

LASTNOSTI LESA IZ RUDNIKA SITARJEVEC

PROPERTIES OF WOOD FROM THE SITARJEVEC MINE

Miha HUMAR¹, Boštjan LESAR², Davor KRŽIŠNIK³, Andreja PONDELAK⁴, Andrijana SEVER ŠKAPIN⁵, Angela BALZANO⁶, José GONÇALVES⁷

(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

(3) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, davor.krzisnik@bf.uni-lj.si

(4) Zavod za gradbeništvo Slovenije, Oddelek za materiale, andreja.pondelak@zag.si

(5) Zavod za gradbeništvo Slovenije, Oddelek za materiale, andrijana.skapin@zag.si

(6) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, angela.balzano@bf.uni-lj.si

(7) University of Valladolid, Institute of Sustainable Processes, Spain, zemcg5@gmail.com

IZVLEČEK

Rudarska tradicija v Litiji, segajoča v staro železno dobo, je vključevala intenzivno uporabo lesa v rudnikih, še posebej za podporo in zaščito rogov. Rudnik Sitarjevec je bil znova odprt za turizem leta 2017, in v letu 2021 so odprli glavni rov. Les ostaja ključen material v rudnikih, čeprav so ga v preteklosti nadomeščali z drugimi materiali. Uporabljeni les je izpostavljen razkroju zaradi visoke vlažnosti in gliv, kot je bela hišna goba. Ta gliva lahko povzroči razgradnjo lesa in je pogosta v vlažnih okoljih rudnikov. Obstoj gliv je pomemben, saj lahko vplivajo na obiskovalce rudnika. Visoka relativna zračna vlažnost (96,6 %) in stalna temperatura (10,1 °C) v rudniku ustvarjata razmere, ki so ugodne za rast gliv, vendar pa relativno nizka temperatura ni omejujoč dejavnik za razgradnjo lesa. Koncentracija glivnih spor v rudniku je visoka in je razložena z razširjenostjo gliv v samem rudniku. Poleg tega smo opazili, da je v lesu veliko anorganskih onesnaževal ter veliko kristalov.

Ključne besede: razkroj, bela hišna goba, težke kovine, kristali, spore

ABSTRACT

The mining tradition in Litija, dating back to the Iron Age, involved the intensive use of wood in the mines, especially for support and protection. The Sitarjevec mine was reopened for tourism in 2017, and the central tunnel was opened in 2021. Wood remains a key material in the mines, although other materials have replaced it in the past. The wood used is subject to decay due to high humidity and fungi such as the mine fungus. This fungus can cause wood decomposition and is common in the humid environments of mines. The presence of fungi is important as it can affect visitors to the mine. The high relative humidity (96.6%) and constant temperature (10.1°C) in the mine create favourable conditions for fungal growth, although the relatively low temperature is not a limiting factor for wood decay. The high concentration of fungal spores in the mine is explained by the presence of fungi in the mine itself. In addition, we have observed that the wood contains a high level of inorganic contaminants and many crystals.

Key words: decay, mining fungus, heavy metals, crystals, spores

GDK 812:833.6(045)=163.6

DOI 10.20315/ASetL.133.3



Prispelo / Received: 10. 01. 2024

Sprejeto / Accepted: 27. 03. 2024

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Rudarska tradicija ima na območju Litije že večtisočletno zgodovino, saj sledovi rudarjenja sodijo že v starejšo železno dobo. V prvih obdobjih so rudo pobirali predvsem po površju, že v rimskih časih so jo začeli kopati. Rudnik Sitarjevec je najbolj intenzivno deloval od konca 19. stoletja do druge svetovne vojne. Rudnik so zaradi nizke vsebnosti kovin v rudi, slabe tehnične opremljenosti jame in silikoznih obolenj rudarjev v letu 1965 zaprli in je v naslednjih desetletjih sameval. V turistične namene so ga ponovno odprli decembra 2017 (Zarnik in sod., 2018). Leta 2021 so odprli še

glavni rov. Pri prenovi rudnika so v objektu uporabili večje količine lesa. Les je uporabljen za izdelavo podpornikov, zaščito obiskovalcev pred vdori kamenja in vzpostavitev čim bolj avtentičnih razmer.

Les je eden ključnih materialov, ki omogočajo delovanje rudnikov po celem svetu. Uporabljal se je za izdelavo orodij, vozičkov, lestev, stopnic, zaščite pred podori, zračnikov ... Največ lesa se je uporabilo za izdelavo podporij (Jakobitsch in sod., 2022). Les je, kot material za izdelavo podporij, prevladoval vse do srede dvajsetega stoletja (Hazler, 2011). V rudnikih so uporabljali les iz bližnje okolice (Pichler in sod., 2018), ko ga je začelo primanjkovati, so gozdarji in rudarji razvili

inovativne logistične rešitve, kot so idrijski lauf (gozdna železnica) in klavže (pregrada na vodotoku) (Brate, 2011). Les še danes ni popolnoma izginil iz rudnikov. V rudniku v Velenju še vedno uporabijo približno 10.000 m³ lesa letno za izdelavo oporja, predvsem les iglavcev, poleg tega še les bukve, hrasta in robinije (Rudnik lignita Velenje, b. l).

Les v uporabi je izpostavljen širokemu spektru dejavnikov razkroja. V naravi so ti procesi zaželeni, kadar pa les uporabljamo v gospodarske namene, jih želimo nadzorovati in čim bolj upočasniti (Humar in sod., 2020). Na življenjsko dobo lesa močno vpliva mesto uporabe. Les v rudniku je ves čas izpostavljen v okolju z visoko relativno zračno vlažnostjo, kondenzirajočo vodo, tekočo vodo, zato je vlažnost lesa ves čas primerna za delovanje gliv razkrojevalk in bakterij. Poleg tega se lahko v rudniku pojavijo tudi insekti, ki jim ustreza vlažno okolje, kot so na primer rilčkarji. V skladu s standardom EN 335 (European Standard EN 335, 2013) les v rudniškem okolju sodi v 4. razred uporabe. Četrty razred uporabe sodi med enega višjih razredov uporabe, kjer se najhitreje razkrajajo. V tem razredu uporabe sinergistično delujejo tako glive razkrojevalke kot tudi bakterije in rilčkarji (Reinprecht, 2016). Poleg tega v tem razredu zaradi visoke vlažnosti prihaja tudi do izpiranja ekstraktivov, kot tudi biocidnih učinkovin iz lesa, kar še dodatno vpliva na ogroženost lesa (Humar in sod., 2014). Ta razred uporabe je s komercialnega vidika zelo pomemben, saj vanj sodi večina infrastrukturnega lesa. Poleg rudniškega oziroma jamskega lesa so v tem razredu uporabe še: železniški pragovi, telekomunikacijski drogovi, leseni mostovi, koli v vinogradih in sadovnjakih ...

Tudi pri prenovi rudnika Sitarjevec so uporabili veliko lesa. V zadnjem obdobju je na sveže vgrajenem lesu v rudniku opaziti obsežnejšo razrast micelija lesnih gliv. V največji meri je v rudniku opaziti belo hišno gobo. Ime bela hišna goba 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 z imenom bela hišna goba označujemo še vrste: *Oligoporus placenta*, *Postia placenta*, *Poria monticola*, *Postia monticola*, *Poria vaillantii*, *Antrodia vaillantii* ... Podobno kot v slovenščini, se tudi v angleščini uporablja eno ime za našete glive. Poimenovali so jih: white pore fungus ali mine fungus (Humar, 2008). Bela hišna goba je zelo pogosta v kletih, rudnikih in drugih zelo vlažnih okoljih, po čemer je tudi dobila angleško ime »mine fungus«. Okužuje tudi les na skladiščih. Prav tako jo najdemo v gozdu na podzemnih delih hlodovine. Gliva je zabeležena v zmernem kakor tudi v tropskem pasu v Evropi,

Aziji, Avstraliji, Afriki, redkeje pa v Severni Ameriki. Bela hišna goba okužuje zelo vlažen les iglavcev, še posebej, če se na lesu nabira kondenzirana voda. Ta vrsta je tipičen predstavnik rjave trohnoobe. Razkrojen les prizmatično razpoka, vendar so razpoke plitkejše kot pri sivi hišni gobi, prizme pa večje kot pri kletni gobi (Schmidt, 2006).

Trosnjake bele hišne gobe najdemo zelo redko, največkrat se pojavijo v laboratoriju na starih hranilnih gojiščih. Trosnjak je blazinast, obrnjen navzgor in dobro prirasel na podlago. Trosovnica je sestavljena iz značilnih oglatih cevčic, nepravilnih oblik, premera 1 do 4 mm. V praksi belo hišno gobo najlažje spoznamo po značilnih belih, gladkih rizomorfi, 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. Ta gliva med razkrojem močno zakisa les z izločanjem oksalne kisline. Beli hišni gobi ustrezajo višje temperature kot sivi hišni gobi ali kletni gobi. Gliva najbolje uspeva pri temperaturi med 26 °C in 27 °C ter med 35 % do 45 % vlažnostjo lesa. Minimalna temperatura, pri kateri še uspeva gliva, je okoli 5 °C (Schmidt, 2006). Bela hišna goba razkrajajo le vlažen les, lahko preživi večletna sušna obdobja. V optimalnih razmerah zraste tudi do 12,5 mm dnevno (Benko, 1986; Kervina-Hamović, 1989). Za belo hišno gobo je značilna visoka toleranca do biocidnih proizvodov na osnovi bakrovih spojin in drugih anorganskih učinkovin. Toleranca do bakra med posameznimi izolati močno niha. Najbolj tolerantni izolati lahko rastejo celo na hranilnem gojišču, ki vsebuje 8000 mg/kg bakra, ali impregniranim lesu, ki vsebuje do 30 kg bakra/m³ (Humar in sod., 2021). Poleg bakrovih učinkovin je gliva tolerantna tudi do številnih drugih anorganskih učinkovin (Green in Highley, 1997; Humar in sod., 2006; Ribera in sod., 2017). Toleranca do bakrovih učinkovin je povezana z intenzivnim izločanjem organskih kislin, predvsem oksalne kisline (Takao, 1965; Steenkjær Hastrup in sod., 2005). Bakrove učinkovine so v kislem okolju manj strupene za glive kot v rahlo kislem ali nevtralnem okolju (Humar, 2008). Največjo vlogo ima oksalna kislina, ki reagira z bakrovimi učinkovinami. Pri tem nastane bakrov oksalat, ki je praktično netopen v vodi in zato za glive nestrupen (Humar in sod., 2002).

Rudnik Sitarjevec je poznan po bogati vsebnosti mineralov. Sitarjevec je polimetalno rudarsko nahajališče z izrazito oksidacijsko cono v obliki železovega klobuka. Trenutno je določenih 50 različnih materialov, vendar večina le v mikroskopski obliki (Žorž in sod., 2020). Najpogostejši minerali, o katerih poročajo, so anglezit (PbSO₄), barit (BaSO₄), cerusit (PbCO₃), cina-

Preglednica 1: Opis vzorcev izoliranih iz rudnika Sitarjevec**Table 1:** Description of samples isolated from the Sitarjevec mine

Številka vzorca Sample no.	Vrsta vzorca Type of sample	Mesto izolacije Location of sample isolation	Opis Description
1	Les	Izvozni rov	Povsem trhel les, ki je bil vgrajen v steno
2	Les	Izvozni rov	Del stebra, ki je bil vgrajen ob zadnji prenovi
3	Les	Glavni rov	Trhel kos lesa, ki je bil na tleh
4	Les	Glavni rov	Trhel kos lesa
5	Kamen	Glavni rov	Vzorec kamnine, prerasel z biofilmom
6	Rizomorf	Glavni rov	Rizomorf, ki je izraščal iz lesa
7	Les	/	Referenčen borov les

barit (HgS), kalcit (CaCO_3), kremen (SiO_2), pirit (FeS_2), piromorfit ($\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$), sadra ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) in siderit (FeCO_3) (Žorž in sod., 2018). Kristale je opaziti tako na stenah rudnika kot na površini lesa.

Namen tega prispevka je oceniti mikroklimatske razmere v rudniku, opisati stanje lesa v rudniku, oceniti pojav gliv razkrojevalk in glivnih spor in opisati kristale, ki se pojavljajo na lesu. Ti podatki bodo koristili za pripravo napotkov za optimalno izbiro lesa med nadaljnjo obnovo in vzdrževanje obstoječe lesene infrastrukture v rudniku.

2 METODE

2 METHODS

Obisk rudnika in izvedba terenskega dela sta potekala 11.3.2022. Upoštevati je treba, da je bil zrak v okolici rudnika v tem obdobju razmeroma suh (ARSO, 2023), kar je značilno za mesec marec. Iz rudnika smo izolirali šest vzorcev. Izolacijo in vzorčenje smo opravili v glavnem in izvoznem rovu. Te vzorce smo podrobno preiskali v laboratoriju (preglednica 1).

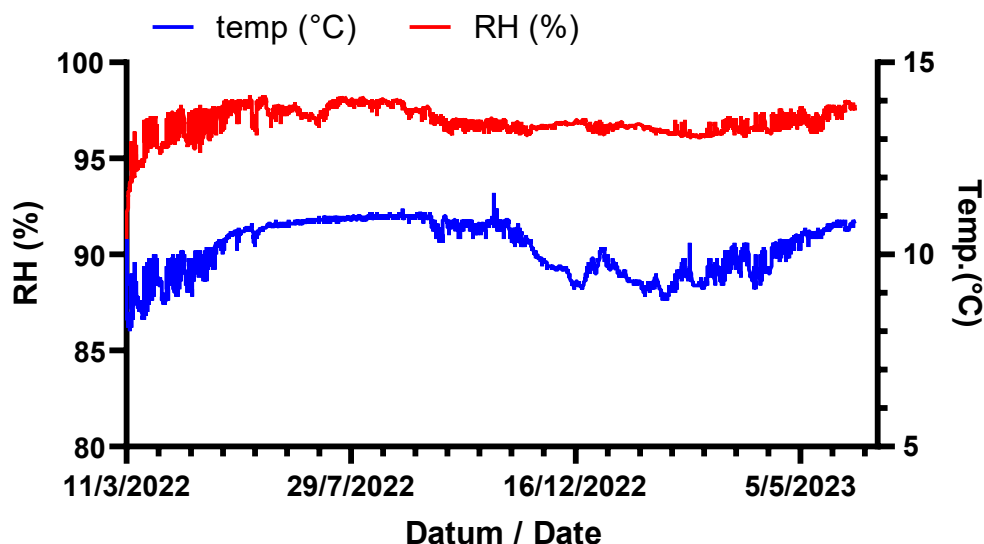
Oceno razkrojenosti lesa smo naredili z napravo Resistograph IML PD500 (IML Instrumenta Mechanik Labor System GmbH, Wiesloch, Nemčija), ki temelji na beleženju upora pri vrtnanju. Z drobnim svedrom premera 2 mm v les vrtamo luknjico in pri tem beležimo upor materiala pri vrtnanju. Metoda temelji na tem, da se za vrtnanje luknje v razkrojeni les uporabi manj energije kot za vrtnanje v zdrav les. Če naprava ne zabeleži upora, pomeni, da je les močno razkrojen (Humar in sod., 2022; Sharapov in sod., 2019).

V glavnem rovu smo namestili opremo za spremljanje relativne zračne vlažnosti in temperature proizvajalca Scantronik (Scantronik, Zorneding, Nemčija). Opremo smo namestili približno 150 cm nad tlemi pod elektro omarico. Tako smo preprečili kapljanje na merilno opremo in s tem povezane okvare merilne opreme. Na zapisovalnik podatkov (data-logger) Thermofox smo namestili senzor Thermo-Hygro, 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 $0,3\text{ }^\circ\text{C}$). Podatke (meritev, najnižja in najvišja vrednost) smo beležili v urnih razmikih v obdobju med 11. 3. 2022 in 9. 6. 2023. V tem obdobju smo zabeležili 32.000 podatkov. Podobna opazovanja opravljamo tudi na drugih lokacijah (Kržišnik in sod., 2018).

Mikroskopsko analizo smo opravili z digitalnim mikroskopom Olympus DSX1000 (Olympus, Tokio, Japonska). Analizirali smo površino izbranih vzorcev in prečni prerez. Pred mikroskopsko analizo smo prečno ksilotomsko ravnino poravnali z drsnim mikrotomom GSL 1 (Künten, Švica). Analizo smo opravili z mešano osvetlitvijo (svetlo in temno polje). Presek rizomorfov smo analizirali tudi s svetlobnim presevnim mikroskopom. Vzorce smo obrezali in jih vklopili v parafin. Pripravo rezin smo opravili z rotacijskim mikrotomom (Leica, RM2245). Rezine so bile obarvane z barviloma safranin in astra-modro. Rezine so bile vklopljene v euparal (Prislan in sod., 2008). Vzorce s kristali smo preiskali tudi z vrstično elektronsko mikroskopijo (SEM). SEM-analiza je bila opravljena pri visokem vakuumu in nizki napetosti (med 5 kV in 15 kV; FEI Quanta 250 SEM; Hillsboro, Oregon, ZDA). Uporabljena sta bila detektorja LFD in CBS. Opazovanja so potekala na delovni razdalji med 8 mm in 10 mm. Energijsko disperzijska rentgenska spektroskopija (EDX) je bila opravljena z uporabo sistema za analizo TEAM™ EDS (EDAX, AMETEK Inc., Berwyn, Pensilvanija, ZDA). Točkovna analiza, ki je potekala pri napetosti 20 kV, je omogočila identifikacijo elementov na površini vzorca.

Gostoto lesa smo določili z napravo GeoPyc (Micromeritics, Norcross, ZDA), ki omogoča natančno izmero volumna s suhim, sipkim medijem iz mešanice zelo majhnih delcev grafita in keramičnih mikrosfer. Vzorcem smo pred meritvijo določili maso. Meritve smo opravljali na absolutno suhem lesu, saj je sistem najbolj primeren za določanje gostote lesa v absolutno suhem



Slika 1: Gibanje relativne zračne vlažnosti (RH) in temperature (temp) v rudniku Sitarjevec

Fig. 1: Relative humidity (RH) and temperature (Temp) trends in the Sitarjevec mine

stanju, kjer se vlažnost vzorca ne spreminja (Arnič in sod., 2021). Gostoto celičnih sten smo določili z napravo AccuPyc (Micromeritics, Norcross, ZDA). Naprava deluje kot piknometar s pomočjo plina. Uporabili smo helij, ki ima najmanjše molekule in lahko prodre najgloblje v material. Tako določanje gostote se uporablja za porozne in permeabilne materiale, saj tako zmerimo absolutno gostoto materiala, brez zraka, ki je v njem.

Na izoliranih vzorcih smo opravili tudi kvantitativno elementno analizo. Vsebnost anorganskih elementov v vzorcih smo določali z rentgenskim fluorescenčnim spektrometrom XRF TwinX proizvajalca Oxford Instruments (Abingdon, Združeno kraljestvo). Meritve so bile opravljene s PIN-detektorjem ($U = 26 \text{ kV}$, $I = 112 \mu\text{A}$, $t = 360 \text{ s}$).

Iz lesa smo izolirali kristale. Kristalno strukturo smo določili z rentgensko praškovo difrakcijo (XRD). Uporabili smo rentgenski difrakcijski sistem proizvajalca Empyrean PANalytical (Nizozemska) s $\text{Cu K}\alpha$ radiacijo. Difrakcijo smo merili med $5\text{-}80^\circ 2\theta$ s korakom $0,02^\circ$.

V rudniku in okolici smo določali tudi koncentracijo spor. Meritve smo opravili na devetih lokacijah (preglednica 2). Kontrolo je ponazarjalo vzorčenje na prostem. Kot medij smo uporabili hranilno gojišče PDA. V našem primeru smo vzorčili 100 L zraka. Uporabili smo vzorčevalnik MAS-100 VF proizvajalca Merck. Po končanem vzorčenju smo plošče z gojiščem zaprli s parafilmom in inkubirali na 25°C . Plošče smo dnevno pregledovali in po 72 urah zrasle kolonije pregledali in izračunali število nastalih kolonij (angl. »colony forming units« CFU) na m^3 (CFU/m^3). Določili smo spore in kolonije dokumentirali z digitalnim mikroskopom Olympus DSX1000 (Olympus, Tokio, Japonska).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

Mikroklima v rudniku Sitarjevec je bila čez leto razmeroma konstantna. Relativna zračna vlažnost (RH) je nihala med 90,3 % in 98,3 %. Povprečna relativna zračnost je bila 96,9 %. Relativna zračna vlažnost je bila nekoliko nižja v zimskih in pomladnih mesecih, kar se časovno ujema s sušnim obdobjem. Tudi temperatura je bila skozi celotno opazovano obdobje razmeroma primerljiva. Nihala je med $8,0^\circ\text{C}$ in $11,6^\circ\text{C}$. Povprečna temperatura je znašala $10,1^\circ\text{C}$ (slika 1). Visoka relativna zračna vlažnost ustreza rasti večine lesnih gliv, še posebej bele hišne gobe, ki ji ustreza kondenzirana vlaga (Humar, 2008). Po drugi strani je temperatura na spodnjem območju, ki ustreza razvoju lesnih gliv. Lesnim glivam, kot tudi beli hišni gobi, ustrezajo temperature med 4°C in 30°C . Pri nižjih temperaturah se razvijajo počasneje (Schmidt, 2006; Stienen in sod., 2014). Če to mikroklimo primerjamo s podatki z drugih lokacij, lahko razberemo, da je bila povprečna temperatura v podzemni utrdbi Goli Vrh nekoliko nižja ($6,6^\circ\text{C}$), relativna zračna vlažnost pa za pol odstotne točke višja (97,4 %) kot v Rudniku Sitarjevec (Humar in sod., 2019). Glede na to, da so glive učinkovito razkrajale les tudi v podzemni utrdbi Goli vrh, kjer smo zaznali nižjo povprečno temperaturo, menimo, da temperatura v Rudniku Sitarjevec ne pomeni omejitve za glivni razkroj.

V zraku smo pred rudnikom in v njem določili koncentracijo spor. Trosi ali spore so posebne strukture, ki jih tvorijo nekateri organizmi, da preživijo neugodne življenjske razmere, kot so pomanjkanje hrane, vode, neugodne temperature ... Spore so obdane z debelo ovoj-

Preglednica 2: Pregled mest in koncentracija spor na mestih vzorčenja

Št. meritve Sampling no.	Lokacija meritev Sampling site	Koncentracija spor (CFU/m ³) Spore concentration (CFU/m ³)
1	Zunaj na parkirišču	340
2	Pred vhodom v rudnik	4000
3	Pred vhodom v rudnik	Neustrezna meritvev
4	Izvozni rov	4500
5	Glavni rov, začetek	4500
6	Glavni rov, konec	4500
7	Glavni rov, križišče	4500
8	Glavni rov, pri klopci	4500
9	Glavni rov, poleg elektro omarice	4500

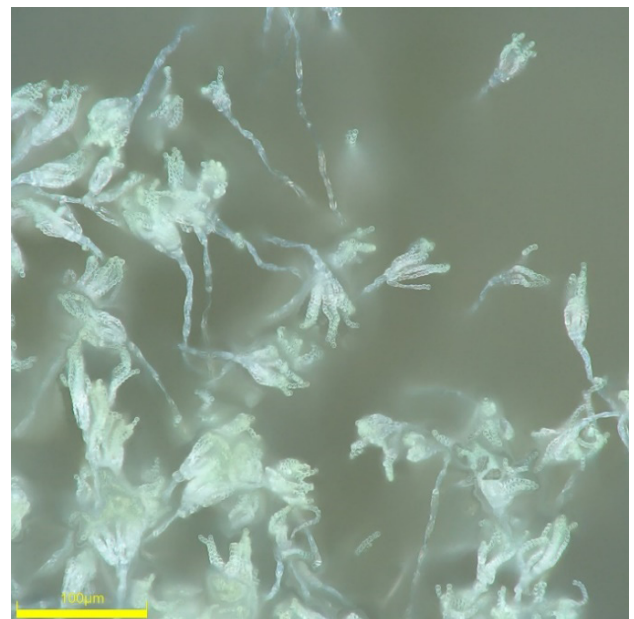
Table 2: Overview of the sites where spore concentrations were sampled

nico, v protoplazmi so zaloge hranljivih snovi z malo vode. Spore lahko preživijo več desetletij neugodnih razmer. Ko spet nastopijo ugodne razmere, se iz spore razvije hifa (Brischke in Alfredsen, 2020; Schmidt, 2006). Pri glivah so spore stopnja razvoja v življenjskem krogu, ki ima ključno vlogo pri razmnoževanju in razširjanju. V zraku je navadno med 360 in 1230 CFU/m³ spor (Flores in sod., 2014). V rudniku smo na vseh lokacijah zaznali vsaj 4500 CFU/m³. Ta koncentracija je relativno visoka in je značilna za okolja, kjer je veliko gliv. Na prostem je bilo spor bistveno manj (340 CFU/m³). To nakazuje, da je vzrok za visoko koncentracijo spor v rudniku in ne na prostem. V vseh delih rudnika smo zaznali primerljivo koncentracijo spor.

Na podlagi mikroskopske in makroskopske analize je videti, da se glivne kulture, ki smo jih izolirali iz spor v izvoznem rovu, razlikujejo od gliv, ki smo jih izolirali iz glavnega rova (slika 2). V glavnem rovu se

je iz spor razvil predvsem vegetativen micelij. Po drugi strani so se iz spor iz izvoznega rova razvile predvsem plesni. Mikroskopska analiza je pokazala, da plesni v izvoznem rovu sodijo predvsem v rod *Penicillium*. Za te glive so značilne strukture za nespolno razmnoževanje v obliki čopiča. Te glive sodijo med askomicete (zaprtotrosnice), ki vključujejo okoli 300 vrst. Glive iz rodu *Penicillium* zelo pogosto najdemo v naravnem okolju, zemlji ... (Rashmi in sod., 2019).

Glede na veliko pojavnost bele hišne gobe v rudniku je pričakovati, da so se iz spor v glavnem rovu razvile predvsem glive iz rodu belih hišnih gob (*Fibroporia vailantii*). Glede na to, da je rudnik odprt za obiskovalce, se postavlja vprašanje o nevarnosti spor bele hišne gobe za vodnike in obiskovalce. Podatkov o nevarnosti, ki jih povzročajo spore gliv prostotrosnic (bazidiomicete), ni veliko, kljub temu da so bolezni ljudi, ki jih povzročajo glive, v zadnjih desetletjih v porastu (Chowdhary in

**Slika 2:** Mikroskopska slika glivnih kultur, ki so se razvile iz spor v izvoznem rovu (levo) in glavnem rovu (desno) Rudnika Sitarjevec**Fig. 2:** Microscopic image of fungal cultures that developed from spores in the exit tunnel (left) and main tunnel (right) of the Sitarjevec mine



Slika 3: Micelij bele hišne gobe na lesu v Rudniku Sitarjevec

Fig. 3: Mycelium of mine fungus on wood at the Sitarjevec Mine

sod., 2014). K temu v največji meri prispevajo naslednji dejavniki: široka uporaba sodobnih imunosupresivnih zdravil, invazivni medicinski instrumenti, mednarodna potovanja, ekstremno vreme, naravne nesreče in obsežna uporaba azolov v fitofarmaceutskih sredstvih in biocidih (Brandt, 2013; Chowdhary in sod., 2013). Spo-

re bazidiomicet so številne in glede na geografsko lego lahko dosežajo od 5 % do 60 % celotne obremenitve zraka s spori. Koncentracije spor v zraku se spreminjajo glede na dnevne in sezonske vzorce ter lahko povzročijo kontaktni dermatitis, alergijo na hrano in invazivno mikozo (Breitenbach in sod., 2002).



Slika 4: Biofilm in hife gliv na površini vzorcev kamenja iz Rudnika Sitarjevec

Fig. 4: Biofilm and fungal hyphae on the surface of rock samples from the Sitarjevec mine

Preglednica 3: Koncentracija izbranih anorganskih elementov v lesu iz rudnika Sitarjevec. Opis vzorcev je razviden iz preglednice 1.

Table 3: Concentration of selected inorganic elements in wood from the Sitarjevec mine. A description of the samples is given in Table 1.

Številka vzorca Sample no.	Koncentracija / Concentration [mg/kg]								
	Ni	Hg	Fe	Zn	Pb	Cu	Cr	Cl	Co
1	66	2079	0	0	2472	47	72	1229	1839
2	16	17	0	179	149	52	55	1419	234
3	48	326	0	65	972	159	133	2600	865
7	0	0	0	0	0	0	0	54	0

*Vrednosti 0 pomenijo, da so koncentracije izbranih elementov pod mejo detekcije.

V zadnjem času je bilo več gliv iz rodu bazidiomicet opisanih kot povzročitelji okužb pri ljudeh ali kot povzročitelji preobčutljivostnih in alergijskih reakcij, na primer z glivami povezanega kroničnega kašlja (Brandt, 2013; Ogawa in sod., 2011). Eden izmed pomembnih človeških patogenov med bazidiomicetnimi glivami je navadna cepilistka (*Schizophyllum commune*). Kot človeški patogen je bila prvič opisana pri okužbi nohtov pred več desetletji (Kligman, 1950). *Schizophyllum commune* je hialinska gliva, ki jo pogosto najdemo v okolju, še posebej v razpadajočih organskih snoveh, kot je trhel les (Brandt, 2013). Okužbe z navadno cepilistko lahko segajo od astme do možganskih lezij in se pojavijo tako pri zdravih kot imunsko oslabljenih bolnikih (Chowdhary in sod., 2013). V večini primerov gre za vnetje sinusov, alergijsko bronhopulmonalno bolezen, mikoze in astmo (Bojic in sod., 2013; Chowdhary in sod., 2014). O glivi *Hormographiella aspergillata* so pogosto poročali tudi kot o povzročitelju okužb pri ljudeh. O okužbi s to glivo so poročali pri bolnikih z levkemijo, zaradi česar so bolniki pogosto kljub protiglivičnemu zdravljenju umrli (Conen in sod., 2011). O okužbi so poročali tudi pri nevtropeničnih bolnikih, pri katerih so se razvile pljučne okužbe (Suarez in sod., 2011). Poročali so še o več drugih okužbah ljudi, ki so jih povzročile bazidiomicete, kot so med drugim okužbe z glivami: *Ceriporia lacerate*, *Phellinus undulatus*, *Irpex lacteus* in *Volvarella volvacea* (Brandt, 2013). Bele hišne gobe in druge glive prostotrosnice, ki se pogosto pojavljajo v bivanjskem okolju, niso posebej navedene.

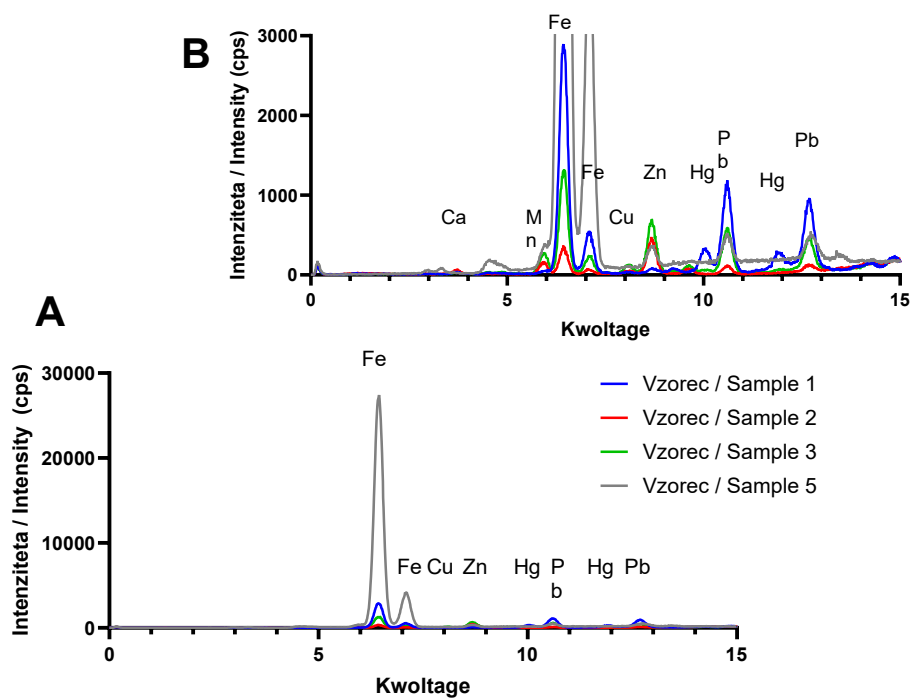
Kakorkoli, basidiomicete so v okolju zelo razširjene in več rodov je dokazalo patogeni potencial pri ljudeh. Najpogostejše okužbe so okužbe dihal. Ugotovljeno je bilo, da ti patogeni kolonizirajo pljučne vršičke. Nedavne študije kažejo na povezavo med uporabo kaspofunginskih zdravil in pridobivanjem bazidiomicet kot povzročiteljev sekundarne okužbe.

Micelij gliv bele hišne gobe smo opazili predvsem na lesu, ki je bil v rudnik vgrajen po prenovi (slika 3 in 4). Možnih razlogov za to je več. Star les je bil pogosto že močno razkrojen in v lesu ni bilo več hranljivih snovi

(Prewitt in sod., 2014). Po drugi strani je bilo v starem lesu več težkih kovin kot v lesu, ki je bil v rudnik vgrajen kasneje. Na primer, v starem lesu smo določili do 2079 mg/kg živega srebra, 2472 mg/kg svinca ... (preglednica 3). Koncentracija teh dveh elementov je bila v sveže vgrajenem lesu bistveno nižja (Pb – 149 mg/kg; Hg – 17 mg/kg). Za les je značilna selektivna absorpcija. Na lesu je veliko funkcionalnih skupin, na katere se lahko vežejo anorganske učinkovine (Arshad in Imran, 2020). Poleg tega je voda iz lesa počasi hlapela, v lesu pa so ostajale nehlapne anorganske komponente. Visoka koncentracija težkih kovin v lesu, ki je bil desetletja vgrajen v rudniku, je tako pričakovana. Težke kovine voda izpira iz kamnin, kar je razvidno iz primerjave spektrov XRF kamnine in lesa (slika 5).

Pojav bele hišne gobe na lesu z visokimi koncentracijami težkih kovin in visoko vlažnostjo lesa je razumljiv. Za glive iz rodu belih hišnih gob je značilna visoka toleranca do bakra in številnih drugih anorganskih učinkovin (Karunasekera in sod., 2017). Verjetno lahko obsežno rast gliv iz rodu *Fibroporia* v določeni meri pripisemo dejstvu, da večina drugih gliv ni uspevala na substratu, ki je onesnažen s tako visokimi koncentracijami anorganskih onesnaževal. Glede na rezultate opazovanja so edino glive iz rodu *Fibroporia* sposobne rasti na tako onesnaženem substratu.

Visoka koncentracija težkih kovin v lesu se kaže tudi v pojavu kristalov na površini lesa. Na vseh vzorcih lesa smo na površini opazili drobne in prozorne kristale (slika 6). Analiza SEM in EDAX je pokazala, da je na površini vzorcev opaziti tri tipe kristalov (slika 7). Veliki prozorni kristali v povprečju vsebujejo O (48,5 %), Ca (27,8 %), S (16,1 %) in C (9,4 %). Mali kristali vsebujejo v povprečju Pb (41,4 %), O (24,5 %), C (20,1 %) in S (9,5 %). Glede na kemijsko sestavo je ta anglezit (PbSO₄). Visoke koncentracije ogljika verjetno prihajajo iz lesa. Poleg tega smo na enem mestu zaznali še kristale z visoko vsebnostjo Ba (72,9 %), kjer je bilo zaznati še O (15,0 %) in S (8,8 %). Glede na kemijsko zgradbo je ta kristal barit (BaSO₄). Za vse te minerale je znano, da jih najdemo v rudniku Sitarjevec (Žorž in sod., 2020).



Slika 5: Spektri XRF izbranih vzorcev lesa in mineralov iz Rudnika Sitarjevec. Slika A prikazuje spekter XRF tako vzorcev lesa kot kamenja, spektri na sliki B pa prikazujejo le spektre, posnete na lesu.

Fig. 5: XRF spectra of selected wood and mineral samples from the Sitarjevec mine. Figure A shows the XRF spectra of both the wood and rock samples, while the spectra in Figure B show only the spectra recorded on the wood.

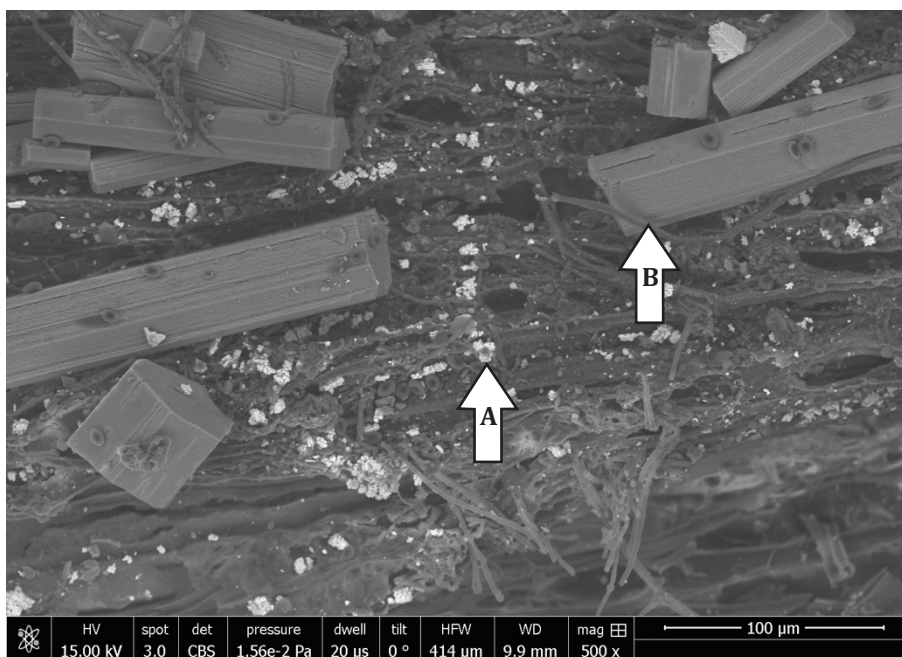
Rentgenska praškovna difrakcija kristalov s površine lesa iz rudnika je potrdila, da ukloni pripadajo kalcijevemu sulfat dihidratu ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) (slika 8), poznanemu kot sadra. Sadra je naravni mineral, ki ga najdemo v sedimentnih kamninah in je nastal pred 100 milijoni let pri izhlapevanju vode prostranih morij, ki so prekrivali kontinente (Ishikawa, 2008). Do podob-

nega pojava je prišlo pri lesu. Les je bil v zelo vlažnem okolju, kjer je absorbiral vodo, nasičeno z minerali iz podlage. Ta voda je izhlapela iz površine lesa, kjer so ostali kristali, ki so odsevali mineralno sestavo rudnika. Minerale je mogoče zaslediti tudi v lumnih celic (slika 13).



Slika 6: Kristali, posneti na površini lesa iz Rudnika Sitarjevec

Fig. 6: Crystals recorded on the surface of wood from the Sitarjevec Mine

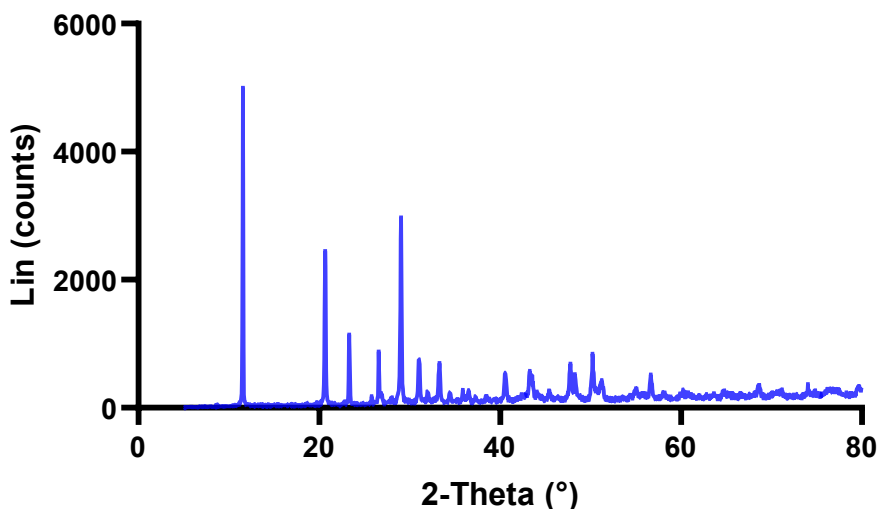


Slika 7: SEM slika kristalov, posnetih na površini lesa iz Rudnika Sitarjevec. Puščica A označuje kristale z visoko koncentracijo Pb, puščica B pa kristale z visoko koncentracijo S.

Fig. 7: SEM image of crystals taken on the surface of wood from the Sitarjevec mine. Arrow A indicates crystals with a high concentration of Pb and arrow B indicates crystals with a high concentration of S.

Iz podpor v rudniku so izračali številni rizomorfi. Rizomorf je splet hif v obliki nekaj milimetrov debelih vrvicam podobnih struktur. Rizomorf služi predvsem širjenju gliv v zemlji. V času obiska v rudniku nismo bili povsem prepričani, ali iz debel izraščajo sekundarne korenine ali rizomorfi. Mikroskopska analiza je potrdila, da iz lesa izraščajo rizomorfi. Obdaja jih temen melaniziran ovoj, ki jim daje temno barvo. Glede na barvo in okoliščine menimo, da ti rizomorfi pripadajo kletni gobi (*Coniophora puteana*). Micelij te glive smo opazili na lesu v rudniku, kar potrjuje to hipotezo (sliki 9 in 10).

Razkrojenost lesa smo ocenili z uporovnim vrtnjem (slika 11). Večina starejšega lesa je bilo tako razkrojena, da svedru ni dajal nikakršnega upora. Zato teh podatkov ne prikazujemo. Poleg tega smo analizirali podpore, ki so bile vgrajene ob ponovnem odprtju rudnika. Glede na ostanke skorje na podporah in navedbe vodnikov so podpore izdelane iz lesa robinije. Pri teh podporah smo opazili, da je razkrojena predvsem beljava, kar je lepo razvidno iz analiz z uporovnim vrtnjem. Ta rezultat se ujema s podatki o odpornosti lesa robinije. Jedrovino robinije uvrščamo v najvišji



Slika 8: XRD difraktogram kristalov iz površine lesa iz rudnika Sitarjevec

Fig. 8: XRD diffractogram of crystals from the surface of wood from the Sitarjevec mine



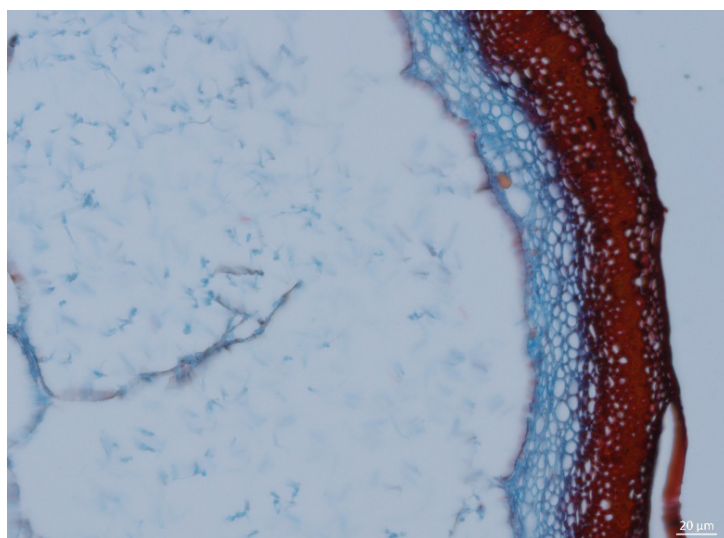
Slika 9: Rizomorfi kletne gobe, ki izraščajo iz lesenih podpor

Fig. 9: Cellar fungus rhizomorphs growing out of wooden support beams

razred odpornosti, beljava je zelo dovzetna na glivni razkroj (European Standard EN 350, 2016; Humar in sod., 2020). Dobro odpornost lesa robinije pripisujemo predvsem ekstraktivom v njej (Vek in sod., 2020). Poleg podpor iz lesa robinije je bilo po prenovi vgrajenih veliko borovih in smrekovih desk. Te deske so bile pretanke za analizo z rezistografom. Pri teh deskah smo razkrojenost ocenili v skladu s standardom EN 252 (European Standard EN 252, 2015). Pri veliki večini borovih in smrekovih desk smo razkroj ocenili z oceno 4 – popolnoma razkrojen les.

Na stopnjo razkrojenosti kaže tudi gostota. Gostota v absolutno suhem stanju (r_0) borovega lesa znaša med 300 kg/m^3 in 860 kg/m^3 . Glede na literaturne podatke je povprečna gostota lesa rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) 490 kg/m^3 . Gostota lesa robinije (*Robinia pseudoa-*

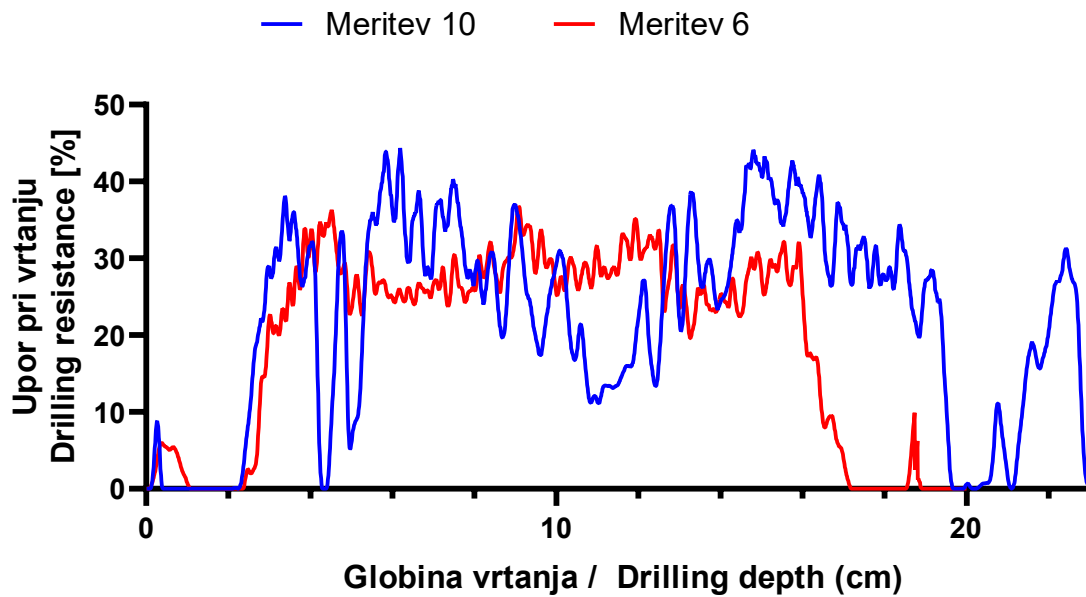
cacia L.) je nekoliko višja in se giblje med 540 kg/m^3 in 870 kg/m^3 . Povprečna gostota lesa robinije je 730 kg/m^3 (Wagenfuhr, 2007). Med analiziranimi vzorci zbuja pozornost vzorca z oznako 1 in 2, ki se ju ni dalo z gotovostjo determinirati (preglednica 4). Ta dva vzorca imata relativno visoko gostoto, kljub temu, da mikroskopska analiza nakazuje, da gre za les iglavcev (sliki 12 in 13). Med sušenjem sta že v rudniku vzorca popolnoma kolabirala. Na razkrojenost nakazuje tudi nizka gostota celične stene ($1,3345 \text{ g/cm}^3$) v primerjavi z nerazkrojenim lesom ($1,4321 \text{ g/cm}^3$). Vzorca 3 in 4 sta bila manj razkrojena. Les je še ohranil svojo strukturo. Gostota suhega lesa (r_0) je 359 kg/m^3 oziroma 422 kg/m^3 (preglednica 4). Za ta dva vzorca je značilna tudi visoka poroznost, kar ponovno potrjuje visoko razkrojenost.



Slika 10: Presek rizomorfov, posnet s svetlobnim mikroskopom (levo) in digitalnim mikroskopom (desno)



Fig. 10: Cross-section of rhizomorphs taken with a light microscope (left) and a digital microscope (right)



Slika 11: Prikaz meritev upora pri vrтанju na podporah iz lesa robinije v Rudniku Sitarjevec

Fig. 11: Drilling resistance measurements on a wooden support beam made of black locust at the Sitarjevec Mine

V okolju rudnika Sitarjevec je smiselno uporabiti les, ki izkazuje najboljšo odpornost proti lesnim škodljivcem. Na voljo so tri rešitve:

Izbira naravno odpornega lesa. V Sloveniji sta na voljo le dve lesni vrsti, ki imata naravno odporen les, in sicer domači kostanj in robinija. Preostale komercialne evropske lesne vrste nimajo dovolj odpornega lesa za uporabo v tako zahtevnih razmerah, kakršne vladajo v rudniku Sitarjevec (Lesar in sod., 2008; European Standard EN 335, 2016; Humar in sod., 2020).

Impregnacija lesa z biocidnimi proizvodi. Za zaščito lesa v četrtem razredu uporabe so primerni le bakrovi pripravki. Trenutno so v EU dovoljeni le baker-etanolaminski pripravki, prihajajo pa pripravki na osnovi olj in nano-bakrovi pripravki. Retencija in penetracija bakrovih učinkovin v les za uporabo v rudniku mora ustrezati zahtevam za četrti razred uporabe. Za impregnacijo se najbolje obnese beljava bora. Impregnacija lesa z biocidnimi proizvodi na osnovi bakra je praviloma cenovno najbolj ugodna rešitev (Freeman in McIntyre, 2008; Humar in sod., 2018).

Modifikacija lesa. Za uporabo v rudniškem okolju sta na voljo dve komercialni rešitvi, in sicer modifikaci-

ja s furfural alkoholom ali acetilacija lesa. Ti dve tehniki modifikacije omogočata rabo lesa v najbolj ogrožajočih razmerah uporabe (Hill, 2006; Jones, 2019).

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

Rudarska tradicija v Litiji je dolga več tisoč let in sledovi rudarjenja segajo že v starejšo železno dobo. Rudnik Sitarjevec je doživel intenzivno obdobje od konca 19. stoletja do druge svetovne vojne, vendar so ga zaradi nizke vsebnosti kovin, pomanjkljive opreme in zdravstvenih težav delavcev zaprli leta 1965. Ponovno so ga odprli leta 2017 v turistične namene, pri čemer so les uporabili za številne namene, vključno z vzpostavitvijo avtentičnih razmer.

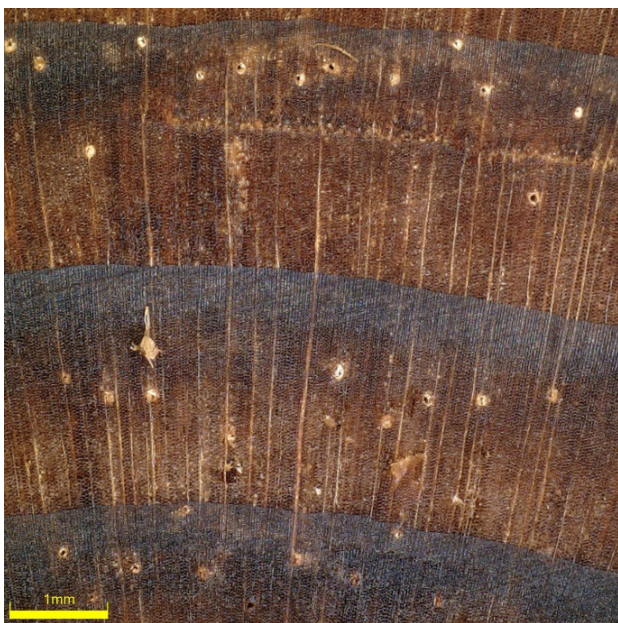
Les je bil ključen material v rudnikih, uporabljen za orodja, stopnice, podporne strukture itd. Do sredine 20. stoletja je prevladoval pri podporah, in ko je postal redek, so razvili inovativne logistične rešitve, kot so idrijski lauf in klavže. Tudi danes les ostaja v rudnikih, kot na primer v rudniku v Velenju, kjer letno uporabijo približno 10.000 m³ lesa za podporo.

Uporabljeni les v rudnikih je izpostavljen različnim

Preglednica 4: Gostota izoliranih lesnih vzorcev

Table 4: Density of isolated wood samples

Številka vzorca Sample no.	Gostota celične stene Density of cell wall (g/cm ³)	Osnovna gostota Basic density (kg/m ³)	Poroznost Porosity (%)
1	1,3345	705	47,2
2	1,4627	591	59,6
3	1,4837	359	75,8
4	1,5274	422	72,4
7	1.4321	480	66,8



Slika 12: Prečni prerez borovega nosilca (levo) in površina lesa, prerasta z glivnim micelijem (desno)

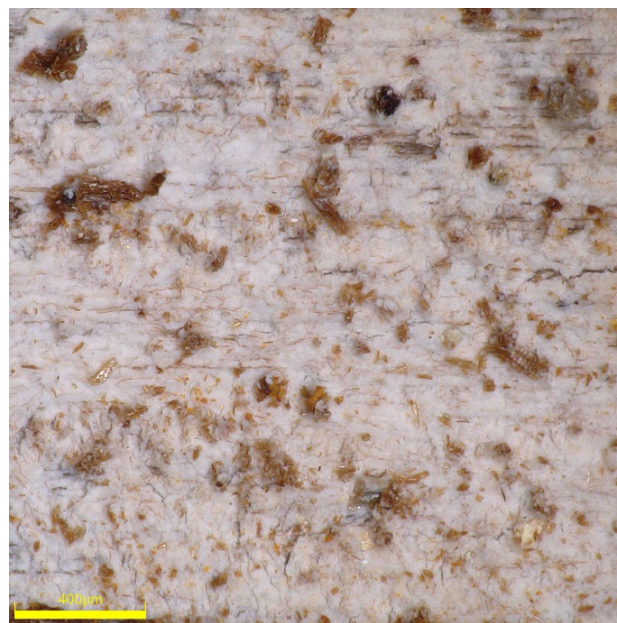


Fig. 12: Cross-section of a pine beam (left) and wood surface overgrown with fungal mycelium (right)

procesom razkroja, kar je zaželeno v naravi, vendar pa želimo te procese nadzorovati v gospodarske namene, zlasti v rudnikih. Les v rudnikih spada v 4. razred uporabe, kjer hitro razpada zaradi delovanja gliv, bakterij in žuželk v visoko vlažnem okolju. To je izziv za ohranjanje lesa v takšnih okoljih.

Pomembnost tega prispevka je v oceni mikroklimatskih razmer, stanja lesa, pojava gliv razkrojevalk in kristalov v rudniku, kar bo v pomoč pri izbiri lesa za nadaljnjo obnovo. Prav tako smo določili koncentracijo glivnih spor v zraku, pri čemer smo v rudniku zaznali njihovo visoko koncentracijo.

Ugotovili smo, da so mikroklimatske razmere v rudniku razmeroma konstantne, kar ustreza razvoju lesnih gliv. Visoka relativna zračna vlažnost in sprejemljiva temperatura omogočata rast gliv. V zraku rudnika smo zaznali visoko koncentracijo spor, predvsem gliv iz rodu *Penicillium* in *Fibroporia vaillantii*, bele hišne gobe. Spore niso nevarne za zdrave obiskovalce. Imunsko oslABLJENE osebe bi lahko imele težave v primeru daljše izpostavitve.

V kratkem obdobju ni mogoče preprečiti razvoja spor v rudniku. Če bi se trhel les v rudniku nadomestil z odpornim lesom, bi se sčasoma rešil tudi ta problem.



Slika 13: Prečni prerez povsem trhlega vzorca 1 (levo) in lumni, zapolnjeni z anorganskim materialom (desno)

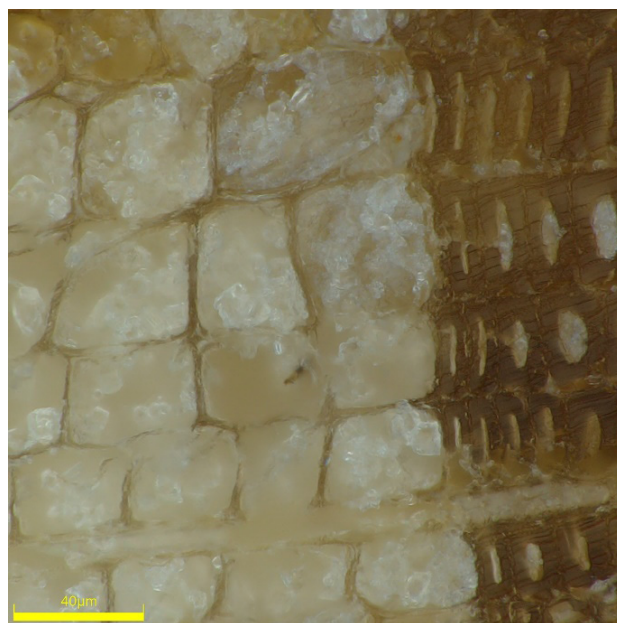


Fig. 13: Cross-section of fully degraded specimen 1 (left) and lumens filled with inorganic material (right)

Les v rudniku vsebuje veliko težkih kovin, ki se pojavljajo na površini lesa, kot kristali. Te težke kovine preprečujejo, da bi se na lesu razvile glive, ki niso tolerantne do biološko aktivnih anorganskih spojin.

Ta študija podaja razloge za spremljanja razmer v rudnikih in preučevanja, kako se les in druge strukture vzdržujejo v takšnih okoljih ter kakšna tveganja in izzive prinašajo.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

The mining tradition in Litija, which dates back several millennia, shows traces of mining from the Iron Age onwards. Initially, mining was limited to surface mining, but it expanded into deeper mining pits during Roman times. The Sitarjevec mine was most active between the end of the 19th century and the Second World War, before closing in 1965 due to low metal content in the ore, technological deficiencies and health problems among miners. It was reopened to tourists in 2017, and the central tunnel was opened again in 2021. The renovation made extensive use of wood for support elements to protect visitors and to recreate an authentic environment.

Wood played a vital role in the mines for tools, carts, ladders and, above all, supports, which continued until the middle of the 20th century. When local timber supplies declined, foresters and miners developed innovative logistical solutions such as the Idrija lauf and claves. Even today, timber remains an important material in mines, such as the Velenje mine, where around 10,000 m³ of timber is used annually for various mining purposes.

However, wood in a mine environment is subject to rapid decomposition due to high humidity and susceptibility to fungi, bacteria and insects. Wood in mine settings is considered suitable for class 4 applications. This use class is important for infrastructure timber such as railway sleepers and bridges. During the renovation of the Sitarjevec mine, extensive growth of mycelia from mine fungus, which is common in humid environments and can degrade wood even in warehouses and mines, was observed.

An analysis of the microclimatic conditions in the mine revealed that high relative humidity promotes the growth of most wood-decaying fungi, typical in conditions of condensed moisture. However, the temperature in the mine does not limit fungal decomposition. Measurements of spore concentration showed a high level of spore presence in the mine compared to the external surroundings, indicating the presence of fungi inside the mine.

Based on the analysis, it is expected that fungi of the genus *mine* fungus are dominant in the mine, raising the question of a potential hazard to visitors. Although data on hazards are limited, basidiomycetes have been identified as infectious agents in humans, especially in immunocompromised people. Mining fungi and other basidiomycete fungi commonly found in the environment have yet to be specifically investigated.

An analysis of the microclimatic conditions, spore concentrations and fungal species in the mine is key to developing guidelines for the selection of timber during restoration.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Avtorji se zahvaljujejo finančni podpori Javne agencije za raziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru raziskovalnega projekta J7-50231 (GROWTH: Rastni potencial in lastnosti lesa izbranih drevesnih vrst različnih provenienc: možnosti zaščite z modifikacijo in izzivi pri odzivanju na podnebne spremembe), raziskovalnega programa P4-0015 (Les in lignocelulozni kompoziti), P4-0430 (Gozdno-lesna veriga in podnebne spremembe: prehod v krožno biogospodarstvo) in Infrastrukturnega centra (IC LES PST 0481-09).

VIRI

REFERENCES

- Arnič D., Humar M., Kržišnik D., Krajnc L., Prislan P. 2021. Gostota lesa - metode določanja in pomen pri razvoju gozdno lesnega biogospodarstva. *Acta Silvae et Ligni*, 124: 1–11. <https://doi.org/10.20315/asetl.124.1>
- Arshad N., Imran S. 2020. Indigenous waste plant materials: an easy and cost-effective approach for the removal of heavy metals from water. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2020.100040>
- ARSO - Agencija Republike Slovenije za okolje = Slovenian environmental agency <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (20. 1. 2023).
- Benko R. 1986. Hišne gobe, nevarne razkrojevalke lesa. *Les*, 38: 15–21.
- Bojic M., Willinger B., Rath T., Tobudic S., Thalhammer F., Böhm A., Mitterbauer M., Schulenburg A., Wöhrer S., Kalhs P., Rabitsch W. 2013. Fatal skin and pulmonary infection caused by *Hormographiella aspergillata* in a leukaemic patient: case report and literature overview. *Mycoses*, 56: 687–689. <https://doi.org/10.1111/myc.12087>
- Brandt M.E. 2013. Filamentous basidiomycetes in the clinical laboratory. *Current Fungal Infection Reports*, 7: 219–223. <https://doi.org/10.1007/s12281-013-0148-8>
- Brate T. 2011. Spomin na Idrijski lauf. *Les*, 63: 113–115.
- Breitenbach M., Cramer R., Lehrer S.B. 2002. Fungal allergy and pathogenicity. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 44: 320–320. <https://doi.org/10.1590/s0036-46652002000600012>

- Brischke C., Alfredsen G. 2020. Wood-water relationships and their role for wood susceptibility to fungal decay. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104: 3781–3795. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10479-1>
- European Standard EN 350 - Durability of wood and wood-based products. Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials. 2016. CEN.
- European Standard EN 252 - Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact. 2015. CEN.
- European standard EN 335, Durability of wood and wood-based products - use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products. 2013. CEN.
- Chowdhary A., Kathuria S., Agarwal K., Meis J.F. 2014. Recognizing filamentous basidiomycetes as agents of human disease: a review. *Medical mycology*, 52, 8: 782–797. <https://doi.org/10.1093/mmy/myu047>
- Chowdhary A., Kathuria S., Xu J., Meis J.F. 2013. Emergence of azole-resistant *Aspergillus fumigatus* strains due to agricultural azole use creates an increasing threat to human health. *PLoS Pathogens*, 9, 11: e1003633. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003633>
- Conen A., Weisser M., Hohler D., Frei R., Stern M. 2011. Hormographiella aspergillata: An emerging mould in acute leukaemia patients? *Clinical Microbiology and Infection*, 17: 273–277. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2010.03266.x>
- Flores M.E.B., Medina P.G., Camacho S.P.D., De Jesus Uribe Beltran M., De La Cruz Otero M.D.C., Ramirez I.O., Hernandez M.E.T. 2014. Fungal spore concentrations in indoor and outdoor air in university libraries, and their variations in response to changes in meteorological variables. *International Journal of Environmental Health Research*, 24: 320–340. <https://doi.org/10.1080/09603123.2013.835029>
- Freeman B.M.H., McIntyre C.R. 2008. Copper-based wood preservatives. *Forest Products Journal*, 58: 6–27.
- Green F.I., Highley T.L. 1997. Mechanism of brown-rot decay: paradigm or paradox. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 39: 113–124.
- Hazler V. 2011. Rudniki, premogovniki in kamnolomi v Dravinski dolini: monografija, (Vodovnikova zbirka). Zreče, Občina.
- Hill C.A.S. 2006. Wood modification: chemical, thermal and other processes, wood modification: chemical, thermal and other processes. Hoboken, John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/0470021748>
- Humar M. 2008. Bela hišna goba : gliva, ki razkrajata tudi zaščiten les. *Les/Wood*, 60, 2: 77.
- Humar M., Bučar B., Pohleven F. 2006. Brown-rot decay of copper-impregnated wood. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 58: 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2006.03.003>
- Humar M., Lesar B., Kržišnik D. 2022. Ocena stanja lesenega kipa Japonski festival Tanake Eisakuja = Assessment of the condition of Japanese Festival, a wooden sculpture by Tanaka Eisaku. *Acta Silvae et Ligni*, 127: 1–12. <https://doi.org/10.20315/ASETl.127.1>
- Humar M., Lesar B., Kržišnik D. 2020. Tehnična in estetska življenjska doba lesa. *Acta Silvae et Ligni*, 121: 33–48. <https://doi.org/10.20315/asetl.121.3>
- Humar M., Lesar B., Kržišnik D., Balzano A. 2021. Analiza razkrojenege smrekovega lesa zaščitenega z biocidnim proizvodom CCB po 14 letih izpostavitve na prostem = Analysis of decayed Norway spruce wood impregnated with CCB after 14 years of outdoor exposure. *Les*, 70, 1: 19–29.
- Humar M., Lesar B., Thaler N., Kržišnik D., Kregar N., Drnovšek S. 2018. Quality of copper impregnated wood in slovenian hardware stores. *Drvena Industrija*, 69: 121–126. <https://doi.org/10.5552/drind.2018.1732>
- Humar M., Lesar B., Žagar A., Balzano A., Kržišnik D. 2019. Evaluation of the wood degradation in the underground fort Goli vrh = Ocena razkrojenosti lesa v Podzemni slemenski utrdbi Goli vrh. *Les*, 68: 61–70.
- Humar M., Petrič M., Pohleven F., Šentjerc M., Kalan P. 2002. Changes in EPR spectra of wood impregnated with copper-based preservatives during exposure to several wood-rotting fungi. *Holzforchung* 56: 229–238. <https://doi.org/10.1515/HF.2002.038>
- Humar M., Thaler N., Melcher E. 2014. Copper and chromium leaching from wood impregnated with chromium-copper containing preservatives: results of different studies. *IRG/WP* 14–50300, 13.
- Ishikawa K. 2008. Calcium phosphate cement. *Bioceramics and their Clinical Applications*: 438–463. <https://doi.org/10.1533/9781845694227.2.438>
- Jakobitsch T., Wiesinger S., Heiss A.G., Faltner F., Oeggel K., Grabner M., Trebsche P. 2022. Wood use and forest management at the Late Bronze Age copper mining site of Priggitz-Gasteil in the Eastern Alps – A combined anthracological, archaeological, and palynological approach. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 46: 103673. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.103673>
- Jones D., Sanberg D., Goli G., Todaro L. 2019. Wood modification in Europe: a state-of-the-art about processes, products and applications. (Proceedings e report, 124). Firenze University Press. <https://doi.org/10.36253/978-88-6453-970-6>
- Karunasekera H., Terziev N., Daniel G. 2017. Does copper tolerance provide a competitive advantage for degrading copper treated wood by soft rot fungi? *International Biodeterioration & Biodegradation*, 117: 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.12.006>
- Kervina-Hamović L. 1989. Patologija lesa: lesna entomologija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo.
- Kligman A.M. 1950. A basidiomycete probably causing onychomycosis. *Journal of Investigative Dermatology*, 14, 1: 67–70. <https://doi.org/10.1038/jid.1950.10>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.118>
- Lesar B., Humar M., Oven P. 2008. Dejavniki naravne odpornosti lesa in njegova trajnost. *Les*, 11/12: 408–414.
- Ogawa H., Fujimura M., Takeuchi Y., Makimura K., Satoh K. 2011. Sensitization to Bjerkanera adusta enhances severity of cough symptom in patients with fungus-associated chronic cough (FACC). *Medical Mycology Journal*, 52, 3: 205–212. <https://doi.org/10.3314/mmj.52.205>
- Pichler T., Nicolussi K., Schröder J., Stöllner T., Thomas P., Thurner A. 2018. Tree-ring analyses on bronze age mining timber from the Mitterberg Main Lode, Austria - did the miners lack wood? *Journal of Archaeological Science: Reports*, 19: 701–711. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.02.039>
- Prewitt L., Kang Y., Kakumanu M.L., Williams M. 2014. Fungal and bacterial community succession differs for three wood types during decay in a forest soil. *Microbial Ecology*, 68: 212–221. <https://doi.org/10.1007/s00248-014-0396-3>
- Prislan P., Gričar J., Koch G., Schmitt U., Čufar K. 2008. Mikroskopske tehnike za studij nastanka lesa pri bukvi = Microscopy techniques to study wood formation in beech. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 87: 113–122.

- Rashmi M., Kushveer J.S., Sarma V.V. 2019. A worldwide list of endophytic fungi with notes on ecology and diversity. *Mycosphere*, 10: 798–1079. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/10/1/19>
- Reinprecht L. 2016. Wood deterioration, protection and maintenance, wood deterioration, protection and maintenance. Oxford, JohnWiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119106500>
- Ribera J., Schubert M., Fink S., Cartabia M., Schwarze F.W.M.R. 2017. Premature failure of utility poles in Switzerland and Germany related to wood decay basidiomycetes. *Holzforschung*, 71: 241–247. <https://doi.org/10.1515/hf-2016-0134>
- Rudnik lignita Velenje. <https://www.rlv.si/> (6. 4. 2024).
- Schmidt O. 2006. Wood and tree fungi: biology, damage, protection, and use. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/3-540-32139-X>
- 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: 833–842. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01439-2>
- Steenkjær Hastrup A.C., Green F.I., Clausen C.A., Jensen B. 2005. Tolerance of *Serpula lacrymans* to copper-based wood preservatives. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 56, 3: 173–177. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2005.06.008>
- Stienen T., Schmidt O., Huckfeldt T. 2014. Wood decay by indoor basidiomycetes at different moisture and temperature. *Holzforschung*, 68: 9–15. <https://doi.org/10.1515/hf-2013-0065>
- Suarez F., Olivier G., Garcia-Hermoso D., Randriamalala E., Ghez D., Bruneau J., Kauffmann-Lacroix C., Bounoux M.E., Lortholary O. 2011. Breakthrough *Hormographiella aspergillata* infections arising in neutropenic patients treated empirically with caspofungin. *Journal of Clinical Microbiology*, 49, 1: 461–465. <https://doi.org/10.1128/JCM.01213-10>
- Takao S. 1965. Organic acid production by Basidiomycetes: I. screening of acid-producing strains. *Applied Microbiology*, 13, 5: 732–737.
- Vek V., Poljanšek I., Oven P. 2020. Variability in content of hydrophilic extractives and individual phenolic compounds in black locust stem. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78: 501–511. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01523-y>
- Wagenfuhr R. 2007. *Holzatlas*. Leipzig, Fachbuchverlag.
- Zarnik B., Rokavec F., Kati Z., Lovše L., Ponebšek M., Pirnavar S. 2018. Rudnik Sitarjevec odkriti zaklad. Litija, Rudnik Sitarjevec.
- Žorž M., Dolinar I., Jeršek M., Vrabc M. 2020. Mineraloška dediščina rudnika Sitarjevec (prvi del). *Proteus*, 82: 451–467.
- Žorž M., Jeršek M., Dolinar I. 2018. Oblike kristalov nekaterih mineralov iz Sitarjevca, V: Zarnik B., Zidar K., Lovše L., Ponebšek M., Pirnavar S. (ur.). 1. strokovni simpozij o Rudniku Sitarjevec in srečanje rudarskih mest. Litija, Občina Litija: 26–33.