

SPREMLJANJE VLAŽNOSTI LESENE STREHE GOLOBARSKÉ ŽIČNICE - PRELIMINARNI REZULTATI

MONITORING THE MOISTURE CONTENT OF ROOFING ELEMENTS ON THE GOLOBAR CABLE YARDING - PRELIMINARY RESULTS

Miha HUMAR¹, Boštjan LESAR²

(1) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, miha.humar@bf.uni-lj.si

(2) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, bostjan.lesar@bf.uni-lj.si

IZVLEČEK

Lesene strehe so v Sloveniji tradicionalne. V časih Valvazorja so bile značilne za pomembnejše stavbe, danes pa se uporabljajo predvsem za kritje planšarskih stanov in objektov v hribovitih predelih severozahodne Slovenije. Ker je lesena kritina draga, želimo življenjsko dobo kritine podaljšati z izbiro materiala in izvedbo detajlov. Streho Golobarske žičnice smo pokrili s strešniki, izdelanimi iz lesa smreke (*Picea abies*) in macesna (*Larix decidua*). Del smrekovih strešnikov je bil termično modificiran in/ali obdelan z vodno emulzijo voskov. S spodnje strani smo v nekaj strešnikov zarezali utori, s tem povečali površino lesa in pospešili sušenje po padavinskih dogodkih. Na strešnike smo namestili opremo za spremljanje vlažnosti lesa. Na podlagi polletnega spremljanja vlažnosti lesa lahko sklepamo, da utori močno skrajšajo čas, ko je vlažnost strešnikov primerna za razkroj. Še bolje se obnese, če strešnike z utori premažemo z vodno suspenzijo voska. Do podobnih zaključkov lahko pridemo tudi pri termično modificiranem lesu.

Ključne besede: les, termična modifikacija, monitoring, vlažnost lesa, klima materiala

ABSTRACT

Wood is a traditional roofing material in Slovenia. In the days of Valvazor, wooden roofing was typically used on more important buildings, but today it is predominately used on huts and houses in the hilly regions of northern and northwestern Slovenia. Because wooden roofing is expensive, we investigated the possibility of extending the service life of the roofing through material selection and detailing. The roof of the Golobar cable yarding was covered with tiles made of spruce (*Picea abies*) and larch (*Larix decidua*). Part of the spruce roofing was thermally modified and/or treated with a water wax emulsion. From the underside, we cut grooves into a few roof tiles to increase the specific surface of the wood and accelerate drying after rainfall events. In addition, wood moisture monitoring sensors were installed on the roof tiles. Based on six months of measurements of the wood moisture content, it can be presumed that the grooves shorten the time when the moisture content of the roof tiles is optimal for fungal degradation. Performance is further increased if the tile surface is coated with an aqueous wax suspension. Similar conclusions can be drawn for thermally modified wood.

Keywords: wood, thermal modification, monitoring, wood moisture content, material climate

GDK 833.13+812.210(045)=163.6

DOI 10.20315/ASetL.122.2

Prispelo / Received: 4. 5. 2020

Sprejeto / Accepted: 16. 6. 2020



1 UVOD

1 INTRODUCTION

Slovar Slovenskega knjižnega jezika definira streho kot del, ki pokriva in ščiti stavbo pred padavinami (SSJK, 2014). Lesena strešna kritina je bila poleg slamnate v preteklosti na ozemlju današnje Slovenije ena najbolj razširjenih kritin (Šarf, 1976). Upoštevati je treba, da je bila gozdnatost Slovenije svojčas bistveno manjša od današnje, zato je lesa primanjkovalo (Kapljan in sod., 2009). Zato ne preseneča, da so kmečke hiše na Valvazorjevih upodobitvah iz 17. stoletja večinoma krite s slamo. Z leseno kritino so bile pokrite le pomembnejše stavbe, kot so grajska poslopja, pristave in sakralni objekti (Valvasor in sod., 1969). Časovno

lahko sledimo lesenim streham od srednjeveških upodobitev in Valvazorjevih poročil, ko so lesene strehe pomenile boljšo in zahtevnejšo gradnjo stavb, prek nadaljnjih stoletij, ko se je tovrstna kritina predvsem v severozahodni Sloveniji obdržala do danes. Za alpsko klimo z ostrim podnebjem se je lesena kritina izkazala za ustrežnejšo od slamnate. Žal so na leseno kritino v 20. stoletju pogosto gledali kot na znamenje bajtarstva in zaostalega gospodarstva, zato jo je hitro nadomestila opečna in kasneje cementno-azbestna kritina (Šarf, 1976). Opečna kritina se je v Sloveniji na kmečkih objektih uveljavila šele proti koncu 19. stoletja. Lesena kritina se je v Sloveniji ohranila predvsem na Fužinskih planinah, kmetijah na Koroškem, v dolini Trente, Gor-

njesavski dolini in na Veliki planini (Cevc in sod., 1993). Najbolj znana lesena kritina je cepljena deščica, imenovana skodla, včasih tudi škodla, šinkl (Gorenjska), šikl (Štajerska), šinktl (Slov. Koroška), šindra (Notranjska). Ime skodla verjetno izvira iz italijanske besede scandola, latinske besede 'scandula' in nemškega poimenovanja za cepljeno leseno deščico 'die Schindel' (Jerin in Povše, 2017). Skodle so izdelovali iz jedrovine smrekovega, ponekod tudi macesnovega lesa, le na Notranjskem in Kočevskem so v ta namen uporabljali tudi les jelke (Šarf, 1976). Za skodle se uporablja les najvišje kakovosti, z enakomerno počasno rastjo. Ker se smrekov les lepše cepi kot macesnov (Wagenfuhr, 2007), so smrekove skodle praviloma daljše od macesnovih. Danes so smrekove skodle praviloma dolge med 80 in 100 cm, macesnove pa praviloma niso daljše od 50 cm. Kljub temu, da so skodle danes izdelane predvsem iz radialno cepljenih deščic, so svojčas uporabljali tudi skodle iz tangencialno cepljenih deščic. Poleg cepljenih se za kritje streh uporabljajo tudi žagane deščice ali deske. Te so praviloma daljše in so lahko izdelane iz manj kakovostnega lesa (Jerin in Povše, 2017). Tradicionalno so žagane deske za kritje streh uporabljali predvsem v dolinah, kjer so bili na voljo vodni viri za pogon žag. Žaganje desk za kritje je bilo namreč cenejše od cepljenja. Poleg tega se je za žaganje lahko uporabljal les slabše kakovosti, bolj kakovosten les so prodali. V planinah, kjer ni bilo na voljo vodnih virov za pogon žag, transport pa je bil drag in zelo zahteven, so za kritje uporabljali predvsem cepljene deščice. Tako so kmečka gospodarstva dosegla najvišji vrednostni izkoristek. Področje izdelave lesene kritine pokriva standard DIN 68119 (DIN, 2019). **V skladu s tem standardom** je skodle dovoljeno izdelovati iz naslednjih lesnih vrst: evropska bukev (*Fagus sylvatica*), dob in graden (*Quercus robur* in *Q. petraea*), smreka (*Picea abies*), bela jelka (*Abies alba*), evropski in sibirski macesen (*Larix decidua* in *L. sibirica*), jedrovina rdečega bora (*Pinus sylvestris*), nutkanska pacipresa (*Xanthocyparis nootkatensis*), orjaški klek (*Thuja plicata*), ameriški klek (*Thuja occidentalis*) in eperua (*Eperua* sp.). Dolžina deščic za kritje naj bi bila med 150 in 800 mm, odvisno od vrste kritja. Od dolžine je odvisna tudi debelina, ki naj bi bila med 4 in 20 mm. V Sloveniji so skodle tradicionalno debele od 5 do 8 mm (Kranjska Gora) do 12 mm (Velika planina) (Koželj, 2020), žagane deske pa nekoliko debelejšje (20–25 mm).

Lesena kritina je tradicionalno močno zastopana v Trenti. Z leseno streho so pokriti tako stanovanjski kot tudi gospodarski in kmetijski objekti. Med drugim je z lesom pokrita tudi spodnja postaja Golobarske žičnice. V Sloveniji ima spravilo lesa z žičnicami dolgo tradi-

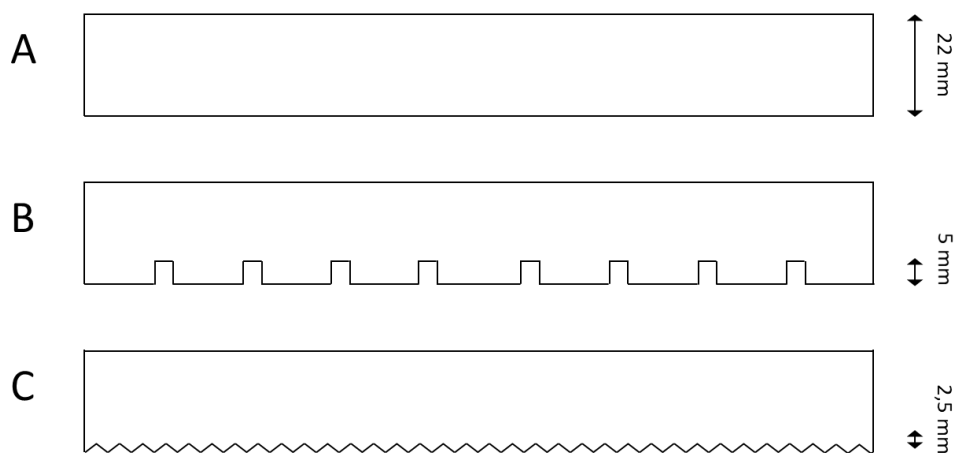
cijo. Pantzova žičnica, ki stoji ob cesti Bled-Bohinj, je najstarejša še stoječa gozdarska žičnica v Evropi. V 82 letih delovanja so z njo prepeljali več kot pol milijonov kubičnih metrov lesa in oglja (Brate, 1988). V Posočju so za spravilo lesa uporabljali krožno gravitacijsko žičnico - Tolminko. Najbolj znana je Golobarska žičnica, ki je povezovala 1250 metrov visoko planino Golobar z dolino (Kozorog, 1992). **Golobarska žičnica je bila postavljena leta 1931.** V letih 1930–1943 je na Bovškem obratovalo 8 krožnih žičnic, nekatere so delovale le nekaj let, druge, med njimi tudi Golobarska žičnica, pa tudi več 10 let. Tradicija žičničarstva v Posočju izvira iz rabe vojaških žičnic med 1. svetovno vojno. Golobarska žičnica je bila ena zadnjih delujočih pri nas, saj je redno delala vse do leta 1968. Spodnja postaja je eden redkih ohranjenih tovrstnih objektov pri nas, zgornja postaja in podporni stebri pa so propadli. Golobarska žičnica je bila leta 1989 razglašena in zaščitena kot tehnični spomenik (Kozorog, 1992). **Glede na to, da je Golobarska žičnica speljana v soteski, nad reko Sočo, je izpostavljena ostrim klimatskim razmeram in ponuja odlično priložnost za monitoring vlažnosti lesa.**

Namen monitoringa vlažnosti lesa je oceniti ogroženost posamezne mikrolokacije, spremljati obnašanje materialov in na podlagi teh podatkov napovedati življenjsko dobo lesa (Humar in sod., 2019a). Za rast lesnih gliv so poleg lesa ali primerljivih lignoceluloznih materialov potrebni še naslednji dejavniki: kisik, nekoliko kislo okolje (pH med 4,0 in 5,5), temperatura (med 3 °C in 40 °C) in ustrezna vlažnost lesa (Humar in sod., 2020b). Glive lahko razkrajajo les z ustrezno vlažnostjo, če je ta presuh ali prevlažen, biokemijski procesi razgradnje lesa ne potekajo. Različne študije o glivah razkrojevalkah lesa so pokazale, da je minimalna vlažnost lesa, primerna za razkroj, odvisna od vrste glive in lesa in se giblje od okoli 25 % do 30 % (območje nasičenja celičnih sten) (Schmidt, 2006; Isaksson in sod., 2010). Številni avtorji (Stienen in sod., 2014; Meyer in sod., 2016; Meyer-Veltrup in sod., 2017; Zabel in Morrell, 2020) **so v raziskavah dokazali, da glive lahko kolonizirajo in nato razkrajajo les tudi z vlažnostjo, nižjo od območja nasičenja celičnih sten, če je v bližini le dovolj vode.** Dokazali so, da se je v skrajnih primerih micelij razrašal po lesu z vlažnostjo 17,4 %. Optimalna temperatura za delovanje gliv se giblje med 20 °C in 30 °C (Teodorescu in sod., 2017). Glive lahko razkrajajo les v območju med 3 °C in 40 °C. Pri nižjih temperaturah zmrzne voda, pri višjih pa prej ali slej nastopi denaturacija proteinov, zato se razkroj ustavi ali močno upočasni. Temperaturo in vlažnost lesa lahko skupaj opišemo kot klimo v materialu (ang. material climate). To bi bilo treba obravnavati kot glavni parameter

Lesna vrsta / Wood species	Modifikacija / Modification	Profil / Profile	Okrajšava / Abbreviation
Smreka	/	A	Pa-N-A
Smreka	/	B	Pa-N-B
Smreka	/	C	Pa-N-C
Smreka	Silvacera	A	Pa-W-A
Smreka	Silvacera	B	Pa-W-B
Smreka	Silvapro	A	Pa-TM-A
Smreka	Silvapro+Silvacera	A	Pa-TMW-A
Smreka	Silvapro	B	Pa-TM-B
Smreka	Silvapro+Silvacera	B	Pa-TMW-B
Macesen	/	A	Ld-A

Preglednica 1: Uporabljeni materiali in obdelave za izdelavo strešnikov Golobarske žičnice

Table 1: Materials and machining used in the production of the planks used for the Golobar cable yarding



Slika 1: Profili desk, uporabljenih za kritje Golobarske žičnice

Fig. 1: Profiles of the planks for the roof of the Golobar cable yarding

pri napovedovanju življenjske dobe lesa (Brischke in sod., 2008; Isaksson in Thelandersson, 2013; Pouska in sod., 2016).

Namen tega prispevka je opisati monitoring vlažnosti lesenih strešnikov in nekaj elementov konstrukcije na delno prenovljeni Golobarski žičnici. Na prenovljeni strehi so nameščene lesene deske, izdelane iz različnih na lesu osnovanih materialov (termično modificirane ga lesa, z voski obdelanega lesa, smrekovega in macesnovega lesa ...). Ti podatki bodo osnova za razvoj optimalne rešitve za leseno kritino za območje zgornjega Posočja. Na osnovi dinamike vlažnosti lesa in literaturnih podatkov o odpornosti lesa je mogoče oceniti življenjsko dobo in s tem stroške vzdrževanja.

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Materiali za izvedbo strešne kritine

2.1 Materials used for roofing

Za izdelavo strehe Golobarske žičnice smo uporabili 10 tipov lesenih strešnikov (desk), kot je razvidno

iz slik 1 in 2 ter preglednic 1 in 2. Debelina strešnikov je bila v skladu s trentarsko tradicijo 22 mm. Strešniki so bili večinoma (9 od 10 materialov) izdelani iz lesa smreke (*Picea abies*), manjši delež je bil za referenco izdelan iz lesa evropskega macesna (*Larix decidua*). Polovica smrekovih strešnikov je bila termično modificirana v skladu s postopkom Silvapro v podjetju Silvaproduct pri temperaturi 230 °C (Rep in sod., 2012). Ena petina modificiranih in nemodificiranih strešnikov je bila površinsko obdelana z vodno emulzijo voska Silvacera (Humar in sod., 2017). Strešniki so imeli različne profile. S spodnjega dela smo v strešnike s krožnim žagalnim strojem napravili zareze oziroma izdelali zobate profile (slika 1). S tem smo povečali specifično površino, kar bi se moralo pokazati v hitrejšem sušenju in zmanjšanju notranjih napetosti (Heshmati in sod., 2018). Vse kombinacije so razvidne iz preglednice 1. Na strehi Golobarske žičnice ja vsaj 20 strešnikov izdelanih iz posamezne različice strešnikov (slika 2).

2.2 Izvedba monitoringa

2.2 Monitoring

Na objektu Golobarske žičnice (slika 2) opravljamo več tipov meritev, in sicer spremljamo klimatske razmere, temperaturo (T) in relativno zračno vlažnost (RZV) in vlažnost lesa (u). V pokritem delu Golobarske žičnice, stran od kakršnih koli virov zamakanja, smo namestili opremo za spremljanje relativne zračne vlažnosti in temperature proizvajalca Scanntronik (Nemčija). Na zapisovalnik podatkov (data-logger) Thermofox (Scanntronik, Nemčija) smo namestili senzor Thermo-Hygro, ki deluje v merilnem območju med -10 °C do +50 °C in RZV med 0 in 99 % RZV (ponovljivost 1,8 % RZV oziroma 0,3 °C). Podatke (meritev, najnižja in najvišja vrednost) smo beležili v urnih razmikih v obdobju med 17. 10. 2019 in 23. 4. 2020. V tem obdobju smo zabeležili 9000 podatkov. Podobna opazovanja potekajo tudi na drugih lokacijah (Kržišnik in sod., 2018; Humar in sod., 2019b). Podatke o padavinah smo pridobili iz arhiva Agencije Republike Slovenije za okolje. Podatki se nanašajo na padavinsko postajo Trenta (ARSO, 2020).

V strešne elemente in elemente konstrukcije smo namestili senzorje za spremljanje vlažnosti lesa. Vlažnost lesa določamo z električno uporovno metodo. V ta namen uporabljamo izolirane jeklene elektrode, ki merijo električno upornost v sredini vzorcev. V vzorce smo na sredino tangencialne ploskve na razdalji

32 mm privijačili 2 vijaka iz nerjavnega jekla premera 3,9 mm (Bauhaus Profi Depot, Nemčija), ki smo ju predhodno izolirali z univerzalno toploskrčljivo cevjo - DERAY®-H. Na vijake smo pritrdili elektrode in jih povezali z merilno opremo. Vlažnost smo ugotavljali v sredini, saj se večina gliv navadno razvije v osrednjem delu vzorcev, zato je to mesto najpomembnejše. Električno upornost smo merili vsakih dvanajst ur z merilno opremo Gigamodul (Scanntronik, Nemčija) in jo beležimo z zapisovalci podatkov Thermofox (Scanntronik, Nemčija). Vzporedno z vlažnostjo beležimo tudi temperaturo na površini vzorcev. Iz podatkov o električni upornosti in temperaturi lesa smo izračunali vlažnost lesa (Brischke in Lampen, 2014; Humar in sod., 2020b; Kržišnik in sod., 2020). Meritve vlažnosti so podrobneje že opisane (Humar in sod., 2020a, 2020b; Kržišnik in sod., 2018, 2020).

2.3 Analiza razkrojenosti lesa z uporovnim vrtnjem

2.3 Analysis of degradation with resistance drilling

Razkrojenost lesa smo ocenili z napravo Resistograph IML PD500, ki temelji na beleženju upora med vrtnjem in beleženju sile, potrebne za prodiranje svedra v les. Z jeklenim svedrom premera 2 mm v les zvrtnemo luknjico in pri tem beležimo upor materiala pri vrtnanju. Metoda temelji na tem, da se za vrtnanje luknje



Slika 2: Golobarska žičnica, pokrita z lesenimi strešniki iz različnih na lesu osnovanih materialov (foto: Miha Humar)

Fig. 2: Golobar cable yarding. Roof covered with wooden shingles made of various wood-based materials is clearly seen. (Photo: Miha Humar)

Merilno mesto <i>Measurement position</i>	Povprečje <i>Average</i> (%)	Mediana <i>Median</i> (%)	Najvišja u <i>Max MC</i> (%)	Delež meritev / <i>Percentage of measurements</i>		
				u >20% <i>MC >20%</i> (%)	u >25% <i>MC >25%</i> (%)	u >30% <i>MC >30%</i> (%)
Pa-N-A	21,9	21,5	39,4	58	31	13
Pa-N-B	19,3	20,7	30,8	53	13	0
Pa-N-C	18,4	19,5	31,2	45	8	0
Pa-W-A	18,4	19,9	26,8	49	3	0
Pa-W-B	11,3	11,8	17,7	0	0	0
Pa-TM-A	17,4	18,3	36,4	40	25	7
Pa-TM-B	15,6	15,9	35,3	33	17	3
Pa-TMW-A	14,8	14,4	38,5	27	15	3
Pa-TMW-B	14,6	14,4	35,1	26	13	1
Ld-A	25,7	27,3	42,6	74	58	40
Pa-prezrač. letev	19,3	19,7	23,7	44	0	0
Pa-tram	17,4	17,7	19,5	0	0	0
Pa-steber zgoraj	17,5	17,9	19,5	0	0	0
Pa-steber spodaj	34,4	25,2	104,0	75	51	42

Preglednica 2: Povzetek meritev vlažnosti na izbranih mestih Golobarske žičnice. Število meritev je 378.

Table 2: Agregated data from wood moisture monitoring on the Golobar cable yarding. No. of measurements is 378.

v razkrojen les uporabi manj energije kot za vrtnanje v zdrav les z dobrimi mehanskimi lastnostmi. Če naprava ne zabeleži upora, pomeni, da je les močno razkrojen (Kržišnik in sod., 2019; Sharapov in sod., 2019). Na objektu smo opravili 80 meritev, zato lokacij meritev ni mogoče prikazati na sliki. Meritve so potekale na vseh konstrukcijskih elementih s presekom, večjim od 15 cm × 15 cm.

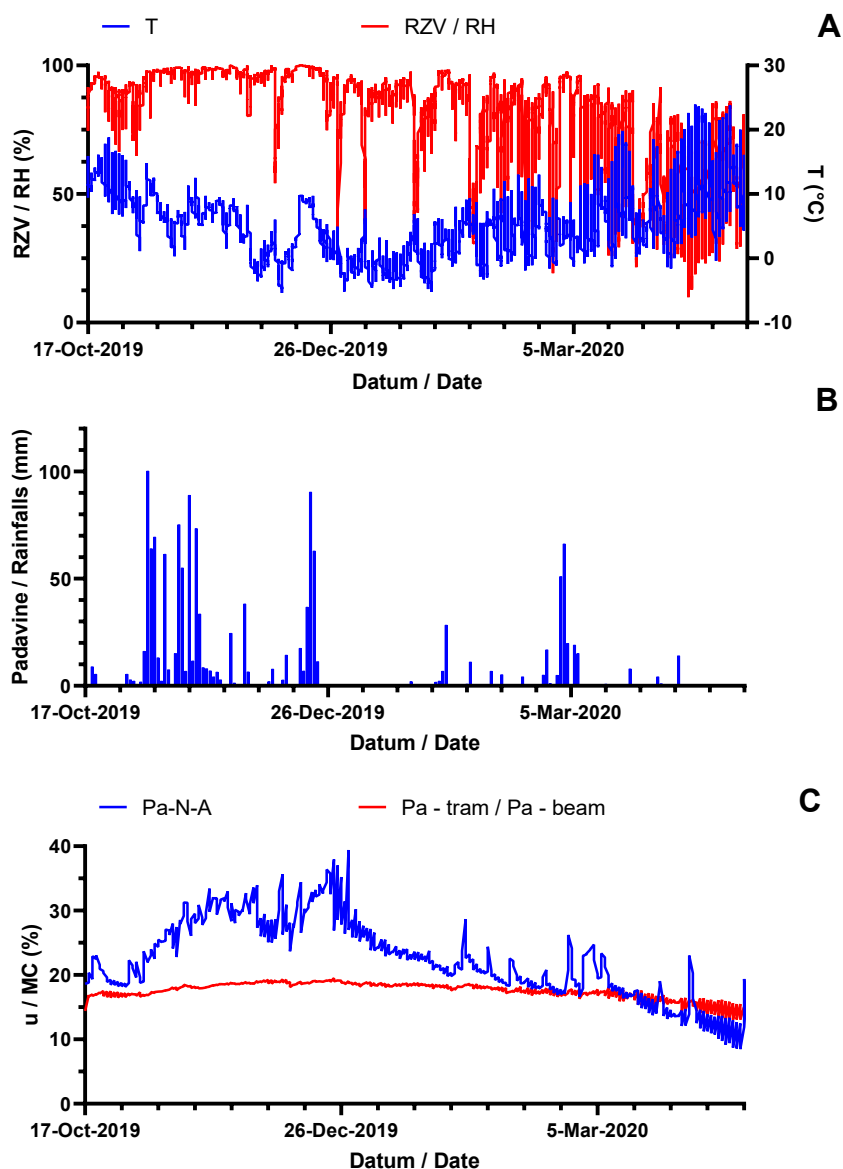
3 REZULTATI IN RAZPRAVA 3 RESULTS AND DISCUSSION

Temperatura je poleg vlažnosti lesa eden ključnih dejavnikov, ki vplivajo na glivni razkroj. Tako previsoke kot tudi prenizke temperature upočasnijo ali celo zaustavijo glivni razkroj. Minimalna temperatura, potrebna za glivni razkroj, je okoli 3 °C (Schmidt, 2006). Kakorkoli, pri analizi temperatur je treba upoštevati, da temperatura lahko znotraj posamezne lokacije močno niha, kot je razvidno iz monitoringa lovske kočice na Spitsbergih (Gobakken in sod., 2008). Pri analizi klimatskih razmer je treba upoštevati, da so bile meritve opravljene v hladnejši polovici leta. Temperatura je nihala med -5,4 °C (12. 12. 2019) in 23,9 °C (9. 4. 2020). Povprečna temperatura je bila 5,2 °C. Kljub hladnejšemu delu leta je bila temperatura skoraj 2/3 obdobja višja od meje, potrebne za glivni razkroj (slika 3A). Tudi skozi zimske mesece temperatura ni padla pod mejo, ki bi uničila glive v lesu (Unger in sod., 2001). Poleg temperature na razvoj gliv (predvsem gliv plesni in terciarnih modrivk) vpliva tudi relativna zračna

vlažnost (RZV). Če je RZV visoka, les absorbira vodno paro iz zraka, če pa je RZV nizka, se les suši. V primeru, da je temperatura rosišča blizu zunanji temperaturi, lahko nastane kondenzacija, kar se pokaže v hitrem zvišanju vlažnosti površine lesa. Plesnenje na površini lesa se pojavi, če RZV za daljše obdobje preseže 80 %, medtem ko so za razkroj potrebna daljša, strnjena obdobja z RZV višjo od 90 %. RZV je na trasi golobarske žičnice nihala med 100 % (deževna obdobja v novembru in decembru) in 9,9 % (9. april 2020) (slika 3A). Za spomladansko obdobje so značilni tedni z zelo suhim zrakom (Kržišnik in sod., 2018), kar se kaže predvsem v nizkih vrednostih v mesecu aprilu. Povprečna RZV v obdobju merjenja je bila 80,8 %.

V obdobju monitoringa je v Trenti padlo 1365 mm padavin (ARSO, 2020) (slika 3B). Toliko padavin v povprečju v Ljubljani pade v celem letu. Ta podatek nakazuje, da je območje Trente vlažno, kar se kaže tudi v vlažnosti lesa. Za območje Zgornje Soške doline so značilne intenzivne padavine. 4. 11. 2019 je tako padlo več kot 100 mm padavin, v kar dvanajstih dneh smo zabeležili več kot 50 mm padavin na dan (slika 3B). Po drugi strani je bilo spomladansko obdobje zelo suho, kar je tradicionalno značilno za marec, na kar nakazuje že staro slovensko ime za ta mesec - sušec.

Na objektu Golobarske žičnice opravljamo tudi monitoring vlažnosti lesa. Na sliki 3C sta prikazana dva reprezentativna primera gibanja vlažnosti lesa, lesen strešnik (Pa-N-A), ki je bil izpostavljen vsem vremenskim vplivom, in star tram, ki ni bil izpostavljen



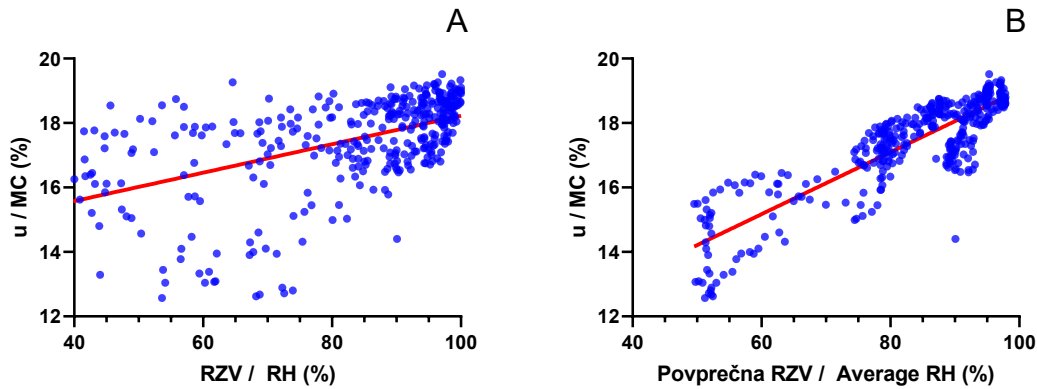
Slika 3: Gibanje (A) relativne zračne vlažnosti (RZV) in temperature, (B) padavin in (C) vlažnosti lesa (u) na Golobarski žičnici v obdobju monitoringa med 17. 10. 2019 in 23. 4. 2020. Oznake merilnih mest so razvidne iz preglednice 2.

Fig. 3: Distribution of (A) relative humidity (RH) and temperature, (B) rainfall and (C) wood moisture content during the monitoring period between 17. 10. 2019 and 23. 4. 2020 on the Golobar cable yarding. Wood MC monitoring locations are shown in Table 2.

padavinam. V obeh primerih je meritev potekala na smrekovem lesu. Na vlažnost lesenih strešnikov najbolj vplivajo padavinski dogodki. Zato je bila v prvem obdobju merjenja vlažnost strešnika višja od vlažnosti trama. V mesecu aprilu, za katerega je bilo značilno sušno obdobje, je verjetno predvsem zaradi osončenosti in relativno majhne debeline strešnikov vlažnost lesa strešnikov padla pod vlažnost tramov. Strešniki so v skladu s standardom EN 335 (CEN, 2013) v 3.2 razredu uporabe, tramovi pa v drugem. Vlažnost tramu smo primerjali z RZV. Povezava med aktualno vlažnostjo ni najboljše ($r^2 = 0,32$; $P < 0,0001$) (slika 4A). Na vlažnost lesa veliko bolj kot trenutna RZV vpliva vlažnost pre-

teklih dni. Zato smo še izračunali, kakšna je povezava med vlažnostjo lesa in desetdnevnim povprečjem RZV. Kot je razvidno iz slike 3B, je ta povezava veliko tesnejša ($r^2 = 0,75$; $P < 0,0001$). Ta rezultat potrjuje, da na les v drugem razredu uporabe vpliva predvsem relativna zračna vlažnost in temperatura.

Podatki o meritvah vlažnosti so prikazani v preglednici 2. Pri analizi podatkov je treba upoštevati, da je bila večina strešnikov pred montažo zračno suhih, z izjemo macesnovih. Macesnove deske pred vgradnjo še niso bile suhe, zato jih v tem prispevku ne obravnavamo podrobno. Ker je uporabna meritev vlažnosti manj natančna pri višjih vlažnostih nad območjem na-



Slika 4: Povezava med 12-urnim povprečjem relativne zračne vlažnosti in vlažnostjo lesa (A) ter 10-dnevnim povprečjem relativne zračne vlažnosti in vlažnostjo lesa (B)

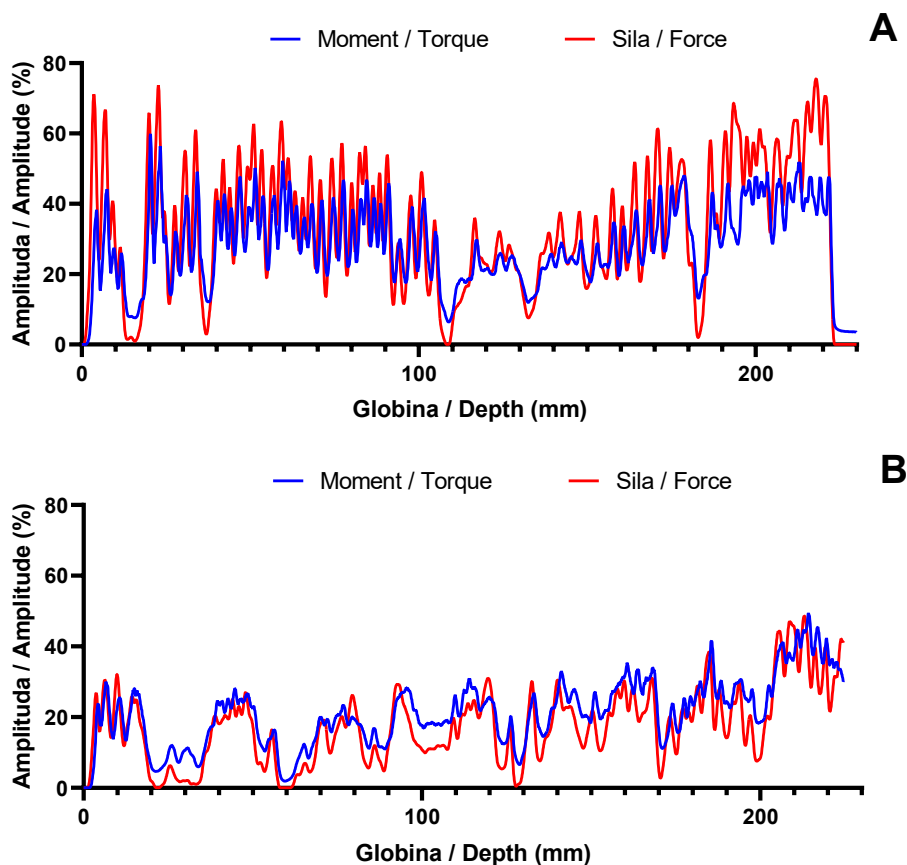
Fig. 4: Correlation between 12-h average relative humidity and wood moisture content (A), and ten-day average relative humidity and wood moisture content (B)

sičenja celičnih sten, je za primerjavo podatkov bolje uporabiti mediane. Med vsemi strešniki, izdelanimi iz nemoificiranega in z voski neobdelanega smrekovega lesa, smo najvišjo vlažnost zabeležili pri strešnikih Pa-N-A. Ti so imeli pravokoten presek tipa A, brez dodatnih utorov (slika 1). Dodatni utori so imeli pozitiven vpliv na vlažnost lesa. Utori so prispevali k večji površini strešnikov, zato so se strešniki hitreje posušili. Če med seboj primerjamo strešnike tipa B in C, vidimo, da se strešniki tipa C obnašajo še nekoliko bolje. In sicer, mediana vlažnosti pri smrekovih strešnikih tipa A je 21,5 % (Pa-N-A), pri strešnikih tipa B 20,7 % (Pa-N-B) in pri strešnikih tipa C 19,5 % (Pa-N-C) (preglednica 2). Podobno se razlike kažejo tudi pri deležu meritev, ko vlažnost lesa presega 25 %. Ta vlažnost se upošteva kot meja, nad katero se močno poveča verjetnost glivnega razkroja (Kržišnik in sod., 2018). V skladu z zadnjimi meritvami se pri smrekovem lesu razkroj pojavi, ko število dni z vlažnostjo nad 25 % preseže 325 dni (Isaksson in sod., 2013; Meyer-Veltrup in sod., 2017; Kržišnik in sod., 2018). Pri strešnikih brez utorov smo v obdobju monitoringa zabeležili kar 31 % takšnih dni, pri smrekovih strešnikih z utori tipa C pa le 8 % (preglednica 2).

Še izrazitejši vpliv na vlažnost strešnikov kot utori je imela obdelava lesa z voski *Silvacera*. Vosek na površini tvori vodo-odbojen film, ki omogoča difuzijo vodne pare in sušenje lesa (Lesar in sod., 2011). Kombinacija voskov in profilov na strešnikih je delovala sinergistično. Tako je bila mediana vlažnosti smrekovih strešnikov, obdelanih z voski s profilom B, ves čas nižja od mejne vrednosti 25 %. Še celo več, vlažnost ni v obdobju merjenja kljub intenzivnim padavinam nikoli preseгла 20 % (preglednica 2). Po drugi strani je za termično modificiran les značilno, da se mu zaradi modi-

fikacije poveča permeabilnost. Zato med padavinskimi dogodki pogosto vpije več vode kot nemoificiran les, vendar se tudi hitreje posuši. Zato je bilo število dni, ko je vlažnost termično modificiranega lesa preseгла postavljene mejne vrednosti, primerljiva z vlažnostjo smrekovega lesa. Mediana termično modificiranega lesa (18,3 %; Pa-TM-A) je bila nižja od mediane nemoificiranega lesa (21,5 %, Pa-N-A) (preglednica 2). K temu so v največji meri prispevale sorpcijske lastnosti modificiranega lesa. V suhih obdobjih je v enakih klimatskih razmerah ravnovesna vlažnost modificiranega lesa bistveno nižja od vlažnosti ne-modificirane smreke (Hill, 2006; Esteves in Pereira, 2009; Humar in sod., 2020a). Podobno kot smo opisali pri nemoificirani smrekovini, so imeli utori in obdelava z voski pozitiven vpliv tudi na vlažnost lesa modificiranega lesa. Obdelava z voski je upočasnila navlaževanje termično modificiranega lesa in utori so povečali specifično površino lesa, kar se je pokazalo v nižjih vlažnostih v primerjavi z modificiranim smrekovim lesom. Zaradi večje permeabilnosti termično modificiranega lesa smo kljub utorom in obdelavi z voski na teh vzorcih zaznali nekaj meritev, ko je vlažnost lesa presegala 25 %.

Za primerjavo smo spremljali še vlažnost na nekaj elementih konstrukcije Golobarske žičnice. Te meritve nam omogočijo, da ocenimo ogroženost konstrukcije in predvidimo razkroj v prihodnje. Prvi senzor je bil nameščen na letvi v zračnem kanalu. Ta letev ni neposredno izpostavljena padavinam, vendar je v stiku z vlažnimi škodlami. Vlažnost te letve ni nikoli preseгла 25 %, kar 44 % časa pa je bila vlažnost višja od 20 %. Del razlogov za visoko vlažnost teh letev je treba pripisati dejstvu, da te letve ob vgradnji niso bile suhe, temveč jih je tesar vgradil, ko so bile še vlažne. Ta podatek nakazuje na visoko vlažnost v zračnem kanalu. Priča-



Slika 5: Meritev razkrojenosti lesenega tramu A in spodnjega dela stebra B z uporavnim vrtanjem. Modra krivulja prikazuje meritve sile, s katero prodira igla v les, rdeča pa odpor pri vrtanju.

kujemo, da se bo vlažnost v poletnih dneh zaradi visokih temperatur nekoliko spustila. Tako tam kot zgornji del stebra sta v drugem razredu uporabe v skladu s standardom EN 335 (CEN, 2013). To se kaže tudi v vlažnostih lesa, ki nikoli ne presežejo 20 %. To kaže na to, da na Golobarski žičnici ne prihaja do zamakanja in da dež tudi v primeru vetra ne zmoči vitalnih delov konstrukcije. Bistveno višja je bila vlažnost stebra v bližini tal. Na tem mestu smo zabeležili tudi najvišjo vlažnost (104 %) med celotnim obdobjem monitoringa. Povprečna vrednost na tem mestu je bila 34,4 %, mediana pa 25,2 %. Vlažnost lesa je bila polovico časa monitoringa višja od 25 % (preglednica 2). Razlog za to je dejstvo, da padavine s strehe odteka v bližino stebra, zato je zaradi odboja vode ta del Golobarske žičnice zelo izpostavljen vlaženju.

Meritve uporabnega vrtanja so pokazale, da je večina konstrukcije Golobarske žičnice v relativno dobrem stanju. Na konstrukciji, ki je v drugem razredu uporabe, kot to predpisuje standard EN 335 (CEN, 2013), nismo opazili znakov razkroja. Upor lesa pri vrtanju je

Fig. 5: Measurements of the degradation of the wooden beam (A) and lower part of the pillar (B) with resistance drilling. The blue curve indicates the force of the needle during penetration, and the red curve indicates drilling resistance.

v danih razmerah vrtanja na tramu dosegal 27 % maksimalnega navora, pri stebri pa le 20 %. Tu in tam je opaziti znake delovanja hišnega kozlička. Razkroj je opaziti le na spodnjem delu stebrov, kjer prihaja do škropljenja meteorne vode. Razkroj je opaziti nekaj cm pod površino. To je posebej izrazito, ker objekt nima urejenih žlebov (slika 2). Vizualna opazovanja so potrdile tudi meritve z rezistografom (slika 5).

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

Golobarska žičnica je pomemben spomenik tehnične dediščine v Sloveniji. Objekt je v celoti izdelan iz lesa in leži v vlažnem okolju nad reko Sočo v območju z veliko padavinami. To se kaže v večji ogroženosti lesa zaradi delovanja gliv razkrojevalk. Zato se je treba še bolj posvetiti detajlom konstrukcijske zaščite, da objekt ohranimo tudi zanamcem.

Objekt je pokrit z leseno kritino. Tradicionalno se v Trenti za kritje streh uporabljajo lesene deske. Na podlagi meritev vlažnosti lesa lahko po pol leta meritev

sklepamo, da utori močno skrajšajo čas, ko je vlažnost strešnikov primerna za razkroj. Še bolje se obnese, če strešnike z utori premažemo z vodno suspenzijo voska. Do podobnih zaključkov lahko pridemo tudi pri termično modificiranem lesu.

Z monitoringom objekta bomo še nadaljevali. Pričakujemo, da bomo z daljšim spremljanjem vlažnosti lesa prišli do zanesljivejših zaključkov. Te rezultate bomo lahko primerjali tudi z meritvami, ki jih opravljamo na leseni strehi stare žage v Soči.

5 ZAHVALA

5 ACKNOWLEDGMENTS

Prispevek je rezultat več med seboj povezanih projektov, ki jih je sofinancirala Agencija za raziskovalno dejavnost RS: P4-0015 - Programska skupina les in lignocelulozni kompoziti, 0481-09 Infrastrukturni center za pripravo, staranje in terensko testiranje lesa ter lignocelulozних materialov (IC LES PST 0481-09). Del raziskav je potekal tudi v okviru projekta Artistic v okviru programa Interreg Central Europe ter v okviru projekta Durasoft, ki poteka v okviru programa Interreg Slovenija-Italija, in projekta Woolf-OP20.03520, ki poteka v okviru programa Razvoj verig vrednosti v okviru razpisov Strategije pametne specializacije.

6 POVZETEK

6 SUMMARY

Wood is a traditional roofing material in Slovenia. Wooden roofs are similar to other wooden materials exposed to degradation. The degradation process is positive in the natural environment, but when wood is used for commercial purposes, it is desirable to slow it down as much as possible. This is a significant problem in wooden roofs; thus, it is important to analyse the historical perspective as well. In the 17th century, wooden roofs were not as representative as might be expected. In the days of Valvazor, wooden roofing was typically used on more important buildings, as there was a lack of wood and wood was a strategic material. It should be noted that there was much less afforestation in the 17th century compared to today. Nowadays, wooden roofing is predominately used on huts and houses in the hilly regions of northern and northwestern Slovenia. Because wooden roofing is expensive, we decided to investigate solutions on how to prolong the service life of the wood used for this purpose. Based on the literature survey and experimental results, it can be concluded that it is possible to extend the service life of wooden roofing through material selection and detailing of the construction elements. The experiment was performed on the roof of the Golobar cable

yarding. This structure was covered with tiles made of spruce (*Picea abies*) and larch (*Larix decidua*) in October 2019. Part of the spruce roofing was thermally modified and/or treated with a water wax emulsion. We cut grooves into the underside of a few roof tiles to increase the specific surface of the wood and to accelerate drying after rainfall events. To assess the water performance of the wood, wood moisture monitoring sensors were installed on the roof tiles. Technology developed by the company Scanntronik was used. In the respective monitoring period between October 2019 and April 2020, there were 378 measurements taken in total. Climate data indicates that it was rather warm and that there was more than 1300 mm rainfall during the period. Based on the six months of measurements of wood moisture content, it can be presumed that the grooves shorten the time when the moisture content of the roof tiles is optimal for fungal degradation. Performance is further improved if the tile surface is coated with an aqueous wax suspension. Similar conclusions can also be drawn for thermally modified wood.

7 LITERATURA

7 REFERENCES

- ARSO. 2020. meteo.si - Uradna vremenska napoved za Slovenijo - Državna meteorološka služba RS - Arhiv meritev. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (28. 4. 2020).
- Brate T. 1988. Pantzova žičnica v Soteski: tehniška dediščina Slovenije. Pionir, 43: 15–17.
- Brischke C., Rapp A.O., Bayerbach R., Morsing N., Fynholm P., Welzbacher C.R. 2008. Monitoring the „material climate“ of wood to predict the potential for decay: results from in situ measurements on buildings. *Building and Environment*, 43, 10: 1575–1582.
- Brischke C., Lampen S.C. 2014. Resistance based moisture content measurements on native, modified and preservative treated wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 72, 2: 289–292.
- CEN. 2013. European standard EN 335, Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products. Brussels, European Committee for Standardization.
- Cevc T., Kopač V., Suhadolc J. 1993. Velika planina: življenje, delo in izročilo pastirjev. Ljubljana, [samozal. T. Cevc], Institut za slovensko narodopisje Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti.
- DIN. 2019. DIN 68119:2019-04, Holzschindeln. Berlin, Beuth Verlag GmbH.
- Esteves B.M., Pereira H.M. 2009. Wood modification by heat treatment: a review. *BioResources*, 4, 1: 370–404.
- Gobakken L.R., Mattsson J., Alfreðsen G. 2008. In-service performance of wood depends upon the critical in-situ conditions: case studies. V: *Proceedings IRG Annual Meeting*.
- Heshmati S., Mazloomi M., Evans P. 2018. Optimizing surface micro grooving to reduce the checking and cupping of Douglas fir, western hemlock and white spruce decking exposed to natural weathering. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2, 4, 67: 1–16.
- Hill C.A.S. 2006. *Wood Modification: chemical, thermal and other processes*. Hoboken, John Wiley and Sons.

- Humar M., Kržišnik D., Lesar B., Thaler N., Ugovšek A., Zupančič K., Žlahtič M. 2017. Thermal modification of wax-impregnated wood to enhance its physical, mechanical, and biological properties. *Holz-forschung*, 71, 1: 57–64.
- Humar M., Kržišnik D., Lesar B., Brischke C. 2019a. The performance of wood decking after five years of exposure: verification of the combined effect of wetting ability and durability. *Forests*, 10, 10 903: 1–17. <https://doi.org/10.3390/f10100903>.
- Humar M., Lesar B., Žagar A., Balzano A., Kržišnik D. 2019b. Ocena razkrojenosti lesa v Podzemni slemenski utrdbi Goli vrh. *Les*, 68, 1: 61–70.
- Humar M., Lesar B., Kržišnik D. 2020a. Moisture performance of façade elements made of thermally modified norway spruce wood. *Forests*, 11, 3: 348. <https://doi.org/10.3390/f11030348>.
- Humar M., Lesar B., Kržišnik D. 2020b. Technical and aesthetic service life of wood. *Acta Silvae et Ligni*, 121: 33–48.
- Isaksson T., Thelandersson S., Ekstrand-Tobin A., Johansson P. 2010. Critical conditions for onset of mould growth under varying climate conditions. *Building and Environment*, 45, 7: 1712–1721.
- Isaksson T., Brischke C., Thelandersson S. 2013. Development of decay performance models for outdoor timber structures. *Materials and Structures*, 46, 7: 1209–1225.
- Isaksson T., Thelandersson S. 2013. Experimental investigation on the effect of detail design on wood moisture content in outdoor above ground applications. *Building and Environment*, 59: 239–249.
- Jerin A., Povše M. 2017. Skodlarstvo. http://www.mk.gov.si/fileadmin/mk.gov.si/pageuploads/Ministrstvo/Razvidi/RKD_Ziva/Rzd-02_00059.pdf (20. 4. 2020).
- Kaplan J.O., Krumhardt K.M., Zimmermann N. 2009. The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe. *Quaternary Science Reviews*, 28, 27–28: 3016–3034.
- Koželj B. 2020. Skodlarstvo Bojan Koželj s.p. <http://www.skodlarstvo.si/> (27. 4. 2020).
- Kozorog E. 1992. Žičnica Golobar - gozdarski muzej na prostem. *Planinski vestnik*, 93, 9: 395.
- Kržišnik D., Lesar B., Thaler N., Humar M. 2018. Micro and material climate monitoring in wooden buildings in sub-Alpine environments. *Construction and Building Materials*, 166: 188–195.
- Kržišnik D., Brischke C., Lesar B., Thaler N., Humar M. 2019. Performance of wood in the Franja partisan hospital. *Wood Material Science and Engineering*, 14, 1: 24–32.
- Kržišnik D., Lesar B., Thaler N., Planinšič J., Humar M. 2020. A study on the moisture performance of wood determined in laboratory and field trials. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78, 2: 219–235.
- Lesar B., Pavlič M., Petrič M., Sever Škapin A., Humar M. 2011. Wax treatment of wood slows photodegradation. *Polymer Degradation and Stability*, 96, 7: 1271–1278.
- Meyer-Veltrup L., Brischke C., Treu A., Larsson-Brelid P. 2016. Critical moisture conditions for fungal decay of modified wood by basidiomycetes as detected by pile tests. *Holz-forschung*, 70, 4: 331–339.
- Meyer-Veltrup L., Brischke C., Alfredsen G., Humar M., Flæte P.O., Isaksson T., in sod. 2017. The combined effect of wetting ability and durability on outdoor performance of wood: development and verification of a new prediction approach. *Wood Science and Technology*, 51, 3: 615–637.
- Pouska V., Macek P. in Zibarová L. 2016. The relation of fungal communities to wood microclimate in a mountain spruce forest. *Fungal Ecology*, 21: 1–9.
- Rep G., Pohleven F. in Košmerl S. 2012. Development of the industrial kiln for thermal wood modification by a procedure with an initial vacuum and commercialisation of modified Silvapro wood. V: The sixth European conference on wood modification: proceedings. Jones D., Militz H., Petrič M., Pohleven F., Humar M., Pavlič M. (ur.). Ljubljana, University of Ljubljana: 11–17.
- Schmidt O. 2006. Wood and tree fungi: biology, damage, protection, and use.
- Sharapov E., Brischke C., Militz H., Smirnova E. 2019. Prediction of modulus of elasticity in static bending and density of wood at different moisture contents and feed rates by drilling resistance measurements. *European Journal of Wood and Wood Products*, 77, 5: 833–842.
- SSJK. 2014. Slovar slovenskega knjižnega jezika. Ljubljana, Cankarjeva založba.
- Stienen T., Schmidt O., Huckfeldt T. 2014. Wood decay by indoor basidiomycetes at different moisture and temperature. *Holz-forschung*, 68, 1: 9–15.
- Šarf F. 1976. Lesene strehe v Sloveniji. *Slovenski etnograf*, 29: 53–74.
- Teodorescu I., Țăpuși D., Erbașu R., Bastidas-Arteaga E., Aoues Y. 2017. Influence of the climatic changes on wood structures behaviour. *Energy Procedia*, 112: 450–459.
- Unger A., Schniewind A.P., Unger W. 2001. Conservation of wood artifacts: a handbook. Berlin, London, Springer.
- Valvasor J.V., Rupel M., Reisp B., Stele F. 1969. Valvasorjevo berilo. Ljubljana, Mladinska knjiga.
- Wagenfuhr R. 2007. *Holzatlas*. Leipzig, Fachbuchverlag.
- Zabel R.A., Morrell J.J. 2020. *Wood microbiology: decay and its prevention*. 2nd ed. Amsterdam, Academic Press.