

Avtorji: Polona Zalar, Katja Kavkler, Ana Motnikar, Andrej Demšar,
Črtomir Tavzes in Nina Gunde - Cimerman

Vsebina

1. Uvod
2. Predstavitev in prepoznavanje plesni
3. Prepoznavanje mikrobiološko napadnega tekstila: spremembe strukture in poškodbe vlaken
4. Evidentiranje mikrobiološkega napada
5. Metode uničevanja plesni in odstranjevanje plesni s površin
6. Metode razbarvanja madežev plesni
7. Hramba zgodovinskih tekstilij
8. Varnost pri delu s plesnimi
9. Zaključek
10. Literatura

1. Uvod

Tekstilije so zaradi svoje sestave občutljivi materiali. Razgrajujejo jih tako kemični kot tudi fizikalni in mikrobiološki dejavniki. V poglavju se bomo omejili na mikroorganizme, med katerimi na muzejskih tekstilijah prednjačijo plesni. Plesni na tekstilnih predmetih opazimo kot kosmata, puhasta, ponavadi obarvana, krožno razširjajoča se območja. Zaradi njihove aktivnosti se vlaknom spremenijo lastnosti in pridobijo značilen »plesniv« vonj. V poglavju obravnavamo značilnosti plesni in njihove rasti. Obravnavamo tudi načine proučevanja plesni in njihovo učinkovanje na tekstilne predmete ter načine, na katere se spopademo z njimi in z njihovimi produkti. Za ohranjanje zgodovinskega tekstila so najpomembnejše ustrezne razmere hrambe, predvsem nizka in stalna relativna zračna vlaga. Če se plesen pojavi nenadoma, je zelo pomembno hitro in pravilno ukrepanje. Nenazadnje pa je ključno, da vemo, da so plesni lahko zdravju škodljive. Zato je pomembno, da plesen prepoznamo in da se ob rokovanju s plesnivimi predmeti ustrezno zaščitimo.

2. Predstavitev in prepoznavanje plesni

Plesni so glive

Izraz »plesni« uporabljamo za



Slika 1: Micelij plesni v substratu in na njem. Od podlage dvignjene hife so nosilci spor.

skupino gliv, ki se razraščajo v nitasti (filamentozni) obliki. Nitke oz. tanke cevke (hife) se razraščajo na/v substratih in tam oblikujejo preplete hif oz. micelij. Na miceliju ob ustreznih razmerah v procesu razmnoževanja glive tvorijo spore, s katerimi se razširjajo (**slika 1**).

Plesni spadajo med prave glive. Skupaj z višjimi glivami, ki jih laično najpogosteje imenujemo gobe, ali pa tistimi v enocelični obliki, kot so kvasovke, jih uvrščamo v posebno kraljestvo gliv (*Fungi*), sestrsko kraljestvu živali in sorodno kraljestvu rastlin. Kraljestvo gliv vključuje raznovrstne organizme, ki naseljujejo zelo raznolika okolja. Opisanih je približno 100.000 vrst gliv, ocenjeno število vseh vrst pa je 1–1,5 milijona, po nekaterih ocenah jih je tudi do 5 milijonov.

Glive so skupina heterotrofnih mikroorganizmov, ki pridobivajo

energijo z oksidacijo organskih snovi. Večina je saprofitov (gniloživk), v naravi pa obstajajo tudi kot paraziti, simbiotni in patogeni. Glive so odvisne od energijsko bogatih molekul, ki jih proizvedejo drugi organizmi. Hranila razgrajujejo s pomočjo številnih zunajceličnih hidrolitičnih encimov. Razgradijo lahko zelo različne snovi, tudi nekatere zelo težko razgradljive, kot so hitin (npr. zunanji skelet žuželk), keratin (koža, lasje, roževina, perje), celuloza (les) in lignin (vezivo v lesu).

Energijo pridobivajo tudi z razgradnjo zelo nenavadnih snovi, kot so zidna barva, plastika, ionizirajoče sevanje itd. Sposobnost razgradnje celuloze in lignina omogoča nekaterim glivam dostop do ogromnih količin ogljika, vezanega v obliki rastlinskih ostankov. Zgodovinski tekstil, ki je v večini celuloznega in beljakovinskega izvora, se lahko razgradi bodisi zaradi glivnih asimilacijskih procesov, saj so vlakna lahko hranila za rast gliv, bodisi disimilacijskih procesov, pri katerih se glivni metaboliti izločajo v podlago.

Pomembni parametri za rast plesni

Rast plesni je odvisna od relativne zračne vlage (RH) oz. dostopnosti vode, hranil in ključnih fizikalno-kemijskih parametrov okolja. Vsak organski material (od enostavnih sladkorjev, škroba in celuloze do kompleksnih proteinov) predstavlja potencialni substrat za glive. Glive se pojavljajo celo na anorganskih površinah, kot so steklo in kovine, na katerih že sledi organskih ostankov omogočajo njihovo rast. Tekstil, ki je bodisi rastlinskega ali živalskega izvora, lahko ob primernih razmerah deluje kot hranilo. Vir ogljika v tekstilu iz rastlinskih vlaken je celuloza, poleg tega pa so tekstilije pogosto

škrobljene (škrob je polimer glukoze) in prav zaradi tega površinsko napadene. Površinski beljakovinski, maščobni in sladkorni madeži omogočijo rast tudi manj specifičnim glivam, ki ne razgrajujejo celuloze.

Vlaga. Aktivna rast plesni je predvsem odvisna od relativne zračne vlage. Vsaka vrsta plesni potrebuje minimalno količino vode, ki omogoči nabrekanje spore in kalitev spore v hifo. Vodo pridobi iz substratnega materiala, na katerega vpliva relativna zračna vlaga. Biologi opisujemo dostopnost substratne vlage za biokemijske procese organizmov kot biološko dostopno vodo oz. vodno aktivnost (a_w). Čista voda ima vodno aktivnost 1, z dodatkom različnih topljencev pa se zniža do 0,62, kar je spodnja meja za življenje. Večina plesni pri tej skrajni vrednosti vodne aktivnosti ne bo rastle, z izjemo prilagojenih, kserofilnih plesni. Tudi čas začetka rasti plesni je močno odvisen od relativne zračne vlage, saj se pri vlagi, višji od 80 %, plesni pojavijo v 2–5 dneh, pri 75-odstotni zračni vlagi v 2–3 mesecih in pri 65-odstotni vlagi po več kot treh letih, če je temperatura v prostoru okoli 25 °C.

Temperatura. Večina plesni raste v temperaturnem intervalu od 4 do 30 °C, kar jim omogoča rast v depojih, kjer je najpogostejša temperatura med 15 in 25 °C. Nižje temperature rast plesni ponavadi upočasnijo. Krajši čas nad temi temperaturami ali pod njimi povzroči dormanco (stanje metaboličnega mirovanja) spor, sprememba temperature v optimalno območje pa ponovno omogoči rast plesni. Zamrzovanje povzroči propad nekaterih glivnih spor, večina spor pa lahko preživi tudi daljša obdobja zelo nizkih ali zelo visokih temperatur.

pH. pH substrata vpliva na kaljenje spor in na rast plesni. pH-območje,

pri katerem uspeva večina plesni, je od pH 2 do pH 9, optimalno območje pa med pH 4 in pH 7, kar je tudi pH-vrednost večine eksponatov. pH materiala se med rastjo mikroorganizmov spreminja zaradi njihovega metabolizma.

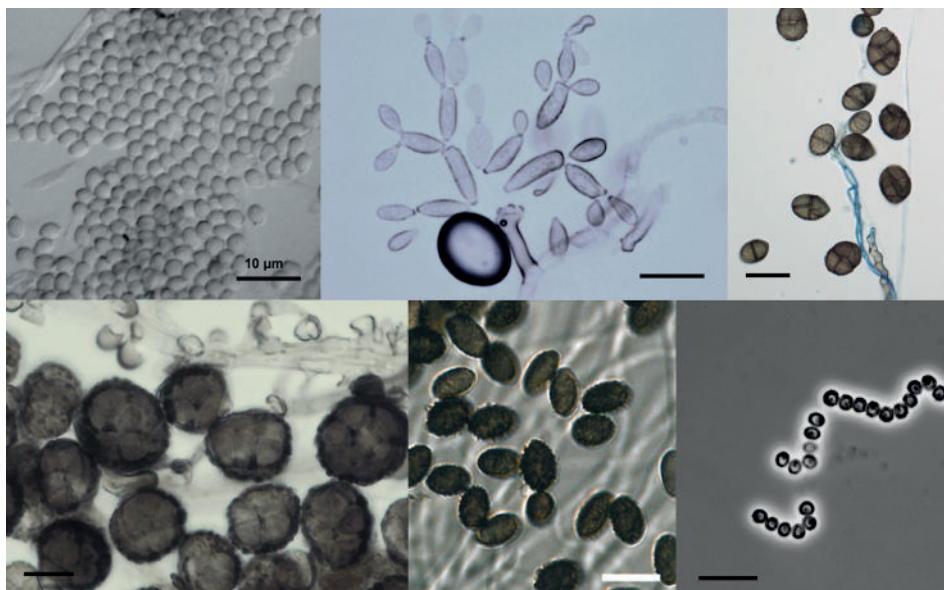
Zračenje. Kroženje zraka je pomembno za vzdrževanje konstantne relativne zračne vlage. Zračenje onemogoči nastanek specifičnih mikroklimatskih pogojev visoke oz. nizke relativne zračne vlage in s tem zadrževanje vlage na predmetih.

Svetloba. Svetloba pri večini plesni ne vpliva na rast. Pri določenih glivah osvetlitev lahko omeji rast in povzroči sproščanje nekaterih metabolitov, kot so različni toksini in lahkohlapne organske snovi. Svetloba lahko različno vpliva tudi na sporulacijo (proces nastajanja spor), pri nekaterih plesnih jo sproži, pri drugih pa zavre. Kroženje zraka je lahko slabše v temnih prostorih.

Viabilnost (dolgoživost) spor. Z vsemi zgoraj povezanimi dejavniki je povezana tudi dolgoživost spor. Nekateri ostanejo živi le nekaj ur, spore rodov *Aspergillus* in *Penicillium*, ki jih najpogosteje najdemo na muzejskem tekstilu, pa so lahko živi tudi nekaj deset let. Sušenje spor v vakuumu, ki je ena od klasičnih metod za shranjevanje glivnih spor, omogoča shranjevanje živih spor tudi več kot 40 let.

Prisotnost spor v zraku

Glive so v zraku najpogosteje v obliki spor (**slika 2**), velikih od 2 do 10 μm , sledijo kvasovke in delci hif. Na pojavljanje gliv v zunanem zraku vplivajo sezonske klimatske razmere in pojav rastlinstva. Najštevilnejše so v poletnem do jesenskem času, ko njihovo število lahko doseže celo do 10.000 spor/ m^3 . Takrat se glive razraščajo predvsem na rastlinskih substratih in se širijo z zračnimi tokovi. V zunanem



Slika 2: Spore najpogostejših gliv v zraku. Zgoraj levo: *Penicillium/Aspergillus*: okrogle do ovalne, v ravnih verižicah, enako velike; zgoraj sredina: *Cladosporium*: okrogle do ovalne, temno obarvane, v razvejanih verižicah, različno velike; zgoraj desno: *Alternaria*: podolgovate, prečno in vzdolžno septirane, temno obarvane; spodaj levo: *Epicoccum*: okrogle, prečno in vzdolžno septirane, temno obarvane; spodaj sredina: *Stachybotrys*: elipsoidne, temno rjavo obarvane, hrapave; spodaj desno: *Wallemia*: okrogle do ovalne, cimetno rjave, enostavne verižice. Merilo: 10 μm .

zraku po številu prednjačijo glive rodu *Cladosporium*, nato pa še rodovi *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Epicoccum* in *Wallemia*.

V zraku notranjih prostorov je glivnih spor ponavadi manj, razmerje med rodovi je podobno zunanjem zraku. Zaradi specifičnih razmer v notranjih prostorih se glive lahko zelo namnožijo in tudi v večjih količinah sproščajo v zrak; v tem primeru se ponavadi namnoži posamezna vrsta, kar štejemo tudi za indikacijo kontaminacije. V muzejske zbirke lahko spore gliv prenesejo tudi žuželke.

V notranjih prostorih se glive pojavljajo v odvisnosti od relativne zračne vlage. V zraku notranjih prostorov se pri povišani relativni zračni vlagi pojavljata predvsem rodova *Aspergillus* in *Penicillium*.

Določeni rodovi in vrste lahko delujejo kot indikatorji vlage. Ko je npr. relativna zračna vlaga nižja od 80 %, površine najpogosteje naselijo glive rodov *Penicillium*, *Wallemia*

in vrsta *Aspergillus candidus*. Ko je RH med 80 in 90 %, se pogosto naselijo vrste *Aspergillus flavus* in rod *Cladosporium*. Ko je RH zelo visoka oz. višja od 90 %, najdemo na površinah največkrat rodove *Epicoccum*, *Stachybotrys* in vrsto *Aspergillus fumigatus*.

Priporočila za sprejemljivo število spor v zraku notranjih prostorov za ljudi so različna. V vseh je navedeno, da prisotnost številnih spor ene glivne vrste posredno pomeni neželjeno razrast te glive v prostoru. Število kolonijskih enot (colony forming units, CFU) v 1 m^3 zraka, ki je še sprejemljivo za ljudi v notranjih prostorih, je:

- do 50 CFU/ m^3 posamezne vrste (ne velja za rod *Alternaria*, *Cladosporium*),
- do 150 CFU/ m^3 mešanice spor vrst gliv, ki so značilne za zunanji zrak (večje število pomeni problem kopičenja posamezne vrste na določenem mestu),

- do 500 CFU/ m^3 rodu *Cladosporium* v poletnem času (večje število pomeni okužbo filtrov oz. druge težave).

Referenčni podatki za normalno prisotnost gliv v zraku glede na priporočila Svetovne zdravstvene organizacije WHO (2009) pa so: v zunanjem zraku od 50 do 1500 CFU/ m^3 , v zraku notranjih prostorov pa do 500 CFU/ m^3 .

Prisotnost spor na tekstilu

Ker se spore plesni prenašajo po zraku, se z drugimi prašnimi delci odlagajo na površine predmetov, zlasti tekstilnih. Količina in vrsta spor je odvisna od geografske lokacije izvornega materiala in tudi od lokacije uporabe predmeta. Številčnost pojavljanja spor v zraku je odvisna od temperature zraka in relativne zračne vlage. Žal natančnejših sistematičnih podatkov o prisotnosti spor plesni v zraku v Sloveniji ni, primerljiva študija, narejena v Nemčiji, pa jasno kaže sezonsko pojavljanje določenih rodov, kot je npr. *Penicillium*, ki ga najdemo v večjih količinah v zraku pozimi in manj poleti, medtem ko se rodova *Cladosporium* in *Aspergillus* bolj pojavljata poleti. Posameznih spor na tekstilu ne moremo videti, vendar lahko ob ugodnih razmerah začnejo kaliti in micelij začne vidno preraščati podlago. Na tekstilijah okužbo z glivami opazimo kot površinske spremembe, večinoma v obliki obarvanja oz. razbarvanja (**slika 3**), ki se jim pogosto pridruži še značilen neprijeten vonj. Vonj je posledica metabolizma plesni oz. sproščenih alkoholov, estrov, terpenov in ketonov. Zaradi kemičnih sprememb in prodiranja gliv v tekstilna vlakna se spreminjajo tudi fizikalne lastnosti materialov. Nekateri avtorji so opazili precejšnjo izgubo mase tekstilnih substratov po okužbi z določenimi vrstami gliv. Včasih so kot plesnivi lahko videti tudi drugi madeži.



Slika 3: Fotografije okuženih tekstilnih predmetov. Vidni so madeži, bodisi temni (fotografiji levo) oz. svetli (fotografiji desno), ki kazijo videz predmetov.

Razmnoževanje in razširjanje plesni

Plesni so znane po svojem raznolikem razmnoževanju in tvorbi ogromnih količin spor v zelo kratkem času. Zaradi spor so glive ubikvitarni kozmopolitski mikrobi. Ustrezne razmere za rast so pogojene predvsem z dostopnostjo proste vode in hranil. Ob nenadni spremembi vlage ali temperature lahko posamezna spora vzkali in tvori micelij, ki je lahko površinski ali pa se razpreda po substratu. Sprememba rasti pogojev, kot je poraba hranil, sprememba svetlobe, temperature ali relativne zračne vlage, ter sproščanje določenih metabolitov lahko sprožijo proces sporulacije. Na ta način se gliva preobrazi v »mobilno« obliko, saj se po zraku, s prahom in predmeti lahko razširja na druge podlage, ob drugih pogojih. Spore so vrstno značilne, med vrstami pa se lahko zelo razlikujejo (slika 2). Območja sporulacije pogosto prepoznamo

po značilni obarvanosti (slika 3). Spore so lahko kratko- ali dolgožive, nekatere so zelo odporne proti izsušitvi. Za kalitev lahko izkoristijo le kratek čas ugodnih razmer in se razvijejo, še preden jih opazimo. Spore plesni so pogoste v tekstilnih materialih, ki so večinoma rastlinskega izvora, pojavljajo pa se tudi v zraku zunaj in v notranjih prostorih. Spolni in nespolni stadiji, ki se morfološko med seboj lahko zelo razlikujejo, se v življenjskem krogu gliv prepletajo, zato včasih laike zmede, da ima lahko ena in ista biološka vrsta gliv več različnih taksonomskih imen.

Prisotnost plesni na tekstilu, hranjenem v slovenskih muzejih

Raziskava je pokazala, da je bila več kot polovica domnevno okuženih vzorčenih predmetov dejansko okužena s plesnimi (slika 3). Velikokrat pa je bil »plesniv« videz napačno interpretiran in so ga povzročili drugi dejavniki.

Okužbe so bile večinoma posledica hranjenja predmetov v prostorih z visoko relativno zračno vlago. Najpogosteje identificirani kontaminanti so bili uvrščeni v rodove *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium* in *Wallemia*, ki se tudi sicer pogosto pojavljajo in razširjajo z zrakom in jih lahko povežemo tudi s sedimentacijo zračnih delcev v obliki prahu. Predvsem so bile prisotne kserofilne (suholjubne) vrste plesni, ki za razrast potrebujejo nižjo relativno zračno vlago. Poleg teh smo občasno izolirali tudi vrste, potencialno nevarne tekstilnim predmetom rastlinskega izvora, kot so celulolitične glive *Beospora myosura*, *Bjerkandera adusta*, *Chaetomium globosum*, *Oligoporus placentus*, *Sistotrema brinkmannii*, *Thielavia hyalocarpa*. Ker so sposobne razgraditi celulozo, so lahko predvsem v vlažnih razmerah precejšnja grožnja predmetom. Na predmetih so bili prisotni tudi rastlinski patogeni iz rodov *Capnodium*, *Chalara*, *Eutipella*, *Leptosphaerulina*, *Phlebia*, *Phomopsis*, kar nakazuje na okužbo že samega izvornega rastlinskega materiala kot surovine. Ugotovili smo nekatere povezave med notranjimi možnimi viri kontaminacij v muzejih, kot so zrak, sistemi za zračenje in filtracijo zraka, arhitekturne posebnosti in gradbene nepravilnosti, ki zaradi lokalno povečane vlage ali zamakanja povzročajo pojav plesnenja. Opravljene zračne analize so odražale stanje hranjenih muzejskih predmetov, saj so bile tako v zraku kot tudi na predmetih identificirane iste vrste gliv. Rokovanje s plesnivimi predmeti se je odrazilo v povečani koncentraciji spor v zraku. Kot najbolj problematični predmeti so se izkazale slike na platnu iz cerkva in drugih objektov z nekontrolirano relativno zračno vlago in nestalno temperaturo.

3. Prepoznavanje mikrobiološko napadenega tekstila: spremembe strukture in poškodbe vlaken

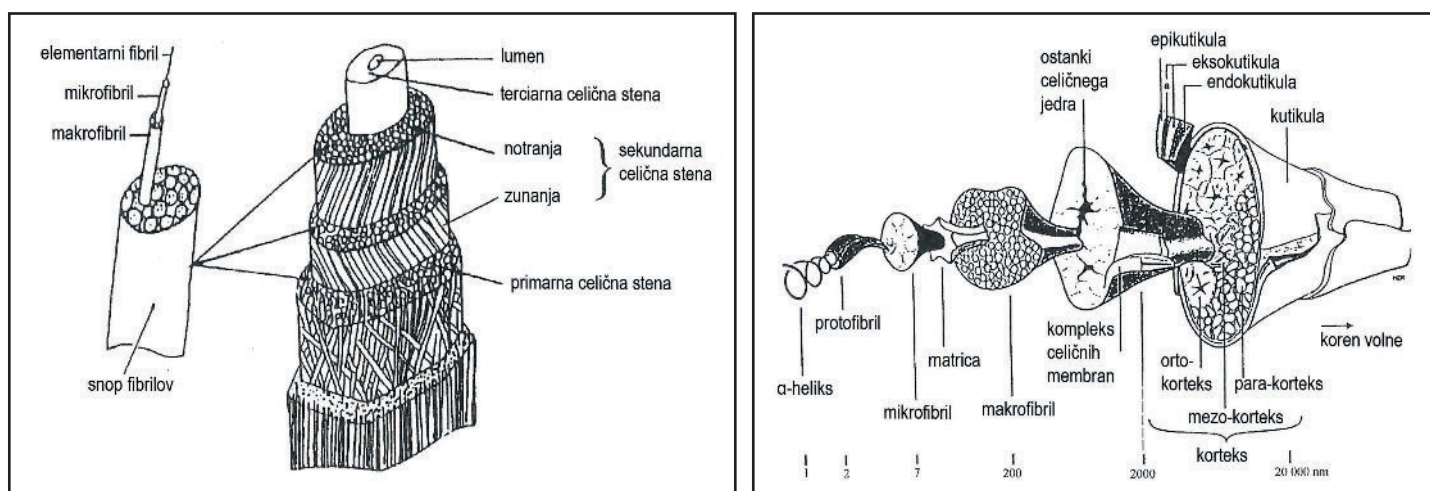
Naravna tekstilna vlakna organskega izvora delimo na celulozna in beljakovinska. Celulozna, ki so rastlinskega izvora, delimo na semenska (bombaž, kapok), stebelna (lan, konoplja, juta, ramija), listna (sisal, abaka) in sadežna (kokos). Naravna beljakovinska vlakna so živalskega izvora in jih delimo na keratinska, med katera sodijo volna in druge živalske dlake, ter na fibroinska, med katera sodi svila. Celulozna vlakna sestavljajo predvsem molekule celuloze, katerih osnovni gradnik je glukoza, poleg celuloze pa tudi lignin, hemiceluloze, pektini, voski in voda. Beljakovinska (proteinska) vlakna sestavljajo različne aminokisliline, ki se povezujejo v dolge beljakovinske makromolekule. Keratinska vlakna vsebujejo tudi disulfidni derivat cistin (nastane iz dveh aminokislin cistein), fibroinska vlakna pa cistina ne vsebujejo.

Značilnost celuloznih in beljakovinskih molekul je njihova velika dolžina v primerjavi s premerom. To razmerje se ohranja

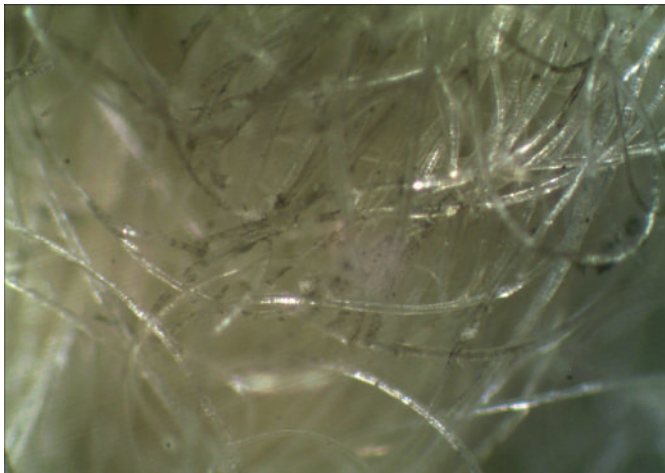
na vseh strukturnih ravneh vlaken, od makromolekul, preko mikrofibrilov in makrofibrilov, vse do samih vlaken. Urejenost makromolekul na višjih nivojih urejenosti imenujemo nadmolekulska struktura (slika 4), znotraj katere so molekule med seboj povezane z medmolekulskimi (vodikovimi in Van der Waalsovimi) povezavami. Ko govorimo o nadmolekulski strukturi vlaken, ločimo kristaline in amorfne predele. Kristalini predeli predstavljajo urejen del strukture, amorfni predeli pa neurejenega. V mikrofibrilu izmenično nastopajo kristalini in amorfni predeli. Določena makromolekula lahko potuje skozi več kristalinih in amorfni predelov. Medtem ko so kristalini predeli relativno odporni na zunanje vplive, pa lahko v amorfni predelih zaradi zunanjih vplivov hitro nastajajo spremembe predvsem kemične zgradbe molekul. Na odpornost nadmolekulske strukture vpliva tudi stopnja polimerizacije makromolekul (DP) – torej povprečna dolžina makromolekul. Hierarhija nadmolekulske urejenosti (makromolekula, mikrofibril, vlakno) je pri celuloznih in beljakovinskih vlaknih enaka, kar

je edina podobnost med obema skupinama vlaken.

Zunanji dejavniki lahko z vplivanjem na kemično in nadmolekulsko zgradbo tekstilnih vlaken vplivajo tudi na njihove makroskopske in mehanske lastnosti. Dejavnike, ki vplivajo na vlakna, razdelimo na fizikalne (svetloba, vlaga, temperatura), kemijske (kemikalije, onesnaženost zraka) in biološke (bakterije, glive, višji organizmi). Njihovo delovanje povzroči staranje tekstilij. Pri staranju nastajajo strukturne in kemične spremembe, zaradi katerih postanejo ti materiali bolj dostopni za mikroorganizme, predvsem glive. Mikroorganizmi so potencialno najbolj uničujoči razkrojevalci tekstilij, saj so njihove spore lahko dolgo časa v mirujočem (dormantnem) stanju. Na ta način ostanejo žive in sčasoma njihovo število na predmetih narašča, saj se sedimentirajo iz okoliškega zraka. S tem se povečuje potencial za razgradnjo predmetov, ki se začne, ko se pojavijo ustrezne razmere za kalitev spor in nadaljnji razvoj v metabolično oz. razgradno aktiven micelij. Kljub temu da so bile doslej identificirane številne vrste bakterij, nitastih gliv (plesni), kvasovk in alg, ki lahko škodijo tekstilu,



Slika 4: Shematski prikaz hierarhije urejenosti: v bombažnem vlaknu (levo), kot primer celuloznega vlakna rastlinskega izvora, in v volnenem vlaknu (desno), kot primer proteinskega vlakna živalskega izvora (Čunko in Andrassy, 2005).



Slika 5: Fotografija okužene volnene tekstilije. Okužba je vidna v globini, ne pa tudi na površini.

so za večino okužb krive nitaste glive, predvsem zato, ker bakterije potrebujejo za rast večje količine proste vode. Prosto dostopna voda se v tekstilijah lahko pojavi zaradi katastrofičnih dogodkov (neposredno omočenje tekstila) ali zaradi absorpcije vode v razmerah povišane relativne zračne vlage. Glive sodijo med najpomembnejše razkrojevalce tekstilij in lahko vplivajo na vse tekstilne materiale. Prisotne so povsod v okolju. Celulozne tekstilije so bolj občutljive na vplive gliv kot proteinske, svila je odpornejša od volne. Nekateri raziskovalci ugotavljajo, da glive lahko razgradijo le že prej poškodovano svilo (zaradi staranja oz. napada bakterij), nestarano svilo pa razgradijo le bakterije. Okužbe z glivami na predmetih ponavadi opazimo šele, ko je micelij že močno razrastle in kazi videz predmeta (**slika 3**). V takšnih primerih so glive pogosto že vplivale na strukturo vlaken v tkanini.

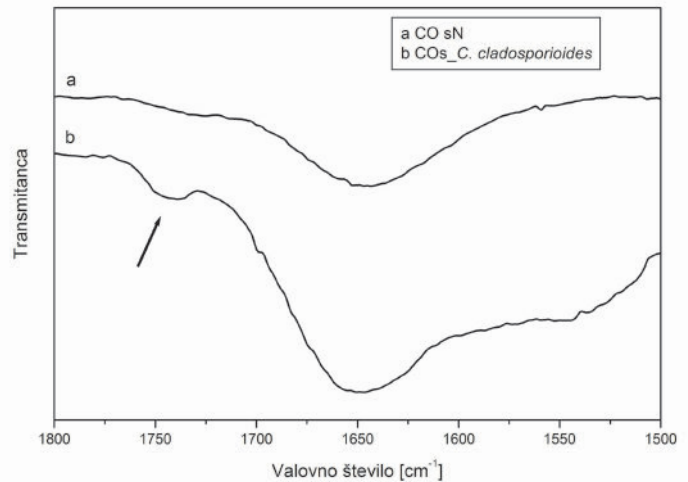
Procesa, s katerima glive kemijsko razgrajujejo vlakna, sta predvsem hidroliza, pogosto pa tudi oksidacija. Na materiale ne vplivajo le z encimsko aktivnostjo, ampak tudi z izločanjem metaboličnih produktov (npr. organskih kislin),

oligopeptidov, sekundarnih metabolitov, barvil in hlapnih organskih snovi.

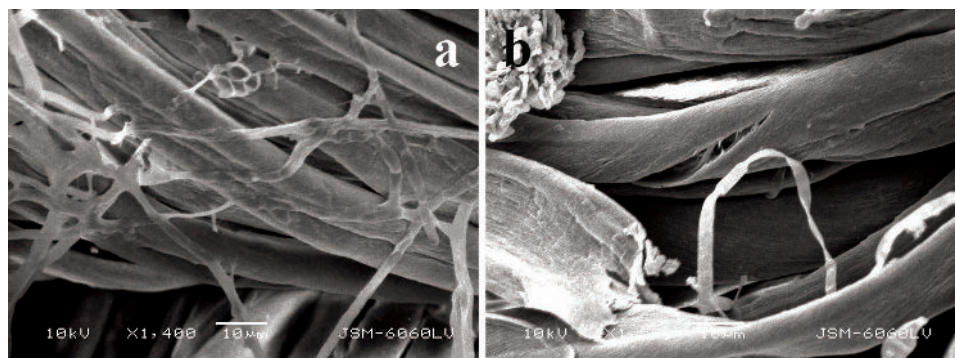
Za identifikacijo in karakterizacijo strukture in lastnosti tekstilnih substratov ter analizo njihovih sprememb se uporabljajo številne metode. Mednje sodijo: natezni testi za določitev nateznih lastnosti materialov, spektrofotometrija za identifikacijo barvnih sprememb, vrstična elektronska mikroskopija (SEM) za identifikacijo površinskih poškodb na mikroravni, rentgenska praškovna difrakcija (XRD) za identifikacijo nadmolekulske urejenosti ter spektroskopske metode, predvsem infrardeča spektroskopija s Fourierovo

transformacijo (FTIR) za analizo materialne sestave in delno tudi njene strukture.

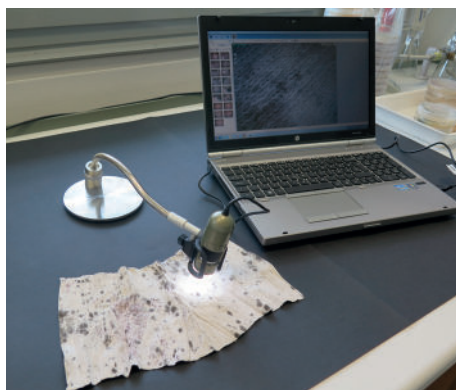
Z zgoraj naštetimi analiznimi metodami smo ugotovili, da različne glive različno vplivajo na tekstilne materiale. Nekatere jih izrazito poškodujejo, celo razbarvajo, druge se le razrastejo med vlakni in po površini ter za hranila izkoristijo druge snovi (npr. prašne delce). Pri volni smo opazili posebnost, saj je bil pretežni del micelija med vlakni v pletenini in ne na površini, zato so bili vzorci videti manj izrazito okuženi, kot so bili v resnici (**slika 5**). Glive niso močno vplivale na strukturo volnenih vlaken, razen depolimerizacije molekul



Slika 6: Spektra FTIR neokužene (a) in s *Fomes fomentarius* okužene (b) umetno starane bombažne tekstilije. S puščico je označen karbonilni trak, ki pomeni, da je v vzorcu potekla razgradnja.



Slika 7: Fotografiji z glivo *Cladosporium* sp. okužene bombažne tekstilije, posneti s SEM. Po krajšem času okužbe (a) kljub intenzivnemu razrastu plesni izrazite poškodbe vlaken niso vidne; po daljšem času okužbe (b) so poškodbe vlaken izrazite.



Slika 8: USB-digitalni mikroskop



Slika 9: Fotografije, posnete z USB-digitalnim mikroskopom. Vidna je razrast plesni v obliki madežev (levo) in kot puhasta razrast na površini (desno).

keratina (slika 6). Pri bombažu so poškodovale tudi sodobna, pred okužbo nestarana vlakna, pri čemer se je pojavila depolimerizacija in povečal delež amorfne celuloze. To je vplivalo tudi na mehanske lastnosti okuženih bombažnih vlaken. Opazili smo številne poškodbe vlaken ter zmanjšanje raztezka in trdnosti bombažnih prej.

S podaljševanjem časa inkubacije poškodovanost vlaken pri okužbi z nekaterimi glivami ne narašča linearno. Okužbe in mehanske poškodbe vlaken so na že prej poškodovanih materialih (umetno in naravno staranih) izrazitejše kot na sodobnih, nestaranih materialih (slika 7), zato so zgodovinske tekstilije še posebej občutljive na glivne okužbe.

4. Evidentiranje mikrobiološkega napada

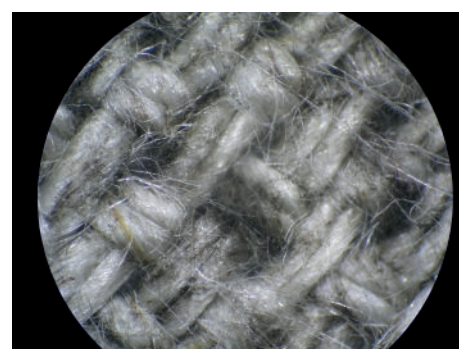
Znaka plesnenja zgodovinskih tekstilij sta spremenjen videz, ki se odraža v obarvanju oz. razbarvanju ter v spremenjeni teksturi oz. spremenjenih mehanskih značilnostih, in vonj po plesnobi. Okužbo s plesnimi lahko potrdimo z ustreznimi mikroskopskimi tehnikami, če pa želimo plesen kontaminanto identificirati do vrste, pa to zahteva še dodatno gojenje na ustreznih gojiščih in identifikacijske tehnike.

Ogled materiala s pomočjo različnih mikroskopskih tehnik

Predmete lahko fotografiramo in z makronastavitvijo fotoaparata dokumentiramo odstopajoča območja. Nadaljnje korake dokumentacije lahko izvedemo z uporabo naslednjih mikroskopskih tehnik:

Z USB-digitalnim mikroskopom (slika 8) lahko dobimo natančnejši vpogled v morebitno okužbo (slika 9). Poleg strukture materiala lahko vidimo plesni kot dodatne nitke, ponavadi drugače obarvane kot material. Rokovanje z digitalnimi mikroskopi je enostavno, cenovno so dostopni in enostavni za prenašanje. USB-digitalni mikroskop deluje le, če je priklopljen na računalnik, s čimer pa je omogočeno tudi zajemanje fotografij. Pri uporabi te vrste mikroskopov smo omejeni s povečavo, ki je od 20- do 250-kratna.

S stereomikroskopom dobimo tridimenzionalni vpogled na površino predmeta (slika 10). Ta mikroskop je enostaven za uporabo, njegova največja prednost pa je, da lahko pod njim s predmetom tudi rokujemo; to namreč omogoča velika delovna razdalja med predmetom in objektivom. Negativne plati so: prenos predmeta k stereomikroskopu, omejene povečave (le do



Slika 10: Mikrografija svetle tekstilije s prepletom temnega micelija plesni. Posneto pod stereomikroskopom.

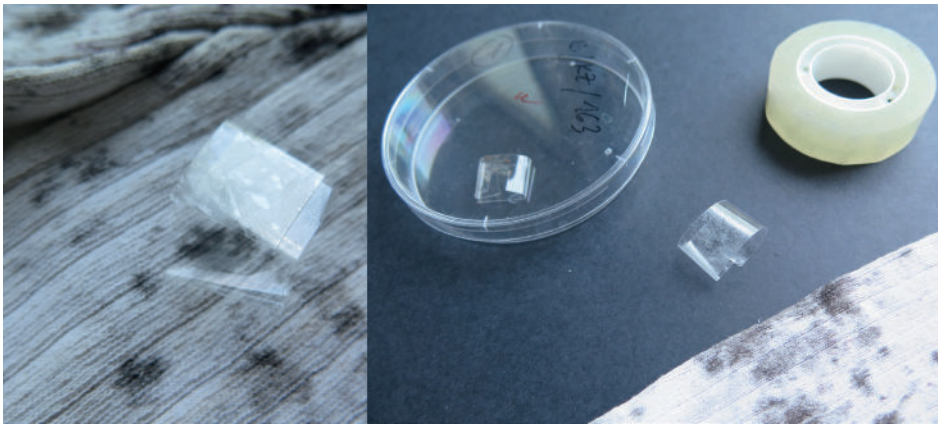
100-kratna), pa tudi relativno visoka cena.

Optični mikroskop omogoča ogled vzorca pod povečavami od 100- do 1000-krat; take povečave mikologom večinoma omogočajo identifikacijo plesni do rodu. Za ogled vzorca je potrebna ustrezna priprava preparata, ki mora biti čim tanjši. Na področju, na katerem sumimo na kontaminacijo, lahko odvzemamo vzorce na različne načine, npr. izrez majhnega koščka tekstila ali manj invaziven odvzem odtisa vzorca z lepilnim trakom.

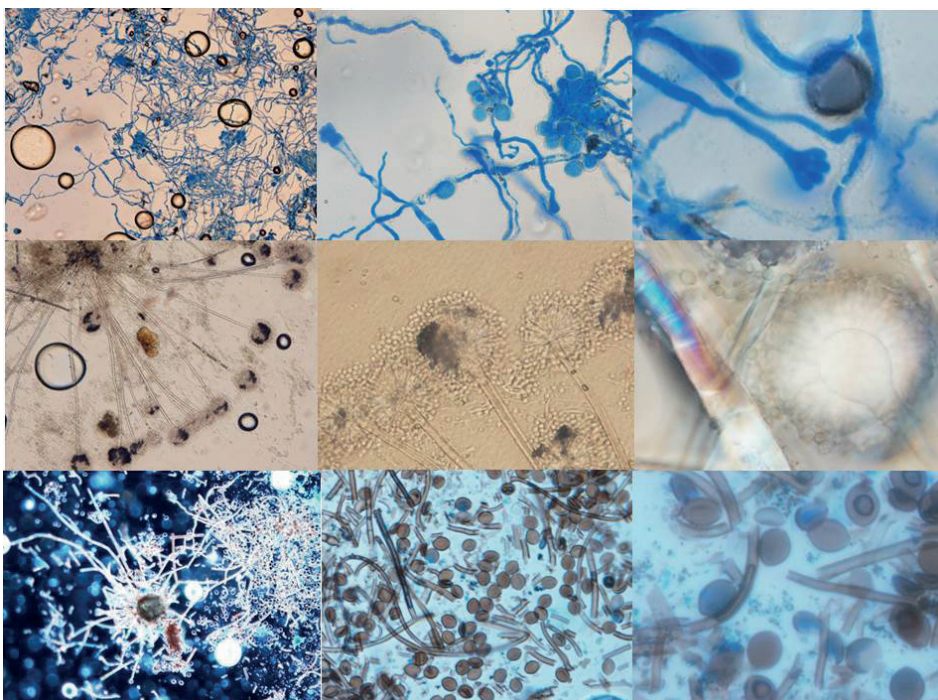
Odtis vzorca z lepilnim trakom

Odtis vzorca z lepilnim trakom izvedemo na naslednji način (slika 11):

- odrežemo 5 cm prosojnega lepilnega traku in se čim manj dotikamo odtisne površine,



Slika 11: Odtis vzorca s prosojnim lepilnim trakom. Odtisnemo plesnivo površino (levo), odtis shranimo v posodico tako, da se ne dotika površin (desno).



Slika 12: Mikrografije odtisa z lepilnim trakom s tekstila, kontaminiranega s plesnimi: pod 100-kratno povečavo (slike v levem stolpcu), pod 400-kratno povečavo (slike v srednjem stolpcu), pod 1000-kratno povečavo (slike v desnem stolpcu).

- na kapljico anilinskega modrila v mlečni kislini namestimo del lepilnega traku, ki naj bo manjši od krovnega stekla,
- na to kapnemo še eno kapljico barvila,
- pokrijemo s krovnim steklom in mikroskopiramo.

Glivne strukture, ki same po sebi niso temno obarvane, se pri uporabi anilinskega modrila obarvajo modro (slika 12).

Pripravo preparata z odtisom na lepilnem traku lahko prepustimo strokovnjakom. Ti lahko iz odvzetih trakov s pomočjo mikroskopa poleg okvirne identifikacije podajo tudi oceno o razširjenosti okužbe, ocenijo lahko tudi sporulacijo in s tem povezano morebitno nevarnost širjenja in nevarnost za zdravje.

Pomen identifikacije plesni

S pojmom identifikacija označujemo poimenovanje organizmov do vrst. Poimenovanje sestoji iz rodovnega imena in vrstnega epiteta, npr. *Aspergillus niger*: *Aspergillus* je rodovno ime za vse glavičaste plesni, *niger* pa je vrstni epitet, ki označuje samo eno vrsto znotraj tega rodu. To so latinska imena, ki so v strokovni literaturi enotna po celem svetu.

Ko na predmetih opazimo in potrdimo kontaminacijo s plesnimi, lahko z nadaljnjimi mikološkimi raziskavami pridobimo pomembne podatke. Pri obsežni kontaminaciji in spremljajočih zdravstvenih težavah zaposlenih lahko z identifikacijo ocenimo nevarnost plesni za človeka in posledično določimo način rokovanja s plesnivim predmetom. Različne plesni lahko namreč različno vplivajo na človeka (glej podpoglavje Varnost pri delu s plesnimi). Prav tako lahko z identifikacijo in podatki v literaturi pridobimo podatke

- lepilni trak sklenemo tako, da je odtisna lepljiva stran na zunanjem delu,
- z zunanjim odtisnim delom rahlo pritiskemo na tekstilni vzorec,
- lepilni trak shranimo v posodico, ki se zapre tako, da se površina lepilnega traku z odtisom ne dotika škatlice.

Tak način odvzema vzorca je enostaven, poceni in ne zahteva

posebne opreme, v kratkem času pa lahko odvzamemo veliko število vzorcev. Uporaben je za pregled tekstilnih predmetov ob vidni kontaminaciji, razen če je tekstilni material zelo krhek in lomljiv. Če to tehniko uporabljamo na drugih materialih, moramo biti previdni.

Priprava preparata

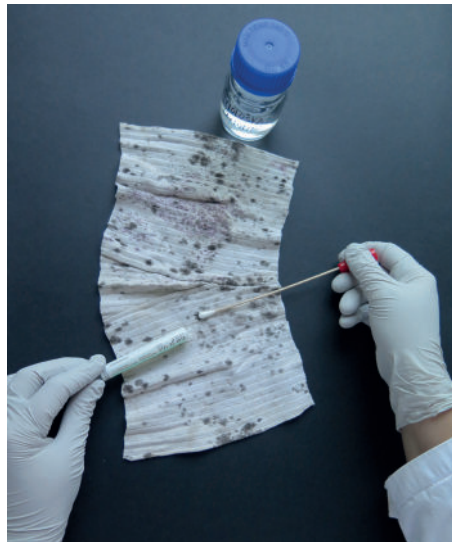
Preparat pripravimo na naslednji način:

o nevarnosti kontaminacije s specifično plesnijo za material in ocenimo nevarnost prenosa plesni na druge predmete. Z identificiranimi plesnimi lahko posredno dokazujemo vlago v prostoru, saj so glivne vrste lahko njihni indikatorji. Na podlagi identifikacije se, upoštevajoč podatke v literaturi, lažje odločamo o sanacijskih metodah. Identifikaciji lahko sledijo še druga testiranja na testnih vzorcih, ki nam pomagajo pri odločitvah, pomembnih za sanacijo specifičnega predmeta.

Potek odvzema vzorca za identifikacijo

Če želimo plesen identificirati do vrste, jo moramo vzgojiti na agarjih gojiščih. Za to je potreben **odvzem vzorca**, ki je lahko bolj ali manj invaziven. Najinvazivnejši je odvzem koščka vzorca, ki ga pridobimo tako, da odrežemo košček kontaminiranega materiala in ga shranimo v sterilno posodico. Odvzeti vzorec lahko uporabimo za vzgojo mikrobnih kultur, za izolacijo celotne mikrobne DNA iz vzorca in nadaljnje genetske analize. Odvzete vzorce lahko uporabimo za vizualizacijo površinske kontaminacije z vrstičnim elektronskim mikroskopom, za vizualizacijo globine kontaminacije z vklopom v smolo in tankimi rezi ter pregledom vzorca s svetlobno oz. fluorescentno mikroskopijo. Vzorec lahko odvezamo tudi neinvazivno z brisom s sterilno vatirano palčko, ki je lahko odvzet na suho (suhi bris), ali pa s sterilno vatirano palčko predhodno namočeno v sterilno fiziološko tekočino (mokri bris). Če jemljemo mokre brise, se strukture plesni uspešneje pritrjujejo na vatirano palčko.

Za **jemanje brisa** potrebujemo: sterilno vatirano palčko v epruveti (različni proizvajalci) in fiziološko raztopino (če odvezamo mokri bris).



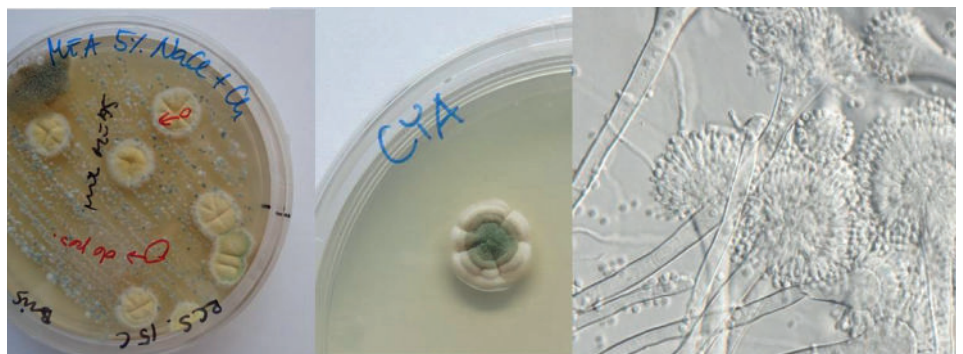
Slika 13: Odvzem brisa s plesnivega tekstila

Odvzem mokrega brisa

Mokri bris odvezamo na naslednji način (slika 13):

- sterilno vatirano palčko vzamemo iz epruvete in se je na distalnem delu ne dotikamo,
- vatirano palčko namočimo v sterilno fiziološko raztopino,
- z njo prebrišemo 20 cm² kontaminirane površine,
- shranimo jo nazaj v epruveto in jo čim prej pošljemo strokovnjaku ali pa jo do nadaljnega shranimo v hladilniku.

Brise strokovnjaki nanašajo na ustrezna agarna gojišča (slika 14). Po inkubaciji pri ustrezni temperaturi ocenijo kontaminacijo



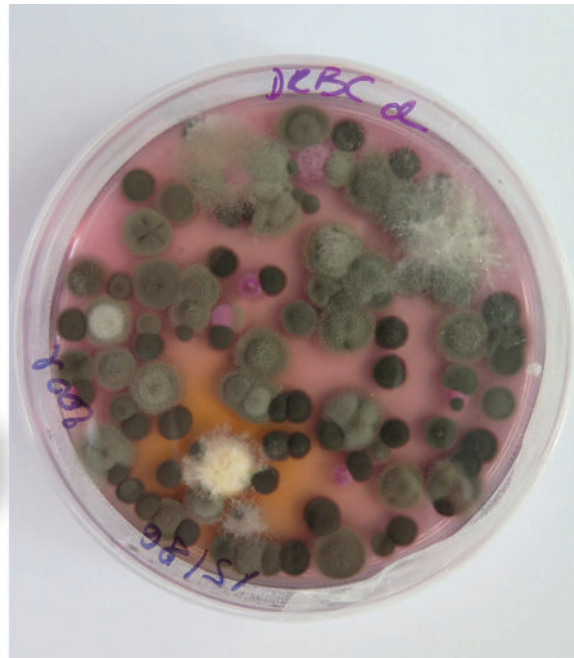
Slika 14: Za identifikacijo plesni povzorčimo in jih najprej vzgojimo na gojišču (levo), izoliramo v čisti kulturi (sredina) in mikroskopsko pregledamo (desno). Na desni sliki so tipične strukture glavičastih plesni rodu *Aspergillus*.

in z gojišča izolirajo čiste kulture. Čista kultura je temelj nadaljnega dela, ki lahko zajema identifikacijo na podlagi morfoloških znakov, izolacijo DNA in identifikacijo na podlagi genetskih znakov. Čiste žive kulture lahko shranimo v mikrobiološke zbirke na genetsko stabilen način. To je material za nadaljnje delo, npr. za testiranje sanacijskega postopka, določitev encimskih aktivnosti, primerjavo s podobnimi sevi gliv.

Posredno dokazovanje plesni v prostoru – zračna analiza

Za merjenje kakovosti zraka in s tem tudi za posredno dokazovanje prisotnosti plesni v prostoru izvajamo zračne analize. Preprosto zračno analizo izvedemo z izpostavitvijo odprtih agarjih gojišč zraku za 20 minut. V tem času se določeno število spor sedimentira na površino gojišča in se po določenem času inkubacije razvije v glivne kolonije. Na razpolago so tudi posebne aparature, vzorčevalniki zraka, ki presesajo določeni volumen zraka direktno na agarno gojišče (slika 15). Priporočljiva količina vzorčenega zraka je 1 m³.

Če je količina spor v notranjem prostoru nesorazmerno večja od količine spor v zunanem zraku, je posredno dokazana prisotnost kontaminirane površine v prostoru.



Slika 15: Zračna analiza: aparatura za filtracijo zraka (levo), zračna analiza v depozu slovenskega muzeja, izvedena z aparaturo za filtracijo zraka na agarjem gojišču (desno). Okoli 500 CFU/m³ zraka pomeni srednjo stopnjo onesnaženosti zraka v vzorčenem prostoru s plesnimi.

Interpretacija števila spor plesni v vzorcih zraka

Ker večina glivnih spor izhaja iz zunanjega zraka, je zračna analiza sestavljena iz primerjave števila in vrstne kompozicije plesni v notranjem prostoru z zunanjim zrakom. V različnih priporočilih so navedene različne vrednosti za sprejemljivo količino spor v zraku. Po sanitetnih standardih za nesanitetne prostore je količina nad 500 CFU/m³ visoka in za ljudi lahko obremenilna (tabela 1).

Tabela 1: Interpretacija stopnje onesnaženosti prostora s plesnimi glede na vrednosti števila kolonijskih enot (CFU) plesni v zraku, povzeta po Commission of European Communities (CEC), 1993

Mejne vrednosti CFU/m ³	Stopnja onesnaženosti
< 50	zelo nizka
50–100	nizka
100–500	srednja
500–2000	visoka
> 2000	zelo visoka

5. Metode uničevanja plesni in odstranjevanje plesni s površin

Po okužbi z glivami pogosto uporabimo različne sanacijske metode. Preden pregledamo lastnosti posameznih metod, velja opozoriti, da je preventiva najboljša zaščita. Večina avtorjev priporoča hranjenje tekstilij pri temperaturah med 18 in 20 °C ter pri relativni zračni vlagi med 50 in 55 %. Nižja zračna vlažnost bi sicer še bolj omejila rast gliv, vendar bi izsušitev lahko škodila vlaknom, še posebej zgodovinskim, ki so že tako poškodovana.

Plesni, ki okužijo tekstilni substrat, ne ostanejo samo na površini, ampak se prepletejo med vlakna (sliki 3 in 5). Odstranitev micelija v celoti, brez poškodb tekstilnih vlaken, je zato nemogoča. Večinoma se ob okužbi s plesnimi odločimo za njihovo deaktivacijo ali uničenje (sterilizacijo) ter površinsko odstranitev micelija. Cilj metod

sterilizacije je popolno uničenje organizmov, ki napadejo objekt.

Za uničenje plesni poznamo več metod, ki jih delimo na kemijske in fizikalne. Med kemijska sredstva za uničevanje gliv sodijo različni fungicidi, ki se uporabljajo predvsem v tekstilni industriji kot apreturna sredstva. Med fungicide so v preteklosti sodile predvsem organobakrove in organokositrove spojine ter klorirani fenoli, ki so jih nanесли na tkanino tako, da so jo namakali v raztopini oz. emulziji fungicida. Dandanes se kot fungicidna sredstva uporabljajo kvarterne amonijeve soli, hitozan, poligvanidi in polibigvanidi, razvejani polimeri s končnimi aminoskupinami ter nanodelci kovin, kovinskih soli in kovinskih oksidov, lahko pa se uporabljajo tudi sredstva na osnovi rastlinskih substratov. Kemijske metode za uporabo na zgodovinskih tekstilijah niso primerne, saj lahko vplivajo na vlakna in barvila. Poleg tega uporaba kemičnih sredstev za uničevanje plesni ni zanesljiva, saj že majhne spremembe okolja (pH, vlaga ipd.) vplivajo na rast gliv in lahko povsem spremenijo učinkovitost biocidov. Najpogosteje se zgodi, da tako odstranimo le manj odporne glive in omogočimo življenjski prostor in dostop do hranil drugim glivam, ki so na biocide odpornejše.

Med fizikalne metode sterilizacije prištevamo različne vrste elektromagnetnih sevanj, segrevanje in odvzem kisika. Sem sodijo sevanje z mikrovalovi in žarki gama, pa tudi sevanje UV, ki se uporablja kot razkuževalna metoda v številnih mikrobioloških laboratorijih. Znano pa je, da sevanja vplivajo na barvila in tudi na strukturo vlaken.

Sevanje žarkov gama je najbolj prodorna oblika elektromagnetnega valovanja, saj ima najkrajšo

valovno dolžino med vsemi elektromagnetnimi valovanji. Glavni biocidni učinek žarkov gama je, da poškodujejo dedni material mikroorganizmov, ki napadajo tekstilije. Z žarki gama lahko obsevamo večje količine materialov, postopek je hiter (nekaj ur), smrtnost gliv je velika že pri nizkih dozah (4–6 kGy), stopnja penetracije je visoka, posebna priprava predmetov ni potrebna, uporablja se tudi za dezinfekcijo kompozitnih materialov, po obsevanju pa ni toksičnih ostankov in vidnih sprememb objektov. Toda le redke inštitucije imajo potrebno infrastrukturo, saj je sevanje gama radioaktivno in zato podvrženo strogim predpisom.

Raziskave so pokazale, da sevanje gama uspešno uniči glive pri dozah okrog 6 kGy. To je veljalo tudi za melanizirane glive, ki so po navedbah iz literature odpornejše. Slabost postopka je, da sevanje že pri tako nizkih dozah vpliva na strukturo tekstilnih vlaken. Vpliv je izrazitejši na že prej razgrajenih materialih (npr. arheoloških), na sodobnih materialih pa je komaj opazen. Tako pri beljakovinskih kot tudi pri celuloznih vlaknih se zmanjša mehanska odpornost (**slika 16**), zlasti pri umetno staranih vlaknih zaradi depolimerizacije makromolekul.

Pri anoksi metodi zrak v komori,

v katero vstavimo okuženi predmet, nadomestimo z inertnim plinom (argon ali dušik) in s tem organizmom odvzamemo kisik. Večina mikroorganizmov za dihanje potrebuje kisik, zato pri teh razmerah odmrejo. Vendar pa imajo spore gliv tako nizko metabolično aktivnost, da dolgo preživijo tudi v okolju z zelo nizkim deležem kisika (precej pod 1 %). Podobno velja za okolje z zelo nizkimi temperaturami. Anoksi metoda je pri uničevanju plesni le redko učinkovita. Raziskave kažejo, da v treh mesecih od šestih preiskanih gliv z anoksi metodo uničimo le dve.

Pri izbiri sanacijskih metod za uničevanje gliv se moramo zavedati, da razen kemijskih metod (uničenje plesni z nanosom fungicidov), ki so škodljive tudi za ljudi in njihova uporaba zato ni priporočljiva, nobena metoda ne prepreči nadaljnje okužbe, zato je predmet po uničevanju plesni treba vedno hraniti v kontroliranih, za hrambo muzejskih predmetov primernih klimatskih razmerah.

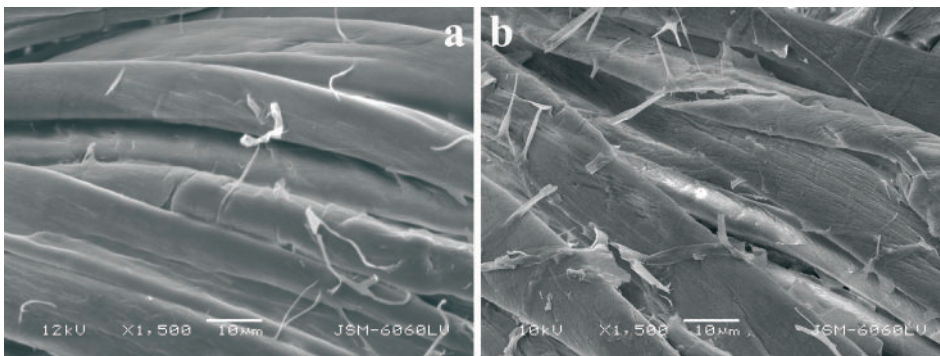
Za primer učinkovitosti preventive naj navedemo izkušnjo enega od slovenskih muzejev, v katerem so imeli pred leti težav z uravnavanjem klimatskih razmer okužene številne tekstilne in usnjene predmete. S tekstila in semiša so plesen rahlo ščetkali z

mehko ščetko, vedno v isti smeri in sprti s sesalnikom lovili odstranjeni material. S površine gladkega usnja so jo obrisali z mehko bombažno krpo, suho ali rahlo vlažno. Po suhem čiščenju so madeže običajno obrisali še z mešanico alkohola in destilirane vode v razmerju 1 : 1. Po čiščenju so bili predmeti shranjeni v kontroliranih klimatskih razmerah (ok. 20 °C, 50 % RH), sedaj pa jih v rednih nekajletnih intervalih pregledujejo. Doslej se na teh predmetih, z izrazito neinvazivnim postopkom površinskega čiščenja, razrast plesni ni ponovila.

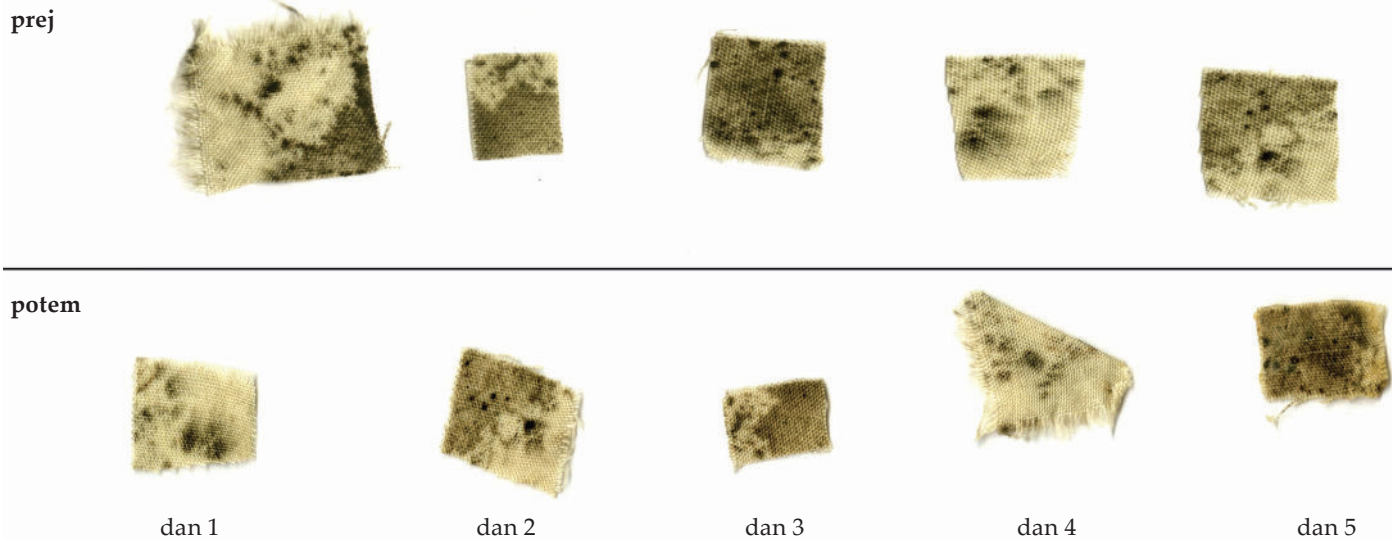
Na podlagi zgoraj povedanega težko določimo najprimernejšo metodo. Vsekakor se odsvetujejo kemijske metode (fungicidi), ki, čeprav so učinkovite, škodijo tako materialom v predmetu kot tudi zdravju človeka. Pri drugih metodah pa se moramo zavedati, da njihova učinkovitost ni zagotovljena pri vseh vrstah gliv (anoksi, odstranjevanje površinskih madežev z organskimi topili) oz. lahko na materialu povzročijo dodatne poškodbe (sevanje gama). Z metodami, ki ne vključujejo uporabe fungicidnih sredstev, predmeta ne zavarujemo pred novo okužbo s plesnimi, zato moramo uporabiti preventivne ukrepe (kot so opisani v 7. poglavju).

6. Metode razbarvanja madežev plesni

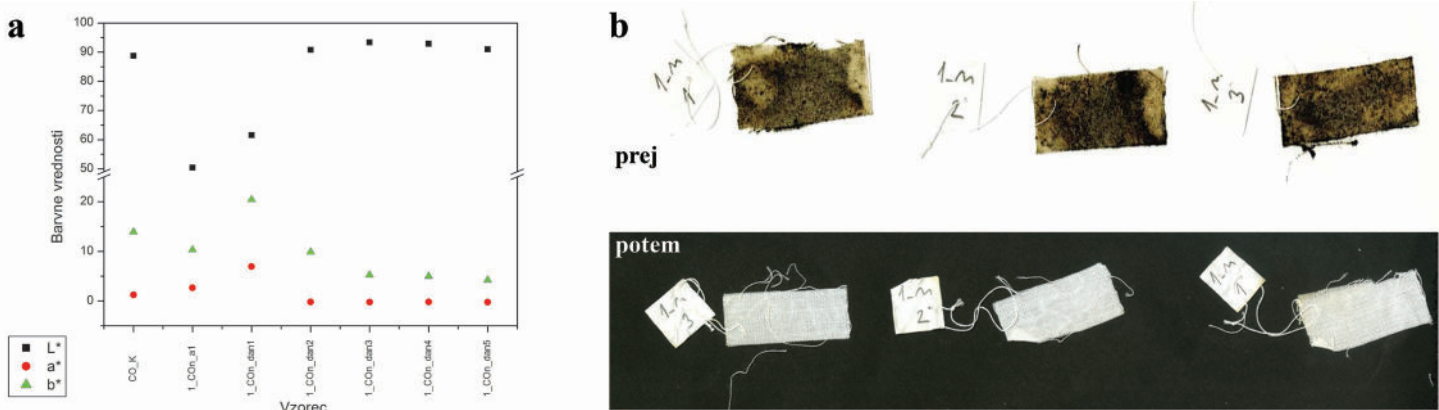
Glivno okužbo najpogosteje opazimo šele, ko se micelij razraste po površini predmeta. Ker hifa s površine tkanin ne moremo povsem odstraniti, predmetu tudi ne moremo povsem povrniti prvotnega videza. V svetu se je uveljavilo več metod, s katerimi raziskovalci poskušajo razbarvati melanin in druga barvila, prisotna na hifah gliv ali v njih. Glivni melanini so velikomolekulski fenolni polimeri.



Slika 16: Fotografiji bombažne tekstilije, okužene z glivo *Bjerkandera adusta*, pod elektronskim mikroskopom. Po okužbi izrazite poškodbe vlaken niso vidne (a); po obsevanju z žarki gama (6 kGy) so poškodbe vlaken izrazite (b).



Slika 17: Fotografiji vzorcev, okuženih z glivo *Cladosporium* sp., pred razbarvanjem z lakazami (zgoraj) in po razbarvanju (spodaj). Vzorcev so bili iz raztopine vzeti v petih zaporednih dneh, vsak dan po en kos.



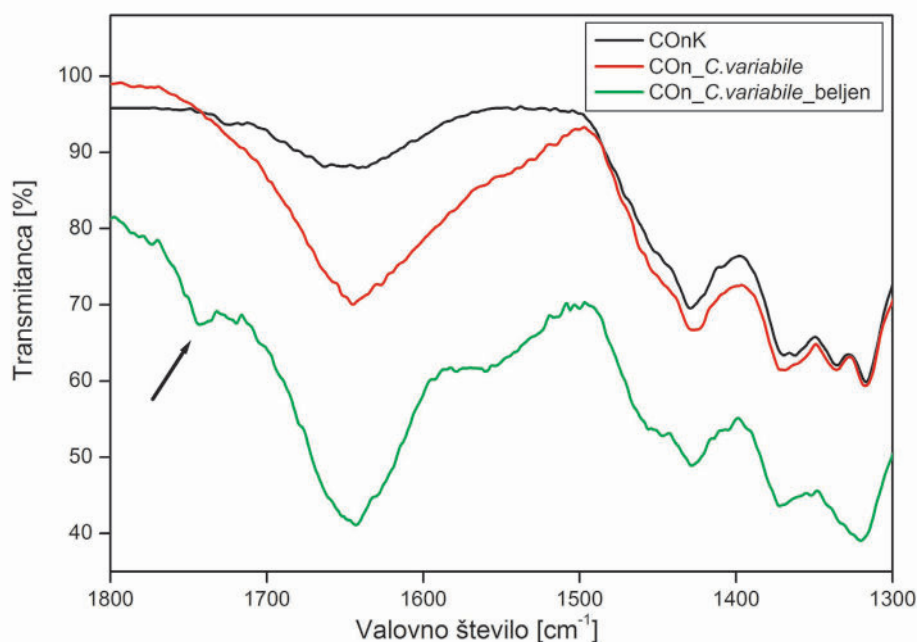
Slika 18: Vrednosti barvnega sistema CIEL*a*b* neokuženega bombaža (CO_K) in bombaža, okuženega z glivo rodu *Cladosporium* pred razbarvanjem (1_Con_a1) in po njem. Vzorcev so bili vzeti iz raztopine pet zaporednih dni, vsak dan en kos (a). Fotografiji vzorcev, okuženih s kulturo glive rodu *Cladosporium*, pred razbarvanjem z bakrovim kompleksom in peroksidom (zgoraj) in po razbarvanju (spodaj). Vzorcev so bili iz raztopine vzeti po treh dneh (b).

Čeprav so melanini dolgo veljali za biološko nerazgradljive, danes vemo, da jih lahko razgradijo nekatere vrste gliv. To sposobnost imajo predvsem bazidiomicetne glive bele trohnobe, ki razgrajujejo lignocelulozo s pomočjo ekstracelularnih oksidativnih encimov lakaz in mangan peroksidaz.

Za odstranjevanje metabolitov plesni lahko uporabimo dva sistema. Prvi je biomimetični sistem, ki »oponaša« naravo oz. delovanje

ligninskih peroksidaz z vodno raztopino kompleksov bakra in piridina, z vodikovim peroksidom kot terminalnim akceptorjem elektronov. Drugi je sistem lakaz z 1-hidroksibenzotriazolom (HBT). Ta ni posebej uspešen, saj glivni madeži ostanejo vidni, barvne spremembe (merjene s kolorimetrom) pa so zanemarljive (slika 17). Nasprotno pa sistem bakrovega kompleksa z vodikovim peroksidom učinkovito razbarva bombaž, lan in svilo že po treh dneh

izpostavitve, medtem ko se volna v sistemu raztaplja. Razbarvanje močno vpliva tudi na barvo tekstilij, ki so veliko svetlejše kot pred okužbo in razbarvanjem (slika 18). Po razbarvanju lahko na površini nekaterih tekstilij ostanejo kalcijeve soli, ki lahko kasneje vplivajo na vlakna, zato jih je treba odstraniti s spiranjem. Spektroskopija FTIR pokaže, da ta postopek vpliva tudi na strukturo in lastnosti vlaken. Najverjetneje pride do intenzivne oksidacije različnih organskih



Slika 19: Primerjava spektrov FTIR neokuženega bombaža (črn), bombaža, okuženega z glivo rodu *Cladosporium*, (rdeč) in bombaža, okuženega z iso glivo, po beljenju s sistemom bakrovega kompleksa in vodikovega peroksida (zelen). V slednjem je viden karbonilni trak (označeno s puščico).

snovi, povečanja amorfnega deleža celuloze v vlaknih in privzema večjega deleža vode (slika 19). Sistema v predstavljeni obliki nista primerna za uporabo na predmetih kulturne dediščine, se pa biomimetični sistem uporablja v industrijskih postopkih beljenja celuloze.

7. Hramba zgodovinskih tekstilij

Shranjevanje zgodovinskih tekstilij je bilo podrobno obravnavano že v poglavju Tekstil (3.6, str. 24–27), zato se v tem poglavju osredotočamo na parametre, ki odločilno vplivajo na okužbo in razrast gliv na muzejskih tekstilnih predmetih. Glavni dejavniki so: relativna zračna vlaga, temperatura, hranila in kroženje zraka. Svetloba in pH v tem kontekstu ne igrata tako pomembne vloge kot pri shranjevanju in razstavljanju predmetov.

Vlaga

Iz vsega do sedaj navedenega

vidimo, da ima odločilno vlogo pri razvoju plesni vlaga, zato moramo spremljanju in uravnavanju tega dejavnika posvetiti ustrezno pozornost. To ne pomeni zgolj namestitve vlažilnikov in razvlažilnikov zraka, pozorni moramo biti tudi na razporeditev in embalaranje predmetov, stanje zgradbe, brezhibnost napeljav, pravilno zračenje itd.

Kleti so velikokrat vlažne, prašne, temne, s slabim kroženjem zraka in zato primerna okolja za razrast plesni. Žal so muzejski depoji mnogokrat ravno v kletih. Za povečano relativno zračno vlago oz. kondenzacijo so lahko krivi tudi slaba izolacija stavbe, toplotni mostovi ali vdiranje toplega vlažnega zraka od zunaj, ki se v notranjih prostorih kondenzira na hladnih površinah. Zelo na hitro se relativna vlaga v zraku lahko poveča zaradi počenih vodovodnih ali kanalizacijskih cevi, poškodovane strehe, nenadnih ohladitev (npr. odpoved ogrevalnega sistema), odpovedi

ventilacijskih ali klimatskih naprav, poplav ipd.

V teh primerih se moramo odzvati v roku 48 ur, sicer se plesni lahko že preveč razrastejo.

Posledice naštetih nevarnosti lahko omilimo, če se pri skladiščenju muzejskih zbirk držimo določenih pravil:

- vse predmete moramo dvigniti od tal za vsaj 10 cm,
- na plesen občutljivih materialov (kamor sodita tudi tekstil in usnje) ne smemo shranjevati v bližini hladnih sten, kjer se kljub sicer ustreznosti vlažnosti zraka lahko voda kondenzira,
- lokalni vlažilniki in razvlažilniki morajo biti primerne kapacitete za prostor, redno jih je treba vzdrževati in čistiti – zlasti posode z vodo.

Tekstil lahko pred nihanjem relativne zračne vlage dodatno zaščitimo tako, da ga zapakiramo v škatle, vreče ali kontejnerje. S tem zaščitimo predmet pred prahom, pred morebitno okužbo in podaljšamo odzivni čas pri spremembah klime v prostoru. Pri tem moramo paziti, da je v času pakiranja relativna zračna vlaga nižja od 65 % in da predmeta nato ne ohladimo (npr. postavimo na hladno polico), ker bi se ob ohladitvi relativna zračna vlaga hitro dvignila. Pomembno je, da je zraka v vreči oz. škatli čim manj in da je predmet, preden ga ovijemo z npr. dokaj nepredušno polietilensko vrečo, zaviti v higroskopen material (npr. nebeljeni bombaž).

Hranila

Okužbo z glivami težko preprečimo, ker so vedno prisotne v zraku. Predmeti iz organskih materialov so potencialni vir hranil že sami po sebi, nekatere nečistoče, zlasti prah, pa možnost okužb še povečujejo. Prah sestavljajo spore in različni organski in anorganski

delci, deluje higroskopično in zato povečuje vlago na površinah. Poleg prahu je na tekstilu tudi veliko organskih ostankov v obliki madežev; lahko so od hrane, pijače, znoja ali pa so razkrojni produkti samih predmetov (sladkorji, aminokislina ...). Vse to potencialno povečuje razrast gliv, zato je treba pred shranjevanjem umazanijo očistiti in predmet, če je le mogoče, tudi oprati.

Temperatura

Temperatura na razrast gliv nima odločilnega vpliva, saj dobro uspevajo v precej širokem temperaturnem območju (večina med 4 °C in 30 °C). Nekoliko vpliva le na hitrost rasti, ki se ob drastičnem povišanju ali znižanju temperature zmanjša. Pač pa so temperaturna nihanja tesno povezana s spremembo relativne zračne vlage. Če ima npr. poleti zunanji zrak temperaturo 22 °C in 65 % vlage, pomeni, da vsebuje približno 13 g/m³ vode. Temperatura rosišča takega zraka je pri 15 °C. Če želimo relativno zračno vlago v prostoru znižati, zračimo vedno takrat, ko je temperatura zunanjega zraka nižja od temperature zraka v prostoru oz. temperature zidov v prostoru. Drugače vedno obstaja nevarnost, da se vlaga iz toplega zraka izloči na hladnih stenah.

Kroženje zraka

Z ustreznim kroženjem zraka odpravimo področja, kjer bi se sicer lahko razvila previsoka ali prenizka relativna zračna vlaga. Zračimo lahko na različne načine, tako z osrednjimi prezračevalnimi sistemi kot z lokalnimi prezračevalnimi napravami. V vseh primerih pa obstaja nevarnost, da zrak ne bo dosegel vseh kotov, če pohišstvo ne bo nekoliko odmaknjeno od sten. Zlasti je to pomembno pri hladnih, slabo izoliranih severnih stenah.

Priporočeni ukrepi

Ukrepi, s katerimi zagotovimo stabilno okolje in s tem preprečimo razrast plesni v muzejskih zbirkah, so:

- zagotovitev relativne zračne vlage pod 60 % (s tem se nekoliko zavarujemo tudi pred nenadnimi padci temperature),
- učinkovito kroženje zraka,
- redni pregledi vseh razstavljenih in shranjenih predmetov,
- redno čiščenje tal, omar in embalaže (škafel, vreč ...) in s tem preprečitev nabiranja prahu v prostoru,
- ločeno shranjevanje na novo pridobljenih predmetov, ki jih pred umestitvijo v zbirko tudi natančno pregledamo in po potrebi očistimo,
- zaščita pred puščanjem vode v prostorih z muzejskimi zbirkami,
- natančen program vzdrževanja sistema za klimatizacijo oz. prenosnih vlažilnikov in razvlažilnikov,
- lončnice in hrana ne sodijo v iste prostore kot shranjeni oz. razstavljeni predmeti.

Ukrepi pri razlitju vode

Tudi pri razlitju vode močan tok zraka iz sušilnika pospeši izhlapevanje vode in sušenje. V nekaterih okoliščinah, npr. pri mokrih predmetih, ki jih sušimo na zraku, je prav zračni pretok tisti, ki odloča o tem, ali se bo plesen razvila ali ne.

Po puščanju vode je treba takoj ukrepati, da preprečimo rast plesni:

- ob prvem znaku plesni v zbirki ločimo okužene predmete od neokuženih, ugotovimo povzročitelja in ga očistimo;
- nemudoma – v roku 48 ur – začnemo čistiti vodno razlitje ali puščanje;
- če je RH nad 60 %, prostor

prezračimo in razvlažimo pod 40 %, dokler se materiali ne posušijo, ko pa se posušijo, povišamo relativno zračno vlago do normalnih vrednosti;

- pretok bolj suhega zraka v okuženi prostor iz drugih prostorov ali od zunaj lahko hitro zniža RH ter posuši predmete;
- naredimo sanacijski načrt, ki ga uporabimo v primeru nezgode; načrt naj vključuje priprave na zračno sušenje ali zamrznitev omočenih predmetov v 48 urah.

8. Varnost pri delu s plesnimi

Plesni in njihove spore so v zraku zelo razširjene. V obliki bioaerosolov se odlagajo v prahu po površinah in predstavljajo t. i. normalno mikofloro. Dnevno je v stalnem stiku s človekom kar 600 vrst gliv, v notranjih prostorih pa 89 vrst. Od 100.000 opisanih vrst gliv jih je le okoli 100 takih, ki se redno pojavljajo kot povzročiteljice mikoz človeka in živali, manj kot 50 vrst pa se jih pogosteje pojavlja v epidemioloških študijah notranjega okolja. Zdrav človek je relativno odporen na glivne okužbe. Skrb pa vzbuja dejstvo, da število glivnih obolenj v svetu eksponentno narašča zaradi vedno večjega števila imunsko oslabljenih ljudi, starostnikov, specifičnega življenja večinoma v notranjih prostorih, novih glivnih povzročiteljev in tudi pojavom novih virulentnih dejavnikov pri že prej znanih oportuno patogenih glivah.

Glive so ljudem nevarne na tri načine:

- povzročajo lahko mikoze, in to z naselitvijo na določenih delih telesa, npr. na koži, v podkožju, na nohtih, laseh, preko krvnega žilja pa se lahko razširijo tudi sistemsko;
- povzročajo lahko preobčutljivostne reakcije v obliki alergij,

- sintetizirajo mikotoksine in določene sproščajo tudi v okolje.

Večina gliv je oportuno patogenih, kar pomeni, da so šibko virulentne in povzročijo bolezen le v imunsko oslabelem gostitelju. Večino teh okužb povzročajo kvasovke rodu *Candida* (75 %), na drugem mestu pa so spore različnih vrst plesni rodu *Aspergillus* (15 %). Glive lahko v telo vstopajo v obliki spor (dolgožive), delov hif ali kvasovk. Vstopajo po respiratornih poteh, preko sluznic, kože in travmatskih poškodb. Mikoze ponavadi niso prenosljive, razen v primeru okužb s kvasovko rodu *Candida* ter dermatofitov (povzročitelji kožnih mikoze), ki se prenašajo med zemljo, ljudmi, živalmi, vodo in predmeti za osebno nego.

Vzroki za oportune glivne infekcije so številni in raznoliki:

- predhodne bolezni (npr. levkemija), kronične bolezni (sladkorna bolezen),
- terapije z raznimi zdravili (citostatiki, antibiotiki, kortikosteroidi),
- intravenske injekcije,
- sekundarne infekcije (aids),
- transplantacije organov, imunosupresivne terapije,
- imunske ali endokrinološke motnje zaradi zdravljenja raka, sevanje,
- poškodbe organov pri kroničnih obolenjih (sladkorna bolezen, srčna obolenja, odpoved ledvic),
- opekline tretje stopnje,
- prisotnost katetrov, srčnih zaklopk,
- podhranjenost, alkoholizem, zloraba drog.

Med potencialno nevarnimi »muzejskimi« glivami so najpogostejše tiste iz rodu *Aspergillus*, saj se pojavljajo že v samem materialu in lahko sproščajo ogromne količine suhoprašnih

spor. Med približno 350 opisanimi vrstami tega rodu jih lahko le osem povzroča bolezen pri ljudeh. Običajno se začnejo z inhalacijo spor v pljuča, kar lahko privede do pojava netipične pljučnice ali celo do tumorjem podobnega hifnega prepleta v pljučih. Gliva se pri sistemskem obolenju lahko razširi tudi na druge organe, kot so srce, možgani ... Bolezen strokovno imenujemo **aspergiloza**. Glive tega rodu lahko povzročijo tudi dokaj neinvazivne infekcije v sinusih, ušesnih kanalih, na vekah in veznicah. Številne vrste aspergilov tvorijo tudi toksine. Npr. *A. flavus* sintetizira toksin, **afلاتoksin**, ki je hepatotoksičen in kancerogen. V muzejih in na muzejskem tekstilu so zelo pogoste tudi glive rodov *Alternaria*, *Cladosporium* in *Penicillium*, kvasovke rodu *Candida* pa v tem kontekstu niso pomembne.

Ljudje večino časa preživimo v zaprtih, pogosto klimatiziranih prostorih. Če so ti prostori vlažni, se v njih naselijo plesni, ki napadajo gradbeni material, ga razgrajujejo in pri tem sproščajo v zrak različne metabolite in spore. Posledica bivanja v takih stavbah je t. i. **sindrom bolnih stavb (prostorov)**, za katerega je značilen plesniv vonj zaradi hlapnih metabolitov specifičnih gliv. Ta sindrom največkrat povezujejo z naselitvijo vrst *Aspergillus versicolor*, *Penicillium chrysogenum*, *P. expansum* in *Stachybotrys chartarum* (črna zidna plesen). Če ni izmenjave s svežim zrakom, tak nekvalitetni zrak kroži po ventilacijskih sistemih in pri ljudeh povzroča tipične znake: splošno utrujenost, glavobole, vnete oči, grlo, vrtoglavico, slabši spomin.

Glivne spore imajo na površini določene proteine (antigene), ki v stiku z imunskim sistemom izzovejo preobčutljivostne reakcije. Take reakcije lahko povzročijo aktivno rastoče spore in tudi nežive spore. **Alergijske reakcije** delimo v več

kategorij, kot so alergijski rinitis, konjunktivitis, astma, alergijska bronhopulmonalna aspergiloza in hipersenzitivni pnevmonitis.

Rodovi plesni, ki so pogosto prisotni v zraku in pogosto povzročajo alergijske reakcije, so *Alternaria*, *Aspergillus* (glavičasta plesen), *Cladosporium* (»grmičasta« plesen), *Penicillium* (čopičasta plesen) in *Stachybotrys* (»črna zidna« plesen). Rod *Alternaria* lahko povzroča tudi astmatske napade, mikotoksični rod *Stachybotrys* pa je indikator vlage in se pojavlja na celuloznih materialih v vlažnih stavbah. Izpostavitve tej glivi je še zlasti nevarna, saj lahko povzroča sproščanje izpuščajev, draženje ali celo krvavitve nosne sluznice.

Glive so povzročiteljice kar 16 % alergij. Visoka koncentracija glivnih spor v zraku je za ljudi lahko nevarna. Čeprav smo jim vsakodnevno izpostavljeni, tako zunaj kot tudi v notranjih prostorih, lahko prevelika koncentracija spor preobčutljivim ljudem povzroča težave. Zato je pomembna pravilna identifikacija gliv, ker omogoča iskanje podatkov o njihovi potencialni nevarnosti ljudem. Alergijsko nevarne so predvsem spore že prej omenjenih rodov *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Wallemia*. Kritična skupina so ljudje s kompromitiranim imunskim sistemom, npr. bolniki z levkemijo, rakom, drugimi respiratornimi boleznimi, ter otroci in starejši, prvi s še razvijajočim se imunskim sistemom, slednji z oslabelem.

Varnost restavratorja

Vzorčenje zraka je za zdaj najpogosteje uporabljena metoda za ugotavljanje prisotnosti gliv v prostoru, kadar niso prisotna vidnejša območja kontaminacije. Pri delu s plesnivimi predmeti se zaščita restavratorja razlikuje glede na velikost kontaminirane

površine. Pri majhnem območju kontaminacije (< 0,3 m²) npr. mednarodne smernice priporočajo uporabo halje, respiratorja in rokavic, pri kontaminacijah večjih površin (> 0,3 m²) priporočajo boljšo zaščito dihal z obraznimi polmaskami, pri območju od 3 do 10 m² pa obrazne maske. Pri izjemno veliki kontaminaciji (> 10 m²) poleg mask priporočajo tudi skafandre, ki pokrivajo celo telo. Vse večje razrasti plesni je treba obravnavati kot potencialno nevarne, ne glede na vrsto plesni.

Posebno pozornost je treba nameniti osebam z naslednjimi zdravstvenimi težavami: alergije, astma, dihalne težave, oslabiljen imunski sistem (aids, kemoterapija itd.). Ne glede na vrsto materiala ali plesni, ki ga okužuje, za te osebe ni priporočljivo, da vstopajo v okuženi prostor. Ker plesni vstopajo v telo z inhalacijo v pljuča, preko ingestije v prebavni trakt in preko kožnih razjed v kožo in podkožje, je uporaba osebne zaščite najpomembnejša pri vstopu v kontaminirani prostor in pri delu s kontaminiranim materialom.

Zaščita naj bo celovita

Splošna zaščita. V prostorih s kontaminiranim materialom ne jemo in ne pijemo, ker je to ena od možnih poti kontaminacije. Ker se lahko okužimo tudi preko telesnih poškodb, si pri urezninah in odrgninah poškodovana območja kože zaščitimo z obliži in obvezilnim materialom.

Zaščita oblačil. Delovna halja varuje kožo in vrhnja oblačila pred sporami plesni. Če jo uporabljamo le v kontaminiranem prostoru oz. v prostoru s kontaminiranimi predmeti, preprečimo prenos spor v druge prostore in s tem na druge predmete. Ob večjih kontaminacijah je priporočljivo nošenje zaščitnih kombinezonov za enkratno uporabo.

Zaščita rok. Roke zaščitimo z zaščitnimi rokavicami iz lateksa ali nitrila. Rokavice so za enkratno uporabo in jih snemamo tako, da jih potegnemo z rok, ne da bi se dotikali površine rokavic.

Zaščita dihal. V ta namen lahko uporabimo različno respiratorno zaščitno opremo, kot so respiratorji (prekrijejo usta in nos), obrazne polmaske (prekrijejo spodnji del obraza) ali celoobrazne maske (prekrijejo celoten obraz). V vseh omenjenih maskah morajo biti nameščeni filtri; te lahko pri polobraznih in celoobraznih maskah menjujemo. Filtri morajo biti razreda FFP3, kar ustreza evropskim standardom. Zračni filtri FFP3 so primerljivi z ameriški filtri HEPA (high efficiency particulate air) oz. filtri za zelo učinkovito zadrževanje zračnih delcev, ki odstranijo 99,97 % delcev, večjih od 0,3 µm.

Zaščita oči. Zaščitna očala varujejo oči pred vdorom delcev in spor plesni in s tem preprečujejo morebitne okužbe oči.

9. Zaključek

Plesni so nitaste glive, ki tvorijo mnogoštevilne spore. Glivne spore so običajno prisotne v zraku in se z njim razširjajo. Količina glivnih spor v zraku je odvisna od geografskih in sezonskih dejavnikov in se razlikuje med notranjimi in zunanji prostori. Glivne spore so vodoodporne, odporne na izsuševanje, nihanja temperatur in pH. Plesni prekašajo vse mikroorganizme v sposobnosti rasti v najbolj sušnih okoljih pa tudi v zelo vlažnih okoljih. Spore plesni zlahka okužijo tekstilne materiale, v katerih izrabljajo predvsem celulozo (pri rastlinskih vlaknih), beljakovine (pri vlaknih živalskega izvora) in tudi površinske madeže organskega izvora. Spore plesni lahko izvirajo že iz samega materiala, lahko pa se

deponirajo na površine predmetov s prahom. Plesen se zlasti razraste pri sobni temperaturi in povišani relativni zračni vlagi, pri slabem kroženju zraka in po akumulaciji prahu. Razrastle plesni tekstilijam spremenijo videz in včasih ga je nemogoče povrniti v prvotno stanje.

Spore plesni pri nizki relativni zračni vlage večinoma ostanejo dormantne, zato sta kontrola in regulacija okoljskih razmer, predvsem ohranjanje konstantno nizke zračne vlage (do 60 %) in konstantne temperature (20 °C), v muzejskih zbirkah in razstavnih prostorih glavna preventivna dejavnika.

Vse plesni ne vplivajo enako na substrate, zato je pomembno vedeti, s katero vrsto plesni imamo opravka, preden načrtujemo nadaljnje ukrepe. Pri sanaciji plesnivih tekstilij je treba upoštevati, da lahko tudi sanacijske metode vplivajo na strukturo vlaken in na kontaminantne glive, ki se vrstno specifično odzovejo na sanacijske metode. Pred izbiro metod je zato treba poznati vrsto glive, priporočljivo pa je tudi testirati vpliv metod na glive in tekstilije.

Glive so pomembni rastlinski patogeni in manj pomembni patogeni človeka. Glive napadajo predvsem imunsko kompromitirane ljudi, zato jih označujemo kot oportuno patogene. Na okuženih tekstilijah so posebej pogoste glive alergogenih rodov *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium* in *Wallemia*, ki vsebujejo tudi določene vrste, sposobne povzročati oportune mikoze, in vrste, ki so sposobne sinteze mikotoksinov. Tudi odmrle plesni ohranijo alergogene lastnosti. Pri delu s plesnivimi tekstilijami smo predvsem izpostavljeni respiratornim boleznim, kot so preobčutljivostne alergijske reakcije in astma. Ne glede na povzročitelja

plesnive okužbe je pri delu s plesnivimi predmeti potrebna skrajna previdnost in uporaba respiratorne zaščite, zaščitne obleke in rokavic.

10. Literatura

- 1 Arroyo, I. 2009. The role of fungi in the deterioration of movable and immovable cultural heritage. *e-conservation magazine*, št. 9, str. 40–50.
- 2 Berny, J. F., Hennebert, G. L., 1991. Viability and stability of yeast cells and filamentous fungus spores during freeze-drying: Effects of protectants and cooling rates. *Mycologia*, 83 (6), 805–815.
- 3 Blackwell, M., 2011. The fungi: 1, 2, 3 ... 5.1 million species? *American Journal of Botany*, 98 (3), 426–438.
- 4 Brandt, M. E. in Park, B. J., 2013. Think Fungus—Prevention and Control of Fungal Infections. *Emerging Infectious Diseases* 19, No. 10, DOI: <http://dx.doi.org/10.3201/eid1910.131092>.
- 5 Bratu, E., Moise, I. V., Cutrubinis, M. in Virgolici, M. 2009. Archives decontamination by gamma irradiation. *Nukleonika*, let. 54, št. 2, str. 77–84.
- 6 Bresee, R. R. 1986. General effects of ageing on textiles. V: *Journal of the American Institute for Conservation*, let. 25, št. 1, str. 39–48.
- 7 Bukošek, V. 1998. Mikrofibrilna narava vlaken: I. Osnovne zakonitosti mikrofibrilne morfologije. V: *Tekstilec*, let. 41, št. 7–8, str. 207–215.
- 8 Butler, M. J. in Day, A. W. 1998. Destruction of fungal melanins by ligninases of *Phanerochaete chrysosporium* and other white rot fungi. *International Journal of Plant Science*, let. 159, str. 989–995.
- 9 Butterfield, F. J. 1987. The potential long-term effects of gamma irradiation on paper. *Studies in Conservation*, št. 32, str. 181–191.
- 10 Caneva, G., Negri, M. P. in Salvadori, O. 2005. *La Biologia Vegetale per i Beni Culturali; Vol I: Biodeterioramento e Conservazione*. Firenze : Nardini Editore, 396 str.
- 11 Chakravarty, T., Bose, R. G. in Basu, S N. 1962. Fungi Growing on Jute Fabrics Deteriorating under Weather Exposure and in Storage. *Applied and Environmental Microbiology*, let. 10, št. 5, str. 441–447.
- 12 Chen, H. L. 2001. Microwave Radiation Decontamination of Mildew Infected Cotton. *Textile Research Journal*, let. 71, št. 3, str. 247–254.
- 13 Cramer, R., Garbani, M., Rhyner, C., Huitema, C., 2014. Fungi: the neglected allergenic sources. *Allergy* 69 (2), 176–85.
- 14 Cybulska, M., Jedraszek-Bomba, A., Kuberski, S. Wrzosek, H. 2008. Methods of Chemical and Physicochemical Analysis in the Identification of Archaeological and Historical Textiles; *Textiles and Fibres in Eastern Europe*, vol. 16, no. 5 (70), 67–73.
- 15 Črnič, M. 2009. Morfološke lastnosti vlaken in papirja. V: *Trajnostna raba lesa v kontekstu sonaravnega gospodarjenja z gozdovi / Rational use of wood in the context of sustainable forest management*. Studia Forestalia Slovenica (ur. M. Humar in H. Kraigher). Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana, str. 149–164.
- 16 Čunko, R. in Andrassy, M. 2005. *Vlakna*. Čakovec : Zrinski, 341 str.
- 17 De Hoog, G.S. , Guarro, J., Gené, J., Figueras, M.J., 2015: *Atlas of Clinical Fungi*. The ultimate benchtool for diagnostics. Centraalbureau voor Schimmelcultures / Universitat Rovira I Virgili. <http://atlas.clinicalfungi.org/AtlasOnline/protected/content.xhtml>. Dostop: 6. 8. 2015.
- 18 Demšar, A., Bešlagić, P., Zalar, P., Pucić, I., Mihaljević, B., Kavkler, K. 2015. Structure and properties of silk, disinfected by gamma irradiation. V: *AUTEX 2015, Proceedings*.
- 19 Doshi, G. 2006. *Biocides in Textile* [online] [citirano 19. 3. 2010]. Dostopno na: <http://ezinearticles.com/?Biocides-In-Textile&id=365038>.
- 20 Fröhlich-Nowoisky, J., Pickersgill, D. A., Després, V. R., Pöschl, U., 2009. High diversity of fungi in air particulate matter. *PNAS* 106: 12814–12819.
- 21 Gams, W., Stalpers, J. A., 1994. Has the prehistoric ice-man contributed to the preservation of living fungal spores? *FEMS Microbiol Lett.* 120 (1–2), 9–10.
- 22 Garside, P. 2010. *Textiles. V: Cultural Heritage Microbiology: Fundamental studies in Conservation Science* (ur. R. Mitchell in C. J. McNamara). ASM Press, Washington DC, str. 97–110.
- 23 Guild, S., MacDonald, M., 2004. *Mould Prevention and Collection Recovery: Guidelines for Heritage Collections*, Technical Bulletin 26, Canadian Conservation Institute, Ottawa 2007.
- 24 Hawksworth, D. L., 1991. The fungal dimension of biodiversity : magnitude, significance, and conservation. *Mycological Research* 95, str. 641–655.
- 25 Hawksworth, D. L., 2001. The magnitude of fungal diversity : the 1±5 million species estimate

- revisited. *Mycol. Res.* 105 (12), 1422–1432.
- 26 Jurado, V., Sanchez-Moral, S., Saiz-Jimenez, C., 2008. Entomogenous fungi and the conservation of the cultural heritage: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation* 62, str. 325–330.
- 27 Katušin-Ražem, B., Ražem, D. in Braun, M. 2009. Irradiation treatment for the protection and conservation of cultural heritage artefacts in Croatia. *Radiation Physics and Chemistry*, št. 78, str. 729–731.
- 28 Kavkler, K., Demšar, A. 2012. Impact of fungi on contemporary and accelerated aged wool fibres. *Polymer Degradation and Stability*, let. 97, št. 5, str. 786–792.
- 29 Kavkler, K., Demšar, A. 2012b. Application of FTIR and Raman spectroscopy to qualitative analysis of structural changes in cellulosic fibres = Uporaba FTIR in ramanske spektroskopije pri kvalitativni analizi strukturnih sprememb celuloznih vlaken. *Tekstilec*, let. 55, št. 1, str. 19–44.
- 30 Kavkler, K., Demšar, A. Examination of cellulose textile fibres in historical objects by micro-Raman spectroscopy. *Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy*, let. 78, št. 2, str. 740–746.
- 31 Kavkler, K., Gunde-Cimerman, N., Zalar, P., Demšar, A. 2015. Deterioration of contemporary and artificially aged cotton by selected fungal species. *Polymer Degradation and Stability*, let. 113, str. 1–9.
- 32 Kavkler, K., Gunde-Cimerman, N., Zalar, P., Demšar, A. FTIR spectroscopy of biodegraded historical textiles. *Polymer Degradation and Stability*, let. 96, št. 4, str. 574–580.
- 33 Kavkler, K., Gunde-Cimerman, N., Zalar, P., Demšar, A., 2014a. Fungal deterioration of aged textiles. V: Mondal, I. H. (ur.). *Textiles : history, properties and performance and applications*, (Chemistry research and applications). New York: Nova Science Publishers, str. 315–342.
- 34 Kavkler, K., Gunde-Cimerman, N., Zalar, P., Demšar, A., 2014b. Fungal contamination of textile objects preserved in Slovene museums and religious institutions. *International biodeterioration & biodegradation*, ISSN 0964-8305. [Print ed.], 2015, vol. 97, str. 51–59.
- 35 Khan, A. A. H., Karuppayil, S. M., Chary, M., Kunwar, I. K., Waghray, S. (2009). Isolation, identification and testing of allergenicity of fungi from air-conditioned indoor environments. *Aerobiologia* 25, str. 119–123.
- 36 Kirk, P. M., Cannon, P. F., Minter, D. W., Stalpers, J. A. 2008. *Dictionary of the Fungi*, 10th Edition.
- 37 Koch, A., Heilemann, K.-J., Bischof, W., Heinrich, J., Wichmann, H. E., 2000. Indoor viable mold spores - a comparison between two cities, Erfurt (eastern Germany) and Hamburg (western Germany). *Allergy* 2000, št. 55, str. 176–180.
- 38 Magaudda, G. 2004. The recovery of biodeteriorated books and archive documents through gamma radiation: some considerations on the results achieved. *Journal of Cultural Heritage*, št. 5, str. 113–118.
- 39 Malej Kveder, S. 1992. *Tekstilne surovine: Vlakna I*. Zavod Republike Slovenije za šolstvo in šport.
- 40 Matos, T., Škamperle, M. Prisotnosti gliv v prostorih knjižnic in arhivov ter njihov vpliv na počutje in zdravje ljudi. Tehnični in vsebinski problemi klasičnega in elektronskega arhiviranja, Radenci 2015.
- 41 Montegut, D., Indictor, N. in Koestler, R. J. 1991. Fungal deterioration of cellulosic textiles: a review. *International Biodeterioration*, let. 28, št. 1–4, str. 209–226.
- 42 Mušič Mivšek, E., Kofol Seliger, A., 2014. Koledar za alergike. V: *Za zdravje: Alergijski rinitis*, GlaxoSmithKline.
- 43 Nugari, M. P. 2005. Fibre tessili di natura vegetale (cotone, lino ed altre fibre). V: *La biologia vegetale per I beni culturali*, Vol. I: Biodeterioramento e conservazione. Nardini Editore, Firenze, str. 112–116.
- 44 Rättö, M., Chatani, M., Ritschkoff, A.-C. in Viikari, L. 2001. Screening of microorganisms for decolorization of melanins produced by bluestain fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, let. 55, str. 210–213.
- 45 Saleh, Y. G., Mayo, M. S. in Ahearn, D. G. 1988. Resistance of Some Common Fungi to Gamma Irradiation. *Applied and Environmental Microbiology*, let. 54, št. 8, str. 2134–2135.
- 46 Samson R. A., Houbraken J., Thrane U., Frisvad J. C., Andersen B. 2010. Food and indoor fungi. CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre. Utrecht, the Netherlands.
- 47 Samson, R. A., Houbraken, J., Thrane, U., Frisvad, J. C., Andersen, B., 2010: Food and indoor fungi. CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, P.O. Box 85167, 3508 AD Utrecht, the Netherlands.
- 48 Seves A., Romanò, M., Maifreni,

- T., Sora, S. in Ciferri, O. 1998. The microbial degradation of silk: a laboratory investigation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, št. 42, str. 203–211.
- 49 Seves A., Romanò, M., Maifreni, T., Seves, A., Scicolone, G., Sora, S. in Ciferri, O. 2000. A laboratory investigation of the microbial degradation of cultural heritage. V: *Of microbes and art : the role of microbial communities in the degradation and protection of cultural heritage*. Ur. O. Ciferri, P. Tiano, G. Mastromei. New York : Kluwer Academic/Plenum Publishers, str. 121–133.
- 50 Simončič, B. in Tomšič, B. 2010. Structures of novel antimicrobial agents for textiles. *Textile research journal*, let. 80, št. 16, str. 1721–1737.
- 51 Singh, N. 2001. Trends in the Epidemiology of Opportunistic Fungal Infections: Predisposing Factors and the Impact of Antimicrobial Use Practices. *Clinical Infectious Diseases* 2001, 33, str. 1692–1696.
- 52 Sterflinger K., Piňar G., 2013. Microbial deterioration of cultural heritage and works of art — tilting at windmills? *Applied Microbiology and Biotechnology* 97, 22, str. 9637–9646.
- 53 Strang, T. J. K. in Dawson, J. E., 1991. Controlling Museum Fungal Problems, *Technical Bulletin 12*, Canadian Conservation Institute, Ottawa.
- 54 Szostak-Kotowa, J. 2004. Biodeterioration of textiles. *International Biodeterioration & Biodegradation*, št. 53, str. 165–170.
- 55 Tavzes, Č., Bešlagić, P., Kavkler, K. in Zalar, P. 2014. Mould stains on textiles : decolourisation and influence on properties. V: *Abstract book*. Lodz: International Biodeterioration & Biodegradation Society, str. 60.
- 56 Tavzes, Č., Šilc, F., Kladnik, A., Fackler, K., Messner, K., Pohleven, F. in Koestler, R. J. 2009. Enzymatic degradation of mould stains on paper analysed by colorimetry and DRIFT-IR spectroscopy. *International Biodeterioration & Biodegradation*, let. 63, str. 873–879.
- 57 Tiano, P. 2002. Biodegradation of cultural heritage: decay mechanisms and control methods. *Ninth ARIADNE Workshop »HistoricMaterial and their Diagnostic«*, ARCCCHIP, Prague, 22–28 April 2002 [online] [citirano 22. 12. 2010]. Dostopno na: /http:// www.arcchip.cz/w09/w09_tiano.pdf.
- 58 Timar-Balazsy, A. in Eastop, D. 1998. *Chemical Principles of Textile Conservation*. Oxford : Butterworth Heinemann.
- 59 Walkerand, G. M., White, N. A., 2005. Introduction to Fungal Physiology. V: *Fungi Biology and Applications* (ed. K.Kavanagh), John Willey and Sons, Ltd, West Sussex, England, str. 1–34.
- 60 Warscheid, T. 2000. Integrated concepts for the protection of cultural artifacts against biodeterioration. V: *Of Microbes And Art: The Role of Microbial Communities in the Degradation and Protection of Cultural Heritage*. Uredil Ciferri O. New York : Kluwer Academic/Plenum Publishers, str. 185–202.
- 61 World Health Organisation (WHO): WHO guidelines for indoor air quality : dampness and mould. © World Health Organization 2009.
- 62 Zalar, P., Kavkler, K., Demšar, A., Tavzes, Č., Gostinčar, C, Bešlagić, P., Gunde-Cimerman, Nina. 2014. Interdisciplinary research on fungi infesting historical textile objects. V: *The 10th International Mycological Congress*, 4–8

August 2014, Bangkok, Thailand : [abstracts proceedings]. Bangkok: [s.n.], 2014, str. 924.

Avtorici fotografij:

Katja Kavkler: slike 3, 5–7, 16–19

Polona Zalar: slike 1, 2, 9–15