

## **Заштита дрвене грађе у манастирима – нови приступ очувању дрвеног наслеђа**

### **Апстракт**

Традиционални хемијски третмани могу оштетити предмет и промијенити оригинални дрвени материјал. Биоциди су такође опасни за конзерваторе као и за људе који су изложени биоцидним испарењима у ентеријерима. Стога су конвенционални биоциди за очување дрвета забрањени или ограничени за употребу. У складу с тим, превентивна заштита дрвеног наслеђа се мора извршити техничким путем (изградња по пројекту, висока и ниска температура, суви услови). У репресивне сврхе уведено је изазивање асфиксије инертним гасовима као што су аргон или азот. На овај начин, паразити који нападају дрво – инсекти који буше дрво и гљивице које нападају дрво 'dry rot fungus' *Serpula lacrymans* се могу искоријенити. Поступак с аргоном је најадекватнији и не оштећује умјетничку грађу. Међутим, након третмана, дрвено наслеђе се мора чувати у контролисаном окружењу.

**Кључне ријечи:** дрвено наслеђе, очување дрвета, биоциди, асфиксација (изазивање асфиксије), инертни гасови, аргон, азот (нитроген).

### **Увод**

Један од проблема са потенцијалом да највише нанесе штету музејским збиркама које су састављене од дрвених артефаката је пријетња биолошким загађењем. Ово може бити у форми напада инсеката и/или микроба, нарочито гљивица. Кад дође до избијања инфекције, са њом се мора поступати на начин који је сигуран за умјетнине, особље и околиш, а истовремено је успјешан у искорјењивању загађења. Третирање умјетнина води до неких интересантних дилема: генерално, поступци који се обично користе, одн. биоциди, који могу бити веома успјешни у искорјењивању проблема имају нежељене нуспојаве на материјалу који се третира. Поред тога, у току историје, и нарочито у модерно доба, умјетници су експериментисали са широким спектром техника како би изразили своје креативне визије. Понекад су материјали који се користе за креирање визије познати или се могу одредити хемијском анализом. Најчешће, међутим, они нису познати. Крајњи резултат када се биоциди примјењују на умјетнички објекат може бити ненамјерна измјена изгледа и/или научног садржаја умјетничког предмета.

Задњих година се истраживања све више и више баве проналажењем одрживих не-хемијских алтернатива за третирање музејских збирки због биолошких загађења. Алтернативне технике су биле употреба високе или ниске температуре, коришћење гама зрачења и кориштење аноксичног окружења. Најперспективнија техника међу њима је употреба аноксичних окружења, генерисаних аргоном или азотним гасом (с тим што је аргон ефикаснији и успјешнији од азота, нарочито у погледу контроле загађења гљивицама).

<sup>1</sup> Биотехнички факултет – Одјељење за науку о дрвету и технологију, Универзитет у Љубљани, Словенија

<sup>2</sup> Центар за рестаурацију, Институт за заштиту културног наслеђа Словеније, Љубљана, Словенија; Завод за науку о дрвету и технологију и одрживи развој, Љубљана, Словенија

<sup>3</sup> Завод за очување музеја, Smithsonian Institut, Suitland, MD, USA

## Проблеми с биоцидима

Очување умјетничких дјела подразумијева јединствен скуп теоретских и материјалних разматрања. Филозофска разматрања се крећу око прописивања третмана који имају потенцијал да измијене оригинално умјетничко дјело. Материјална разматрања укључују разумијевање различитих материјала од којих могу бити састављена умјетничка дјела, како оригинални материјал и претходно уведен материјал за очување и рестаурацију, и процјену, колико је то могуће, вјероватноће у погледу тога какав ефекат ће нови третман имати на те материјале. Анализе проблема са биоцидима и културним објектима се могу наћи код Allsopp и Seal (1985), Caneva et al., (1991), Dawson (1986), Pinniger (1994), Story (1985). Генерално говорећи, сви биоциди су реактивни производи и многи, ако не и сви, су узроковали промјене у неким врстама умјетничких дјела.

На примјер, метил бромид кида сумпорне везе; он може ослабити материјале и произвести штетне мирисе, те се више и не користи за материјале који садрже сумпор. Овај производ има друге озбиљне нежељене ефекте: у неким извјештајима се тврди да он напада слој озона у атмосфери педесет пута ефективније од CFCs (<http://www.gaiabooks.co.uk/environment/methyl.html>). Као резултат, постепено укидање метил бромида је у току у цијелом свијету. (<http://mbao.org/mbrqa.html>, <http://www.pan-uk.org/pestnews/pn23/pn23p11a.htm>).

Етилен оксид је веома ефективан у убијању инсеката и гљивица; он се још увијек широко користи у болницама. Нажалост, кад су у питању умјетнички предмети, он се може заглавити у њиховим састојцима који садрже липиде, нпр. пергамент и кожа. Етилен оксид је такође високо токсичан за људе. Агенција САД за заштиту људске околине препоручује највише 1 ppm/дневно пондерисано временом (TWA). Ово је TWA у осмочасном радном дану. Поређења ради, узмите у обзир да су TWA-и за метил бромид и сулфурил флуорид 5 ppm.). Етилен оксид се даље класификује као сумњив у погледу канцерогености за људе. Библиотека Конгреса САД је недавно одредила да треба најмање 14 циклуса уклањања гаса прије него што остаци етилен оксида достигну довољно ниске вриједности да омогуће руковање са надимљаваним библиотекарским материјалом (Др С. Shahani, личне комуникације, 1994).

Константовано је да сулфурил флуорид, фумигант који одавно користе музеји у САД, у ствари топи површину неких система пигмената у испитивањима које је провела моја лабораторија у Музеју умјетности Метрополитан. У испитивању, овај фумигант је измијенио 10 од 11 система пигмената. Отада смо забранили употребу овог производа за било који умјетнички предмет у нашој збирци (Koestler et al., 1993).

### **Алтернативни приступи сузбијању инсеката или микроба у умјетнине**

#### *Висока температура*

У индустрији су били ефективни одређени нехемијски методи за искорјенавање инсеката, али они нису коришћени у музејима. Са топлотом је експериментисано у индустрији жита. Константовано је да је лакше убити инсекте излагањима високој температури него излагањем ниској температури. На примјер, иако смртоносне температуре и изложеност варирају међу врстама

инсеката (Arbogast, 1981; Kenaga i Fletcher, 1942), сматра се да је изложеност 130 F у току три сата довољна да убије све фазе и врсте (Story, 1985). Истраживачи су такође установили високе температуре које нису смртоносне, али при којима у потпуности нестаје репродукција (Arbogast, 1981).

Без обзира на очигледну успјешност у убијању инсеката, топлота има ефекте на предмете због којих је вјероватно да су неприхватљиви за примјену у музејима. Уобичајена научна техника за конзервацију за вјештачи старе материјале користи топлоту. Ако температуре протока адхезива и премаза спадају у опсег изложености топлоти, ово би могло представљати велике проблеме. Забринутост у погледу дрвета је што са порастом температуре постоји реверзибилно смањење чврстоће дрвета, које може бити трајно при високим температурама или продуженој изложености (Hoadley, 1980). Такође се код дрвета јавља ширење усљед топлоте, тако да би требало узети у обзир оријентацију зрна у спојевима и потпорама (Story, 1985). Чак озбиљнија и од саме високе температуре јесте промјена релативне влажности која је прати; скупљање органског материјала које је посљедица сушења како расте температура је веће од контраефекта термалног ширења (Hoadley, 1980).

Такође је експериментисано са енергијом микроталаса и енергијом осталих радио фреквенција као метода за убијање инсеката (Nelson, 1973). Микроталасна енергија се односи на опсег фреквенције радио енергије са фреквенцијама између 1GHz и 100GHz, или таласним дужинама између 30 цм и 3 мм. Енергија у овом опсегу повећава вибрацију дуж хемијских веза, ствара топлоту трењем овог покрета. Чини се да је смртоносни ефект у овом опсегу углавном топлотне природе, или бар испитивања нису успјела да изолују смртоносне не-термалне ефекте ове енергије на инсектима (Nelson, 1973). Међутим, код инсеката који су преживјели примијећене су неке мутације и физичке повреде (Nelson, 1973). Као и код третмана са топлотом, под-смртоносне дозе ће смањити репродуктивност, и, уопште, одрасли су осјетљивији на овај третман од незрелих фаза (Nelson, 1973).

Издвајањем енергије радио фреквенције из осталих техника топлотом у смислу њених потенцијалних примјена, теоретисано је да би се на овим енергетским нивоима диелектрична својства материјала домаћина и инсекта могла искористити да дају селективно загријавање инсекта на свом материјалу домаћину, те тако да се избјегне оштећење материјала домаћина (Nelson, 1973), на примјер дрвета. Поред диелектричких својстава материјала или организма и фреквенције примијећене енергије, температура и садржај влаге одређују стопу ресорпције енергије по материјалу. На основу експеримената ова теорија није показала да има досљедну поузданост, као што би се могло очекивати од броја варијабли које се морају контролисати. Бољи степен селективног гријања (загријавања) инсеката над њиховим материјалом-домаћином је добијен при ниским нивоима радио фреквенције (10-100 MHz) прије него на нивоима микроталасне енергије (Nelson, 1973). Стога се не чини да поступци који укључују микроталасну енергију и осталу енергију радио фреквенци обећавају више у смислу примјене у музејима од неких других третмана топлотом.

## *Ниска температура*

Употреба залеђивања за контролу загађености инсектима у музејима и архивима је доста раширена, упркос недостатку научних испитивања којим се доказује његова безбједност. Поступак је успјешан, ако се исправно проведе, и економичан је за велики број предмета. Међутим, постоје неке суштине да је могуће да мијешани материјали нису одговарајући за ову процедуру. Један од разлога за забринутост је могућност смрзавања воде у артефакту. Наводи се да је већи на органских материјала у музејима у опсегу садржаја влаге од 8 до 12% (Florina, 1986; Strang, 1995), и вјерује се да је ова влага “везана” те да стога није доступна за формирање леда. Да ли је ово истина за стварне ситуације које укључују старе материјале, није јасно. Још једно неријешено питање је степен, ако постоји, бубрења до којег долази у дрвету услед мијењања садржаја релативне влажности до којег долази за вријеме смрзавања и загријавања предмета и ако то представља проблем у дугом року за дрвене предмете. Оно мало објављених студија је процјењивало ефекте залеђивања на модерне материјале, нпр. папир (Björdal, 1998), вуно (Jansson and Shishoo, 1998), и памук, лан и вуно (Peacock, 1999) а не на стварне музејске предмете, тако да је употреба резултата проблематична. Чак и код тих испитивања постојала је индикација за могуће проблеме, и то нарочито код папира и лана. Надаље, у овом подручју је потребно опсежно научно истраживање.

## *Радијација*

Ултравиолентно зрачење се користи за убијање инсеката, с тим што истраживање показује да што је краћа дужина таласа УВ енергије, већи је морталитет код инсеката (Cohen et al., 1973). Будући да се константно боримо да заштитимо своје музејске збирке од изложености ултраљубичастој енергији, мора бити очигледно да би овај опсег енергије био неодговарајући музејски биоцид.

Гама зрачење се разматрало као друга могућност. У барем три експеримента је показано да доза од 30 до 50 крада или .03 до .2 kGy (1Gray=1 J/kg) убија или стерилише све фазе и врсте испитиваних инсеката (Brower и Tilton, 1972; Brower, 1973; Tilton et al., 1978), при чему су јаја била најосјетљивија фаза и одрасле јединке свих врста најмање осјетљиве на радијацију (зрачење). Потпуна стерилизација подразумијева једнако успјешно искорјењивање инсеката, али у дужим временским периодима, често у току неколико седмица; за брзо убијање свих фаза би требало преко 100 крада (Brower и Tilton, 1972).

Разговарано је о штетном зрачењу и вршена су испитивања његовог утицаја на музејску и архивску грађу. Story (1985) се позива на негативне ефекте гама зрачења на одређену пластику, укључујући полиацетале, полипропилен и флуорокарбоне, као и на могуће измјене боје код других пластика, као што су поливинил хлориди и акрилик, као и стакло. Ирадијација узрокује унакрсно повезивање и ланчано дијељење код различитих органских полимера који се могу наставити дуго након дозе ауто-оксидативном деградацијом (Charpas and McCall, 1984). Физичке промјене везане за деградацију укључују смањење еластичности, чврстоћу на истезање, и растворљивост папира који садржи целулозу и/или лигнин (Horakova i Martinek, 1984). Неживи материјал може издржати одређену количину радијације изнад које може доћи до пуца-

ња (неуспјеха). Осим тога, радијација може измијенити научни садржај материјала те довести до губитка информација или погрешних закључака у будућим тестовима. Испитивања која су недавно провели Erhardt et al. (2003) на мијешаним материјалима који су били изложени гама зрачењу за дезинфекцију поште која је достављана у дијелове САД приказала су опсег штете до које је долазило на папиру, филму, стаклу и драгуљима. Вјероватно је да је неки од ових материјала дио умјетности у дрвету или предмет културног наслеђа, те стога може показати неке од истих нежељених нуспојава ако буде изложен гама зрацима, као што може и само дрво.

### **Контрола паразита асфискацијом инертним гасовима**

Истраживања проведена у протеклих 20 година су показала да је употреба аноксичних гасова успјешна код искорјењивања загађења инсектима у музејским предметима. Аноксични гас је онај који је у суштини инертан; примјери су хелијум, азот и аргон. Ти гасови су нетоксични, незапаљиви и нерективни. Азотни гас су пољопривредне службе и владине агенције користиле деценијама широм свијета за сузбијање инсеката у силосима са житом. Гас хелијума се користи дуже од 45 година за заштиту једног од најважнијих историјских докумената у САД, Декларације о независности; недавно је замијењен гасом аргона.

Од раних 1990-их гас аргона је била техника избора у Метрополитан музеју умјетности, такође се користи у музејима Smithsonian института, Музеју умјетности у Сао Паулу, Бразил, Музеју умјетности у Сингапуру и Центру за рестаурацију у Републици Словенији, међу осталим умјетничким збиркама.

Концепт аноксичног третмана је једноставан и једнак је за све аноксичне гасове који се користе. Он се у основи састоји од сљедећа три корака:

- изоловање предмета од окружења богатог кисеоником;
- замјена ваздуха богатог кисеоником аноксичним ваздухом (са мање кисеоника); и
- чекања да инсекти умру и затим уклањања предмета из његовог аноксичног окружења.

Иако једноставног концепта, за сваки корак је потребно разумијевање физичких, биолошких фактора и фактора људске средине који могу утицати на процедуре. Преглед ових корака даје Koestler (1992, 2001).

Изолација предмета је можда најважнија од ова три корака. За изоловање предмета потребна је изградња одговарајуће баријере (препреке) око објекта. За аноксично окружење које је потребно да се убију све фазе инсеката у разумном временском периоду (одн. 3 – 4 седмице) потребно је окружење с кисеоником које је мање од око 500 ppm (0.05%) O<sub>2</sub>. Ово значи да било који систем затварања (ограђивања) мора успјешно одржавати тако низак степен кисеоника у продуженим временским периодима, у идеалном случају уз минималну интервенцију и трошкове.

За ово постоје у основи два метода: изградити или систем контејнера са чврстим зидовима или са меким зидовима. Систем контејнера са чврстим зидовима би могао бити економичан ако је потребно третирати велики број објеката, с тим да комора континуирано ради много година. У таквом систему све карике – систем контроле влаге, систем праћења кисеоника, систем конт-

роле температуре, систем протока гаса, или систем 'рибања' кисеоника – су "уплетене тврдом жицом 'hard-wired' у странице коморе. Свака страна мора бити непропусна за цурење, а то морају бити и спојеви врата на комори. Такве коморе су јефтине, по наруџбини од \$100,000 до 200,000, и имају тенденцију да цуре, чиме постаје тешко одржавати нивое кисеоника испод 0.3% без константног уношења новог гаса или константног "рибања" кисеоника из ваздуха. За комору је такође можда потребан уговор за сервисирање и техничар који ће радити пуно радно вријеме, чиме се повећавају укупни трошкови рада.

Систем затварања с меким зидовима се може направити од пластике која се затвара топлотом, која се може направити према спецификацијама стопа за ниско цурење кисеоника, које омогућавају постизање и одржавање потребног окружења са малом количином кисеоника. У таквом систему, сви контролни системи за температуру, влагу и ниво кисеоника се спајају на привременој основи, према потреби. Након што се постигну интерни услови у ограђеном простору, обично не постоји потреба за њиховим мијењањем или поновним прилагођавањем. Праћење врећа постаје ствар брзе визуелне инспекције и поременог провјеравања инструментима.

Систем ограђивања с меким зидовима је могуће лако транспортовати на мјесто загађеног предмета као и изградити га око тих предмета. Ово је нарочито важно за велике дрвене предмете из културног наслеђа или дрвене предмете чудних облика (олтари, оргуље, кипови, креденци...). То смањује цијену третмана, будући да паковање и транспорт предмета постају непотребни. Поред тога, третман на лицу мјеста смањује ризик ломљења у току транспорта и ризик загађења других предмета у току паковања, транзита и третмана.

Систем затварања са чврстим зидовима може бити покренут само до седам пута годишње због дугог времена потребног за третирање како би се осигурала смрт инсеката, а након што операција почне она се не може прекидати да би се стављали нови предмети у комору. Међутим, могуће је брзо и лако изградити засебан систем затварања с меким зидовима око сваког загађеног предмета, при том не сметајући предметима који су већ подвргнути третману.

Још једна предност система с меким зидовима је то што се он може изградити тако да одговара облику загађеног(их) предмета, тако смањујући количину потребног гаса. Насупрот томе, систем коморе захтијева исту количину гаса за третман било да се у њој налази један или много предмета.

Други недостаци система са чврстим зидовима су да спој на вратима захтијева одржавање или замјену неком фреквенцијом, а утоварање и истоварање из коморе може бити дуготрајно и потенцијално опасније за предмете него са системом с меким зидовима.

Почетна цијена система с врећама с меким зидовима је по наруџбини од \$20,000 до \$40,000, у зависности од количина нарученог материјала.

### *Избор инертног гаса*

Инертни гасови који се користе у области музеја за ограничење или искорјењивање инсеката су хелијум, азот и аргон. Сваки има одређене предности и недостатке. Гас са највише предности и најмање недостатака је аргон. У наставку је дат сажетак разлога:

*Хелијум.* Хелијум се користи више од 45 година за очување једног од најважнијих историјских докумената у САД, Декларације независности. Ограђивање за овај документ је био нешто мањи технички подухват јер се хелијум дифундује тако лако кроз већину материјала. Хелијум се сматра у потпуности инертним гасом. То значи да он не реагује ни са чим другим. Хелијум је најјефтинији од три гаса која су споменута овдје, али с обзиром на вриједност документа који је њиме заштићен, цијена је била занемарљив фактор. Било је важније да гас није у стању да реагује ни са чим у документу и да гас не охрабрује нити подржава анаеробни живот (то јест, живот који расте у одсуству кисеоника). Упркос предностима овог гаса, кућишта (сандуци, кутије) са хелијумом су замијењена кутијама пуњеним аргоном; један од разлога је што код аргона има мање цурења.

*Азот.* Азот се већ деценијама користи за сузбијање инсеката при складиштењу хране у силосе. Површно разумијевање његовог кориштења у ту сврху може довести до закључка да се он може користити и у пољу умјетности, али постоје неки потенцијални недостаци који ограничавају његову употребну вриједност у умјетности. Као прво, азот није у ствари инертан. Иако се у уобичајеним условима просторије сматра да није реактиван, гас азота је суштински услов за неке анаеробне микроорганизме – микроорганизме који могу преживјети при ниским нивоима кисеоника и када ниво влажности у материјалу погодује њиховом расту.

*Аргон.* Аргон је гас избора за многе збирке и музеје, укључујући Метрополитан Музеј умјетности, који је био први у музејској заједници који користи овај гас. Аргон има инертност хелијума, али је његова цијена нижа. Такође га је лакше чувати у ограђеном простору од хелијума, будући да је то велика молекула. Аргон нема никаквих недостатака које има азот; ниједан организам га не користи као 'нутриент' и не може бити конвертован ни у један други производ. Поред тога, аргон је тежи од кисеоника, те ће стога потонути на дно ограђеног простора, гурајући сав преостали кисеоник на врх тог простора, док ће се азот попети на врх. Ово има ефекат да производи окружење са нижим степеном кисеоника на дну ограђеног простора, гдје се предмет обично налази. У случају предмета од дрвета, он ће изгурати кисеоник ван ћелијског лумена те тако смањити вријеме које је потребно предмету да би био у аноксичном окружењу како би третман био успјешан. Valentin и др. (1992) су установили да је аргон за 25–50% бржи у убијању инсеката од азота. Они су ову разлику приписали бржем сушењу инсеката у аргону. Изгледа вјероватније да је узрок разлике способност аргона да изгура лакше молекуле кисеоника из предмета и ван из инсеката, те тако производи окружење са нижим кисеоником брже и ефективније него што је то случај са азотом.

### *Дужина третмана*

Дужина третмана (LOT) за предмет зависи од предметне врсте инсеката, врсте зараженог материјала, густоће материјала и садржаја влажности. Објављене су бројне лабораторијске студије о инсектима изолираним у стакленим посудама (Burke, 1993; Rust et al., 1993; Koestler, 2001). Ови извјештаји наводе да се дужина LOT-а креће од једне до двије седмице за азот, у зависности од температуре и влажности. Студије поређења LOT-а за инсекте у аргонском

за разлику од азотног окружења су показале да је гас аргона 25–50 процената бржи од азота при истим условима у погледу температуре и влажности (Valentin et al., 1992).

Подаци дужине третмана (LOT) из литературе до сада су засновани или на инсектима изолираним у лабораторијским контејнерима или из нових намјерно загађених комада дрвета. Иако се може чинити разумно (оправдано) да се пројектују LOT резултати из ових испитивања на стварне загађене предмете, постоје проблеми код овог приступа. Инсекти у предметима су добро аклиматизовани на своју средину и могу бити физички изоловани од окружења (нпр. око њих може бити упаковане нечистоће од инсеката – измет) поред тога што су у неколико различитих физиолошких стања (нпр. фаза јајета, фаза ларве са једним до дванаест одвојених чланконожаца, стања пупања или одрасли). Испитивања које су провели Navarro (1991) и други показују да различите фазе циклуса живота инсекта реагују другачије на третман инертним гасом. Треба напоменути да у пракси није увијек лако идентификовати фазу животног циклуса инсекта у неком предмету.

Мјерења стварних LOT вриједности коришћењем FTIR система респирације за откривање  $\text{CO}_2$  који издишу инсекти сакривени у умјетничким предметима, прије и након третмана, дала су тачније податке (Koestler, 1993; Koestler et al., 2000). Као резултат ових директних мјерења стварних умјетничких предмета констатовано је да је литература у неким случајевима драстично потцијенила временски период потребан да би се убили инсекти. Минимално трајање времена третмана аргоном би требало да је 3–4 седмице а за азот 25–50% дуже или 5–6 седмица како би се осигурало одумирање животних фаза инсеката.

### ***Метода са аноксичним гасом за сузбијање гљивица***

Искорјењивање загађења гљивицама је теже од елиминисања инсеката. Као и код сузбијања инсеката, такође постоје показатељи који указују на разлику у ефикасности аргона у поређењу са гасом азота код сузбијања гљивица (Tavzes et al., 2001, 2002, 2003). Још увијек постоји значајан степен неизвјесности у вези са дужином изложености и минималне концентрације кисеоника која је потребна за контролу напада гљивица (плијесан, труло дрво) на умјетничким предметима. Иако је за већину гљивица које разарају дрво потребан слободан кисеоник ради неколико метаболичких реакција које укључују ослобађање или синтезу енергије (Zabel i Morell, 1992), неке гљивице могу преживјети у затвореним посудама дуже од двије године (Scheffer, 1986). Кисеоник је такође директан реагенс у реакцијама каталисаним ензимима распадања оксидативног лигнина (Kirk i Cullen, 1997). Стога су развијене методе које користе континуирана мјерења потрошње кисеоника и производње угљен диоксида како би се открило присуство и активност гљивица које уништавају дрво у дрвету (Ternifi, 1999; Serin, 1999).

Иако постоји неколико физиолошких испитивања о ефекту различитих концентрација кисеоника на раст и преживљавање гљивица и опсег распадања које оне проузрокују, ниједна студија се није конкретно бавила коришћењем окружења са малим степеном кисеоника за њихово убијање. Jensen (1967) је пријавио да је производња гљивичне биомасе значајно нижа при концент-



рацији кисеоника од 15%, те да је у одсуству кисеоника она нестајала. У супротном, кад је концентрација кисеоника држана на фиксном нивоу а варирана концентрација угљен диоксида, количина суве масе произведене као концентрације карбон диоксида се повећавала. Способност неколико врста гљивица да деградирају дрвене блокове увелико је одложена када је садржај кисеоника био чак 1% низак или када је ниво CO<sub>2</sub> повећан на 10% (Highley et al., 1983). С друге стране, на делигнификацију није утицао садржај CO<sub>2</sub> од 14% у атмосфери, те је био само у малој мјери успорен при 7% O<sub>2</sub> у 'balk' фази гаса, концентрација кисеоника унутар дрвених честица би могла бити нижа (Reid, 1985). Способност гљивица да преживе у окружењу са малом количином кисеоника најбоље описује Scheffer (1986). Он је доказао да су гљивице које су најдуже преживјеле најчешће биле гљивице које разарају језгро а не биљне сокове или производе. Неке гљивице су чак могле преживјети у херметички затвореним посудама у периодима дужим од двије године. Међутим, већина врста гљивица које су испитиване су помрле у року од три мјесеца, а културе двије врсте су помрле у року од седам дана.

Ниједан од горе поменутих аутора није користио чист аргон или гас азота да замијени атмосферу кисеоника и карбон диоксида у експерименталним посудама. Tavzes et al. (2001) су доказали да су неке врсте смеђих гљивица изгубиле значајну одрживост када су биле узгајане у медијуму са чистом културом (PDA) при изузетно ниским концентрацијама кисеоника генерисаним аргоном или гасом азота.

Стављањем гљивица директно у окружење са ниским кисеоником скраћивало је потребно вријеме за искорјењивање гљивица на медијуму раста у поређењу са Scheffer-овим подацима (1986), добијеним постепеном "само-асфиксацијом" гљивица. Кад су micelle расле на глатким медијима, није било значајне разлике у ефективности ова два гаса (Ar или N<sub>2</sub>). Сматрало се да је разлог то што су гљивице могле одмах ресорбовати нутриенте из ПДА медијума а да не морају да луче ензиме за које је потребан кисеоник као што би било потребно да су гљивице расле у дрвеним блоковима. Гљивице које су расле на дрвеним блоковима асфиксирале су брже од оних које су узгајане на култивисаним плочама, а оне стављене под аргон умирале су брже од оних под нитрогеном, на дрвеним блоковима (Tavzes et al., 2002).

Провођена је још једна серија испитивања, асфиксација дрвених блокова загађених гљивицама у пластичним ограђеним просторима, како би се што је више могуће приближиле практичне процедуре очувања за сузбијање инсеката. Будући да се доказало да аргон има већу ефикасност од азота у смањивању одрживости гљивичних култура при њиховом загађењу дрвених блокова, за ово испитивање је коришћен само овај гас. Изабрано је пет врста гљивица, добро познатих уништавача умјетнина и историјских предмета од дрвета, за које се знало да се разликују у својој осјетљивости на аноксију (Scheffer, 1986). Резултати су показали да је асфиксација, генерално говорећи, одговор који је специфичан за вријеме и врсту, међутим, била је краћа у овим испитивањима него у Scheffer-овом испитивању (Tavzes et al., 2003).

Како би се осигурало успјешно кориштење аноксије индуковане аргоном при искорјењивању гљивица, потребно је идентификовати врсте које загађују предмет. Молекуларне технике идентификације DNK-а обећавају да ће

то моћи да се уради (Adair, 2002; Di Bonaventura et al., 2003). Брзо идентификовање врста гљивица које загађују у комбинацији са аргон аноксичном процедуром би било важно како би се убрзао напор на очувању умјетничког предмета и смањила могућа штета изазвана гљивицама.

## Abstract

Traditional chemical treatments can damage the object and change the original wooden substance. Biocides are also dangerous for conservators and environment as well as people who are exposed to biocide vapours in interior. Therefore, conventional biocides for wood preservation were banned or limited in use. Consequently, preventive protection of wooden heritage must be performed by technical manners (construction by design, high and low temperature, dry conditions). For repressive purposes, asphyxiation with inert gases like argon or nitrogen was introduced. In this way, wood pests – wood boring insects and dry rot fungus *Serpula lacrymans* – can be eradicated. Treatment with argon is the most appropriate and does not damage art materials. However, after treatment, wooden heritage must be kept in controlled environment.

**Key words:** wooden heritage, wood preservation, biocides, asphyxiation, inert gases, argon, nitrogen

Превод с енглеског: Небојша Милићевић

## Литература

- Adair, S., S.H. Kim, C. Breuil. 2002. A molecular approach for early monitoring of decay basidiomycetes in wood chips. *FEMS Microbiology Letters*, 211:117-122.
- Allsopp, D., and K.J. Seal. 1986. *Introduction to Biodeterioration*. Edward Arnold Ltd, 41 Bedford Square, London WC1B 3DQ, 136pp.
- Arbogast, R. T., 1981. Mortality and reproduction of *Ephestia cautella* and *Plodia interpunctella* exposed as pupae to high temperatures. *Environmental Entomology*, 10(5): 708-11.
- Björkdal, L., 1998. Effects of repeated freezing on paper strength. In: *Proceedings of the Third Nordic Symposium on Insect Pest Control in Museums*. Stockholm. ICCROM. Via di San Michele 13, I-00153, Rome, 54-56.
- Brower, J.H., 1973. Sensitivity of *Tenebrio molitor* and *T. obscurus* to gamma irradiation. *Journal of Economic Entomology*, 66(5):1175-1179.
- Brower, J. H. and E. W. Tilton. 1972. Gamma-radiation effects on *Trogoderma inclusum* and *T. variabile*. *Journal of Economic Entomology*, 65(1):250-254.
- Burke, J., 1993. Current research into the control of biodeterioration through the use of thermal or suffocant conditions. *AIC news* 18 (2), 1-3.
- Caneva, G., M.P. Nugari, and O. Salvadori. 1991. *Biology in the Conservation of Works of Art*. ICCROM, Via di San Michele 13, I-00153, Rome, 182pp.
- Cepin, J., 1999. Monitoring of fungal decomposition of wood with measuring the consumption of oxygen, production of CO<sub>2</sub> and change in temperature. Graduation thesis, University of Ljubljana.
- Chappas, W. J. and N. McCall. 1984. The use of ionizing radiation in disinfestation of archival and manuscript materials. In: Barry, S. and D.R. Houghton (Eds.), *Biodeterioration VI. Proceedings of the Sixth International Biodeterioration Symposium*, Washington, D. C., C.A.B. International, 370-373.
- Cohen, S. H., J. A. Sousa, and F. Roach. 1973. Effects of UV irradiation on nymphs of five species of cockroaches. *Journal of Economic Entomology*, 66(4):859-862.
- Dawson, J.E., 1986. Effects of pesticides on museum materials: A preliminary report. In: Barry, S. and D.R. Houghton (Eds.), *Biodeterioration VI. Proceedings of the Sixth International Biodeterioration Symposium*, Washington, D. C., C.A.B. International, 350-354.
- Di Bonaventura, M.P., DeSalle, R., Eveleigh, D.E., Baldwin, A., and Koestler, R.J., 2003. Studies of fungal infestations of Tiffany's Drawings: Limits and advantages of classical and molecular techniques. In: Koestler, R.J., Koestler, V.R., Charola, A.E., and Nieto-Fernandez, F.E., (Eds.), *Art, Biology, and Conservation: Biodeterioration of Works of Art*. The Metropolitan Museum of Art, New York, Yale University Press, 94-109.

- Erhardt, D., Tumosa, C.S., von Endt, D. and el-Easely, A.-S.M., 2003. Collateral damage: anthrax, gas, and radiation. In: Koestler, R.J., Koestler, V.R., Charola, A.E., and Nieto-Fernandez, F.E., (Eds.), *Art, Biology, and Conservation: Biodeterioration of Works of Art*. The Metropolitan Museum of Art, New York, Yale University Press, 73-79
- Florian, M.L. 1986. The freezing process - Effects on insects and artifact materials. *Leather Conservation News*, 3(1):1-17.
- Highley, T. L., S.S. Bar-Lev, T.K. Kirk, M.J. Larsen. 1983. Influence of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> on wood decay by heartrot and saprot fungi. *Phytopathology*, 73, 630-633.
- Hoadley, B. 1980. *Understanding Wood*. The Taunton Press. Newtown, Connecticut.
- Horakova, H., and F. Martinek. 1984. Disinfection of archive documents by ionizing radiation. *Restaurator*, 6:205-216.
- Jansson, P. and R. Shishoo. 1998. Effect of repeated freezing treatment on the mechanical properties of new wool fibres. In: *Proceedings of the Third Nordic Symposium on Insect Pest Control in Museums*. Stockholm. ICCROM. Rome, 57-60.
- Jensen, J.F., 1967. Oxygen and carbon dioxide affect the growth of wood decaying fungi. *Forest Science*, 13(4), 304-389.
- Kenaga, E.E. and F.W. Fletcher. 1942. Effects of high temperature on several household and storage grain pests. *Journal of Economic Entomology*, 35(6):944.
- Kirk, K.T., and D. Cullen. 1997. Enzymology and molecular genetics of wood degradation by white-rot fungi. In: Young, R.A., and M. Akhtar, (Eds.), *Environmentally Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 273-307.
- Koestler, R.J., 1992. Practical application of nitrogen and argon fumigation procedures for insect control in museums objects, in preprints of the 2nd International Conference on Biodeterioration of Cultural Property, Yokohama, Japan, 96-98.
- Koestler, R.J., 1993. Insect eradication using controlled atmospheres and FTIR measurement for insect activity, ICOM Committee for Conservation 10th Triennial Meeting, Washington, D.C., 882-885.
- Koestler, R. J., 2001. Detecting and Controlling Insect Infestation in Fine Art. In: *Pacific Island 2000, Proceedings of the Fifth International Conference on Easter Island and the Pacific*. Eds. Stevenson C. M., Lee G., and Morin F.J. Easter Island Foundation, Bearsville Press, PO Box 6774, Los Osos, CA 93412, 541-545.
- Koestler, R.J., S. Sardjono, and D.L. Koestler. 2000. Detection of insect infestation in museum objects by carbon dioxide measurement using FTIR. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 46(4):285-292.
- Koestler, R.J., E. Parreira, E.D. Santoro, and P. Noble. 1993. Visual effects of selected biocides on easel painting materials, *Studies in Conservation*, 38:265-273.
- Navarro, S., 1991. Application of modified atmospheres in the food industry, in *Kentucky Fumigation Workshop*, Nov. 14-15, 1991. Christensen's Urban Insect Solutions, Inc., 1420 Jandymar Ct., Lexington, KY 40517-3824, 26-31.
- Nelson, S.O., 1973. Insect control studies with microwaves and other radio-frequency energy. *Bulletin of Entomological Society of America*, 19:157-163.
- Peacock, E.E., 1999. A note on the effect of multiple freeze-thaw treatment on natural fibre fabrics. *Studies in Conservation*, 44:12-18.
- Pinniger, D., 1994. *Insect Pests in Museums*. 3<sup>rd</sup> Edition. Archetype Publications Ltd. 31-34, Gordon Square, London WC1H 0PY, 58pp.
- Reid, I.D., 1985. Biological delignification of aspen wood by solid-state fermentation with the white-rot fungus *Merulius tremellosus*. *Applied and Environmental Microbiology* 50, 133-139.
- Rust M.K., J.M. Kennedy, V. Daniel, and J.R. Druzik. 1993. The feasibility of using modified atmospheres to control insect pests in museums. In: *Postprints of the AIC wood artifacts group*, AIC, Washington, D.C., 81-113.
- Scheffer, T. C., 1986. O<sub>2</sub> requirements for growth and survival of wood-decaying and sapwood-staining fungi. *Canadian Journal of Botany*, 64, 1957-1963.
- Story, K.O., 1985. *Approaches to Pest Management in Museums*. Conservation Analytical Laboratory (now called Smithsonian Center for Materials Research and Education), Smithsonian Institution, Suitland, Maryland 20746, 165pp.

- Strang, T., 1995. The effect of thermal methods of pest control on museum collections. In: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Biodeterioration of Cultural Property. Bangkok, Thailand, 334-353.
- Tavzes, Ć., F. Pohleven, and R.J. Koestler. 2001. Effect of anoxic conditions on wood decay fungi treated with argon or nitrogen. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 47(4), 225-231.
- Tavzes, Ć., F. Pohleven, M. Jenišek, and R.J. Koestler. 2002. Effect of asphyxiation on wood decay fungi treated with argon and nitrogen gas. In: International Research Group on Wood Preservation, IRG Documents 2002. IRG Secretariat, Stockholm, iRG/WP 02-10452.pdf, 21pp.
- Tavzes, Ć., J. Pohleven, F. Pohleven, and R.J. Koestler. 2003. The use of anoxic conditions to eradicate fungi in wooden objects. In: Koestler, R.J., Koestler, V.R., Charola, A.E., and Nieto-Fernandez, F.E., (Eds.), *Art, Biology, and Conservation: Biodeterioration of Works of Art*. The Metropolitan Museum of Art, New York, Yale University Press, 426-439.
- Ternifi, M., 1999. Intensity of wood decay caused by *Armillaria mellea* (Vahl: Fr.) Kummer and *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. Graduation thesis, University of Ljubljana.
- Tilton, E.W., J.H. Brower, and R.R. Cogburn. 1978. Irradiation disinfestation of cornmeal. *Journal of Economic Entomology*, 71(4):701-03.
- Valentin, N., M. Alguero, and C. Martin de Huas. 1992. Evaluation of disinfection techniques for the conservation of polychrome sculpture in Iberian museums, In: International Institute for Conservation. *Conservation of the Iberian and Latin American Cultural Heritage*, 165-167.
- Van den Kamp, B.J., and A.A.Gokhale. 1978. Decay resistance owing to near-anaerobic conditions in black cottonwood wetwood. *Canadian Journal of Forest Research* 9, 39-44.
- Worall, J. J., and J.R. Parmeter Jr. 1983. Inhibition of Wood-Decay Fungi by Wetwood of White Fir. *Phytopathology*, 73(8), 1140-1145.
- Zabel, R. A., and J.J. Morell. 1992. *Wood microbiology: Decay and its prevention*. Academic Press, Inc., pp. 9.0-115.