



OCENA RAZKROJENOSTI LESA V PODZEMNI SLEMENSKI UTRDBI GOLI VRH

EVALUATION OF THE WOOD DEGRADATION IN THE UNDERGROUND FORT GOLI VRH

Miha Humar^{1*}, Boštjan Lesar¹, Andreja Žagar¹, Angela Balzano¹, Davor Kržišnik¹

UDK 630*844.2

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Prispelo / Received: 26. 5. 2019

Sprejeto / Accepted: 27. 5. 2019

Izveček / Abstract

Izveček: Pred drugo svetovno vojno so v okolici Golega vrha postavili obsežno podzemno utrdbo. Še od časa izgradnje je v utrdbi ostalo nekaj lesa, dodatno so pred leti namestili nekaj lesenih razstavnih predmetov. Na lesu je bilo nekaj let po odprtju opaziti obsežen glivni razkroj. V utrdbi smo namestili senzor za spremljanje relativne zračne vlažnosti in temperature, izolirali nekaj vzorcev lesa in jih preiskali z rentgensko fluorescenčno spektroskopijo in lasersko konfokalno vrstično mikroskopijo. Analiza je potrdila visoko vlažnost lesa in prisotnost gliv razkrojevalk na vseh lesenih eksponatih z izjemo lesenih zabojnikov za strelivo.

Ključne besede: podzemna utrdba, les, razkroj, vlažnost lesa, lesne glive, biocidni proizvodi

Abstract: Before the Second World War, a large underground fortress was built around Goli vrh. Some wood remains in the fort from the time of construction, and some wooden objects have been exhibited in the fort. Several years after the opening of the fort, large scale decomposition was observed on the wood. A sensor for monitoring the relative air humidity and temperature was installed. In addition, a few samples of wood were isolated and examined by X-ray fluorescence spectroscopy and laser confocal linear microscopy. The analysis confirmed the high humidity of the wood and the presence of wood decay fungi on all wood objects, with the exception of wooden ammunition boxes.

Keywords: underground fort, wood, decay, moisture content, wood decay fungi, biocidal products

1 UVOD

1 INTRODUCTION

V 20. stoletju so na mejah gradili obsežne obrambne sisteme. Še posebej je znana slovita »Maginotova linija« na meji med Nemčijo in Francijo. S podobnim namenom je bila v Sloveniji načrtovana »Rupnikova linija«. Rupnikova linija ali Rupnikova črta je sistem utrdb, ki jih je leta 1935 začela graditi Kraljevina Jugoslavija na ozemlju zahodne Slovenije zaradi splošnega poslabšanja političnega položaja v Evropi. Poimenovali so jo po generalu Leonu Rupniku (Smrdel, 2015). Oba utrdbeni sistema sta klavarno propadla in nista nikoli opravljala svoje naloge (Zupančič, 2008). Podobnih utrdbenih sistemov je bilo še več, na primer Siegfridova linija na nemški strani francosko-nemške meje in Alpski zid, ki so ga na severni meji postavili Italijani in je segal od Genovskega do Reškega zaliva. Obsežnejša dela so se na Rupnikovi liniji začela leta 1937, do leta 1939 je

bilo za gradnjo odgovornih že 40.000 oseb. V tem obdobju jim je uspelo zgraditi 12 močno utrjenih položajev in 4000 manjših betonskih bunkerjev (Smrdel, 2015). Zaradi pomanjkanja izkušenj pri gradnji utrdbe je Kraljevina Jugoslavija za pomoč pri gradnji prosila Češkoslovaško, saj so utrdbe v Sudeatih veljale za vrhunec evropskega utrdbenega vojskovanja (Smrdel, 2015). Med najlepše ohranjene utrdbe Rupnikove linije sodi tudi podzemna slemenska utrdba Goli vrh. Sestavljena je iz nadzemnega visokega vršnega bunkerja ter podzemnih galerij približno 25 m globoko. Glavna galerija je dolga 200 m, ob njej pa je razvejan in skrbno odvodnjan sistem manjših galerij in dvoran.

V utrdbi je že od časa gradnje ostalo nekaj lesa, del lesa pa so v utrdbo prinesli po ponovnem odprtju kot razstavne predmete, gradbeno in zaščitno opremo ter podobno. Na tem lesu se je v nekaj letih pojavil obsežen razkroj. Pogoji v podzemni utrdbi so verjetno podobni pogojem v starih rudnikih. Novejši rudniki so praviloma dobro prezračevani, zato je relativna zračna vlažnost in temperatura višja (Oprešnik, 2018). Les je v starih rudnikih navadno hitro

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

* e-pošta: miha.humar@bf.uni-lj.si; telefon: 01-320-3638

propadel. Podatki v literaturi navajajo (Kervina-Hamovič, 1990), da je bila življenjska doba nezaščitenega lesa v rudniku med pol leta do treh let. V primerljivih, a nekoliko bolj toplih pogojih je les v Partizanski bolnici Franja propadel po približno petih letih (Kržišnik et al., 2019). Na življenjsko dobo lesa poleg naravne odpornosti v največji meri vpliva še vlažnost okolja in temperatura (Meyer-Veltrup et al., 2017). Namen prispevka je raziskati mikroklimatske pogoje v podzemni utrdbi in oceniti razkrojenost lesa.

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 SPREMLJANJE RELATIVNE VLAŽNOSTI ZRAKA

2.1 MONITORING OF RELATIVE HUMIDITY OF THE AIR

V delu podzemne utrdbe, kjer je postavljena stalna razstava, smo namestili opremo za spremljanje relativne zračne vlažnosti in temperature proizvajalca Scanntronik. Opremo smo namestili pod vitrine, približno 50 cm nad tlemi (Slika 1). Tako smo preprečili kapljanje na merilno opremo in s tem povezane poškodbe. Na zapisovalnik podatkov (data logger) Thermofox smo namestili senzor ThermoHygro, ki deluje v merilnem območju med $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ in relativni zračni vlažnosti (RZV) med 0 in 99 % RZV (ponovljivost 1,8 % RZV oziroma 0,3 $^{\circ}\text{C}$)

(Anonymus, 2019). Podatke (meritev, najnižja in najvišja vrednost) smo beležili v urnih razmikih v obdobju med 12. 10. 2018 in 8. 1. 2019. V tem obdobju smo zabeležili 12.000 podatkov. Podobna opazovanja izvajamo tudi na drugih lokacijah (Kržišnik et al., 2018).



Slika 1. Senzor za spremljanje temperature in relativne zračne vlažnosti v bunkerju Goli vrh.
Figure 1. Sensor for monitoring of the relative humidity of air and temperature in the underground fort Goli vrh.

Preglednica 1. Ocene razkroja vzorcev (SIST EN 252, 2004).

Table 1. Ratings of sample degradation (SIST EN 252, 2004)

Ocena	Razvrstitev	Opis preizkušanca
0	Ni znakov razkroja	Na preizkušancu ni zaznavnih sprememb.
1	Neznaten razkroj	Na preizkušancu so vidni znaki razkroja, vendar razkroj ni intenziven in je prostorsko zelo omejen: - Spremembe, ki se pokažejo predvsem kot sprememba barve ali zelo površinski razkroj (mehčanje lesa je najpogostejši kazalec), ki sega do 1 mm v globino.
2	Zmeren razkroj	Jasne spremembe v zmernem obsegu: - Spremembe, ki se kažejo kot mehčanje lesa od 1 mm do 3 mm globoko na 1 cm ² ali večjem delu vzorca.
3	Močen razkroj	Velike spremembe: - Izrazit razkroj lesa od 3 mm do 5 mm globoko na velikem delu površine (večje od 20 cm ²), ali mehčanje lesa globlje kot 10 mm, na površini večji od 1 cm ² .
4	Propadanje	Preizkušanec je močno razkrojen: - Ob padcu z višine 0,5 m se preizkušanec zlomi.

2.2 DOLOČANJE LESNIH GLIV IN OCENA RAZKROJENOSTI

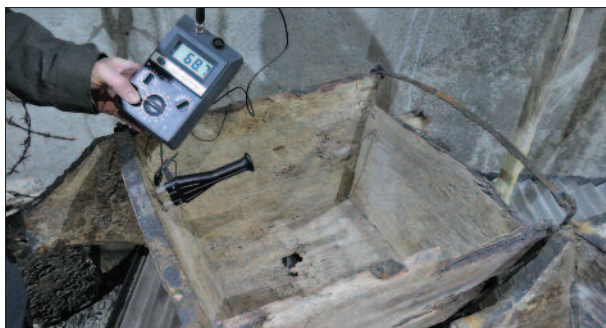
2.2 DETERMINATION OF WOOD FUNGI AND ESTIMATION OF DEGRADATION

Prisotnost gliv na muzejskih razstavnih predmetih smo določili na podlagi morfoloških znakov (Schmidt, 2006). Razkrojenost lesenih predmetov smo ocenili v skladu s standardom SIST EN 252 (2004) z ocenami med 0 (popolnoma zdrav les) in 4 (popolnoma trhel les) (Preglednica 1).

2.3 ANALIZA VLAŽNOSTI LESA

2.3 WOOD MOISTURE CONTENT ANALYSIS

Vlažnost lesa na lesenih muzejskih razstavnih predmetih smo določali z električnim uporabnim merilnikom GANN, ki omogoča natančno merjenje vlažnosti lesa med 6 % in 60 % (Anonymus, 2019b). Vlažnost lesa je določena kot je običajno v lesni tehnologiji (razmerje med maso vode in maso lesa v absolutno suhem stanju, izraženo v %).



Slika 2. Izvedba meritev vlažnosti lesa z vlagomerom GANN.

Figure 2. Measurements of wood moisture content with a GANN device.

2.4 ANALIZA RAZKROJENOSTI LESA Z UPOROVNIM VRTANJEM

2.4 ANALYSIS OF DEGRADATION WITH RESISTANCE DRILLING

Oceno razkrojenosti lesa smo izvedli z napravo Resistograph IML PD500 (Slika 3), ki temelji na beleženju upora pri vrtanju. Z drobnim svedrom premera 2 mm v les vrtamo luknjico in pri tem beležimo upor materiala pri vrtanju. Metoda temelji na tem, da se za vrtanje luknje v razkrojen les uporabi manj energije kot za vrtanje v zdrav les. Če naprava ne za beleži upora, pomeni, da je les močno razkrojen.

Meritve smo izvajali le na predmetih, kjer vizualno nismo ocenili izrazite razkrojenosti (Nutto & Biechele, 2015).



Slika 3. Izvedba meritev razkrojenosti lesa z napravo Resistograph IML PD500.

Figure 3. Analysis of degradation with a Resistograph IML PD500 resistance drilling device.

2.5 ELEMENTNA ANALIZA VZORCEV LESA

2.5 ELEMENTAL ANALYSIS OF WOOD SAMPLES

Micelij lesnih gliv je bil prisoten na večini lesenih razstavnih predmetov v bunkerju Goli vrh, z izjemo dveh zabojev za strelivo (Slika 4), zato nas je zanimalo, s katerim biocidnim proizvodom sta bila zašči-



Slika 4. Lesen zaboj za strelivo v bunkerju Goli vrh.

Figure 4. Wooden box for ammunition in the underground fort Goli vrh.

tena. Iz obeh zabojev smo izolirali dva vzorca in izvedli kvantitativno elementno analizo. Vsebnost anorganskih elementov v vzorcih smo določali z rentgenskim fluorescenčnim spektrometrom (XRF TwinX, Oxford instruments). Meritve so bile opravljene s PIN-detektorjem ($U = 26 \text{ kV}$, $I = 112 \text{ } \mu\text{A}$, $t = 360 \text{ s}$).

2.6 MIKROSKOPSKA ANALIZA LESA

2.6 MICROSCOPIC ANALYSIS OF WOOD

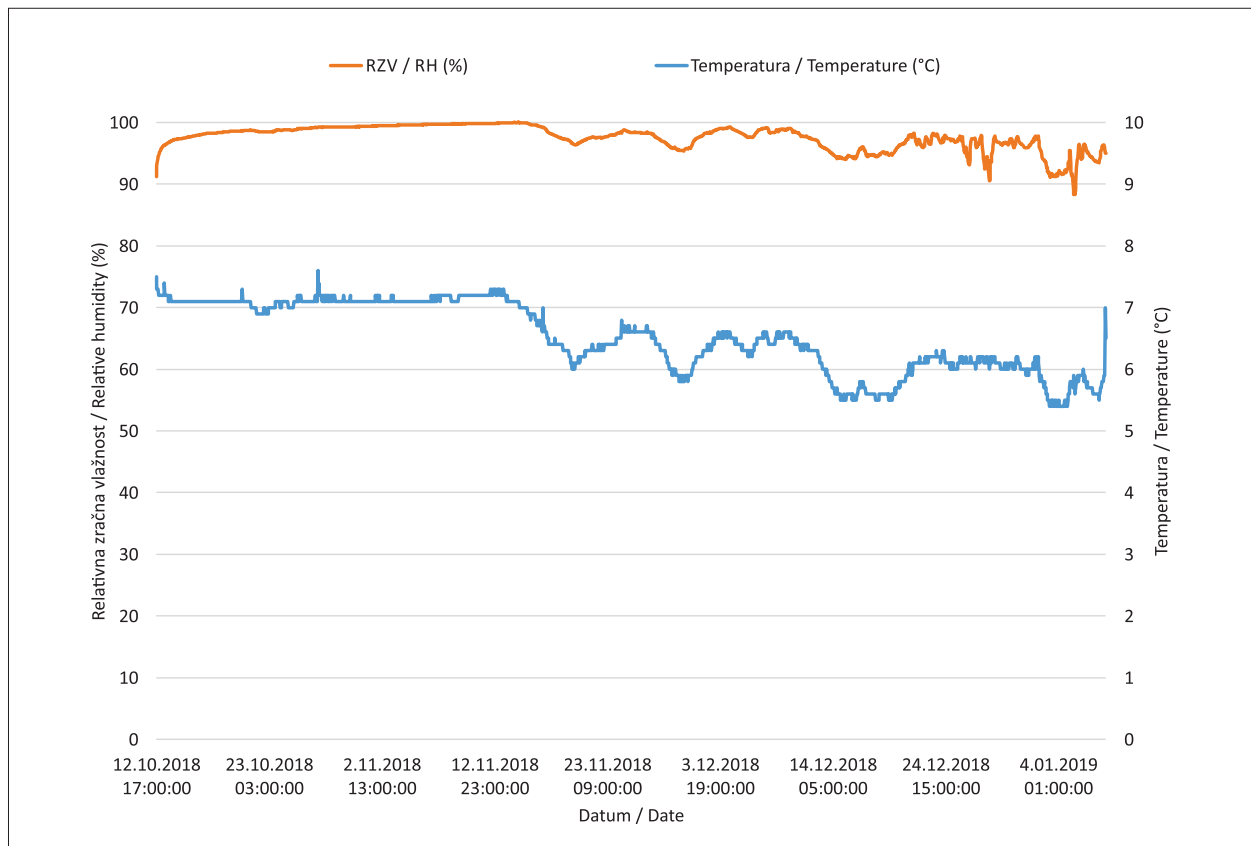
Na vzorcih, izoliranih iz zabojev za strelivo, in vzorcih vrvi smo izvedli tudi mikroskopsko analizo. Za analizo smo uporabili laserski konfokalni vrstični mikroskop (Olympus, Lext OLS 5000). Mikroskopska tehnika ne zahteva posebne priprave, zato je še posebej primerna za preiskave vlažnega in trhlega lesa. Del vzorcev je bil analiziran tudi s klasično svetlobno mikroskopijo. Vzorce smo obrezali in jih vklopili v parafin. Pripravo rezin smo izvedli z rotacijskim mikrotomom (Leica, RM2245). Rezine so bile obarvane z barviloma safranin in astra-modro. Rezine so bile vklopljene v Euparal (Prislan et al., 2008).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

Temperatura in relativna zračna vlažnost (RZV) sta osnovna podnebna parametra, ki vplivata na vlažnost lesa. Les kot higroskopni material absorbira vodo iz zraka. V obdobju spremljanja teh dveh parametrov (med 12. 10. 2018 in 8. 1. 2019) je bila povprečna temperatura v bunkerju $6,6 \text{ } ^\circ\text{C}$, povprečna RZV pa $97,4 \text{ } \%$. Temperatura je bila najvišja v mesecu oktobru ($7,3 \text{ } ^\circ\text{C}$), v zimskih mesecih pa je nekoliko upadla (januarja $5,7 \text{ } ^\circ\text{C}$). Podobno kot temperatura je bila oktobra in novembra najvišja tudi RZV ($98,7 \text{ } \%$) (Slika 5), najnižja pa je bila v prvi polovici januarja ($94,0 \text{ } \%$). Razlog za padec relativne zračne vlažnosti lahko pripišemo meteorološki suši. Jeseni je bilo v Sloveniji relativno veliko padavin, medtem ko decembra 2018 in v prvi polovici januarja 2019 v Sloveniji ni bilo veliko padavinskih dogodkov (ARSO, 2019).

RZV v stanovanjskih objektih je navadno bistveno nižja in se giblje okoli $50 \text{ } \%$, še zlasti pozimi je



Slika 5. Gibanje relativne zračne vlažnosti in temperature v bunkerju Goli vrh.

Figure 5. Relative humidity and temperature in the underground fort Goli vrh.

vlažnost zraka še nižja. Jorge & Dias (2013) poročata, da znaša povprečna RZV v telovadnicah okoli 65 %, v javnih kopalnicah pa 87 %. Višje povprečne vrednosti so zabeležili le v tropskih regijah. Visoka RZV se pogosto odraža v plesnenju in modrenju lesa in drugih gradbenih materialov, kasneje pa lahko pride tudi do razkroja. Plesnim ustrezajo RZV, ki so višje od 75 % (pri 25 °C) oziroma 85 % (pri 10 °C) (Viitanen et al., 2010, Gradeci et al., 2017). Zanimivo je, da v bunkerju ni bilo opaziti veliko znakov plesnenja. Eden od razlogov za to je verjetno tudi pomanjkanje hranljivih snovi (cvetni prah, prah, prst, spore gliv ...).

Visoka RZV se odraža tudi v visoki vlažnosti lesa. Z naraščajočo RZV sorazmerno narašča tudi vlažnost lesa. Tako pri 95 % RZV znaša vlažnost lesa okoli 20 % (Kržišnik et al., 2019). Poleg tega je treba upoštevati, da je vlažnost lesa v bunkerju odvisna tudi od kondenzacije, zamakanja ... Iz sten še zlasti ob padavinskih dogodkih pogosto kaplja. Ker je relativna zračna vlažnost v bunkerju zelo visoka, se vlažen les praktično ne more posušiti.

Glavni namen meritev vlažnosti lesa je določiti, ali so pogoji primerni za razkroj lesa. Tako nas je v prvi vrsti zanimalo, ali je vlažnost višja od območja nasičenja celičnih sten. Avtorji se zavedamo, da so meritve vlažnosti nad območjem nasičenja celičnih sten bolj razpršene, vendar to ni ključno za interpretacijo rezultatov. Poleg tega na vlažnost lesa lahko vpliva še prisotnost drugih elektrolitov, kot na primer biocidnih proizvodov. Meritve električne upornosti lesa kažejo, da je vpliv večine anorganskih biocidov višji pri nižjih vlažnostih lesa, nad območjem nasičenja celičnih sten znaša med 2 do 3 odstotne točke (Kržišnik et al., 2019). Po drugi strani zadnje raziskave kažejo, da razkrojenost nima večjega vpliva na električno upornost lesa in ne vpliva na točnost meritev (Brischke et al., 2018). Seveda pa je razkrojen les bolj higroskopen in lahko vpije več vode kot nerazkrojen les. Tako smo mnenja, da je meritev vlažnosti lesa z opremo, ki deluje na osnovi električne upornosti, primerna tehnika za vrednotenje ogroženosti lesa. To nenazadnje dokazujejo tudi številne objave (npr.: Humar et al., 2015; Brischke & Meyer-Veltrup, 2016; Žlahtič Zupanc et al., 2018; Kržišnik et al., 2019, 2018). Povprečna vlažnost lesenih eksponatov v bunkerju se je gibala med 21 % in 54 % (Preglednica 2). Delež vode v lesu je posledica visoke relativne zračne vlažnosti in kapljanja vode iz sten. Poleg tega je treba upoštevati,

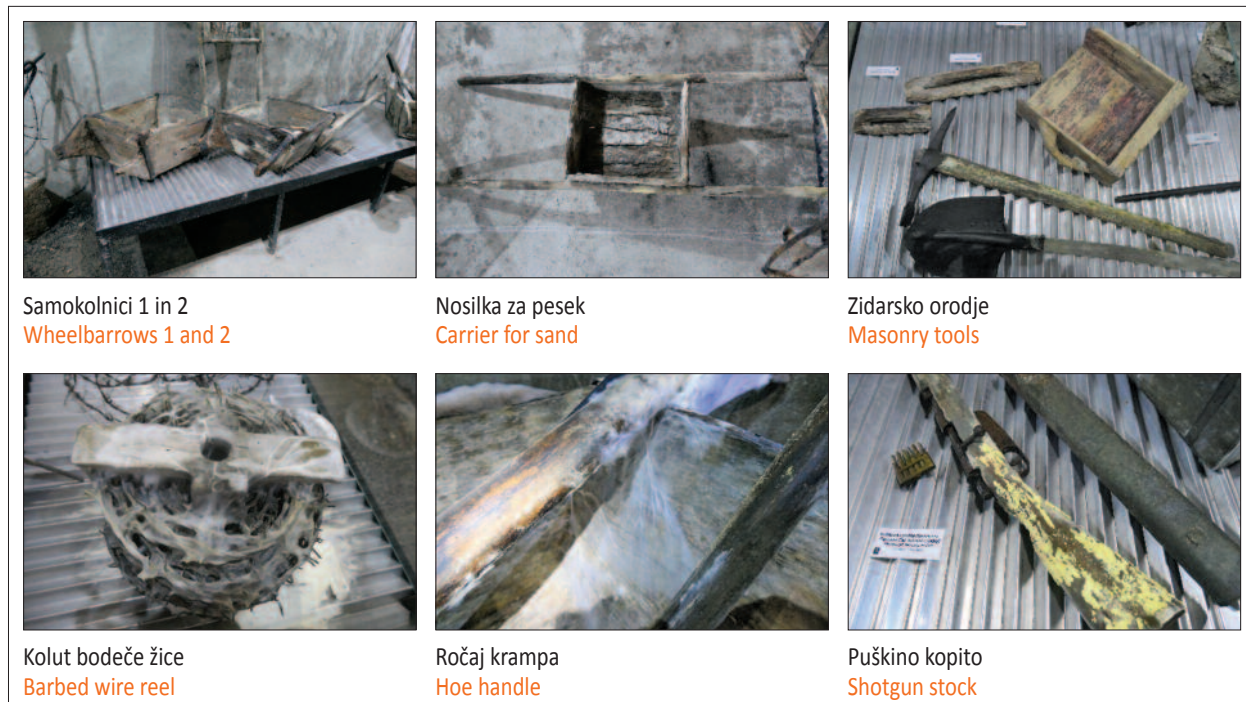
da so bili na površini vzorcev opazni tudi ostanki malte, cementa in ostalih materialov. Prisotnost nekaterih anorganskih elementov lahko vpliva na vlažnost lesa (Lesar et al., 2009). Poleg tega so glive razkrojevalke zmožne translokacije vode. Okolica je bila dovolj vlažna, tako da je vodnih virov dovolj. Pri oceni ogroženosti posamezne lokacije se postavi vprašanje, kakšna je spodnja mejna vlažnost lesa, da pride do glivnega razkroja. To vprašanje je relativno zahtevno. V literaturi je mogoče zaslediti nasprotujoče si podatke. V klasični literaturi so mejne vlažnosti v največji meri odvisne le od vrste glive. Schmidt (2006) poroča, da je minimalna vlažnost za razkroj lesa pri glivah *Fibroporia vaillantii* in *Gloeophyllum trabeum* 30 %, pri glivah *Coniophora puteana* in *Serpula lacrymans* so te vrednosti nekoliko nižje. V najnovejši literaturi zasledimo bistveno višji razpon vlažnosti. Raziskovalci poročajo, da vlažnost ni odvisna le od vrste glive, temveč tudi od vrste lesa. Optimalne vlažnosti lesa na primer nihajo med 16,3 % (*G. trabeum* na beljavi rdečega bora) in 52,3 % (*Donkioporia expansa* na lesu duglazije) (Meyer & Brischke, 2015).

Večina lesenih razstavnih predmetov je bila relativno močno razkrojena. Nekateri so bili močno preraščeni z micelijem lesnih gliv, predvsem z micelijem bele hišne gobe. Ime označuje več vrst gliv s podobnim videzom, ki jih na podlagi morfoloških znakov zelo težko ločimo med seboj. Najpomembnejša je *Fibroporia vaillantii* (DC.: Fr.) Ryv, poleg tega pa z imenom bela hišna goba označujemo še vrsti *Rhodonía placenta* in *Postia placenta*. Podobno kot v slovenščini se tudi v angleščini uporablja eno ime za navedene glive. Poimenovali so jih »white pore fungus« ali »mine fungus« (Unger et al., 2001). Bela hišna goba je zelo pogosta v kletih, rudnikih in ostalih zelo vlažnih okoljih, po čemer je tudi dobila angleško ime »mine fungus«. Bela hišna goba pogosteje okužuje zelo vlažen les iglavcev, še zlasti, če se na lesu nabira kondenzirana voda. Ta vrsta je tipičen predstavnik rjave trohnoobe. Razkrojen les prizmatično razpoka, vendar so razpoke plitvejšje kot pri sivi hišni gobi, prizme pa večje kot pri kletni gobi. V praksi belo hišno gobo najlažje spoznamo po značilnih belih, gladkih rizomorfi (Slika 6), ki ostanejo prožni tudi, ko gliva odmre. Micelij (rizomorfi) na lesu pogosto razrašča v obliki ledene rože na oknih, ki ga z lahkoto odstranimo s površine. Rizomorfi navadno ne prodrejo v zidake ali beton (Humar, 2008).

Preglednica 2. Pregled razstavnih predmetov ter njihova vlažnost in razkrojenost.

Table 2. Overview of the exhibited objects and assessed degradation.

Mesto	Predmet	Povprečna vlažnost lesa (%)	Razkrojenost EN 252	Opis	Gliva / trohnoba
Razstavni predmeti na stojalu	Samokolnica 1	54	4	Micelij na površini	Kletna goba, Bela hišna goba
	Samokolnica 2	23	4	Micelij na površini	Bela hišna goba
	Samokolnica 3	35	4	Micelij na površini	Bela hišna goba
	Ročaj krampa	35	3	Micelij na površini	Bela hišna goba
	Ročaj lopate	27	3	Micelij na površini	Bela hišna goba
	Nosilka za pesek	45	4	Micelij na površini	Kletna goba
Razstavni predmeti v vitrinah	Ročaj krampa	24	2	Micelij na površini	Kletna goba
	Ročaj lopate	25	2	Trosnjaki, Micelij	
	Zidarska zajemalka	32	3	Micelij na površini	Rjava trohnoba
	Večja zidarska gladilka	25	3	Micelij na površini	Rjava trohnoba
	Manjša zidarska gladilka	45	4	Micelij na površini	Rjava trohnoba
	Kolut bodeče žice	50	2	Micelij na površini	Bela hišna goba
	Puškinjo kopito	23	2	Micelij na površini	?
	Zaboj za strelivo	21	0	/	
Zaboj za strelivo	22	0	/		

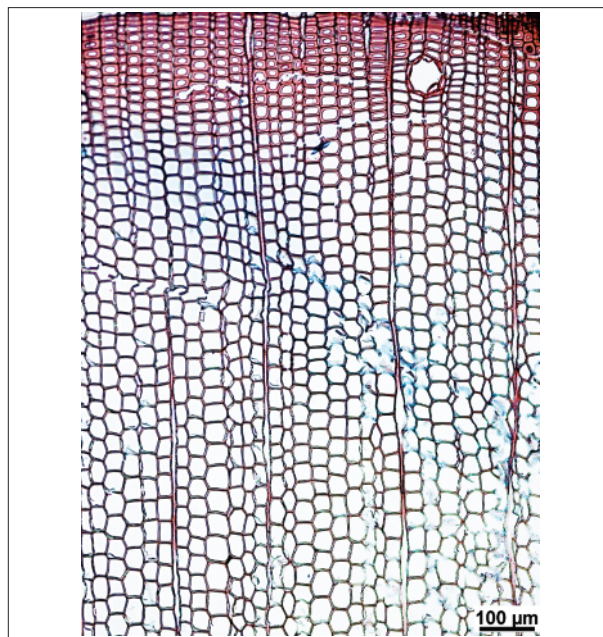


Slika 6. Najpomembnejši razstavni predmeti v bunkerju Goli vrh.

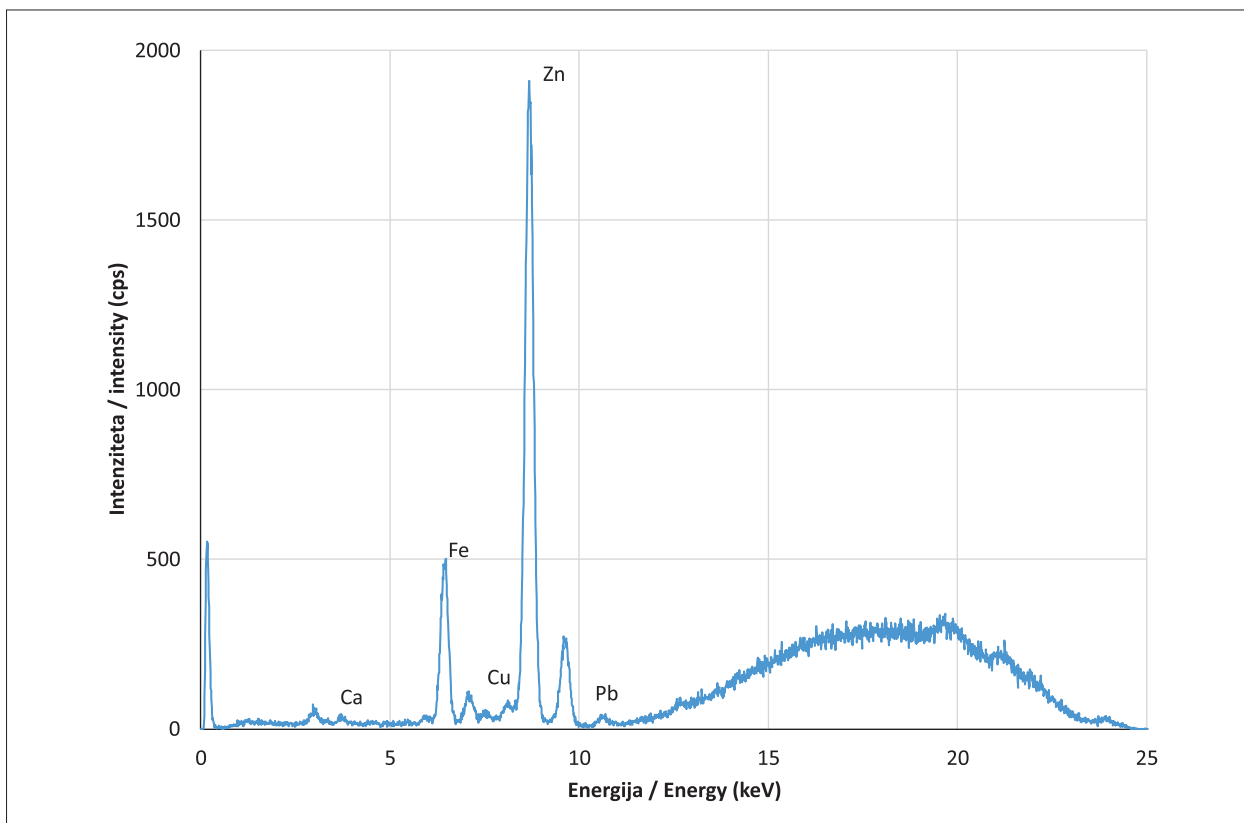
Figure 6. Key exhibited objects in the underground fort Goli vrh.

Zaradi destruktivne narave meritev smo meritve z rezistografom izvedli le na vzorcih, kjer poškodbe niso moteče. Meritve so potrdile rezultate ocen o razkrojenosti. Predvsem zidarsko orodje je bilo močno razkrojeno in bi lahko pod večjo obremenitvijo razpadlo. Ta raziskava nakazuje, da ta metoda ni najbolj primerna za vrednotenje močno razkrojenega lesa.

Micelij oziroma znaki razkroja so bili prisotni na vseh razstavnih predmetih, z izjemo zaboja za strelivo. Zato smo izvedli mikroskopsko in elementno analizo, da bi ocenili prisotnost biocidnih učinkovin. XRF analiza je potrdila prisotnost cinka in železa (Slika 7). Vzrok za visoko koncentracijo železa (Fe) je verjetno korozija jeklenih elementov v stiku z lesom (Lesar et al., 2018). Povišano koncentracijo cinka (Zn) bi lahko pripisali biocidnim učinkovinam. Cink je bil sestavina več aktivnih učinkovin, ki so jih v obdobju med obema vojnama uporabljali za zaščito lesa, in sicer cinkov klorid ($ZnCl_2$) in cinkov naftenat (Unger et al., 2001). Cinkov naftenat se je še zlasti pogosto uporabljal za zaščito lesa v vojski (Hughes, 1999).



Slika 8. Prečni prerez lesa iz zaboja za strelivo.
Figure 8. Cross-section of wood from the ammunition box.

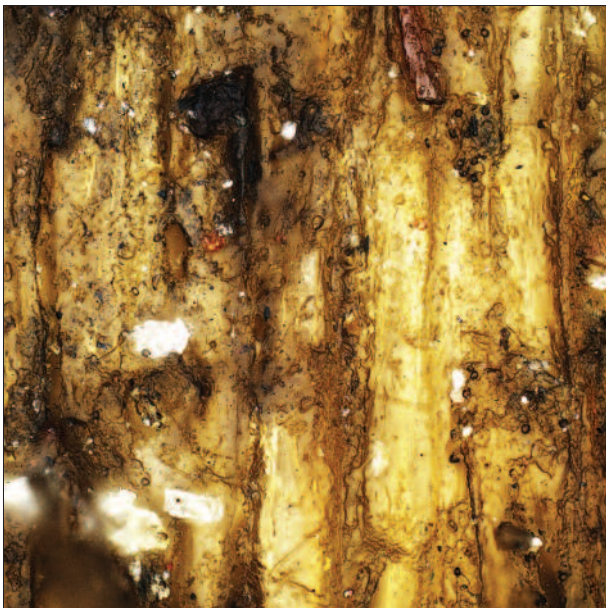


Slika 7. XRF spekter lesa iz zaboja za strelivo.
Figure 7. XRF spectra of wood from the ammunition box.

Analiza vzorca s svetlobno mikroskopijo je potrdila, da je bil zaboj za strelivo izdelan iz lesa smreke (*Picea abies*) (Slika 8). Smrekovina nima odpornega lesa, zato razlog za visoko trajnost v vlažnih pogojih lahko pripišemo biocidni zaščiti lesa. Tudi analiza površin z lasersko konfokalno mikroskopijo je potrdila, da na površini (Slika 9) ni opaziti micelija gliv modrivk in razkrojevalk. Na površini je bilo opaziti prah, svetle kristale, ki jih lahko pripišemo cinkovemu kloridu ali kalcijevemu karbonatu. Na površini vzorca lesa ni bilo opaziti hif gliv ali melaminskih madežev. Tako so rezultati mikroskopske analize potrdili predhodna opazovanja razkrojenosti in elementne analize. Po drugi strani so bili nekateri drugi eksponati močno preraščeni z glivami. Za primerjavo je prikazana mikroskopska slika vrvi, ki jo je prerasel glivni micelij (Slika 10).

4 SKLEPI 4 CONCLUSIONS

Visoka relativna zračna vlažnost in obilica tekoče vode zagotavljata ustrezne pogoje za uspevanje lesnih gliv. Temperatura v utrdbi je relativno nizka, a v mejah, ki še omogoča rast lesnih gliv. Na lesnih predmetih je opaziti intenziven razrast micelija lesnih gliv, najbolj pogosto bele hišne gobe. Raz-

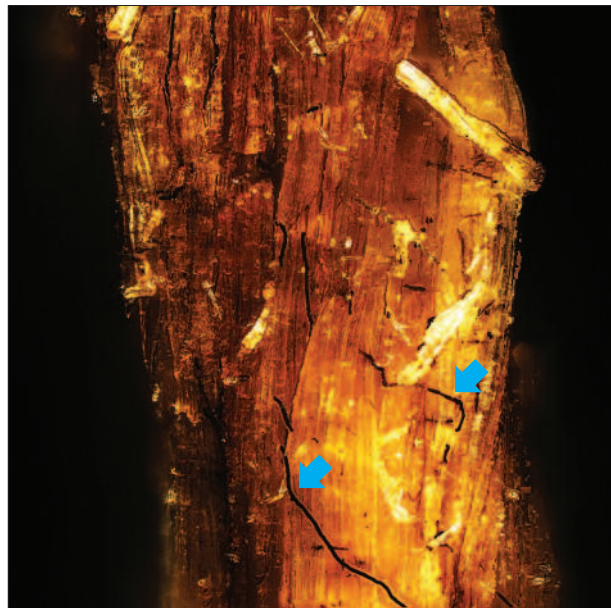


Slika 9. Mikroskopska slika površine lesenega zaboja za strelivo ($256 \mu\text{m} \times 256 \mu\text{m}$).
Figure 9. Microscopy image of the surface of wood from the ammunition box ($256 \mu\text{m} \times 256 \mu\text{m}$).

kroja ni bilo opaziti le na zaboju za strelivo, ki je bil po vsej verjetnosti zaščiten z biocidnim proizvodom na osnovi cinkovih spojin.

5 POVZETEK 5 SUMMARY

Before the Second World War, a large underground fortress was built around Goli vrh. Some wood still remains from the time of construction, and some wooden objects have been exhibited in the fort. Several years after the opening of the fort, large-scale decomposition was observed on the wood in the fort. Brown rot fungi belonging to the genus *Antrodia* caused the majority of the decay. This fungus is associated with wet, condensing environments, such as mines. The decay caused by this fungus is develops rather rapidly. A sensor for monitoring the relative air humidity and temperature was thus installed in the ort, with Scantronik equipment being chosen. In the monitored period a total of 12,000 measurements were recorded. The relative humidity was rather high (97.4 %). The average temperature was 6.6 °C and was sufficient for fungal growth, as seen in the high moisture content of wood and prominent decay. In addition, a few



Slika 10. Mikroskopska slika vlaken vrvi z dobro vidnimi hifami (puščica) ($640 \mu\text{m} \times 640 \mu\text{m}$).
Figure 10. Microscopy image of rope fibers with clearly visible hyphae (arrows) ($640 \mu\text{m} \times 640 \mu\text{m}$).

samples of wood were isolated from ammunition boxes that were in fort. Those objects were chosen as they were not degraded, and no fungal mycelia were found in them. Isolated wooden specimens were examined by X-ray fluorescence spectroscopy, light microscopy, and laser confocal linear microscopy. The analyses confirmed the high moisture content of the wood and the presence of wood decay fungi on all wood objects, with the exception of wooden ammunition boxes. The ammunition boxes were made of spruce wood. Microscopic analysis confirmed that there were no fungal mycelia present. XRF analysis confirmed the presence of iron ions, due to the corrosion of metal parts and zinc, which likely acted as a fungicide. In order to exhibit wooden objects in this location, it is necessary for glass showcase with a controlled climate to be used.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGMENT

Prispevek je rezultat več med seboj povezanih projektov, ki jih je sofinancirala Agencija za raziskovalno dejavnost RS: L4-7547 – Obnašanje lesa in lignoceluloznih kompozitov v zunanjih razmerah, P4-0015 – Programska skupina les in lignocelulozni kompoziti, 0481-09 Infrastrukturni center za pripravo, staranje in terensko testiranje lesa ter lignoceluloznih materialov (IC LES PST 0481-09). Del raziskav je potekal tudi v okviru projekta FORESDA (Forest-Based, Cross-Sectoral Value Chains Fostering Innovation And Competitiveness In The Danube Region) in projektov Razvoj verig vrednosti v okviru razpisov Strategije pametne specializacije; TIGR4-smart (C3330-16-529003) in Woolf.

LITERATURA

REFERENCES

- Anonymus (2019). URL: http://www.scantronik.de/Produkt_Standard_Sensoren_deu.php [24. 1. 2019].
- Anonymus (2019b). URL: <http://www2.gann.de/Produkte/ElektronischeFeuchtigkeitsmessger%C3%A4te/ClassicSerie/HydrometteRTU600/tabid/104/language/en-US/Default.aspx> [10. 5. 2019].
- ARSO (2019). Klimatološki podatki. Agencija Republike Slovenije za okolje. URL: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/>
- Brischke, C., Stricker, S., Meyer-Veltrup, L., & Emmerich, L. (2018). Changes in sorption and electrical properties of wood caused by fungal decay. *Holzforschung*, 73 (5), 445–455.
- Brischke, C., & Meyer-Veltrup, L. (2016). Modelling timber decay caused by brown rot fungi. *Materials and Structures*, 49(8): 3281–3291.
- De Angelis, M., Romagnoli, M., Vek, V., Poljanšek, I., Oven, P., Thaler, N., ... Humar, M. (2018). Chemical composition and resistance of Italian stone pine (*Pinus pinea* L.) wood against fungal decay and wetting. *Industrial crops and products*, 117: 187–196.
- Gradeci, K., Labonnote, N., Time, B., & Köhler, J. (2017). Mould growth criteria and design avoidance approaches in wood-based materials – A systematic review. *Construction and Building Materials*, 150, 77–88.
- Hughes, A. S. (1999). Studies on the fixation mechanisms, distribution and biological performance of copper based timber preservatives. Ph. D. thesis, London, Imperial College of Science, Technology and Medicine: 313.
- Humar, M. (2008). Bela hišna goba: gliva, ki razkrajata tudi zaščiten les. *Les*, 60, 77.
- Humar, M., Kržišnik, D., Lesar, B., Ugovšek, A., Rep, G., Šubic, B., Thaler, N., & Žlahtič, M. (2015). Monitoring of window, door, decking and façade elements made of thermally modified spruce wood in use. In: 8th European Conference on Wood Modification (ECWM8). Helsinki, Finland: Aalto University: 419–428.
- Jorge, L., & Dias, A. (2013). X-Lam panels in swimming-pool building – monitoring the environment and the performance. *Advanced Materials Research*, 778, 779–785.
- Kervina-Hamović, L. (1990). Zaščita lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 126 str.
- Kržišnik, D., Brischke, C., Lesar, B., Thaler, N., & Humar, M. (2019). Performance of wood in the Franja partisan hospital. *Wood material science & engineering*, 14, 24–32. DOI: 10.1080/17480272.2018.1438512.
- Kržišnik, D., Lesar, B., Thaler, N., & Humar, M. (2018). Micro and material climate monitoring in wooden buildings in sub-Alpine environments. *Construction & building materials*, 166, 188–195. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.118
- Kržišnik, D., Lesar, B., Thaler, N., Planinšič, J., & Humar, M. (2019). A study of moisture performance of wood determined in laboratory and field trials. *European Journal of Wood and Wood Products* In press.
- Lesar, B., Gorišek, Ž., & Humar, M. (2009). Sorption properties of wood impregnated with boron compounds, sodium chloride and glucose. *Drying technology*, 27, 94–102.
- Lesar, B., Humar, M., & Hora, G. (2018). Quality assessment of recycled wood with and without non-wooden materials from selected recycling companies in Europe. *Waste management*, 79, 362–373.
- Meyer, L., & Brischke, C. (2015). Fungal decay at different moisture levels of selected European-grown wood species. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 103, 23–29.
- Meyer-Veltrup, L., Brischke, C., Alfredsen, G., Humar, M., Flæte, P.-O., Isaksson, T., ... Jermer, J. (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, 615–637.
- Nutto, L., & Biechele, T. (2015). Drilling resistance measurement and the effect of shaft friction – using feed force information for improving decay identification on hard tropical wood. In: 19th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium.
- Oprešnik, D. (2018). Zagotavljanje varnosti in reševanja v podzemnih rudnikih – primer Premogovnika Velenje. URL: <https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?lang=slv&id=101341> [25. 1. 2019].
- Prislan, P., Gričar, J., Koch, G., Schmitt, U., & Čufar, K. (2008). Mikroskopske tehnike za študij nastanka lesa pri bukvi. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 87, 113–122.
- Schmidt, O. (2006). *Wood and Tree Fungi*. Springer, Berlin, Germany.
- SIST EN 252 (2004). Terenska preskusna metoda za ugotavljanje relativne preventivne učinkovitosti zaščitnega sredstva za les v stiku z zemljo.
- Smrdel, V. (2015). Vojaškozgodovinska dediščina utrdbenega sistema Alpskega zidu na območju Pivške kotline : diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta. URL: <http://dk.fdv.uni-lj.si/diplomska/pdfs/smr-del-valentina.pdf> [25. 01. 2019].
- Unger, A., Schniewind, A. P., & Unger, W. (2001). *Conservation of Wood Artifacts, a handbook*. Springer, Berlin.
- Viitanen, H., Vinha, J., Salminen, K., Ojanen, T., Peuhkuri, R., Paajanen, L., & Lähdesmäki, K. (2010). Moisture and Bio-deterioration Risk of Building Materials and Structures. *Journal of Building Physics*, 33, 201–224.
- Zupančič, J. (2008). Značaj in funkcije političnih meja v Evropi. *Ars & Humanitas*, 2(1), 82–96. DOI: 10.4312/ah.2.1.82-96
- Žlahtič Zupanc, M., Lesar, B., & Humar, M. (2018). Changes in moisture performance of wood after weathering. *Construction & building materials*, 193: 529–538.