



Smernice za sanacijo poplavljenih lesenih objektov

Miha Humar in Boštjan Lesar – Univerza v Ljubljani

Ljubljana, 27. 8. 2023

1. Uvod

V avgustu 2023 je na območju Slovenije padla rekordna količina padavin. Ob tem so bili poplavljeni tudi številni leseni objekti. V izogib nadaljnji škodi, je nujno, da se objekti pravilno sanirajo. Če bodo objekti pravilno sanirani, je verjetnost za nadaljnje poškodbe minimalna. Dokument odraža izkušnje, ki smo jih imeli s sanacijo poplavljenih objektov v preteklosti.

V tem obdobju se številni lastniki sprašujejo, ali so leseni objekti bolj ali manj izpostavljeni poplavam. Izkazalo se je, da je obnova lesenih hiš običajno maj problematična, kot obnova stavb iz mineralnih gradbenih materialov z izjemo vodotesnih betonskih konstrukcij. V lesni gradnji se uporablja tehnično sušen les. Zaradi slabe permeabilnosti smrekovega lesa voda v les prodira počasi in zato ne prodre globoko. Odstranjevanje namočene izolacije pri lesenih objektih je lažje, kot pri klasično grajenih stavbah. Preostalo konstrukcijo je nato mogoče relativno enostavno posušiti.

Konstrukcijska lepila, ki se uporabljajo v lesni gradnji so preizkušena in morajo izkazati visoko odpornost ne vodo. Tako ni nevarnosti, da bi ob poplavnih dogodkih popustila.

Pri sanaciji lesenih objektov se kaže nekaj prednosti. Zaradi načina gradnje je steno mogoče lažje odpreti in jo posušiti.

Če konstrukcije ne posušimo, to predstavlja veliko nevarnost:

- V vlažni leseni konstrukciji se lahko razvijejo glive razkrojevalke. Glive razkrojevalke lahko oslabijo nosilnost konstrukcije, kar lahko privede do porušitve.
- Vlaga ujeta v konstrukcijo lahko počasi izhaja na površino. Zato so površine sten vlažne, kar pripelje do razvoja gliv plesni.
- Vlažna stena ima zelo zmanjšane izolacijskih lastnosti.
- Ob nizkih zimskih temperaturah, lahko pri vlažni steni pride do dodatnih poškodb, stene ali ometa.

Zato je pravilna sanacija nujna za ohranitev kakovosti bivanja in vrednosti premoženja.

Za vse dodatne informacije sva avtorja besedil dostopna na:

Miha Humar miha.humar@bf.uni-lj.si

Boštjan Lesar bostjan.lesar@bf.uni-lj.si

2. Kazalo

Smernice za sanacijo poplavljenih lesenih objektov	1
1. Uvod	2
2. Kazalo.....	3
3. Povzetek navodila za sanacijo poplavljenih hiš z lesno konstrukcijo	4
4. Biocidni premaz za zaščito poplavljene lesene konstrukcije	6
Izbira biocidnega proizvoda.....	11
Varstvo pri delu	11
Sestava biocidnega proizvoda.	11
Namen uporabe.....	11
Nanašanje	11
Prednosti borovih pripravkov	13
5. Sanacija poškodovanih delov	14
6. Tehnične smernice za les, ki se ga vgrajuje v poplavljene objekte.....	17
Lesne vrste in pogoji za ustreznost dreves, iz katerih bodo izdelani sortimenti.....	18
Mehanske lastnosti.....	18
Širina branik.....	18
Mehanske poškodbe	18
Obarvanja zaradi delovanja gliv modrivk	19
Rjavenje (Rjavost).....	19
Trohnoba	19
Poškodbe zaradi insektov	19
Vlažnost	19
Biocidni proizvodi	19
Postopki zaščite	20
7. Vlažnost lesa	22
Določanje vlažnosti lesa	23
Monitoring vlažnosti lesa	24
8. Dejavniki razkroja lesa.....	25
9. Ključne predstavnice rjave trohnobe	31
10. Nezaželeni učinki plesni v bivanjskem okolju.....	35
Sanacija plesnivih okolij.....	39
11. Literatura	41

3. Povzetek navodila za sanacijo poplavljenih hiš z lesno konstrukcijo

V nadaljevanju sledi kratek povzetek ukrepov, ki jih je treba izvesti na poplavljenih objektih. Posamezni ukrepi so podrobneje obrazloženi v nadaljevanju.

Splošno pravilo za lesene stavbe velja, da je treba poplavljeno lesno konstrukcijo čim prej posušiti. Vse sanacijske ukrepe je treba vedno izvajati v soglasju s proizvajalcem, saj odstranjevanje oblog vpliva tudi na nosilnost oziroma statiko objekta. Najpomembnejši koraki pri prenovi lesnih (montažnih) hiš z lesno konstrukcijo (lesena okvirna oziroma skeletna konstrukcija in masivne lesene konstrukcije – CLT) so:

- Pri čiščenju je v prvi vrsti nujno treba skrbeti za osebno varnost. Pri delu uporabljajte osebno zaščitno opremo. Če imate težave z dihali, nosite zaščitno masko.
- Pri poplavljenih objektih je najprej treba izključiti električno napetost.
- Ko voda odteče, je treba odstraniti namočeno pohištvo in očistiti mulj ter ostale naplavine.
- Če je pohištvo iz ivernih plošč prepojeno z vodo, ga je praktično nemogoče sanirati, zato ga je smiselno zavreči. Odpadke je treba čim prej odstraniti iz okolice objekta, saj predstavljajo potencialen vir okužbe. Pohištvo, izdelano iz masivnega lesa, je odpornejše na poplave.
- Ko odstranimo mulj, je očiščene stene in tla smiselno sprati s tlačnim čistilcem.
- Z notranje strani sten je treba odstraniti obloge približno 30 cm nad najvišjim nivojem vode. Do te višine je treba odstraniti tudi izolacijo.
- Pri odstranjevanju oblog pazimo, da ne poškodujemo parne ovire, parno oviro prerežemo približno 5 cm nižje kot notranjo oblogo.
- Pri mokrih prostorih (kopalnica ...) lahko stene odpiramo iz zunanje strani, saj tako stenskih instalacij ni potrebno v celoti odstraniti.
- Pri masivnih lesnih konstrukcijah (CLT) je smiselno stene odpreti iz obeh strani. Pri tem je treba zunanji del zaščititi pred padavinami.
- Odstranjevanje prepojene toplotne izolacije. Odstraniti je treba vso prepojeno izolacijo.
- Odstranjevanje talnih oblog in tlakov oziroma estrihov.
- Odstranjevanju estrihov se lahko izognemo, če izvajamo sušenje estrihov z vpihovanjem zraka pod estrihe ter uporabo industrijskih razvlaževalcev. Sušenje estrihov je dolgotrajno in traja več tednov.
- Če je lesena konstrukcija zamuljena, jo grobo očistimo. Fino čiščenje se izvede z vrtno cevjo ali visokotlačnim čistilcem
- Sušenje nosilne konstrukcije – sušenje traja več tednov. Čas sušenja je odvisen od trajanja poplave, časa odpiranja konstrukcije, intenzivnosti vdora vode oziroma vlage ...
- Sušenje pospešujemo z dobrim prezračevanjem, uporabo naprav za ogrevanje, ventilatorjev ter industrijskih naprav za razvlaževanje.
- Spremljajte vlažnost lesa. Meritev izvajajte na več mestih posebno pozornost je potrebno posvetiti horizontalnim elementom, ki so v stiku s talno ploščo, ker so bili ti deli najbolj namočeni in se najtežje sušijo. Posebno pozornost je potrebno tudi vsem stikom in čelnim površinam lesa.
- Če se na lesu ali drugih elementih pojavijo plesni, jih je smiselno čim prej uničiti s pripravki za dezinfekcijo.
- Konstrukcije se ne sme prehitro zapirati. Ob zapiranju mora biti na najvažnejšem delu vlažnost lesa 16 % izjemoma 18 %
- Ko se konstrukcija posuši, mora morebitne poškodbe na konstrukciji oceniti proizvajalec ali strokovnjak za leseno gradnjo.

- Kljub temu da je konstrukcija suha, obstaja možnost, da so kje v objektu še vedno ujeti »žepi« vode. Ta voda lahko omogoči glivni razkroj. Zato predlagamo, da se pasnice prebrizgajo z biocidnimi proizvodi na osnovi bora.
- Pri sušenju objekta se marsikje lahko pokažejo še stare poškodbe, trhel les, les poškodovan z insekti. Poškodovan les je smiselno zamenjati s svežim lesom. Predlagamo, da se vgradi impregniran les.
- Zapiranje sten naj izvede podjetje za lesno gradnjo. Notranje obloge, ko na primer OSB ali cementne plošče vplivajo na statiko objekta zato morajo biti ustrezno pritrjene na vse elemente nosilne lesene konstrukcije.
- Pri zapiranju je najprej treba ustrezno namestiti odstranjeno ali poškodovano toplotno izolacijo.
- Nameščanje parne zapore ali ovire, ki jo je treba zelo natančno spojiti z obstoječo parno zaporo oziroma oviro.
- Nameščanje notranje obloge (npr. mavčno kartonske plošče)
- Slikopleskarska dela in zaključna dela
- V primeru poškodb na fasadni oblogi, je treba poskrbeti za njeno prenovo. Fasadna obloga je lahko poškodovana zaradi udarcev trših predmetov, ki jih je nosil vodni tok, nabrekanja izolacije ... Preko fasadne obloge lahko v objekt vdira meteorna voda.
- Če je bila med poplavamami namočena izolacija ki vpija veliko vode (mineralne izolacije, izolacije iz lesnih vlaken, ...) je nemočen del nujno zamenjati z novo fasadno izolacijo. Pri tem odstranimo tako kot pri notranjih oblogah cca 30 cm nad nivojem najvišjega vodostaja.
- Nato pustimo da se konstrukcija posuši še iz zunanje strani. Velja enak postopek kot na notranji strani opisan zgoraj. Zunaj je potrebno konstrukcijo dodatno zaščititi pred vremenskimi vplivi da ne pride še do večje škode.
- Po sušenju namestimo novo izolacijo in izdelamo finalno oblogo oziroma omet. Ta dela predlagamo da izvede ustrezno usposobljen izvajalec.

4. Podrobnejši opis sanacije



Slika 1: Poplavljen objekt, neposredno po tem, ko je odtekla voda

Poplave povzročajo veliko škode. Med poplavnim dogodkom v objekt prodre veliko vode, ki prepoji stene in pohištvo in mulja, ki povzroča še dodatno škodo in otežuje čiščenje. Pohištvo in številni drugi predmeti so zaradi blata lahko povsem uničeni.

Pri sanaciji velja splošno pravilo. **Vodo moramo odstraniti iz konstrukcije.**



Slika 2: Odstranjevanje estriha in izolacije. Izolacija je prepojena z vodo.

Obseg morebitne škode je odvisen od najvišje ravni poplav v času nesreče. Splošno pravilo pravi, da je treba do višine 30 cm nad najvišjo gladino na nekaj mestih treba odpreti stene konstrukcije in določiti vlažnost lesa in ostalih materialov, OSB plošče, izolacije ... Te prve odprtine služijo kot sonde. Če se izkaže, da je vlažnost lesa v sondah visoka, je treba odpreti stenske obloge po celotnem objektu. Ta dela je vedno treba izvajati v soglasju z izvajalcem gradnje in/ali strokovnjakom. Stene prispevajo k nosilnosti in statični stabilnosti objekta.

Zaradi poplav statika skeletne ali masivne konstrukcije praviloma ni ogrožena. Če je objekt dlje časa pod vodo, in voda prepoji tudi OSB plošče tako, da se te prično krušiti je smiselno zamenjati tudi te. Pred namestitvijo novih plošč je treba poskrbeti za ojačitve z diagonalnimi nosilci, razen če je osnovna stena izdelana iz CLT plošč.



Slika 3: Odstranjevanje stenske obloge. Odstranjena obloga omogoča sušenje sten.



Slika 4: Odstranjevanje stenske obloge. Odstranjena obloga omogoča sušenje sten.



Slika 5: Parna zapora je nemešana na notranji strani. Odstranjena je tako, da jo je mogoče ponovno zatesniti. Temna barva pasnice nakazuje, da je povsem prepojena z vodo.

Pri sanaciji estriha imamo na voljo dve možnosti. Prva možnost je da estrih v celoti odstranimo. Odstraniti je treba vse sloje, do temeljne plošče objekta. Pri tem moramo odstraniti tudi talno gretje. Ta rešitev je nujna, če se za izolacijo uporabi kamena volna. Kamena volna je bolj porozna, kot polistiren in lahko vpije veliko več vode.

Druga možnost je prepihovanje estriha, podobno kot ga prepihujemo ob vgradnji. Pod estrih vpihujemo topel zrak, ki izpod estriha spodriva vodo in suši prepojene materiale. Suh vroč zrak se pod estrihom nasiči z vodo in s tem suši tla. Še večji učinek dosežemo, če pred prepihovanjem iz izvrtin z industrijskim sesalnikom posesamo vodo. Pri sušenju estriha s prepihovanjem moramo biti pozorni, da so šobe nameščene tako, da slučajno vode ne spihamo v mrtve kote. V sodobnih objektih imajo hiše v tlakih velikokrat vgrajeno talno ogrevanje. Pri izdelovanju odprtih v estrih za sušenje moramo paziti, da ne poškodujemo cevi talnega gretja.



Slika 6: Sušenje prostorov z razvlažilci in grelniki



Slika 7: Vpihanje vročega zraka pod estrih

Pri lesenem stavbnem pohištvi je treba preveriti vsak element posebej. Preveriti je treba stanje tesnil. Pri lesenih oknih se škoda najprej pokaže pri vogalih. Če so okna namočena, se kotni spoji odprejo.

Preveriti je treba, ali se voda nahaja v cevah elektroinštalacij. Če je voda zalila tudi te, jih je treba posušiti ali zamenjati.

5. Biocidni premaz za zaščito poplavljene lesene konstrukcije

Med poplavnim dogodkom, je v poplavljen objekt prodrlo veliko vode. Kljub velikemu trudu, ki ga vlagamo v sušenje, je nemogoče zagotoviti, da se je objekt v celoti posušil. Obstaja velika verjetnost, da so kje v objektu ostali skriti »žepi« vode. Ta voda bo v prihodnjih letih hlapela iz lesa. V vlažnem okolju lahko pride do pojava trohnobe. Zato je smiselno, da se najbolj izpostavljeni deli konstrukcije zaščitijo z biocidnimi proizvodi.

Izbira biocidnega proizvoda.

Področje biocidov v EU regulira Biocidal Products Regulation (BPR, Regulation (EU) 528/2012(EC, 2000)). Za zaščito lesa in drugih materialov lahko uporabljamo le aktivne učinkovine, ki so uvrščene na Annex I.

Pri izbiri aktivne učinkovine smo upoštevali naslednje robne pogoje:

- Aktivna učinkovina je uvrščena na Annex I
- Aktivna učinkovina deluje fungicidno
- Aktivna učinkovina je inertna in po nanosu ne hlapi iz lesa
- Aktivna učinkovina ima minimalen vpliv na okolje.
- Aktivna učinkovina dobro difundira v les/zid

Med aktivnimi učinkovinami, ki so dovoljene za rabo v EU, temu kriteriju zadostita le:

- Borova kislina – CAS: 10043-35-3
- Borax – CAS: 12179-04-3

Za represivno zaščito na slovenskem trgu ni registriranega pripravka, zato ga je treba pripraviti samostojno, za individualno rabo.

Varstvo pri delu

Pri delu z biocidnimi proizvodi je nujno potrebno upoštevati vsa pravila o varstvu pri delu. Pri delu je nujno treba uporabljati osebno zaščitno opremo: masko, rokavice, zaščitna očala. V primeru razlitja je treba preprečiti odtekanje v tekočo vodo. V primeru zaužitja se takoj obrnite na zdravnika.

Sestava biocidnega proizvoda.

Borova kislina ali Borax: https://www.revivo.si/borna_kislina_500g

Glikol: <https://www.fordsolar.si/izdelek/akcija-glikol-medij-proti-zmrzovanju-iz-rinfuze-65/>

V 1 L posodo se zatehta 100 g borove kisline, doda 200 mL toplega glikola in dolije vodo do 1 L (ali 1 kg). Vse skupaj se meša toliko časa, da se borova kislina raztopi. Raztopina naj se segreva do 80 °C.

Namen uporabe

Ta pripravek je namenjen za zaščito lesa v notranjih pogojih, razred uporabe 1, kot ga definira SIST EN 335 (CEN, 2013b). Premazan les ne sme biti izpostavljen padavinam ali vgrajen v stiku z zemljo, saj se borove spojine izpirajo iz lesa.

Nanašanje

Biocidni proizvod se lahko nanaša z brizganjem z vrtno škropilnico ali premazovanjem. Navzem biocidnega proizvoda mora biti 200 g/m². V primeru, da do kakšnega mesta ne moremo, lahko zvrtno luknjo in ta

pripravke nalijemo vanjo. Borove spojine so praktično brezbarvne. Ko se les posuši, lahko na površini ostane nekaj kristalov. Teh kristalov ne odstranjajte.



Slika 8: Vrtnarska škropilnica, ki jo lahko uporabimo za nanos biocidnega proizvoda na les.



Slika 9: Za borove spojine je značilna dobra difuzija v les. Za prikaz prodiranja smo uporabili barvni reagent, sicer ti pripravki ne obarvajo lesa. Rdeča barva nakazuje na prodiranje bora v les. Po enem tednu je bor iz luknje prodrl nekaj cm globoko. Če bi bila vlažnost višja, bi bilo prodiranje še bolj izrazito.

Prednosti borovih pripravkov

Bor je povsod prisoten in zelo razširjen kemijski element. V naravi se ne nahaja v čisti elementarni obliki, ampak v kombinaciji s kisikom in drugimi elementi. Najpogostejši obliki sta borova kislina in boraks, ki se pojavlja v obliki belih kristalov. Komercialno boraks pridobivajo v rudnikih oziroma kamnolomih v ZDA, Turčiji, Tibetu in Čilu. Boraks nato uporabljajo za sintezo drugih borovih spojin. Svetovna letna proizvodnja znaša približno 2 milijona ton. Borove spojine so ene izmed najstarejših aktivnih učinkovin, ki se še vedno uporabljajo za zaščito lesa. Njihova uporaba je dovoljena tudi po uvedbi direktive o biocidih. Glavna lastnost borovih spojin je poleg dobre difuzivnosti, ki omogoča dobro zaščito slabo permeabilnih lesnih vrst, še širok spekter delovanja proti insektom in glivam. Ne nazadnje je ena od pomembnejših lastnosti boratov tudi nizka toksičnost za ljudi. Slaba stran dobre difuzivnosti je, da se borove spojine iz lesa izpirajo, zato je uporaba borovih spojin za zaščito lesa omejena na uporabo v suhih pogojih oziroma dovoljuje občasna zvišanja vlažnosti (Lesar & Humar, 2009; Mohd Ghani, 2021).

6. Sanacija poškodovanih delov

Na več mestih smo med sanacijo lesa po poplavih opazili, da je les razkrojen.

Les je razkrojen zaradi delovanja gliv rjave trohnobe. Do razkroja je prišlo že pred poplavi, zaradi zamakanja meteorne vode ali puščanja inštalacij. Na podlagi poškodb je nemogoče ugotoviti, kdaj v preteklosti je prišlo do zamakanja-pojava trohnobe, še posebej ker je bil les poplavljen. Praviloma je za prve znake trohnobe potrebnih vsaj 150 dni z ugodnimi pogoji.

Razkrojen les je treba odstraniti. Odstraniti je treba še 40 cm lesa, od zadnjih znakov trohnobe.

Ves odstranjen les, lesne ostanke, ostanke izolacije je treba čim prej odstraniti in varno uničiti. Ostanke lesa lahko predstavljajo potencialen vir okužbe.

Ves les, ki bo vgrajen v stavbo mora biti ustrezno zaščiten. Za zaščito je treba uporabiti biocidne proizvode na osnovi bakra in bora, kot na primer Silvanolin. Zahteve glede zaščite so opisane v tem dokumentu.

Pri delu z biocidi je treba uporabljati zaščitno opremo in upoštevati navodila proizvajalca. Biocidnih pripravkov na organski osnovi za to aplikacijo ne priporočamo, ker lahko počasi hlapijo iz lesa in vplivajo na kakovost bivanja.

Pri sanaciji je treba preprečiti zamakanje.

Smiselno je, da se pozimi izvede analiza objekta s termokamero.

Preostal les (les, ki je dostopen) je treba zaščititi. Za zaščito je treba uporabiti biocidne proizvode na osnovi bora, kot je opisano v tem dokumentu.



Slika 10: Primer trhlega zunanjega stebra



Slika 11: Primer trhle pasnice, na mestu zamakanja



Slika 12: Primer trohnobe na skeletu objekta



Slika 13: Primer trohnobe na spodnji pasnici ob stiku OSB in pokončnika. OSB se ob stiku s prsti kruši.

7. Tehnične smernice za les, ki se ga vgrajuje v poplavljenе objekte

Pri sanaciji poškodovanih objektov se pogosto izkaže, da je del lesenih elementov poškodovan, zaradi delovanja gliv razkrojevalk ali insektov. Najpogostejši vzrok za poškodbe je zamakanje, do katerega je prišlo enkrat v preteklosti. Pri sanaciji poplavljenih objektov je treba ta les zamenjati. Ker se ta les praviloma nahaja blizu vodovodnih ali kanalizacijskih vodov, je smiselno, da se trhel les nadomesti z zaščitenim. Ne nazadnje so v okolici poškodovanega lesa lahko ostali ostanki micelija, iz katerih se lahko ponovno razvije gliva.

Preseki elementov so isti kot elementi, ki jih menjamo.

Preden se konstrukcija zapre, je treba impregniran les posušiti.

Lesne vrste in pogoji za ustreznost dreves, iz katerih bodo izdelani sortimenti

- Impregnirani deli lesa morajo biti izdelani iz lesa rdečega bora (*Pinus sylvestris*), lesa smreke (*Picea abies*) ali iz lesa jelke (*Abies sp.*) Za posebne namene se lahko za impregnacijo uporabi tudi les hrasta (*Quercus sp.*), ki ga ni nujno impregnirati.
- Les mora biti pridobljen na zakonit način. Dobavitelj mora predložiti za les iz Slovenije kopijo odločbe Zavoda za gozdove Slovenije (ZGS), v primeru uvoza pa kopijo certifikata za sledenje certificiranega lesa ali izjavo o zakonitem izvoru lesa.

Mehanske lastnosti

Mehanske lastnosti lesa iz lesa smreke ali bora so navedene v preglednici 1

Tabela 1: Minimalne zahteve za mehanske lastnosti lesa iglavcev za impregnacijo

Mehanska lastnost	Vrednosti
Upogibna trdnost	35 N/mm ²
Modul elastičnosti- 5% modul elastičnosti paralelno	8700N/mm ²
Tlačna trdnost – pravokotno na smer vlaken	2,8 N/mm ²
Tlačna trdnost – v smeri vlaken	25 N/mm ²
Natezna trdnost – pravokotno na smer vlaken	0,4 N/mm ²
Natezna trdnost – v smeri vlaken	21 N/mm ²
Strižna trdnost	4 N/mm ²

Standard SIST EN 338:2010 (stran 7, tabela 1)

Širina branik

- Število branik v beljavi bora ali smreke, ne sme biti manjše od 10 na 25 mm. Ta zahteva velja tako za sortimente izdelane iz borovega kot tudi smrekovega lesa. Branike se merijo na čelu.

Mehanske poškodbe

- Kakršnekoli mehanske poškodbe, zaradi sečnje, spravila ali manipulacije ki potekajo pravokotno na os sortimenta, niso dovoljene.

Kolesivost

- Kolesivost ni dovoljena.

Obarvanja zaradi delovanja gliv modrivk

- Obarvanje zaradi delovanja gliv modrivk je dovoljeno, če ne vpliva na uspešno izvedbo impregnacije. Modrenje na površini ne sme presežati 50 % površine lesnega sortimenta. Na preseku pa modrenje ne sme presežati 50 % površine beljave.

Rjavenje (Rjavost)

- Rjave proge, ki so posledica bakterijske okužbe ali začetne stopnje rjave trohnobe, niso dovoljene. Te proge so še posebej pogoste na lesu, ki izvirajo iz sanitarno-varstvenega poseka (na primer "lubadarke").

Trohnoba

- Na sortimentih ne sme biti prisotnih nikakršnih znakov trohnobe niti površinske niti v sredini

Poškodbe zaradi insektov

- Večji obseg poškodb zaradi delovanja insektov ni dovoljen.
- Dovoljene so manjše poškodbe primarnih in sekundarnih insektov. Dovoljena sta 2 rogov/izletnih odprtini s premerom, manjšim od 1,5 mm enakomerno razporejenih na katerikoli 100 mm dolžine sortimenta.
- Dovoljene so le poškodbe primarnih in sekundarnih insektov (mušičavost). Za te poškodbe je značilno, da so črno obarvane.

Vlažnost

- Pred impregnacijo mora biti vlažnost vseh smrekovih ali borovih sortimentov nižja od 20 %.
- Pri sortimentih, obarvanih zaradi delovanja gliv modrivk, mora biti vlažnost lesa nižja od 18 %.

Biocidni proizvodi

Biocidni proizvodi, ki se uporabljajo za impregnacijo lesenih sortimentov, morajo biti preizkušeni v skladu z zahtevami standarda SIST EN 599 (CEN, 2013a) za konstrukcijski les na prostem. Aktivne učinkovine, uporabljene v zaščitnem pripravku, morajo ustrezati zahtevam EU zakonodaje (EC, 2000). Veljavna kopija dokumentacije o biocidnem proizvodu mora biti na voljo na impregnacijski postaji. V nadaljevanju so opisani le baker-etanolaminski pripravki, saj so le ti trenutno najpomembnejši pripravki za zaščito konstrukcijskega lesa v danih pogojih.

Zaradi zelo zahtevnih klimatskih razmer v Sloveniji, je zaželeno, da so biocidni proizvodi preizkušeni tudi na terenskih testiranjih v Sloveniji.

Najpomembnejši pripravki, registrirani na evropskem trgu, so navedeni v naslednji tabeli:

Tabela 2: Najpomembnejši baker - etanolaminski pripravki, namenjeni za zaščito lesene infrastrukture in njihova sestava.

Biocidni proizvod	Aktivne učinkovine
Wolmanit CX 10	Bakrova učinkovina
Wolmanit CX 8	Cu-HDO
Wolmanit CX 8 WB	Borova učinkovina
Kemwood ACQ 2300	Bakrova učinkovina
Kemwood ACQ 1900	Kvartarna amonijeva spojina

Korasit KS	Borova učinkovina
Impralit KDS	
Decobase CU	
Impralit KDS 4	
Silvanolin	
Tanalith E	Bakrova učinkovina Triazoli Borova učinkovina

Koncentracija aktivnih učinkovin v zaščitnih pripravkih mora biti ustrezna, da lahko zagotovimo ciljno (zahtevano) retencijo, predpisano v tem dokumentu. Ciljna retencija mora nuditi zaščito pred biotskimi dejavniki razkroja skozi celotno predvideno življenjsko dobo.

Postopki zaščite

Impregnacija

- Hkrati se lahko impregnirajo le sortimenti, izdelani iz iste lesne vrste.
- Impregnacija mora biti izvedena v skladu s postopkom, opisanim v tem dokumentu

Postopek impregnacije:

Vakuumiranje

- Oprema mora omogočati, da se v polni impregnacijski komori vzpostavi tlak, manjši od 200 mbar.
- Ko se v komori vzpostavi ustrezen podtlak, je potrebno ta tlak zagotavljati še 60 minut pri borovih in 150 minut pri smrekovih sortimentih.
- Po koncu vakuumiranja je potrebno čim prej, pri nespremenjenem podtlaku, zaliti komoro z zaščitnim pripravkom.

Nadtlak

- Nadtlak v komori, popolnoma zaliti z zaščitnim pripravkom, mora biti višji od 9 bar. Najvišji dovoljen tlak je 11 bar.
- Ta tlak mora biti konstanten ves čas tlačnega dela impregnacije.
- Čas trajanja nadtlaka je odvisen od lesne vrste in intenzivnosti vpijanja zaščitnega pripravka v les (preglednica 4).

Drugo vakuumiranje

Po koncu nadtlaka iz komore odstranimo zaščitni pripravek in les še enkrat vakuumiramo 20 minut pri podtlaku, manjšem od 200 mbar. S tem zmanjšamo izcejanje pripravka iz impregniranega lesa.

Globina prodora in suhi navzem

- Pri sortimentih, izdelanih iz borovega lesa, mora biti beljava v celoti prepojena z zaščitnim pripravkom. Doseči moramo razred penetracije NP5 (impregnirana je celotna beljava) v skladu s standardom SIST EN 351-1 (CEN, 2007).
Pri sortimentih, izdelanih iz smrekovega lesa, mora biti globina penetracije vsaj 6 mm.

Tabela 3: Biocidni proizvodi, primerni za impregnacijo lesenih sortimentov. Podan je tudi delež bakrovih spojin v pripravkih ter zahtevana retencija zaščitnega pripravka za les smreke in bora.

Biocidni proizvod	Zahtevana retencija*
Wolmanit CX 10	18 kg/m ³
Wolmanit CX 8	20 kg/m ³
Wolmanit CX 8 WB	20 kg/m ³
Kemwood ACQ 1900	22 kg/m ³
Korasit KS	22 kg/m ³
Impralit KDS	15 kg/m ³
Impralit KDS 4	24 kg/m ³
Silvanolin	18 kg/m ³
Decobase CU	18 kg/m ³
Tanalith E 3485	20 kg/m ³
Tanalith E 3492	20 kg/m ³

* Zahtevana retencija se nanaša na navzem vseh sestavin pripravka z izjemo vode. Dejanski suhi navzem je nekoliko nižji, saj del etanolamina izhlapi iz lesa. Suhi navzem se določa posredno, z določanjem koncentracije Cu v impregniranem lesu.

** Ne glede na pripravek mora biti v impregniranem sloju vsaj 4000 mg/kg bakra.

Vezava – kondicioniranje impregniranega lesa

- Vezava baker-etanolaminskih pripravkov je bistveno hitrejša, kot vezava starejših pripravkov na osnovi bakrovih in kromovih spojin.
- Kondicioniranje ali sušenje sortimentov, impregniranih z baker-etanolaminskimi pripravki, pri višjih temperaturah (na primer v sušilnih komorah) ni dovoljeno.
- Vezavo baker-etanolaminskih pripravkov v les lahko izboljšamo s pokrivanjem (PVC folija, šotorsko krilo, cerada ...), ki preprečuje hitro izhlapevanje vode. Zato naj bodo kopice impregniranega lesa prva dva dneva po impregnaciji pokrite s prevleko, ki preprečuje izhlapevanje vode.
- Prvi teden po impregnaciji naj impregnirani sortimenti ne bodo izpostavljeni direktnemu sončnemu obsevanju ali padavinam.

8. Vlažnost lesa

Rastoče drevo (predvsem zunanji del debla, beljava) vsebuje veliko količino vode. Deblo je zgrajeno kot vodovodni sistem iz celic, ki se povezujejo v cevni sistem, t pa omogoča pretok vode z minerali po beljavi navzgor in pretakanje vode s hranilnimi snovmi (ki nastanejo s fotosintezo) iz krošnje po deblu navzdol. Voda v drevesu deluje kot transportno sredstvo za prevajanje snovi, seveda pa je potrebna tudi v procesu fotosinteze. Posekano drevo zato vsebuje velike količine vode. Pred uporabo moramo les praviloma vedno posušiti.

Ker je les higroskopen (sprejema in oddaja vlago do uravnovešenja) vzpostavlja ravnovesno vlažnost s svojo okolico. Tudi ko les doseže ravnovesno vlažnosti v določeni klimi prostora, se bo njegova vlažnost ob spremembi klime ponovno spremenila - uravnovesila. Seveda pa spremembo vlažnosti lesa spremlja sprememba dimenzij lesa, vendar samo pri vlažnosti lesa od 0 % do 30%. Ravnovesna vlažnost lesa je odvisna od relativne zračne vlažnosti in temperature. Ravnovesna zračna vlažnost na prostem je okrog 15%, v bivanjskem okolju pa med 7 % in 12%, odvisno od letnega časa, ogrevanja prostorov in zračenja.

Vlažnost lesa je razmerje med maso vode v lesu in maso absolutno suhega lesa.

Namen meritev vlažnosti lesa v poplavljenih objektih je oceniti ogroženost posamezne mikrolokacije, spremljati obnašanje materialov. 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. 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) (Humar & Lesar, 2020; Isaksson et al., 2010; Schmidt, 2006). Številni avtorji (Brischke et al., 2021) 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 razraščal po lesu z vlažnostjo 17,4 %.

Optimalna temperatura za delovanje gliv se giblje med 20 °C in 30 °C. 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).

Zato je nujno, da je les pred zaključnimi deli suh. Če bo v lesu ostala vlaga, obstaja velika verjetnost, da bo prišlo do pojava trohnenja. Ker obstaja velika verjetnost, da v lesu ostajajo žepi vode, ki lahko vplivajo na razvoj in delovanje gliv, je pasnice poplavljenih objektov smiselno premazati z biocidnimi proizvodi.

Vlažnost lesa pred zapiranjem objekta mora biti na vseh elementih nižja od 16 %. Pri tem je treba upoštevati, da vlažnost lesa na objektih najpogosteje spremljamo z uporovnimi vlagomeri. Vlažnost lesa na stikih je lahko za nekaj odstotnih točk višja. Izjemoma je vlažnost lahko višja (18%) če uporabljamo tehniko, ki omogoča merjenje vlažnosti po celotnem profilu konstrukcijskih elementov.



Slika 14: Primer določanja vlažnosti z uporovnim vlagomerom

Določanje vlažnosti lesa

Vlažnost lesa lahko določamo na več kot 15 načinov, od katerih je le nekaj komercialno uporabnih:

- gravimetrična metoda,
- električni merilniki lesne vlažnosti
- destilacijska metoda,
- titracijska (Karl-Fischerjeva metoda),
- ...

V praksi se največkrat uporabljajo električni merilniki (merjenje upornosti in merjenje dielektrične konstante) in gravimetrična metoda (metoda tehtanja). Električne metode merjenja lesne vlažnosti so za razliko od večine drugih tehnik skoraj-nedestruktivne. Poleg tega je njihova prednost ta, da do rezultata pridemo relativno hitro. Ločimo dva poglavitna tipa: uporovni na istosmerni tok in dielektrični ali kapacitivnostni na izmenični tok.

Delovanje uporovnega merilnika temelji na zakonitosti, da logaritem specifične upornosti lesa v območju od absolutno suhega stanja do območja nasičenja celičnih sten pada približno linearno, odvisno od vlažnosti lesa. Zato se ta tehnika uporablja predvsem za nižje vlažnosti in za kontrolo lesa v uporabi. Pri merilnikih, ki delujejo na principu meritev upornosti se uporabljajo različno oblikovane elektrode. Igelne elektrode so namenjene določanju vlažnosti debelejših sortimentov. Kapacitivnostni merilniki merijo dielektrično konstanto lesa, ki pri dani frekvenci narašča z naraščajočo gostoto, vlažnostjo in temperaturo. Pogosti so tudi merilniki, ki delujejo na principu dielektrične konstante in faktorja izgub ($\tan \phi$) lesa pri določeni frekvenci.

Vlažnost lesa lahko spremljamo tudi sami. Na trgu je več enostavnih merilnikov vlažnosti lesa, kot na primer <https://www.mimovrste.com/vlagomeri/bosch-universal-humid-merilnik-vlaznosti-0603688000>

Monitoring vlažnosti lesa

Številni lastniki objektov se vedno pogosteje odločajo za kontinuiran monitoring vlažnosti lesa. Ta tehnika je namenjena spremljanju obnašanja lesene konstrukcije, ko bo objekt že zaprt. V skelet se namestijo uporovni senzorji, ki delujejo na baterije. Življenjska doba senzorjev je deset let. Senzorji so povezani v lokalno brezžično omrežje in ves čas sporočajo, kaj se dogaja z lesom. V primeru povišanja vlažnosti, lastniku pošljejo e-pismo ali SMS z opozorilom.



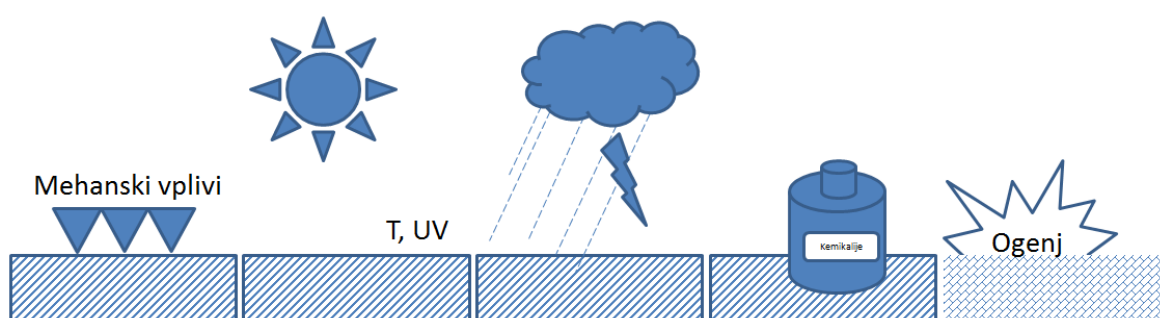
Slika 15: Senzorji WOODSENSE na konstrukciji lesene hiše

Več informacij o senzorjih je mogoče najti na spletni povezavi: <https://www.woodsense.com/en>

Poleg tega proizvajalca, so na trgu tudi senzorji podjetja Scantronik, ki so nekoliko manj priročni za uporabo: <https://www.scantronik.de>

9. Dejavniki razkroja lesa

Les je izpostavljen delovanju biotskih in abiotičnih dejavnikov razkroja. V naravi so ti procesi zaželeni in nujno potrebni. Kadar les uporabljamo v gospodarske namene, želimo te procese v čim večji meri upočasniti. Razkrojnih procesov se namreč ne da povsem ustaviti. Abiotični dejavniki so dejavniki nežive narave, kot so npr. vremenski in kemijski vplivi (Slika 16). Vremenski pojavi vplivajo na življenjsko dobo lesa in lahko povzročajo visoke stroške vzdrževanja. Atmosferski kisik, padavine in posledično izpiranje aktivnih učinkovin, temperaturna nihanja in sončna svetloba povzročajo sorazmerno majhne in počasne poškodbe lesa v primerjavi z ognjem. Les začne spreminjati svojo barvo že takoj po izpostavitvi vplivom okolja, saj dobro absorbira ultravijolično svetlobo. Zaradi vpliva sončne svetlobe se na površini začno specifične fizikalne in kemijske reakcije povezane s procesi fotodegradacije. Predvsem UV svetloba in nihajoča vlažnost lesa lahko vplivata tudi na pojav razpok na površini lesa, skozi katere vstopa voda, ki posredno vpliva na razvoj gliv v lesu. Z vidika estetske življenjske dobe je prav barvna stabilnost naravnega lesa med najpomembnejšimi lastnostmi, ki vpliva na nakupno odločanje.



Slika 16: Abiotični dejavniki razkroja lesa

UV svetloba je energijsko najintenzivnejši, očesu nevidni del sončne svetlobe. Pod njenim vplivom poteka fotodegradacija lesa. Vidna svetloba, ki jo opazimo s človeškim očesom (valovne dolžine 400 – 750 nm), prodre v les do globine 200 μm . Vidna svetloba krajših valovnih dolžin (med 100 nm in 400 nm), lahko prodre v les do globine 75 μm . Prav slednja svetloba ima največji vpliv na fotodegradacijo. Kljub temu, da UV svetloba predstavlja samo 5 % energije v sončni svetlobi, ima močan vpliv na fotokemične reakcije na površini lesa. Upoštevati moramo, da verižne reakcije, ki jih sproži sevanje UV segajo bistveno globlje, kot sega neposreden vpliv UV svetlobe.

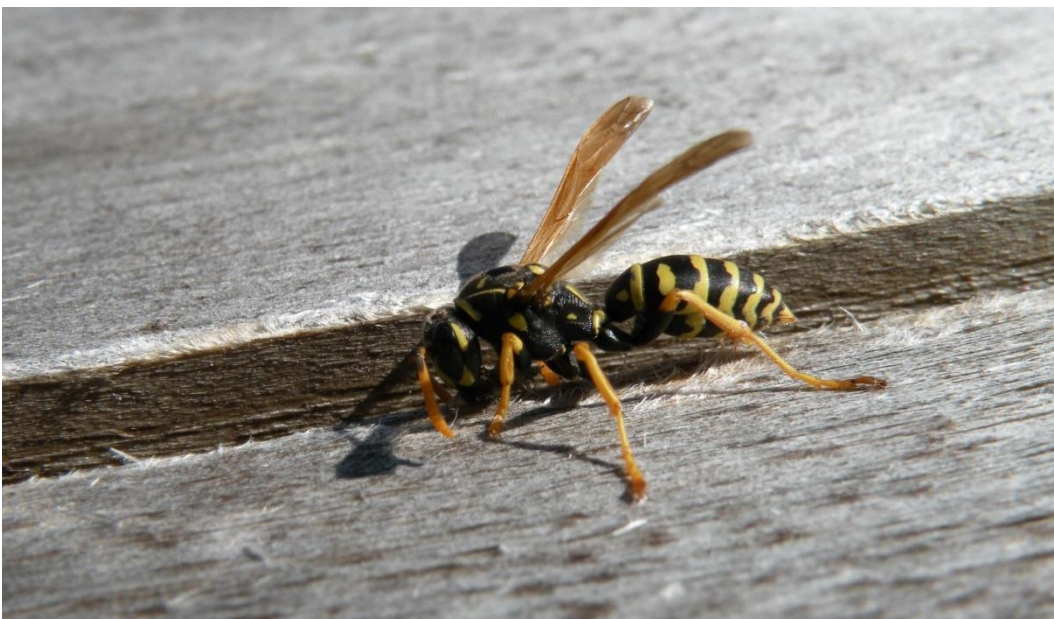
Vse komponente lesa so občutljive na UV svetlobo, najbolj lignin. Lignin v povprečju absorbira 80 % do 95 % UV svetlobe. Od 5 % do 20 % absorpcije lahko pripišemo celulozi in hemicelulozi, največ 2 % ekstraktivom. UV svetloba, ki se absorbira v lesu povzroči fotokemijske reakcije, ki najprej vodijo do diskoloracije, kasneje pa do vedno bolj intenzivne fotodegradacije. Proces fotooksidacijske degradacije lesa vključuje depolimerizacijo polimernih verig in oksidacijo lignina. V končni stopnji, fotodegradacija vodi do zmanjšanja fizikalnih, kemijskih in bioloških lastnosti lesa.



Slika 17: Siva, razpokana površina je posledica delovanja vremenskih vplivov

Fotodegradacija lignina privede do tvorbe prostih radikalov in nastanka obarvanih nizko molekularnih spojin, ki se izpirajo s površine lesa. Prosti radikali reagirajo s kisikom in tvorijo karbonilne in karboksilne kromoforne skupine (Hon, 2001), ki so odgovorne za nastanek barvnih sprememb. Barvne spremembe so v največji meri vezane na spremembo dveh kromofornih skupin v ligninu, ki sta značilni tako za listavce kot iglavce. Za iglavce je dokaj značilno, da se zaradi izpostavitve svetlobi obarvajo rumeno. Pri lesu listavcev so barvne spremembe nekoliko bolj kompleksne in se jih ne da opisati enoznačno.

Poleg sončne svetlobe in temperature imata zelo pomemben vpliv na fotodegradacijo tudi kisik in voda. Voda katalizira številne radikalne procese razgradnje in spira rjave razgradne produkte iz lesa. Zato les, ki je izpostavljen padavinam in sevanju UV posivi, les, ki ga razkrajajo samo UV žarki, porumeni, ali porjavi. Siva barva je posledica povišanega deleža celuloze na površini lesa. Po več letih izpostavitve les dobi patino, ki je navadno zaznamuje siva barva in groba struktura površine (Slika 17). V nasprotju z razširjenim ljudskim prepričanjem siva patina nima vpliva na odpornost lesa in lesa ne ščiti pred razkrojem. Površino vremenskim vplivom izpostavljenega lesa lahko do določene mere razgradijo tudi ose. Ose uporabijo zunanji sloj lesa, ki ga sestavlja večinoma le celuloza, za gradnjo osirja.



V ugodnih pogojih lahko les postane hrana za številne organizme, ki so sposobni eno ali več sestavin lesa razgraditi do stopnje, ki jo lahko presnovijo. Med biotskimi dejavniki razkroja največjo škodo povzročajo glive z razkrojem celične stene, zaradi česar se zmanjšajo mehanske lastnosti, njegova masa in posledično tudi uporabnost lesa. Zato je še posebej pomembno, da s primerno zaščito preprečimo, ali omejimo ugodne pogoje za rast in delovanje gliv.

Glive so večcelični organizmi, ki po svoji raznovrstnosti presegajo rastline. Schmidt (2006) opisuje, da na svetu obstaja 1.6 milijona gliv, med njimi je do zdaj opisanih zgolj 120.000 vrst. Ne glede na dejansko število gliv je jasno, da je kraljestvo gliv zelo obsežno. Glive so heterotrofni organizmi s celično steno iz hitina. Glive, ki na lesu živijo ali se z njim prehranjujejo spadajo v tri debla: Ascomycota, Basidiomycota in Deuteromycota. Glive sestavljajo nitaste strukture, ki jih imenujemo hife, preplet hif, ki sestavlja podgobje, imenujemo micelij.

Glive razkrojevalke lesa lahko glede na njihovo delovanje in končni učinek, ki ga povzročajo na lesu v grobem delimo na: glive, ki les obarvajo (glive modrivke in plesni) in glive, ki povzročajo trohnobo (glive bele trohnobe, glive rjave trohnobe in glive mehke trohnobe). Glive povzročiteljice obarvanja lesa se prehranjujejo s škrobom v parenhimskih celicah beljave in obarvajo lesa z izločanjem melanina (Slika 19) in s tem vplivajo predvsem na videz lesa. Ker pomodrel les izgubi del svoje estetske vrednosti, ga ne moremo uporabiti v vseh aplikacijah. Delovanje gliv modrivk se največkrat odraža v modrem, sivem ali črnem obarvanju. Modrenje povzroča od 100 do 250 vrst gliv, ki jih praviloma uvrščamo v debla Ascomycota in Deuteromycota. Najpogostejše glive modrivke so *Aureobasidium pullulans*, *Sclerophoma pithyophila*, *Rhinoctadiella atrovirens*, *Cladosporium sphaerospermum* ... (Schmidt, 2006). Ker glive modrivke praviloma ne razgrajujejo celuloze ali lignina ne vplivajo na mehanske lastnosti lesa. Večinoma prodirajo skozi stene celic preko naravnih medceličnih povezav – pikenj, redkeje skozi odprtine, ki jih naredijo same. Prenašajo se s sporami z vetrom ali jih s seboj prenašajo insekti, ki živijo v skorji ali beljavi dreves. Podobno kot glive modrivke tudi plesni povzročajo obarvanja lesa, ki se pojavlja samo na površini. Glede na specifično barvo konidijev, najpogosteje povzročajo črno (*Aspergillus niger*) ali zeleno obrvanje (*Penicillium* spp., *Trichoderma* spp.).



Slika 19: Temni melaminski pigmenti na površini pomodrelega lesa. Les je bil 18 mesecev izpostavljen vremenskim pogojem na terenskem polju Oddelka za lesarstvo (površina 256 μm \times 256 μm)

Tabela 4: Poškodbe, ki jih povzročajo lesne glive na lesu / Table 1: Damage caused by wood inhabiting fungi on wood

Skupine gliv, povzročiteljic poškodb	Glive metabolizirajo	Vrsta poškodbe
Glive, ki les obarvajo (Ascomycota, Deuteromycota ...)	Snovi v celičnih lumnih, produkte fotodegradacije, prah na površini, vsebina parenhimskih celic	Obarvanje lesa
Glive razkrojevalke (Basidiomycota in Ascomycota)	Lignin in celuloza	Bela trohnoba
Glive razkrojevalke (Basidiomycota in Ascomycota)	Predvsem celuloza	Rjava trohnoba
Glive »mehke« trohnobe (nepopolne glive in Ascomycota)	Celuloza (predvsem v S2 plasti stene)	»Mehka« trohnoba (soft rot)

Razkroj lesa se pod ugodnimi pogoji začne z okužbo s sporami, konča pa se, ko je les popolnoma razkrojen-mineraliziran. V začetni fazi glive prodirajo v lumne celičnih sten in ga fizično osvojijo. V tej stopnji navadno še ne opazimo izgube mase lesa. Zato običajno to stopnjo imenujemo tudi nevidno. Ko razkroj napreduje, se pojavijo rahle diskoloracije in spremembe v teksturi lesa. To fazo poimenujemo zgodnja. V tej stopnji je

razkroj opazen, vendar ne očiten. Pojavi se tudi prva občutna izguba mase. Stopnji, ko prvič brez težave prepoznamo razkrojen les, pravimo vmesna stopnja. V tej stopnji les še ohrani svoje strukturne lastnosti. Med seboj še lahko ločimo posamezne drevesne vrste. V zadnji fazi les popolnoma izgubi svojo prvotno teksturo. Glive, ki povzročajo rjavo trohnobo, spadajo med najpogostejše in najdestruktivnejše uničevalce lesa. Med razkrojem glive močno oslabijo mehanske lastnosti lesa, predvsem natezno trdnost. Glive rjave trohnobe razkrajajo predvsem hemicelulozo in celulozo, medtem ko ostane lignin skoraj nedotaknjen. Razkrojen les potemni, razpoka in izgubi skoraj vso trdnost (Slika 20). Mikroorganizmi, ki okužijo celico, lahko prodrejo v celico preko celične stene mehansko ali z razgradnjo celične stene. Slednje je znano za glive, ki s pomočjo ustreznih encimov hidrolizirajo ali oksidirajo sestavine celične stene. V začetnih fazah razkroja hife prodirajo iz celice v celico preko pikenj, prevajalnih elementov in parenhima. Kasneje si z razgradnjo celične stene same ustvarjajo prehode. Najbolj tipične glive, ki povzročajo rjavo trohnobo, so: kletna goba (*Coniophora puteana*), siva hišna goba (*Serpula lacrymans*), bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*), (*Oligoporus placenta*), tramovki (*Gloeophyllum trabeum*) in (*Gloeophyllum saepiarium*), luskasta nazobčenka (*Lentinus lepideus*) in hrastova labirintnica (*Daedalea quercina*). Taksonomsko gledano rjavo trohnobo najpogosteje povzročajo glive iz debela Basidiomycota, Glive rjave trohnobe pogosteje razkrajajo les iglavcev kot les listavcev. Zaradi kompleksne tridimenzionalne zgradbe, njegove hidrofobnosti in naključnega premreženja enot lignina, ki so povezane z različnimi tipi kemijskih vezi, večina organizmov ne more razgraditi lignina. Po delovanju gliv rjave trohnobe je lignin le modificiran, ne razgrajen na osnovne, fenilpropanojske enote (Slika 5). Les se obarva rjavo zaradi razkroja celuloze in hemiceluloz, posledično se začnejo sproščati notranje napetosti in les značilno razpoka (prizmatična trohnoba). Ker v naravi glive rjave trohnobe pogosteje okužijo iglavce kot listavce, vlada prepričanje, da te glive na splošno lažje razkrajajo les iglavcev kot les listavcev. Vendar je bilo z laboratorijskimi testi dokazano, da so glive rjave trohnobe prav tako sposobne razkrajati listavce. Dokazali so, da med vzorci beljave s približno enako gostoto ni bilo opaziti statistično značilnih razlik v razkroju med izpostavitvijo glivam tramovkam, beli hišni gobi in luskasti nazobčenki. Vzrok za v naravi pogostejšo okužbo iglavcev z rjavo trohnobo lahko najdemo v kemični sestavi lesa. Iglavci namreč vsebujejo več manana kot listavci, ki imajo večji delež ksilana. Glive rjave trohnobe najprej učinkoviteje razgradijo manan kot ksilan. Zato lahko domnevamo, da so glive rjave trohnobe na iglavcih bolj konkurenčne in jih kolonizirajo pred glivami bele trohnobe. V laboratoriju, v sterilnih pogojih, nimajo konkurence, zato ni bistvene razlike med njimi.



Slika 20: Prizmatično razpokan in rjavo obarvan les je značilen za razkroj z glivami rjave trohnobe

Popolne razgradnje lignina so sposobne glive bele trohnobe, ki imajo edinstveno sposobnost popolne depolimerizacije lignina do ogljikovega dioksida, in so edini organizmi, ki lahko razgradijo vse komponente olesenele celične stene. Glive bele trohnobe so najpogostejše povzročiteljice razkroja lesa na prostem, predvsem na lesu listavcev. Poleg lignina v večji ali manjši meri razkrajajo tudi celulozo in hemiceluloze. Les je zaradi oksidativnega razkroja lignina svetlejši, zato to vrsto razkroja imenujemo bela trohnoba. Večinoma jih uvrščamo med Basidiomycote (prostotrosnice), redko se pojavijo tudi predstavnice Ascomycot (zaprtotrosnice). Glive bele trohnobe lignina praviloma ne uporabljajo kot vir energije in ogljika. Razgradnja ligninskega matriksa je potrebna, da glive oziroma njihovi encimi pridejo do celuloze in hemiceluloz, ki jih lignin obdaja in so za druge organizme nedostopni). Poznamo dva tipa bele trohnobe, sočasno ali simultano (sočasna razgradnja lignina in celuloze) in selektivno (selektivna razgradnja lignina). Posebna oblika bele trohnobe je piravost, pri kateri nastajajo črne črte ali lise, s katerimi se različne vrste ali nekompatibilni miceliji iste vrste ločijo med seboj. Linije so posledica fenolnih oksidaz, s katerimi se glivne snovi ali snovi gostiteljskega lesa pretvarjajo v melanin (Humar et al., 2020).

10. Ključne predstavnice rjave trohnobe

Siva hišna goba ali solzivka - *Serpula lacrymans* je ena najbolj nevarnih razkrojevalk lesa, zato ji nekateri pravijo tudi hišni lesomor. Siva hišna goba tvori površinsko podgobje in razkroj poteka s površine v notranjost lesa. Zato ji ustreza okolje z visoko zračno vlažnostjo. Na belem miceliju so pogosti rumeni, v nekaterih primerih pa vinsko redeči madeži. Siva hišna goba se pojavlja na vgrajenem lesu iglavcev in listavcev. Najpogosteje razkraja lege, tramove, lesena tla, podboje vrat in oken, okenske okvirje, lesene strope ter pohištvo. Ne omejuje se le na stavbni les in pohištvo, temveč okuži tudi vse druge predmete, ki vsebujejo celulozo (knjige, tkanine, tapete, papir, preproge, slike itd.). Do okužbe s solzivko pride samo ob visoki vlažnosti lesa (nad 20 %). Najpogosteje se pojavlja v prostorih, kjer zamaka ali če temelji niso izolirani pred vlago, pa tudi tam, kjer zaradi neustrezne izolacije in pojava toplotnih mostov prihaja do kondenzacije. Optimalna temperatura za njeno rast je okoli 21°C. Ko podgobje preraste les, ga z izsušitvijo ne moremo uničiti, saj si z razkrojem celuloze sama ustvarja vlago. Vodne kapljice se nabirajo po površini podgobja (od tod ime solzivka). V strokovni literaturi je zato opredeljena kot povzročiteljica suhe trohnobe (dry rot). Z mesta okužbe se siva hišna goba s sivimi rizomorfi, razrašča pod talnimi in stenski oblogami ter išče nove vire ogljika. Rizomorfi lahko predrejo tudi zidove in se razširja nekaj deset metrov v stran od izvora okužbe. Ko se podgobje z razkrojem lesa oskrbi s hranilnimi snovmi, tvorijo plodišča, ki kot blazinasta prevleka preraščajo površino lesa ali drugih materialov. Na plodišču se razvije vijugasto nagubana svetlo rjavo trosišče obdano z belim robom. Na labirintasti trosovnici vsak dan nastane na milijone trosov. Ti se kot rjav prah nabirajo na površinah po prostoru. Pogosto je plodišče prostorsko ločeno od žarišča trohnenja in zraste v prostoru s prepihom (Schmidt, 2006; Unger et al., 2001).



Slika 21: Trosnjak, značilen za sivo hišno gobo

Bela hišna goba

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 pa z imenom bela hišna goba označujemo še vrste: *Oligoporus placenta*, *Postia placenta*, *Poria monticola*. *Postia monticola*, *Poria vaillantii* ... Podobno kot v slovenščini, se je tudi v angleščini uporablja eno ime za našete glive. Poimenovali so jih: white pore fungus ali mine fungus.

Bela hišna goba je zelo pogosta v kletih, rudnikih in ostalih zelo vlažnih okoljih, po čemer je tudi dobila angleško ime »mine fungus«. Okužuje tudi les na skladiščih. Najdemo jo tudi v gozdu na podzemnih delih hlodovine. Glivo najdemo v zmernem, kakor tudi v tropskem pasu v Evropi, Aziji, Avstraliji, Afriki, redkeje pa v S. Ameriki. Bela hišna goba pogosteje okužuje zelo vlažen les iglavcev, še posebej, če se na lesu nabira kondenzirana voda. Ta vrsta je tipičen predstavnik rjave trohnobe. Razkrojen les prizmatično razpoka, vendar so razpoke plitkejše, kot pri sivi hišni gobi, prizme pa večje, kot pri kletni gobi.

Trosnjake bele hišne gobe v naravi najdemo zelo redko, pogosto pa 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 najlaže 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. Glivi najbolje uspeva med 26 in 27°C ter med 35 % do 45 % vlažnost lesa. Bela hišna goba razkraja le vlažen les, lahko pa preživi večletna sušna obdobja. V optimalnih pogojih dnevno zraste tudi do 12,5 mm.

Za belo hišno gobo je značilna visoka toleranca na bakrove pripravke. Odpornost na baker med posameznimi izolati močno niha. Najbolj tolerantni izolati lahko rastejo celo na hranilnem gojišču, ki vsebuje 8000 ppm bakra ali impregniranem lesu, ki vsebuje do 30 kg bakra/m³. To dejstvo je zaskrbljujoče, saj bakrovi pripravki sodijo med najbolj razširjene biocidne proizvode za les.



Slika 22: Micelij, ki se razrašča, kot ledene rože, je značilen za belo hišno gobo

Kletna goba

Kletna goba (*Coniophora puteana* (Schum.: Fr.) P. Karsten) je ena izmed predstavnic hišnih gob, kamor uvrščamo še sivo hišno gobo in belo hišno gobo. Za kletno gobo je značilno, da jo pogosto najdemo v zaprtih

prostorih, še posebej v kletih, rudnikih in jamah, po čemer je tudi dobila ime – kletna goba. Podobno so jo poimenovali tudi na angleškem govornem območju »cellar fungus«. Vendar ni omejena samo na zaprte prostore, saj lahko prerašča tudi les na prostem. Kletna goba je razširjena v zmernem podnebnem pasu Evrope in Avstralije v Aziji in S. Ameriki pa je redkejša.

C. puteana povzroča značilno prizmatično rjavo trohnobo. Prizme so izrazite, a majhne. Kletna goba je izredno učinkovit razkrojevalec lesa. Površina lesa velikokrat je videti zdrava, medtem ko je sredica popolnoma razkrojena. Glivi ustreza vlažnejši les, kot sestrskima hišnima gobama, zato jo v literaturi včasih zasledimo tudi pod imenom »wet rot«. Pogosteje jo najdemo na lesu iglavcev kot na listavcih.

Površina okuženega lesa navadno ni v celoti preraščena, micelij je pogosto neopazen, puhast rumenkaste do rjave barve. Površinski micelij se pojavi le, če je vlažnost lesa in zraka dovolj visoka. Starejši rizomorfi so temno rjavi, skoraj črni. Na okuženi steni pogosto so videti kot pajkova mreža. Micelij zelo težko ločimo od lesa. Plodišč kletne gobe v stavbah skoraj ne najdemo, na prostem so relativno pogosta. Pojavijo se na trebušni strani okuženega lesa, lahko pa tudi na vlažnih stenah. So površinska, debela med 1 in 3 mm, in jih težko odstranimo od lesa. Plodišča so rumeno do olivne barve, podolgovate oblike, pogosto tudi ovalna, podobna krastam. Zanimivo je, da ravno zaradi teh krast to gobo Čehi in Slovaki poimenujejo »Chrastavka«.

Optimalna temperatura za rast kletne gobe je 23 °C. Uspeva v območju med 3 in 35 °C. Nekateri sevi preživijo tudi sušenje v sušilnicah pri 50 - 65 °C, kar pogosto povzroča težave pri konservatorskih posegih. Ustreza ji vlažnost lesa v območju 50 – 60 %, minimalna vlažnost kjer še uspeva je 24 %. V optimalnih razmerah lahko ta gliva zraste med 6 - 7 mm dnevno. Gliva za uspešno rast potrebuje vlažen les. Zelo je občutljiva na sušenje in se ne regenerira, če se okužen suh les ponovno navlaži, kar je zelo pomembno s praktičnega vidika sanacije okuženih objektov.

Kletna goba najhitreje okuži vlažen, svež, pravkar vgrajen les. V stavbenem lesu jo pogosto najdemo skupaj z insektom mrtvaško uro (*Xestobium rufovillosum*) ali lesnimi mravljami. V primerih, da gliva razkraja les na prostem, pogosto deluje v sinergiji z glivami mehke trohnoobe. Pri sanaciji poškodb ne smemo zanemariti dejstva, da povzroča tudi razpad opeke in betona.



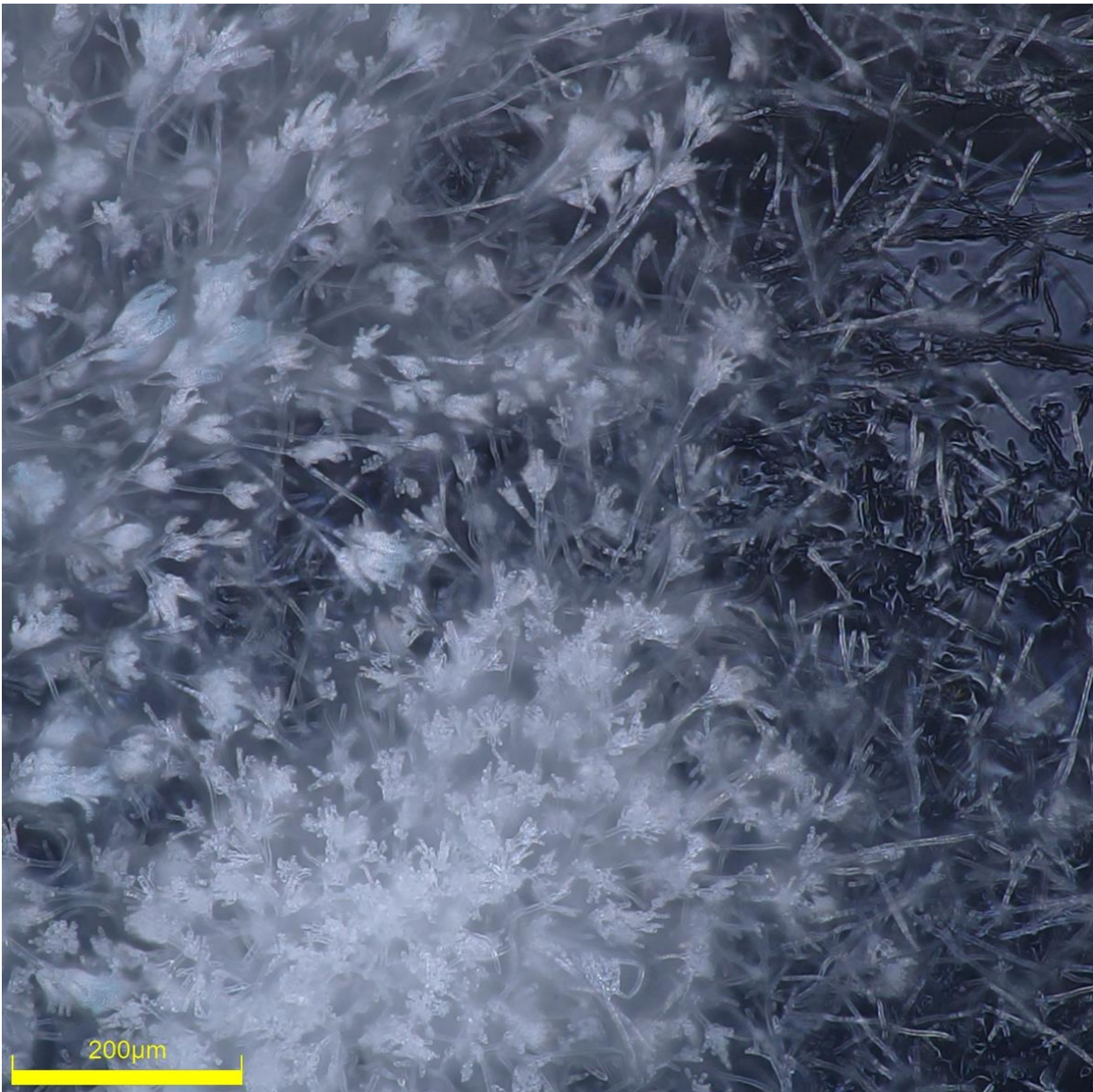
Slika 23: Značilen površinski trosnjak kletne gobe

11. Nezaželeni učinki plesni v bivanjskem okolju

Plesni so mikroorganizmi, ki jih uvrščamo v kraljestvo gliv. Z njimi se ljudje srečujemo vsak dan, saj so prisotne vsepovsod okoli nas, vsaj v obliki spor. V odprtem in naravnem okolju njihova prisotnost za ljudi praviloma ni škodljiva. Plesni uvrščamo v kraljestvo večceličnih organizmov, gliv. So zelo raznovrstna ter številčno obsežna skupina organizmov, saj so prisotne povsod okoli nas ne glede na to, ali se nahajamo v naravnem okolju ali v notranjih prostorih. Plesni so okoli nas najpogosteje prisotne v obliki spor, ki se lahko v primeru ugodnih okolijskih pogojev razvijejo v micelij. Znanih je okoli 1200 vrst, ki lahko rastejo na najrazličnejših površinah. Prepoznavne so po neprijetnem vonju in pisanih barvah. Po navadi jih poznamo kot kvarljivce živil ter zahrbtno nadlogo v stanovanjskih objektih. Kljub temu se nekatere plesni izkorišča v pozitivne namene, na primer za izboljšanje živil, kot je plemeniti sir, ter pri izdelavi različnih antibiotičnih učinkovin.

Porast prisotnosti plesni v bivanjskem okolju se je pojavila z vsesplošnim spremenjenim življenjskim slogom. Ljudje so včasih kuhali na odprtem ognju, kar je posledično sušili notranjost domov. Dim, ki se je odlagal na stene, je deloval biocidno in preprečeval rast plesni. Tuširanje, pranje in umivanje so bila opravila, ki so se opravljala na odprtem, zato se vodna para, ki se je pri tem sproščala, ni odražala v višji vlažnosti v notranjih prostorih. V današnjih časih so notranji prostori opremljeni z energetsko učinkovitimi napravami, nepredušnimi okni in vrati, kar onemogoča prosto kroženje zraka.

V primeru neustreznega zračenja zato zelo hitro naraste relativna zračna vlažnost. Ljudje zaradi poklicnih obveznosti in novega življenjskega sloga veliko časa preživijo v zaprtih prostorih, ki so oblikovana v modernem slogu, pogosto so ta okolja slabše vzdrževana in imajo neustrezno urejeno prezračevanje. Takšni pogoji so idealni za nastanek tako imenovane »bolne stavbe« (Sick Building Syndrome – SBS). SBS je stanje, ki povzroča nezaželene učinke na razpoloženje ter zdravje stanovalcev oziroma zaposlenih, ki v takšnih stavbah preživijo veliko časa. Stanovalci oziroma zaposleni lahko občutijo SBS samo v posameznih prostorih ali v celotni stavbi. Najpogostejši neželeni učinki, ki jih občutijo v bolnih stavbah, so nenehni glavoboli, občutek piskanja in utripanja v glavi ter nenehna utrujenost. Marsikateri posameznik takšnih simptomov ne prepozna kot problem zaradi izpostavljenosti slabim bivanjskim razmeram in plesni, zato ne obišejo zdravnika.



Slika 24: Najbolj pogosto v slovenskih objektih zaledimo glive, ki sodijo v rod *Penicillium*. Slika micelija pod mikroskopom.

Plesni ne razvrščamo v samostojno taksonomsko skupino, najpogostejše med askomikotine in v skupino nepopolnih gliv. Vse spadajo med glive. Spodaj so naštetih rodovi najpogostejših plesni, ki se pojavljajo v bivanjskem okolju, zlasti v starejših razpadajočih objektih. Za vse našete plesni velja, da se jih najde tudi v naravi, predvsem v tleh, razpadajočih materialih in odpadkih. Te plesni so:

- *Acremonium*,
- *Aspergillus* sp. (npr. *Aspergillus fumigatus*),
- *Aureobasidium pullulans*,
- *Alternaria alternata*,
- *Cladosporium* sp. (npr. *Cladosporium herbarum*, *Cladosporium sphaerospermum*),
- *Mucor* sp.,
- *Penicillium* sp. (npr. *Penicillium brevicompactum*),
- *Stachybotrus* sp. (npr. *Stachybotrus atra*),
- *Fusarium solani* (Vittanen in sod., 2009).

Za pojav plesni v bivanjskih prostorih so ključni trije dejavniki, in sicer: visoka relativna zračna vlažnost (RH), temperatura ter dovolj dolgo časovno obdobje takšnih razmer. Potencialni razvoj plesni lahko predvidevamo s pomočjo izračuna indeksa pojava plesni. Indeks pojava plesni predvideva kritične točke pogojev za možnost

pojava in razvoja plesni na različnih materialih. Med kritične pogoje za pojav plesni uvrščamo RH, ki more biti večja od 75 % oziroma 80 %, temperaturo med +0 in +40 °C ter določen čas izpostavljenosti takšnim pogojem glede na vrsto plesni. Plesen se v znanstvenih študijah preučuje na različnih materialih, najpogosteje pa na lignoceluloznih materialih. Les vsebuje hranljive snovi, medtem ko jih mineralna gradiva ne vsebujejo. Glive živijo od organskih ostankov (prahu ...), ki se nabirajo na mineralnih gradivih, kot sta beton in gips.

Znanstveniki v mnogih epidemioloških raziskavah opisujejo negativen in neželen vpliv plesni na zdravje ljudi. Ukvarjajo se tako s prepoznavanjem simptomov, povezanih s potencialnimi boleznimi, ki jih povzročijo plesni, kot tudi konkretno s spektrom bolezni, ki jih lahko plesni povzročijo. Najpogostejši blažji učinki se kažejo kot glavoboli, občutje pritiska v glavi ter utripanja, vnetje oči, nosa in grla. Poleg naštetih simptomov se oboleli počutijo dlje časa izčrpane, smrkajo ter imajo suh kašelj.

Znanstveniki nemškega in avstrijskega inštituta The German Society of Hygiene, Environmental Medicine and Preventative (GHUP) so izvedli raziskavo, pri kateri so opazovali najpogostejše simptome, ki jih imajo ljudje z zdravstvenimi težavami in so bili izpostavljeni plesnim. Za posameznike je nemogoče dokazati povezavo med izpostavljenostjo plesni in neposrednimi že obstoječimi zdravstvenimi težavami ali boleznimi, ki jih imajo. Velja pa, da so nekateri ljudje, ki imajo druge zdravstvene težave, podvrženi večjemu tveganju neželenih učinkov plesni. V rizično skupino spadajo ljudje:

- a. z imunosupresivnimi boleznimi,
- b. s cistično fibrozo,
- c. z bronhitično astmo (Hurraß in sod., 2016).

Preglednica v nadaljevanju razvršča bolezni ter njihovo povezavo z vplivom izpostavljenosti plesni za različne bolnike. Razvrščene podatke so pridobili na inštitutu GHUP (Hurraß in sod., 2016).

Dokaz ob izpostavljenosti plesni	Bolezen
Zadostni dokazi za povezavo	<ul style="list-style-type: none"> - Alergijske respiratorne bolezni - Astma (začetek, napredek, poslabšanje) - Alergijski rinitis - Preobčutljivi pneumonitis (HP – Hypersensitivity pneumonitis) - Zunanja alergija alveol (EAA – Exogenous allergic alveolitis) - Napredujoče dihalno vnetje – bronhitis
Omejeni ali domnevni dokazi za povezavo	<ul style="list-style-type: none"> - Dražeča sluznica (MMI) - Atopičen dermatitis (pojav, napredovanje, poslabšanje)
Nezadostni ali nezanesljivi dokazi za povezavo	<ul style="list-style-type: none"> - Kronična obstruktivna pljučnica (COPD) - Akutna idiopatska krvavitev pri otrocih (Acute idiopathic pulmonary hemorrhage in children) - Reumatitis - Artritis - Rak - Nevrotoksični učinki - Sarkodioza (Sarcoidosis)

Ljudje s kroničnimi boleznimi so dokazano občutljivejši na izpostavljenost plesnim v bivanjskem okolju, kar se lahko kaže kot napredek njihove bolezni ali pojav nove oblike bolezni. Preventivno morajo poskrbeti za kakovostno življenje, izogibati se morajo izpostavljenosti plesni ter skrbeti za zelo dobre higienske razmere. Njihova bivanjska okolja morajo biti pregledana, če se lahko v njih pojavi plesen. Če so indikatorji za plesen prisotni, morajo biti iz preventivnih razlogov odstranjeni vsi materiali in stvari, v katerih bi lahko prišlo do njihovega potencialnega razvoja ali pa je do le-tega že prišlo. Takšna okolja morajo biti nadalje ustrezno sanirana ter vzdrževana.



Slika 25: Pojav plesni na iverni plošči poplavljenega objekta



Slika 26: Pojav plesni na konstrukciji. Les je močno vlažen. Plesni so prisotne v vogalu, kjer je slab pretok zraka.

Sanacija plesnivih okolij

Najboljša je preventiva. Ker pa v poplavljenih okoljih ni vedno mogoče poskrbeti za suho okolje, je treba ves čas spremljati okolje. Če je plesniva izolacija, jo je treba zavreči. Plesniv material je treba odpeljati stran, saj predstavlja vir okužbe.

Če se plesni pojavijo jih je najbolje odstraniti, odvisno od obsega plesnenja. Površino se lahko obriše z vlažno krpo in zatem krpo zavrže, ali/in se aplicirajo pripravki za odstranjevanje plesni. Pri delu v plesnivem okolju je treba nositi masko in rokavice.

- Natrijev hipoklorit (kot na primer Clox) ... (okolje nekaj časa smrdi po kloru, zato je treba prostor po aplikaciji dobro prezračiti).
- Vodikov peroksid

Uporaba biocidov, z daljšim delovanjem ni potrebna, saj bo problem s plesnijo izginil, ko se bo les in ostali materiali posušili.

12. Lastnosti poplavljenega lesa

Še dodati

13. Nadaljnji ukrepi

Po prenovi je nujno, da se še naprej izvaja monitoring prenovljenih objektov. Za večino aktivnosti lahko poskrbijo prebivalci sami.

- Predlagamo, da si prebivalci kupijo enostavne senzorje za spremljanje relativne vlažnosti v objektu. Če bo v hladnejših mesecih, relativna vlažnost konstantno visoka (nad 65%) je to znak, da je objekt še vlažen. V tem primeru je treba objekt čim pogosteje zračiti in/ali si namestiti razvlažilnik.
- Opazovanje. Prebivalci naj opazujejo, če se v objektu pojavljajo vlažni madeži. Vlažni madeži, nakazujejo da je v objektu ostala ujeta vlaga.
- Nekaj mesecev po sanaciji bi bilo smiselno v objektu preveriti koncentracijo spor (po dogovoru z BF UL).
- V zimskih mesecih bi bilo smiselno nekaj objektov pregledati z IR kamero.

14. Priporočila za nove objekte

15. Literatura

- Brischke, C., Alfredsen, G., Humar, M., Conti, E., Cookson, L., Emmerich, L., Flæte, P. O., Fortino, S., Francis, L., Hundhausen, U., Irbe, I., Jacobs, K., Klamer, M., Kržišnik, D., Lesar, B., Melcher, E., Meyer-Veltrup, L., Morrell, J. J., Norton, J., ... Suttie, E. (2021). Modeling the material resistance of wood—part 2: Validation and optimization of the meyer-veltrup model. *Forests*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/f12050576>
- CEN. (2007). *European Standard EN 351-1 - Durability of wood and wood-based products - Preservative-treated solid wood - Part 1: Classification of preservative penetration and retention*.
- CEN. (2013a). EN 599-1: Durability of wood and wood-based products — Efficacy of preventive wood preservatives as determined by biological tests. *European Committee for Standardization*.
- CEN. (2013b). *European standard EN 335, Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products*. (European Committee for Standardization), Brussels.
- EC. (2000). REGULATION (EU) No 528/2012 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 22 May 2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products. *Official Journal of the European Communities*, L 269(528), 1–15.
- Humar, M., & Lesar, B. (2020). Spremljanje vlažnosti lesene strehe golobarske žičnice - preliminarni rezultati. *Acta Silvae et Ligni*, 122, 19–28. <https://doi.org/10.20315/asetl.122.2>
- 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>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.023>
- Lesar, B., & Humar, M. (2009). Re-evaluation of fungicidal properties of boric acid. *European Journal of Wood and Wood Products*, 67(4). <https://doi.org/10.1007/s00107-009-0342-0>
- Mohd Ghani, R. S. (2021). A review of different barriers and additives to reduce boron movement in boron dual treated wood. In *Progress in Organic Coatings* (Vol. 160). <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106523>
- Schmidt, O. (2006). Wood and tree fungi: Biology, damage, protection, and use. In *Wood and Tree Fungi: Biology, Damage, Protection, and Use*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/3-540-32139-X>
- Unger, Achim., Schniewind, A. P., & Unger, Wibke. (2001). *Conservation of wood artifacts : a handbook*. Springer.