

Chapter 21

ASHRAE Handbook

Applications 2007

Museums, Galleries, Archives and Libraries

Translated by permission. All rights reserved. © 2007 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Translated and distributed by Gotland University. ASHRAE assumes no responsibility for the accuracy of the translation. To obtain the English language edition, contact ASHRAE, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305 USA, www.ashrae.org.

Tillstånd för översättning. Upphovsrättshavaren förbehåller sig alla rättigheter. © 2007 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Översättning gjord av och spridning genom Högskolan på Gotland. ASHRAE ansvarar inte för översättningens riktighet. För erhållande av den engelskspråkiga versionen, kontakta ASHRAE, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305 USA, www.ashrae.org.

Innehållsförteckning

FÖRORD.....	3
INLEDNING	4
Faktorer som orsakar skador	5
MILJÖPÅVERKAN PÅ SAMLINGAR	7
Att fastställa funktionskrav.....	7
Temperatur och relativ luftfuktighet, RF	7
Kritisk RF.....	14
Responstid för föremål.....	14
Luftburna föroreningar	16
Källor för luftburna föroreningar	16
Material som skadas av luftburna föroreningar.....	22
DESIGN PARAMETRAR.....	25
Kravspecifikationer	25
Temperatur och RF.....	25
Byggnadsskalets betydelse	26
Byggnadens fasader och tak	26
Kravspecifikation för luftburna föroreningar	26
Systemval och design av system	30
Designfrågor.....	30
Moduler i klimatsystem och deras funktion	33
Filtrering.....	36
Systemtyper.....	38
Kostnader för energi och drift	40
Referenser	43
Bibliography.....	49
Bilagor	50

FÖRORD

Inom ramen för Energimyndighetens projekt "Spara och bevara" har Högskolan på Gotland bearbetat och översatt kapitel 21 i "2007 ASHRAE® HANDBOOK Heating, Ventilation and Air-Conditioning APPLICATIONS". ASHRAE är namnet på den amerikanska ingenjörorganisationen American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. baserad i Atlanta i USA. Organisationen publicerar ingenjörshandböcker av betydelse. Dess adress är <http://www.ashrae.org>.

Kapitel 21 har titeln "Museums, Galleries, Archives and Libraries" och är författat av "ASHRAE Technical Committee 9.8 large-Building Air-Conditioning Applications" och Cecily M. Grzywacz vid Getty Conservation Institute och Phil Maybee vid The Filter Man Ltd.

Bearbetningen är gjord av Tekn.Dr. Jan Holmberg vid Högskolan på Gotland i samarbete med konservator Monika Fjaestad vid Riksantikvarieämbetet. Syftet med denna publikation är att på svenska sprida de utomordentligt väl underbyggda översikter av problem att beakta vid förebyggande konservering och energibesparing i historiska hus och kyrkor, som presenteras i kapitel 21. Skriften skall ävenledes användas i undervisningen på högskolan. Skriften avspeglar amerikansk engelskt språkbruk och kommatering. Vid bearbetningen har en del spontana svenska kommentarer infogats inom parentes.

Visby i september 2009

Tor Broström Jan Holmberg

INLEDNING

För att förstå och uppskatta mänsklighetens kulturer och historia fordras att vi bevarar historiska föremål av olika slag som exempelvis böcker, dokument, konstföremål, teknologiska framsteg, naturhistoriska föremål, kulturhistoriska föremål och forna tiders handelsvaror. Deras betydelse kan vara nationella, regionala och även lokala. Deras symboliska och estetiska värden kan vara omöjliga att värdera i ekonomiska termer. Därför är bevarandet lönsamt och i många fall även lagligt påkallat. En förlust av ett historiskt föremål är en förlust för alla människor.

Historiska samlingar utsätts för många olika slags hot. Eftersom de bör bevaras för all framtid så vidtages ibland extraordinära åtgärder. De flesta hoten kan avvärjas genom att föremålen förvaras i lämpliga lokaler och behandlas professionellt. Nivån på acceptabel risk för historiska föremål är en kompromiss mellan den teoretiskt ideala bevarandemiljön och den praktiskt möjliga. Det är möjligt att minska nedbrytningen drastiskt men därigenom så minskas eller omöjliggörs tillgängligheten av föremål i museer, bibliotek och arkiv för allmänheten och forskare. Dessutom är det så att extrema krav på bevarandemiljö kan säkerställa ett föremåls överlevnad men då till en kostnad som ingen kulturorganisation kan rättfärdiga eller har råd med. Att kontrollera riskerna, inte att eliminera dem helt, är syftet med denna text.

Detta kapitel diskuterar hot mot samlingar som skyddas av bra klimatsystem som levererar stabila bevarandeklimat i magasin och arkiv och som kan hålla bra klimat i publika lokaler.

Teoretiskt kan många klimatsystem hålla bra bevarandeklimat om de installeras korrekt. För ett framgångsrikt projekt fordras likväl att såväl systemlösningen som driften och underhållet av systemet beaktas.

Kommunikationen med kunden är extra viktigt vid design av klimatsystem för museer, konsthallar, arkiv och bibliotek beroende på dessas speciella krav. Designteamet bör omfatta inte endast museets administratörer utan även föremålsansvariga, kuratorer, konservatorer och säkerhetsansvariga. Administratörerna är ansvariga för de formella besluten men föremålsansvariga är ansvariga för vården och bevarandet av samlingarna. Kuratorer designar och bygger utställningar. Konservatorer ansvarar för föremålsvården. Säkerhetspersonalen ansvarar för föremålens säkerhet. Många beslut vad avser klimatsystem är baserade på samlingarnas krav och byggnadens förutsättningar. För att nå bästa resultat måste alla inblandade delta aktivt i designprocessen. I detta kapitel kan vi endast förklara varför krav på parametrarna temperatur, fuktighet, ljus och luftföroreningar är viktiga för bevarandemiljön, designteamet bestämmer nivån på parametrarna.

Kapitlet fokuserar på hur relativ luftfuktighet, RF, temperatur och luftföroreningar kan styras av klimatsystem och beskriver hur klimatsystem kan utformas. Målet är att tydliggöra vilka speciella krav som ställs för samlingar i museer, gallerier, arkiv och bibliotek. För djupare studier hänvisar vi till referenslistan.

Notera att kapitlet inte behandlar vanliga bibliotek som hyser allmänna samlingar som inte lyder under några arkivstandards. Sådana bibliotek kan ha samlingar för allmänheten och studenter och kan hysa avsevärda mängder elektroniska dokument. Vad som här sägs om kontroll av fuktighet, fasta partiklar och gasformiga föroreningar passar ej för vanliga bibliotek.

I bibliotek som ej har arkiv finns ibland inget system för klimatkontroll eller så är klimatsystemet designat för humankomfort under öppettider och avstängt andra tider för att spara energi.

Detta kapitel gäller ej för situationer när:

- klimatsystemet stängs av under icke öppettider
- klimatsystemet stängs av säsongvis
- klimatsystemet opereras endast för humankomfort
- naturlig ventilation är enda metoden för luftväxling

Faktorer som orsakar skador

Vid konstruktion av ett klimatsystem för historiska samlingar fordras ett bra samarbete mellan VVS-konstruktören, arkitekten, inredningsarkitekten, driftpersonal och personal som har ansvar för bevarandet av samlingarna (föremålsansvariga och konservatorer). Alla begränsningar måste identifieras redan när designarbetet påbörjas.

Historiska föremål och samlingar kan vara av endast ett material, t.ex. ett arkiv med antika böcker, vilket förenklar när kravspecifikationen skall anges. Alternativt kan det vara en kombination av flera material som har olika instabilitet, exempelvis ett bibliotek som har både böcker och film, då blir kravspecifikationen vanligen en kompromiss. För detaljer se Michalski (1996a).

En byggnads arkitektur och dess klimatsystem (VVS-system) bör klara att ta hand om åtta olika hot mot samlingarna. VVS-ingenjörer måste beakta och respektera dessa hot även om de inte är direkt hänfödda till byggnadens klimatsystem. Genom att respektera alla hot får beställaren en ökad säkerhet för de hot och risker som klimatsystemet är konstruerat för att eliminera eller begränsa. Följande hot påverkar alla typer av samlingar, de redovisas i fallande riskordning.

Ljus (strålning) är sannolikt den största faran för museisamlingar. De flesta material (speciellt organiska) påverkas av icke önskvärd permanent fotokemisk eller fotofysisk förändring vid överexponering av ljus. Det är dock relativt enkelt att eliminera ultraviolett ljus, (UV), begränsa ljusintensiteten och begränsa den totala ljusbelastningen.

Relativ luftfuktighet (RF) är också en möjlig risk. Varje organiskt material har en nivå på fuktkvot (u på svenska, EMC på engelska, jämviktsfuktkvot) som ger maximal kemisk, fysisk eller biologisk stabilitet. När jämviktsfuktkvoten är för låg eller för hög så är omgivande RF en riskfaktor. Aktuell litteratur hänför ofta fuktskador till förhållandet "ej lämplig RF" för att markera att det finns ett område för fuktkvot snarare än absoluta värden.

Temperaturområden för olika material måste också kontrolleras. En del polymerer blir sköra och skadas oftare vid för låga temperaturer. Vid för höga temperaturer så accelererar skadliga kemiska processer. Termisk energi accelererar inte endast åldring av material, utan kan även förstärka effekten av ej lämplig RF. Därför så är kombinationen av olämplig RF och temperatur viktig när man skall bestämma bästa bevarandeklimat för organiskt material som papper eller foto. Varje temperaturförändring ändrar RF. Därför så fordrar en kontroll av RF även kontroll av temperatur.

Luftföroreningar inkluderar utomhus genererade gasformiga föroreningar och partikelburna föroreningar som infiltrerar en byggnad liksom de föroreningar som genereras inomhus. Även låga nivåer av föroreningar kan allvarligt skada samlingar. Filtrering för att kontrollera såväl gasformiga föroreningar som partikelburna föroreningar diskuteras i avsnitten Systemval och Design.

Biologiskt angrepp är huvudsakligen insekter som äter på samlingarna. Mögel och bakterier räknas också hit. De kan begränsas genom att kontrollera RF, temperatur, luftföroreningar inomhus och luftväxling.

Stötar och vibrationer orsakar bestående skador på känsliga föremål. Vibrationer kan överföras till föremål under transport av truckar och lyftanordningar. Normalt behöver VVS-konstruktören bara bevaka att vibrationer i ventilationskanaler inte förs vidare till föremål som förvaras hängande på närliggande väggar eller som överförs via luftstrålar. Kraftiga vibrationer kan leda till att hyllsystem vibrerar.

Naturkatastrofer är sällan förekommande men alla institutioner bör ha en plan för hur sådana risker skall behandlas. Felfunktioner i byggnadsstommen och i VVS-system, exempelvis läckande vattenrör som hänger över hyllsystem i ett magasin, kan förutses och åtgärdas. Den låga frekvensen på sådana katastrofer leder till att riskerna negligeras men en enda vattenläcka kan skada en stor del av en samling. Alla ansträngningar skall göras för att inte förlägga vattenrör ovanför samlingar, vare sig i magasin eller utställningar. Byggnader är beroende av de infrastrukturer som omger dem och försörjer dem. Om infrastrukturen inte är helt pålitlig eller av lämplig typ så måste åtgärder vidtagas. (För svensk del gäller att våra dagvattensystem inte är dimensionerade för 100-års regn vilka blir allt mer frekventa).

Stöld, vandalism och bortglömda föremål kan åtgärdas genom att begränsa tillträdet till mekaniska system så att säkerheten förbättras. (Oklart vad ASHRAE menar med detta uttalande, sannolikt menar de att alla fläktrum och apparatrum skall ha tillträdesskydd.)

Detta kapitel fokuserar på relativ luftfuktighet, RF, temperatur och luftföroreningar vid design av VVS-system. Management av bevarandeklimat i museer och bibliotek behandlas i ett flertal böcker, se referenserna och litteraturförteckningen.

MILJÖPÅVERKAN PÅ SAMLINGAR

Att fastställa funktionskrav

Museer, arkiv och bibliotek har två funktionskrav på klimatet inomhus. Det första gäller humankomfort, säkerhet och driftekonomi för VVS-system, det andra gäller samlingarnas krav, bevarandeklimatet, som inte ännu är helt utforskat och som ofta leder till konflikter när olika föremålstyper samlas i gemensamma lokaler. Det första funktionskravet är beskrivet i ASHRAE Standards 55 och 62.2. Riskerna när man kompromissar med RF- och temperaturkrav måste värderas. Följande kapitel redovisar bästa tillgängliga information i dagsläget.

Lokaler i en byggnad kan vad avser humankomfort och bevarandeklimat klassificeras enligt tabell 1. (1) samlingar eller inga samlingar, (2) publika eller ej publika, (3) rena eller icke rena. Denna uppdelning utmärker lokaler som har olika krav på termiskt klimat och luftrenhet, ventilationsbehov, strategier för luftdistribution etc. Vanligen fordrar dessa lokaler separata VVS-system. Se kapitlen 14, 29 och 30 för mer information om icke rena lokaler. Lokaler som inte rymmer samlingar behandlas inte i detta kapitel eftersom dessas klimatkrav motsvarar kraven för andra typer av offentliga byggnader.

De följande avsnitten ger grunderna för att fastställa funktions- och klimatkrav för olika slags museer, bibliotek och arkiv. Ett mål är att nå kompromissen mellan ett flertal olika, ofta motsägande krav. Emellertid är många samlingar så likformiga att det går att fastställa generella klimat- och funktionskrav. I kapitlet används begreppet effektiv som samlingsbegrepp för såväl vedertagna klimat- och funktionskrav (alltså institutionernas värdebedömningar) som krav som bygger på vetenskapliga belägg för nedbrytning. (Michalski 1996b).

Temperatur och relativ luftfuktighet, RF

Nuvarande standardkrav. Den klassiska referensen för konservatorer är Thomson (1994) *The Museum Environment*. Börvärden på 50 % RF och 20 °C anges som lämpliga i tempererade klimat och olyckligtvis ansedda vara ideala (i USA blev 20 °C vanligen avrundat till 70 °F). Vid tolkning av standardvärden är missförstånd en fara. Siffror i en tabell kan användas utan att den tillhörande förklarande texten beaktas.

(Detta gäller för Thomsons klassiska 50 % $\pm$ 5 % RF. Översättaren har tidigare bearbetat *The Museum Environment* och noterat att Thomson i Appendix på sid 268 i Second edition 1968 förklarar inom vilka gränser som RF kan få variera, alltså 45 – 60 % RF för blandade samlingar. Vid ett personligt sammanträffande nämnde Thomson att 50 % $\pm$ 5 % angavs i handboken därför att luftkonditioneringsindustrin på den tiden, handboken kom ut redan 1967, deklarerade att den kunde hålla så snäva klimatgränser kontinuerligt. På den tiden var det avgörande att i stora datorhallar med exempelvis IBM hålkortsmaskiner hålla konstant RF för att säkerställa driften med hålkort av papper.)

Tabell 1 – Klassindelning av rum i museer och bibliotek			
		Hög grad av föroreningskällor inomhus (smutsig)	Låg grad av föroreningskällor inomhus (rent)
Samlingar	Ej publika	Konserveringslaboratorier, verkstäder (VOCs, gaser, rök och damm) "Våta" samlingar (avdunstning av alkohol eller formaldehyd från dåligt tätade kärl i naturhistoriska samlingar) Fotosamlingar ("vinägersyndrom" ger åttika i gasform)	De flesta magasin, säkerhetsvalv, bokförråd
	Publika	Visning av konserveringsarbete (ovanligt och tillfälligt)	Museisalar, läsesalar
Övrig verksamhet	Ej publika	Kontor för rökare (ovanligt)	Kontor (rökning förbjudet)
	Publika	Cafeterior, toaletter, utrymmen där rökning är tillåtet	Publika utrymmen utan tillagning av mat eller rökning Enstaka bibliotek och läsesalar

Detta förhållande är anledningen till att klimatparametrarna i detta kapitel redovisas för olika typer av samlingar och olika byggnadstyper. Klimatdata bör relateras till typ av samling och måste sammanlänkas med den klimatzon som byggnaden ligger i. Fotografiska samlingar i nordöstra Nordamerika har andra behov av bevarandeklimat än samlingar av keramik i närheten av Ekvatorn.

Den ingenjör som konstruerar klimatsystemet kan inte förväntas veta samlingens behov, han måste konsultera föremålsansvariga, konservatorer och intendent. Börvärdena är en kompromiss mellan humankomfort för besökare och museipersonal och en lägsta temperatur och RF för samlingen. Davis (2006) redovisar att en sänkning av temperaturen från 20 till 18 °C och RF från 50 till 45 % påtagligt förlänger föremålens förväntade livslängd. Ett användbart verktyg för att värdera åldring och degradering är *Preservation Calculator* skapat av *The Image Permanence Institute, IPI 2006*, som kan laddas ner gratis från <http://www.imagepermanenceinstitute.org/shtml-sub/dl-prescale.shtml>. Denna mjukvara beräknar *Preservation Index, PI*, som är ett mått på bevarandekvaliten på miljön i ett magasin eller arkiv som förvarar organiska material.

PI hjälper oss att förstå temperaturen och RFs betydelse för naturlig åldring av föremål i samlingar med organiska material. När vi jämför de tidigare "ideala" börvärdena (20 °C och 50 % RF) med numera rekommenderade börvärden (18 °C och 45 % RF) så ökar *PI* från 39 till 64 år eller med 64 %. *IPI* har också utvecklat en mjukvara som omfattar en mer sofistikerad beräkningsmetod som även tar hänsyn till typ av samling, ljus osv.

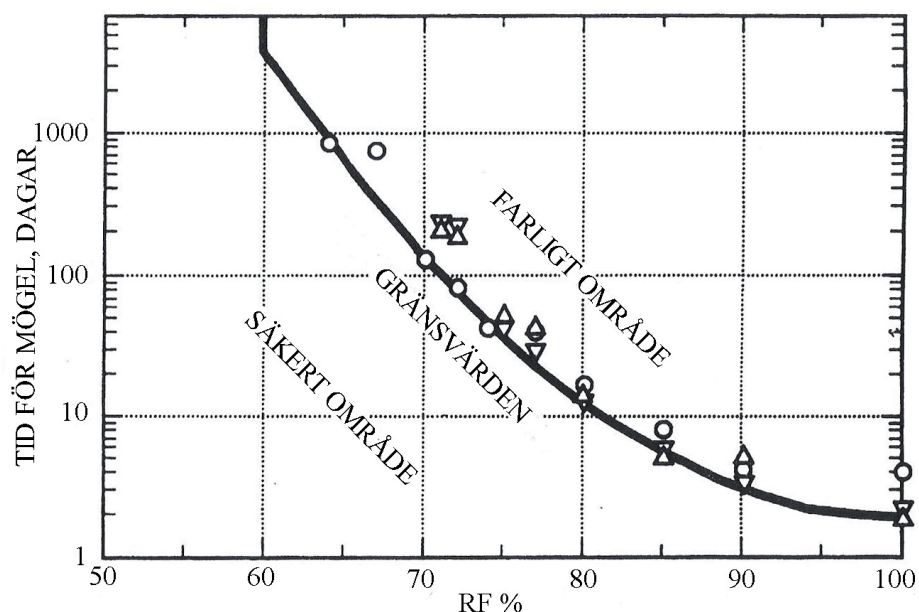
Biologiska skador. Fuktig miljö orsakar tillväxt av mögel på de flesta ytor, korroderar metaller och orsakar kemisk nedbrytning i de flesta organiska material. Av de miljöparametrar som kan kontrolleras med klimatanläggningar är hög luftfuktighet den viktigaste.

Vi finner den mest omfattande informationen om mögel i livsmedelslitteraturen. Turligt nog så ser vi där en konservativ (försiktig) bedömning av högsta värden för en farlig situation. Mögel på museiföremål bildas i första hand på föremål som är kontaminerade av socker, stärkelse, olja och fett men kan också börja

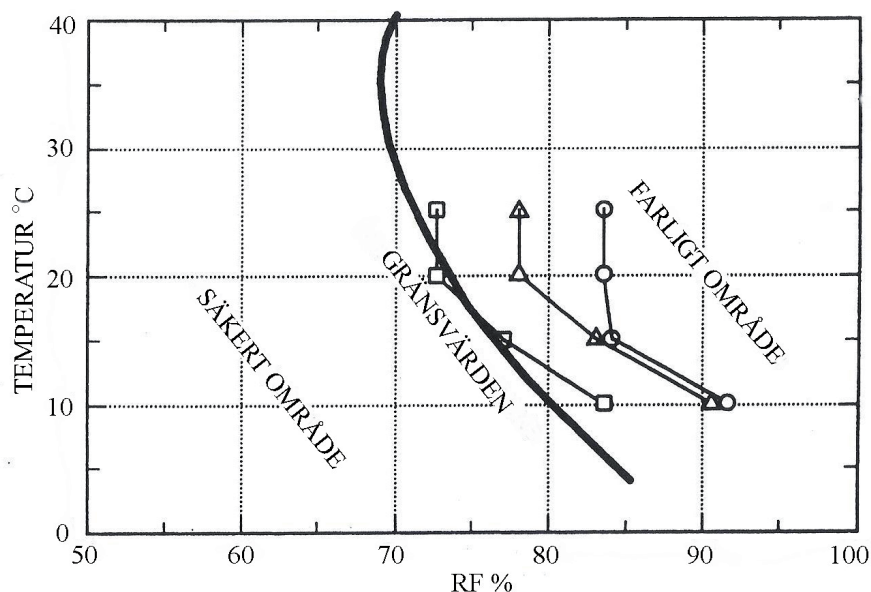
blomma på föremål gjorda av gräs, hud, ben och andra livsmedelsliknande material. När RF mäts nära ett föremål så registreras vattenaktiviteten. Detta är ett bättre mått för att identifiera risker för mögeltillväxt på ett föremål än att registrera föremålets fuktkvot, EMC, (Beuchat 1987).

Figur 1 visar den kombinerade effekten av temperatur och RF. Resultatet av studiet av en mycket värdefull boksamling som gjordes av Groom och Panisset (1933) överensstämmer med de resultat som Ayerst (1968) redovisar. Ohtsuki (1990) rapporterade att mikroskopiskt mögel bildades på rena metallytor vid 60 % RF. DNA-spiralen kollapsar nära 55 % RF (Beuchat 1987), vilket ger en konservativ nivå på RF där mögel inte kan växa på något föremål, vid någon temperatur, under 60 % RF.

Snow et.al. (1944) studerade synlig mögelväxt på material som smittats med mögel. Resultaten är plottade i figur 2 och följer samma trend som rapporterades av Hens (1993) vad gäller mögel i väggar i europeisk byggindustri.



Figur 1. Temperatur och RF för bildande av synligt mögel inom 100 till 200 dygn. Förutsätter att RF stigit till angivna värden, ej sjunkit. Figuren baseras på Groom och Panisset (1933) som studerade bolmaterial. Gränskurvan baseras på Ayerst (1968) Summary of culture studies.



Figur 2. Tid för bildande av synligt mögel. Förutsätter mycket känsliga material vid temperaturen 25 °C. Förutsätter att RF stigit till angivna värden, ej sjunkit. Angivna mätpunkter från Snow et.al (1944).

Figurerna 1 och 2 visar verkliga risker. För att blommande mögel skall växa till under en sommarsäsong så fordras en RF över 70 % hela säsongen. Om mögel skall växa till under en period kortare än en vecka så fordras en RF över 85 % under hela perioden.

När museer behöver luftbefeuktning vintertid för att samlingarna skall skyddas och besökare trivas så måste hänsyn tas till risker med kalla fönsterytor och ventilationskanaler där kondensation kan uppstå.

Vid RF över 75 % uppstår snabbt korrosion av två skäl: ökad vattenadsorption och förorening av salter. Vattenadsorption på rena metallytor ökar snabbt från ett lager av tre molekyler eller färre vid RF under 75 % till utbildade vattenbeläggningar över 75 % RF. Graedel (1994). Detta fenomen förvärras av de flesta föroreningar på ytor som påvisats vid studier av dammbeläggningens betydelse vid korrosion på rent stål. Den vanligaste föroreningen på metaller i museisamlingar är natriumklorid, NaCl, som löser sig och övergår i vätskefas vid RF över 76 %.

Mekaniska skador. Mycket låg eller varierande RF eller temperatur kan leda till fysiska skador på museiföremål. Den väsentliga orsaken är svällning eller krympning i organiska material kombinerat med någon slags intern eller extern stress. Mycket låg RF eller temperatur orsakar också styvhet i organiska material som gör dem mer känsliga för sprickbildning eller bristning. Detta förhållande är orsaken till de extremt låga variationer på temperatur och RF, exempelvis 50 ± 3 % RF och 21 ± 1 °C som fortfarande rekommenderas av flera museer och arkiv (LaFontaine 1979). Dessa specifikationer blev extrapolerade från observationerna att mycket stora variationer skadade en del föremål. Men de var ej baserade på vare sig försök eller teoretiska studier av hur mindre variationer påverkar föremål.

Forskning på museiföremål (Erhardt och Mecklenburg 1994, Erhardt et.al. 1996, Erlebacher et.al. 1992, Mecklenburg och Tumosa 1991, Mecklenburg et.al. 1998, 2005, Michalski 1991, 1993) med erfarenhet av museer i historiska byggnader, och jämförelser av historiska byggnader med och utan klimatanläggningar (Oreszczyn et.al. 1994) ledde till förnyelse av nämnda klimatspecifikationer. Bortsett från mindre motsättningar om nämnda specifikationer så är de praktiska slutsatserna desamma. De traditionellt mycket små toleranserna på bevarandeklimat motsvarade ej museiföremålets behov. Mellan variationerna på RF om ca ± 10 % vid temperaturen ± 10 K och variationerna på RF om ca ± 20 % och temperaturen ± 20 K så stiger riskerna från obetydliga till betydliga för en blandad historisk samling och stiger sedan snabbt vid större variationer. Klimatområdet ± 20 till 40 % RF bekräftar allmänna observationer av krackelerade och spruckna kabinettskåp och målningar.

Forskningsmodeller använder ett begränsat antal prover av organiska material (t.ex. oljefärg, lim eller trä) vid prov med sänkt RF eller temperatur. Proverna både krymper och styvnar. Daly och Michalski (1987) och Hedley (1988) samlade överensstämmande data om ökningen av spänning i traditionella oljefärger, och Michalski (1991, 1999) fann likartade resultat för andra viskoelastiska data för färger och deras polymerer. I akrylmålningar ökar inte spänningen vid låg RF lika mycket som i traditionella oljemålningar. Däremot så styvnar akrylfärger mycket mer än oljefärger mellan 21 och 5 °C, vilket har till följd att akrylmålningar är mer känsliga för stötar och transportskador. Ökningen i spänning i ett material kan beräknas, produkten av elasticitetsmodulen gånger expansionskoefficienten integrerad över minskningen av RF eller temperatur ger spänningen. Varje faktor är en funktion av RF och temperatur (Michalski 1991, 1998, Perera och Vanden Eynde 1987). Mecklenburg et.al. (2005) visade att oljefärger och akrylfärger inte påverkas ogynnsamt av låg RF men av låg temperatur. Deras forskning visar också att de flesta oljefärger krymper mycket lite från 60 till 10 % RF.

Försök genomförda vid Smithsonian Institute hade materialens flytgräns (alltså gränsen för bestående deformation) som tröskelvärde för skada och därmed tillåtna fluktuationer (Erhardt och Mecklenburg 1994, Mecklenburg et.al. 1998). Från deras resultat om expansionskoefficienter och sträckgränser i exempelvis trä, så bedömde de att den tillåtna RF-variationen för furu och ek är ± 10 % och för gran något större. Försök på färg och lim gav som resultat att ± 15 % RF är säkra gränser för att undvika bestående skador (Mecklenburg et.al. 1994). (Detta resonemang gäller ej för nedbrutet material som förekommer i svenska samlingar.)

Ytterligare data om sträckgränser tvärs fiberriktningen återfinns för de flesta träslagen i USDA (1999). Dessa data kan kombineras med elasticitetsdata för ett träslag och RF för att erhålla flytgränsen och RF variation för att flytning skall ske (bestående deformation). Dessa värden varierar kraftigt men centrerar kring ± 15 % RF.

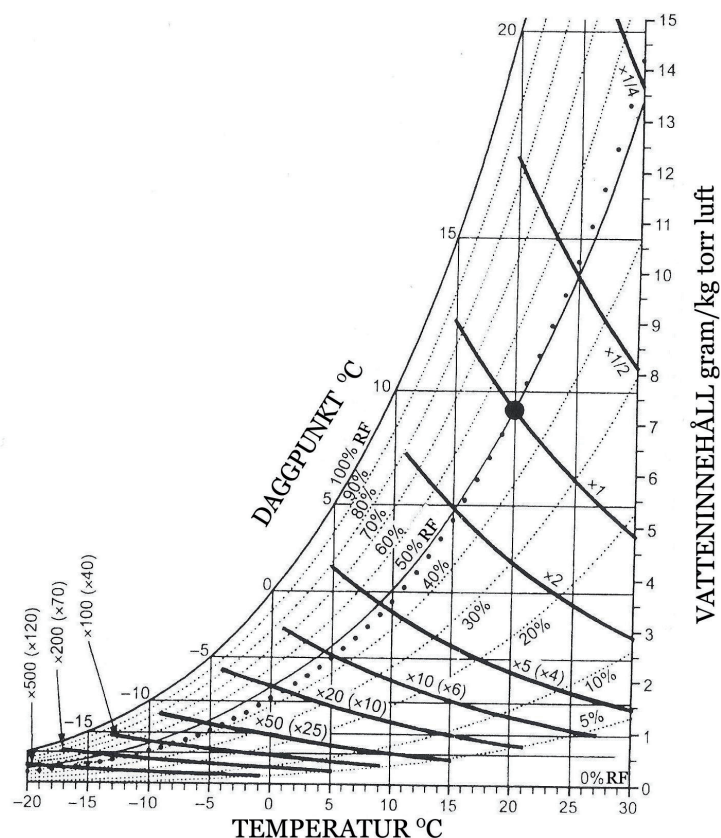
I alternativa försök av Canadian Conservation Institute användes brott som kriterium för skada och det generella mönstret för utmattning i trä och polymerer för att extrapolera effekten av mindre men återkommande cykler av RF (Michalski 1991). Med målet att ett brott sannolikt sker vid en variation av RF på ± 40 %, vilket är känt från observationer av museiföremål, så kan tröskeln för utmatt-

ning (107 cykler eller mer) extrapoleras med en ungefärlig faktor av 0,5 för trä ($\pm 20\%$ RF) och 0,25 för sköra polymerer ($\pm 10\%$ RF) som exempelvis gammal färg.

Detta överensstämmer med villkoren för flytning; flytspänning i dessa material motsvarar spänningar som orsakar små eller ofarliga sprickor per cykel. Forskare noterade också att expansionskoefficienten för trä och andra material minskade vid moderat RF beroende på sigmoidala adsorptionsisotermer, så variationer vid lägre och högre RF tenderar att bli ännu mer riskabla.

Båda modellerna förutsätter homogena (likformiga) material. Som en första approximation kan sägas att många laminära föremål (exempelvis målningar på spännram, fotosamlingar) faller inom denna klass. Konstföremål är ofta sammansatta av olika material. En del är mindre känsliga beroende på att de inte är inspända eller har begränsad rörlighet (exempelvis ej ramade träpaneler, böcker och fotografier monterade så att de behåller sin rörlighet), andra föremål har delar som påverkas av allvarliga spänningar som orsakar frakturer och brott. Michalski (1996b) klassificerar sårbarheten för träföremål som mycket stor, stor, medium (homogena föremål) och låg. Varje klass skiljer sig från närmaste lägre med en faktor två (halva variationen i RF ger samma risk för skada).

Kemiska skador. Högre temperaturer och moderata mängder av adsorberad fukt orsakar snabb nedbrytning av kemiskt instabila föremål, speciellt arkivmaterial. Den mest skadliga faktorn för moderna arkivalier är sur hydrolys som påverkar papper, fotonegativ och magnetiska media (såväl analoga som digitala). Sebor (1995) utvecklade en grafisk modell för att relatera nämnda parametrar till livslängd för papper. En utvecklad grafisk redovisning visas i figur 3. Som tur är är påverkan av RF och temperatur relativt lika för olika slags arkivalier. Även om kvantifieringen av livslängd för arkivalier är diskutabel, så är expertisen enig om att de känsligaste arkivalierna (t.ex. videotaper och syrabelastade negativ) kan bli instabila i normala rumsklimat inom några decennier, och ännu mycket snabbare i heta och fuktiga klimat. Figur 3 visar den relativt ökade livslängden för arkivalier (exempelvis papper, fotonegativ och magnetband) i kalla och torra miljöer. Omfattningen av siffrorna för varje kurva reflekterar spridningen på tillgängliga data. Extrapoleringen av kurvor under 5 % RF är osäker. Den kemiska nedbrytningen kan eller kan inte bli noll, beroende på långsamma icke fuktkontrollerade mekanismer som oxidation.



Figur 3. Livslängdsmultiplar relaterade till 20 °C och 50 % RF. Multiplarna gäller för hydrolys-dominerad nedbrytning vilket gäller alla låg- och medelstabla media (dock ej optiska). Första multiplen baseras på medelvärden av tillgängliga data. Andra multiplen (inom parentes) baseras på pessimistiska data. Prickade linjer visar den ungefärliga kurvan för konstant fuktkvot för papper, fotografiskt material och de flesta organiska material med jämvikt vid 50 % RF och temperaturen 20 °C. Avvikelsen från RF-kurvan är ca 0,4 % RF per K.

Kritisk RF

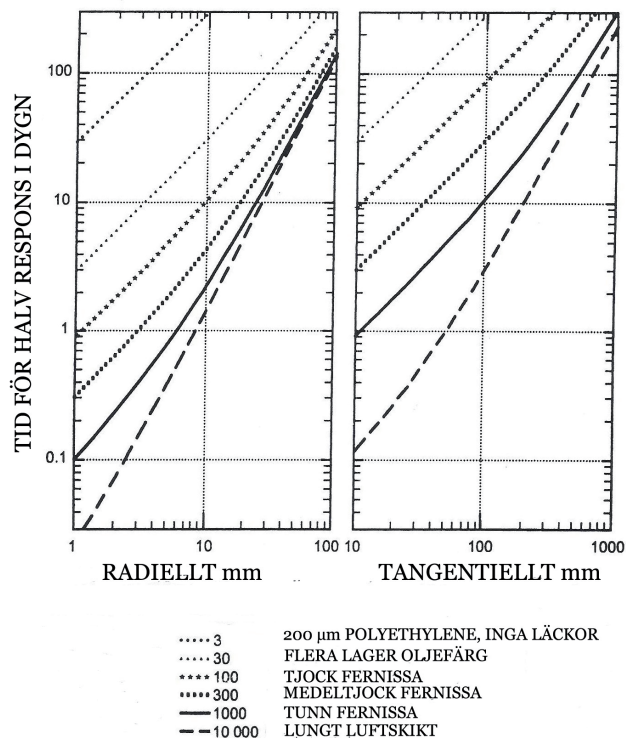
Vid en viss kritisk RF så uppfuktas, torkas alternativt smälter en del mineraler. Dessa mineraler skadar föremålet om det består av en saltbemängd porös sten, en korroderad metall eller ett naturhistoriskt material. Distinkta kritiska RF-nivåer är kända för många mineraler i naturhistoriska samlingar (Waller 1992). Pyrit, som kontaminerar de flesta fossiler, sönderdelas när det förvaras i RF över 60 % (Howie 1992). Brons som är en av de mest betydelsefulla arkeologiska metallerna har en komplex korrosionskemi och flera kritiska RF-värden (Scott 1990). Denna variation på RF-värden visar att det inte finns någon generellt säker RF-nivå. Individuella bevarandeklimat kan skapas för föremål med speciella krav genom förvaringsskåp, montrar eller förpackningar som har RF-kontroll (Walter 1992). Generellt gäller dock att alla miljöer med RF över 75 % är farliga.

Responstid för föremål

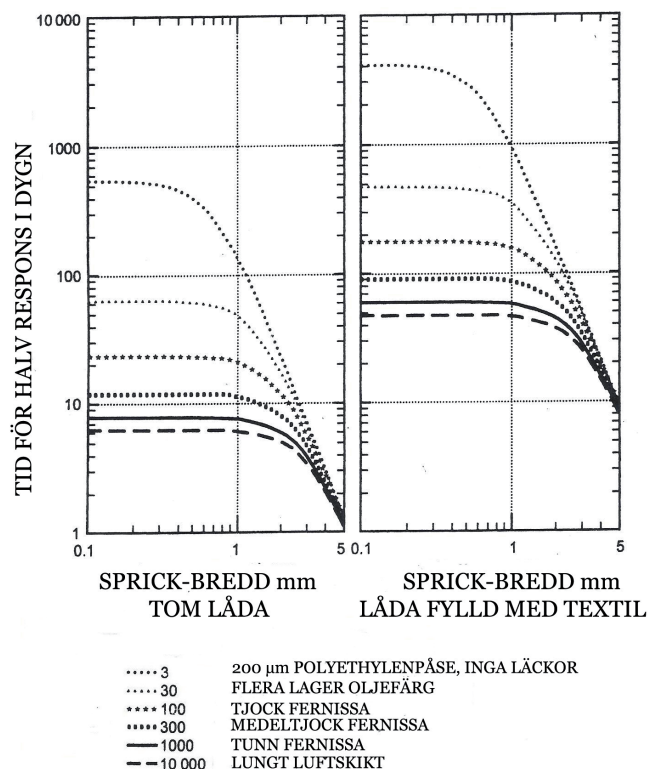
Mindre RF-variationer påverkar normalt inte museiföremål. Få föremål påverkas av en 15 minuters variation i rumsklimat för så vitt variationen inte är så kraftig att den orsakar kondens. För de flesta föremål tar det dagar innan de påverkas. Figur 4 visar den beräknade tiden för respons i föremål av trä. Figur 5 visar samverkan av luftläckage och trätors och textiliers buffrande förmåga vid förvaring i en byrålåda. Risker ökar om möbelen visas tom och öppna i stället för full och stängd. Responstiden minskar från månader till dagar.

Mycket långa amplituder som exempelvis säsongsvariationer är tillräckligt långsamma för att möjliggöra naturlig avspänning i olika delar av konstföremål. Många olje- och akrylfärger har elasticitetsmoduler som indikerar att de över tid, beroende på temperatur eller RF, (Michalski 1991) och värden på avspänning, reagerar så att de påverkas mindre om spänningen ligger på i ett dygn än om spänningen ligger på i 4 månader vid normala rumstemperaturer. Sålunda bör ett 4 månaders hot om ± 20 % RF orsaka lägre spänning i de flesta föremål än 1 veckas variation i RF på ± 10 %.

Figur 4. Beräknad tid för fuktupptagning i trä. Beräkningen är gjord för "vanligt" trä vid rumstemperatur och 25 till 75 % RF. Siffrorna före angivna beläggningar är permeansen i $\text{ng/Pa m}^2 \text{ s}$. Använd den kurva som ger snabbaste respons. (Permeansen är ett mått på den vattenånga som transporteras genom diffusion per yttorhet mellan två parallella ytor och där drivkraften är skillnaden i ångtryck mellan ytorna.)



Figur 5. Samverkan av luftläckage, ytbeläggning på trä och textilers buffrande förmåga på respons i byrålåda av trä. Beräkningen gäller en 15 mm djup spricka i översta och nedersta byrålådan, trä tjocklek 10 mm, ytbeläggning endast på utsidan, byrå 1,5 m hög, 1 m bred och 0,5 m djup. Drivkraft orsakad av 40 % RF eller 1 °C. Siffrorna före angivna beläggningar är permeansen i $\text{ng/Pa m}^2 \text{ s}$.



Luftburna föroreningar

Forskning visar att gasformiga föroreningar utomhus lätt tränger in i alla typer av byggnader, även luftkonditionerade, när kemiska luftfilter inte används för att avskilja dem (Cass et.al. 1989, Davies et.al. 1884, Druzik et.al. 1990). Partikelin-trängningen utifrån till konstmuseer är också väldokumenterad (Brimblecombe, Nazaroff et.al. 1993, Yoon and Brimblecombe 2001).

Konst och museisamlingar kan själva vara källor till luftburna föroreningar (Grzyvacz och Gailunas 1997). Samlingar av läder, päls och olika slags trä kan emittera reducerade sulfider, aldehyder, karboxylsyror eller fettsyror. Dessa föroreningar kan anstifta eller accelerera nedbrytning av andra konstföremål. Ättiksyra som emitteras från degraderande acetatfilm är ett bra exempel. Generellt så kommer de största riskerna från inomhus emitterade föroreningar som ättiksyra och myrsyra. En föregångare till dessa är formaldehyd (Raychandhuri och Brimblecombe 2000) som också måste hållas under kontroll. Dessa gaser emitteras från trä och träbaserade material och från lim och lacker etc. Reducerade sulfider (t.ex. vätesulfid och kolsulfid) kan avges från ull och silke (Brimblecombe et.al. 1992, Watts 1999).

Vid ombyggnad eller renovering av en byggnad eller ett rum eller en monter genereras stora mängder av svävande partiklar (ofta inkluderande mögelsporer och ångor). Beroende på ventilationssystemets kapacitet så kan de luftburna föroreningarna inte reduceras till acceptabla nivåer på veckor och upp till månader eller t.o.m. efter det att byggnadsarbetena har avslutats (Eremin och Tate 1999, Grzywacz 2006). Limmer, lacker och tätningsmedel emitterar initialt mycket föroreningar. I dåligt ventilerade skåp och rum så kan emissionsgraden bli fördröjd om vattenångan är i jämviktstryck. Som tur är så sjunker föroreningar från fuktiga ytor i välventilerade rum snabbt, även om karboxylsyror som emitteras från alkyl- eller oljebaserade beläggningar (färger) minskar mer långsamt (Chang et.al. 1998, Fortmann et.al. 1998). Även efter det att emissionen har klingat av så kan mängden syra frigjord av dessa lacker och beläggningar vara skadligt i flera år, även i ventilerade rum. Gatukök är också källor till föroreningar och kräver speciell hänsyn. Uteluften som tas in i ventilationssystem som ventilerar samlingar är av stor vikt.

Källor för luftburna föroreningar

Det finns hundratals luftföroreningar men endast ett fåtal har hitintills blivit identifierade som skadliga för samlingar i museer och arkiv. I tabell 2 listas vanliga luftföroreningar, deras typiska ursprung och vilka material som kan skadas. Kolväten och andra flyktiga organiska föreningar (VOCs) som alkoholer och ketoner må vara viktiga för humankomfort och hälsa, men de är vanligen ej ett hot mot museiföremål (konstföremål). Utomhuskällor för luftburna föroreningar är huvudsakligen industriella och mänskliga aktiviteter. Oorganiska föroreningar utomhus som orsakar skador på material är viktiga, men eftersom användningen av alkoholbaserade bränslen ökar så blir organiska föreningar, speciellt formaldehyd och organiska syror (Anderson et.al. 1996, Schifter et.al. 2000) mer viktiga. Geologiska och biologiska aktiviteter frigör svavelväte och ammoniak, jordbruksindustrin är en väsentlig ammoniakkälla. (Allegrini et.al. 1984, Walker

Tabell 2 – Vanliga gasformiga föroreningar skadliga för museer, konstsalonger, arkiv och bibliotek: Källor och material som riskerar att skadas		
Gasformiga föroreningar	Huvudsakliga källor och några viktiga mindre källor	Material som riskerar att skadas
VIKTIGA OORGANISKA FÖRORENINGAR		
Svaveldioxid (SO₂) Svaveldioxid kan reagera med vattenånga i luften och bilda både svavelsyrlighet (H₂SO₃) och svavelsyra (H₂SO₄). Vid fuktig väderlek koagulerar sura gaser till supersmå droppar, aerosoler, benämnt surt regn. En liknande reaktion sker inomhus, där sura gaser deponerar på ytor och kan orsaka skada.	KÄLLOR UTMOMHUS <u>Naturliga källor</u> - Marinbiologiska aktiviteter och vulkaner - Atmosfäriska reaktioner av svavelväte (H₂S), som reagerar snabbt med syre och bildar både SO₂ och H₂SO₄. <u>Industriella processer</u> - Den väsentliga källan av SO₂ är förbränningen av svavelhaltiga fossila bränslen, inkluderande kol, bensin och dieselolja. - Industriella processer associerade med massa- och pappersproduktion, cementproduktion, oljeraffinaderier, särskilt när bränslen med hög svavelhalt används. - Fyrverkerier (kan vara en lokal, kortvarig risk) KÄLLOR INOMHUS - Svavelhaltiga bränslen som fotogen och kol som används för matlagning och uppvärmning (relevant för historiska hus samt museer i områden som huvudsakligen använder sådana bränslen) - Träbränsle som används för matlagning och uppvärmning - Vulkaniserat gummi - Propan- eller bensindrivna maskiner, utrustningar och generatorer	- Kan absorberas i cellulosa, exempelvis papper, historiska tapeter och textilier, där kan det katalytiskt hydrolyseras till H₂SO₃, H₂SO₄ och H₂SO₅, kan också absorberas direkt till dessa material (syran avpolymererar cellulosastrukturen och även om skadan är osynlig så blir materialet skört och försvagat). - SO₂ och relaterade syror reagerar med djurhudar som läder och pergament; [molekylärstrukturen bryts ner och materialet försvagas; ytskiktet blir pulveriserat och skadas lätt (red rot)]. - De alstrade föroreningarna reagerar med syrakänsliga pigment, resulterande i typiska icke-reversibla färgförändringar (t.ex. vit blömnja övergår till svart blysvlfat, resulterande i mörkande färger) bly-tenngult, kromgult, verdigris, kromorange, smaragdgrönt och kromrött, flera pigment förmörkas av sulfater. - Bleker textila färger, påverkar akvarellfärger, textilier, kläder etc. - De flesta metaller, inkluderande koppar, silver, bronslegeringar och aluminium är mottagliga för korrosion av syror som ger bestående skador. - Silversalter i fotografier påverkas och bilden mörknar. - Angriper stenarter som kalksten, sandsten, marmor, dolomit och andra karbonatmineral eller kalkhaltiga material som snäckor, leror och kakel, till riskgruppen hör skulptur, kulturhistoriska samlingar och lågbränd keramik. - Kan oxideras till svavelsyra eller svavelsyrlighet när det adsorberas på sotflagor eller kolpartiklar på smutsiga, dammiga föremål. Detta är en risk för alla syrakänsliga material.
Kväveoxider (NO_x) NO_x är en gemensam benämning för kvävemoxid (NO) och kvävedioxid (NO₂). Färglös NO är huvudsakligen en trafikförorening. Den reagerar med andra kemiska ämnen i luften och bildar många andra reaktiva kväveföreningar, speciellt NO₂, en stickande röd gas som till del färger fotokemisk dimma. Oxidation (av ozon, UV-strålning etc.) av kväveoxider genererar salpetersyrlighet (HNO₃) och salpetersyra (HNO₃). Detta sker både inomhus och utomhus. Dessa likartade syror är mycket reaktiva.	KÄLLOR UTMOMHUS <u>Naturliga källor</u> - Naturliga källor inkluderar åskväder och biologiska processer som jordmikrober, vegetation, förbränning av biomassa etc. - Gödningsmedel <u>Industriella källor</u> - Förbränning av fossila bränslen för industri och trafik (höga koncentrationer i samband med trafik i tätorter och termiska kraftverk) - Fyrverkerier (tillfällig men relevant källa) KÄLLOR INOMHUS <u>Gas-fas reaktioner</u> - Bildande av syror; reaktioner av NO och NO₂ på ytor inomhus, inkluderande glas; med kol och kolhaltiga aerosoler genereras HNO₃ och HNO₂.	- Salpetersyra och salpetersyrlighet kan skada samma syrakänsliga material som angrips av svavelsyra eller svavelsyrlighet. - NO₂ ökar nedbrytningseffekten av SO₂ på läder, metaller, sten etc. (synergieffekt). - Korrosion på kopparrik silverlegering. - Kväveföreningar bleker färgade fibrer i textilier, kläder, gardiner, tapeter etc. Reaktioner med färgstoffet ändrar nyanser i textilier. - Kväveföreningar bleker tusch och organiska pigment i färglagda manuskript etc. - Kväveföreningar bryter ner fibrer av rayon, silke, ull och nylon; orsakar gulfärgning och skörhet. - Kväveföreningar korroderar zink; synergieffekt med H₂S. - Ökar svårighet att rengöra koppar och silver i samband med oxidation genom svavelväte.

Tabell 2 - fortsättning

Gasformiga föroreningar	Huvudsakliga källor och några viktiga mindre källor	Material som riskerar att skadas
	<u>Inomhusaktiviteter</u> - Kaminer, värmare, eldstäder och andra källor för förbränning. - Tobaksrök - Fotokopiatorer - Nedbrytning av föremål av cellulosanitrat <u>Byggverksamhet</u> - Generatorer och tung maskinutrustning som använder förbränningsmotorer.	
Reducerade svavelföreningar Svavelväte (H_2S) Karbonylsulfid (COS) Koldisulfid (CS_2), Svavelväte (H_2S) luktar som ruttna ägg. Den är ansvarig för odoen från heta källor och från avloppsreningsverk. Svavelväte är mycket giftigt för människan, men kan spåras vid mycket låga koncentrationer (1 ppb). Samlingar är känsliga för svavelföreningar vid även lägre koncentrationer (ppt).	KÄLLOR UTOMHUS <u>Naturliga källor</u> - Vulkaner, geotermisk ånga, geysrar, svavelkällor, heta källor - Oceaner, sjöar, marina områden - Träsk, jord, mossar, våtmarker - Biologiska aktiviteter, nedbrytning av organiskt material, utsläpp från vegetation, förbränning av biomassa, skogsbränder, regnskogar etc. <u>Industriella processer</u> - Olje- och kolförbränning - Tillverkning av rayon, vulkanisering av gummi etc. - Oljeraffinering, pappers- och massatillverkning <u>Atmosfärisk kemi</u> H_2S och COS (karbonylsulfid) skapas vid oxidation av koldisulfid <u>Samlingar och föremål</u> - Föremål i pyrit (järnsulfid, FeS_2), sulfatreducerande bakterier i sjödränkta föremål <u>Montermaterial</u> - Emission (avgasning) från svavelhaltiga proteiner i material som används i montrar, speciellt silke, ull och filt - Bindemedel, speciellt de som tillverkas av djurhudar, animaliskt lim exempelvis "rabbit skin glue" <u>Byggmaterial, entreprenadverksamhet</u> - Arc-svetsning (kan vara omfattande vid ombyggnad och renovering) <u>Golvmaterial</u> - Mattor av ull	H_2S skadar omogen växtvävnad (relevant för naturhistoriska och botaniska samlingar) - Blypigment: karbonater (blyvitt) och oxider (t.ex. blymönja) är känsliga för svärtning av H_2S. - Metaller: koppar exponerad mot H_2S utvecklar ett ytskikt av svart kopparsulfid, eventuellt ersatt av en grön patina av kopparsulfat; extremt skadligt för silver och silversalter, svärta silverföremål, reagerar med silversalter i fotografier, reagerar med silverinläggningar, försilvringar etc.; reagerar med brons, bly, har synergieffekt med NO_2 och korroderar med zink (se NO_2) - Lågbränd keramik - Sten, speciellt byggsten inomhus - Läder (se svaveldioxid)
KRAFTIGT OXIDERANDE FÖRORENINGAR Oxiderande föroreningar utgör en stor risk för samlingar. Oxidanter bryter ner strukturerna i organiska material genom att attackera kol - kol dubbelbindningar. Oxidanter kan även reagera med andra gasformiga föroreningar som NO_x och bildar då syraanaloger, radikaler som hydroxylradikaler som OH och andra destruktiva biprodukter (t.ex. oxidation av aldehyder till karboxylsyror, se organiska karbonylföroreningar).		
Ozon (O_3) Förekommer i rök och dimma som direkt påverkar människor, växter och egendom.	Ozonspecifika källor KÄLLOR UTOMHUS - Luftföroreningar; marknära ozon är en väsentlig sekundär förorening från trafik- och industrutsläpp. KÄLLOR INOMHUS - Kontorsutrustning inkluderande kopieringsmaskiner - Elektrisk urladdning inkluderande elektroniska luftfilter och elektroniska insektsfällor	- Konstnärsfärger: blekning av färgstoffer och pigment - Oxidation av organiska föreningar med dubbel bindningar (gör t.ex. gummi skört och orsakar sprickor) - Isolering runt elektriska kablar (av betydelse för industriella samlingar) - Växter (av betydelse för botaniska och naturhistoriska samlingar) - Orsakar skörhet i tyger, textilier och cellulosamaterial - Ökar svärtning av silver genom reducerade svavelföroreningar - Orsakar missfärgning av fotografier - Bryter ner bindemedel i färger - Påverkar läder, pergament och djurhudar (av betydelse för naturhistoriska samlingar)

Tabell 2 - fortsättning

Gasformiga föroreningar	Huvudsakliga källor och några viktiga mindre källor	Material som riskerar att skadas
Peroxiacetylnitrat (PAN) (CH₃-COO-O-NO₂) är en sekundär förorening i fotokemisk smog (förorening)	Panspecifika källor KÄLLOR UTOMHUS - Sekundära föroreningar från trafikutsläpp producerade av gas-fas reaktioner mellan väteföreningar och kväveoxider, och reaktioner mellan organiska karbonylföreningar och hydroxylradikaler (OH) - Föroreningar från etanolfordon - Skogsbränder	Adsorberas i byggprodukter (gipsskivor, målade väggar, golvmattor, linoleummattor, barrträ, och melamintäckta spånskivor) där det kan reagera med och skada ytskiktet samt återemittera ut i miljön.
Peroxider (-O-O-) Väteperoxid (HOOH), som är den enklaste, är mycket reaktiv beroende på syre-syre bindningen.	Peroxidspecifika källor KÄLLOR UTOMHUS - Sekundära föroreningar genererade av kväveoxidens kemiska reaktioner med kolväten, VOCs och organiska karbonylföreningar - Biprodukt vid atmosfäriska reaktioner av föroreningar från "gasohol-bränslen" (i Sverige 90 % oblyad bensin + 10 % etylalkohol) KÄLLOR INOMHUS - Emissioner från nedbrytning av organiska material (t.ex. gummibaserade golvplattor) - Oljefärger - Mikroorganiska aktiviteter	
ORGANISKA KOLFÖRORENINGAR: ALDEHYDER OCH ORGANISKA SYROR		
Organiska karbonylföroreningar Aldehyder - Formaldehyd (HCHO) - Acetaldehyd(CH₃CHO) Organiska syror - Myrsyra (HCOOH) - Ättiksyra (CH₃COOH) De flesta skadorna på material orsakas av ättiksyra eller formaldehyd. Det är troligt att skador orsakade av formaldehyd orsakas av den oxiderade formen myrsyra. På motsvarande sätt ger oxidation av acetaldehyd ättiksyra. Risken för direkt emission av ättiksyra är dock större. (Se även uppgifter om organiska syror, aldehyder och formaldehyd.)	KÄLLOR UTOMHUS <u>Atmosfärisk kemi</u> - Sekundära föroreningar från luftens reaktion med trafik- och industriavgaser - Märkbara mängder av gas koncentreras i dimma, regn och snö <u>Naturliga källor</u> - Biologisk nedbrytning av vegetation - Förbränningar av biomassa, skogsbränder, avverkning och bränning av regnskogar etc. - Nedbrytning av organiska material (förruttnelse) KÄLLOR INOMHUS <u>Gas-fas reaktioner</u> - Reaktioner inomhus av föreningar som infiltrerar byggnader - Avdunstning från varmt vatten (t.ex. diskmaskin, dusch) - Byggmaterial, speciellt material som används i montrar och förvaringsskåp, laminat - Tättningsmedel, färger och lim, en del polyvinylacetatlim och oljefärger - Nybyggda hus (i äldre hus har emissionerna avtagit kraftigt eller upphört), material som används i skåp, dörrar; träskivor och golvlaminat - Material tillverkade med urea-formaldehyd lim, inkluderande skumplastisolering, andra formaldehydbaserade hartser som träskivor med fenolformaldehyd - Trä och träprodukter - Träbaserade skivor som innehåller formaldehyd och aminoplaster som lim (t.ex. spånplattor, fiberskivor, golvskivor, golvparkett m.fl.) - Andra träbaserade byggnadsmaterial <u>Golvmaterial</u> - Korkprodukter - Golvplattor, linoleum, mattor	- Korrosion på metaller: icke ädla metaller som tennbronser, kopparlegeringar; solida metaller som bly, koppar, silver; på kabinettsskåp korrosion på inläggningar av kadmium, bly, magnesium och zink - Syrahydrolys av cellulosa minskar graden av polymerisation vilket ger märkbar skörhet - Angriper kalkhaltiga material, landsnäckor och havssnäckor (t.ex Bynes sjukdom), koraller, sandsten och kalciumrik fossil - Lågbränd keramik - Reagerar med emalj och glas, speciellt redan glassjuka föremål - Målade fönster: korroderar blyfogarna mellan glasskivorna

Tabell 2 - fortsättning

Gasformiga föroreningar	Huvudsakliga källor och några viktiga mindre källor	Material som riskerar att skadas
	<u>Andra material</u> - Möbler och fönissor - Konsumentvaror som hårspray, parfymer, kosmetika, luftrenare, rengöringsmedel etc. - Papper och pappersprodukter - Stärkta textilier (Se även källor som hänförs till myrsyra och ättiksyra, aldehyder och formaldehyd.)	
Organiska syror Ättiksyra (CH_3COOH) Myrsyra (HCOOH) (Se även organiska karbonylföreningar)	KÄLLOR UTMOMHUS - Avlopp och utsläpp från textilindustri KÄLLOR INOMHUS - Formaldehydfria träskivor Myrsyrarelaterade källor - Oxidationsprodukter från reaktion av formaldehyd med ljus Ättiksyrarelaterade källor - Degradering av cellulosaaacetatföremål - Silikontättningsmedel	(Se material som kan skadas under organiska karbonylföreningar.)
Aldehyder Formaldehyd (HCHO) Acetaldehyd (CH_3CHO)	KÄLLOR UTMOMHUS <u>Industriella processer</u> - Föroreningar från fordon som använder alkoholer (t.ex. metanol, "gasohol" [90 % oblyad bensin + 10 % etylalkohol]) och etanol/bensinblandningar som bränsle - Bilfabriker, speciellt lackeringsanläggningar KÄLLOR INOMHUS - Biprodukter vid förbränning, matlagning, uppvärmning, tobaksrökning - Linoljefärger, andra härdande oljor <u>Byggnadsmaterial</u> - Tegel - Keramisk tillverkning, ugsinklädnader - Ytskikt av vinyl, laminat, akryl-melamin - Alkydfärger - Latex och latexfärger med låga VOC-värden - Följdföroreningar från reaktion mellan ozon och vissa golvmattor	(Se material som kan skadas under organiska karbonylföreningar.)
Formaldehyd Formaldehyd oxiderar lätt till myrsyra som sannolikt är den aggressiva kemikalien.	KÄLLOR INOMHUS - Naturhistoriska våta samlingar - Konsumentprodukter inkluderande dekorativa laminat, glasfiberprodukter - Kopieringsmaskiner med torrprocess - Textilier som nya kläder och tyger, kemtvättade kläder, skrynkefria kläder, draperier, mattor, gobelänger, möbelöverdrag, ej färdigställda tyger, infärgningsrester, kemiska ytbehandlingar av tyger - Fungicider i färger och lim (t.ex. tapetlim) - Mattor med PVC-grund - Golvlack	- Silver svärtas eller ytor missfärgas - Reagerar med oexponerad fotografisk film och fotografier, speciellt svartvita foton - Korsbinder proteiner (t.ex. collagen) som leder till skörhet i djurhudar, läderföremål, pergament etc. (angriper också föremål med gelatin, animaliskt lim eller kasein som bindemedel) - Reagerar med textiltfibrer - Attackerar buffrat papper och regerar med metallsalter i papper - Missfärgning av textila färgstoffer, blekning av organiska färgämnen - Förändrar oorganiska pigment kemiskt, olösligt basiskt kopparkarbonat (huvudingrediens i azurit) övergår till lösligt kopparacetat (Se även material som kan skadas av organiska karbonylföreningar.)

Tabell 2 - fortsättning

Gasformiga föroreningar	Huvudsakliga källor och några viktiga mindre källor	Material som riskerar att skadas
ANDRA POTENTIELLA SKADLIGA FÖRORENINGAR		
Ammoniak (NH₃) Ammoniumjoner (NH₄⁺) De flesta skadorna på museisamlingar kommer från ammoniumjoner som bildas när vatten och ammoniak reagerar.	KÄLLOR UTOMHUS <u>Naturliga källor</u> - Jordbruk, speciellt gödningsmedel och kreatursspilling (djuren är de största producenterna av ammoniak på jorden) - Biologisk nedbrytning (t.ex. biogas) underjordisk bakteriologisk verksamhet <u>Industriella processer</u> - Tillverkning av gödningsmedel KÄLLOR INOMHUS - Rengöringsmedel - Museibesökare - Färger och bindemedel - Silikonbaserade tätningsmedel - Betong	- Fläckar ebonit, naturliga hartser - Reagerar med material gjorda av cellulosanitrat, bildar ammoniumsalter som korroderar koppar, nickel, silver och zink
Aminosyror (R-NH₂) Dessa alkaliska föroreningar är ammoniumderivat.	KÄLLOR UTOMHUS - Aminosyrabaserade korrosionsinhibitorer (DEAE, CHA och ODA) använda i befuktningssystem och ventilationskanaler - Atmosfäriska reaktioner mellan kväveföreningar och alkaliska föroreningar som avgas från nygjuten betong - Epoxibaserade bindemedel	- Orsakar fläckar på målningar, speciellt när föroreningar sprids genom ventilationssystem - Korrosion på brons, koppar och silver - Förmörkar linolja och bildar koppaminokomplex med kopparpigment (t.ex. malakit) - Fläckar möbelfernissa
Fettsyror	KÄLLOR UTOMHUS - Avgaser från fordon KÄLLOR INOMHUS - Djurhudar, pälsar, uppstoppade djur och insektsamlingar (relevant för naturhistoriska samlingar) och pergament - Museibesökare - Förbränning: tända ljus, matlagning - Bindemedel - Linoleum	- Gulfärger papper och fotografiska dokument - Korroderar brons, kadmium och bly - Fläckar målningar
Saltsyra (HCl)	KÄLLOR UTOMHUS - Förbränning av kol - Oceaner, havsvattendimma	- Saltsyra är en syrlig gas som attackerar syrakänsliga material, speciellt vid fuktig väderlek som ofta förekommer vid kuster - Ökar korrosionshastigheten på metaller - Påverkar svärtningen av koppar och silver genom svavelväte
Vattenånga (H₂O)	KÄLLOR UTOMHUS - Uteluft (fuktiga dagar) - Vattensamlingar, sjöar, floder KÄLLOR INOMHUS - Fontäner - Luftfuktare - Människor - Våttstädning	- Ökar hydrolysreaktioner på organiska föremål, vilket vanligen leder till skador (t.ex. hydrolys av cellulosa gör pappersföremål sköra) - Ökar effekten av kväveoxider på fotografier - Ökar svavelvätekorrosion på koppar och silver - Styrande faktor i bronssjuka - Ökar nedbrytningen av material (t.ex. metallkorrosion, vittring av kalkhaltiga föremål och fotooxidation av konstnärsfärger) - Ökar blekning av färgstoffer som används i textilier och akvarellfärger

Tabell 2 - fortsättning

Gasformiga föroreningar	Huvudsakliga källor och några viktiga mindre källor	Material som riskerar att skadas
Partiklar (Små och stora)	• Generellt: avdunstningsfuktare, brinnande ljus, matlagning, laserskrivare, renovering, sprayburkar, utfällning från kläder, mattor, förpackningar etc. (genom slitage, vibration eller nötning); industriella aktiviteter, byggarbeten, jord • Biologiska och organiska föreningar: mikroorganismer, nedbrytning av föremål och material, besökare och djurs hår och avlagringar, byggnationer • Sot (organiska kolföreningar): brinnande ljus, rökelse, brand, förbränning av kol, bilavgaser • Ammoniumsalter (ammoniumsulfat): reaktion av ammoniak med SO₂ eller NO₂ inomhus, utomhus eller på fasta ytor	• Generellt: slitage på ytor (kritiskt för magnetiska media) formförändring av föremål (speciellt kritiskt för ytor som har porer, sprickor som samlar damm) kan initiera och öka korrosionsprocesser; kan initiera katalys och bilda reaktiva gaser • Sot: formförändring av porösa ytor (målade, fresker, statyer, böcker, textilier etc.), ökar korrosionshastigheten för metaller

et.al. 2000). Inomhus emitterar byggnadsmaterial organiska karbonyler som karboxylsyror och aldehyder (Gibson et.al. 1997, Grzywacz och Tennent 1994, 1997, Merninghaus et.al 2000).

Material som skadas av luftburna föroreningar

Mätningar av luftföroreningar runt samlingar liksom laboratorieförsök har givit viktiga data om påverkan av luftburna föroreningar på material (Tabell 2). Skador på material orsakas av summan av flera föroreningar i den nära miljön. Höga nivåer av en enstaka förorening kan orsaka allvarliga skador trots att andra villkor är ideala. Men när flera föroreningar agerar tillsammans och temperatur, RF och ljusintensitet är förhöjda, så accelererar nedbrytningen ofta. Tidigare vård (behandling), förvaring eller utgrävning kan ävenledes orsaka kemiska reaktioner. Tétreaults (1994, 2003) sammanställning av material som skadats av föroreningar kan vara en vägledning till vilka material som fordrar speciell vård. Brokerhof (1998), Craft et.al. (1996), Grzywacz (1999, 2006), Hatchfield (2002), Lavédrine (2003), Ryhl-Svendsen (1999) och Tétreault (1994, 1999, 2003) sammanställde strategier för kontroll av luftburna föroreningar i rum och inneslutningar (exempelvis montrar).

Skador på museiföremål är kumulativa och är irreversibla (definitiva, oåterkallbara). Alla ansträngningar för att minska samlingars exponering mot föroreningar är angelägna. Såväl exponering under längre tid och låg nivå på föroreningar som exponering under kortare tid och hög nivå kan skada känsliga föremål. Alla skador syns inte omedelbart, speciellt inte på organiska material (som papper, textil, skinn etc.) därför att skadan kan vara förlorad styrka eller skörhet i materialet (Bogaly et.al. 1952, Dupont och Tétreault 2000, Graedel och Mc Gill 1986, Oddy och Bradley 1989, Tétreault et.al. 1998). Observera att koncentrationen av gasformiga föroreningar redovisas i volymenheter, delar av miljoner (ppm) eller delar av miljarder (ppb) som är beroende av temperatur och tryck.

För att standardisera redovisningarna har Institutet för komprimerad luft och gas (the Compressed Air and Gas Institute, CAGI, 2002) rekommenderat att numeriska värden skall redovisas vid lufttemperaturen 20 °C och lufttrycket 101,3 kPa.

Koncentrationer av partikelburna föroreningar redovisas i viktanalytiska enheter (t.ex. mikrogram per kubikmeter, $\mu\text{m}/\text{m}^3$) som är oberoende av lufttemperatur och lufttryck. Katalytisk nedbrytning av film är ett problem. Film av cellulosanitrat är så instabil att det är risk för självantändning och explosion. Frysförvaring är den enda säkra förvaringsmetoden. Skulpturer av cellulosanitrat degraderar snabbt (Derrick et.al. 1991). Nedbrytningsprodukterna kan innehålla salpetersyra, katalyserad av små mängder sulfatessler från tillverkningsmetoden, eller kvävedioxid i fallet av okatalyserad termisk eller fotokemisk nedbrytning (Selwitz 1988). Film av celluloaacetat (s.k. säker film) är ävenledes kemiskt instabil men den skapar inte samma brand- och explosionsrisker som nitratfilm utgör. Acetatfilm bryts ner över tid och frigör ättiksyra (det s.k. vinägersyndromet). Mängden frigjord ättiksyra kan vara flera gånger större än någon annan enskild föroreningskälla i museer och arkiv. Ättiksyran är inte endast en risk för den förvarade filmen utan även för alla andra syrakänsliga material. Följdaktligen måste dessa filmer förvaras helt inneslutna.

Organiska karboxylföroreningar som formaldehyd, ättiksyra och myrsyra är de mest skadliga föroreningarna för museisamlingar (Brimblecombe et.al. 1992, Gibson 1999, Grzywacz 2003, Grzywacz och Tennent 1994, 1997, Hatchfield 2002, Hatchfield och Carpenter 1986, Hopwood 1979, Tétreault 2003). Organiska karboxylföroreningar utgör en risk redan vid koncentrationer på några volymdelar per biljon i luften och kan skada kalkhaltiga material som sandsten, land- och sjösnäckor, metallegeringar, lågbrända keramer och, mindre uppenbart, organiska material (se Tabell 2). Reducerade sulfidföreningar som svavelväte (H_2S) och karboxylsulfid (COS) utgör hot vid ännu lägre koncentrationer, exempelvis några nanogram per kubikmeter (Brimblecombe et.al. 1992, Watts 1999, Watts och Libendinsky 2000). Som väl är så förekommer föroreningar av H_2S och COS inte så ofta som föroreningar av organiska karboxyler.

En annan skadekälla är ytbeläggningar av partiklar. Större partiklar ($\text{PM } 10 \geq 10 \mu\text{m}$) som kommer in i en byggnad genom luftintagen filtreras normalt bort effektivt av partikelfilter i ventilationssystemet. Museibesökare är en källa till större föroreningar i form av hudavlagringar, smuts på skor, slitage från kläder liksom den uteluft som strömmar in när de passerar ytterdörrarna (Yoon och Brimblecombe 2001). Personburna föroreningspartiklar filtreras vanligen inte bort av ventilationssystem. Större partiklar (RAÄ betraktar partiklar $\geq 1 \mu\text{m}$ som "större" därför att de faller ner på horisontella ytor. Partiklar $\leq 1 \mu\text{m}$ svävar) deponerar huvudsakligen på horisontella ytor och de kan också förorena vertikala ytor från golvnivå upp till ögonhöjd. Yoon och Brimblecombe (2001) identifierade ett samband mellan antalet besökare och föremålens nedsmutsning. Den huvudsakliga risken orsakad av större partiklar är neddamningen, en estetisk degradering som orsakar att föremålens utseende och färgernas glans minskas och de fysiska skador i form av repor som hårda föroreningar kan orsaka vid städning.

Små partiklar ($\text{PM } 2,5$) filtreras ej bort i enklare luftfilter. Sot är den viktigaste föroreningen i denna partikelstorlek. Sot kan vara svårt att avskilja från luften. Sot påverkas av energirika luftmolekyler, naturliga och påtvingade luftströmmar liksom av turbulenta luftströmmar. Små partiklar deponerar på alla ytor (vertikala som horisontella, nedåtvända och uppåtvända). Svarta sotpartiklar kan nedsmutsa större oskyddade tapeter och gobelänger, porösa och mjuka naturhistoriska föremål liksom böcker på öppna hyllor.

Ligocki et.al. (1990, 1993), Nazaroff och Cass (1991), Nazaroff et.al. (1990, 1992, 1993) och Salomon et.al. (2005) studerade ursprung och koncentration av partiklar i flera museer i södra Californien. Omfattningen av nedsmutsning undersöktes i ett historiskt hus och några museer som alla hade klimatanläggningar med luftfilter. En "tid för märkbar nedsmutsning" fastställdes för att kunna karaktärisera (klassificera) när en byggnad kan förväntas bli så nedsmutsad (dammig) att en normal besökare ser det. Bellan et.al, (2000) visade att beläggningen av små svarta partiklar som liknade sot, inte blev synliga på en vit yta förrän 2,6 % av ytan var belagd. Detta under förutsättningen att observatören kunde jämföra en avgränsad nedsmutsad yta med en avgränsad ren yta. Bellans värde på nedsmutsning är 12 ånger högre än de som tidigare publicerats i litteraturen (Hancock et.al. 1976). Druzik och Cass (2000) konstaterade att om de museer som studerades av Nazaroff et.al. (1990) är typiska för medelstora konstmuseer med klimatanläggningar så tar det 24 till 86 år för att nå en synlig nedsmutsning på vertikala ytor.

En del former av kemisk nedbrytning har hänförts till partikeldeponering. Toishi och Kenjo (1975) behandlade utförligt riskerna med nygjuten betong. Emellertid så är kunskaperna om direkt kemisk nedbrytning av historiska material orsakad av partiklar begränsade. Det har spekulerats om att partikeldeposition skulle accelerera nedbrytning av cellulosa och korrosion på metaller. Detta baseras på kända reaktionsvägar för svävande partiklar och andra vetenskapliga studier av material som exempelvis korrosion på kopparlegeringar orsakade av lösta nitrater (Hermance et.al. 1971).

"Realistiska" och "Tekniskt möjliga" kravspecifikationer. Påverkan av miljöfaktorer varierar och ofta så märks den inte förrän material har åldrats kraftigt. Enstaka föremål kan också reagera annorlunda än likartade föremål i en grupp av föremål. Att använda bästa möjliga teknologi för att skydda en medelstor samling mot alla oförutsedda händelser är inte realistiskt. För de flesta föremål är det möjligt att skapa en säker och skyddande miljö till en så rimlig kostnad att den går att vidmakthålla allt framgent. Att skapa speciella skyddsmiljöer för mindre enstaka föremål är inte praktiskt om en byggnads klimatsystem skall användas. Då är det enklare att använda montrar och vitriner. "Bästa tillgängliga teknologi" innebär ofta ett skydd med begränsade ekonomiska resurser. Museer, bibliotek och arkiv är vanligen icke vinstdrivande organisationer som arbetar med begränsade budgetar. Att insistera på extraordinära åtgärder för fuktkontroll eller kräva att klimatsystemet skall kunna filtrera bort alla luftföroreningar som kan vara teoretiskt skadliga kan skada långsiktiga strävanden till bättre bevarandeklimat. Att insistera på bästa tillgängliga teknologi kan även ha den oönskade effekten att enkla och kloka "passiva" byggnadstekniska åtgärder försummas på bekostnad av högeffektiva klimatiseringsystem.

Risk management planer för samlingar. Bevarandet av museisamlingar är en kompromiss. Ett flertal faktorer måste beaktas. Det finns inte någon gyllene regel, man använder sig av risk management metoder (Ashley-Smith 1999, Brimblecombe 2000, Dahlin et.al. 1997, Hens 1993, Michalski 1996b, Stock och Venso 1993, Tétreault 2003, Thickett et.al. 1998, Waller 1999). Waller och Michalski (2005) har redovisat ett bedömningssystem för att fastställa lämpliga börvärden och arbetsområden för temperatur och RF.

DESIGNPARAMETRAR

Kravspecifikationer

Temperatur och RF

Det finns inte två identiska museisamlingar. Idealet är att börvärden för temperatur och RF liksom deras tillåtna variationer fastställs i ett samarbete mellan en konservator med expertkunskaper om museisamlingens riskfaktorer och en VVS-ingenjör som har erfarenheter från design av klimatsystem för olika slags museisamlingar. Ett sådant arbetssätt säkerställer att kravspecifikationen ger samlingen högsta livslängd. Erfarna experter är bäst skickade att identifiera riskfaktorer och anvisa lösningar, samt att styra projektets ekonomi och besluta om nödvändiga kompromisser. Dessvärre är den här typen av sakkunskap inte alltid tillgänglig.

Tabell 3 sammanfattar möjliga effekter av olika krav i en kravspecifikation. Den är baserad på dagens kunskaper (inkluderande alla tillgängliga data, forskningsresultat och bedömningar av konservatorer). Michalski (1991, 1993, 1995, 1996a, 1996b, 1999) grupperade tillåtna variationer på temperatur och RF i fem klasser: AA, A, B, C och D. Gradienter har bedömts pragmatiskt, de adderas i samtliga klasser till tillfälliga variationer i temperatur och RF. Ett museiföremål kan flyttas från en del av en byggnad till en annan del vilket kan addera en variation (rumsgradient) till den normala dynamiska variationen i klimatsystemet.

Klimatkontroll enligt klass AA kan orsaka högre energiförbrukning och ger inget skydd för historiska hus i kalla klimat. Äldre byggnader kan skadas av kondensation på fönster, i och på väggar och i takkonstruktioner. Därför är klimatsystemen en risk i historiska hus. Mecklenburg et.al. (2004) diskuterar metoder för att bevara både samlingar och byggnader. Klass A har den fördelen att energiförbrukningen kan minskas något och, om man sänker börvärdet för RF under vinterhalvåret, så ernås ett begränsat skydd för historiska hus i kalla klimat. Äldre byggnader som har låga börvärden för temperatur och RF under vinterhalvåret är utsatta för mindre risk för kondensation.

Klass A är optimal för de flesta museer och konstsalonger. Två alternativ med lika risker ges: en större variation med tillfälliga variationer eller en större variation över hela året. Kunskaper om spänningar i organiska material (variationer i EMC) motiverar att en RF-variation på $\pm 10\%$ över året motsvarar en tillfällig variation på $\pm 5\%$ RF. En större institution med kunskaper och resurser att eliminera även mindre risker kan använda klass AA som har mindre span på variationer i temperatur och RF. Viktigt är dock att tänka på att det är viktigare att skapa ett klimatsystem som klarar att hålla klimatet stabilt över längre tid än att eliminera tillfälliga variationer.

Klasserna B och C är användbara och lämpliga för många medelstora och mindre institutioner. De beskriver också vad som kan åstadkommas i de flesta historiska hus. Klass D innebär att endast kontroll av RF sker (exempelvis svenska avfuktade kalla museimagasin).

Byggnadsskalets betydelse

Byggnaders konstruktion spelar en avgörande roll för att minska fuktvandring. Konstruktionen bör inkludera bra isolering och fuktspärrar placerade i rätt läge. Öppningar i fasader, fönsterkonstruktioner och bjälklagsisolering är viktiga element i konstruktionen. Avvattning av yttertak bör konstrueras med hänsyn till såväl visningslokaler som magasinslokaler. [RAÄ handbok Tidens Tand (1991) rekommenderar endast utvändigt avvattning, utvändiga stuprör alltså.]

Byggnadens fasader och tak

Persily (1999) diskuterar byggnaders skal. Museer, bibliotek och arkiv begär ofta "förbättrad klimatkontroll" även i byggnader som aldrig konstruerats för en sådan funktion. Conrad (1995) delade in sådana byggnader (och byggnadsdelar) efter deras förmåga och oförmåga påverka inneklimatet i sju grupper. I en förkortad version av hans verk visas i tabell 4 vilka möjliga klasser som passar för olika typer av byggnader. Det lokala (geografiska) klimatet avgör vilken kombination som är mest lämplig. Byggnaders termiska och hygroskopiska egenskaper liksom byggnaders lufttäthet redovisas i 2005 ASHRAE *Handbook Fundamentals*, kapitlen 23, 24 och 30.

Kravspecifikation för luftburna föroreningar

Att fastställa mål för luftburna föroreningar är en svår uppgift. Ett föremåls känslighet och mottaglighet beror på flera faktorer (inkluderande påverkan av tidigare förvaring och konservering och nuvarande stabilitet) och är kopplat till andra miljöfaktorer som temperatur, RF, ljusintensitet (Gibson 1999). En konservator, föremålsansvarig eller utställningskommissarie (curator) värderar alla dessa parametrar.

Viktigare luftburna föroreningar i museer, gallerier, arkiv och bibliotek är förtecknade i tabell 5. Kväveoxider, små partiklar, ozon och svaveldioxid genereras huvudsakligen utomhus. Svavelväte kan genereras inomhus [beroende på material (speciellt mattor och väggbeklådnader) antalet besökare och aktiviteter inomhus] eller infiltration av uteluft i byggnaden (som beror på geografiskt läge, biologisk nedbrytning, vulkanutbrott, svavelkällor etc.). Trä, byggnadsmaterial, aktiviteter inomhus och konstföremål genererar organiska syror och aldehyder (se tabell 2) vilka kan återfinnas högre upp och närmare taket i rum. Totala mängden VOC är inkluderad och kan användas som ett måttetal för luftkvaliteten i ett rum. Tabell 5 visar föreslagen maxnivå på föroreningar, gränser för åtgärder, naturlig bakgrundsnivå, nivå för akut förgiftningsrisk liksom EPA's renrumsgränser och WHO's TWA-gränser. EPA är U.S. Environmental Protection Agency och redovisade siffror kommer från Clean Act Limits. WHO är World Health Organization och TWA är Time-Weighted Average.

Siffervärden i de fyra första kolumnerna är baserade på Tétreaults (2003) lägsta observerbara skadliga dos (LOAED) och icke observerbara skadliga nivå (NOAEL) vilka är kombinationer av in situ observationer och laboratoriestudier och ger substansiell kvantitativ information om skadliga effekter av föroreningar på material. Omfattande värden på LOAED och NOAEL återfinns i Tétreault (2003).

Tabell 3 – Rekommendationer för temperatur och relativ fuktighet (RF) i samlingar					
Typ	Börvärde eller årsmedeltal	Maximala fluktuationer och gradienter i utrymmen under kontroll			Risker och fördelar för samlingar
		Klass	Korta fluktuationer & gradienter	Säsongsvariation av börvärde	
Museer Konst- gallerier Bibliotek Arkiv Alla läsesalar och vårdrum, rum för lagning av kemiskt stabila samlingar, speciellt om de är i medel till hög fysisk riskzon.	50 % RF (alternativt historiskt årligt medeltal för permanenta samlingar) Börvärdes-temperatur mellan 15 och 25 °C. Notera: Utställningsrum för inlånade utställningar måste möta de börvärden som anges i låne-avtalet. Typiska är 50 % RF vid 21 °C men ibland även 55 % eller 60 % RF.	AA Noggrann kontroll, inga säsongsvariationer	$\pm 5\%$ RF $\pm 2\text{ K}$	Ingen ändring av RF 5 K upp 5 K ner	Ingen risk för mekaniska skador på de flesta föremålen och konstverk. En del metaller och mineraler kan degradera om RF överskrider ett kritiskt värde. Kemiskt instabila föremål degraderas inom några decennier.
		A Noggrann kontroll, säsongsvariationer eller gradienter men ej båda samtidigt	$\pm 5\%$ RF $\pm 2\text{ K}$	10 % RF upp 10 % RF ner 5 K upp 10 K ner	Något ökad risk för mekaniska skador på mycket ömtåliga föremål och konstverk, ingen mekanisk risk för de flesta föremål, målningar, fotografier och böcker. Kemiskt instabila föremål degraderas inom några decennier.
			$\pm 10\%$ RF $\pm 2\text{ K}$	Ingen förändring RF 5 K upp 10 K ner	
		B Noggrann kontroll, större gradienter samt börvärdes-sänkning vintertid	$\pm 10\%$ RF $\pm 5\text{ K}$	10 % RF upp 10 % RF ner 10 K upp men inte över 30 °C	Moderat risk för mekaniska skador på mycket ömtåliga föremål, liten risk för de flesta målningar och fotografier, en del föremål och böcker, ingen risk för många föremål och de flesta böcker. Kemiskt instabila föremål degraderas inom några decennier, snabbare vid 30 °C, kalla vintrar dubblar livslängden.
		C Förebygger alla högrisk-extremer	Mellan 25 % – 75 % RF året om Temperaturen sällan över 30 °C, normalt under 25 °C		Hög risk för mekaniska skador på mycket känsliga föremål, moderat risk för en del målningar och fotografier samt en del föremål och böcker, liten risk för de flesta föremål och böcker. Kemiskt instabila föremål degraderas inom några decennier, snabbare vid 30 °C, kalla vintrar dubblar livslängden.
		D Förebygger hög fukt	Alltid under 75 % RF		Hög risk för plötsliga eller ackumulerade mekaniska skador på de flesta föremål och målningar på grund av frakturer vid låga RF-nivåer, förhindrar spjälkning och deformation i faner och inläggningar, målningar, papper och fotografier. Möbelblomning och snabb korrosion undviks. Kemiskt instabila föremål degraderas inom några decennier, snabbare vid 30 °C, kalla vintrar dubblar livslängden.
Arkiv Bibliotek Förvaring av kemiskt instabilt material	Frysrum -20 °C 40 % RF	$\pm 10\%$ RF $\pm 2\text{ K}$			Kemiskt instabila föremål användbara i årtusenden. Variation i RF under en månad påverkar inte korrekt arkiverat material vid dessa temperaturer (tiden utanför kylrummet bestämmer livslängden).
	Kallt rum 10 °C 30-50 % RF	(Även om detta klimat endast kan upprätthållas vintertid så är det till fördel för sådana samlingar så länge som hög fuktkvot inte uppträder)			Kemiskt instabila föremål användbara under ett århundrade eller mer. Sådana böcker och papper tenderar att ha låg mekanisk sårbarhet vid fluktuationer.
Speciella metall-samlingar	Torrt rum 0-30% RF	RF får ej överskrida kritiska värden, 20 % i UK och Sverige, vanligen 30 %			

Det är en fördel om rätt byggnadsmaterial används inomhus och om ofarliga rengöringsprodukter används (t.ex. att inte använda ättiksbaserade rengöringsmedel eller amin-föreningar som korrosionsdämpande medel i befuktningsanläggningar, se tabell 2).

Att hålla RF under 60 % eller 45 % och rumstemperaturen runt 18 °C kan minska de luftburna föroreningarnas nedbrytning av material [se även RAÅ handbok Tidens Tand (1999) bilaga 7]. Att hålla samlingarna rena är också viktigt därför att salter, fettsyror och metalliskt smuts kan initiera eller accelerera nedbrytning orsakad av gasformiga föroreningar.

För långsiktigt bevarande bör nivån på luftburna föroreningar vara under 1 ppb för gaser och mindre än 1 µg/m³ för små (fina) partiklar. Låg nivå på luftburna föroreningar kan åstadkommas på flera sätt inkluderande byggnadskonstruktion, luftfiltrering, städning och underhåll liksom drift och skötsel av klimatsystem. Om klimatsystemet inte klarar att uppfylla kravspecifikationen så kan det vara nödvändigt att placera samlingen i ett kontrollerat mikroklimat (exempelvis montrar).

En byggnads funktion är komplex, innemiljön som påverkar nivån på luftburna föroreningar är dynamisk. Detaljdiskussioner om detta ligger utanför syftet med detta kapitel men några väsentliga faktorer som påverkar nivåerna på luftburna föroreningar inomhus är:

- Koncentrationer utomhus
- Besökare och aktiviteter inomhus
- Placering av luftintag
- Utformning av ventilationskanaler och don
- Andelen uteluft i klimatsystemet när byggnaden är öppen för besökare och när den är stängd
- Partikel- och gasfilters effektivitet (avskiljningsgrad) och underhåll
- Placering och montage av luftfilter i klimatanläggningen
- Fastighetsskötsel, byggnadsunderhåll och markskötsel

Ytemperaturen på väggar och museiföremål kan påverka partikeldeponeringen. VVS-ingenjörer har många möjligheter att hålla kontroll genom filtrering även om arkitektoniska, drifttekniska och geografiska förhållanden är hindrande. Hur som helst, VVS-ingenjörer bör vara medvetna om dessa förhållanden och föra in dem i designarbetet vid lämpligt tillfälle.

Många institutioner med begränsad driftbudget kan föredra montrar. Långsiktigt bevarande av samlingar, vare sig i rum, täta skåp eller i montrar, bör diskuteras mellan museiledningen, arkitekt och VVS-ingenjör och konservatorer. I anslutning till diskussionspunkter redan redovisade, så måste även estetiska och säkerhetsmässiga aspekter prövas liksom filosofin för långsiktigt bevarande, samverkan mellan föremål och förorening, behovet av montrar och klimatsystemets förmåga att fungera väl (att uppfylla kravspecifikationen).

Tabell 4 – Klassificering av potential för klimatkontroll i byggnader							
Typ av kontroll	Byggnads-klass	Typisk byggnads konstruktion	Typisk typ av byggnad	Typisk användning av byggnad	System	Använd-barhet av kontroll	Möjlig kontroll-klass (se tabell 3)
Okontrollerad	I	Öppen struktur	Uthus, lager, broar, sågverk	Ingen bebolighet, öppen för insyn hela året.	Inget system	Ingen	D (om gynnsamt klimat)
	II	Stomme med tak	Lador, skjul, silos, uthus	Ingen bebolighet, tillträde endast vid speciella tillfällen	Utsugnings-fläktar, vädrings-fönster, tillufts-fläktar, ventilerad vind, ingen uppvärmning	Ventilation	C (om gynnsamt klimat) D (ej vid fuktigt klimat)
Kontrollerad till viss del	III	Oisolerad murad stomme, brädvägg, enkelglasfönster	Båtar, tågagnar, fyrhus, uthus, smedjor	Visas endast sommartid, stängt för publik vintertid, ingen bebolighet	Enkelt värmesystem, frånlufts-ventilation, hygrostat-styrd uppvärmning vintertid	Uppvärmning, ventilation	C (om gynnsamt klimat) D (dock ej vid varmt och fuktigt klimat)
	IV	Tegelvägg eller sandwichkonstruktioner, tät stomme, täta fönster	Färdigt hus, kyrka, möteslokal, butik, vårdshus, vissa kontorshus	Personal i isolerade rum, presentbutik, endast tillfälliga besökare, begränsad bebolighet användning vintertid	Varmlufts-uppvärmning, luftkonditionering sommartid, on/off kontroll, DX-kyllning, ibland befuktning, värmväxlare	Luftkonditionering	B (om gynnsamt klimat) C (om mild vinter) D
Klimat-kontrollerad	V	Isolerade byggnader, tvåglasfönster, fuktspärrad, dubbeldörrar (vindfång)	Byggnader byggda för sitt ändamål, forskningsbibliotek, konstgallerier, utställningslokaler, museer, arkiv/magasin	Forskningsgrupper, bra offentliga lokaler, obegränsad användbarhet	Luftkonditioneringssystem med värmning, kylning, värmväxling och befuktning med kontrollerat dödband.*	Klimatkontroll, ofta med börvärdesförskjutning. **	AA (vid mild vinter) A B
	VI	Metallväggar, inre rum med täta väggar och begränsad tillgänglighet för besökare	Säkerhetsvalv, arkiv, magasin	Endast tillträde efter överens-kommelse	Speciell värmning, kylning och fuktkontroll med förfnad klimatkontroll	Speciella miljöer med konstanta klimat	AA A Frys Kall*** Torr

*med dödband menas det temperatur- eller RF-område där givarna inte arbetar, de är varken till eller från

**med börvärdesförskjutning menas ändring av inställt värde på en givare, exempelvis en hygrostat

*** med kall menas klimat för ett kylrum

Systemval och design av system

Ett typiskt projekt består av olika slags utrymmen som utställningssalar, läsesalar, faktarum, laboratorier, sammanträdesrum, förråd, magasin, restauranger eller cafeterior, föreläsningssalar säkerhetsmagasin, kontor, allmänna utrymmen och studerkammare. De utrymmen som rymmer föremål eller samlingar antas kräva en speciell miljö, definierad enligt kriterierna i föregående avsnitt om förebyggande konservering och bevarande.

Ett klimatsystem för bevarandemiljö måste vidmakthålla RF, temperatur och luft rörelser, filtrera luften i hela utrymmet och allt detta utan risk för skador på samlingar och till en kostnad som institutionen kan bära. De klimatsystem som vi här diskuterar är vanligen av två generella typer, för museer med utställningssalar och andra utrymmen där miljö känsliga föremål visas eller förvaras, och för bibliotek och arkiv och andra utrymmen där väsentligen papperbaserade samlingar visas eller förvaras. Film och andra media fordrar speciell uppmärksamhet.

Ett väsentligt krav är god funktion och låg årskostnad. Detta krav skiftar fokus mot investeringskostnad i system för att nå låg driftkostnad och färre problem.

Designfrågor

Funktionell (rätt) organisation. Att upprätthålla ett bra bevarandeklimat är uppgiften för klimatsystemet, men andra faktorer som en förnuftig arkitektur (t.ex. fönster, fuktspärar) och effektiv drift (t.ex. drifttider, tillgänglighet, energival) är också förutsättningar för klimatsystemets goda funktion. Idealet är att VVS-ingenjören engageras tidigt i designprocessen för att säkerställa att utrymmesplaneringen inte skapar onödiga problem. I det ideala fallet så separeras samlingarna helt från besökare, personal och andra funktionärer. När detta inte är möjligt så bör processer och aktiviteter som kan hota samlingarna separeras fysiskt och mekaniskt från samlingarna. Separata klimatsystem för utställningsutrymmen och liknande lokaler medger isolering av bevarandeklimatet vilket kan ge minskade kostnader för klimatisering av andra utrymmen.

Ett typiskt problem, speciellt i konstmuseer, är huruvida kontorslokaler skall betraktas som utrymmen där föremål kan förvaras (kortare tid). Detta måste övervägas noga, inte endast för ökade kapital- och driftkostnader för kontorslokalerna, utan även för riskerna att kontorslokalerna likväl kommer att rymma konstföremål under kortare eller längre tid (t.ex. vid forskning).

Entréer som används frekvent såsom huvudentré och lastintag är utrymmen där bevarandemiljön ofta åsidosätts. Arkitekten och VVS-ingenjören bör tillse att miljöbelastningen på sådana utrymmen blir åtgärdade och att de isoleras från utställningslokaler.

Större filmsamlingar bör förvaras separerade från andra samlingar, se avsnittet *Material* som skadas av luftburna föroreningar.

Tabell 5 – Rådande rekommendationer på högsta nivåer för gasformiga föroreningar i ppb (delar per 10 ⁹)											
Väsentliga föroreningar utomhus som kan tränga in i museer	Förelagden maxnivå på föroreningar i samlingar		Gränser för åtgärder		Rekommenderade luftkvalitetsvärden		Referensvärden				
	Känsliga material	Allmänna samlingar	Hög	Extremt hög	Arkiv, dokument, förvaring	Bibliotek, arkiv, museer	Naturlig bakgrunds nivå	Stadsmiljö	giftningsrisk vid 1 timmes exponering	EPA's renrumsgränser	WHO's TWA "gränser"
Kvävedioxid, NO ₂	< 0,05 till 2,6	2 till 10	26 till 104	> 260	2,6	2,6	0,05 till 4,9	1,6 till 68 USA: 22 till 52 Kanada: 16 till 22 Europa: 2 till 34	244 OSHA: 5 ppm	50 (1 år)	104(1h) 21 (år) 62 (8 h)
Kvävemonoxid, NO (se ozon)							0,16 till 1,6	1 till 32	OSHA: 25 ppm		
Sura nitrogena gaser, HNO ₂ , HNO ₃	< 0,1	< 1,0					0,02 till 0,2	1 till 49			
Ozon, O ₃	< 0,05	0,5 till 5	25 till 60	75 till 250	Kanada: 1,0 USA: 13	2,0	1 till 100	5 till 200 USA: 100 till 120 Kanada: 17 till 21 Europa: 65 till 145	90 OSHA: 100	120 (1 h) 80	60 (8 h)
Svaveldioxid, SO ₂	< 0,04 till 0,4	0,4 till 2	8 till 15	15 till 57	Kanada: 0,4 USA: 0,4	1,0	0,04 till 11 landsbygd USA: 6 till 10 Europa: 1 till 14	2 till 380 USA: 4 till 6 Kanada: 4 till 6 Europa: 2 till 94	251 OSHA: 5 ppm	30 (1år) 140 (24 h)	190 (10 min) 10 (20 h) 19 (år)
Väsentliga föroreningar som genereras inomhus i museer											
Svavelsvete, H ₂ S	< 0,010	< 0,100	0,4 till 1,4	2,0 till 20			0,005 till 10	0,1 till 5	30 ppm OSHA: 10 ppm		107
Organiska kolföroreningar											
Organska syror	Ättiksyra, CH ₃ COOH	< 5	200 till 480	600 till 1000			0,1 till 4	0,1 till 16	OSHA: 10 ppm		
	Myrsyra	< 5	104 till 260	260 till 780			0,05 till 4	0,05 till 17	OSHA: 5 ppm		
Aldehyder	Formaldehyd, HCHO	< 0,1 till 5	16 till 120	160 till 480			0,4 till 1,6	1,6 till 24 nybyggen 50 till 60	75 OSHA: 750	80 (30 min)	
	Acetaldehyd, CH ₃ CHO	< 1 till 20						3 till 17	5 OSHA: 200 ppm		
Totala VOC (som hexan)		< 100	700	1700				Nybyggen 4500 till 9000			
Små partiklar (PM 2,5)	< 0,1 µg/m ³	1 till 10 µg/m ³	10 till 50	10 till 150			1 till 30	1 till 100			

Byggnader som tål fuktbelastning. Befuktning bör ha hög prioritet under vintern i uppvärmda byggnader i tempererade och kalla klimat, men byggnadens lämplighet och möjlighet för fuktbelastning måste analyseras. Byggnader har ofta problem med kondensation (på fönster med enkla glas, på fönsterkarmar, i ytterväggar och på vindar) vintertid vid så låga RF som 25 %. Kondensation kan orsaka kosmetiska eller allvarliga skador på byggnader. I sådana fall finns tre alternativ:

- håll RF stabil och under daggpunkten under hela vintern
- bygg om väggar, tak och bjälklag för högre RF (innebär bl.a. montage av fuktspärrar)
- sänk rumstemperaturen.

Beroende på vilken RF-nivå som man önskar upprätthålla utan problem, så kan det krävas att ytterväggar och tak modifieras för att kunna ha högre RF vintertid. Sådana modifieringar (ombyggnader) gynnar samlingarna men de kan kräva omfattande byggåtgärder och kostnader. Om en samling som behöver en högre RF inte är dominerande i byggnaden utan endast ockuperar en mindre del av utrymmena så är separata klimatiserade skåp, montrar, vitriner eller mindre rum i rummet ett alternativ. Dessa måste då vara så täta och isolerade att de kan hålla en högre RF och samtidigt skydda byggnaden från fukt.

Pålitlighet (Driftsäkerhet). De flesta samlingar tål att bevarandeklimatet avviker från de värden som klimatsystemet är planerat innehålla under flera timmar utan att skadas, men det finns föremål som kan skadas relativt snabbt. VVS-ingenjören bör värdera hur driftavbrott kan påverka bevarandeklimatet och värdera vilka underhållsåtgärder som krävs för att minimera driftavbrott och skador på samlingen. För att minska tiden för ett driftavbrott kan det erfordras att reservdelar förvaras nära klimatsystemet.

Belastningar. Vid design av klimatanläggningar för museer bör speciella belastningar beaktas. Vanligtvis är klimatsystemet i drift hela dygnet, 24 timmar. Utställningslokaler och läsesalar har normalt många besökare endast under särskilda tider på dygnet. En del utställningslokaler har så många besökare som en person per m² golvyta medan förråd och magasin kan ha en person per 100 m² eller färre. Klimatsystemet bör designas för att klara dessa belastningar liksom mer vanliga delbelastningar. Många VVS-ingenjörer sätter an en person per två m² därför att utställningslokaler mycket sällan är helt belastade. I andra delar av en byggnad där utrymmena är uteslutande för mottagningar, vernissager och andra evenemang kan även högre personbelastningar förekomma. En nära och kontinuerlig dialog med museiledningen är nödvändig.

Belysningsbelastningar varierar kraftigt mellan olika lokaler och tider på dygnet. Den dominerande belastningen vid design av klimatanläggningar (luftkonditionering) för museer är utställningsbelysning. VVS-ingenjören bör bevaka att denna belastning är realistisk. Utställningsbelysning varierar från 20 till 85 W/m². Siffror som 160 W/m² förs ibland fram av ljussättare (belysningsingenjörer) men är sällan erforderliga. Vår ökade medvetenhet om ljusets skadliga inverkan bör leda till att ljuskänsliga föremål skall ha låga lux-tal. [RAÄ handbok Tidens Tand (1999) påvisar att det är kontrasten mellan belyst föremål och bakgrund som avgör seendet.]

Montrar. Montrar bör vara utformade så att de skyddar samlingar från extrema klimat liksom för åtkomlighet. Lufttäta eller ventilerade montrar används. Täta montrar byggs så att de utestänger omgivande klimat i utställningslokalen. De har vanligen passiva konditioneringsystem (t.ex. silikagel, Artsorb®, Ageless®) som är oberoende av utställningslokalens klimat. Täta montrar kan påverkas av gasformiga föroreningar som emitterar från utställningsmaterial i montern (se RAÄ rapport Neutrala material i museimiljö, under publicering). De måste alltså inredas med lågemitterande material. I en utställningslokal med bra bevarandeklimat kan montrarna vara ventilerade.

Utställningsmontrar bör inte klimatiseras genom tilluft eller frånluft. Tilluftens temperatur och RF varierar och kan orsaka extrema klimat om den tillförs en monter. Även om temperatur och RF mäts i montern så blir den relativt stora tilluftmängden ett problem. Tillfälliga temperaturer eller RF-värden i utställningslokalen är ej omblandade och kan därför påverka känsliga föremål. Frånluft är mer stabil men tenderar att ha högre nivå på partikelföroreningar som kan orsaka ackumulering av föroreningar i montern. Aktiv klimatisering av montrar har visat sig vara bra, men då fordras för ändamålet utformade klimatsystem. Sådana system är inte uppbyggda som vanliga klimatsystem, de har avfuktningssystem för att stabilisera RF i tilluften. De används framför allt i kalla klimat där klimatisering av stora historiska utställningslokaler är ett problem och klimatkonitionerade montrar är enda lösningen. Klimatstabiliteten med dessa system är mindre bra och betydligt sämre än system med täta montrar med passiva salter (exempelvis silikagel, Artsorb®, Ageless) för RF kontroll. Den huvudsakliga fördelen är när många montrar måste klimatiseras och noggrann tätning av montrarna liksom rekonditionering av salter är opraktiskt. Monterbelysning bör alltid vara placerad i ett ventilerat utrymme som är avskilt från montern.

Kylda magasin. Kylda magasin och kylskåp ger acetatfilm och färgfilm ett längre liv. Sådana magasin fordrar speciell teknisk utrustning. Fabrikstillverkade magasin (kylrum) och skåp är bäst (Lavédrine 2003, Wilhelm 1993).

Moduler i klimatsystem och deras funktion

Med följande systemdelar (enheter, moduler) i ett klimatsystem erhålles ett helt system som kan skapa och bibehålla ett bra bevarandeklimat, se figur 6 (Lull 1990).

Konstant luftflöde. Ventilationsluftflöden bör cirkuleras med erforderligt konstant flöde oberoende av temperaturkrav, så att god luftcirkulation säkerställs i hela utställningslokalen. I princip bör värmeapparater (radiatorer, värmeelement) och kylapparater (fan coils) som ofta placeras utmed väggar undvikas därför att de kan skapa extrema lokala RF nära föremål.

Kylsystem. Ett flertal olika system används inkluderande direkt expansionssystem (DX-system), glykolsystem och kylt vatten system. För produktion av kylt vatten med temperaturen + 2 °C som används i kylbafflar eller fan coils bör skruvkompressorer användas. Konventionella DX-system och kylt vattensystem har vissa begränsningar vid produktion av + 2 °C vatten, varför decikantsystem kan övervägas. System som lagrar is och cirkulerar glykol-vattenblandning kan ävenledes användas.

Värmesystem. Det finns ett flertal system för att generera värme, t.ex. ånggeneratorer och oljepannor. Varmt vatten cirkuleras genom värmebatterier (värmare) och eftervärmare för kontroll av temperatur och RF i museilokalen.

Befuktningssystem. Befuktning bör ske med ånga eller avjoniserat vatten som tillföres klimatsystemet i en luftfuktare. Var vaksam mot mögel i luftfuktare. Ångsystem behandlas ofta med tillsatser (särskilt aminer) och befuktningssången kan då utgöra en risk för samlingar (Volent och Baer 1985). Befuktningssystem bör väljas och utföras så att stående vatten (kvarvarande) inte kan bildas. De bör utföras enligt rekommendationerna i kapitel 1 och 20 i 2004 ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment. På marknaden finns olika befuktningssystem, bl.a. elektroniska ångbefuktare, ångbefuktare med ren ånga, avdunstningsfuktare, dimvattenfuktare och ultraljudsfuktare. Alla delar och material i luftbefuktningssystem måste väljas så att mögelbildning elimineras och systemdelarna inte degraderar (korrosion, saltbeläggning).

I motsats till vanliga byggnader så är klimatsystemen i museer mer inriktade på RF-kontroll än temperaturkontroll. Utjämningsseffekten i ett centralt klimatsystem med cirkulerande luft och central luftfuktare är att föredra, men ibland måste lokal zon-befuktning användas som komplement, även om RF-kravet är likartat i hela museet.

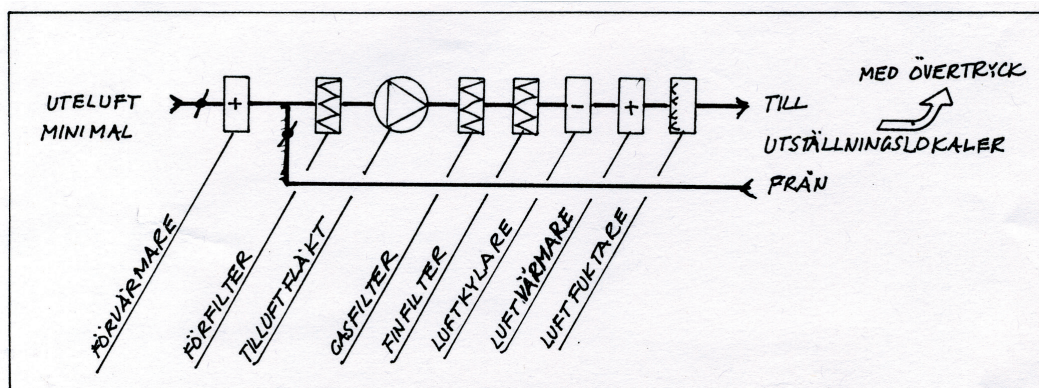
Att hålla olika bevarandeklimat i olika delar av ett museum med ett gemensamt centralt klimatsystem kan vara svårt och kan öka energiförbrukningen. Om möjligt bör olika lokaler (zoner) i ett museum med centralt klimatsystem ha samma absoluta luftfuktighet (ej RF utan vatteninnehåll i kg/kg luft), då kan olika RF-krav åstadkommas med lokala eftervärmare.

Avfuktningssystem. Det vanligaste klimatproblemet i museer och bibliotek är ofullständig och ineffektiv avfuktning. Begränsad avfuktning kan ordnas med de flesta kylsystem, men begränsas av daggpunkten på kylaren (kylbatteriet), och fordrar eftervärmning. Vanliga problem beror på kompromisser med kylmediets temperatur eller avsaknad av eftervärmare. En del kylvattensystem levererar inte kallt nog kylvatten eller har börvärdesförskjutning eller alltför grunda kylbatterier. Eftervärmning är nödvändig för kontroll av RF.

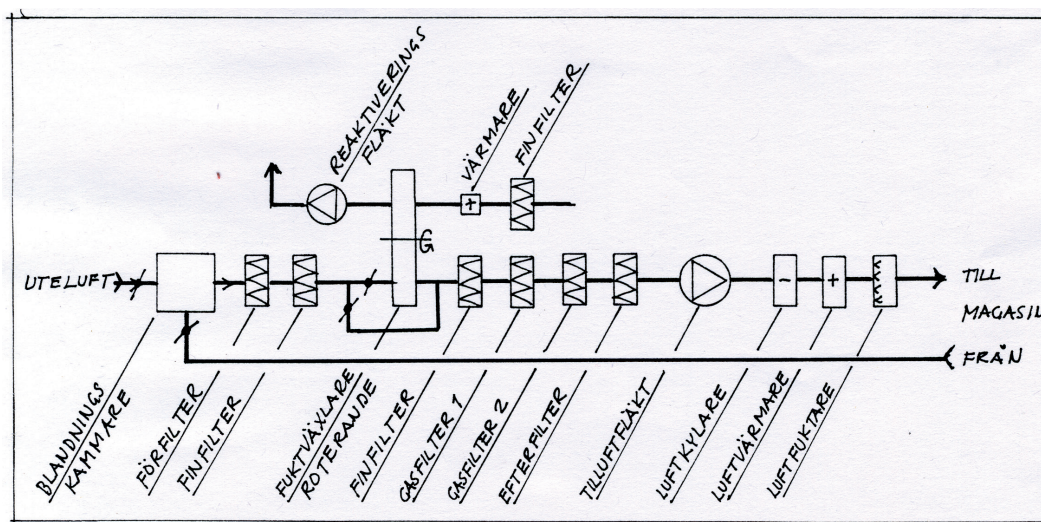
Sebor (1995) föreslår följande metoder för att ernå effektivare avfuktning:

- Kylvatten med låg temperatur, vanligen en glykol-vattenblandning, ger bra resultat men fordrar hantering av glykol.
- DX-kylning (direktexpansion av freon eller liknande godkända medier) synes vara bättre för små system och har lägre kapitalkostnad men är även mer opålitligt och energikrävande. DX-aggregat fordrar avfrostning.
- Desikantavfuktare (kallas även sorbtionsavfuktare, kan exempelvis vara ett roterande Munters-hjul impregnerat med silikagel eller litiumklorid) kan vara mycket effektiva om de är riktigt dimensionerade och installerade. Flytande desikantsystem (exempelvis absorbtionsavfuktare) kräver inte att all fuktig luft kyles under daggpunkten och eftervärms, vilka delar av processen är energikrävande.

Desikantavfuktningssystem är en bra lösning när det krävs en RF mellan 30 och 35 % året om. Se figur 7. Desikant regenerering erfordras. Roterande hjul impregnerade med silikagel är vanligt förekommande. Avfuktningssystem kan inte ensamma hålla klimatet, de måste kombineras med ett konventionellt kylsystem. Bibliotek och arkiv som fordrar torr sval luft kan med fördel klimatiseras med desikantsystem. Kapitel 22 i 2004 ASHRAE Handbook *HVAC Systems and Equipment* ger utförlig information om desikantsystem.



Figur 6. Flödesschema för ett klimatsystem för bevarandeklimat. (En svensk VVS-ingenjör skulle diskutera fläktens placering).



Figur 7. Exempel på avancerat avfuktningssystem. (Flödesschemat visar ett klimatsystem för ett museimagasin. Källa Setty (2006).)

Uteluft. Eftersom målsättningen är att åstadkomma ett stabilt bevarandeklimat så är större uteluftmängder i klimatsystemet ett problem. Uteluften har sällan den temperatur eller RF som vi behöver. Den transporterar även icke önskvärda gasformiga och partikelburna föroreningar. Kylning av uteluften är vanligen den huvudsakliga orsaken till RF-variationer i museer och bibliotek och kräver stora befuktningssystem. Förkylning av uteluft bör inte göras om inte uteluftens vatteninnehåll är till ekonomisk fördel under ett antal drifttimmar och mängden uteluft kan styras pålitligt av styrsystemet. Mängden uteluft bör inte vara större än vad som krävs för humankomfort (vanligen krävs ett miniflöde per person i bygglagstiftning) och trycksättning av utställningslokaler (de bör ha ett övertryck mot omgivande lokaler, korridorer och trapphus för att minska inträngning av luftburna föroreningar). Frånluft enligt figur 6 bör inte användas om den inte behövs för luftbalansen vid hög personbelastning inomhus (exempelvis vid vernissage). Extra många besökare är inte normalt så mängden erforderlig uteluft kan styras av en CO₂-givare.

Den ökade kostnaden för förbehandling av uteluft, vanligen förkylning, är ofta till fördel för RF-kontroll och ekonomisk drift av klimatiseringssystemet. Luftkylning kan minska den energi som behövs för eftervärmning och avfuktning och kan minska det statiska trycket i tilluftfläktar genom att hålla kylbatteriet torrt.

Filtrering

Partikelfiltrering. Partikelfiltrering är väsentlig för att ta bort föroreningar som kan smutsa ner klimatiseringssystemet liksom för att skilja bort partiklar som kan degradera eller fördärva museiföremål i bevarandeklimat. Därför behandlar vi här filtreringsprocessens två steg, förfiltrering och finfiltrering.

Förfiltrering. Förfiltrering är nödvändig för att hindra nedsmutsning av kylbatterier och fläktar liksom ventilationskanaler och andra komponenter i klimatsystemet (exempelvis värmare, fuktare och avfuktare). Förfilter behövs även för att skydda och förlänga livstiden på gasfilter (exempelvis filter av aktivt kol) och finfilter (exempelvis HEPA-filter). Dessa smutsande partiklar anses allmänt vara av MERV E-3 storlek, alltså 3-10 µm (se ASHRAE standard 52.2). För att filtrera bort minst 50 % av partiklar i E-3 storlek fordras MERV 7-filtrering.

Högre effektivitet är möjlig om filterkassetterna monteras så att lägre tryckfall ernås. MERV 11 eller bättre förfilter kan fungera vid lägre tryckfall och ger då ett förbättrat skydd för klimatsystem och för gasfilter.

Finfiltrering. Finfilter skyddar föremål i samlingar. Fina partiklar (små partiklar) har en storlek av 0,3 till 1,0 µm, de kallas i bland ackumulerande och ligger inom MERV E-1 området. Att avskilja minst 85 % av partiklar inom E-1 området är tillräckligt för skydd (bevarande) av de flesta samlingar. MERV 15 är lägsta filterklass. En del samlingar fordrar högre avskiljningsgrad än MERV 15 för långsiktigt bevarande. Ett alternativ kan vara att täta montrar eller skåp med minimal luftväxling och separat ventilation eller HEPA filter före hela lokalen. HEPA-filter avskiljer 99,97 % av partiklar i storlek ner till 0,3 µm.

När HEPA-filter används som finfilter så bör man allvarligt överväga att höja kvaliteten på förfiltret, då ökar livslängden på HEPA-filtren.

Filtteramar bör ha tätningslister utformade så att luftläckage bredvid filtren undviks. Filtersystem som kan låsa filtterarna är att föredra.

Elektrostatiska filter bör användas med försiktighet därför att de kan generera ozon som är oxiderande och kan skada samlingar (se tabell 2).

Gasfiltrering. Uteluft som infiltrerar en byggnad och innehåller gasformiga föroreningar liksom emissioner från nya byggnadsmaterial och emissioner från inredningar och rengöringsmedel kan äventyra en museisamling. Känsliga samlingar (exempelvis lågbränd keramik, en del metaller och metallegeringar, film och äldre böcker) bör förvaras i en miljö där gasformiga föroreningar har filtrerats bort. De väsentliga föroreningarna är ättiksyra, formaldehyd, svavelväte, kvävedioxid, ozon och svaveldioxid, vilka alla kan avlägsnas genom molekylär filtrering.

En del är lätta att avskilja med aktivt kol, medan andra gaser fordrar preparerade kolfilter eller filter av aluminiumpermanganat.

Eftertänksamhet gäller när livslängden på molekylärt filtermaterial bedöms. Vid provning av livslängd på sådana filter fokuseras ofta på det absorberande filtermaterialets kapacitet att avskilja per vikt när det är bundet kemiskt i en lösning. Även om den informationen är viktig så kan avskiljning ur ett luftflöde inte alltid åstadkommas även om lösningen inte förbrukas.

(De amerikanska synpunkterna på filtrering är något besvärliga att förstå som de redovisas här, en bättre översikt ges i Industrial Ventilation Design Guidebook (2001) där Jan Gustavsson i kapitel 9.2 sid 680 ger en europeisk översikt. I samma handbok finns i kapitel 9.4.2 sid 716 ett läsvärt avsnitt om befuktning och avfuktning.)

Luftdistribution. I rum som har högt till tak skapas termisk stratifiering. Om detta kan hota en samling så bör tilluft och frånluft ordnas så att hela rummet genomluftas. Utställningssalars användning och belastning kan variera p.g.a. belysning och antal besökare. Även om detta kan kompenseras genom zon-temperaturkontroll så kan ett system med varierbart flöde vara mer effektivt och ekonomiskt.

Tilluft bör ej blåsa direkt mot föremål. Att tillföra luft utmed en vägg kan skapa problem i ett konstgalleri där konst hängs på väggarna. Tilluft vid golv bör undvikas därför att partiklar rörs upp i fothöjd.

Reglering. Designen av styr- och reglersystem är avgörande för framgångsrik kontroll av temperatur och RF. System av industristandard bör användas. System bör mäta och kontrollera (samt registrera) RF, lufttemperatur, luftflöde, tryckfall i filter, fuktlarm, flödeslarm och driftlarm.

Givare som termostater och hygrostater måste vara placerade i rummet, inte i frånluftkanalen. Temperaturvariationer är att föredra framför variationer i RF.

Detta önskemål påverkar designen av styr- och reglersystem för museer därför att konventionella system i första hand arbetar med temperaturkontroll och i andra hand med kontroll av RF. När humankomfort inte krävs kan klimatsystemet designas så att hygrostaten styr värmaren. Uppvärmningen sker då inom ett brett temperaturområde (band på fackspråk) och RF hålls inom inställda börvärden (min och max) (LaFontaine 1982, Marcon 1987, Staniforth 1984). Genom att använda ett styr- och reglersystem som även kan registrera temperatur och RF över tid kan driftansvariga efterjustera klimatsystemets funktion i jämförelse med verkligt utfall. Genom att minska luftflödet nattetid när belysningen är avslagen kan energi sparas, dock bör luftomsättningen vara minst 6 ggr per timme.

Systemtyper

Systemvalet avgör om kravspecifikationen kommer att uppfyllas. Rätt luftflöde filtrerar luften, kontrollerar RF och motverkar mögel. Minsta luftflöde bör vara mellan 6 och 8 ACH (se NBS 1983, kapitel 3 i denna handbok). Rätt luftflöde och luftväxling, ACH, skapas enklast med ett system med konstant luftflöde.

Problem som ofta negligeras är klimatsystemets tillgänglighet (fysiska tillgänglighet) och risker för läckage från decentraliserade systemdelar eller systemdelar placerade i tak på lokaler. Vattenrör och ångrör i utställningslokaler och magasins tak är en riskfaktor. Det finns klimatsystem som inte har några vattenrör som leds till utställningslokaler medan andra system erfordrar från två till sex rör till varje lokal. Ofta dras dessa rör i tak och ofta utgör de en läckagerisk. Läckor och underhåll av rörsystem kan minska nyttjandet av lokaler [se även RAÄ handbok Tidens Tand (1999) avsnitt Folkens museum Etnografiska sid 357].

Centrala klimatsystem har den fördelen att filtrering, avfuktning, befuktning, underhåll och registrering av klimatdata kan ske utan fysisk närhet till samlingarna. Att investera i ökade utrymmen för tekniska system (exempelvis fläktrum och maskincentraler) liksom den ökade kostnaden för längre kanalsystem minskar störningarna på utställningslokaler och ger ökad livslängd för klimatsystemet. Till skillnad från kommersiella projekt är ombyggnader av museer relativt ovanligt, det behövs sällan. Det finns museer som fortfarande använder 60 år gamla kanalsystem. Att återanvända äldre kanalsystem och renovera de delar av klimatsystemet som är lokaliserat till fläktrum är ofta lönsamt. Speciellt i jämförelse med renovering och förnyelse av hela klimatsystem [exempelvis system typ tvåkanal, variabelt flöde (VAV) och zonsystem med eftervärmare] där det ofta fordras ett nytt kanalsystem med efterbehandlingsapparater vilket leder till kostnader för att demontera det gamla kanalsystemet, montera det nya och återställa ytskikten i byggnaden.

Konstant flöde och eftervärmare. Sådana klimatsystem kan ge problem. I många museer skapar efterbehandlingsapparaterna problem, vare sig ånga eller värmevatten används, därför att apparaterna är placerade nära eller över utställningsutrymmen och då ger kroniska bekymmer med läckage. Effektiv zonvis befuktning innebär ofta att luftfuktaren placeras efter värmaren i efterbehandlingsapparaterna som är placerade nära eller över utställningsutrymmen vilket leder till att skötsel och underhåll av luftfuktarna försvåras. System med konstant flöde och eftervärmare är effektiva när all behandling av luften sker inne i

fläktrummet. Alla efterbehandlingsapparater placeras alltså inne i fläktrummet och separata kanaler dras till varje klimatzon i museet.

Flerzonssystem. Ett klimatsystem uppdelat i flera zoner med individuella eftervärmare och luftfuktare kan skapa ett stabilt och relativt energieffektivt system. Men flerzonssystem utan individuella eftervärmare och luftfuktare har visat sig ge problem och fordrar då komplettering med lokala eftervärmare och luftfuktare för stabil RF-kontroll. Med rätt design och rätt utrustning kan ett flerzonssystem vara mycket energieffektivt.

Bovill (1988, Figur 10) föredrar flerzonssystem med konstant luftflöde för utställningslokaler. Om det inte finns behov av flera zoner (med olika temperatur eller RF) men behov av bra luftkvalitet, är alternativen system med konstant flöde, flerzonssystem med förbigång (bypass) och tvåkanalsystem. När luftbehandlingsaggregaten är placerade utanför utställningslokalerna (vilket rekommenderas) är bästa val system med konstant flöde, flerzonssystem med förbigång och tvåkanalsystem. När andra system används bör museiledningen och projektledaren informeras om möjliga kompromisser vad avser klimatsystemets funktion, kostnad och servicebarhet.

Avfuktning med kylbatteri. En viktig fördel med klimatsystem typ flerzon och tvåkanal är att de har ett kylbatteri "uppströms" både på den varma och den kalla sidan. Detta separata kylbatteri används för avfuktning. Luft kan kylas till daggpunkten även på den varma sidan i systemet. Utan denna funktion så kan fuktig returluft värmas i den varma kanalen och blåsas tillbaka till utställningssalen utan att vara avfuktad.

Fan-coilapparater. Fan-coilapparater är problematiska när de placeras inne i eller i tak på utställningslokaler. De ökar skötsel- och underhållskostnader och fordrar service i utställningslokaler. Eftersom de kyler och avfuktar lokalt så fordrar varje apparat avlopp för kondensvatten. Dessa rörledningar kan fyllas med smuts och läcka. Varje fan-coilapparat försörjs av fyra trycksatta rör vilket blir en läckagerisk i utställningslokalerna.

System med variabelt flöde, VAV-system. VAV-system är lämpade för andra typer av byggnader än museer därför att de saknar bra RF-kontroll, har för låga luftflöden, underhållssvårigheter, risker för läckage och är mindre miljövänliga. Ett VAV-system må väljas p.g.a. utrymmes- eller budgetbegränsningar, men aldrig ger är utrymmesbehovet och kostnaden för ett korrekt designat VAV-system (med förfilter och finfilter, lokal befuktning, lokal avfuktning, minluftflöde, välplanerade kanal- och rörsystem och dokumenterade driftinstruktioner) fördelar framför konstantflödessystem. VAV-system kan ge lägre energiförbrukning än konstantflödessystem men då vanligen på samlingens bekostnad.

När VAV-system används bör det designas likt ett konstantflödessystem med eftervärmare och med ett minflöde för att förhindra mögeltillväxt, nedsmutsning och ojämt klimat i klimatiserade utrymmen. Varje zon bör ha eftervärmare placerade i fläktrummet eller annat utrymme som medger service utan att utställningslokalerna störs. Om ett VAV-system fungerar mindre bra kan det byggas om till ett konstantflödessystem med eftervärmare genom ändringar i styr- och reglersystemet.

Blandningsboxar med fläkt. System med blandningsboxar är oftast olämpliga för klimatisering av museer. Fläktstyrda blandningsboxar kan säkerställa luftcirkulationen så att mögeltillväxt förhindras, men de medger effektiv filtrering av partiklar och gaser. Dessa boxar kräver också lokalt underhåll och utgör en ökad brandrisk. Om de har eftervärmare (värmevatten eller ånga) ökar läckageriskerna och om de har elektriska eftervärmare ökar brandrisken.

Kostnader för energi och drift

Att skapa ett bra bevarandeklimat är ofta kostsamt men det är nödvändigt om en värdefull samling skall bevaras. I de flesta fall så motiveras den årliga kostnaden för energi och drift av en klimatanläggning av den förlängda livslängden på samlingarna. För institutioner med begränsade resurser för drift av klimatanläggningar kan en del kompromisser vara berättigade eller så kan en engångsinvestering vara motiverad för att minska den årliga driftkostnaden. Noggrann driftsättning och injustering med professionell hjälp och efterkontroller liksom minskning av luftflöden när museet eller den historiska byggnaden är stängd kan minska energiåtgången i klimatsystemet.

Syftet med bevarandeklimat. Det bästa sättet att reducera driftkostnader för klimatsystem i en byggnad är att tillse att så små delar, volymer, som möjligt av byggnaden utrustas med speciellt bevarandeklimat. De utrymmen som inte behöver ha bevarandeklimat bör klimatiseras av separata och konventionella ventilationssystem som är i drift endast när personal ockuperar lokalerna.

Energieffektivitet. Att återanvända energi (värme) från kylkondensatorer för att eftervärma avfuktad luft kan minska energiåtgången och därmed kostnaden för avfuktning. Även om en värmeväxlare på luftsidan kan orsaka problem så kan en värmeväxlare på vattensidan som använder kondensorvatten ge tillräcklig kylning under vintersäsongen. Eftersom belastningarna varierar mellan dag- och nattdrift, speciellt i museer, så är nattbelastningen ibland enklast genererad av ett separat vattenkylaggregat som endast drivs nattetid. På samma sätt kan såväl primär- som sekundärpumpar med tvåvägsventiler vara användbara när belastningen varierar över dygnet och mellan olika lokaler.

Dagsljus. Dagsljus föreslås ofta. Ayres et.al. (1990) noterade att dagsljus alltid är ett energitillskott. Om dagsljus används så bör ljusinsläppen minimeras och undvikas så långt möjligt i utställningssalar. För att minska riskerna för läckage och för att kunna reglera dagsljuset så bör takfönster ha överfönster (lanterniner).

Uppvärmning styrd av hygrostat. Denna metod har begränsningar och bör ha säkerhetskontroller, men ibland är det den enda metoden för RF-kontroll i byggnader (exempelvis historiska hus) i kalla klimat. Uppvärmningen styrs av en hygrostat i.st.f. en termostat (LaFontaine och Michalski 1984). Kall och fuktig inomhusluft värms tills dess RF sjunker till 50 %. I byggnader där innetemperaturen ofta sjunker under +10 °C och RF därför är hög löser man på så sätt problemet med alltför hög RF. Hygrostatstyrd uppvärmning skapar inte humankomfort under vinterhalvåret, men många mindre museer, historiska byggnader och speciella byggnader med samlingar är ej nyttjade (obebodda) under vinterhalvåret.

En gränstermostat för hög temperatur erfordras för att hindra överhettning vid varmt väder, och en gränstermostat för låg temperatur behövs om det finns risk för att vattenrör kan frysa.

Den här metoden används i Canada (LaFontaine 1982, Marcon 1987), i USA (Conrad 1994, Kerschner 1992, 2006) och i många historiska hus i Storbritannien (Staniforth 1984). Maekawa och Toledo (2001) använde metoden framgångsrikt i heta och fuktiga klimat för att minimera mikrobiologisk tillväxt.

En del försiktighetsregler gäller. Grunden i en tidigare uppvärmd byggnad kan höja sig om den är vattendränkt innan den fryser. Genom att säkerställa dränering, isolera vid grunden och uppvärmning i bottenvåningen så reduceras risken för sättningar. Problem har inträffat i byggnader som har tätt förvarade föremål och låg infiltration som exempelvis ett speciellt tätat magasin (Padfield och Jensen 1996). Ett lågt inflöde av avfuktad luft kan avhjälpa problemen.

Den här metoden är kostnadseffektiv i museer (speciellt trähus) som är stängda på vintern och ligger i kalla klimat som norra USA och Canada liksom i maritima klimat. Hygrostatstyrd klimatisering fungerar inte i varma och fuktiga klimat och utan maxtermostat kan systemet värma till farliga temperaturer. I det fallet kan lokala avfuktare vara ett bra supplement.

Hybridsystem. Detta system innebär att man förbättrar bevarandeklimatet i museer och bibliotek genom en optimal placering (utnyttjande) av strålningssystem och konvektionssystem. Huvuddelen av den sensibla belastningen tas om hand av strålningspaneler och den återstående latent belastningen tas om hand av ett system med fläktstyrd konvektion.

Fördelningen av klimatsystemets funktioner till huvudsakligen sensibel och latent värmetransport (värmeströmning) ger VVS-ingenjören möjlighet att välja mer effektiva systemkomponenter och bättre styr- och reglersystem. Dessutom synes hybridsystem tillfredsställa balansen mellan bevarandeklimat och humankomfort och hålla driftkostnaderna nere. Till exempel så kan humankomforten i ett bibliotek huvudsakligen upprätthållas av ett strålningssystem medan lägre lufttemperatur ökar den förväntade livslängden på böcker och energikostnaden samtidigt reduceras kraftigt (Kilkis et.al. 1995). Dessutom är det så att konvektionssystemet, som är befriat från att ta hand om den sensibla värmen och kullasten, kan ge en mer noggrann RF-kontroll och snabbare respons till ändringar av RF. Att zonuppdela kan vara lättare med ett hybridsystem. Latent- och sensibelsystem kan integreras i en klimatapparat kallad hybridpanel (Kilkis 2002). När strålningspaneler, som fordrar rörledningar i utställningslokaler används, så måste den ökade läckagerisken och det större underhållet balanseras mot förväntade energibesparingar. Vätskeläckage kan minimeras genom att använda klenrör som arbetar med negativt tryck. För att eliminera vätskeläckage kan luft-hybridsystem användas. Mer information om strålningspaneler för uppvärmning och kylning och hybridsystem återfinns i Kapitel 6 i 2004 ASHRAE Handbook-HVAC Systems and Equipment.

Underhåll och drift. Ett vanligt tillkortakommande för ett klimatsystem är att drift och underhåll av systemet inte beaktas i designfasen. De flesta klimatsystem fungerar väl när de är injusterade men många institutioner har inte resurser

i form av medarbetare och budget för att sköta klimatsystemet i kontinuerlig drift. Behovet av underhåll och drift av ett klimatsystem bör ärligt vägas mot institutionens medarbetares kompetens. För stora projekt i större städer bör det övervägas om behöriga ingenjörer behövs för driften (i Sverige exempelvis ingenjörer med el-behörighet, kyl-behörighet, OVK-behörighet osv.). I bland kan mindre kolvkylmaskiner användas nattetid för att inte behöva ha en licensierad ingenjör för drift av stora turbinmaskiner. Mindre projekt vid museer som inte har kompetenta personer för drift av klimatsystem, kan med fördel bygga upp klimatsystemet med enhetsaggregat som inte fordrar daglig tillsyn.

Påverkan på samlingarna orsakade av underhåll på klimatsystemet måste beaktas. Till exempel så kan test eller oavsiktlig utlösning av brandventilationssystem avsevärt ändra bevarandeklimatet. Omkoppling av värmeväxlare mellan vinter och sommardrift kan ge upphov till många driftproblem. Verktyg och stegar i utställningslokaler och magasin är ett hot mot samlingen, försiktighet måste iakttas.

Kontaminerade luftbehandlingsaggregat (t.ex. mikrobiologisk tillväxt) kan orsaka föroreningsnivåer som kan äventyra aggregatets eller dess komponenters goda funktion och värmeöverföringsförmåga, resulterande i ökade driftkostnader. Regelbunden tillsyn och rengöring av klimatsystem är en viktig del i förebyggande underhåll.

Referenser

- Allegrini, I., F. DeSantis, V. Di Palo, and A. Liberti. 1984. Measurement of particulate and gaseous ammonia at a suburban area by means of diffusion tubes (Denuders). *Journal of Aerosol Science* 15(4):465-471.
- Anderson, L.G., J.A. Lanning, R. Barrell, J. Miyagishima, R.H. Jones, and P. Wolfe. 1996. Sources and sinks of formaldehyde and acetaldehyde: An analysis of Denver's ambient concentration data. *Atmospheric Environment* 30(12):2113-2123.
- Ashley-Smith, J. 1999. *Risk assessment for object conservation*. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- ASHRAE. 1992. Method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size. *ANSI/ASHRAE Standard 52.2-1992*.
- ASHRAE. 2004. Thermal environmental conditions for human occupancy. *ANSI/ASHRAE Standard 55-2004*.
- ASHRAE. 2004. Ventilation for acceptable indoor air quality. *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004*.
- Ayerst, G. 1968. Prevention of biodeterioration by control environmental conditions. In *Biodeterioration of Materials*, pp. 223-241. A.H. Walters and J.J. Elphick, eds. Elsevier, Amsterdam.
- Ayres, J.M., H. Lau, and J.C. Haiad. 1990. Energy impact of various inside air temperatures and humidities in a museum when located in five U.S. cities. *ASHRAE Transactions* 96(2):100-111.
- Bellan, L.M., L.G. Salmon, and G.R. Cass. 2000. A study on the human ability to detect soot deposition onto works of art. *Environmental Science & Technology* 34(10):1946-1952.
- Beuchat, L.R. 1987. Influence of water activity on sporulation, germination, outgrowth, and toxin production. In *Water activity: Theory and applications to food*, pp. 137-152. L.B. Beuchat, and L.R. Rockland, eds. Marcel Dekker, New York.
- Bogaty, H., K.S. Campbell, and W.D. Appel. 1952. The oxidation of cellulose by ozone in small concentrations. *Textile Research Journal* 22(2):81-83.
- Bovill, C. 1988. Qualitative engineering. *ASHRAE Journal* 30(4):29-34.
- Bradley, S. and D. Thickett. 1999. The pollution problem in perspective. *12th Triennial Meeting of ICOM Committee for Conservation*, Lyon, pp. 8-13. J. Bridgland, ed.
- Brimblecombe, P. 1990. Particulate material in art galleries, dirt and pictures separated. In *Dirt and pictures separated*, pp. 7-10. United Kingdom Institute of Conservation, London.
- Brimblecombe, P. 2000. An approach to air pollution standards in museums. *Third Indoor Air Quality Meeting: Presentation Abstracts and Additional Notes*. Morten Ryhl-Svendsen, ed. Abstract available at http://iaq.dk/iapiq2000/2000_01.htm.
- Brimblecombe, P., D. Shooter, and A. Kaur. 1992. Wool and reduced sulphur gases in museum air. *Studies in Conservation* 37:53-60.
- Brokerhof, A. 1998. Application of sorbents to protect calcareous materials against acetic acid vapours. In *Indoor air pollution—detection and mitigation of carbonyls: Presentation abstracts and additional notes*, pp. 45-54. Lorraine Gibson, ed. Netherlands Institute for Cultural Heritage, Amsterdam. Available at http://iaq.dk/iap/iap1998/1998_10.htm.
- CAGI. 2002. Standard air defined as in ISO standards. Compressed Air and Gas Institute, Cleveland. Available at <http://www.cagi.org/toolbox/glossary.asp>.
- Cass, G.R., J.R. Druzik, J.D. Gros, W.W. Nazaroff, P.M. Whitmore, and C.L. Wittman. 1989. Protection of works of art from atmospheric ozone. *Research in Conservation Series 5*. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- CCI/ICC. 2005. *Framework for preservation of museum collections*. Canadian Conservation Institute, Ottawa. Available at http://www.cci-icc.gc.ca/tools/framework/index_e.aspx.
- Chang, J.C.S., Z. Guo, and L.E. Sparks. 1998. Exposure and emission evaluations of methyl ethyl ketoxime (MEKO) in alkyd paints. *Indoor Air* 8:295-300.
- Conrad, E. 1994. Balancing environmental needs of the building, the collection, and the user. *Preventive Conservation Practice, Theory and Research: Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress*, A. Roy and P. Smith, eds. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC), London.

- Conrad, E. 1995. *A table for classification of climatic control potential in buildings*. Landmark Facilities Group, CT.
- Craft, M., C. Hawks, J. Johnson, M. Martin, and L. Mibach. 1996. *Preservation of collections: Assessment, evaluation and mitigation strategies*. American Institute for Conservation, Washington, D.C.
- Dahlin, E., J.F. Henriksen, and O. Anda. 1997. Assessment of environmental risk factors in museums and archives. *European Cultural Heritage Newsletter on Research (ECHNR)* 10:94-97.
- Daly, D. and S. Michalski. 1987. Methodology and status of the lining project, CCI. *ICOM Conservation Committee 8th Triennial Meeting*, Los Angeles, pp. 145-152.
- Davies, T.D., B. Ramer, G. Kaspyzok, and A.C. Delany. 1984. Indoor/outdoor ozone concentrations at a contemporary art gallery. *Journal of the Air Pollution Control Association* 31(2):135-137.
- Davis, N. 2006. Tracing the evolution of preservation environments in archives, museums, and libraries. *20th Annual Preservation Conference: Beyond the Numbers: Specifying and Achieving an Efficient Preservation Environment*. National Archives, Washington, D.C. Available at <http://www.archives.gov/preservation/conferences/2006/presentations.html>.
- Derrick, M., D. Stulik, and E. Ordonez. 1991. Deterioration of Constructivists sculptures made of cellulose nitrate. *Postprint, Symposium '91: Saving the Twentieth Century*, Ottawa.
- Druzik, J.R. and G.R. Cass. 2000. A new look at soiling of contemporary painting by soot in art museums. *Third Indoor Air Quality Meeting, Presentation Abstracts and Additional Notes*, Oxford Brookes University, U.K. Available at http://www.iaq.dk/iap/iaq2000/2000_10.htm.
- Druzik, J.R., M.S. Adams, C. Tiller, and G.R. Cass. 1990. The measurement and model predictions of indoor ozone concentrations in museums. *Atmospheric Environment* 24A(7):1813-1823.
- Dupont, A.-L. and J. Tétreault. 2000. Study of cellulose degradation in acetic acid environments. *Studies in Conservation* 45.
- Eremin, K. and J. Tate. 1999. The museum of Scotland: Environment during object installations. *12th Triennial Meeting of ICOM Committee for Conservation*, Lyon, pp. 46-51. James and James Science, London.
- Erhardt, D. and M. Mecklenburg. 1994. Relative humidity re-examined. *Preventive Conservation Practice, Theory and Research: Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress*, pp. 32-38. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London.
- Erhardt, D., M. Mecklenburg, and C.S. Tumose. 1996. New versus old wood: Differences and similarities in physical, mechanical, and chemical properties. *ICOM Conservation Committee 11th Triennial Meeting*, Edinburgh, pp. 903-910. James and James Science, London.
- Erlebacher, J.D., E. Brown, C.S. Tumosa, and M.F. Mecklenburg. 1992. The effects of temperature and relative humidity on the rapidly loaded mechanical properties of artists' acrylic paints. In *Materials Issues in Art and Archaeology III*, Paper 267, pp. 359-370.
- Fortmann, R., N. Roache, J.C.S. Chang, and Z. Guo. 1998. Characterization of emissions of volatile organic compounds from interior alkyd paint. *Journal of Air & Waste Management Association* 48(10):931-940.
- Gibson, L., ed. 1999. *Indoor Air Pollution Conference: Detection and Mitigation of Carbonyls*. Indoor Air Pollution—Detection and Mitigation of Carbonyls, held at Strathclyde University, Glasgow, p. 77. L. Gibson, ed. Netherlands Institute for Cultural Heritage, Amsterdam. Available at http://www.iaq.dk/iap/iaq1998/1998_contents.htm.
- Gibson, L.T., B.G. Cooksey, D. Littlejohn, and N.H. Tennent. 1997. Characterisation of an unusual crystalline efflorescence on an Egyptian limestone relief. *Analytica Chimica Acta* 337:151-164.
- Graedel, T.E. 1984. Concentrations and metal interactions of atmospheric trace gases involved in corrosion. *Metallic Corrosion*, Toronto, pp. 396-401.
- Graedel, T.E. 1994. Mechanisms of chemical change in metals exposed to the atmosphere. In *Durability and change: The science, responsibility, and cost of sustaining cultural heritage*, pp. 95-105. W.E. Krumbein, P. Brimblecombe, D.E. Cosgrove, and S. Stainforth, eds. John Wiley & Sons, London.
- Graedel, T.E. and R. McGill. 1986. Degradation of materials in the atmosphere. *Environmental Science & Technology* 20(11):1093-1100.

- Graedel, T.E., G.W. Kammlott, and J.P. Franey. 1981. Carbonyl sulfide: Potential agent of atmospheric sulfur corrosion. *Science* 212:663-665.
- Granby, K. and C.S. Christensen. 1997. Urban and semi-rural observations of carboxylic acids and carbonyls. *Atmospheric Environment* 31(10): 1403-1415.
- Grosjean, D. 1988. Aldehydes, carboxylic acids and inorganic nitrate during NSMCS. *Atmospheric Environment* 22(8):1637-1648.
- Grosjean, D. and E.L. Williams, II. 1992. Photochemical pollution at two southern California smog receptor sites. *Journal of the Air & Waste Management Association* 42(6):805-809.
- Groom, P. and T. Panisset. 1933. Studies in *Penicillium chrysogenum thom* in relation to temperature and relative humidity of the air. *Annals of Applied Biology* 20:633-660.
- Grzywacz, C. 1999. Mitigation—Does it work? Is it always an improvement? *Indoor Air Pollution: Detection and Prevention—Presentation Abstracts and Additional Notes*, pp. 55-57. Netherlands Institute for Cultural Heritage, Amsterdam. Available at http://www.iaq.dk/iap/iap_1999/1999_18.htm.
- Grzywacz, C.M. 2006. Monitoring for gaseous pollutants in museum environments. In *Tools in Conservation*, E. Maggio. ed. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Grzywacz, C.M. and A. Gailunas. 1997. *It's inside the stag, not the case: A source of high formaldehyde concentrations: Internal report*. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Grzywacz, C.M. and N.H. Tennent. 1994. Pollution monitoring in storage and display cabinets: Carbonyl pollutant levels in relation to artifact deterioration. *Preventive Conservation Practice, Theory and Research: Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress*, pp. 164-170. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC), London.
- Grzywacz, C. and N.H. Tennent. 1997. The threat of organic carbonyl pollutants to museum collections. *European Cultural Heritage Newsletter on Research (ECHNR)*. European Commission DG XII Science, Research and Development, Brussels.
- Hancock, R.P., N.A. Esman, and C.P. Furber. 1976. Visual response to dustiness. *Journal of the Air Pollution Control Association* 26(1):54-57.
- Hatchfield, P.B. 2002. *Pollutants in the museum environment: Practical strategies for problem solving in design, exhibition, and storage*. Archetype Publications, London.
- Hatchfield, P.B. and J.M. Carpenter. 1986. The problem of formaldehyde in museum collections. *International Journal of Museum Management and Curatorship* 5:183-188.
- Hedley, G. 1988. Relative humidity and the stress/strain response of canvas painting: Uniaxial measurements of naturally aged samples. *Studies in Conservation* 33:133-148.
- Hens, H.L.S.C. 1993. Mold risk: Guidelines and practice, commenting the results of the International Energy Agency EXCO on energy conservation in buildings and community systems, Annex 14: Condensation energy. In *Bugs, Mold and Rot III: Moisture Specifications and Control in Buildings*, pp. 19-28. W. Rose and A. Tenwolde, eds. National Institute of Building Sciences, Washington, D.C.
- Hermance, H.W., C.A. Russell, E.J. Bauer, T.F. Egan, and H.V. Wadlow. 1971. Relation of air-borne nitrate to telephone equipment damage. *Environmental Science & Technology* 5:781-789.
- Hodgson, A.T., A.F. Rudd, D. Beal, and S. Chandra. 2000. Volatile organic compound concentrations and emission rates in new manufactured and site-built houses. *Indoor Air* 10(3):178-192.
- Hopwood, W.R. 1979. Choosing materials for prolonged proximity to museum objects. *American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Preprints of the 7th Annual Meeting*, Washington, D.C., pp. 44-49.
- Howie, F.M.P. 1992. Pyrite and marcasite. In *The care and conservation of geological materials*, pp. 70-84. F.M.P. Howie, ed. Butterworth-Heinemann, London.
- IPI. 2006. *Preservation calculator*. Image Permanence Institute, Rochester Institute of Technology (RIT) College of Imaging Arts and Sciences. Available at http://www.imagepermanenceinstitute.org/shtml_sub/dl_prescalc.shtml.
- Kawamura, K., S. Steinberg, and I.R. Kaplan. 1996. Concentrations of monocarboxylic and dicarboxylic acids and aldehydes in southern California wet precipitations: Comparison of urban and nonurban samples and compositional changes during scavenging. *Atmospheric Environment* 30(7):1035-1052.

- Kerschner, R.L. 1992. A practical approach to environmental requirements for collections in historic buildings. *Journal of the American Institute for Conservation* 31:65-76.
- Kerschner, R.L. 2006. Providing safe and practical environments for cultural properties in historic buildings . . . and beyond. *20th Annual Preservation Conference: Beyond the Numbers: Specifying and Achieving an Efficient Preservation Environment*. National Archives, Washington, D.C. Available at <http://www.archives.gov/preservation/conferences/2006/kerschner.pdf>.
- Kilkis, B.I. 2002. Modeling of a hybrid HVAC panel for library buildings. *ASHRAE Transactions* 108(2):693-698.
- Kilkis, B.I., S.R. Suntur, and M. Sapci. 1995. Hybrid HVAC systems. *ASHRAE Journal* 37(12):23-28.
- LaFontaine, R.H. 1979. Environmental norms for Canadian museums, art galleries, and archives. *CCI Technical Bulletin* 5, Canadian Conservation Institute, Ottawa.
- LaFontaine, R.H. 1982. Humidistically-controlled heating: A new approach to relative humidity control in museum closed for the winter season. *Journal of the International Institute for Conservation: Canadian Group* 7(1,2):35-41.
- LaFontaine, R.H., and S. Michalski. 1984. The control of relative humidity—Recent developments. *ICOM Conservation 7th Triennial Meeting*, Copenhagen, pp. 33-37.
- Lavédrine, B. 2003. *A guide to the preventive conservation of photographic collections*. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Ligocki, M.P., H.I.H. Liu, G.R. Cass, and W. John. 1990. Measurements of particle deposition rates inside southern California museums. *Aerosol Science and Technology* 13:85-101.
- Ligocki, M.P., L.G. Salmon, T. Fall, M.C. Jones, W.W. Nazaroff, and G.R. Cass. 1993. Characteristics of airborne particles inside southern California museums. *Atmospheric Environment, Part A: General Topics* 27(5):697-711.
- Lull, W.P. 1990. *Conservation environment guidelines for libraries and archives*. New York State Library.
- Lull, W. and L. Harriman. 2001. Museums, libraries and archives. In *Humidity Control Design Guide for Commercial and Institutional Buildings*, L. Harriman, G.W. Brundrett, and R. Kittler, eds. ASHRAE.
- Maekawa, S. and F. Toledo. 2001. Sustainable climate control for historic buildings in hot and humid regions. *Renewable Energy for a Sustainable Development of the Built Environment: Proceedings of the 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, F.O.R. Pereira, R. Rüther, R.V.G. Souza, S. Afonso, and J.A.B. da Cunha Neto, eds.
- Marcon, P.J. 1987. Controlling the environment within a new storage and display facility for the governor general's carriage. *Journal of the International Institute for Conservation: Canadian Group* 12:37-42.
- Mecklenburg, M.F. and C.S. Tumosa. 1991. Mechanical behaviour of paintings subjected to changes in temperature and relative humidity. In *Art in Transit*, pp. 173-216. M.F. Mecklenburg, ed. National Gallery of Art, Washington, D.C.
- Mecklenburg, M.F., C.S. Tumosa, and D. Erhardt. 1998. Structural response of wood panel paintings to changes in ambient relative humidity. In *Painted Wood: History and Conservation*, pp. 464-483. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Mecklenburg, M.F., C.S. Tumosa, and J.D. Erlebacher. 1994. Mechanical behavior of artist's acrylic emulsion paints under equilibrium conditions. In *Polymers in Museums '94 Symposium: Polymer Preprints*, pp. 297-298.
- Mecklenburg, M.F., C.S. Tumosa, and A. Pride. 2004. Preserving legacy buildings. *ASHRAE Journal* 46(6):S18-S23.
- Mecklenburg, M.F., C.S. Tumosa, and D. Erhardt. 2005. The changing mechanical properties of aging oil paints. *Art and Archeology, Materials Research Society* 852.
- Meininghaus, R., L. Gunnarsen, and H.N. Knudsen. 2000. Diffusion and sorption of volatile organic compounds in building materials—Impact on indoor air quality. *Environmental Science & Technology* 34(15):3101-3108.
- Michalski, S. 1991. Paintings, their response to temperature, relative humidity, shock and vibration. In *Works of Art in Transit*, pp. 223-248. M.F. Mecklenburg, ed. National Gallery, Washington, D.C.

- Michalski, S. 1993. Relative humidity in museum, galleries and archives: Specification and control. *Bugs, Mold and Rot III: Moisture Specification and Control in Buildings*, pp. 51-61. W. Rose and A. Tenwolde, eds. National Institute of Building Science, Washington, D.C.
- Michalski, S. 1995. *Wooden artifacts and humidity fluctuation: Different construction and different history mean different vulnerabilities*. Chart, Version 3.0. Canadian Conservation Institute, Ottawa.
- Michalski, S. 1996a. *Environmental guidelines: Defining norms for large and varied collections*. American Institute for Conservation, Washington, D.C.
- Michalski, S. 1996b. Quantified risk reduction in the humidity dilemma. *APT Bulletin* 37:25-30.
- Michalski, S. 1998. Climate control priorities and solutions for collections in historic buildings. *Forum* 12(4):8-14.
- Michalski, S. 1999. *Relative humidity and temperature guidelines for Canadian archives*. Canadian Council of Archives and Canadian Conservation Institute, Ottawa.
- NAFA. 2004. *Recommended practice: Guidelines—Libraries, archives and museums*. National Air Filtration Association, Virginia Beach.
- Nazaroff, W.W. and G.R. Cass. 1991. Protecting museum collections from soiling due to the deposition of airborne particles. *Atmospheric Environment* 25A(5/6):841-852.
- Nazaroff, W.W., L.G. Salmon, and G.R. Cass. 1990. Concentration and fate of airborne particles in museums. *Environmental Science & Technology* 24(1):66-76.
- Nazaroff, W.W., M.P. Ligocki, L.G. Salmon, G.R. Cass, T. Fall, M.C. Jones, H.I.H. Liu, and T. Ma. 1992. *Protection of works of art from soiling due to airborne particulates*. Getty Conservation Institute, Marina del Rey, CA.
- Nazaroff, W.W., M.P. Ligocki, L.G. Salmon, G.R. Cass, T. Fall, M.C. Jones, H.I.H. Liu, and T. Ma. 1993. *Airborne particles in museums*. Getty Conservation Institute. Marina del Rey, CA.
- NBS. 1983. *Air quality criteria for storage of paper-based records*. NBSIR 83-2795. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- Nishimura, D.W. 1993. The IPI storage guide for acetate film. *Topics in Photographic Preservation* 5:123-137.
- Oddy, W.A. and S.M. Bradley. 1989. The corrosion of metal objects in storage and on display. *13th International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural Property*, pp. 225-244. Tokyo National Research Institute of Cultural Property.
- Office of Environmental Health Hazard Assessment. 2003. Air—Hot spots—Chronic RELS: All chronic reference exposure levels developed by the OEHHA. Available at http://www.oehha.org/air/chronic_rels/index.html.
- Ohtsuki, T. 1990. Studies on *Eurotium tonophilum* Ohtsuki: Minimum humidity for germination and characterization of yellow pigments produced by this fungus. *Kobunkazai No Kagaku* 35(December):28-34.
- Oreszczyn, T., M. Cassar, and K. Fernandez. 1994. Comparative studies of air-conditioned and non-air-conditioned museums: Preventive conservation practice, theory and research. *Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress*, pp. 144-148. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London.
- Padfield, T. and P. Jensen. 1996. Low energy climate control in stores: A postscript. *ICOM Conservation Committee, 9th Triennial Meeting*, Dresden, pp. 596-601.
- Perera, D.Y. and D. Vanden Eynde. 1987. Moisture and temperature induced stresses (hygrothermal stresses) in organic coatings. *Journal of Coatings Technology* 59(5):55-63.
- Persily, A.K. 1999. Myths about building envelopes. *ASHRAE Journal* 41(3):39-45.
- Raychaudhuri, M.R. and P. Brimblecombe. 2000. Formaldehyde oxidation and lead corrosion. *Studies in Conservation* 45(4):226-232.
- Reilly, J.M. 1993. *IPI storage guide for acetate film*. Image Permanence Institute, Rochester, NY.
- Rothweiler, H., P.A. Waeger, and C. Schlatter. 1992. Volatile organic compounds and some very volatile organic compounds in new and recently renovated buildings in Switzerland. In *Atmospheric Environment, Part A: General Topics*.
- Ryhl-Svendsen, M. 1999. Pollution in the photographic archive: A practical approach to the problem. *IAQ in Museums and Archives*. Available at <http://www.iaq.dk/papers/iada1999.htm>.
- Salmon, L.G., P.R. Mayo, G.R. Cass, and C.S. Christoforou. 2005. Airborne particles in new museum facilities. *Journal of Environmental Engineering* 131(10):1453-1461.

- Sano, C. 1999. Indoor air pollutants in museum—Carboxylic acid concentrations and their detective methods: Case studies. *Hozon Kagaku* 3823-3830.
- Sano, C. 2000. Indoor air quality in museums: Their existing levels, desirable conditions and countermeasures. *Kuki Seijo* 38(1):20-26.
- Seinfeld, J.H. 1986. *Atmospheric chemistry and physics of air pollution*. John Wiley & Sons, Toronto.
- Schifter, I., L. Díaz, E. Lopez-Salinas, and S. Avalos. 2000. Potential impacts of compressed natural gas in the vehicular fleet of Mexico City. *Environmental Science & Technology* 34(11):2100-2104.
- Scott, D.A. 1990. Bronze disease: A review of some chemical problems and the role of relative humidity. *Journal of the American Institute of Conservation* 29:193-206.
- Sebor, A.J. 1995. Heating, ventilating, and air-conditioning systems. In *Storage of natural history collections: Ideas and practical solutions*. C.L. Rose, C.A. Hawks, and H.H. Genoways, eds. Society for the Preservation of Natural History Collections, Washington D.C.
- Selwitz, C. 1988. *Cellulose nitrate used in conservation*. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Snow, D., M.H.G. Crichton, and N.C. Wright. 1944. Mould deterioration of feeding stuff in relation to humidity of storage. *Annals of Applied Biology* 31:102-110.
- Staniforth, S. 1984. Environmental conservation. In *Manual of curatorship*, pp. 192-202. J.M.A. Thompson, ed. Butterworths, London.
- Stock, T.H., and E.A. Venso. 1993. The impact of residential evaporative air cooling on indoor exposure to ozone. *Indoor Air '93: Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Helsinki, pp. 251-256. M. Jantunen, P. Kalliokoski, E. Kukkonen, K. Saarela, O. Seppänen, and H. Vuorelma, eds.
- Tétreault, J. 1994. Display materials: The good, the bad, and the ugly. *Exhibition and Conservation SSCR*, pp. 21-22. Scottish Society for Conservation and Restoration (SSCR), Edinburgh.
- Tétreault, J. 1999. Summary of control procedures to prevent damages caused by contaminants. *Indoor Air Pollution: Detection and Prevention—Presentation Abstracts and Additional Notes*, pp. 53-55. Netherlands Institute for Cultural Heritage, Amsterdam. Available at http://www.iaq.dk/iap/iap1999/1999_17.htm.
- Tétreault, J. 2001. *Material damages caused by airborne pollutants; survey from the literature*. Canadian Conservation Institute, Ottawa, ON.
- Tétreault, J. 2003. *Airborne pollutants in museums, galleries and archives: Risk assessment, control strategies and preservation management*. Canadian Conservation Institute, Ottawa, ON.
- Tétreault, J., J. Sirois, and E. Stamatopoulou. 1998. Studies of lead corrosion in acetic acid environments. *Studies in Conservation* 43:17-32.
- Thickett, D., S.M. Bradley, and L.R. Lee. 1998. Assessment of the risks to metal artifacts posed by volatile carbonyl pollutants. *Metal 98: Proceedings of the International Conference on Metals Conservation*, pp. 260-264. W. Mourey and L. Robbiola, eds. James and James Science, London.
- Thomson, G. 1994. *The museum environment (conservation and museology)*, 2nd ed. Butterworth-Heinemann, Oxford, U.K.
- Toishi, K. and T. Kenjo. 1975. Some aspects of the conservation of works of art in buildings of new concrete. *Studies in Conservation* 20:118-122.
- USDA. 1999. *Wood handbook*. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Volent, P. and N.S. Baer. 1985. Volatile amines used as corrosion inhibitors in museum humidification systems. *International Journal of Museum Management and Curatorship* 4:359-364.
- Walker, J.T., V.P. Aneja, and D.A. Dickey. 2000. Atmospheric transport and wet deposition of ammonium in North Carolina. *Atmospheric Environment* 34(20):3407-3418.
- Waller, R. 1992. Temperature- and humidity-sensitive mineralogical and petrological specimens. In *The Care and Conservation of Geological Material*, pp. 25-50. F. Howie, ed. Butterworth-Heinemann, London.
- Waller, R. 1999. Internal pollutants, risk assessment and conservation priorities. *12th Triennial Meeting of ICOM Committee for Conservation*, Lyon, pp. 113-118. J. Bridgland, ed.

- Waller, R., and S. Michalski. 2005. A paradigm shift for preventive conservation, and a software tool to facilitate the transition. *14th Triennial Meeting, ICOM Committee for Conservation*, The Hague, pp. 733-738. I. Verger, ed.
- Watts, S. 1999. Hydrogen sulphide levels in museums: What do they mean? *Indoor Air Pollution: Detection and Prevention—Presentation Abstracts and Additional Notes*, pp. 14-16. Netherlands Institute for Cultural Heritage, Amsterdam. Available at http://www.iaq.dk/iap/iap1999/1999_04.htm.
- Watts, S. and M. Libedinsky. 2000. Measurements from a museum case. *Third Indoor Air Quality Meeting: Presentation Abstracts and Additional Notes*. Available at http://www.iaq.dk/iap/iaq2000/2000_13.htm.
- Wilhelm, H. 1993. *The permanence and care of color photographs: Traditional and digital color prints, color negatives, slides, and motion pictures*. Preservation Publishing, Grinnell, Iowa.
- World Health Organization. 2000. *Air quality guidelines for Europe*, 2nd ed. World Health Organization *European Series* 91, Regional Office for Europe, Copenhagen.
- Yoon, Y.H. and P. Brimblecombe. 2001. The distribution of soiling by coarse particulate matter in the museum environment. *Indoor Air* 11(4): 232-240.

Bibliography

- ASHRAE. 1992. Gravimetric and dust-spot procedures for testing air-cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter. *Standard* 52.1-1992.
- CAGI. 2006. *Toolbox: Metric to standard converter calculator*. Compressed Air and Gas Institute, Cleveland. Available at <http://www.cagi.org/toolbox/metric.asp>.
- Larsen, R. 1997. Deterioration and conservation of vegetable tanned leather. *European Cultural Heritage Newsletter on Research, EC Research Workshop—Effects of the Environment on Indoor Cultural Property* 10 (June):54-61.
- Tennent, N.H., B.G. Cooksey, D. Littlejohn, B.J. Ottaway, S.E. Tarling, and M. Vickers. 1993. Unusual corrosion and efflorescence products on bronze and iron antiquities stored in wooden cabinets. *Conservation Science in the U.K.; Preprints of the Meeting held in Glasgow, May 1993*, pp. 60-66. N.H. Tennent, ed. James and James Science, London.

Bilagor

Chapter 20 of ASHRAE Handbook – Applications 2007 TRANSLATION AND PUBLISHING AGREEMENT

An Agreement Between:

The Publisher

Jan G. Holmberg
Assistant Professor, Gotland University
Cramergatan 3, 621 67 Visby SWEDEN
and

The Proprietor

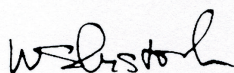
American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE)
1791 Tullie Circle NE
Atlanta, GA 30329-2305
USA

1. The Proprietor guarantees that it is, for purposes of this agreement, sole proprietor of the right to translate the Work, **Chapter 21 of ASHRAE Handbook – Applications 2007** into the Swedish language and that it has the right to receive payments and other considerations therefore.
2. The Proprietor grants to the Publisher the non-exclusive right to distribute not more than 500 copies the Swedish translation of the Work.
3. This agreement, however, only allows for the translation of the 2007 edition of the Work.
4. The Publisher agrees to print the original English title of the Work and the name of the Society on the title page or reverse of the title page of every copy of its edition and to take all necessary steps to protect the copyright of its edition. The following statement shall also appear in Swedish and in English on the title page or the reverse of the title page of every copy of its edition:

"Translated by permission. All rights reserved. © 2007 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Translated and distributed by _____. ASHRAE assumes no responsibility for the accuracy of the translation. To obtain the English language edition, contact ASHRAE, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305 USA, www.ashrae.org."
5. A one-time royalty fee of \$250 (US) will be paid by the Publisher to the Proprietor. Payment will be made in United States currency drawn on a United States bank or sent via wire transfer. (Wire transfer information available from the Publisher, ASHRAE, 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329 USA)
6. The Publisher will furnish the Proprietor with 3 free copies of the translation upon publication.
7. The Proprietor will make PDF files available to the Publisher at a one-time fee of \$50 (US) at the request of the Publisher.
8. All rights not specifically mentioned in this agreement, whether or not now in existence, are reserved to the Proprietor. This agreement does not include the right to reproduce illustrations, photographs, quotations, or other copyrighted material incorporated in the English edition of the Work, unless otherwise provided for herein. Only the Proprietor may authorize translations into other languages.

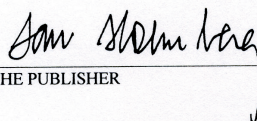
Cold Air Distribution System Design Guide
TRANSLATION AND PUBLISHING AGREEMENT

9. If the Publisher fails to make payment as specified in Section 5 or should the Publisher be declared bankrupt or take advantage of any insolvency law, this agreement will terminate without further notice and all rights will revert to the Proprietor who will be free to dispose of such rights elsewhere. Should this agreement be terminated, the Publisher may no longer distribute the Work.
10. This agreement is not valid until it has been signed by both parties.
12. No assignment of rights under this agreement may be made by the Publisher without the written consent of the Proprietor. Any termination of this agreement shall be without prejudice to any sums paid or due the Proprietor, or to any claim of the Proprietor against the Publisher. This agreement will be interpreted in accordance with U.S. law in the state of Georgia.



FOR THE PROPRIETOR
ASHRAE

February 13, 2008
DATE



FOR THE PUBLISHER

2008-02-16
DATE