



Слободан
БОГОЈЕВИЋ

ИНЕРТНИ ГАСОВИ У ПРОЦЕСУ КОНТРОЛЕ МУЗЕЈСКИХ ИНСЕКТА

УДК: 069.44:661.16

АПСТРАКТ: Велики број музеја и научно-истраживачких институција у свету бави се применом инертних гасова (азотом и аргоном) и могућностима њиховог коришћења у области заштите културних добара (процеси биолошке контроле и одржавање инертне атмосфере за чување музејских предмета). Широка је примена и гасовитог угљен-диоксида, посебно када је у питању дезинсекција већих предмета и непокретних културних добара. Највеће предности ових гасова су нереактивност и нетоксичност, као и то да након третмана на предмету не остају резидуалне супстанце. У раду се анализирају методе, неопходна опрема и материјали, као и досадашњи резултати истраживања и примене инертних гасова у циљу биолошке контроле.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: конзервација, инертни гасови, угљен-диоксид, биолошка контрола

Дезинсекција музејских предмета

Биолошка оштећења културних добара настају дејством плесни, бактерија, инсеката и глодара. Уколико се у музејским просторима одржава одговарајућа температура амбијента и уколико није присутна повећана влажност, до развоја плесни и бактерија неће ни доћи. Само се инсекти и глодари могу развијати и под нормалним условима чувања¹. Током векова, један од највећих узрочника губитка културног наслеђа, односно музејских колекција, били су инсекти (ксилофаги (дрвоточац), мољац, књишка ваш, шећераш, правокрилци, тврдокрилци, стенице, бубашвабе...). Најчешће мете инсеката су органски материјали (папир, пергамент, дрво, текстил, кожа...). Инсекти могу делимично или потпуно да девастирају објекат и да проведу више месеци или година у стадијуму ларве. Њихово присуство је често видљиво само када изађу из предмета као одрасле јединке, при чему иза себе могу оставити рупице и прашкасте остатке (сварене материјале).

1 Вера Радосављевић, Радмила Петровић, *Конзервација и рестаурација архивске и библиотечке грађе и музејских предмета од текстила и коже*, Архив Србије, Београд, 2000, 39.

Дугогодишња пракса у борби са инсектима по музејима, архивама и библиотекама показала је да је много боље спречити инфекцију, него уништавати инсекте кад су се већ једном развили. У неким установама уведена је пракса да се сав материјал пре смештаја у депое стерилише. У данашње време посебна пажња посвећује се превентивној конзервацији која подразумева редовну биолошку контролу и одржавање музејског простора, оптимално одржавање физичких параметара (температура, релативна влажност...), одговарајући смештај и паковање предмета. У светским музејима уводи се појам *pest management*.

За дезинсекцију (некад у комбинацији са дезинфекцијом) културних добара најчешће су се користиле, а у неким музејима се и даље користе, хемијске методе на бази следећих пестицида: етилен-оксид, органохлорна једињења (етилен-дихлорид, ДДТ (дихлор-дифенил-трихлор-етан)), халогени угљоводоници (угљен-тетрахлорид, метил-бромид), угљен-дисулфид, органофосфати, неоргански (фосфин) итд. Употребљавају се кађењем, димљењем у комори са вакуумом и без вакуума, прскањем и запрашивањем за превенцију, уништење, одбијање и миграцију инсеката. На тржишту је присутан и велики број инсектицида који се продају у виду раствора, спрејева, гелова и капсула.

Готово сви наведени пестициди су изузетно токсични. Продужено дејство и минималних концентрација може довести до озбиљних поремећаја, а нека од ових средстава имају и канцерогено дејство. Одређене хемикалије су због штетног дејства на здравље људи и животну средину забрањене или је њихово коришћење значајно ограничено. Многи пестициди имају кратко време распада и брзо се деградирају у спољној средини. Други су отпорнији и могу остати на предметима и по неколико декада након третмана. Такви предмети дуготрајно су контаминирани, што утиче на ризичну манипулацију и појаву токсичне атмосфере у депоима и изложбеним просторима која угрожава здравље запослених и посетилаца. Такво стање предмета отежава и поступке излагања, истраживања и комуникације. Пестициди и растварачи утичу на лагано девастирање предмета, а наредни конзерваторски третмани не могу се вршити без претходног уклањања пестицида. Данас се улажу велики напори како би се откриле адекватне методе за деконтаминацију и чишћење овако третираних музејских збирки.

Имајући на уму ризике класичних хемијских метода дезинсекције, данас се препоручују знатно боље и безбедније методе за уништавање инсеката: активне биолошке супстанце као што су хормони *pyrethrums* и *juvenile growth hormones*, природна средства за одбијање инсеката, методе третирања нетоксичним гасовима, методе замрзавања и топлотни (термо) третман, дезинсекција под делимичним вакуумом (најчешће за дрвене предмете) и нуклеарне методе (за предмете изложене дејству инсеката-ксилофага). Тема рада односи се на примену инертних и најмање токсичних гасова (аргон, азот и угљен-диоксид (CO_2)), односно примену система аноксије у циљу биолошке контроле.

Аноксија је стање у коме ткива организма не добијају довољну количину кисеоника (третирање музејских предмета у средини минималне концентрације

кисеоника). Метод је нетоксичан, има већу дозу инертности и мању могућност оштећења предмета. Овом методом се успоравају и заустављају биолошка оштећења и успоравају површинска оксидација и губитак боје (аноксија није смртоносна за фунги).

Идеална метода за дезинсекцију треба да задовољи следеће стандарде: 1) отпорност, односно пасивност предмета током третмана; не угрожавање интегритета предмета; мора се избећи могућност физичко-хемијских промена на предмету, као и трансформација његових саставних делова; 2) стабилност хемијског састава третмана (у свом саставу не садржи штетне примесе и при свом разлагању их не ослобађа); 3) ефикасност (дезинсекција у најоптималнијем временском периоду) уништава инсекте у свим стадијумима; 4) прилагодљивост на различите конзерваторске проблеме и различите материјале; 5) могућност третмана за масивне предмете; 6) еколошке и безбедносне факторе по запослене и околину; 7) економски аспект (неопходна улагања, опрема, текући трошкови, људски ресурси).

Механизам морталитета инсеката

Механизам сушења даје најбоље објашњење како недостатак кисеоника (аноксија) изазива повећани морталитет инсеката. Инсекти имају добар респираторни систем који утиче на дехидратацију у недостатку кисеоника и у присуству умерених количина CO_2 . Смртност генерално расте када се фаворизују услови дехидратације. Тако, повећање температуре или смањење влажности чини аноксију знатно ефикаснијом методом. Поред тога, морталитет расте са губитком масе, што се под условима аноксије огледа губитком воде.

Инсекти контролишу два важна процеса (размену кисеоника и CO_2 и чување оптималне количине воде) путем дисајних отвора (*spiracles*) који су део гас-транспортног система. Воштани слој на овим отворима спречава губитак воде и кисеоника и утиче на отворе како би обезбедили ове есенцијалне супстанце. Отвори су најчешће затворени како би минимизирали губитак воде, а отворени тек толико како би се обезбедила неопходна количина кисеоника. Недостатак кисеоника у модификованој атмосфери утиче на широко отварање ових отвора. Инсекти се морају ослободити CO_2 , а високе концентарције овог гаса у атмосфери утичу на додатно отварање пора. Ови неприродни услови воде до великог губитка воде, од 7–10 пута већег него у нормалним условима, па самим тим изазивају дехидратацију инсеката. Ова два услова, врло ниска концентрација кисеоника и висока концентрација CO_2 , утичу на избор и употребу модификоване атмосфере у области биолошке контроле. Мање је јасан висок морталитет инсеката у условима високих концентрација CO_2 и при високим вредностима релативне влажности (RH). Тада је присутан мали трахејни губитак воде, а инсекти ипак имају висок морталитет. За овај случај треба потражити друга објашњења.

Оптимална температура за развој инсеката је од 25 до 30°C. Ниже и више температуре изазивају успорен развој и угинуће. Повећање температуре утиче на повећану респирацију код инсеката, а самим тим на већи губитак воде и већу смртност. У атмосфери аргона и азота при константној концентрацији кисеоника и RH, повећање температуре од 20 до 30°C смањује време третмана у просеку око 30%, а повећање од 20 до 40°C скраћује време за 90%.

Приметан је пораст морталитета одређених врста инсеката смањењем RH у атмосфери азота. Ово смањење повећава аноксични ефекат поспешујући кретање воде и њен губитак кроз отворене дисајне отворе.

Критична тачка губитка масе повезана је са морталитетом инсеката. Када је телесни губитак воде инсеката око 30%, већина их умире. Под аноксичним условима, губитак масе највећим делом условљен је губитком воде. Студије везане за губитак масе важне су са становишта објашњења морталитета на основу сушења. Губитак масе је спорији при концентрацији кисеоника од 3% него 1%. Ово је доказ да аноксија уништава инсекте путем дехидратације.

Дехидратација инсеката присутна је и при већој влажности. Механизам је двострук. У атмосфери азота, азот најпре улази у тело инсеката преко омотача, купећи воду из унутрашњих органа пролазећи кроз торакс и абдомен, а затим избацује воду кроз дисајне отворе. Вода остаје напољу преко *epicuticle* (воштан и водоотпоран слој који прекрива дисајне отворе).

Аргон и хелијум су ефикаснији за аноксију од азота, а објашњење лежи у различитој пропустљивости ових гасова у тело инсеката. Под одређеним условима (40% RH, 300 ppm кисеоника, $t = 20, 30$ и 40°C), потребно је око 50% дуже времена азоту него аргону да би се постигао 100% морталитет. Истраживања су показала да је хелијуму потребна само половина времена у односу на азот за постизање истог морталитета. Ове разлике условљене су различитим пропустљивостима инертних гасова кроз поре инсеката. Ван дер Валсов радијус хелијума је 1.22 \AA , аргона 1.91 \AA , а молекулског азота 2.31 \AA . Тако се најмањи атоми (хелијум и аргон) брже крећу кроз сићушне поре и брже врше дехидратацију. Најспорије се креће највећи молекул азота².

Аноксија при високој влажности

Аноксија је при изузетно високој влажности ефикасна, али знатно спорија метода. Доказано је да се губитак воде код инсекта *red flour beetles* (тврдокрилци) изложеног атмосфери 0,5% кисеоника у азоту на 95% RH јавља једино након његове смрти. Очигледно је да се биолошки пут смртоносног процеса не одвија по принципу дехидратације.

Вршена су истраживања по питању резистентности инсеката у модификованим атмосферама. *Red flour beetles* могу да покажу отпорност на модифико-

2 | Charles Selwitz, Shin Maekawa, *Inert Gases in the Control of Museum Insect Pests*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1998, 1–4.

ване атмосфере. Ова врста изложена је модификованим атмосферама азота и CO_2 при врло високим вредностима RH од 95%. Након третмана остало је живо од 30–50% инсеката. Изузетно високе вредности RH довеле су до инхибирања механизма сушења. Два рода ових инсеката који су показали резистентност изискивали су деветократно излагање модификованој атмосфери пре него што је примећен морталитет од 50%. Преживљавање ових врста огледа се у опадању брзине дисања, повећању ускладиштених резерви кисеоника, психолошких промена у превенцији губитка воде, али и другим биохемијским адаптацијама.

Преживљавање инсеката без кисеоника у продуженом временском периоду, чак и у временском периоду од преко 100 дана, ретко је, али није немогуће. Постоје примери преласка са аеробног на анаеробни механизам када количина доступног кисеоника падне испод критичне границе.

Верује се да инсекти који показују дозу отпорности на аноксију приликом музејских третмана потичу од водених предака који су живели у природном окружењу, односно у аноксичним условима. Велики број ларви и одраслих инсеката који се налазе у воденом окружењу имају могућност да се реадптирају на анаеробну респирацију. Када се ово деси, механизам складиштења енергије одржава живот губитком угљених хидрата (у форми гликогена) и масти и акумулацији етанола насталог ферментацијом пропраћеном мање очекиваном количином лактата. У мочварно–воденим срединама, као и језерима прекривеним ледом, концентрација кисеоника може пасти на нулу током више недеља. Током овог периода ларве инсеката живе у дубинама при анаеробној енергетској производњи. Преживљавање инсеката је присутно и када се инсекти налазе у воденом окружењу или леду, када је процес сушења онемогућен присуством воде. Индикативно је настајање анаеробног етанола у свим овим врстама као последица адаптације на њихово природно окружење.

Учесталије и мање драстичне адаптације на аноксију присутне су код музејских инсеката који су изложени модификованој атмосфери високе концентрације CO_2 , а ниске кисеоника у присуству повишене влаге. Када су присутни инсекти који могу показати отпорност на аноксију, изводе се третмани који трају нешто дуже од стандардних како би се постигао 100% морталитет³.

Аноксија као конзерваторска процедура

Научници, почев од 1980. године, показују интересовање за примену модификованих атмосфера које су се већ увелико користиле у конзервацији и производњи хране. Иако је CO_2 био најзаступљенији за конзервацију хране, конзерватори су приметили предности атмосфере азота која обезбеђује висок степен инертности и лаку примену. Многобројна истраживања показују ефикасност модификованих атмосфера за уништавање свих стадијума инсеката

у оптималном временском периоду. Наравно, било је потребно решити низ проблема пре него што је ова метода нашла ширу примену у музејима (одредити минимално потребно време за постизање 100% морталитета, одређивање оперативних параметара...).

Аноксија се у музејима, осим за одржавање инертне атмосфере, користи и за третман инсект-инфицираних објеката. Радне процедуре су релативно једноставне и безбедне по људе и колекције. Ово аноксију чини атрактивном алтернативом токсичним фумигантима. Концентрација кисеоника неопходна за третман изузетно је ниска, тако да аноксично микроокружење мора бити пажљиво конструисано. Оптимално време третмана за постизање 100 % морталитета изузетно је важно, јер утиче на ефикасност третмана аноксије и дефинише економски аспект. Поред тога, важни фактори су врста радног гаса, температура, релативна влажност, врста коморе... Радни параметри налазе се у посебним табелама и резултат су дуготрајних истраживања (табела 1).

Термалне технике

Повишена температура у већини случајева поспешује аноксичне третмане. Могућност оштећења предмета на вишим температурама често представља препреку да радна температура током третмана буде изнад 30°C. Научна истраживања су показала да већина културних добара може бити изложена приближно до 60°C, под условом одржавања адекватне влажности, односно обезбеђивања да материјали током процеса не губе присутну влагу у својој структури (целулозни материјали, дрво, памук, лан, папир, протенозни материјали попут лепкова, коже...). Адекватно овлаживање током овог процеса од изузетне је важности за музејске предмете како би се избегли негативни ефекти (нпр. код дрвених материјала скупљање, кривљење...). Ако је могуће водити третман под повишеном температуром у атмосфери ваздуха, нема потребе за аноксичном атмосфером. Данас постоји низ произвођача који испоручују опрему у ове сврхе.

Посебну пажњу треба посветити материјалима са меким восковима, етнографским материјалима који садрже осетљиви колаген, животињским врстама у природњачким музејима који се могу оштети уколико се ради при температурама већим од 60°C. Термалне технике самостално и у комбинацији са аноксичним третманима изводе се при повишеним температурама, при чему се води рачуна о врсти материјала, радној температури и RH.

Инсекти у дубини материјала

Инсекти који су продрли дубоко у унутрашњост дрвених материјала могу слабије реаговати на аноксичну атмосферу, при чему се повећава време за

постизање 100% морталитета. Један од приступа овом проблему подразумева мерење степена дифузије азота, кисеоника и ваздуха кроз различите врсте дрвета. Порозност (запремина ваздуха) већине врста дрвета у сувом стању је око 45–50%.

Након што се дрвени блок који се налазио на ваздуху постави у херметичку комору која садржи само чист азот, концентрација кисеоника ће расти у комори како се кисеоник буде ширио кроз поре. Време које је потребно да би се дрвени материјал превео у аноксичне услове додаје се на укупно време које је неопходно за потпун дезинсекциони третман.

Valentín (*Institute del Patrimonio Histórico*, Шпанија) је истраживао неопходна времена потребна за третман комплетног уклањања инсеката у дрвеним предметима, књигама и другим музејским предметима. Испитиване врсте су погодна храна за инсекте, а саставни су део уметничких предмета попут бора, кедр, ораха, храста, махагонија и кестена. Објављена су смртоносна времена за инсекте присутне у инфицираним објектима, као и смртоносна времена за референтне инсекте (који се налазе слободни, ван предмета) третиране под истим условима. Примећено је да нема разлике (или је минимална) у времену излагања између ових огледа у 6 од 11 случајева. Са друге стране, комплетна смртност *furniture beetle* у полихромним скулптурама и клавиру постиже се за 10 до 14 дана, што је знатно дуже од неопходна 4 дана потребна за третман слободних инсеката⁴.

Методe и материјали

Аноксични амбијент, погодан за инфициране објекте, може се постићи на више начина. Постоје два основна приступа: статични и динамични. Статични подразумева смештање објекта у атмосферу азота или аргона високе чистоће у херметички заптивену комору са најмањом могућом пропустљивошћу гасова. Концентрација кисеоника се доводи на жељени ниво једном од три методе: комора се продувава низом измена високо-чистог азота; кисеоник се уклања коришћењем кисеоничних апсорбера; комбинација *продувавања* и апсорбције.

Динамичним приступом инертни гас континуално протиче кроз систем. Брзи ток *бескисеоничног* азота или аргона користи се за избацивање кисеоника из коморе. Када концентрација кисеоника падне испод 1000 ppm, проток се повремено активира у циклусима или смањује на вредност која је довољна да задржи минималну концентрацију кисеоника током третмана.

Трећи приступ је статично-динамични метод који подразумева комбинацију претходна два приступа. Након динамичног третмана предмет може бити изложен статичној аноксији тако што се кисеонични апсорбери унесу у комору која се херметички затвара.

4 | Charles Selwitz, Shin Maekawa, *н. д.*, 14–15.

Баријер-филмови

Највећи број третмана модификованом атмосфером врши се данас у флексибилним коморама начињеним од баријер-пластичног филма. Полимерна-филм технологија брзо је нашла примену у аноксичним третманима. *Влагодаријерни ламинати (Vapor-barrier laminates)* креирани су да буду добро топло-вариви и да имају добру водену баријеру. У свом саставу често садрже силика-гел као баријеру за влагу која дужи период одржава ниску вредност RH у комори. Информације о хемијским и физичким особинама баријер-филмова изузетно су важне. Током аноксичних третмана неопходно је одржати минималну количину кисеоника, тако да ови филмови имају низак степен пропустљивости кисеоника (код аноксије, пропустљивост кисеоника филма је нижа од брзине којом кисеонични апсорбери апсорбују кисеоник). Поред тога, варивост мора бити таква да могу настати готово херметички услови у комори. Јачина филма је такође важна особина с обзиром да материјал мора бити отпоран на цепање и бушење (мала рупица на нивоу игле може учинити третман неуспешним). Баријер-филмови који се користе у овим третманима углавном су ламинати од најмање три саставна полимерна филма који имају специфичне особине. Друге особине су транспарентност, могућност за штампу, антистатички квалитет и отпорност на ватру. На избор филмова утиче и економски аспект, као и доступност.

Табела 2 представља листу полимерних филмова са њиховим кисеоничним пропустљивостима. Они служе за формирање баријер-ламината током ових третмана. Табела 3 показује могуће комбинације ових филмова за баријер-ламинате.

Као што се види у табели 2, полимери на бази винилиден-хлорида и ко-поломерима етилена и винил-алкохола, имају екстремно ниске кисеоничне пропустљивости. Многи скорији ламинтни филмови садрже ове полимере као језгра кисеоничних баријера. Другу групу филмова са вишим вредностима, али и даље ефикасну у овом погледу, представљају: поли(винил-хлорид), поли(хлортрифлуоретилен) познат и под комерцијалним називом *Aclar*, најлон-6 и поли(етилентерефталат). Филмови на бази најлона-6 и поли(етилентерефталата) материјали су високе механичке јачине, па се у комбинацији примарно користе у ове сврхе. *Aclar* има добру кисеоничну пропустљивост, али не и довољну, тако да се он мора користити у комбинацији са другим филмовима.

Многи ефикасни ламинати садрже танак слој алуминијума који се налази између најлона или полиестера. Пропусност оваквих филмова је приближна нули, па представљају одличан избор за припрему микроклиматских услова. Ови материјали су економски врло повољни, али мана је што нису транспарентни. Знатно скупљи транспарентни баријер-филмови у ове сврхе су полиестер, поливинилиден-хлорид, етиленвинил-алкохол... Многи баријерни филмови у свом саставу имају полетилен који омогућава да филм буде топло-варив на

температури око 117 °C. Полиетилени, полиолефини и полипропилени представљају слабу кисеоничну баријеру, тако да се користе у комбинацији са другим филмовима због добре адхезивности и варивости.

Врсте радног гаса

Током аноксичних третмана, посебно код динамичних метода, неопходно је обезбедити економичне изворе радног гаса са минималном количином кисеоника. Азот који се најчешће користи у сврхе аноксије је *prepurified i high purity* (садрже 5 ppm и 10 ppm кисеоника).

На западу постоје фирме које испоручују боце са одговарајућим типом гаса за различите аноксичне третмане. Индустијски азот (најчешће садржи 99,7% азота), који је широко доступан и економски повољан, може се користити за почетне стадијуме третмана (садржи концентрацију кисеоника, нпр. 20 ppm). За фумигацију угљен-диоксидом (атмосфера око 60–70%), адекватан и повољан је тип гаса *bone dry* (99,7%).

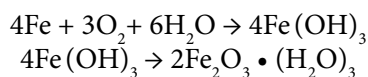
Када се третирају габаритни предмети (употреба великих комора), неопходне су велике количине гаса, односно акумулирање велике количине гасних цилиндара. Овај проблем се може решити коришћењем азотног генератора који обезбеђује већу количину *oxygen-free* гаса, што знатно умањује трошкове третмана. Ови генератори најчешће користе мембрану која издваја *high-purity* азот од ваздуха и обезбеђује 41 m³ азота по дану са примесом кисеоника мањом од 100 ppm. Генератори се састоје од ваздушног компресора, серије филтера, као и *trace-oxygen* анализера у излазној струји. Ваздух након компресије пролази кроз примарни филтер како би се ослободио воде, честица прашине и гасовитих загађивача, а затим пролази кроз мембрански филтер где се појављује азотни ток. Систем може да произведе гасовити азот чистоће 95–99,99%. Највећа чистоћа постиже се при најспоријем струјном протоку.

Други погодан и економски повољан извор веће количине азотног гаса је течан азот. Резервоар течног азота садржи унутрашње топлотне измењиваче који испаравањем конвертују течан азот у гасовити струјни ток. Уобичајени резервоар од 160 l течног азота обезбеђује $9,9 \times 10^4$ l гаса који садржи 20 ppm кисеоника. Ова метода не изискује механичке компоненте, лако се одржава и економски је повољна.

Кисеонични апсорбери (*Oxygen Scavengers*)

Кисеонични апсорбер је најчешће саставни део аноксичног третмана. Апсорпција кисеоника базирана је на конверзији гвожђа у гвожђе-оксид. Постоји већи број фирми у свету које дистрибуирају ову врсту апсорбера који поседују високи капацитет и добар апсорпциони потенцијал.

Најпознатији произвођачи су француска компанија, *Atco SA*, као и јапанска фирма, *Mitsubishi Gas Chemical Company* која производи апсорбере под именом *Ageless*. Пакетићи апсорбера састоје се од смеше гвожђа, калијум-хлорида, воде и одређене врсте зеолита. Кисеоник се уклања реакцијом високо реактивне форме металног гвожђа, који је највероватније произведен хидрогенизацијом гвожђе-оксида. Реакција је егзотермна (пакетићи могу бити веома топли), па треба водити рачуна да у комори не дође до контакта термално сензитивних предмета са паковањем апсорбенса (посебно на почетку третмана када је реакција израженија, односно када комора садржи највеће количине кисеоника). Као што се види у реакцијама, вода је неопходна за реакцију гвожђа са кисеоником:



У пакетићима *Ageless* присутна је довољна количина воде за ток реакције. У атмосфери ниске влаге, влага из пакетића може нестати, при чему је реакција успорена или потпуно заустављена. Француски произвођач гарантује да се код њихових производа то не дешава.

Ageless се продаје у више форми за специфичне намене. Продукт означен као тип *Z* користи се за аноксичне третмане при релативној влажности од 50 до 85%. *Ageless Z* се доставља у девет различитих грамажа, које показују колико кубних метара кисеоника пакет апсорбује (највеће паковање */Z-2000/* апсорбоваће 2000 cm³ или око 16 g кисеоника, што је количина кисеоника у 10 l ваздуха). Француски производи имају сличне особине.

Конзерватор може да одреди број пакетића на основу капацитета апсорбера за уклањање кисеоника. Да би се одржала неопходна концентрација кисеоника у складу са перформансама произвођача, неопходно је узети у обзир кисеоничну пропустљивост коморе, што се лако постиже сензитивним *low-oxygen-concentration* анализером. Број пакета апсорбера */N/* одређује се из једначине

$$N = \frac{80 \times L \times V}{C \times D}$$

где је *L* степен кисеоничне пропусности (ppm O₂/дан), *V* запремина коморе (l), *C* кисеонични капацитет апсорбера (cm³) и *D* предвиђена концентрација кисеоника (ppm).

Одређивање броја пакетића релативно је лако, с обзиром да кисеоник чини 20% запремине ваздуха. Пакетићи који апсорбују запремину кисеоника еквивалентну петини запремине коморе, апсорбоваће целокупни кисеоник у комори. Запремина мањих комора може се израчунати на основу запремине воде која стаје у њих. Гасовиту запремину коморе смањује и запремина третираних предмета. Препорука је да се увек употреби нешто већа количина апсорбера од прорачунате вредности, како би се брже постигла и одржала жељена концентрација кисеоника.

Оптималну количину апсорбера најбоље је проверити помоћу оксиметра који ће уштедети вишак материјала. Пакетићи *Ageless* обично садрже *Ageless Eye* (таблета која мења боју из пурпурне у црвено-белу када концентрација кисеоника падне испод 0,5%). Таблета се девастира током дужег контакта са кисеоником, високим температурама и светлу тако да је оксиметар знатно прецизнији у ове сврхе.

Интензитет уклањања кисеоника зависи од начина постављања пакетића у комору и RH. Већина експеримената показала је да је апсорпција око 20% ефикаснија када се пакетић постави тако да је атмосфера доступна са његове обе стране, што битно не утиче на ефикасност третмана. Такође, уколико се ради при нпр. 33% RH (што је испод препорученог опсега од 50 до 85%), ефикасност апсорпције нагло опада.

Доказано је да се помоћу *Ageless* пакетића у гасно-инертном паковању, завареном и са умереним степеном пропуштања, одржава врло ниска концентрација кисеоника и по неколико година, што је врло економично. Употреба кисеоничних апсорбера представља најједноставнији начин за постизање аноксичних услова⁵.

Затварање комора

Херметичко затварање комора (гасно заптивање) најкомплексније је код комора начињених од баријер-филмова. Оно се најчешће заснива на топлом вару. Једна страна топло-варивог баријер-филма мора садржати полимер, најчешће полиетилен или полипропилен, који је топљив и има тачку омекшавања око 177 °C, у циљу формирања непропусног, херметичког вара. Квалитет вара зависи од притиска, температуре вара, времена притиска као и одговарајуће опреме. Конзерватори за топли вар најчешће користе *Handheld bar sealer*.

Оперативни процес

Хумидизација (овлаживање)

Компримовани гасови азота, аргона и CO₂ обично се користе у комерцијалним цилиндрима у *bone dry* стању (вода је присутна у количини од 10 до 20 ppm). Приликом аноксичних третмана модификована атмосфера може имати врло ниску RH, што утиче на влажно-сензитивне материјале који садрже влагу у својој структури. То су материјали које инсекти најчешће нападају (целулозни материјали, дрво...).

Предмет током третмана може лагано изгубити неопходну влагу и претрпети одређене структурне и хемијске промене. Како би се избегао хигрометријски шок, гасна струја се пре уласка у комору, односно током третмана аноксије и фумигације, овлажује. Хумидизација се најчешће примењује у динамичним проточним системима где струја сувог азота константно протиче око објекта и додатно исушује предмет. Познати системи у ове сврхе су *three-jar humidification system* (слика 1), као и *new humidification module*.

Хумидизација најчешће није потребна у статичним системима (где је углавном константна RH), при третману влажних предметима (нпр. предмети са подводних локалитета), као ни код третмана угљен-диоксидом (изводи се при концентрацији од 60 до 70% где заостали ваздух већ садржи влагу). Током аноксичних третмана велике коморе су често напуњене материјалом (нпр. библиотечка и архивска грађа) који је спакован у дрвеним и картонским кутијама и обложен папиром (врста амортизера који задржава неопходну влагу у материјалима).

Аргон и азот у аноксичним третманима

Иако се највећи број третмана изводи у азоту, потребно је поменути и употребу аргона. Хелијум је такође ефикасан, али се због веће дифузије кроз већину пластичних филмова (теже одржавање константне атмосфере) и високе цене не користи.

Испитивања су показала да је оптимално време за постизање 100% морталитета краће у атмосфери аргона. Такође, експерименти у влажним пределима показују већу кисеоничну пропусност одређених филмова када се третман обавља у атмосфери азота. Ово се може приписати нешто споријем приливу кисеоника кроз филм у атмосфери аргона. Ово чини аргон у мањој мери ефикаснијим.

Аргон је нешто тежи од кисеоника и има мању густину од CO₂, што може довести до умерене стратификације (услојавања) која креира ниже концентрације кисеоника око инфицираних објеката на дну коморе. Разлика у густинама није толика да би формирала драматичне стратификационе ефекте, а дневно варирање температуре око коморе може елиминисати такву стратификацију. Такође се сматра да неки микроорганизми и фунги брже расту у атмосфери азота него аргона, иако се то мора додатно испитати. Међутим, мала је вероватноћа да се то деси на дрвеним предметима без присуства течне воде, тако да се то не може узети као предност аргона. Цена ових гасова варира у зависности од државе, али је аргон у већини случајева скупљи за рад⁶.

Мониторинг

За мерење концентрације кисеоника разликујемо два типа електронских оксиметара: *trace analyzers* и *monitors*. *Trace analyzers* одређују веома ниске концентрације кисеоника са резолуцијом од 1 ppm и генерално су скупи. Мање осетљиви и знатно повољнији су *monitors* који су погодни за већину аноксичних третмана. За потребе ових третмана користе се *monitors* са концентрационим опсегом од 0 до 1% и резолуцијом од 200 ppm. За одређивање концентрације кисеоника испод 1000 ppm могућа је употреба пасивног кисеоничног мониторинга у виду индикатор-таблете која мења боју у аноксичним условима. Концентрација CO₂ може се пратити преко више инструмената, али и преко оксиметара, односно на основу концентрације кисеоника у коморама.

Мерење температуре и RH током процеса данас се, поред индикаторских трака и термохигрометара, прати електронским инструментима (на бази сензора) који дају врло прецизне резултате. Степен пропуштања кисеоника кроз баријер-филмове могу мерити ултрасонични детектор или детектор на бази флуоресценције. Најзаступљенији и најјефтинији су *halogen leak* детектори.

Monitoring Life Signs (мониторинг присуства живих бића) изузетно је комплексан процес. Потребно је открити знаке живота на културном добру након одређеног времена излагања у специфичним условима. Значи потребно је са великом сигурношћу одредити време када је постигнут 100% морталитет. Научници су на основу низа емпиријских испитивања креирали табелу (табела 1) у којој се налазе услови и минимално потребно време за 100% морталитет највећег броја познатих музејских инсеката. Морталитет одраслих инсеката може се пратити после неколико дана, други видови живота недељно до периода од девет недеља, а у неким случајевима и до четири месеца. Конзерватори у највећем броју случајева врше аноксичне третмане и фумигацију на основу објављених информација о минималном броју дана потребним за потпуни морталитет одређене врсте инсекта. Често се третмани врше у нешто дужем периоду од прописаних, како би конзерватори били потпуно сигурни у ефикасну аноксију или фумигацију. Директан мониторинг присуства може се вршити на основу софистицираних апаратура које мере и прате процес дисања инсеката. Дисањем инсекти троше кисеоник и ослобађају CO₂. Детекција се може вршити изузетно скупом опремом и веома сложеним методама попут високо сензитивне FTIR анализе, која бележи повећање изузетно малих концентрација CO₂ у комори (последница дисања инсеката).

Токсикологија радних гасова

Азот и аргон не спадају у пестициде. CO₂ не спада у токсичне гасове, али присуство већих концентрација може изазвати проблеме са дисањем. У неким

државама CO₂ се сврстава у фумиганте и за рад са њим је потребна лиценца. Азот је у односу на CO₂ инертнији и безбеднији за коришћење, а третмани су знатно краћи. У литератури се може наћи да пад концентрације кисеоника у ваздуху за 1,4% може изазвати одређене здравствене проблеме. Приликом рада мора се вршити мониторинг концентрације гасова у простору за рад (алармни систем ако концентрација кисеоника падне испод 19,5%). Посебне мере предострожности односе се на аноксичне третмане габаритних предмета када је велики број гасних цилиндара укључен у процес. Мора се узети у обзир и да су неки гасови (CO₂) тежи од ваздуха, па је проветравање затвореног простора теже.

Аноксични третмани

Аноксични третман у баријер-филм кесама

За третирање лимитираног броја мањих предмета највећу примену има аноксични третман у баријер-филм кесама (*barrier-film bags*). Овај третман се ређе користи за габаритне предмете. Коморе у виду кеса или врећа набављају се од низа произвођача или их припремају сами конзерватори од одговарајућих ролни баријер-филмова (тада нема ограничења у погледу величине, облика и локације предмета), при чему се посебна пажња мора посветити изради одговарајућих варова како би били адекватна баријера за кисеоник. Баријер-филмови морају имати одговарајући сертификат, посебно податак за кисеоничну пропустљивост. За ову врсту комора неопходно је урадити прелиминаран тест кисеоничне пропустљивости након њиховог затварања, односно након последњег вара (слика 2). Уколико овај тест покаже већу вредност кисеоничне пропустљивости, наша комора није адекватно конструисана или је дошло до неког другог пропуста у току њене припреме. Тест се може вршити убризгавањем (помоћу шприца) мале количине (неколико кубних центиметара) детектујућег расхладног гаса 1,1,1,3-тетрахлорпропилена. Тачка пунктирања се затвара траком, док се уз помоћ *halogen leak* детектора мери пропусност филма.

Неки музеји мониторинг кисеоника врше помоћу кисеоничних анализера у опсегу 0–1%, као и помоћу *trace-oxygen* анализера. Подаци на оксиметру не могу се пратити уколико се користи непрозиран метализирани филм за прављање кеса. У том случају се на баријер-филму формира транспарентни прозор, а мониторинг се врши индикаторском таблетом малог пречника или помоћу *Ageless-Eye* индикаторске таблете. Ови третмани најчешће се изводе при спољној температури од 25 до 30°C и трају најмање 21 дан.

John Burke објавио је поступак аноксије који примењује у *Oakland Museum*. Кесе се набављају или конструишу за прихват инфицираних објектата са неопходним пакетима кисеоничног апсорбера (*Ageless*). Након што се сви предмети и компоненете сместе у кесу, она се делимично завари и продува азотом неколико пута. Вишак гаса се затим избаци из кесе, а вар се комплетира. Након

неколико дана *Ageless* спушта концентрацију кисеоника испод 0,1%, а *Ageless-Eye* индикатор се боји у бледо-црвену боју. Кеса остаје заварена неколико недеља, а боја кисеоничног индикатора се повремено прати као провера одговарајуће (не)пропусности кисеоника. Овај третман је сличан у већини установа (са мањим или већим модификацијама).

У неким музејима продувавање кеса врши се аргоном уз адекватну РН до постизања одговарајуће концентрације кисеоника, најчешће испод 1000 ppm (слика 3). Такође, пре поступка продувавања азотом или аргоном неки конзерватори праве благи вакуум у кеси и у зависности од врсте културног добра врше претходно овлаживање гаса.

Испитивања у *Metropolitan Museum of Art* у Њујорку показала су предности кеса приликом смештања предмета, формирања вара, одржавања ниске концентрације кисеоника, могућности примене на било ком месту, доступности, економичности и ефикасности. Аноксични третмани у баријер-филм кесама доступни су најширем броју културних установа.

На слици 4 приказан је пример третмана аноксије великих слика (уља на платну) у баријер-филм кесама који је извођен у Марсеју. Третман је подразумевао низ продувавања овлаженом струјом *high-purity* азота до постизања концентрације кисеоника од 2000 ppm. Затим су унети пакетићи кисеоничног апсорбера који су спустили концентрацију кисеоника испод 1000 ppm. Вредности испод 500 ppm постизане су додатним циклусима продувавања.

Аноксични третман динамичном методом

Третирање инфицираних објеката динамичном методом са проточном струјом (најчешће азота, ређе аргона) погодна је и ефикасна метода аноксије. Неки конзерватори ову методу зову и *проточна азотна фумигација*. Динамични аноксични третман је систем који зависи од низа фактора. Током рада сви параметри се морају контролисати и евентуално кориговати (посебно брзина протока радног гаса). Динамична метода обично се користи за дезинсекцију мањих предмета. Она је погодна и за предмете на незгодним локацијама када је циљану мету тешко затворити у стандардну комору где би се постигли херметички услови статичном методом (дрвени подови, паркет...). Утицај дифузије кисеоника може бити сведен на минималану меру константним протоком радног гаса кроз систем на ефикасан и економичан начин.

За овај третман могу се користити мале коморе попут *zipper* кеса, вреће, тзв. шатори (слика 5), као и круте коморе од пластичних или металних материјала. Унутрашња запремина коморе може се смањити убацивањем лопти (напуњених азотом) у празне просторе предмета (попут скулптура), што уз данашњу опрему и постојеће протоке није неопходно.

Након што се инфицирани предмет унесе у комору, почетна струја азота која је знатно већа (нпр. 7 l min^{-1}) спушта концентрацију кисеоника испод 1000

ppm. Након тога проток азота се успори до границе (нпр. $0,5 \text{ l min}^{-1}$) како би се у систему одржавала концентрација кисеоника од 0,1 до 1% (слика 6). Почетна струја азота може бити врло брза и може утицати на повећање унутрашњег притиска коморе. Након успостављања одговарајуће концентрације кисеоника, довод азота могуће је и потпуно затворити до тренутка када услед кисеоничне пропусности коморе концентрација кисеоника не достигне критичну вредност. Тада се поново активира лагана струја азота (може се активирати у циклусима) како би одржала оптималну концентрацију кисеоника. За третман већих предмета почетни ток азота може бити индустријски (са већом примесом кисеоника). Када се концентрација кисеоника спусти, индустријски ток се замењује са *prepurified* азотом.

Када суви азотни гас константно струји око предмета, на амбијенталним температурама, структурна (везана) вода, односно влага, бива избачена из предмета, при чему може настати иреверзибилно оштећење. Равнотежни систем није могуће одржати, тако да је хумидизација неопходна. Овлаживање гаса врши се у систему за хумидизацију (гас барботира обично кроз дестиловану воду) како би се постигла одговарајућа RH (најчешће од 50 до 70%) која се усклађује са брзином протока радног гаса. Хумидизација се обично не врши при третману предмета са подводних локалитета где су пожељни аноксија и третман сушења у исто време.

Након динамичног третмана предмет може бити изложен и статичном третману тако што се кисеонични апсорбери унесу у комору која се заптива и која од тог тренутка има *статичну атмосферу*. Ова комбинација може имати додатну ефикасност третмана.

Оптимална температура третмана креће се од 25 до 30 °C. За 100% морталитет најчешће су потребне око две недеље. Ефикасност третмана се смањује, а оптимално време се повећава при раду са вишим концентрацијама кисеоника и нижим температурама.

У свету се данас могу наћи металне коморе и фиксирани системи/постројења специјално пројектовани у ове сврхе. У пројектованим системима контролише се притисак у комори како би се омогућила лакша пенетрација аноксичне атмосфере у унутрашњост предмета. Коришћењем пројектованих система/постројења за аноксију обезбеђује се континуална контрола и једноставан и аутоматозован процес са безбедним радним условима, где се путем рачунара контролишу концентрација кисеоника/ CO_2 , температура, притисак гаса и влага. Ова постројења су најбоље али и најскупље решење за постизање аноксије, јер захтевају посебну просторију и остале неопходне услове за инсталирање (мана им је фиксна запремина).

Неки научници су и даље скептични по питању успешности динамичног третмана за велике дрвене предмете, односно сумњају у успешност дегазације у самој унутрашњости дрвеног предмета чак и после оптималног времена третмана. Дрво се може схватити као полузатворена средина која има тенденцију да зароби гасове, односно кисеоник у унутрашњости порозне структуре (језгру

дрвета). Та количина кисеоника се не може детектовати оксиметром, а може бити довољна за одржавање живота инсеката у стадијуму јаја, па чак и ларви⁷.

Фумигација угљен-диоксидом (CO₂)

Када су у неким студијама под стандардним условима упоређивани азот или аргон са CO₂, знатно бржи и ефикаснији резултати постизани су атмосфером азота него CO₂. У односу на третман са азотом показана је релативно слична осетљивост инсеката на дехидратацију. Ефикасност азота губи се у атмосферама високог садржаја кисеоника.

Ипак, за третирање габаритнијих музејских предмета CO₂ је прави избор, јер се одговарајући морталитет инсеката лако и јефтино постиже, тако да по количини третираног материјала предњачи фумигација CO₂. Знатно је лакше и брже прочистити систем CO₂-ом него *high-purity* азотом, а затим одржати константну концентрацију кисеоника. Разлог за фаворизацију CO₂ је и знатно нижа цена у односу на азот, као и мања потреба за хумидизацијом. Струјом азота уклања се комплетна влага из коморе, док у атмосфери 60% CO₂ 40% почетне влаге остаје. Третман CO₂ пожељнији је од азота јер изискује мању јачину вара и заптивања комора, а концентрација кисеоника има већи дозвољени радни опсег.

Фумигација CO₂ у балонима најчешћа је у атмосфери 60% CO₂. Више концентрације не показују знатно боље резултате, а теже их је одржавати. У посебним случајевима могуће је започети третман већом концентрацијом CO₂ (нпр. 80%), при чему се води рачуна о RH. Она ће се током времена спустити на 60% услед дифузије кисеоника. Третмани CO₂ трају од две до пет недеља на температурама од око 25°C. Радне температуре и оптимална времена за постизање 100% морталитета штетних музејских инсеката и гриња у 60% атмосфери CO₂ и 75% RH налазе се у табели 4⁸.

Научник *Jacobs (Smithsonian Institution)* испитивањем је закључио да је постизање 100% морталитета у директној вези са температуром. Обезбеђивање адекватне температуре тешко се постиже у спољним условима и слабо грејаним просторијама током зиме, тако да се овај третман углавном не изводи током овог периода.

Познати су примери фумигације CO₂ делова непокретних културних добара (високи црквени олтари, проповедионице, црквене клупе...), па чак и комплетних дрвених објеката попут цркава и кућа. Објекти се покривају непропусним филмовима који се *варе* и заптивају за под чинећи на тај начин објекат изолованим од спољашње средине, при чему се фумигација одвија

7 | L'Atelier Régional de Conservation Nucléart (ARC-Nucléart), Grenoble, <http://www.arc-nucleart.fr/scripts/home/publigen/content/templates/show.asp?P=130&L=FR&ITEMID=2>

8 | Charles Selwitz, Shin Maekawa, *н. д.*, 67–78.

по стандардној процедури. За овај процес неопходне су енормне количине радног гаса с обзиром да је врло тешко потпуно изоловати објекат. Поред тога неопходни су и многи пратећи системи, као и посебна врста планирања, извођења и контроле процеса.

За третмане CO₂ постоји одређена забринутост због могућности формирања угљене киселине у модификованој атмосфери услед реакције CO₂ и воде, односно влаге. Угљена киселина ствара рН 4, па настала киселост може оштетити сензитивне материјале као што су метална влакна, предмети од цинка и органски пигменти. Конзерватори морају бити опрезни када се доноси одлука о врсти третмана и радној РН. Употреба фумигације CO₂ у музејима увелико зависи од прописа држава. Канада није класификовала CO₂ као фумигант већ као инертан гас, тако да лиценца за рад није потребна. Британска влада сврстала је овај гас у пестициде, па се овај третман ретко среће у британским музејима. У Америци су потребне посебне дозволе и лиценце за рад са овим гасом.

Закључак

Аноксична дезинсекција на бази инертних гасова (азота и аргона) представља једноставан и нетоксичан процес. Употреба атмосфере азота и аргона са минималном концентрацијом кисеоника има низ предности у односу на методе хемијске фумигације које контаминирају објекте, утичу на здравље људи и угрожавају животну средину. Атмосфера азота је безбедна и ефикасна у превенцији од пропадања музејских предмета изазваним биолошким факторима и оксидацијом. Атмосфера угљен-диоксида такође показује одличне резултате, посебно када је у питању дезинсекција већих предмета и објеката. Применом ових третмана предмети добијају стручну и адекватну заштиту, док су музејски радници, посетиоци и животна средина заштићени од токсичних утицаја.

Треба нагласити да, без обзира на адекватне процедуре дезинсекције, заштита предмета није потпуна уколико не постоје адекватни услови чувања предмета и институционалне мере заштите (акције превентивне конзервације, увођење процедура руковања збиркама, установљавање режима биолошке контроле и режима приступа збирци). Куративан третман дезинсекције треба свести на минимум и то само у случају када превентивне мере закажу.

Литература

1. Charles Selwitz, Shin Maekawa, *Inert Gases in the Control of Museum Insect Pests*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1998.
2. Edited by Shin Maekawa, *Oxygen-Free Museum Cases*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1998.
3. *Museum Handbook, Museum Management Program*, National Park Service, Washington, (2000), www.nps.gov/history/museum/publications/conservoogram/cons_toc.html

4. Nancy Odegaard, Alyce Sadongei, and Associates, *Old Poisons, New Problems: A Museum Resource for Managing Contaminated Cultural Materials*, AltaMira Press, Walnut Creek CA, 2005.
5. David Pinniger, *Pest Management in Museums*, Archives and Historic Houses, Archetype Books, 2007.
6. Thomas J. K. Strang, *Preventing Infestations: Control Strategies and Detection Methods*, Canadian Conservation Institute, CCI Notes 3/1, <http://www.cci-icc.gc.ca/crc/notes/index-eng.aspx>
7. Thomas J. K. Strang, *Detecting Infestations: Facility Inspection Procedure and Checklist*, Canadian Conservation Institute, CCI Notes 3/2, <http://www.cci-icc.gc.ca/crc/notes/index-eng.aspx>
8. The Integrated Pest Management Working Group, <http://www.museumpests.net/default.asp>
9. L'Atelier Régional de Conservation Nucléart (ARC-Nucléart), Grenoble, <http://www.arc-nucleart.fr/scripts/home/publigen/content/templates/show.asp?P=130&L=FR&ITEMID=2>
10. Central Conservation Section, Hong Kong, <http://www.lcsd.gov.hk/CE/Museum/Conservation/index.htm>
11. EXPM, Ltd, Anoxia disinfestation systems, <http://www.expm.com.pt/en/index.php>
12. Вера Радосављевић, Радмила Петровић, *Конзервација и рестаурација архивске и библиотечке грађе и музејских предмета од текстила и коже*, Архив Србије, Београд, 2000.

Inert Gases in the Process of Museum Insects Control

Pesticides and other extremely harmful and toxic substances were used during XIX and a greater part of XX century (in some countries even longer) for prevention, killing, repulsion and migration of insects in the aim of protection museum collections. Nowadays, it is a trend to substitute these methods with new, more efficient and safer ones. Anoxic treatments based on inert gases (nitrogen and argon), presents simple and non toxic process which has a range of advantages in comparison with methods of chemical fumigation which contaminate objects, influence people's health in a negative way and endanger environment. Nitrogen atmosphere is safe and efficient in prevention from deteriorating of museum objects caused by biological factors and oxidation. Atmosphere of carbon-dioxide also shows excellent results especially in the anoxic treatments of large objects. By applying these treatments objects get professional and adequate protection, while employed museum workers and visitors as well as the environment are protected from toxic impacts. Working procedures are relatively simple and safe for people and collections (residual substances do not remain on objects after treatments). This makes anoxic treatment attractive alternative to toxic treatments. Concentration of oxygen should be kept at minimal values during the treatment thus anoxic micro environment must be carefully constructed. Optimal treatment time for achieving 100% of mortality is of great importance as it influences the efficiency of anoxic treatment and defines economic aspect. Apart from these, important factors are choice of material, type of chamber, type of working gas, oxygen absorber, as well as maintenance and monitoring of atmosphere of minimal concentration of oxygen, optimal temperature and relative humidity during the anoxic treatment.

Slobodan BOGOJEVIC

Les gaz inertes dans le processus de contrôle des insectes de musées

Les pesticides et autres substances extrêmement nocives et toxiques furent utilisées durant le XIX^{ème} et la majeure partie du XX^{ème} siècle (même plus tard, quelque part) pour la prévention, l'extermination, le refoulement et la migration des insectes, afin de protéger les recueils de musées. Aujourd'hui, la tendance veut que ces méthodes soient remplacées par des méthodes nouvelles, plus efficaces et plus sûres. La désinsectisation par anoxie à base de gaz inertes (l'azote et l'argon) représente un processus simple et non-toxique qui possède une série d'avantages par rapport aux méthodes de fumigation chimique qui contaminent les bâtiments, ont une influence négative sur la santé des gens et mettent en danger l'environnement. L'atmosphère de l'azote est sûre et efficace pour la prévention contre les détériorations des objets de musée provoquées par les facteurs biologiques et par l'oxydation. L'atmosphère du dioxyde de carbone laisse voir également d'excellents résultats, notamment lorsqu'il est question de désinsectisation d'objets et de bâtiments plus grands. Par l'application de ces traitements, les objets reçoivent une protection experte et adéquate, tandis que les employés des musées, les visiteurs et l'environnement sont protégés des influences toxiques. Les procédures de travail sont relativement simples et sûres pour les hommes et les collections (les substances résiduelles ne restent pas sur les objets après traitement). Ceci fait de l'anoxie une alternative attractive aux traitements toxiques. La concentration d'oxygène durant le traitement doit être maintenue à des valeurs minimales, de sorte que le micro-environnement d'anoxie soit construit avec précaution. Le temps optimal du traitement pour l'obtention d'un taux de mortalité de 100% est extrêmement important puisqu'il agit sur l'efficacité du traitement d'anoxie et définit l'aspect économique. En outre, les facteurs importants sont aussi le choix du matériel et le genre de chambre, le type de gaz actif, l'absorbeur d'oxygène, ainsi que la maintenance et la surveillance de l'atmosphère des concentrations minimales d'oxygène, les températures optimales et les humidités relatives durant le processus d'anoxie.

Slobodan BOGOJEVIC

Vrsta	Kiseonik (ppm)	Inertni gas	Temp. (°C)	% Relativna vlažnost	Vreme (h)	Reference
American cockroach	<1000	Azot	25	55	120	Rust and Kennedy(1993)
Black carpet beetle	300	Azot	30	40	72	Valentin (1993)
	300	Argon	30	40	48	Valentin (1993)
Book beetle	300	Azot	30	40	72	Valentin (1993)
	300	Argon	30	40	48	Valentin (1993)
Brownbanded cockroach	<1000	Azot	25	40	72	Rust and Kennedy(1993)
Cabinet beetle	<1000	Azot	25	55	120	Rust and Kennedy(1993)
Cigarette beetle	4200	Azot	30	65-70	168	Gilberg (1989a)
	<1000	Azot	25	55	192	Rust and Kennedy(1993)
	300	Azot	30	40	144	Valentin (1993)
	300	Argon	30	40	96	Valentin (1993)
Confused flour beetle	<1000	Azot	25	55	96	Rust and Kennedy(1993)
Drugstore beetle	300	Azot	30	40	144	Valentin (1993)
	300	Argon	30	40	96	Valentin (1993)
	4200	Azot	30	65-70	168	Gilberg (1989a)
Drywood termite	10, 000	Azot	22	40	360	Valentin and Preusser (1989)
Firebrat	<1000	Azot	25	40	48	Rust and Kennedy(1993)
Fruit fly	5 000	Azot	30	75	80	Valentin and Preusser (1989)
Furniture beetle	300	Azot	30	40	168	Valentin (1993)
	300	Argon	30	40	120	Valentin (1993)
Furniture carpet beetle	<1000	Azot	25	55	72	Rust and Kennedy(1993)
German cockroach	<1000	Azot	25	55	24	Rust and Kennedy(1993)
Larder beetle	<1000	Azot	25	55	96	Rust and Kennedy(1993)
Longhorn borer beetle	300	Azot	30	40	240	Valentin (1993)
	300	Argon	30	40	168	Valentin (1993)
Powderpost beetle	300	Azot	30	40	120	Valentin (1993)
	300	Argon	30	40	72	Valentin (1993)
	<1000	Azot	25	55	120	Rust and Kennedy(1993)
	4200	Azot	30	65-70	168	Gilberg (1989a)
Rice weevil	10, 000	Azot	20	12	1000	Banks and Annis (1977)
	10, 000	Azot	26	12	500	Banks and Annis (1977)
Varied carpet beetle	4200	Azot	30	65-70	168	Gilberg (1989a)
Webbing clothes moth	<1000	Azot	25	55	96	Rust and Kennedy(1993)
	4200	Azot	30	65-70	168	Gilberg (1991)
Western drywood termite	<1000	Azot	25	55	96	Rust and Kennedy(1993)

Табела 1 – Минимум неопходног времена за обезбеђивање 100 % морталитета свих стадијума музејских инсеката у атмосфери азота и аргона (према Charles Selwitz, Shin Maekawa, н. д., 12)

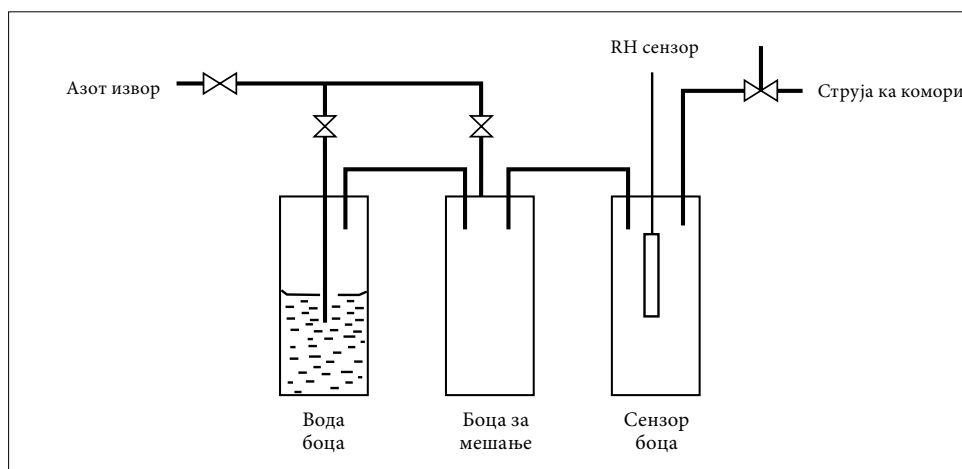
Sastav	Skraćenica	Monomeri	Kiseonična propustljivost ^a	Karakteristika
Viniliden dihlorid monomer i kopolimeri sa vinilhloridom	PVDC	Viniliden dihlorid, vinilhlorid	0,16–2,46	Vrlo niska kiseonična propustljivost
Etilen-vinil alkohol kopolimeri (suv)	EVOH	Etilen, vinilalkohol	0,11–0,80	Vrlo niska kiseonična propustljivost
Etilen-vinil alkohol kopolimeri (100% RH)	EVOH	Vinilalkohol, etilen	8–16	Vrlo niska kiseonična propustljivost
Nylon-6	NYL	Kaprolaktam	40	Niska kiseonična propustljivost, dobra jačina
Poli(etilen tereftalat)	PET	Etilenglikol, tereftalna kiselina	56	Niska kiseonična propustljivost
Poli(hlortrifluoretilen)	Aclar	Hlortrifluoretilen	141	Niska kiseonična propustljivost
Poli(vinilhlorid)	PVC	Vinilhlorid	200	Niska kiseonična propustljivost, dobra jačina
Polipropilen (orijentisani)	PPO	Propilen	7800	Toplo-variv
Polipropilen (liveni)	PP	Propilen	3700	Toplo-variv
Poli(etilen (niske gustine)	PE	Etilen	4800	Toplo-variv
Polistiren	PS	Stiren	5200	–
Polipropilen laminat sa aluminijumom	PPAL	Propilen, aluminijum	3	Toplo-variv, niska kiseonična propustljivost

^a Kiseonična propustljivost u cm³x mil/(m³ x dani x atm)

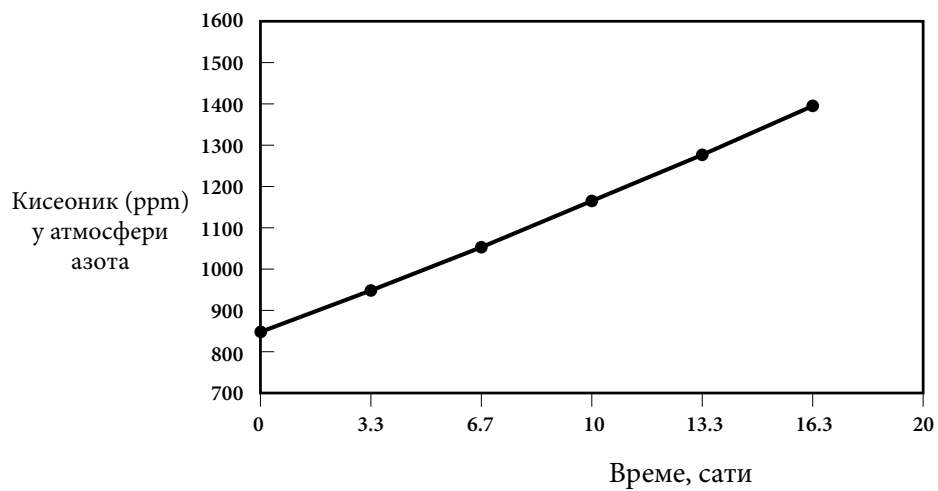
Табела 2 – Састав и кисеонична пропусност филмова
(према Charles Selwitz, Shin Maekawa, н. д., 19)

Jezgro (kiseonično-barijerni film)	Sastav	Komercijalno ime	Debljina filma, mm	Kiseonična propustljivost, cm ³ x ml (m ³ x dani x atm)
PVDC	PET/PVDC/PE	Keepsafe (bags)	2.5	7.1
PVDC	PET/adh/ PVDC/adh/PE	Filmpack1193	4.9	0.28
Aclar	PET/PE/Aclar/PE	Film-O-Rap 7750 Filmpack 1177 Aclar	4.5	50
Aluminijum	NYL/Al/PE	Marvelseal 360	5.3	0.01
Aluminijum	PPO/PE/Al/PE	Shield Pack Class A	5.0	0.01

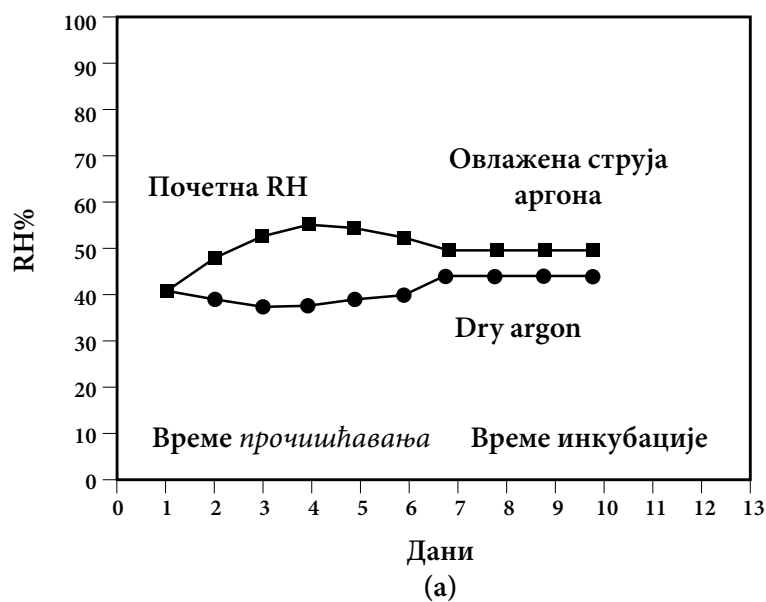
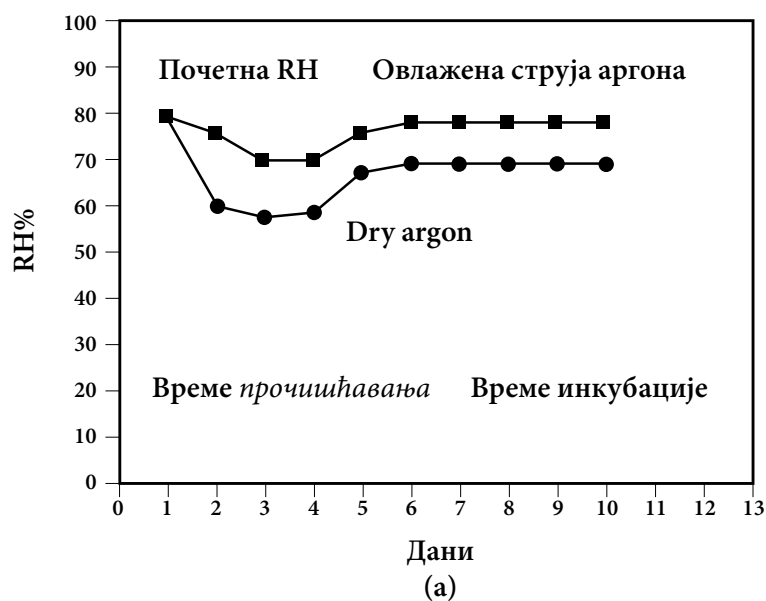
Табела 3 – Баријер-ламинати у аноксичним третманима
(према Charles Selwitz, Shin Maekawa, н. д., 19)



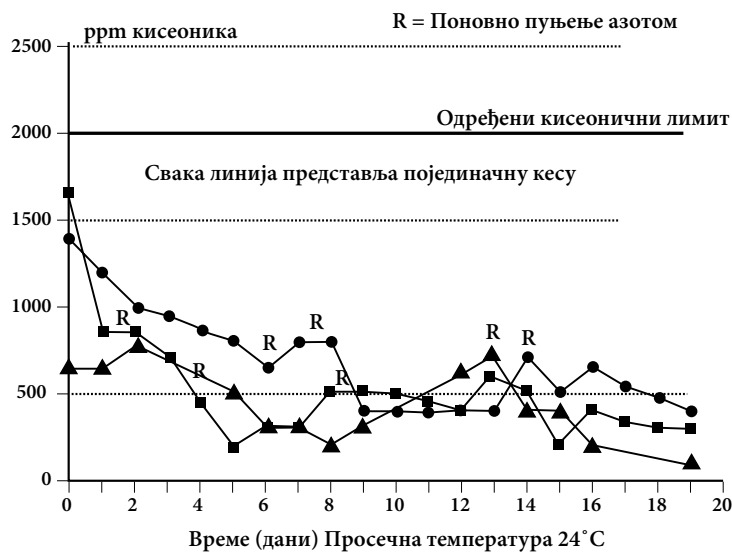
Слика 1 - Шема *three-jar humidification system* (према Charles Selwitz, Shin Maekawa, н. д., 30)



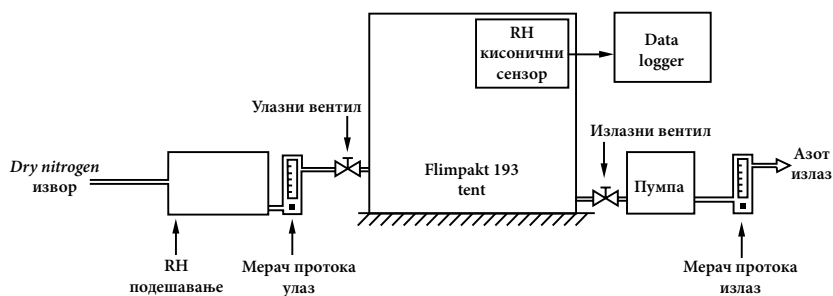
Слика 2 - Одређивање кисеоничне пропусности *The Large Rentokil Bubble* (Houston's Museum of Fine Arts bubble - према Charles Selwitz, Shin Maekawa, н. д., 62)



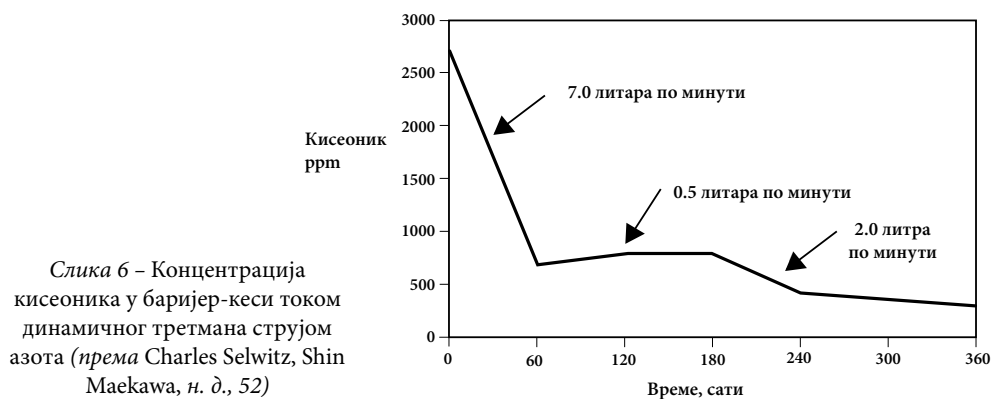
Слике 3 a, b – Промене RH у пластичним кесама током третмана папирног материјала. Кесе су прочишћене dry аргоним и овлаженом струјом аргона (50% RH) након почетних вредности RH: (a) висока (80%) и (b) ниска (40%) (Dr. Nieves Valentín, Institute del Patrimonio Histórico Español – према Charles Selwitz, Shin Maekawa, н. д., 32)



Слика 4 – Третман аноксије великих слика (уља на платну) у баријер-филм кесама (Марсеј, Министарство културе Француске, 1995); концентрација кисеоника током третмана у атмосфери *high-purity* азота (према Charles Selwitz, Shin Maekawa, н. д., 47)



Слика 5 – Шема аноксичног система (према Charles Selwitz, Shin Maekawa, н. д., 57)



Слика 6 – Концентрација кисеоника у баријер-кеси током динамичног третмана струјом азота (према Charles Selwitz, Shin Maekawa, н. д., 52)

Vrsta	Temperatura (°C)	Vreme (dani)
Mold mite	23	24
	35	14
Grain mite	15	14
	23	14
	35	1
American cockroach	15	14
	23	2
	35	4
Khapra beetle	35	14
	15	28
Rice weevil	25	14
	35	4
	15	28
Varied carpet beetle	25	14
	35	2
	15	14
Merchant grain beetle	23	4
	35	1
	15	14
Red flour beetle	23	4
	35	4
	15	14
Cigarette beetle	23	4
	35	1
	15	14
Hide beetle	23	4
	15	14
Australian spider beetle	23	1
	35	4
	15	14
Tropical warehouse moth	23	4
	35	2
	15	14
Book louse	23	8
	15	14
Furniture beetle larvae	23	1
	35	14
	15	14

Табела 4 – Минимално потребно време за постизање 100% морталитета свих стадијума штетних музејских инсеката и гриња (атмосфера 60% угљен-диоксида и 75% RH)
(према Charles Selwitz, Shin Maekawa, *н. д.*, 69)