

Poročilo: 26-KON-16
Datum: 30.03.2016

POROČILO

O DETAJLNEM PREGLEDU KONSTRUKCIJE

OBJEKT: Most čez Krko na Otočcu v dolžini 37 m

NAROČNIK: CGP, d.d., Ljubljanska cesta 36, 8000 Novo Mesto

NAROČILO: Naročilnica št. N-NN-16.00627 z dne 16.02.2016

Oddelek za konstrukcije:

dr. Grega Trtnik, univ.dipl.inž.grad.

igimat d.d.
inštitut za gradbene materiale
Polje 351 C • 1260 Ljubljana-Polje

Direktor:

Janez Prosen, univ.dipl.inž.grad.

Vsebina

1	UVOD	4
1.1	Splošno	4
1.2	Kratek opis in konstrukcijska zasnova mostu.....	5
1.2.1	Podporna konstrukcija	5
1.2.2	Prekladna konstrukcija.....	6
1.2.3	Vozišče	6
1.3	Označevanje elementov mostu	7
2	VIZUALNI PREGLED OBJEKTA.....	8
2.1	Splošno	8
2.2	Pregled delov objekta nad vodno gladino.....	8
2.2.1	Podporna konstrukcija	8
2.2.1.1	Betonski krajni oporniki	8
2.2.1.2	Stebri stebrišč.....	8
2.2.1.3	Prečne lege nad stebrišči.....	9
2.2.2	Prekladna konstrukcija.....	9
2.2.2.1	Vzdolžne lege	9
2.2.2.2	Detajli stikanja vzdolžnih leg	9
2.2.2.3	Vozišče in varovalna ograja.....	10
2.3	Pregled delov objekta pod vodno gladino.....	10
3	TERENSKÉ IN LABORATORIJSKE PREISKAVE STANJA MATERIALA	11
3.1	Metodologija.....	11
3.1.1	Anatomska identifikacija vgrajene lesne vrste	11
3.1.2	Vizualna analiza in sortiranje vgrajenega lesa.....	11
3.1.3	Trdnostno razvrščanje vgrajenega lesa	12
3.1.4	Določanje gostotnega profila, globine in stopnje razkroja lesa ter nosilnega prereza konstrukcijskih elementov.....	13
3.2	Karakteristike vgrajenega lesa na proučevanem objektu.....	14
3.2.1	Lesna vrsta	14
3.2.2	Vizualna ocena vgrajenega lesa in razvrstitev v trdnostni razred.....	14
3.2.3	Gostotni profil, globina in stopnja razkroja lesa ter nosilnost prereza konstrukcijskih elementov	14
3.2.3.1	Površinska stopnja razkroja lesa	14
3.2.3.2	Gostotni profil in globina razkroja lesa	16

	3.2.3.3	Nosilnost prereza konstrukcijskih elementov	18
4	SKLEPI		20

1 UVOD

1.1 Splošno

Na podlagi naročila s strani podjetja CGP-CP, d.o.o., smo dne 18.03.2016 izvedli detajlni pregled treh lesenih premostitvenih objektov preko reke Krke na Otočcu in v Šempetru. Namen pregleda je bil identificirati posamezne poškodbe na objektih, določiti njihove intenzitete in ugotoviti vzroke njihovega nastanka ter izvesti terenske in laboratorijske preiskave, potrebne za ugotovitev stanja vgrajenih materialov. Za doseg zgoraj navedenega cilja smo pregled izvedli v sodelovanju z Oddelkom za lesarstvo Biotehniške Fakultete Univerze v Ljubljani (Katedra za tehnologijo lesa), katere predstavniki so izvedli večino laboratorijskih preiskav stanja vgrajenih materialov. Pregled delov objektov pod nivojem gladine vode smo izvedli s potapljaškim pregledom, ki ga je izvedel izkušeni potapljač z ustreznim strokovnim znanjem, do vseh delov objektov nad nivojem vodne gladine pa smo dostopali z ustreznim plovilom (čolnom).

V tem poročilu so prikazani rezultati izvedenega vizualnega pregleda objekta Otočec v dolžini cca 37m, ki je prikazan na sliki 1.1. Objekt premošča reko Krko z začetkom na otoku in koncem na desnem bregu reke Krke, gledano v smeri toka vode.



Slika 1.1. Most Otočec v dolžini 37 m: a) pogled na vozišče, pogled na podporno in prekladno konstrukcijo iz smeri dolvodno.

Prvo poglavje poleg splošnega dela podaja opis konstrukcijske zasnove objekta ter način označevanja posameznih konstrukcijskih elementov, potrebnega za lažje razumevanje tega poročila. V drugem poglavju so podane ključne ugotovitve vizualnega pregleda objekta, tretje poglavje pa povzema ključne ugotovitve poročila o materialnem stanju vgrajenih materialov, ki so ga pripravili predstavniki Oddelka za lesarstvo Biotehniške Fakultete Univerze v Ljubljani (Katedra za tehnologijo lesa).

Četrto poglavje povzema zaključke, ključne ugotovitve, komentar in kratke smernice za vzdrževanje oziroma sanacijo objekta. Sestavni del poročila je tudi fotodokumentacija s poškodbami, ki je podana na CD zgoščenki kot priloga 2 temu poročilu.

1.2 Kratek opis in konstrukcijska zasnova mostu

1.2.1 Podporna konstrukcija

Podporno konstrukcijo objekta predstavlja šest stebrišč, ki so vsa v reki in so razporejena na medsebojni razdalji cca 6,0 m. Vsako stebrišče je sestavljeno iz petih lesenih stebrov (pilotov) pravokotnega prereza nazivnih dimenzij cca 25/25 cm, od katerih sta zunanja dva stebra postavljena nekoliko pod kotom. Stebri so vsidrani v dno struge reke, morebitnih betonskih oziroma drugih temeljev nismo zaznali. Stebri so na vrhu povezani s prečno lego pravokotnega prereza nazivnih dimenzij cca 27/27 cm, ki na vsaki strani sega cca 70 cm preko širine vozišča objekta in služi za pritrditev oziroma podporo varovalne ograje na mostu (opis v nadaljevanju). Iz obeh strani stebre posameznega stebrišča povezuje tudi diagonalna prečna vez pravokotnega prereza nazivnih dimenzij cca 14/10 cm. Pogled na tipično stebrišče oziroma podporo mostu prikazuje slika 1.2a.

Na obeh bregovih je objekt podprt z betonskima krajnima opornikoma, ki služita tudi kot oporna zidova za preprečitev erozije oziroma plazenja terena. Beton je vizualno slabe kvalitete. Ležišče nismo opazili. Pogled na krajni opornik prikazuje slika 1.2b.



Slika 1.2: Podporna konstrukcija objekta: a) tipično stebrišče objekta; b) betonski krajni opornik.

1.2.2 Prekladna konstrukcija

Prekladno konstrukcijo objekta predstavlja pet vzdolžnih leg pravokotnega prereza nazivnih dimenzij cca 27/27 cm dolžine cca 6,0 m. Posamezne lege se stikajo nad posameznim stebriščem, pri čemer je mesto stikanja s spodnje strani ojačano z dodatnim elementom dolžine cca 150 cm pravokotnega prereza enakih nazivnih dimenzij kot same vzdolžne lege. Na vsaki strani je posamezna lega na ojačitev pritrjena s po dvema vijakoma $\text{fi}20$ in površinsko korodirano podložno pločevino nazivnih dimenzij 60/60 mm. Svetla razdalja med posameznimi vzdolžnimi legami znaša 70 cm, osna razdaja med vzdolžnimi legami pa cca 1 m. Pogled na prekladno konstrukcijo objekta prikazuje slika 1.3a, detajl stikanja dveh vzdolžnih leg nad stebriščem pa slika 1.3b.



Slika 1.3: Prekladna konstrukcija objekta: a) vzdolžne lege; b) detajl stikanja dveh vzdolžnih leg nad posameznim stebriščem.

1.2.3 Vozišče

Vozišče na objektu je leseno. Sestavljeno je iz dveh slojev lesenih plohov, pri čemer spodnji sloj predstavljajo hrastovi plohi širine cca 30 cm in debeline 10 cm, razporejeni prečno na os objekta in pritrjeni na vzdolžne lege. Zgornji sloj vozišča predstavljajo deske širine cca 10 cm, nameščene v smeri osi objekta in z žebli pritrjene na spodnje elemente vozišča. Predvidevamo, da je bil zgornji sloj vozišča pred kratkim obnovljen oziroma zamenjan.

Na vozišču je obojestransko nameščena lesena ograja, ki je pritrjena na prečne lege nad posameznim stebriščem. Pogled na vozišče objekta prikazuje slika 1.4a, detajlni pogled na spodnji sloj vozišča pa slika 1.4b.



Slika 1.4: Prekladna konstrukcija objekta: a) vzdolžne lege; b) detajl stikanja dveh vzdolžnih leg nad posameznim stebriščem.

1.3 Označevanje elementov mostu

Za lažjo predstavo in razumevanje smo posamezne elemente oziroma lokacije izvedenih preiskav ustrezno označili. V ta namen smo posamezne glavne elemente mostu poimenovali glede na smer toka reke Krke, in sicer:

- Krajni opornik KO1: opornik na levi strani objekta, gledano v smeri toka reke,
- Krajni opornik KO2: opornik na desni strani objekta, gledano v smeri toka reke,
- Vmesna stebrišča VS1 do VS6: vmesna stebrišča, pri čemer številka posameznega stebrišča narašča v smeri iz leve proti desni, gledano v smeri toka reke,
- Podporni stebri PS1/A - PS1/E do PS6/A - PS6/E: stebri v posameznem stebrišču, pri čemer oznaka PS1/A pomeni prvi steber (oznaka A) v stebrišču VS1 (oznaka 1), gledano v smeri toka reke,
- Prečne lege PL1 do PL6: prečne lege nad posameznimi stebrišči,
- Vzdolžne lege VL1/A - VL1/E do VL7/A - VL7/E: prečne lege v posameznem polju, pri čemer oznaka VL1/A pomeni prvo lego (oznaka A) v polju 1 (polje med KO1 in VS1, oznaka 1), gledano v smeri toka reke.

2 VIZUALNI PREGLED OBJEKTA

2.1 Splošno

V sklopu pregleda objekta smo izvedli temeljit vizualni pregled objekta, ki smo ga razdelili na pregled elementov nad vodno gladino in pod njo (potapljaški pregled). Pri pregledu smo izdelali fotodokumentacijo tipičnih poškodb posameznih elementov nad in pod vodno gladino, na katero se sklicujemo v nadaljevanju tega poglavja. Celotna fotodokumentacija je sestavni del poročila kot priloga 2 na CD zgoščenki. V nadaljevanju podajamo ključne ugotovitve vizualnega pregleda za vsak konstrukcijski sklop posebej.

2.2 Pregled delov objekta nad vodno gladino

2.2.1 Podporna konstrukcija

2.2.1.1 Betonski krajni oporniki

Beton obeh betonskih krajnih opornikov je v relativno slabem stanju in vizualno slabe kvalitete, tlačno trdnost betona ocenjujemo na cca 20 Nmm². Vidni so sledovi zamakanja po steni opornikov preko vozišča, del opornikov prerašča vegetacija. Po celotni površini stene obeh opornikov je vidna segregacija in gnezda, najverjetneje kot posledica neustrezne vgradnje (vibriranje) oziroma neustrezne konsistence betona med vgradnjo (slike 538, 540, 559, 560). Razpok in drugih znakov, povezanih z morebitnim posedanjem objekta, nismo zaznali.

2.2.1.2 Stebri stebrišč

Stebra stebrišč so generalno v precej slabem stanju. Na večini stebrov (še posebej zunanjih) nad nivojem vodne gladine se pojavljajo večje razpoke oziroma razslojevanje v vzdolžni smeri, ki večinoma segajo med 10-15 cm globoko (npr. slika 531, 568, 569), na nekaterih stebrih je teh razpok več in že povzročajo delno razpadanje elementov (npr. slika 561, 574).

Najintenzivnejše poškodbe stebrov stebrišč se sicer pojavljajo v območju nihanja vodne gladine oziroma konstantnega močenja in sušenja. Tu so na večini stebrov opazne močne poškodbe v obliki erozije oziroma manjšanja prečnega prereza stebrov, predvsem na gorvodnih straneh. Na več stebrih (cca 50 % stebrov) je na cca 2 m območju nihanja vodne gladine prerez zmanjšan tudi do dimenzij 15/12 cm (nazivne dimenzije 25/25 cm), kar pomeni zmanjšanje efektivnega prečnega prereza stebrov za >2/3 (npr. sliki 570, 574).

Globlje pod vodno gladino je stanje lesenih podpornih stebrov dobro, brez večjih poškodb in izgube efektivnega prečnega prereza (poglavje 2.3).

2.2.1.3 Prečne lege nad stebrišči

Predvsem zunanji (konzolni) deli prečnih leg nad stebrišči so močno poškodovani. Na vseh je vidno razslojevanje in razpadanje lesa ter večje vzdolžne razpoke, najverjetneje kot posledica zunanjih vplivov (UV insolacija, padavine ter biološke okužbe) v kombinaciji z relativno velikimi dinamičnimi mehanskimi obremenitvami zaradi pritrjene varovalne ograje (slike 512-517, 521-524, 527-529). Čelni deli prečnih leg so neposredno izpostavljeni okoljskim vplivom, kar povzroča poškodbe lesenih elementov, ki zmanjšujejo njihovo trajnost, obstojnost in nosilnost.

V notranjosti so prečne lege vizualno v precej boljšem stanju (npr. slika 572). Mestoma so vidni sledovi zamakanja preko vozišča, drugih večjih (konstrukcijsko) pomembnih razpok in poškodb, ki bi pomembneje oslabile nosilni prečni prerez teh elementov nismo zaznali.

2.2.2 Prekladna konstrukcija

2.2.2.1 Vzdolžne lege

Stanje notranjih vzdolžnih leg v polju je v splošnem dobro, brez večjih konstrukcijsko in trajnostno pomembnih poškodb (npr. slika 563). Večje poškodbe se pojavljajo na obeh zunanjih legah in na mestih stikanja vzdolžnih leg nad stebrišči, kot posledica močenja oziroma zamakanja meteorne vode preko vozišča. Take poškodbe se kažejo v pojavu večjih vzdolžnih razpok oziroma razslojevanja (zunanje lege, slika 567, 573) ter manjšega razpadanja oziroma nabrekanja elementov zaradi vlaženja po prečnem prerezu (stik dveh leg nad stebrišči, slika 564).

2.2.2.2 Detajli stikanja vzdolžnih leg

Detajli stikanja vzdolžnih leg nad posameznimi stebrišči so v splošnem v dobrem stanju, večjih konstrukcijsko in trajnostno pomembnih poškodb lesenih elementov nismo zaznali. Predvsem na zunanjih ojačitvenih elementih so sicer opazne vzdolžne razpoke oziroma razslojevanje (slika 573).

Praktično vsi vijaki in podložne pločevine, ki služijo za pritrditev vzdolžnih leg na pomožne ojačitvene elemente so močno korodirani, vidno je razslojevanje oziroma nabrekanje zaradi korozijskih produktov. Kljub temu so po naši oceni ti stiki še v funkciji.

2.2.2.3 Vozišče in varovalna ograja

Vozišče je v relativno dobrem stanju. Na posameznih mestih so sicer opazne tipične udarne poškodbe zaradi dinamičnih obremenitev vozil, ki se kažejo v polomljenih elementih in udarnih jamah na stikih dveh elementov oziroma na mestu pritrditve le-teh na spodnji sloj vozišča (slike 511, 519, 520, 525). Na vozišču ni hidroizolacije, odvodnjavanje ni urejeno. Vsled temu se pojavlja zamakanje po spodnjih elementih, kar je vzrok za večino poškodb elementov spodnje konstrukcije.

Varovalne ograje so sicer dobrem stanju, pritrditev le-teh na konstrukcijo objekta pa je slaba. Ob manjši sili se ograje močno majejo in ne zagotavljajo več potrebne varnosti. Vzrok za slabo pritrditev so poškodbe konzolnih (izpostavljenih) delov prečnih leg, na katere je pritrjena varovalna ograja (poglavje 2.2.1.3).

2.3 Pregled delov objekta pod vodno gladino

Posamezni stebri stebrišč objekta pod vodno gladino imajo relativno močno zmanjšan prečni prerez, predvsem v območju tik pod gladino. Na teh mestih je prerez zmanjšan tudi do dimenzij 15/12 cm (nazivne dimenzije 25/25 cm), kar pomeni zmanjšanje efektivnega prečnega prereza stebrov za $>2/3$ (npr. slike P1010007, P1010008, P1010017, P1010019, poglavje 2.2.1.2). Večjih poškodb v obliki razpadanja lesa itd na elementih pod vodno gladino ni bilo zaznati, mestoma so bile na posameznih stebrih vidne manjše razpoke v smeri osi stebrov, globine do cca 10 cm (npr. slike P1010035, P1010037).

Vsi stebri so vizualno dobro vsidrani v tla, kar je bilo preverjeni tudi z manjšo mehansko silo. Morebitne erozije oziroma izpodjedanja ni bilo zaznati (npr. slike P1010028, P1010031, P1010034, P1010039, P1010040).

Na dnu posameznih stebrov se zadržuje vegetacija (večje veje dreves) in drugi manjši predmeti (slika P1010030).

3 TERENSKÉ IN LABORATORIJSKE PREISKAVE STANJA MATERIALA

3.1 Metodologija

3.1.1 Anatomska identifikacija vgrajene lesne vrste

Na izbranih lokacijah smo odvzeli radialno orientirane izvrtke, dolžine 15 mm in premera 6 mm. Izvrtke smo uporabili v standardnem ksilotomskem postopku za pripravo anatomske orientiranih preparatov. Vključene mikroskopske preparate smo analizirali pod svetlobnim mikroskopom Nikon Eclipse E800 ter na osnovi anatomske znakov z računalniškim programom Intkey določili vgrajeno lesno vrsto.

3.1.2 Vizualna analiza in sortiranje vgrajenega lesa

Na vgrajenem konstrukcijskem lesu smo ocenjevali vidne značilnosti lesa zaradi katerih je lahko zmanjšana njegova nosilnost ter značilnosti, ki so povezane z geometrijo in biološko razgradnjo lesa. V ta namen smo uporabili veljaven nacionalni standard SIST DIN 4074-5:2008 Razvrščanje lesa po trdnosti – 5.del: Žagani les listavcev, ki ima za osnovo nemški standard DIN 4074:2008 Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 5: Laubschnittholz. Izmerjene značilnosti smo primerjali z mejnimi vrednostmi, ki so podane v standardu, in razvrščali les v 3 sortirne razrede (Preglednica 1).

Preglednica 1 Kriteriji razvrščanja za hrastove tramove (*Quercus* spp.), ki so pretežno upogibno obremenjeni (SIST DIN 4074-5:2008)

Značilnosti razvrščanja	Sortirni razredi		
	LS7, LS7K	LS10, LS10K	LS13, LS13K
1. Lisičavost	$\leq 1/3$	$\leq 1/3$	$\leq 1/4$
2. Grče	$\leq 3/5$	$\leq 2/5$	$\leq 1/6$
3. Naklon vlaken	$\leq 16 \%$	$\leq 12 \%$	$\leq 7\%$
4. Razpoke - zaradi krčenja, - zaradi udara strele, zmrzali in kolesivosti	$\leq 3/5$ niso dovoljene	$\leq 1/2$ niso dovoljene	$\leq 2/5$ niso dovoljene
5. Obarvanost, trohnoba - obarvanja ob stiku s kovino, - taninski madeži, - trohnoba	$\leq 3/5$ ni dovoljena	$\leq 2/5$ ni dovoljena	$\leq 1/5$ ni dovoljena
6. Napadi insektov svežega lesa	niso dovoljeni	niso dovoljeni	niso dovoljeni

7. Ukrivljenost			
- vzdolžna ukrivljenost, - zavitost	$\leq 12 \text{ mm}$ 2 mm / 25 mm	$\leq 8 \text{ mm}$ 1 mm / 25 mm	$\leq 8 \text{ mm}$ 1 mm / 25 mm
8. Stržen	dovoljen	dovoljen	dovoljen

3.1.3 Trdnostno razvrščanje vgrajenega lesa

Vizualno razvrščen vgrajen les smo v skladu s standardom, ki ustreza zahtevam SIST EN 14081-1:2006 ter na podlagi določitve lesne vrste in njenega izvora (Pogl. 3.2.1.) preko povezave, ki jo najdemo v standardu SIST EN 1912:2004 + A3 (2009) uvrstili v trdnostne razrede, ki so definirani v SIST EN 338:2004 (Pregl. 2).

Preglednica 2 Prevedba sortirnih razredov v trdnostne razrede za hrastovino (SIST EN 338:2004)

Lesna vrsta	Izvor	Sortirni razred po DIN 4074	Trdnostni razred po EN 338
hrast	srednja, vzhodna in severna Evropa	LS7, LS7K LS10, LS10K LS13, LS13K	< D30 D30 D40

Povprečne in karakteristične vrednosti osnovnih trdnostnih razredov, relevantnih za razvrščanje konstrukcijskega lesa listavcev podaja preglednica 3 (SIST EN 338:2004).

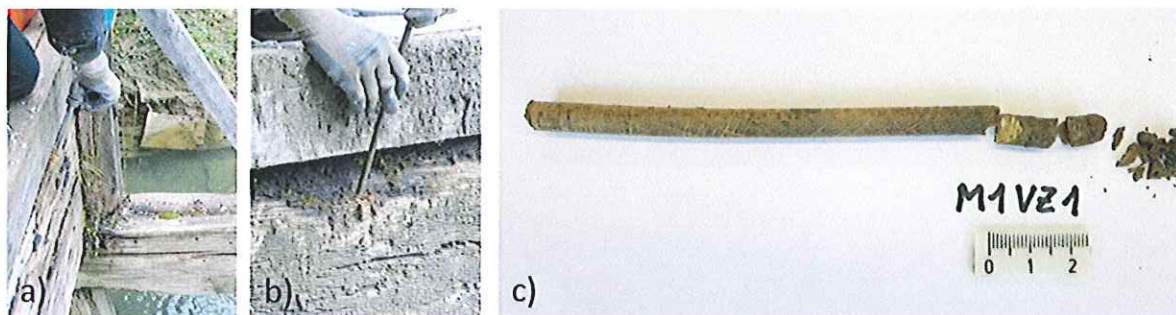
Preglednica 3 Povprečne in karakteristične vrednosti osnovnih trdnostnih razredov konstrukcijskega žaganega lesa listavcev (SIST EN 338:2004)

	Oznaka	D18	D24	D30	D35	D40
Trdnost [N/mm ² ; MPa]						
Upogib	$f_{m,k}$	18	24	30	35	40
Nateg vzporedno z vlakni	$f_{t,0,k}$	11	14	18	21	24
Nateg prečno na vlakna	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Tlak vzporedno z vlakni	$f_{c,0,k}$	18	21	23	25	26
Tlak prečno na vlakna	$f_{c,90,k}$	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3
Strig	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0
Togost [kN/mm ² ; GPa]						
Povp. elast. modul vzp. z vlakni	$E_{0, \text{mean}}$	9,5	10	11	12	13
5 % elast. modul vzp. z vlakni	$E_{0,05}$	8	8,5	9,2	10,1	10,9
Povp. elast. modul prečno na vlakna	$E_{90, \text{mean}}$	0,63	0,67	0,73	0,8	0,86

Strižni modul	G_{mean}	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81
Gostota [kg/m ³]						
Gostota (karakt.)	ρ_k	475	485	530	540	550
Povprečna gostota	ρ_{mean}	570	580	640	650	660

3.1.4 Določanje gostotnega profila, globine in stopnje razkroja lesa ter nosilnega prereza konstrukcijskih elementov

Na konstrukciji lesenega mostu smo na podlagi vizualne ocene in splošnih dognanj določili večje število vzorčnih lokacij. Na teh lokacijah smo odvzeli izvrtke ($\Phi = 6 \text{ mm}$) od površine proti centralni osi posameznih konstrukcijskih elementov (slika 3.1). Sledilo je kondicioniranje izvrtkov v laboratorijskih pogojih ($T = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 50 \%$, $t = 14 \text{ dni}$), ter sekcioniranje ($\Delta x = 15 \text{ mm}$). Na izvrtkih smo sekcijem vzorcem določili volumen (Hg-volumometer, $\Delta V = \pm 0,01 \text{ cm}^3$) in maso ($\Delta m = \pm 0,001 \text{ g}$) za določitev gostote lesa (ρ) in gostotnega profila ($\rho = f(x)$).



Slika 3.1 Primer (a) izdelave izvrtka, (b) odvzem izvrtka ter (c) vizualni izgled izvrtka na lokaciji 1 mostne konstrukcije – zunanja vzdolžna lega.

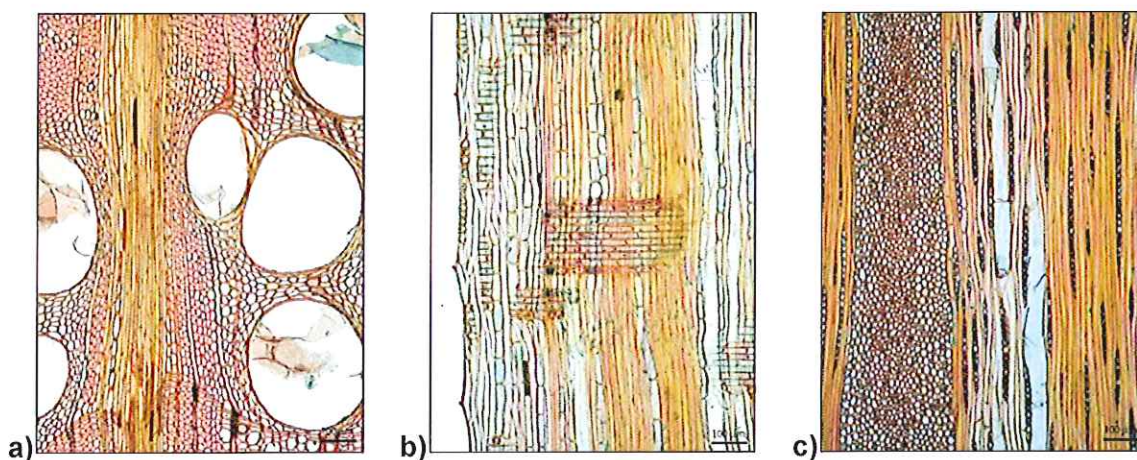
Globino razkroja konstrukcijskih elementov smo določili na osnovi primerjave vrednosti gostote v gostotnem profilu konstrukcijskih elementov in vrednosti karakteristične gostote (ρ_k) v posameznem trdnostnem razredu konstrukcijskega žaganega lesa (preglednica 3). Globino razkroja smo v nadaljevanju uporabili za določitev deleža nosilnega prereza posameznih konstrukcijskih elementov.

Stopnjo razkroja lesa na celotni konstrukciji lesenega mostu smo določali tudi vizualno v skladu s standardom SIST EN 252:2015. Standard določa 4-stopenjsko lestvico: 0 – ni znakov razkroja, 1 – rahel razkroj, 2 – zmeren razkroj, 3 – močan razkroj, 4 – propad.

3.2 Karakteristike vgrajenega lesa na proučevanem objektu

3.2.1 Lesna vrsta

Relevantni konstrukcijski elementi mostu (razen zg. povozne površine vozišča) so izdelani iz hrastovine, kamor v uvrščamo 2 domači vrsti – dob (*Quercus robur* L.) in graden (*Quercus petraea* L.) (slika 3.2a). Po zgradbi lesa ju prištevamo v skupino t.i. belih hrastov, med sabo po ju ni mogoče razlikovati.



Slika 3.1 Mikroskopska zgradba lesa hrasta doba (*Quercus robur* L.) v prečni (a), radialno-vzdolžni (b) in tangencialno-vzdolžni ravnini (v), pridobljene z izvrtki v proučevani strešni konstrukciji. (foto dr. Maks Merela)

3.2.2 Vizualna ocena vgrajenega lesa in razvrstitev v trdnostni razred

Po natančnem vizualnem pregledu posameznih konstrukcijskih elementov z vidika geometrijskih lastnosti ter značilnosti lesa ugotavljamo, da je večina vgrajenega lesa ($\geq 90\%$) ob vgradnji zadostovala kriterijem LS10 sortirnega razreda, po standardu za razvrščanje žaganega lesa listavcev (hrastovina) za konstrukcijske namene (SIST DIN 4074-5:2008) (Pregl. 1). Za večino vgrajenega lesa s tem potrdimo, da je ob vgradnji ustrezala kriterijem trdnostnega razreda D30 za razvrščanje konstrukcijskega lesa listavcev - hrastovina (SIST EN 338:2004) (Pregl. 2).

3.2.3 Gostotni profil, globina in stopnja razkroja lesa ter nosilnost prereza konstrukcijskih elementov

3.2.3.1 Površinska stopnja razkroja lesa

Vzdolžne lege

Potrdili smo intenzivno površinsko degradacijo na zgornji in zunanji bočni strani zunanjih vzdolžnih leg mostu (VL1/A, VL1/E, VL2/A, VL2/E, VL3/A, VL3/E, VL4/A, VL4/E, VL5/A, VL5/E, VL6/A, VL6/E, VL7/A, VL7/E). Stopnja razkroja tega dela vzdolžnih leg se giblje med 2 in 3. Notranji in spodnji del teh

vzdolžnih leg je v boljšem stanju, stopnja razkroja pa je med 1 in 2. Na preostalih, notranjih vzdolžnih legah mostu (VL1/B-VL1/D, VL2/B-VL2/D, VL3/B-VL3/D, VL4/B-VL4/D, VL5/B-VL5/D, VL6/B-VL6/D, VL7/B-VL7/D) ocenjujemo stopnjo razkroja 1, lokalno tudi 2 (slika 3.3).



Slika 3.3 2. stopnja razkroja na posameznih vzdolžnih legah mostne konstrukcije, levo (VL3/D) in desno (VL4/C).

Velik problem vzdolžnih so stikališča na obeh koncih mostu K01 in K02. Na teh mestih pri vseh vzdolžnih legah mostu (VL1/A-VL1/E in VL7/A-VL7/E) potrjujemo močen razkroj lesa (stopnja 3). Ti deli mostu niso neposredno upogibno obremenjeni, prenašajo pa zahtevne dinamične tlačne obremenitve.

Prečne lege

Prečne lege (PL1 do PL6) so neposredno pod mostno konstrukcijo razkrojene do največ stopnje 1. Konzolnih deli prečnih leg, t.j. deli leg ki segajo izven mostu in imajo podporno funkcijo ograji mosta pa kažejo znake višje stopnje razkroja. Razkroj leg na tem mestu se širi od zunanjega čela (stopnja 3) proti notranjosti. Na oddaljenosti 0,5 m od čela prečnih leg smo še vedno zaznali 2. stopnjo razkroja.

Na prečnih legah na lokaciji krajnih opornikov mostu (K01 in K02) je stopnja razkroja višja. Na tem delu sta prečni legi tudi mostom razkrojene do stopnje 2, konzolni deli pa do stopnje 3 do 4. Razlog je v stiku teh elementov z zemljo in izpostavljenosti vlagi in biološkimi škodljivcem.

Stebrišča

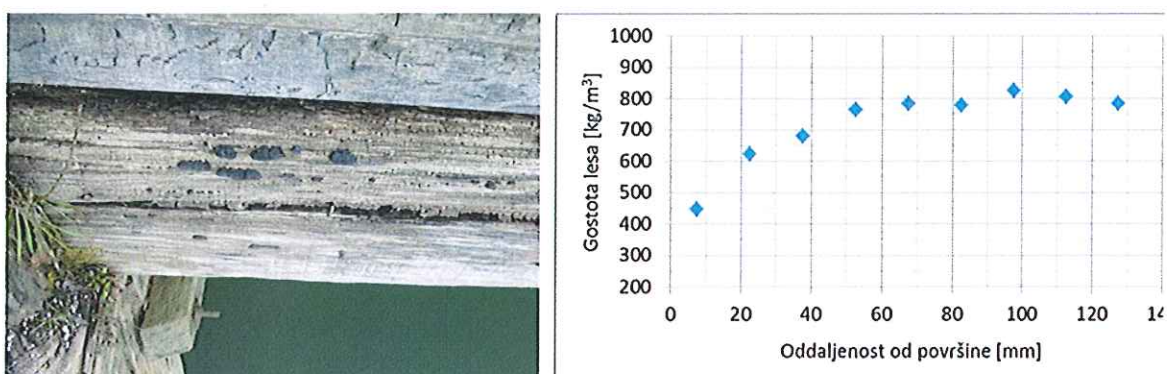
Stopnjo razkroja stebrov v splošnem ocenimo z 1, vendar z več lokalnimi kritičnimi pozicijami ter šibkimi deli. Kot je izpostavljeno v poglavjih 2.2.1.2 ter 2.3. so lokalno problematični prerezi na območju nihanja gladine vode. Tukaj razkroj ocenjujemo s stopnjo 2, razen na gorvodnem delu objekta, kjer na

večini stebrov potrjujemo zmeren do močan razkroj (2. do 3. stopnja razkroja) kar je vezano na bistveno zmanjšanje nosilnega prereza.

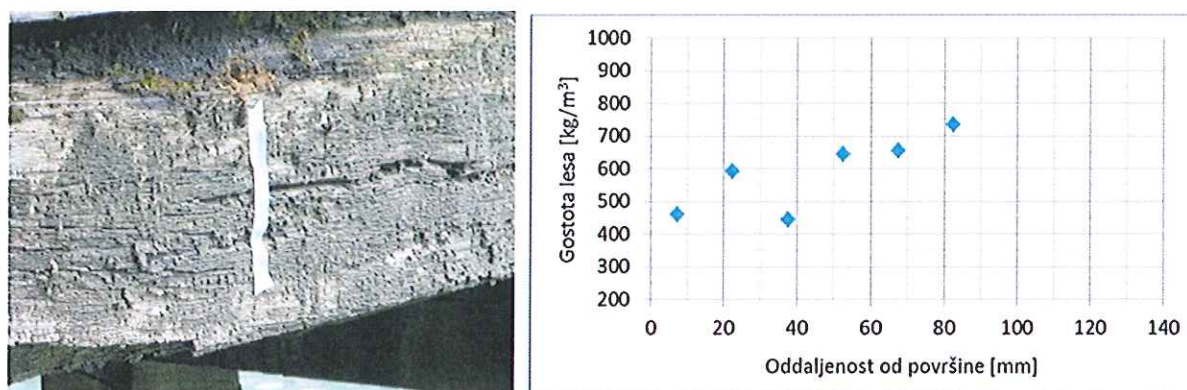
3.2.3.2 Gostotni profil in globina razkroja lesa

Vzdolžne lege

Potrdili smo intenzivno površinsko degradacijo zunanjih vzdolžnih leg mostu na celotni dolžni mostne konstrukcije, še posebej na zunanjih (bočnih) straneh mostu. Izkaže se, da so vizualne karakteristike značilno povezane s prečnim gostotnim profilom nosilnih leg na proučevanih lokacijah. Ob trosnjakih gliv razkrojevank lesa je bila gostota lesa značilno zmanjšana do globine vsaj 40 mm (slika 3.4). Tu potrdimo, da je do globine 20 mm gostota lesa pod karakteristično vrednostjo trdnostnega razreda D30 ($\rho_k \geq 530 \text{ kg/m}^3$). Na mestih z večjimi vzdolžnimi razpokami pa smo potrdili tudi do 50 mm globinsko degradacijo lesa (slika 3.5), kjer je gostota lesa pod karakteristično vrednostjo za trdnostni razred D30.

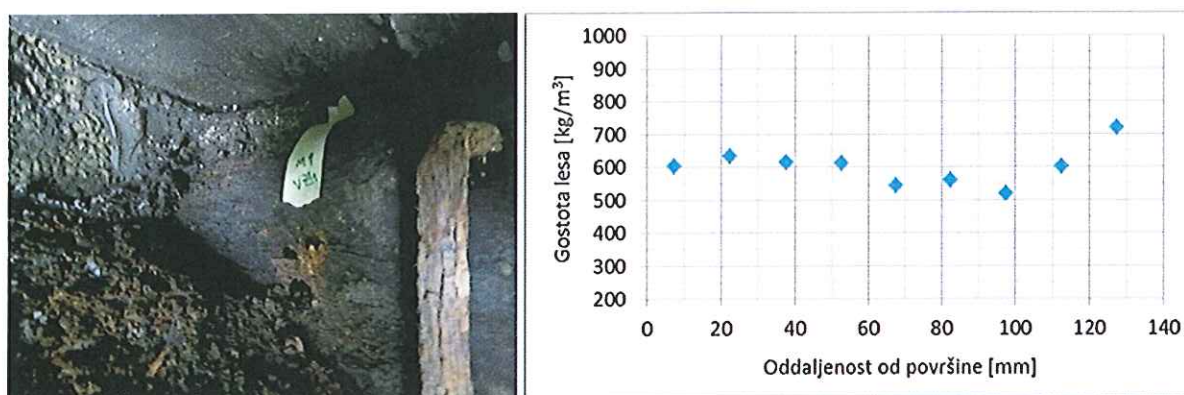


Slika 3.4 Pojav trosnjakov gliv razkrojevank lesa na površini zunanje vzdolžne lege mosta (VL7/E) (levo) ter prečni gostotni profil (desno).



Slika 3.5 Globinske razpoke ter poraščenost (mah) površine zunanje vzdolžne lege mosta (VL7/E) (levo) ter prečni gostotni profil (desno).

Pri vzdolžnih nosilnih legah predstavlja posebno kritično mesto stik leg z betonskim podstavkom na obeh straneh mostu (sl. 3.6). Na teh mestih sodi lesena mostna konstrukcija v razred izpostavitve 4, t.j. najzahtevnejši pogoji uporabe (SIST EN 335: 2013). Na teh lokacijah smo potrdili stik konstrukcijskih elementov z zemljo, okužbe z glivami razkrojevalkami in površinsko zmanjšanje trdote in tlačne trdnosti lesa. Degradacija lesa je na teh lokacijah drastična, in sega več kot 100 mm v notranjost prečnih prereзов nosilnih leg (VL1/A - VL1/E in VL7/A - VL7/E, $\rho \leq \rho_k$ (D30=)). Iz oblike gostotnega profila sklepamo, da se razkroj lesa širi pod čela lege vzdolžno v notranjost.

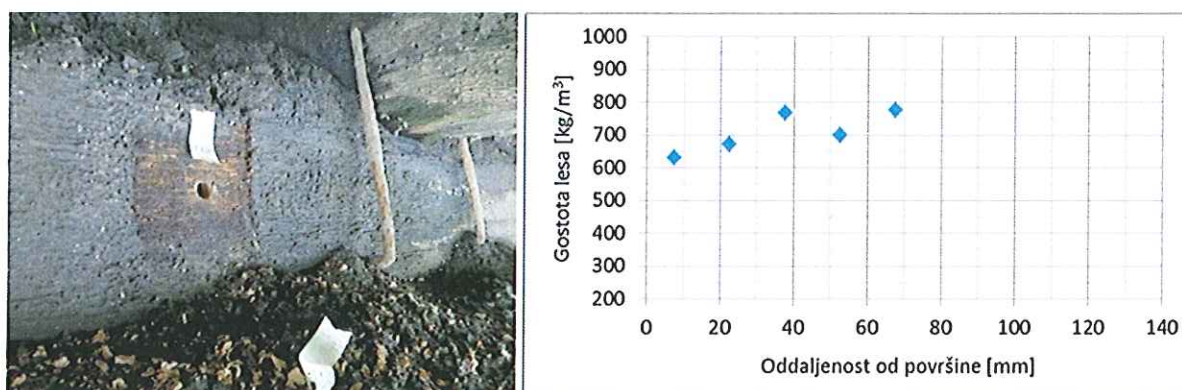


Slika 3.6 Stik krajnih vzdolžnih nosilnih leg mosta z betonskim podstavkom in z zemljo (VL7/C) (levo) ter prečni gostotni profil (desno).

Prečne lege

Gostotni profil prečnih leg, tudi na lokaciji krajnih opornikov (KO1, KO2) je ugodnejši. Na teh mestih smo sicer potrdili znižanje gostote lesa do globine 30 mm, vendar ne značilno pod karakteristično vrednostjo trdnostnega razreda D30 (slika 3.7.). Nekoliko slabši gostotni profil je pričakovati ob neposrednem stiku z betonskim opornikom, vendar pa je mesto nedostopno za izvedbo takšne meritve.

Na podoben gostotni profil prečnih leg je moč sklepati tudi neposredno pod mostno konstrukcijo, na stebriščih (PL1 do PL6), kar je vezano na primerljivost površinskega razkroja prečnih leg. Ta ugotovitev pa ne velja za konzolni del prečnih leg (del, ki je izven mostne konstrukcije in ima nosilno funkcijo ograje mostu). Na teh mestih že ocena površinskega razkroja lesa nakazuje na intenziven razkroj (pogl. 3.2.3.1) kjer je gostota lesa več ne izpolnjuje kriterija trdnostnega razreda D30.



Slika 3.7 Stik krajnih vzdolžnih nosilnih leg mosta z betonskim podstavkom in z zemljo (VL7/C) (levo) ter prečni gostotni profil (desno).

3.2.3.3 Nosilnost prereza konstrukcijskih elementov

Na osnovi vizualne ocene kakovosti vgrajenega lesa, vizualne ocene površinskega razkroja, izdelanih gostotnih profilov in s primerjanjem zahtev standarda o lastnostih lesa v posameznih trdnostnih razredih (SIST EN 338:2004) podajamo oceno zmanjšanja nosilnosti prečnega prereza konstrukcijskih elementov (izhodiščno razvrščenih v trdnostni razred D30) na $\frac{1}{2}$ dolžine konstrukcijskih elementov (lokacija maksimalnega upogibnega momenta):

Vzdolžne lege:

- zmanjšanje nosilnega prereza zunanjih vzdolžnih leg mostu (VL1/A, VL1/E, VL2/A, VL2/E, VL3/A, VL3/E, VL4/A, VL4/E, VL5/A, VL5/E, VL6/A, VL6/E, VL7/A, VL7/E) znaša med 30% do 45%
- zmanjšanje nosilnega prereza notranjih vzdolžnih leg mostu (VL1/B-VL1/D, VL2/B-VL2/D, VL3/B-VL3/D, VL4/B-VL4/D, VL5/B-VL5/D, VL6/B-VL6/D, VL7/B-VL7/D) znaša do 15 %

Prečne lege:

- zmanjšanje nosilnega prereza na lokacijah stebrišč (PL1 do PL6) ocenjujemo do 15 %
- zmanjšanje nosilnega prereza na lokacijah krajnih betonskih opornikov (KO1 do KO6) ocenjujemo do 25 %

Stebri:

- zmanjšanje nosilnosti prereza je predstavljeno v poglavju 2.2.1.2

Kritična mesta z vidika nosilnosti prerezov konstrukcijskih elementov:Vzdolžne lege:

- zmanjšanje nosilnega prereza krajnih vzdolžnih leg mostu (VL1/A-VL1/E, VL7/A-VL7/E) na lokacijah stika z betonskim opornikom znaša pribl. 80 %

Prečne lege:

- zmanjšanje nosilnega prereza vseh prečnih leg v zunanjem konzolnem delu, t.j. nosilnem delu ograje mostu ocenjujemo do 80 %

Stebri:

- zmanjšanje nosilnosti prereza je predstavljeno v poglavju 2.2.1.2

4 SKLEPI

Na podlagi rezultatov vizualnega pregleda in izvedenih terenskih in laboratorijskih preiskav, prikazanih v tem poročilu, podajamo naslednje pomembnejše zaključke detajlnega pregleda stanja in vgrajenih materialov mostu Št. 1 ter najnujnejše ukrepe potrebne sanacije.

- Na osnovi določenih značilnosti potrdimo, da je večina vgrajenega lesa hrasta ob gradnji lesenega mostu ustrezala značilnostim trdnostnega razreda D30 (Preglednica 3).
- Med dobo uporabe mostu je prišlo do različnih stopenj degradacije lesenih konstrukcijskih elementov, ki je odvisna od pozicije in izpostavljenosti posameznega konstrukcijskega elementa biotskim in abiotskim dejavnikom razkroja lesa. Degenerativne spremembe na vgrajeni hrastovini so vidne v zunanjih morfoloških in strukturnih spremembah ter v gostotni porazdelitvi materiala na prečnem prerezu konstrukcijskih elementov.
- Raziskava potrjuje zmanjšanje nosilnih prerezov v konstrukciji mostu (poglavja 2.2.1.2, 3.2.3.2, 3.2.3.3).
- Kritična mesta v nosilni konstrukciji mostu (poglavja 2.2.1.2, 3.2.3.2, 3.2.3.3), kjer je prišlo do bistvenega zmanjšanja nosilnosti prerezov so potrebna takojšnje obravnave. Predlaga se zamenjava teh konstrukcijskih elementov.
- Na kritičnih mestih konstrukcije mestu, zlasti na lokacijah krajnih opornikov (KO1, KO2) ter konzolnih delih prečnih leg (PL1 do PL6, KO1, KO2) je potrebno bolje rešiti problem navlaževanja lesa in s tem pospešene degradacije, kot je to izvedeno v obstoječem stanju.

Raziskave kažejo, da trenutno nosilnost objekta kot celote še ni pomembneje ogrožena, je pa pomembno zmanjšana njegova trajnost. V primeru, da se v naslednjih nekaj letih predlagani ukrepi ne izvedejo, lahko pričakujemo povečanje poškodb oziroma propad vitalnih nosilnih elementov objekta do te mere, da bo že ogrožena njegova (vsaj lokalna) nosilnost.

Poročilo vsebuje skupaj 20 strani + CD zgoščenko s fotodokumentacijo.

Pripravila:

dr. Gregor Trtnik, univ.dipl.inž.grad.



doc.dr. Aleš Straže (UL, BF, Oddelek za lesarstvo)

