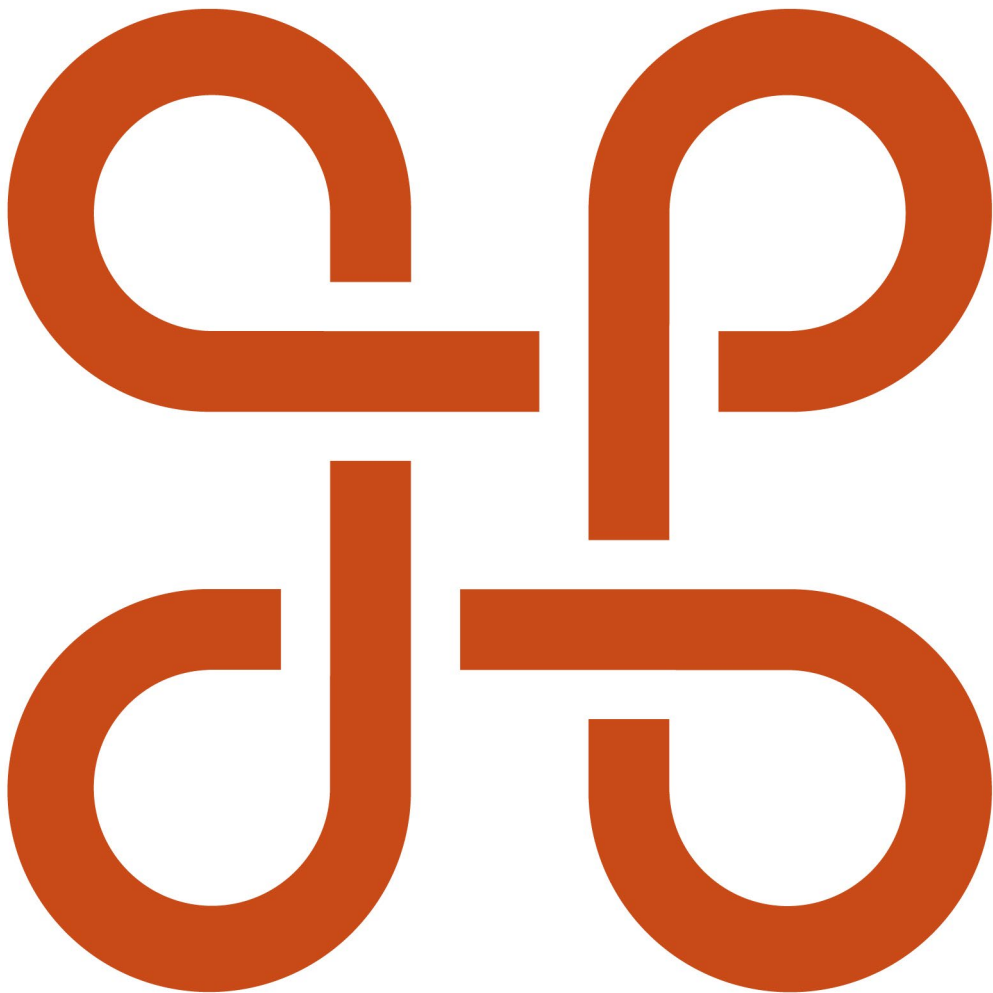


Poul Klenz Larsen

Hållbara museimagasin med låg energiförbrukning

Tre modeller från Danmark



RIKSANTIKVARIEÄMBETET

Riksantikvarieämbetet
Box 1114, 621 22 Visby
Tel 08-5191 80 00
www.raa.se
registrator@raa.se

Riksantikvarieämbetet 2023

Hållbara museimagasin med låg energiförbrukning. Tre modeller från Danmark

Detta är en översättning av den engelskspråkiga rapporten *Sustainable museum storage buildings with low energy consumption. Three models from Denmark*.

Författare: Poul Klens Larsen

Upphovsrätt enligt Creative Commons licens CC BY, där inget annat anges.
Villkor på <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.sv>

Innehållsförteckning

Sammanfattning	4
Abstract	4
Inledning	5
Specifikationer för inomhusklimat	6
Kemisk nedbrytning	6
Mekanisk nedbrytning.....	9
Biologisk nedbrytning	11
Standarder och riktlinjer.....	13
Tre typer av klimatkontroll	14
Uppvärmning med avfuktning	14
Värmebuffring med avfuktning	16
Skyddsvärme med fuktbuffring	18
Klimatmodellering.....	20
Uppvärmning, avfuktad byggnad.....	20
Skyddsvärme	21
Värmebuffring och avfuktning	22
Energiaspekter.....	23
Luftkvalitet	25
Luftföroreningar	25
Ventilation	25
Metoder för avfuktning och uppvärmning.....	27
Uppvärmning	30
Konstruktion och material	31
Klimatskal.....	31
Termisk tröghet	32
Fuktbuffring	33
Koldioxidavtryck	34
Avslutning	35
Referenser	36

Sammanfattning

I denna vägledning beskrivs tre generiska modeller för magasin med låg energiförbrukning. Den största skillnaden mellan detta förhållningssätt till klimatkontroll och konventionell luftkonditionering är att innetemperaturen tillåts följa den yttre årscykel. Byggnaden är utformad för att ge måttliga variationer i temperatur och relativ luftfuktighet, genom en kombination av värmeisolering, låg ventilationshastighet och byggnadsmaterialens förmåga att lagra värme. Luftfuktigheten styrs av vädermönstret och kombinerar fuktbuffering med vinteruppvärmning eller sommaravfuktning. Konceptet är helt beroende av det lokala utomhusklimatet och fungerar därför endast i tempererade klimatzoner.

Tre olika typer av klimatkontroll beskrivs i denna skrift: uppvärmt magasin med avfuktning, värmebuffering med avfuktning samt skyddsvärme med fuktbuffering.

Abstract

This guide presents three generic models for museum storage and archives with low energy consumption. The main difference between this simple approach to climate control and conventional air conditioning is that the inside temperature is allowed to follow the outside annual cycle. The building structure is designed to provide moderate variations in temperature and relative humidity, with a combination of low ventilation rate, thermal insulation and thermal mass. The humidity control takes advantage of the weather pattern and combines humidity buffering with winter heating or summer dehumidification. The concept depends entirely on the ambient climatic conditions and therefore only works in temperate climate zones.

Three types of climate control are described in this text: unheated storage with dehumidification, temperature buffer with dehumidification and conservation heating with humidity buffer.

Inledning

Hållbara byggnader för museiförvaring ska uppfylla två mål: Å ena sidan ska koldioxidavtrycket för byggnation och underhåll vara så lågt som möjligt och klimatkontrollen enkel och enbart förlita sig på förnybara resurser. Å andra sidan ska samlingen vara säker och skyddad på bästa möjliga sätt mot nedbrytningsfaktorer. Detta dubbla syfte kan sammanfattas som: Spara och bevara.

Den grundläggande principen för klimatkontroll med låg energiförbrukning är att värma upp byggnaden så lite som möjligt. Temperaturen får aldrig bli så hög att den relativa luftfuktigheten blir för låg. Som kompletterande reglering av luftfuktigheten används avfuktning. Däremot bör befuktning aldrig vara nödvändigt. Jämfört med konventionell luftkonditionering är den här typen av klimatkontroll enkel att installera och billig i drift. Den mekaniska utrustningen är enkel, vilket gör den driftsäkrare än mer avancerad utrustning.

Konceptet är helt beroende av de omgivande klimatförhållandena och fungerar därför endast i tempererade klimatzoner. I arktiska och tropiska klimatzoner behövs kompletterande åtgärder för att uppnå acceptabla förhållanden för förvaring av museisamlingar.

De flesta samlingar har bra bevarandeförutsättningar i måttliga temperaturvariationer och i en måttlig relativ luftfuktighet. Kylförvaring av kemiskt instabila föremål, som fotografier, är inte möjlig med detta lågenergi-koncept. Förvaring av samlingar som har särskilda krav eller svårigheter, som explosiva eller giftiga ämnen, behandlas inte i heller denna vägledning.

Handboken ansluter till den europeiska standarden SS-EN 16893:2018, *Bevarande av kulturarv – Nybyggnation för förvaring och användning av samlingar* [8]. I avsnitt 5.3.4 i standarden behandlas passiva system för klimatkontroll och system med låg energiförbrukning. Där ges också kompletterande råd om val av material och installationer.

Specifikationer för inomhusklimat

Klimatspecifikationerna för ett museimagasin eller arkiv ska vara anpassade till samlingens innehåll och skick. Många samlingar omfattar olika föremål av olika material, och ett och samma föremål kan ha flera komponenter. Varje materialgrupp har sina rekommenderade intervall för temperatur- och luftfuktighet. Ibland är det svårt att hitta en kompromiss som täcker alla behov.

Föremålets historia bör alltid beaktas. Om ett träföremål har förvarats i en fuktig miljö kan det vara riskabelt att sänka den relativa luftfuktigheten till museistandard. Föroreningar eller konserveringsåtgärder kan ha förändrat föremålets känslighet och därigenom de gränsvärden som kan anses vara acceptabla för föremålet.

Klimatspecifikationerna bör också återspegla samlingens förväntade livslängd, men det är en svår uppgift. Inget varar för evigt, men vem vill avgöra hur länge ett föremål kan bevaras? Det bästa vi kan göra är att försöka bromsa nedbrytningen med så lite energi som möjligt. Nedan följer en beskrivning av de tre huvudsakliga nedbrytningsprocesserna: kemisk, mekanisk och biologisk materialnedbrytning.

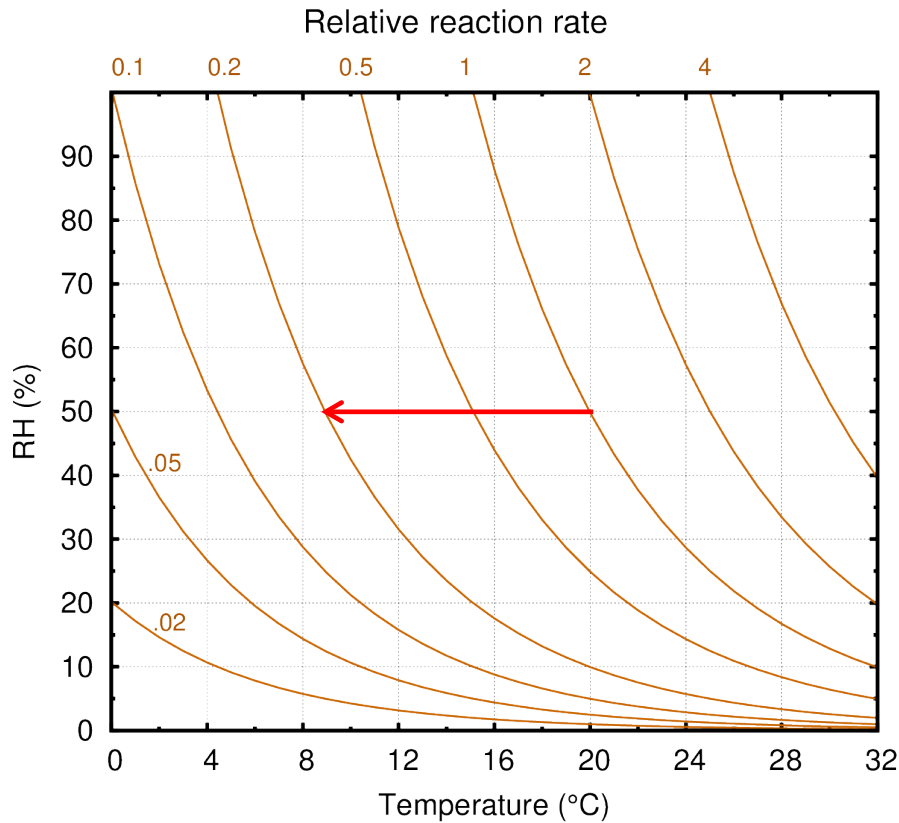
Kemisk nedbrytning

Oxidation är den vanligaste formen av kemisk nedbrytning och påverkar både organiska och oorganiska material. Oxidation innebär att elektroner avges vid en reaktion med en molekyl, jon eller atom, och åtföljs alltid av den motsatta reaktionen, reduktion. Många kemiska processer hör till denna kategori, och det är inte nödvändigtvis alltid som syre är inblandat i reaktionerna. Vid förvaringen av museiföremål är dock syret i luften det viktigaste oxidationsämnet. Oxidationen sker långsammare vid lägre temperatur, vilket är ett skäl till att inte värma upp magasinen. En särskilt aggressiv form av syre är ozon, en molekyl med tre syreatomer. Ozon bildas genom ultraviolett ljus i atmosfären och kommer in i magasinet genom ventilationen. Därför är det bra att ha en så låg luftväxlingsfrekvens som möjligt.

En annan typ av reaktion där museiföremål bryts ned kallas hydrolys, vid vilken en bindning spjälkas genom reaktion med vatten. Vattnets förmåga att främja dessa reaktioner står i proportion till den relativa luftfuktigheten, vilket är likställt med den kemiska och biologiska definitionen av vattenaktivitet: vattnets förmåga att ge upphov till kemiska reaktioner. Nedbrytningen ökar exponentiellt med ökad temperatur. I diagrammet i figur 1 visas temperaturens och den relativa luftfuktighetens (RF) kombinerade effekter [24]. Kurvorna (isoperms) avser nedbrytningen i förhållande till ett klimat med 20 °C och 50 % RF. Vid måttlig RF är temperaturen den dominerande faktorn. Om temperaturen minskas från 20 °C till 10 °C blir reaktionen fem gånger långsammare, vilket ökar föremålets livslängd i motsvarande

grad. Detta är ett mycket gott skäl till att undvika normal rumstemperatur i museimagasin.

Diagrammet avser organiska reaktioner i allmänhet, men inte omlagring som fasomvandlingar. Hur temperatur- och fuktberoende sådana reaktioner är avgörs av det specifika kemiska ämnet. Oorganiska salter, som är vanligt förekommande på föremåls ytor, kommer dessutom att gå i lösning vid hög RF. En vattenhaltig lösning bildas på ytan, vilket leder till korrosion. Vid lägre temperatur ökar tendensen till att komponenter i ett material separerar från varandra, till exempel att mjukgörare i plaster börjar vandra. [26] Dock är diffusionstakten lägre vid lägre temperatur, och det är därför som kylning normalt gynnar hållbarheten. Kemiskt instabila föremål, som fotografier, bevaras bäst genom kylförvaring.



Figur 1. Seberadiagrammet, som visar temperaturens och den relativa luftfuktighetens kombinerade effekt på hydrolysis. Om temperaturen minskas från 20 °C till 9 °C vid 50 % luftfuktighet blir reaktionen fem gånger långsammare, vilket ökar föremålets livslängd i motsvarande grad. Illustration: Tim Padfield ©.



Figur 2. Moderna material är känsliga för kemisk nedbrytning genom oxidation. Dykardräkt, Imperial War Museum, Duxford Airfield, Storbritannien. Foto: Poul Klenz Larsen.



Figur 3. Organiska polymerer som pergament är känsliga för kemisk nedbrytning genom hydrolysis. Den Arnamagnæanske Samling, Köpenhamns universitet, Danmark. Foto: Poul Klenz Larsen.

Mekanisk nedbrytning

Många organiska material som trä, ben, elfenben, textilier och liknande är känsliga för variationer i luftfuktighet, eftersom fukthalten i den porösa trästrukturen är beroende av omgivningens luftfuktighet. Fluktuationer mellan fuktigt och torrt orsakar spänningar som kan leda till deformation eller sprickbildning. Målade föremål är särskilt känsliga för klimatfluktuationer, eftersom färglagret och underlaget reagerar på olika sätt. En viktig parameter är hur länge fluktuationerna i den relativa luftfuktigheten varar, eftersom det tar en viss tid att jämna ut skillnaderna. Långsamma variationer som årliga cykler gör att föremålet hinner anpassa sig, vilket förebygger böjning och sprickbildning, men det kan skada färglager.

Spänningarna på grund av temperaturvariationer är små jämfört med den hygroskopiska effekten, men temperaturen påverkar träföremålens mekaniska reaktion indirekt. Diffusionen av vattenånga minskar vid låg temperatur, så förändringar i den relativa luftfuktigheten får en långsammare effekt än vid höga temperaturer. Gränsvärdena för reversibla spänningar i polykroma träföremål ligger i intervallet $\pm 15\%$ RF [5]. De allra flesta samlingar och föremål är säkra vid en RF på 40–60 %.



Figur 4. Målningar på träpaneler är känsliga för stora variationer i RF. Den krympning som orsakas av uttorkningen vid låg luftfuktighet leder till sprickbildning. Foto: Poul Klenz Larsen.



Figur 5. Musikinstrument av träfaner är särskilt känsliga för variationer i RF. Musikmuseet, Köpenhamn, Danmark. Foto: Poul Klens Larsen.

Vissa material blir styvare när temperaturen sjunker. Ur konserveringssynvinkel är det en fördel att förvara mycket mjuka material, som vax eller fett, vid låga temperaturer. Detta förebygger deformation som annars kan uppstå när det är varmt på sommaren. I kallare förhållanden fastnar inte heller lika mycket damm på materialens yta, och nedsmutsning minimeras.

För polymermaterial sker omvandlingen till ett ”glasartat” tillstånd vid olika temperaturer beroende på material. Under denna så kallade glasomvandlingstemperatur blir materialet skörare och spricker lättare än vid högre temperatur. Ändå rekommenderas kylförvaring för optimal konservering av de flesta plastföremål, oaktat risken för styvhet, eftersom den ökade kemiska stabiliteten uppväger de fysikaliska nackdelarna. [25]

Färger och limmade sammanfogningar tillhör de material som är benägna att skadas vid låga temperaturer, särskilt när de sitter på flexibla underlag, som måleri på duk. För oljefärger sker omvandlingen till detta tillstånd vid temperaturer under 0 °C. För akrylfärger ligger glasomvandlingstemperaturen normalt mellan 5 och 10 °C. [11, 12]

Skador på grund av den ökade styvheten vid sjunkande temperatur utgör endast ett problem i kombination med stötar. Föremål som förvaras vid låg temperatur utan att hanteras, till och med långt under glasomvandlingstemperaturen riskerar inte att skadas mekaniskt. Även om professionell objekthantering reducerar risken bör

materialens styvhet i låga temperaturer beaktas vid logistikplaneringen. Att rulla en målning på duk i ett kallt magasin är ett arbetsmoment som kanske bör undvikas.

I en stor, blandad samling finns det alltid vissa föremål med särskilda krav på inomhusklimatet, som inte uppfylls i den allmänna förvaringsmiljön. Oftast gäller det material som kräver en RF som avviker från normala rumsförhållanden (t.ex. rostigt järn, som måste förvaras mycket torrt). Om de allmänna förvaringsförhållandena innebär att temperaturen på vintern ligger under glasomvandlings-temperaturen måste man hitta alternativa lösningar för sådana särskilt ömtåliga föremål.

Biologisk nedbrytning

Vilka klimatförhållanden som gör att skadedjur och insekter förökar sig och trivs beror på arten. Alla insekter behöver vatten för att överleva. Vissa tillgodogör sig det vatten som har absorberats av värdmaterialet, medan andra producerar vatten från torr näring genom ämnesomsättningen. Några arter kan absorbera vatten direkt från vattenånga i luften. Den allmänna rekommendationen är att 60 % RF är säkert för alla material och typer av biologisk nedbrytning. Temperaturen är en viktig parameter när insekter förflyttar och förökar sig. Många insekter kan överleva vid temperaturer ned till 0 °C, men de hibernerar under 10 °C. De flesta insekter behöver 20 °C eller mer för att föröka sig. Låg temperatur är alltid en bra förebyggande åtgärd mot insekter.

I fuktiga miljöer växer det mögel på de flesta organiska material. Det finns många olika arter, som trivs i olika klimatförhållanden. Tillväxtförhållandena för mögel kan beskrivas i ett så kallat isoplestsystem [24]. För de flesta arter är den nedre gränsen för mögeltillväxt 80 % RF vid 20 °C. Detta ökar till 90 % RF vid 5 °C och 100 % RF vid 0 °C. Luftfuktighetsgränsen vid 20 °C sänks till 70 % RF om ytan har behandlats med olja, vax eller andra ämnen som gynnar mögelangrepp. Nya studier tyder på att vissa arter sprider sig vid en RF på ned till 60 % [3].

Mögelsporernas utveckling är beroende av hur länge de lämpliga klimatförhållandena varar. Ett mindre överskridande av riskgränsvärdet leder till angrepp först efter en vecka eller mer, medan en plötslig varm och fuktig miljö kan ge upphov till mögel på en enda dag.

Det anses allmänt att stillastående luft leder till mögeltillväxt, och att mögelangrepp kan förhindras genom att hålla luften i rörelse. Det saknas dock vetenskapliga belägg för detta. Orsaken är snarare att stillastående luft bibehåller temperaturskillnaderna, och därmed högre luftfuktighet i kalla områden. Detta är relevant för byggnader med dålig värmeisolering eller i områden med köldbryggor. Låga vintertemperaturer minskar risken för stora temperaturskillnader och områden med för hög RF.



Figur 6. Trämaskskador i en målning på träpanel. Ikonsamling, Zografuklostret, Athos, Grekland. Foto: Poul Klensz Larsen.



Figur 7. Mögel på en träartefakt i fuktiga förhållanden. Friluftsmuseet, Sorgenfri, Danmark. Foto: Morten Ryhl-Svendsen (CC BY-NC-ND).

Standarder och riktlinjer

Det finns flera rekommendationer och riktlinjer om lämpligt klimatintervall för olika material och samlingar. I den gemensamma förklaringen från IIC och ICOM-CC anges att det godtagbara intervallet för allmänna samlingar är 16–25 °C respektive 40–60 % RF [10]. Kortvariga fluktuationer bör vara mindre än ± 4 °C respektive ± 5 % RF under 24 timmar. Detta är den bästa möjliga kompromissen för både förvaring, transport och utställningar. Temperaturspecifikationen är säkerligen fastställd mer med hänsyn till människors komfort än till samlingarnas hållbarhet.

Den europeiska standarden SS-EN 15757 är inriktad på relativ fuktighet och mekaniska skador på organiska, hygroskopiska material [7]. I standarden anges inget allmängiltigt säkert intervall för RF. För varje föremål eller samling anges ett målintervall som bygger på en statistisk utvärdering av historiska klimatförhållanden. Tillåtliga fluktuationer bör vara högst $\pm 1,5$ gånger standardavvikelsen under övervakningsperioden. Ett luftfuktighetsintervall upp till 10 % på båda sidor om det årliga genomsnittet betraktas i varje fall som säkert.

Den nordamerikanska riktlinjen är kapitel 24 i ASHRAE-handboken, som har varit inflytelserik i Europa under årtionden [2]. I riktlinjen anges en rad klimatstandarder för både temperatur och RF, baserat på antagandet att snäva intervall leder till bättre bevarande. I riktlinjen finns rekommendationer om både kortvariga fluktuationer och säsongsbundna justeringar. I den högsta klimatklassen ”klass A1” tillåts inte låg vintertemperatur, vilket kan tolkas som att en årlig temperaturvariation är mera skadligt för samlingar än en konstant årlig temperatur.

Tre typer av klimatkontroll

Tre olika typer av klimatkontroll beskrivs i detta avsnitt:

- Ouppvärmt magasin med avfuktning.
- Värmebuffring med avfuktning.
- Skyddsvärme med fuktbuffring.

Klimatintervallen för varje typ anges i tabell A. Temperaturintervallet är baserat på den årliga genomsnittstemperaturen utomhus (AA), som beror på var byggnaden är belägen. Temperaturintervallen i olika delar av Sverige varierar. I de södra delarna av Sverige ligger genomsnittstemperaturen någonstans mellan 5 °C och 10 °C [29]. Intervallen gäller inte norra delen av Sverige, där vintertemperaturen är mycket låg. I denna klimatzon är det nödvändigt att befukta luften vintertid för att hålla luftfuktigheten på en moderat nivå.

Tabell 1. Klimatintervall för tre typer av energisnål förvaring. AA betecknar den årliga genomsnittstemperaturen. Temperaturintervallen beror på klimatförhållandena på den berörda platsen.

Klimatkontroll	Relativ luftfuktighet	Temperatur
Ouppvärmt magasin med avfuktning	40 % < RF < 60 %	AA -10 °C < T < AA +10 °C
Värmebuffring med avfuktning	40 % < RF < 60 %	AA -4 °C < T < AA +6 °C
Skyddsvärme med fuktbuffring	40 % < RF < 60 %	AA -2 °C < T < AA +12 °C

Ouppvärmt magasin med avfuktning

Denna kategori är främst relevant när en byggnad för andra ändamål används som museimagasin, antingen tillfälligt eller permanent. Det är normalt en tidigare industribyggnad eller ett lager, kanske utan lämplig värmeinstallation. Taket kan också ha dålig värmeisolering, så att uppvärmningen slukar mycket energi. Större delen av året är den relativa luftfuktigheten i en sådan uppvärmd byggnad för hög. Fukten avlägsnas genom mekanisk avfuktning. Avfuktaren är placerad utanför magasinet och den torra luften leds genom kanaler i ett cirkulationssystem. Eftersom det endast krävs små luftvolymmer kan kanalerna vara relativt små.



Figur 8. Skyddsrum av betong för tillfällig förvaring av möbler. Taket är 0,5 m tjockt och saknar värmeisolering. Værløse flygplats, Danmark. Foto: Poul Klenz Larsen.



Figur 9. Inomhustemperaturen följer den genomsnittliga månadstemperaturen utomhus utan dagliga variationer. Skyddsrummets RF hålls på 50 % året om genom avfuktning. Foto: Poul Klenz Larsen.

Skyddsrummet av betong i figur 8 är ett exempel på ett ouppvärmrt magasin. I mer än tio år har det använts som ett tillfälligt magasin för historiska möbler. Temperaturerna under året varierar från 0 °C på vintern till 22 °C på sommaren, vilket är nästan samma som den genomsnittliga utomhustemperaturen. På grund av det halvmetertjocka betongtakets stora termiska tröghet varierar inte temperaturen under dygnet. Luftfuktigheten i magasinet regleras med hjälp av en avfuktare. Denna måste användas året om, eftersom lufttemperaturen i stort sett är densamma som utomhus, vilket leder till hög luftfuktighet. Eftersom skyddsrummet är nästan lufttätt är dock avfuktarens kapacitet rätt begränsad. Luftväxlingsfrekvensen är endast 0,03 per timme, så det tar en och en halv dag att ersätta skyddsrummets luft med utomhusluft. Den årliga energiförbrukningen för att hålla magasinet torrt är 6 kWh per kubikmeter.

Värmebuffring med avfuktning

Denna typ av klimatkontroll är främst relevant för specialbyggda magasin. Klimatskalet är konstruerat för att dämpa utemiljöns temperaturvariationer. Marken under byggnaden används som värmelager i kombination med klimatskalets värmeisolering [6, 21]. Betonggolvet är placerat direkt på marken utan värmeisolering. Golvet fungerar som ändamålsenlig kylningsyta på sommaren, genom att värmen absorberas av den underliggande marken. På vintern avges värmen till utrymmet ovanför, vilket gör att temperaturen blir bra mycket högre än omgivningstemperaturen. Denna konstruktion minskar de årliga temperaturvariationerna till halva det genomsnittliga temperaturintervallet utomhus.

Ett exempel är museimagasinet i Ribe i figur 10 [22]. Huvudlokalen är 6 m hög och har en öppen mellanvåning med hyllor och förvaringsenheter. Inomhustemperaturen varierar inom ett intervall på 8 grader under året, vilket kan jämföras med ett temperaturintervall på 20 grader utomhus. En ännu mindre variation skulle kunna uppnås, men det skulle göra det dyrare att reglera luftfuktigheten. Temperaturskillnaden mellan golv och tak är sällan större än 2 grader, vilket motsvarar 6 % skillnad i RF. Det saknas underliggande isolering kring byggnaden. Kanteffekterna är små, och efter några års drift blir den underliggande marken, termiskt sett, en del av byggnaden.

Tack vare att inomhustemperaturen är högre än utomhus är den relativa luftfuktigheten måttlig på vintern då den årliga temperaturcykeln är dämpad och utomhusluften endast tränger in långsamt. I magasinet i Ribe ger värmebuffringen från marken en tillräckligt hög temperatur på vintern för att den relativa luftfuktigheten ska hålla sig kring 50 %. På sommaren ligger inomhustemperaturen långt under omgivningstemperaturen, så luftfuktigheten skulle bli 100 % utan åtgärder. Därför används avfuktning på sommaren för att den relativa luftfuktigheten ska hålla sig kring 50 %. Energiförbrukningen för avfuktning är endast 1,5 kWh per m³ och år. Detta är möjligt eftersom luftväxlingsfrekvensen i snitt är mindre än 0,05 rumsolymer per timme.

Avfuktningen skulle kunna drivas helt med hjälp av solcellspaneler, som täcker ungefär 5 % av byggnadens tak. Ett sådant museimagasin eller arkiv är inte beroende av elnätet och därmed relativt säkert och hållbart. Det är också klimatresilient, men temperaturen och luftfuktigheten kan förändras något beroende på omgivningsförhållandena.



Figur 10. Ett specialbyggt magasin för en kulturhistorisk samling, Ribe, Danmark. Betonggolvet saknar värmeisolering för att möjliggöra värmebuffring. Värmeisoleringen i taket och väggarna är utformad för att temperaturvariationen under året ska vara mellan 8 °C och 16 °C. Foto: Poul Klenz Larsen.



Figur 11. Magasinet i Ribe är 6 m högt invändigt och har en mellanvåning med hyllor och förvaringsenheter. Kanalerna vid innertaket leder in torr luft för att reglera luftfuktigheten på sommaren. Foto: Poul Klenz Larsen.

Skyddsvärme med fuktbuffring

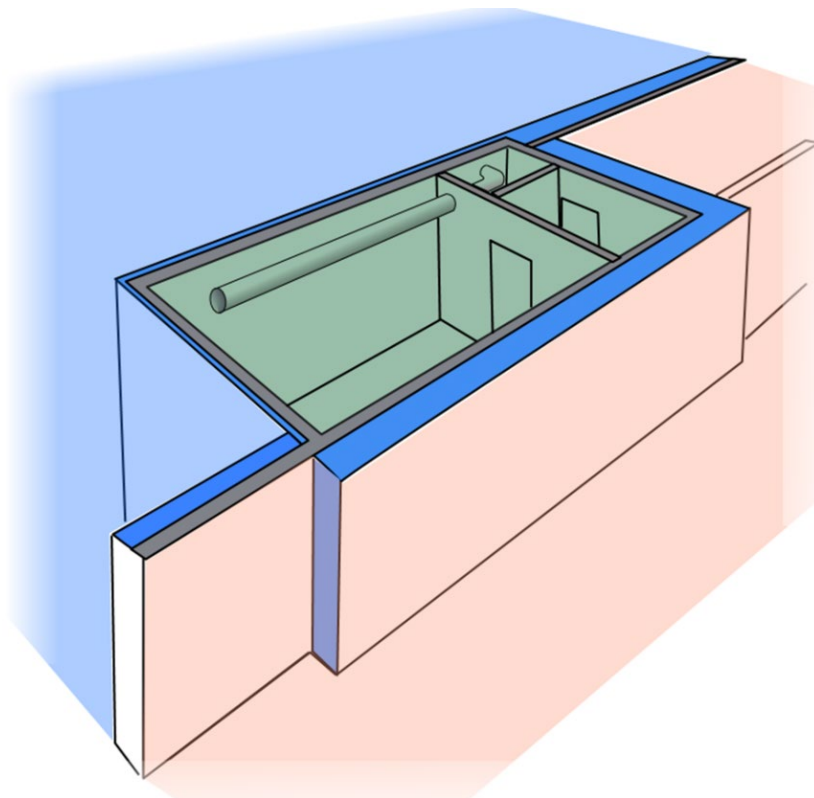
Skyddsvärme med fuktbuffring är relevant för specialbyggda magasin eller befintliga byggnader med god värmeisolering och billig, hållbar uppvärmning. Det är särskilt användbart om magasinet är en del av en byggnad som värms upp till normal rumstemperatur. Temperaturen i magasinet är inte konstant utan anpassas för att luftfuktigheten inte ska bli för hög. För historiska hus eller kyrkor är det etablerad praxis att värma upp byggnaden en aning på vintern för att minska luftfuktigheten. Detta kallas ofta skyddsvärme. På samma sätt kan temperaturen regleras året runt för att luftfuktigheten inte ska bli för hög. Inomhustemperaturen kommer alltid att vara högre än den genomsnittliga utomhustemperaturen och följa variationen under året.

Den Arnamagnæanske Samlings arkiv i Köpenhamn har fungerat så här i många år med perfekt stabilitet (figur 12–13). Arkivet är inrymt i ett rum på andra våningen i en vanlig kontorsbyggnad, granne med uppvärmda lokaler [14]. Arkivet är inkapslat i en flerskiktsskonstruktion. Byggnadens bärande konstruktion består av 240 mm tjocka väggar och golv av betong, vilket ger arkivet viss termisk tröghet. Värmeisoleringen utgörs av 200 mm mineralull mellan arkivrummet och de uppvärmda kontorslokalerna, men endast 50 mm mot utsidan. Värmeisoleringen har utformats för att temperaturen inne i arkivet ska ligga någonstans mellan utomhustemperaturen och kontorslokalernas temperatur. En årlig temperaturvariation på mellan 14 och 23 °C uppnåddes utan reglering i själva arkivet.

En liten fläkt suger in utomhusluft när vattenånghalten är den rätta för att den relativa luftfuktigheten inomhus ska närma sig det på förhand bestämda värdet. En invändig beklädnad av porösa kalciumsilikatskivor reglerar också luftfuktigheten. Detta material har förmågan att absorbera och avge vattenånga när den relativa luftfuktigheten i omgivningen förändras. Denna kombination av kontrollerad ventilation och fuktbuffring håller den relativa luftfuktigheten på 50–60 % året runt, med mycket liten fluktuation.



Figur 12. Den Arnamagnæanske Samlings arkiv för medeltida manuskript är inrymt i en kontorsbyggnad bakom fasadens fönsterlösa del. Köpenhamns universitet, Danmark.
Foto: Morten Ryhl-Svendsen (CC BY-NC-ND).



Figur 13. Principskiss över arkivrummet i byggnadens hörn. Byggnadens inre värms upp till normal rumstemperatur på vintern. Värmeisoleringen (blå) har varierande tjocklek och är utformad för att temperaturvariationen under året ska vara mellan 14 °C och 23 °C.
Illustration: Tim Padfield ©.

Klimatmodellering

Inomhusklimatet kan förutsägas på ett förenklat sätt utifrån månadsgenomsnittet för utomhusklimatet. Statistiska uppgifter kan hämtas från det nationella meteorologiska institutet eller från databaser på internet. Data för Visby visas i tabellen nedan.

Tabell 2. Statistisk data för medeltemperatur och RF i Visby. [6b]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Temperatur (°C)	-1	-1	0	4	9	14	17	17	12	6	4	2
Relativ luftfuktighet (%RF)	85	83	82	77	73	74	77	80	83	84	85	87

Beräkningarna görs i ett kalkylprogram med hjälp av nedanstående formel.

Mättnadsångtryck: $p(\text{sat}) = 610,78 \cdot \text{EKSP}(T/(T+238,3) \cdot 17,2694)$

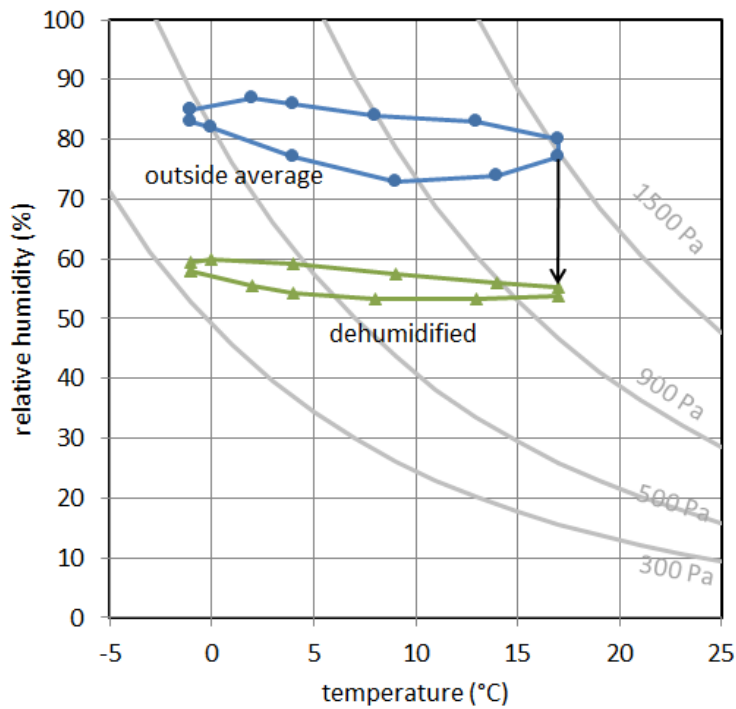
Ångtryck: $p = p(\text{sat}) \cdot \text{RF}/100$

Relativ luftfuktighet: $\text{RF} = p/p(\text{sat}) \cdot 100$

Ett exempel med uppgifter på månadsgenomsnittet från Visby anges i fig. 14–16. Den genomsnittliga temperaturen och relativa luftfuktigheten utomhus anges med en blå punkt för varje månad under året. Linjerna är endast ett hjälpmedel och ska inte tolkas som en kontinuerlig cykel. Den genomsnittliga månadstemperaturen i Visby varierar mellan -1 °C på vintern och 17 °C på sommaren. De högsta och lägsta temperaturerna kan avvika i hög grad från dessa värden, men dessa extremiteter kommer inte att påverka inomhusförhållandena.

Ouppvärmd och avfuktad byggnad

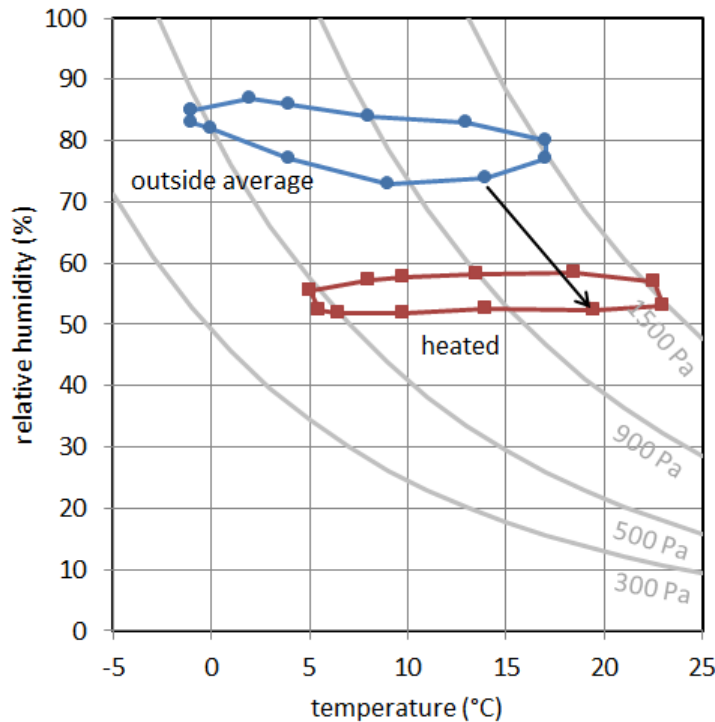
För en ouppvärmad byggnad med avfuktning är beräkningen rätt enkel. Inomhus-temperaturen är densamma som utomhustemperaturen, så varje punkt flyttas vertikalt för att den relativa luftfuktigheten ska komma under 60 %. Den överflödiga vattenångan måste avlägsnas från luften genom avfuktning. Därigenom minskas inomhusluftens vattenångstryck. Trycket visas av de grå diagonala linjerna i diagrammet. På sommaren sänks ångtrycket från 1 500 Pa till 1 000 Pa, och på vintern från 500 till 300 Pa. Avfuktning krävs året runt, men avfuktarna har mest att göra på sommaren.



Figur 14. En enkel beräkning av den genomsnittliga temperaturen och relativa luftfuktigheten per månad i ett uppvärmt magasin med avfuktning i Visby på Gotland.

Skyddsvärme

I figur 15 visas det beräknade klimatet för ett magasin med skyddsvärme. Temperaturen för varje månad justeras så att den relativa luftfuktigheten kommer under 60 %. I detta syfte är temperaturintervallet mellan 5 °C på vintern och 23 °C på sommaren. Uppvärmning krävs året runt, även på sommaren. Vattenånga varken avlägsnas eller tillförs, så punkterna förflyttas diagonalt längs linjerna för samma ångtryck.

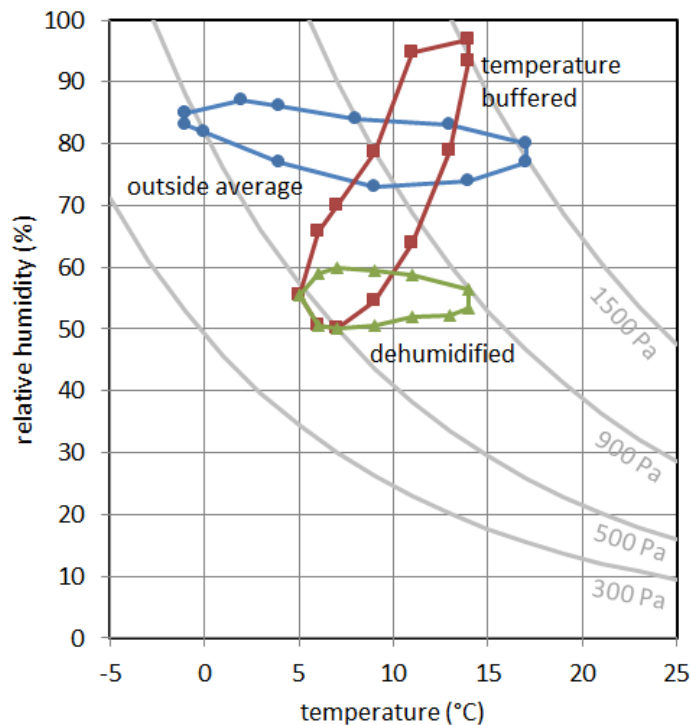


Figur 15. En enkel beräkning av den genomsnittliga temperaturen och relativa luftfuktigheten per månad för ett magasin med skyddsvärme i Visby på Gotland.

Värmebuffring och avfuktning

I figur 16 visas klimatet i ett magasin med en kombination av värmebuffring och avfuktning. Först fastställs den lägsta och högsta inomhustemperaturen genom att minska den genomsnittliga utomhusecykelns variationsintervall med 50 %. Detta ger ett årligt temperaturintervall på 9 grader, från 5 °C på vintern till 14 °C på sommaren. På grund av solvärmelast och intern värmelast har temperaturen en förskjutning på 2 °C jämfört med det årliga genomsnittet.

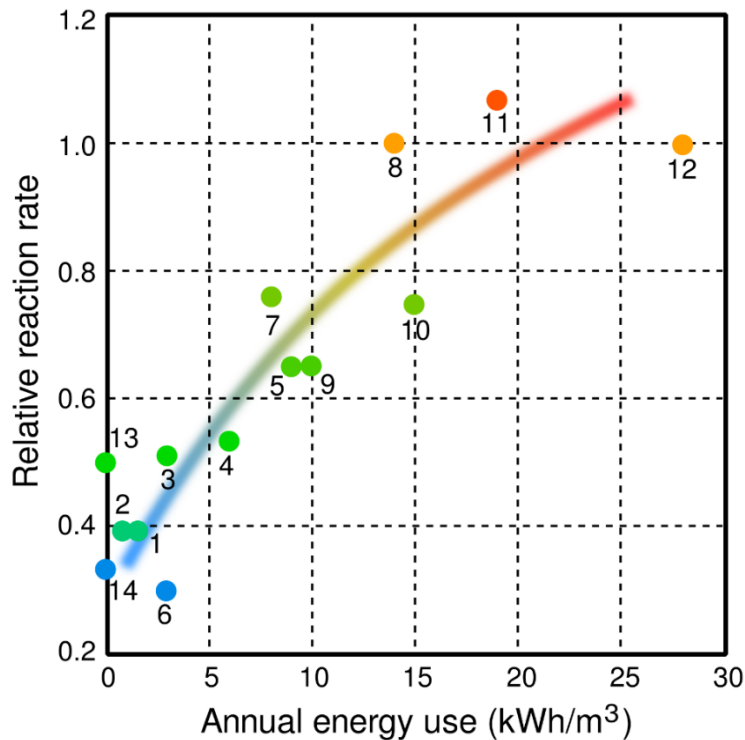
Den genomsnittliga luftfuktigheten inomhus för varje månad beräknas med denna nya temperatur, under antagandet att ångtrycket inomhus är samma som utomhus. Utan reglering av luftfuktigheten ligger den relativa luftfuktigheten i intervallet 40–100 % (den röda cykeln). Under större delen av året, dock ej på vintern, krävs det avfuktning för att hålla den relativa luftfuktigheten under 60 %. Detta uppnås genom att minska ångtrycket precis så mycket som behövs för att sänka luftfuktigheten (den gröna cykeln).



Figur 16. En enkel beräkning av den genomsnittliga temperaturen och relativa luftfuktigheten per månad i ett magasin med en kombination av värmebuffring och avfuktning i Visby på Gotland.

Energiaspekter

I figur 17 anges energiförbrukningen för flera magasin i Danmark jämfört med bevarandekvaliteten uttryckt i relativ reaktionshastighet. Reaktionshastigheten är normaliserad till 20 °C och 50 % luftfuktighet enligt Sebera [24]. Alla datapunkter avser platser som beskrivs i [22]. De är jämförbara i den mening att de är belägna ovan mark i ett danskt tempererat klimat, men skiljer sig åt ifråga om hur klimatskalet är konstruerat och system för klimatkontroll. Blå datapunkter står för uppvärmda byggnader med avfuktning. Gröna punkter står för byggnader med skyddsvärme på vintern, och röda punkter är byggnader med olika grad av luftkonditionering. Det finns ett samband mellan låg energiförbrukning och ett bra bevarande. Samtidigt som kostnaderna för energi minskar, förbättras föremålens stabilitet, vilket kan anses bero på att temperaturen tillåts variera över året.



Figur 17. Kopplingen mellan energiförbrukningen i flera magasin i Danmark och bevarandekvaliteten uttryckt i relativ reaktionshastighet i enlighet med figur 1. Illustration: Morten Ryhl-Svendsen (CC BY-NC-ND).

Principerna för energisnål klimatkontroll är inte beroende av konstant energiförsörjning. Tillfälliga elavbrott leder inte till märkbart försämrade inomhusmiljö. Detta gör dem lämpade för solenergi eller vindkraft, som har en naturlig variation. Om ungefär 5 % av taket på en byggnad som är lika stor som magasinet i Ribe täcks med solcellspaneler får man den energi som krävs för avfuktning, något som mest behövs på sommaren [23]. En liten vindturbin ger tillräcklig energi till skyddsvärme på vintern. Det innebär att det är möjligt att driva ett museimagasin eller arkiv helt utan yttre energiförsörjning.

Luftkvalitet

Luftföroreningar

Luftföroreningar omfattar gaser eller partiklar i luften [28, 18]. Gaser kan samverka med materialen genom oxidation eller med luftfuktigheten vid syrabildning. Därigenom bidrar de till kemiska reaktioner som korrosion, saltbildning eller sur hydrolys. Salter i partikelform kan dra till sig fukt och exempelvis leda till korrosion på metall. Partiklar kan fysiskt påverka materialens ytor genom nedsmutsning och repor samt bli näring för skadedjur och mikroorganismer. Om det är mycket damm måste föremålen rengöras oftare. Detta kan orsaka slitage.

Luftföroreningar kommer från naturliga eller antropogena källor i utomhusmiljön [4]. De omfattar ozon (O_3), som bildas i atmosfären, kväveoxider (NO_x), som bildas vid förbränning, främst från biltrafik, samt svavelföreningar från både industriella (SO_2) och naturliga källor (H_2S). Partiklar kan ha mycket olika källor och därmed olika kemisk sammansättning. De minsta fraktionerna bildas främst vid förbränning, däribland biltrafik, medan de större partiklarna bildas genom slitage på material, t.ex. sand, växtrester osv. I kustområden kan det finnas saltpartiklar i luften.

Inomhus uppstår luftföroreningar genom emittering från byggmaterial eller andra föremål, särskilt om de lagras i stora kvantiteter. Här finns en skillnad mellan ämnen som frigörs under kort tid men i stor kvantitet när nya material torkar, och ämnen som avdunstar i mindre kvantitet men under hela materialets livslängd. Det första kan exempelvis inträffa med ny färg, lack, tätningsmedel osv., där flyktiga organiska föreningar frigörs när materialet hårdnar. Exempel på kontinuerlig avdunstning från material är ättiksyra och myrsyra från trä och träprodukter. Vissa typer av plast kan frigöra syra när materialet bryts ned. Ibland kan AD-remsor fungera som ett kostnadseffektivt sätt för att bedöma om det finns sura ämnen i luften. [16]

Ventilation

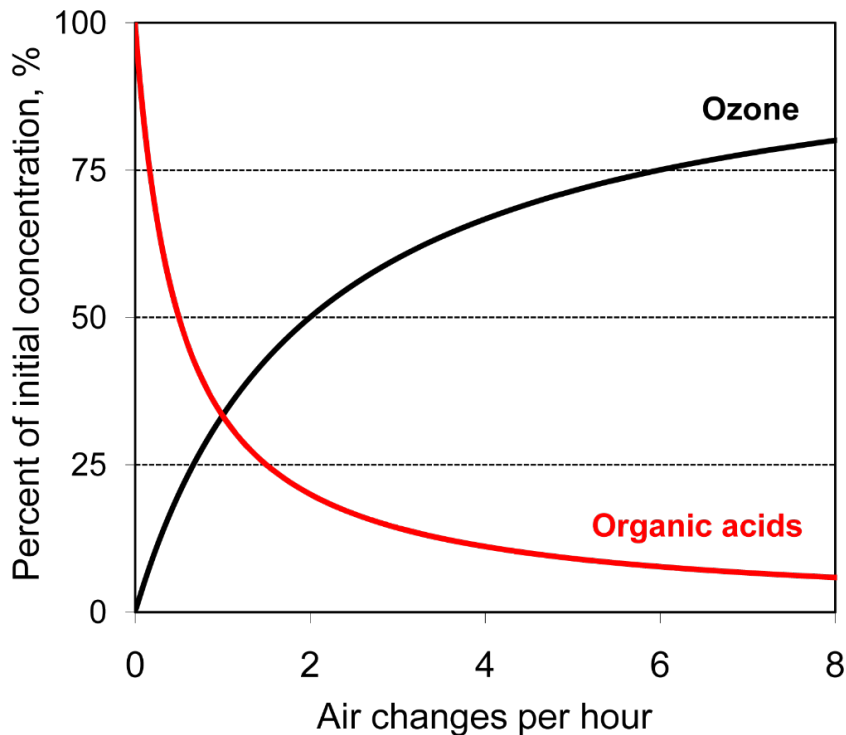
Syftet med mekanisk ventilation är att ta in ”frisk” utomhusluft och avlägsna ”använd” luft. Den används främst för att minska värme, fukt, föroreningar eller dålig lukt. Ventilation bygger normalt på antagandet att utomhusluften är till fördel, men detta är inte fallet för ett museimagasin eller arkiv. Utomhusluften är som sagt inte ren och måste filtreras innan den släpps in i byggnaden. Filtren minskar lufthastigheten och ökar ventilationens energiförbrukning. Om utomhusluften är smutsig måste filtren ofta bytas ut, vilket är dyrt. Därför är det bra att ha en låg luftväxlingsfrekvens.

Museimagasin och arkiv som beskrivs i denna vägledning är inte avsedda för att hysa personal stadigvarande. Kontor och verkstäder är därför avskilda från magasinerna. Genom att skilja personalen och samlingarna åt begränsas behovet av ventilation i magasinet. Friskluftsintaget bör begränsas för att undvika yttre föroreningar och minimera klimatstörningarna. På grund av den låga luftväxlingsfrekvensen kan avdunstningen av ämnen från samlingen eller från själva byggnaden leda till höga koncentrationer. Balansen mellan interna och externa föroreningar illustreras av figur 18.

Föroreningar som bildas inomhus förebyggs delvis genom att välja inerta material och ytbehandling för byggnaden och magasinshyllorna. [15] Trämateriäl bör undvikas på grund av emissioner av korroderande flyktiga föreningar, särskilt ättiksyra. Föroreningar från själva samlingen kan filtreras bort genom kolfilter i ett cirkulationssystem. [17] Ur kostnads–nyttosynvinkel är dock luftfiltreringens fördelar tveksamma [9]. Vissa ytbehandlingar kan också begränsa föroreningarna genom passiv absorption [20].

Mätningar i magasinet i Ribe och andra danska museimagasin med låg energiförbrukning visar att koncentrationerna av föroreningar inomhus är lägre än förväntat. Detta anses bero på den låga temperaturen i dessa byggnader, vilket dämpar materialens avdunstningstakt – ytterligare en fördel med en ouppvärmad miljö. En ny studie har bekräftat att låg temperatur verkligen minskar koncentrationen av föroreningar från material [27].

Samlingar som tidigare har behandlats med biocider utgör ett särskilt problem. Dessa måste rengöras före förvaring med låg luftväxlingsfrekvens för att minimera risken för att biociderna frigörs i luften. I sådana fall kan hälsoföreskrifterna kräva konstant ventilation, vilket omöjliggör energisnål förvaring.



Figur 18. Balansen mellan inomhusgenererade och externa föroreningar beror på luftväxlingsfrekvensen. Ett stort intag av utomhusluft minskar de interna föroreningarna, t.ex. organiska syror, men ökar samtidigt koncentrationen av ozon och andra externa föroreningar. Illustration: Morten Ryhl-Svendsen (CC BY-NC-ND).

Metoder för avfuktning och uppvärmning

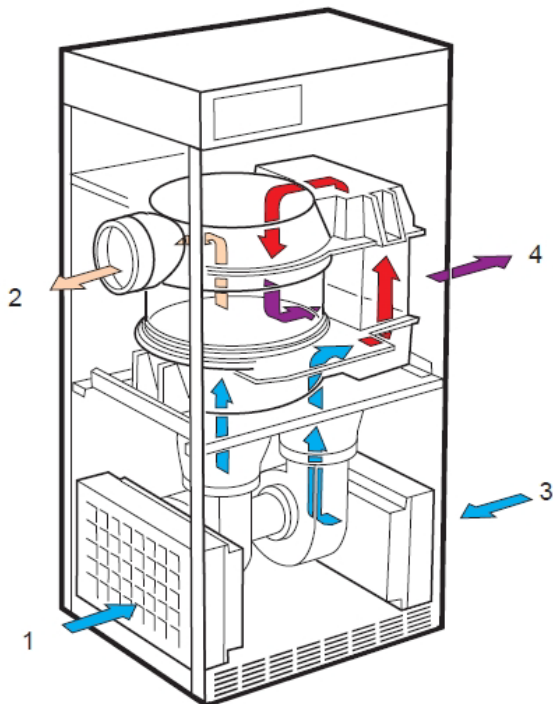
Kondensationsavfuktare: Det finns två sätt att avlägsna vattenånga från luften. Ett sätt är att kondensera fukten i en kylslinga och avleda vattnet. Denna metod används i luftkonditioneringssystem (figur 22). Den är också vanlig i flyttbara enheter för tillfälligt bruk på byggarbetsplatser eller för torkning efter vattenskador. Flyttbara avfuktare finns tillgängliga i många olika former och storlekar, men alla omfattar vissa grundläggande delar: en kompressor och en behållare för kylvätska, en värmeenhet och en kylslinga samt en elektrisk fläkt som blåser luften genom enheten. Avfuktaren styrs av en extern eller inbyggd hygrostat. En kondensationsavfuktare fungerar inte under 8–10 °C såvida den inte har intermittent avfrostning som avlägsnar is från kylenheten. Denna metod lämpar sig för byggnader med grundläggande uppvärmning eller där avfuktning i huvudsak används när omgivningstemperaturen är över 10 °C.

Absorptionsavfuktare: I den här avfuktningssättet absorberas fukten genom ett fuktupptagande medel och avlägsnas därefter med hjälp av varmluft (figur 20, 21). De flesta produkter har en rotor med kiselgel i en perforerad metalldröja. På det sättet utökas den tillgängliga ytan för att främja snabbt upptag och avlägsnande av

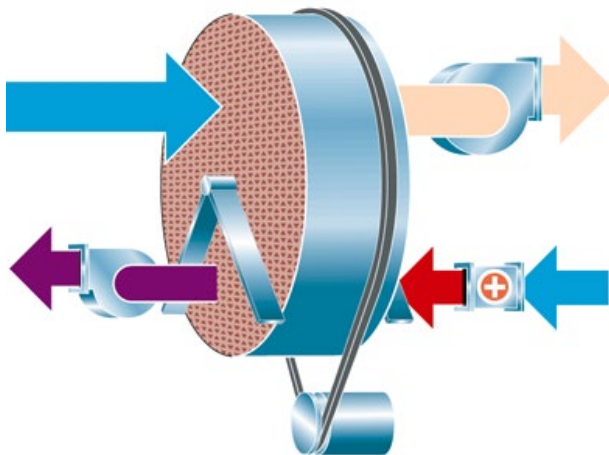
vattenången. Processluften leds genom ett segment av cylindern, medan regluften passerar genom ett annat segment. Båda processerna sker samtidigt när cylindern roterar. I de flesta modeller släpps den varma våtluften ut. Sorptionsavfuktare fungerar vid låga temperaturer, även minusgrader, men till högre kostnad. Metoden är därför fördelaktig i uppvärmda magasin eller byggnader.

Vilken kapacitet som krävs beror på lokalens eller byggnadens storlek, luftväxlingen och byggnadens fuktkällor. De flesta leverantörer har prestandadiagram för varje modell, vilket kan göra det lättare att välja rätt typ och storlek. Byggnadens eller lokalens volym multiplicerad med luftväxlingsfrekvensen visar vilken luftvolym som måste avfuktas. Denna volym multipliceras sedan med skillnaden i absolut fuktighet mellan insidan och utsidan, vilket ger vattenmängden i gram. Skillnaden i absolut fuktighet beräknas med hjälp av klimatspecifikationen och statistiska uppgifter för utomhusförhållandena.

Avfuktarens kapacitet beror på temperaturen. Vid lägre temperatur är vattenuttaget mindre, men detta kompenseras genom att vattenånghalten är lägre vid låg temperatur. Avfuktarens energiförbrukning beror på temperaturen och den relativa luftfuktigheten. Både kondensationsavfuktare och sorptionsavfuktare fungerar bäst vid normal rumstemperatur och hög RF. Enligt empiriska uppgifter för kondensationsavfuktaren är dess energiförbrukning 0,5–2,0 kWh/kg vid 20 °C och 60 % RF. [1] Denna energi stannar kvar i byggnaden som värme. En sorptionsavfuktare förbrukar mer energi än en kondensationsavfuktare per kg vatten som avlägsnas från luften. Energiförbrukningen är 1,5–2,5 kW/kg vid 50 % RF i temperaturintervallet 0–20 °C. Av detta står värmen för förångningen av vattnet för 0,67 kWh/kg, Denna energi går förlorad såvida inte avfuktaren har värmeåtervinning eller ett kondensoraggregat.



Figur 19. Sorptionsavfuktare. Luft från magasinet (1) passerar genom ett luftfilter och torkenheten och släpps tillbaka som torrluft (2). En separat ström av utomhusluft dras genom ett filter och en värmare, och passerar därefter genom ett annat segment av torkenheten för att avlägsna fukten (4). Design: Munters AB ©.



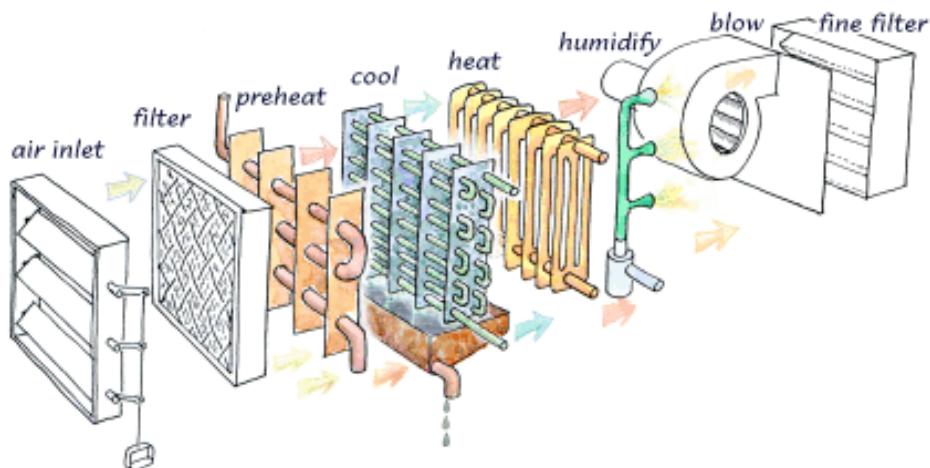
Figur 20. I torkenheten finns en roterande cylinder med många små hål. Den inre ytan i varje litet rör är täckt med ett fuktupptagande medel. När den fuktiga luften passerar genom rören absorberas vattenmolekylerna av medlet. En separat varmluftsström får vattenmolekylerna att förångas från medlet och avlägsnar fukten från enheten. Design: Munters AB ©.

Uppvärmning

Det säkraste sättet att värma upp ett utrymme eller en byggnad är att placera värmekällan utomhus och släppa in värmen genom väggarna. Varmluftsuppvärmning är också rätt säkert, eftersom luften används för att transportera värme. Varmluften sprids genom kanaler som leder till en fläkt som återför luften genom en värmeväxlare och dammfilter för att avlägsna partiklar från luften. Ibland kombineras luftuppvärmning med avfuktning i en luftbehandlingsenhet (figur 22). Automatiska ventiler måste användas som skydd mot rök, brand eller vatten.

Varmluften bör vara högst 40 °C för att undvika stora temperaturskillnader i lokalen. Ändå har varmluften en tendens att snabbt stiga uppåt och ge upphov till en vertikal temperaturgradient i lokaler med högt i tak. Luft har dålig värmekapacitet, så för att tillräckligt med värme ska tillföras lokalen eller byggnaden behöver mycket luft cirkuleras. Kanalerna måste därför vara rätt stora. Normalt installeras kanalerna på vinden, i källaren eller under golvet. System för varmluftsuppvärmning drivs av elektricitet, fjärrvärme eller värmepumpar.

På grund av brandrisken rekommenderas inte elektriska värmare för museimagasin. Centraluppvärmning med värmelement och värmeledningar i magasinet är inte heller lämpligt, eftersom en läcka kan orsaka stora skador på samlingen.



Figur 21. De grundläggande delarna i en luftbehandlingsenhet. En fläkt som blåser luften och filter som avlägsnar damm och partiklar. En kylslinga som avfuktar luften och en värmeenhet som ökar temperaturen. Avfuktare krävs inte vid energisnål klimatkontroll. Illustration: Tim Padfield ©.

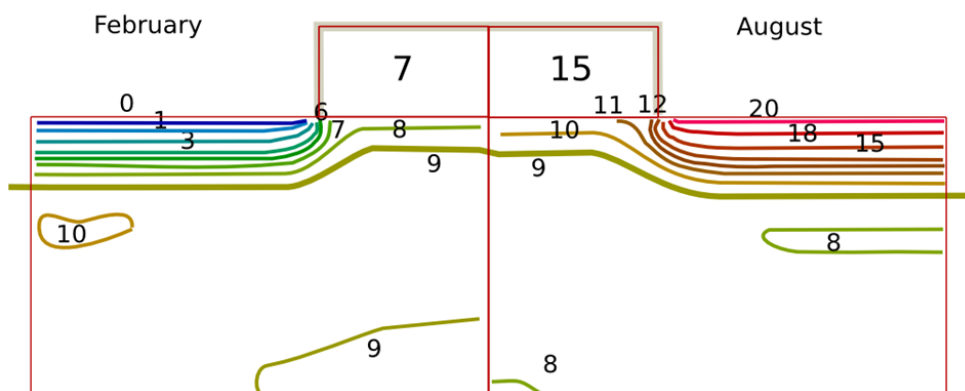
Konstruktion och material

Klimatskal

Klimatskalet är ständigt utsatt för klimatpåverkan från utemiljön. Det är temperaturen och luftfuktigheten utomhus som får värmen och fukten i en byggnad att öka eller minska. Byggnadens förmåga att skärma av inomhusklimatet från påverkan utifrån är beroende av platsen, utformningen samt konstruktionens material och tjocklek. Fönstrens storlek och orientering är av särskild betydelse, eftersom de leder till att värme tillförs eller försvinner genom strålning. Ett specialbyggt magasin bör inte ha fönster. I en byggnad som ursprungligen använts för andra ändamål bör fönstren täckas för. Byggnadens lufttäthet har också stort inflytande på klimatstabiliteten, eftersom luftväxling påverkar värmen och luftfuktigheten.

För ett specialbyggt magasin konstrueras klimatskalet efter datormodellering av den hygrotermiska prestandan. En virtuell modell av byggnaden gör det möjligt att testa många olika vägg- och takkonstruktioner, särskilt värmeisoleringens tjocklek. I allmänhet kan byggnadssimuleringen förutsäga temperaturen relativt exakt, men den relativa luftfuktigheten är inte lika säker. I magasin med en stor mängd hygroskopiskt material, såsom arkiv, underskattas ofta fuktbufferingseffekten.

Det är också svårt att modellera marktemperaturen i magasin med oisolerade golv. De flesta program använder en fast marktemperatur eller en sinusformad årsvariation, vilket kan leda till ett falskt resultat. Modellen måste omfatta marken under byggnaden för att kunna återge den dynamiska temperaturförändringen under året. Detta är ingen standardfunktion i program för byggnadssimulering. I figur 22 visas en datorgenererad modell av marktemperaturen under ett magasin med oisolerat golv [6].



Figur 22. Datormodellering av marktemperaturen under ett magasin med ett oisolerat golv, liknande magasinet i Ribe i figur 10–11. Illustration: Morten Ryhl-Svendsen (CC BY-NC-ND).

Termisk tröghet

Den termiska trögheten är en kombination av materialets värmeledningsförmåga och värmekapacitet. Värmekapaciteten är den mängd värme som krävs för att förändra materialets temperatur till en viss grad. Värmekapaciteten är nästan proportionell mot materialets densitet, medan värmeledningsförmågan är omvänt proportionell mot densiteten. En betongvägg har stor värmekapacitet och värmeledningsförmåga, medan en lätt vägg fylld med mineralull har liten värmekapacitet och värmeledningsförmåga. Eftersom båda faktorerna kombineras har de två väggarna samma termiska tröghet.

Ett typiskt nordeuropeiskt väder har två överlappande temperaturcykler: den årliga cykeln, som sträcker sig från i genomsnitt -10 °C på vintern till 20 °C på sommaren, och den dagliga cykeln, som kan spänna över 15 grader på sommaren. Det finns två sätt att dämpa den dagliga cykeln. Ett sätt är att använda massiva väggar och tak med stor värmekapacitet, som skyddsrummet i figur 9. Denna konstruktion hindrar inte värmeflödet, men betongen absorberar värmen så att den inte når det inre utrymmet. Detta är dock inte nödvändigt. Den dagliga cykeln kan dämpas i lika hög grad genom lätt värmeisolering. Skillnaden är att värmeflödet in i väggen är mycket mindre och mindre värme absorberas av konstruktionen.



Figur 23. Massiva väggar och tak har en stor termisk tröghet som kan utjämna de dagliga temperaturvariationerna, men inte temperaturförändringen från vinter till sommar. Nya biblioteket, Zografuklostret, Athos, Grekland. Foto: Poul Klens Larsen.

Att dämpa den årliga cykeln genom att absorbera värmeflödet på samma sätt som för den dagliga cykeln skulle kräva mycket tjockare väggar, ungefär fyra meter. Vissa historiska byggnader och militära bunkrar har en mycket massiv konstruktion för att motstå bombardering. Källare drar också nytta av markens inneboende temperaturstabilitet. De har en stabil temperatur som ligger nära omgivningstemperaturens årliga genomsnitt ovan mark. Det största problemet med underjordiska utrymmen är översvämningsrisken. I krigstid har naturliga grottor och tunnlar använts som museimagasin av säkerhetsskäl. Nyligen har övergivna underjordiska anläggningar anpassats för permanent förvaring (Nasjonalbiblioteket, Mo i Rana, Norge).

Fuktbuffring

Sedan många år har fuktbuffring genom material som upptar och avger vattenånga (hygroskopiska material) använts för montrar och transportlådor. På samma sätt kan den relativa luftfuktigheten i magasin med låg luftväxlingsfrekvens dämpas genom olika hygroskopiska material. Fördelarna med fuktbuffring i museimagasin är störst på kort sikt, det vill säga timmar eller dagar. De flesta industriella byggnadsmaterial har liten fuktbuffringkapacitet, men en väggbeklädnad av obränt tegel ger den effekten. Fuktbuffring under veckor eller månader är endast möjlig för samlingar med mycket cellulosa material, som pappersarkiv och kartonger, som i sig ger tillräcklig fuktbuffring.

Fuktbuffringens effekt i en dynamisk situation studerades i [13]. En testytas sorption av vattenånga mättes kontinuerligt under en regelbunden RF-cykel. Den ånga som absorberades av en kvadratmeter yta när RF steg räknades om till motsvarande utrymmesvolym, som kommer att genomgå samma förändring i RF med samma tillförsel av vattenånga som till det absorberande materialet. På grund av den långsamma diffusionen i materialet är denna motsvarande volym beroende av den tid som krävs för en RF-cykel. Vissa experimentresultat anges i tabell B.

Tabell 3. Experimentuppgifter för fuktbuffringkapaciteten (eller B-värdet) för vissa byggnadsmaterial i intervallet 40–60 % RF. Uppgifterna avser den virtuella volymen med samma fuktabsorptionskapacitet som en kvadratmeter yta under 24 timmars eller 92 timmars cykel. "Statiskt" är värdet för fullständig fuktjämvikt genom hela materialet.

Material	Tjocklek (mm)	24 timmar	96 timmar	Statiskt
Jäsbetong	50 mm	7	9	17
Ändträ	40 mm	15	34	122
Obränt tegel	53 mm	10	21	165
Obränt håltegel	53 mm	27	58	136
Obränt håltegel	106 mm	39	95	272

En väggbeklädnad av 106 mm obränt håltegel har ett fuktbufferingsvärde (B-värde) på ungefär 100 för en fyradagars RF-cykel. Det innebär att en kvadratmeter vägg motsvarar sorptionskapaciteten för 100 m³ utrymme. När samtliga B-värden för absorberande ytor summeras så här kommer byggnadens virtuella volym att vara flerdubbelt större än den faktiska volymen. För ett museimagasin med i huvudsak metallföremål och lite absorberande material kan denna virtuella volym vara upp till 10 gånger större. Ett magasin med många hygroskopiska föremål och väggbeklädnad kan ha en virtuell volym som är ungefär 50 gånger större. För ett arkiv fyllt med papper kan den virtuella volymen vara flera 100 eller 1 000 gånger större än den faktiska rumsvolymen.

Begreppet ”virtuell volym” (eller B-värde) kan användas för byggnadssimuleringar på följande sätt: Den virtuella modellen avgränsas av inre ytor som vattenånga inte kan tränga igenom. Luftväxlingsfrekvensen ställs in på ett värde som är den förväntade genomsläppligheten delat med B-värdet. Detta simulerar den relativa luftfuktigheten med hänsyn till fuktbufferingseffekten.

Koldioxidavtryck

I energisnåla magasin blir den energi som används för byggnadsmaterialen dominerande ur ett livscykelperspektiv. De flesta industriellt framställda material kräver stora mängder (fossil) energi för produktion och transport. Det finns mer energi i betong eller tegel än i en byggnad av trä eller obränt tegel. Koldioxidavtrycket under en betongbyggnads livslängd kan vara stort även om den inte värms upp på vintern. Ett energisnålt magasin måste som sagt inte ha massiva väggar. Termisk stabilitet kan uppnås i en lätt byggnad med välisolerade väggar och innertak. Det finns dock brandskydds- och säkerhetskrav som kanske inte uppfylls av lätta konstruktioner.

En befintlig byggnad har redan viss energiförbrukning och vissa koldioxidutsläpp bakom sig. Ur ett livscykelperspektiv kan det med tanke på koldioxidutsläppen vara fördelaktigt om byggnaden återanvänds som magasin med låg energiförbrukning för klimatkontroll.

Avslutning

De flesta material och föremål bevaras väl vid en måttlig årlig temperaturvariation och en lagom relativ luftfuktighet. En låg temperatur fördröjer kemisk nedbrytning och förhindrar biologiska angrepp. Därför bör innetemperaturen i museimagasin och arkiv inte vara konstant hela året för mänsklig komfort, utan tillåtas följa den yttre årstidscykeln. En magasinsbyggnad ska bara värmas upp så lite som behövs, och temperaturen ska aldrig vara så hög att den relativa luftfuktigheten blir för låg. Avfuktning används för kompletterande fuktkontroll, medan befuktning aldrig bör vara nödvändig. Detta kommer att säkerställa att den relativa luftfuktigheten hålls på en lagom nivå och minska risken för mekaniska skador.

Det är detta grundkoncept för hållbara museimagasin som utvecklats till tre generiska modeller. Den enklaste är att undvika vintervärme och kontrollera den relativa luftfuktigheten genom avfuktning året runt. Denna kategori är främst relevant för befintliga byggnader som används för förvaring av samlingar, antingen tillfälligt eller permanent. En mer förfinad modell är att använda marken som temperaturbuffert i kombination med avfuktning på sommaren. Denna klimatkontrollstrategi är främst relevant för specialbyggda magasinsanläggningar. En tredje möjlighet är att kombinera skyddsvärme med fuktbuffring. Detta koncept är relevant för nya eller befintliga magasin som är integrerade i byggnader som värms upp till konstant temperatur för mänsklig komfort.

Referenser

- [1] Andersson B., Meng L., Thiele R. & Öhmark O. 2003. *Dehumidifiers, a theoretical and experimental analysis*. Rapport från Kungliga Tekniska högskolan, avdelningen för tillämpad termodynamik och kylteknik. Stockholm.
- [2] *ASHRAE Handbook – HVAC Applications*. 2019. Kapitel 24: Museums, galleries, archives, and libraries. Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.
- [3] Bastholm, C. m.fl. 2022. “The mysterious mould outbreak – A comprehensive fungal colonization in a climate controlled museum repository challenges the environmental guidelines for heritage collections”. *Journal of Cultural Heritage* 55(2022):78–87. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.02.009> (2023-02-07).
- [4] Blades, N. m.fl. 2000. *Guidelines on Pollution Control in Museum Buildings*. London, Museum Association & Museum Practice.
- [5] Bratasz, Ł., Kozłowski, R., Lasyk, Ł., Łukomski, M. & Rachwał, B. 2011. “Allowable microclimatic variations for painted wood: numerical modeling and direct tracing of the fatigue damage”. I: *ICOM-CC, 16th Triennial Conference, Lisbon, Portugal, 19–23 September 2011: Preprints*. J. Bridgland (red.). Lisbon, ICOM-CC.
- [6] Bøhm, B. & Ryhl-Svendsen, M. 2011. “Analysis of the thermal conditions in an unheated museum store in a temperate climate. On the thermal interaction of earth and store”. *Energy and Buildings* 43(12):3337–3342.
- [6b] Cappelen J. & Jense J. J. 2001. *Jordens Klima – Guide til vejr og klima i 156 lande*. Teknisk rapport 01-17. Danish Meteorological Institute. https://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/2001/tr01-17.pdf (2023-03-10).
- [7] *Conservation of Cultural Property – Specifications for temperature and relative humidity to limit climate induced mechanical damage in organic, hygroscopic materials* (SS-EN 15757:2010). 2010. Stockholm, Swedish Institute for Standards (SIS).
- [8] *Conservation of Cultural Heritage – Specifications for location, construction and modification of buildings or rooms intended for the storage or use of heritage collections* (SS-EN 16893:2018). 2018. Stockholm, Swedish Institute for Standards (SIS).

- [9] Di Pietro, G., Ligterink, F. Porck, H. and de Bruin, G. 2016. "Chemical air filtration in archives and libraries reconsidered". *Studies in Conservation* 61(5):245–254.
- [10] ICOM-CC. *Environmental guidelines IIC and ICOM-CC declaration* (september 2014). <https://www.icom-cc.org/en/environmental-guidelines-icom-cc-and-iic-declaration> (2023-02-08).
- [11] Mecklenburg, M.F. 2007. *Determining the Acceptable Ranges of Relative Humidity and Temperature in Museums and Galleries: Part 2, Structural Response to Temperature*. Smithsonian Research Online, Museum Conservation Institute. <https://repository.si.edu/handle/10088/7055> (2023-02-08).
- [12] Michalski, S. 1991. "Paintings – their response to temperature, relative humidity, shock, and vibration". I: *Art in Transit: Studies in the Transportation of Paintings*, s. 223–248. M.F. Mecklenburg (red.). Washington, DC, National Gallery of Art. <https://repository.si.edu/handle/10088/8128> (2023-02-08).
- [13] Padfield, T. & Jensen, L.Aa. 2011. "Humidity buffering of building interiors by absorbent materials". In: *Proceedings of the 9th Nordic Symposium on Building Physics* (NBP 2011), s. 475–482. J. Vinha, J. Piironen & K. Salminen (red.). Tampere, Finland, Tampere University Press. http://www.conservationsphysics.org/ppubs/humidity_buffering_building_interiors_nsb2011.pdf (2023-02-08).
- [14] Padfield, T, Ryhl-Svendsen, M. Larsen, P.K., Jacobsen, M., Jensen, L Aa. 2018. "The climate control of the Arnemagnæan archive". *Care and Conservation of manuscripts 16: Proceedings of the sixteenth international seminar held at the University of Copenhagen 13th – 15th April 2016*, s. 35–46. M.J. Driscoll (red.). Köpenhamn, Museum Tusulanum Press.
- [15] Riksantikvarieämbetet. 2017. *Material för utställning, förvaring och packning: vanliga material*. Vårda Väl-blad, maj 2017. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:raa:diva-3839> (2023-02-07).
- [16] Riksantikvarieämbetet. 2020. *Luftkvalitet: AD-remsor för att upptäcka sura gaser*. Vårda Väl-blad, januari 2020. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:raa:diva-6019> (2023-02-07).
- [17] Riksantikvarieämbetet. 2020. *Luftkvalitet: aktivt kol för att minska emissioner*. Vårda Väl-blad, januari 2020. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:raa:diva-6020> (2023-02-07).
- [18] Riksantikvarieämbetet. 2020. *Luftkvalitet: luftföroreningar i museimiljö*. Vårda Väl-blad, januari 2020. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:raa:diva-6021> (2023-02-07).

- [19] Ryhl-Svendsen, M. & Clausen, G. 2009. “The effect of ventilation, filtration and passive sorption on indoor air quality in museum storage rooms”. *Studies in Conservation* 54(1):35–48.
- [20] Ryhl-Svendsen, M. 2011. “Passive sorption of organic compounds on clay bricks”. I: *Indoor Air 2011, 12th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. R. Corsi & G. Morrison (red.). Austin, International Society of Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ).
- [21] Ryhl-Svendsen, M., Jensen, L.Aa., Larsen, P.K., Bøhm, B. & Padfield, T. 2011. “Ultra-low-energy museum storage”. In: *ICOM-CC, 16th Triennial Conference, Lisbon, Portugal, 19–23 September 2011: Preprints*. J. Bridgland (ed.). Lisbon: ICOM-CC.
- [22] Ryhl-Svendsen, M, Jensen, L.Aa., Bøhm, B. & Larsen, P.K. 2012. *Low-energy Museum Storage Buildings: Climate, Energy Consumption, and Air Quality. UMTS Research Project 2007–2011: Final Data Report*. Kgs. Lyngby, National Museum of Denmark.
- [23] Ryhl-Svendsen, M., Jensen, L.Aa., Larsen, P.K., Bøhm, B. & Padfield, T. 2013. “A museum storage facility controlled by solar energy”. I: *Climate for Collections: Standards and Uncertainties*. Postprints of the Munich Climate Conference 7 to 9 November 2012. J. Ashley-Smith, A. Burmester & M. Eibl (red.). Munich, Doerner Institute. <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/thenetexperts-pinakothek-cms/06/climate-for-collections.pdf#page=142> (2023-02-08).
- [24] Sebera, D. 1994. *Isoperms: An Environmental Management Tool*. The Commission on Preservation and Access. <http://cool.conservation-us.org/byauth/sebera/isoperm/> (2023-02-08).
- [25] Sedlbauer K. 2001. *Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components*. Diss. University of Stuttgart, Fraunhofer Institute for building Physics. Stuttgart, Germany.
- [26] Shashoua, Y. 2008. *Conservation of plastics: materials science, degradation and preservation*. Oxford, Butterworth-Heineman.
- [27] Smedemark, S.H., Ryhl-Svendsen, M. & Toftum J. 2021. “Comparing the air quality performance in unoccupied storage buildings between mechanical ventilation and semi-passive climate control”. I: *Transcending Boundaries: Integrated Approaches to Conservation. ICOM-CC 19th Triennial Conference Preprints, Beijing, 17–21 May 2021*. J. Bridgland (red.). International Council of Museums – Committee for Conservation.

- [28] Tétreault, J. 2003. *Airborne Pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management*. Ottawa, Canadian Conservation Institute.
- [29] Tveito, O. E. m.fl. 2000. *Nordic temperature maps*. Nordklim, DNMI KLIMA Report 09/00. <https://www.met.no/publikasjoner/met-report/met-report-2000> (2023-03-09).

