve debeline na mestih od 1 do 6 in 8 so bile opravljene na mestih merilnih sond. Na mestu 7 je bila debelina zemljine določena z izkopom, vzorec izkopane zemljine je bil uporabljen za ugotavljanja prostorninske mase, v skladu s standardom SIST EN ISO 17892-2:2015 (slika D6). Meritve debeline so bile izvedene s pomočjo aluminijaste letve, ki je bila položena in pritisnjena na travno rušo, nato pa je bila izmerjena dimenzija do plastične mreže (slika D3, slika D4, slika D5). Na vseh mestih je bila letev položena v dveh pravokotnih smereh, končno vrednost predstavlja povprečna vrednost dveh meritev. Na dan pregleda (15. 10. 2024) se je začelo odstranjevanje travnate ruše in zemljine. Izmerjena je bila tudi debelina (22 cm) na mestu odstranjevanja zemljine, ki pa je podobna vrednostim, izmerjenih na sondah. Prisotne so bile še sledi zastajanja vode (slika D2 - označeno z rdečo).



Slika D1: Okvirne lokacije sond (1 do 6 in 8) in mesto izkopa (7).



Slika D2: Zastajanje vode na mestu odstranjene zemljine.



Slika D3: Debelina zemljine na mestu odstranjevanja zemljine (d= 22 cm).



Slika D4: Merjenje debeline zemljine na mestu 2.



Slika D5: Merjenje debeline zemljine na mestu 7.

UGOTAVLJANJE PROSTORNINSKE MASE

SIST EN ISO 17892-2:2015

ZAG

DELOVIŠČE:	Športna dvorana Bovec	VRTINA:	-
LAB. ŠT.:	G 57/24	GLOBINA:	-
PREISKAL:	Hutinović	DATUM:	4.11.-7.11.2024

METODA LINEARNEGA MERJENJA

oznaka kalupa:				povp.
L/d [mm]	70,14	70,11	70,12	70,12
W/d [mm]	70,12	70,04	70,15	70,10
H [mm]	19,02	18,99	19,01	19,01
m_k [g]	81,52			
V [cm^3]	73,38			

$m + m_k$ [g]	206,09
$m_d + m_k$ [g]	164,47
w [%]	50,2

ρ [Mg/m^3]	**1,70**
ρ_d [Mg/m^3]	**1,13**

1700 kg/m³
1130 kg/m³

METODA S PARAFINOM

Temperatura vode [°C]:

m_f [g]	
m_c [g]	
m_g [g]	

oznaka posodice:	
m_p [g]	
$m + m_p$ [g]	
$m_d + m_p$ [g]	
w [%]	
ρ [Mg/m^3]	
ρ_d [Mg/m^3]	

ρ [Mg/m^3]	
ρ_d [Mg/m^3]	

SIMBOLI:

w - vlažnost vzorca	m - masa vzorca pri naravni vlažnosti
ρ - gostota vzorca	m_d - masa suhega vzorca
H- višina kalupa	L/d- dolžina ali premer kalupa
d- premer kalupa	W/d- širina ali premer kalupa
V- volumen kalupa	ρ_d - suha gostota vzorca
m_p - masa posodice	m_c - masa vzorca s parafinom
m_k - masa kalupa	
m_g - masa vzorca s parafinom, potopljen v vodi	
m_f - masa vzorca	

Temperatura [°C)]	Gostota vode [Mg/m^3]
19	0,99842
20	0,99823
21	0,99802
22	0,99780
23	0,99757
24	0,99733
25	0,99708
26	0,99681
27	0,99654

Slika D6: Rezultati ugotavljanja prostorninske mase odvzetega na mestu 7.

Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.