UPPSALA
UNIVERSITET

ISRN UTH-INGUTB-EX-B-2016/25-SE
Examensarbete 15 hp
Juni 2016

Fuktstyrning av inomhusklimatet på Skoklosters slott

En utvärdering av avfuktning, skyddsvärme och fuktstyrd ventilation

Rickard Eriksson

FUKTSTYRNING AV INOMHUSKLIMATET PÅ SKOKLOSTERS SLOTT

En utvärdering av avfuktning, skyddsvärme och fuktstyrd ventilation

Rickard Eriksson

Institutionen för teknikvetenskap, Byggteknik
Uppsala universitet, Examensarbete 2016

UPPSALA
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
http://www.teknat.uu.se/student

Abstract

Moisture control of the indoor climate in Skokloster castle

Rickard Eriksson

Moisture control aims to reduce the risks associated with high relative humidity (RH) to avoid the emergence and growth of mold. In historic buildings with little or no demand for thermal comfort there are, to lower RH, mainly three active climate actions. These are heating, dehumidification and adaptive ventilation. The methods have been used in Skokloster castle (an unheated baroque castle between Uppsala and Stockholm) for three years to enable decision making of what climate control strategy that can prevent mold growth in a energy efficient way. Each action lasted for a year in three different case study rooms. To see the effect of the actions, three reference rooms with no actions were used. Temperature and RH was measured for all years and rooms. In the case study rooms energy use was registered.

The result shows that the need for active climate control has been low, which can be shown by studying the energy use. The energy use is generally low for all actions and should not be crucial for the future choices. The result is in many ways difficult to interpret, but it shows that it would be too risky not to apply moisture control in Skokloster castle. An important conclusion is that it is largely the exceptions that have navigated the equipment and that the exceptions therefore should navigate the choice of the climate control strategy.

Handledare: Tor Broström
Ämnesgranskare: Christer Steinvall
Examinator: Caroline Öhman Mägi
ISRN UTH-INGUTB-EX-*-20**/00-SE
Tryckt av: Polacksbackens Repro, Uppsala Universitet, Box 337, 751 05 Uppsala

SAMMANFATTNING

Fuktstyrning avser att minska riskerna med hög relativ fuktighet (RF) för att undvika uppkomst och tillväxt av mögel. I historiska byggnader med ingen eller endast liten efterfrågan på termisk komfort finns det, för att sänka RF, huvudsakligen tre aktiva klimatåtgärder. Dessa är skyddsvärme, avfuktning och fuktstyrd ventilation. Nämnda metoder har under tre års tid tillämpats på Skoklosters slott (ett ouppvärmt barockslott mellan Uppsala och Stockholm) för att möjliggöra beslut om vilken klimatstyrningsstrategi som det går att med låg energiåtgång förhindra mögeltillväxt på slottet. Respektive åtgärd pågick under ett års tid i tre olika försöksrum. För att se effekten av åtgärderna användes tre referensrum där ingen åtgärd skedde. Temperatur och RF registrerades för alla rum och år. I försöksrummen registrerades energianvändningen.

Resultatet visar att behovet av aktiv klimatkontroll har varit lågt, vilket bland annat framgår vid studerande av energianvändningen. Energianvändningen är generellt låg för samtliga åtgärder och borde rimligtvis inte vara avgörande vid framtida åtgärdsval. Resultatet är på många sätt svårtolkat, men visar ändå att det vore alltför riskfyllt att inte tillämpa fuktstyrning vid Skoklosters slott. En viktig slutsats är att det till stor del är undantagen som har styrt utrustningen och att undantagen därför borde vara vägledande vid val av klimatstyrningsstrategi.

Nyckelord: Fuktstyrning, skyddsvärme, avfuktning, fuktstyrd ventilation, energianvändning, RF och mögel.

”Our cultural heritage defines our humanity”

Ban Ki-moon[1]

[1] Formuleringen ovan av Ban Ki-moon är från hans öppningsframförande under det årligen återkommande mötet U.N. Global Colloquium of University Presidents. 2016 års möte hölls på Yale University och hade temat ”Bevarande av kulturarv: Utmaningar och strategier”. Vid mötet medverkar rektorer och forskare världen över för att identifiera möjliga framtida samarbeten mellan de deltagande universiteten och ta fram rekommendationer som kan presenteras för generalsekreteraren och FN.

http://ungc.yale.edu/
https://www.youtube.com/watch?v=8XLGyQ8Fi_4

FÖRORD

Den moderna byggnadsvården blir alltmer välkänd och målmedvetet sträcker sig dess tidslinjer allt längre fram. Det märks inte minst genom att det årligen återkommande mötet U.N. Global Colloquium of University Presidents 2016 hade temat ”Bevarande av kulturarv: Utmaningar och strategier” (se föregående sida). Tor Broström, professor i kulturvård vid Uppsala universitet (Campus Gotland) och handledare till detta examensarbete, deltog som ensam forskare från Sverige för att berätta hur man med tvärvetenskaplig och tillämpad forskning kan hitta en balans mellan att spara energi och bevara kulturvärden.

Det är både som student på högskoleingenjörsprogrammet i byggteknik vid Uppsala universitet och byggnadsantikvarieprogrammet vid Uppsala universitet (Campus Gotland) som jag har fått uppleva Tor Broströms engagemang, hybrida arbetsmetoder och formella och informella nätverk. Magnus Wessberg, universitetsadjunkt i kulturvård vid samma lärosäte och forskarstuderande vid Tjeckiens Tekniska högskola i Prag (CTU), har likaså bidragit med stor erfarenhets- och kunskapsöverföring, särskilt vad gäller programhantering. Ett stort tack riktas därför till er båda. Tack också till Christer Steinvall och Caroline Öhman Mägi, båda vid institutionen för teknikvetenskaper på Uppsala universitet, samt personalen på Skoklosters slott för alla dörrar ni har öppnat.

Visby i maj 2016

Rickard Eriksson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 Inledning 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 Syfte och frågeställningar 4
1.3 Tidigare forskning om inomhusklimatet på Skoklosters slott 4
1.4 Avgränsning 8
1.5 Metod 9
1.5.1 Metod för studien 9
1.5.2 Metod för analys 12
1.6 Begrepp 14
1.7 Skoklosters slott 17
1.8 Aktiva åtgärder vid klimatstyrning 18
1.8.1 Avfuktning 18
1.8.2 Skyddsvärme 20
1.8.3 Fuktstyrd ventilation 21
1.9 Disposition 23
2 Resultat 25
2.1 År 1 26
2.1.1 Grå rummet (CS1) – avfuktare 26
2.1.2 Blå rummet (RF1) - referens 28
2.1.3 Florens (CS2) – fuktstyrd ventilation 30
2.1.4 Bryssel (RF2) – referens 31
2.1.5 London (CS3) – skyddsvärme 33
2.1.6 Gröna sängkammaren (RF3) – referens 35
2.2 År 2 37
2.2.1 London (CS3) – avfuktare 37
2.2.2 Gröna sängkammaren (RF3) – referens 39
2.2.3 Grå rummet (CS1) – fuktstyrd ventilation 40
2.2.4 Blå rummet (RF1) – referens 41

2.2.5 Florens (CS2) – skyddsvärme 42
2.2.6 Bryssel (RF2) – referens 44
2.3 År 3 45
2.3.1 Florens (CS2) – avfuktare 45
2.3.2 Bryssel (RF2) – referens 46
2.3.3 London (CS3) – fuktstyrd ventilation 48
2.3.4 Gröna sängkammaren (RF3) – referens 50
2.3.5 Grå rummet (CS1) – skyddsvärme 51
2.3.6 Blå rummet (RF1) – referens 53
3 SLUTSATS OCH DISKUSSION 55
3.1 Slutsatser 55
3.2 Diskussion 58
3.3 Vidare forskning 60
4 REFERENSER 61

BILAGOR

Bilaga 1 – Varaktighetsdiagram (B.1)
Respektive rum under samtliga studieår (B.1.1.1 – B.1.1.6)
Respektive rum under samtliga studieår för 1000 timmar av högst RF (B.1.2.1 – B.1.2.6)

Bilaga 2 – Försöksplan avseende mögelförebyggande åtgärder på Skoklosters slott (B.2)

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Gemensamt för kulturhistoriska byggnader är huvudsakligen att förmedla kontinuitet bakåt i tiden och levandegöra vår historia. För att vårda och bevara dessa byggnader kan specifika vårdprogram och skyddsbestämmelser tas fram. Dessa är sällan allmängiltiga, då en mängd faktorer påverkar byggnaden. Inomhusklimatet tillhör de faktorer som har störst bäring på byggnadernas förvaltning, vilket inte minst märks på det breda forskningsfältet som engagerar såväl ingenjörer, byggnadsvårdare, konservatorer som arkitekter. Vid projektering av klimatstyrning är det inte alltid möjligt att förutspå utvecklingen av en viss klimatåtgärd. Med klimatstudier, som det som kommer att redogöras för i detta examensarbete, går det dock att arbeta mot ökad förfining för att ta fram beslutsunderlag om hur en byggnad bör förvaltas.

Fuktstyrning avser först och främst att minska de risker en hög relativ fuktighet (RF) medför. Parametern är onekligen den mest avgörande vid uppkomst och tillväxt av mögel som ju är verksam i nedbrytning av organiskt material och kan skapa dålig lukt och missfärgning. Mögelsvamparna i sig reducerar inte materialens hållfasthet, men kan ge upphov till rötsvampar som gör det.[2] Fuktstyrning avser också att erhålla acceptabel variation av RF för att inte mekaniska skador, såsom sprickor och krackelering, ska uppstå. Det är framförallt tillståndet hos träföremål och föremål som består av sammansatta material, såsom måleri på duk och trä, som kan försämras av alltför häftiga variationer av RF.[3]

I byggnader med ingen eller endast liten efterfrågan på termisk komfort finns det, för att sänka RF, huvudsakligen tre aktiva klimatåtgärder.

[2] Hagentoft, Vandrande fukt, strålande värme, 37.
[3] Fjæstad, Tidens tand: förebyggande konservering: magasinshandboken, 187.

Dessa är skyddsvärme, avfuktning och fuktstyrd ventilation.[4] Nämnda metoder har under tre års tid tillämpats på Skoklosters slott för att möjliggöra en utvärdering av deras användbarhet beträffande de mögelproblem som slottet har. Metoderna är inte nya, utan har också tidigare ingått i försök att styra inomhusklimat och tillämpas likaledes i stor utsträckning i praktiken. Trots detta finns det inget allmänt eller entydigt tillvägagångssätt vid förvaltning av byggnader och samlingar. Simuleringar kan ge en fingervisning om vilka de långsiktiga verkningarna av dagens teknik är, men i realiteten återstår dessa att studera.

Skoklosters slott (fig. 1) vid Mälaren är ett sommaröppet museum med endast vissa visningar vintertid. Sedan museipersonalen ringde i larmklockan har stora forskningsresurser lagts på det väldiga barockslottet. Uppsala universitet (Campus Gotland) och Göteborgs universitet fick vid ett möte på slottet oktober 2011 uppdraget att stå för den vetenskapliga undersökningsdelen, vilken skulle ske under ledning av Tor Broström, professor vid konstvetenskapliga institutionen, kulturvård, vid Uppsala universitet. Vid mötet medverkade flera forskare och olika företrädare för byggnaden och dess verksamheter för att diskutera inomhusklimatsproblematiken. En uppfattning som delades av deltagarna var att det inte fanns några uppenbara och enkla åtgärder för att säkerställa ett mögelfritt slott.

En stor del av det kulturhistoriska byggnadsbeståndet har överlevt människan i århundraden utan att några tydliga resurser har riktats på inomhusklimatet. De skador som idag kan ses har många tänkbara förklaringar, inte minst ogynnsamma inomhusklimatförhållanden. Problemet med mögeltillväxt kommer också att få ytterligare betydelse med anledning av den globala uppvärmningen, vilken medför både varmare och fuktigare klimat.[5] Utöver den globala uppvärmningen har stigande energipriser bidragit till att frågan om hur ett lämpligt inomhusklimat erhålls har aktualiserats de senaste åren. Idag råder

[4] Wessberg, Leijonhufvud & Broström, An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle, 1.
[5] Krus, Kilian & Sedlbauer, Mould growth prediction by computational simulation on historic buildings, 185.

också en bredare förståelse för hur nedbrytningsprocesser hos olika material sker. Det hör också till att rådande bevarandeideologier inte tillåter naturligt förfall som en oundviklig del av livet.[6]

Fig. 1. Skoklosters slott i maj 2016. Byggnadsställningarna och täckplasten vittnar om en pågående takrestaurering. Foto: Rickard Eriksson

[6] Klenz Larsen & Broström, Climate Control in Historic Buildings, 1.

1.2 Syfte och frågeställningar

Det övergripande syftet med studien är att utvärdera hur de aktiva klimatåtgärderna avfuktning, skyddsvärme och fuktstyrd ventilation har fungerat under försöksåren för att skapa ett underlag inför kommande beslut om förvaltningen av Skoklosters slott. Utvärderingen sker utifrån åtgärdernas effekt på inomhusklimatet och den egna energianvändningen. Det är huvudsakligen avvikande händelser eller fenomen som kommer att diskuteras. I dagens expertsamhälle, där allt fler arbetsuppgifter specificeras och marknaden får fler sakkunniga, är det också av stor vikt att kunskapen inte begränsas geografiskt eller till vissa yrkesgrupper. I detta uppstår ytterligare ett syfte med studien, nämligen att kunskapen ska nå förvaltare och andra aktörer inom kulturvården och byggprocessen. För att underlätta framställningen har frågeställningarna nedan formulerats.

Hur har de aktiva klimatåtgärderna avfuktning, skyddsvärme och fuktstyrd ventilation vid Skoklosters slott fungerat under försöksåren?

Med vilken klimatstyrningsstrategi går det att med minsta möjliga energiåtgång förhindra mögeltillväxt på Skoklosters slott?

1.3 Tidigare forskning om inomhusklimatet på Skoklosters slott

Med anledning av den uttryckta fuktproblematiken på Skoklosters slott har det tidigare skett mycket forskning på slottet. Flera bidrag är av konservatorer som har studerat tillståndet hos olika artefakter för att möjliggöra slutsatser om samspelet mellan dessa och byggnaden. I konferensbidraget ”Skokloster Castle and its environment” från 2006 menade Jan Holmberg, Bengt Kylsberg och Per Nelander till exempel att en värmetrög konstruktion (uppförd i traditionella byggnadsmaterial) som Skoklosters slott kunde bidra till att bevara

föremål under århundraden, utan några specialiserade system för klimatkontroll.

2010 skrev Gustaf Leijonhufvud och Tor Broström i konferensbidraget ”The indoor climate in Skokloster castle” om sina erfarenheter vid slottet. De hade då under ett års tid mätt RF och temperatur i syfte att analysera inomhusklimatet, göra en riskbedömning och föreslå åtgärder för att förbättra inomhusklimatet med avseende på långsiktigt bevarande av slottets samling. Författarna menade att den värmetröga konstruktionen minskade effekten av utomhusvariationer, men att variationerna av inomhusklimatet ändå var för stora och inte att föredra på ett museum. Genom att öka byggnadens effektiva hygrotermiska tröghet (minska luftbytet) ansåg Leijonhufvud och Broström att variationerna i RF kunde minskas, men att det skulle krävas skyddsvärme och/eller avfuktning för att få bukt med mögelproblemen. 2011 återkom Holmberg och Kylsberg, då tillsammans med Inger Olovsson i konferensbidraget ”Climate for Care and Conservation of Ottoman Artefacts in Northern Europe”. Författarna använde återigen Skokloster som ett bra exempel på hur förebyggande konservering kunde uppnås med passiva medel. De var dock tydliga med att problem kunde medföras när inomhusklimatet följer utomhussäsongen och ville med artikeln bjuda in till en diskussion om vad som är ett bra inomhusklimat utifrån bevarandeaspekt. Bland skälen nämndes den globala uppvärmningen.

Charlotta Bylund Melin diskuterade i sin artikel ”Studying Organic Hygroscopic Art Objects Housed in Historic Buildings” från 2011 det mekaniska uppträdandet hos vissa organiska material i förhållande till RF och temperatur. Inga slutsatser drogs, då artikeln var en förberedande del på författarens doktorsavhandling. Bylund Melin menade dock att resultatet kommer att bidra till en omvärdering av de nuvarande mycket strikta och energikrävande klimatkriterierna och på så vis främja energieffektiviteten i historiska byggnader.

2012 skrev Leijonhufvud, tillsammans med Jonny Bjurman, artikeln ”An analysis of microclimate differences leading to sporadic mould

growth in Skokloster castle, an unheated historic building". Artikeln har sitt ursprung i en undersökning från september 2010 då mögel hade påträffats sporadiskt i olika rum på bland annat väggar, böcker och möbler. Efter avslutad undersökning, vilken pågick från juli 2008 till augusti 2009, var författarna eniga om att den absoluta fuktigheten var i princip densamma i hela slottet och att temperaturskillnader mellan rummen därför var avgörande för variationer i RF. Även här nämndes utomhusklimatets stora inverkan på inomhusklimatet, men att klimatskalet reducerade effekten.

I inlägget från 2010 beskrev Leijonhufvud och Broström att luftväxling påverkar variationerna av inomhusklimatet i ouppvärmda historiska byggnader. Tankesättet återkommer i artikeln "The influence of air exchange on the stability of the indoor climate in Skokloster castle" från 2013 av Andrea Luciani, Magnus Wessberg och Tor Broström. Trots att Skoklosters slott har beskrivits som en bra bevarandemiljö ville författarna framhäva samlingarnas utsatthet och förespråkade därför en omvärdering av klimatstrategin. Bakomliggande studie till artikeln innebar att luftbytet mättes i sju rum med hjälp av passiv spårgasteknik. Temperatur, RF och ångkvot mättes också för att möjliggöra vidare analyser. Vad som kunde identifieras var att en förbindelse av kortsiktiga variationer av RF sannolikt var det farligaste för hygroskopiska material.

Under handledning av Broström och Wessberg skrev Adam Justin Moll 2014 examensarbetet "Inneklimatet på Skoklosters slott: en studie av ett klimatexperiments första år". Som aspirerande byggnadsantikvarie och tidigare guide på slottet undersökte Justin Moll den klimatstudie som också ligger till grund för detta examensarbete. Då arbetet författades våren 2014 fanns det endast möjlighet att studera hur fuktstyrningen hade fungerat under det första försöksåret. De slutsatser författaren kunde dra var att inneklimatet i nästan alla rum, både försöks- och referensrum, hade varit relativt godartat ur mögelrisksynpunkt. I det rum fuktstyrd ventilation hade installerats var förhållandena de bästa, även om författaren var noga med att påpeka att det emellertid var för tidigt att med säkerhet säga vilken eller vilka anläggningar som var bäst för slottet.

Ett bidrag till forskningsområdet i stort har Poul Klenz Larsen och Broström gjort med handboken ”Climate Control in Historic Buildings” från 2015. Handboken riktar sig till såväl arkitekter, ingenjörer, konservatorer som fastighetsägare och syftar till att bistå vid val klimatstyrningsstrategi i historiska byggnader. Broströms erfarenheter från Skokloster används i boken för att exemplifiera huvudsakligen skyddsvärme, fuktstyrd ventilation och avfuktning. I boken ”Kulturarvet och komforten” från 2015 ges läsaren förståelse för hur tillämpningen av värme- och ventilationsteknik i kulturhistoriska miljöer har sett ut historiskt. Boken är författad av Mattias Legnér och Mia Geijer, vilka beskriver att frågan om inomhusklimat ända sedan slutet av 1800-talet har varit central för trivsel, hälsa och bevarande av kulturhistoriskt värdefulla hus och föremålssamlingar. Skoklosters slott återkommer vid ett flertal tillfällen i boken vid beskrivandet av områdets utveckling.

Den treåriga klimatstudie som inleddes 2013 på Skoklosters slott ligger till grund för det senast tillkomna inlägget om vilken klimatstyrningsstrategi som borde tillämpas på slottet. Det är i konferensbidraget ”An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle” från 2016 som författarna Wessberg, Leijonhufvud och Broström utvärderar och jämför kapaciteten hos skyddsvärme, avfuktning och fuktstyrd ventilation. Studien visade att initiala passiva åtgärder, såsom renovering och tätning av fönster hade positiv inverkan och således minskade behovet av aktiv klimatkontroll. Dessa slutsatser kunde dras eftersom artikelförfattarna också studerade mätdata från 2009-2010. Vad beträffar energianvändning var avfuktning den mest energieffektiva metoden. Det bör här nämnas att artikeln endast var en introducerande del av en större sammanställning som kommer att utföras av författarna. Målet är då att göra en utförligare systematisk jämförelse mellan klimatåtgärderna. Som ett led i det arbetet kommer aktuell rapport att närmare studera intressanta händelser och fenomen som Wessberg, Leijonhufvud och Broström har noterat, men valt att inte klargöra i den introducerande artikeln.

1.4 Avgränsning

I aktuell studie sker utvärderingen av klimatåtgärderna utifrån åtgärdernas effekt på inomhusklimatet och den egna energianvändningen. Vid ett projekteringsskede måste givetvis också hänsyn tas till de antikvariska aspekterna för att tillförsäkra reversibla installationer och att dessa inte är visuellt störande för museibesökaren. Då denna studie är tekniskt definierad kommer dock inte påverkan på kulturvärden att diskuteras närmare. Vid klimatstudiens utformning togs dock hänsyn till exempelvis rumsgestaltning och känsliga material. De tillämpade klimatåtgärderna har vanligen ingen komfortskapande funktion, så inte heller i denna studie med slottets begränsande användning under vinterhalvåret som huvudsaklig förklaring.

Hur människor påverkas av mögelexponering skiljer sig ofta och trots de många forskningsbidragen är området fortsatt svårförståeligt.[7] Frågan kommer inte att utvecklas i denna studie mer än att faktumet ytterligare motiverar pågående forskning vid Skoklosters slott. Det samstämmiga målet hos inblandade aktörer i studien är att säkerställa ett mögelfritt slott, men det bör här nämnas att detta bidrag till arbetet inte är en förprojektering, utan ett beslutsunderlag. Inga produktpriser kommer därför att redovisas och läsaren får istället godta redovisad energianvändning. Skoklosters slott utgör själv studieobjektet och några komparativa studier där andra slott inom samma klimatzon (klimatzon III) studeras är inte aktuellt.

[7] Krus, Kilian & Sedlbauer, Mould growth prediction by computational simulation on historic buildings, 185.

1.5 Metod

Metodavsnittet är uppdelat i två delar. Den första delen, *Metod för studien,* beskriver den fullständiga klimatstudien, vilken författaren till denna rapport inte har varit delaktig i. Den andra delen, *Metod för analys,* beskriver hur författaren har arbetat för att sammanställa och utvärdera resultatet av mätningarna.

1.5.1 Metod för studien

Projekteringen av klimatstudien föregicks av att Statens fastighetsverk (SFV) i samråd med museipersonal, konservatorer och forskare beslutade om att genomföra systematiska försök i olika rum för att komma fram till en lösning som är långsiktigt hållbar. Vidare innebar detta att lösningen skulle vara en godtagbar kompromiss med avseende på brukande, bevarande, resursutnyttjande och kostnader.8 Ramböll fick uppdraget, att med utgångspunkt i den försöksplan som Tor Broström (Uppsala universitet, Campus Gotland) tidigare hade utarbetat, ta fram en beskrivning för hur installationerna av klimatåtgärderna skyddsvärme, avfuktning och fuktstyrd ventilation skulle ske (se bilaga 2 för försöksplan). Uppdragsledare och handläggare på Ramböll var Lars Hulth och i entreprenaden ingick att utföra åtgärder för det första försöksåret. I entreprenaden ingick också att utföra funktionsprovning av levererad och uppställd/monterad utrustning, inklusive befintliga elradiatorer.[9] Arbete med omflyttning av försöksutrustning under försöksperioden skulle i sin tur avropas av beställaren (SFV).[10]

Tre försöksrum, kända för att ha problem till följd av förändringar av inomhusklimatet, valdes ut där respektive åtgärd skulle pågå under ett år. För att påvisa effekten av åtgärderna valdes ytterligare tre rum ut.

[8] Försöksplan avseende mögelförebyggande åtgärder på Skoklosters slott, 2011-10-26
[9] Beskrivning, Ramböll, 5
[10] Ibid, 4

Dessa fungerade som referensrum där alltså ingen åtgärd skedde. Vid val av båda rumstyperna togs hänsyn till bland annat väderstreck, våningsplan, rumsvolymer och kringliggande rum för att i största möjliga mån skapa likvärdiga förutsättningar. Rummens namn, förkortning, relationen mellan respektive försöksrum och referensrum samt installationernas rotationsordning illustreras i tab. 1. Där visas också väderstreck och våningsplan för försöks- och referensrum. Fig. 2 visar en karta över försöks- och referensrummen.

Försöksrum		*Referensrum*		*Mätning*		
Namn	*Läge*	*Namn*	*Läge*	*År 1*	*År 2*	*År 3*
Grå rummet (CS1)	1 TR, Nord-ost	Blå rummet (RF1)	1 TR, Nord-ost	Avfuktning	Fuktstyrd ventilation	Skydds-värme
Florens (CS2)	2 TR, Nord-ost	Bryssel (RF2)	2 TR, Nord-ost	Fuktstyrd ventilation	Skydds-värme	Avfuktning
London (CS3)	2 TR, Syd-väst	Gröna sängkammaren (RF3)	1 TR, Syd-väst	Skydds-värme	Avfuktning	Fuktstyrd ventilation

Tab. 1. Våningsplan och väderstreck för försöksrum (CS) och referensrum (RF), rummens inbördes relation samt rotationsordningen för de tre klimatåtgärderna.

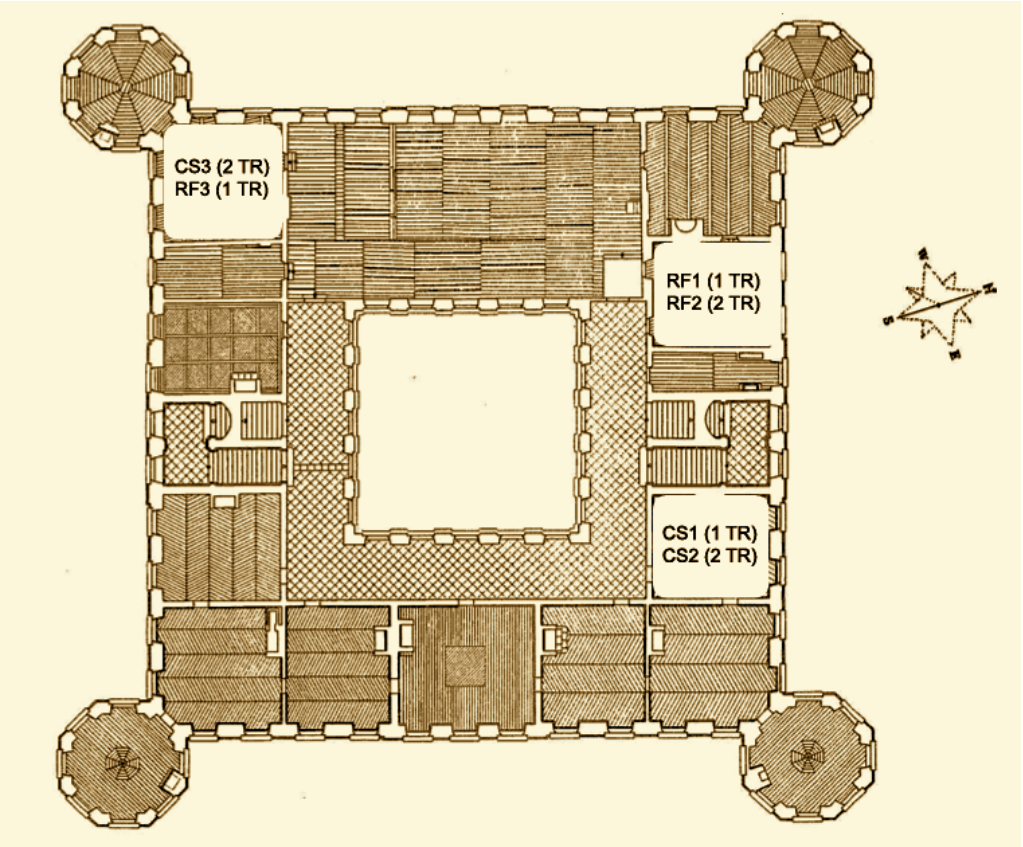


Fig. 2. Karta över Skoklosters slott med placering av försöks- och referensrum. Slottets 77 rum är fördelade på fyra våningar, vilka kan benämnas bottenvåningen, våningen 1 TR, våningen 2 TR och översta våningen. På våning 1 TR ligger Gröna sängkammaren Blå rummet, Grå rummet. Våningen har i sin tur två benämningar; Wrangelvåningen (som vetter öster mot Mälaren) och Brahevåningen (mot väster och parken). Våning 2 TR benämns i överkommen litteratur som gästrumsvåningen och innehåller London, Bryssel och Florens. Bild: Okänd. Redigering: Rickard Eriksson.

I studien styrdes klimatet huvudsakligen för att förhindra uppkomst av mögel. Styrningen skedde i förhållande till en isolinje, ursprungligen framtagen av J. Clarke och N. Rowan (the ESP-model, ett modelleringsverktyg för byggnadssimulering) och K. Sedlbauer, som visade när RF och temperatur medförde risk för uppkomst och tillväxt av mögel.[11] En isolinje utgörs av sammanbundna punkter och bestäms under stationära betingelser, i aktuellt fall konstant temperatur och RF. Intentionen var att RF och temperatur skulle vara som sådan att registrerad klimatdata befann sig under riskkurvan eftersom

[11] Krus, Kilian & Sedlbauer, Mould growth prediction by computational simulation on historic buildings, p. 1936.

mögelsporer varken uppkommer eller växer under dessa ogynnsamma temperatur- och fuktighetsförhållanden. Spridda mätpunkter över riskkurvan bedömdes vara ofarliga eftersom även tid (över mögelrisk) inverkar. I aktuellt fall sattes övre gränsen för RF till 90 %.[12]

Isolinjen som användes kallas LIM I (Lowest Isopleth for Mould I) och lämpar sig för biologiskt nedbrytbara material såsom papper, viss puts, textilier och trä.[13] Temperatur och RF registrerades för alla år och i alla rum. I försöksrummen registrerades energianvändningen. Innan igångsättandet av installationerna renoverades och tätades fönster för att öka betydelsen av de aktiva klimatåtgärderna, därtill stängdes dörrar och spjäll.[14] I flera dörröppningar monterades också slutna glasdörrar för att möjliggöra insyn samtidigt som rummet blev tätare. Ett webbaserat system, med möjlighet att i realtid (normalt minus 1-2 timmar) se mätresultaten, användes för att hämta önskad klimatdata.[15]

1.5.2 Metod för analys

Nedladdad klimatdata har formaterats för att möjliggöra bearbetning. Vidare innebär detta att exakt 8760 timmar (ett år) har klippts ut för varje mätår. För framställande av grafer och analys av data har i sin tur programvaran OriginPro 8 använts. Programmet är framtaget av OriginLab Corporation och har använts för att bland annat ta fram årsdiagram för respektive försöks- och referensrum i syfte att presentera temperatur, RF, ångkvot, glidande medelvärde (med en övre och undre gräns adderad 10 procentenheter från ursprungligt värde) och en kvot som visar mögelrisken (se *1.6 Begrepp*). Programmet har också använts för att ta fram scatterdiagram som visar när mögelrisk föreligger. Dessa innehåller den isolinje som beskrevs i föregående avsnitt. Diagramtypen är ett bra sätt att illustrera ett samband mellan

---

[12] Försöksplan avseende mögelförebyggande åtgärder på Skoklosters slott, 2011-10-26.
[13] Sedlbauer, Klaus; Krus, Martin; Breuer, K, Mould growth prediction with a new biohygrothermal method and its application in practice, 595.
[14] Wessberg, Leijonhufvud & Broström, An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle, 3.
[15] Klimatprojekt Skokloster, möte 2013-03-12.

två variabler (i detta fall RF och temperatur) och visar varje analysenhet som en punkt. Ett exempel på ett sådant diagram är fig. 7. Endast de scatterdiagram som uppvisar mögelrisk presenteras i rapporten.

Vid denna typ av studier finns det en metodisk utmaning kring hur indata ska studeras. Rummens position och egenskaper varierar, klimatåtgärderna har roterats mellan de olika rummen och väderleken skiljer sig från år till år. Detta ger anledning till undersökaren att studera indata utifrån flera dimensioner. I aktuell studie är utomhusklimatet av mycket stor betydelse eftersom slottets inomhusklimat till stor del beror på utomhusklimatet. Jämförelser mellan försöksåren ger ändå värdefull information och kommer naturligen att undersökas. Detta kommer huvudsakligen att göras genom varaktighetsdiagram av RF. Varaktighetsdiagram visar värdena sorterade från det högsta till det lägsta och är vanliga vid mätning av meteorologiska faktorer som temperatur och fuktighet (se fig. 6). I detta arbete kommer tre olika typer av varaktighetsdiagram att tas fram för att belysa närvaron av hög RF. De olika typerna är:

Jämförande av:

- *Försöks- och referensrum under aktuellt studieår (löpande i rapport)*
- *Respektive rum under samtliga studieår (bilaga B.1.1.1 – B.1.1.6)*
- *Respektive rum under samtliga studieår för 1000 timmar av högst RF (bilaga B.1.2.1 – B.1.2.6)*

Underlaget till aktuell studie består i huvudsak av uppmätt klimatdata från Skoklosters slott. De många artiklar, konferensbidrag och handböcker som påträffas i avsnitt *1.3 Tidigare forskning* har använts, för att ihop med facklitteratur, ge en tydligare inblick och bidra till kontextualisering. Samtliga skrivelser är kopplade till tidigare forskning vid Skoklosters slott, dock i varierande grad. Det bör nämnas att vid startpunkten för detta arbete hade ingen heltäckande redogörelse skett för samtliga tre mätår.

1.6 Begrepp

Vid framställandet av rapportens diagram användes engelska beteckningar eftersom mallar i OriginPro 8 var programmerade så. Flera tabeller valdes därför att göras på engelska för att underlätta orienteringen. Av beskriven anledning förekommer både engelska och svenska beteckningar i tab. 2 nedan.

Adaptive ventilation (AV)	Fuktstyrd ventilation (avsnitt 1.8.3)
Dehumidification	Avfuktning (avsnitt 1.8.1)
Heating	Skyddsvärme (avsnitt 1.8.2)
Hygrostat	Instrument som genom att mäta RF-nivån styr en klimatanläggning.
Isopleth	Isolinje, vilken i ett diagram visar förekomsten eller frekvensen av ett fenomen som en funktion av två variabler, i detta fall RF och temperatur.
LIM I	Lowest Isopleth for Mould, det isaritmdiagram som har använts vid bearbetning av klimatdata från Skoklosters slott. LIM I lämpar sig särskilt för att återge mögelrisken på biologiskt nedbrytbara material såsom papper, viss puts, textilier och trä.
Limits	I årsdiagrammen (mold risk index) över rummen har två grafer adderats, en ovanför och en nedanför det glidande medelvärdet (moving average). Avståndet till den ursprungliga grafen är 10 procentenheter.

Lower limit	Se “Limits”.
Mixing ratio (MR)	Ångkvot, se ångkvot.
Mold/mould	Mögel, se beskrivning av mögel.
Mold risk	Kvot framtagen för att illustrera när rummen löper störst risk för uppkomst och tillväxt av mögel.
Mould $_{\text{LIM I}}$	Det gränsvärde som användes under studiens första år för att göra en omsorgsfull bedömning av risken för mögeltillväxt.
Mould $_{\text{LIM I-8}}$	Det gränsvärde som användes under studiens andra och tredje år för att göra en omsorgsfull bedömning av risken för mögeltillväxt. Gränsvärdet ändrades inför andra året för att erhålla större utslag.
Moving average (max), MA_{max}	Största glidande medelvärde.
Moving average (min), MA_{min}	Minsta glidande medelvärde.
Mögel	Samlingsnamn på mikroskopiska svampar verksamma i nedbrytning av organiskt material. Mögel kan skapa dålig lukt, missfärgning och skapa obehag för människor. Mögelsvamparna i sig reducerar inte materialens hållfasthet, men kan ge upphov till rötsvampar som gör det.
RF (eng. RH)	Den relativa fuktigheten, φ, definieras som

	kvoten mellan verklig ånghalt och mättnadsånghalt enligt formeln nedan.[16] RF är den mest avgörande parametern vid uppkomst och tillväxt av mögel. Variationen av RF kan betraktas som antingen långsiktiga eller kortsiktiga. De långsiktiga variationerna erhålls genom att studera det glidande medelvärdet, medan de kortsiktiga variationerna erhålls genom att avläsa RF momentant. I rapportens diagram används beteckningen RH (Relative humidity). $\phi = \frac{v}{v_s}$
Scatterdiagram	Diagramtypen är ett bra sätt att illustrera ett samband mellan två variabler (i detta fall RF och temperatur) och visar varje analysenhet som en punkt. Diagrammet används i denna rapport för att visa när mögelrisk föreligger.
SD30	Standardavvikelse från 30-dagars glidande medelvärde (moving average) av RF. Det glidande medelvärdet bestäms genom att ett medelvärde skapas av alla 15 dagar före till 15 dagar efter ett givet mätvärde. En följd av detta blir att start- och slutdatum för ett mätår saknar värden. SD30 gör det lättare att se säsongsvariationer eftersom kurvan över RF annars kan vara spretig och svårtolkad.
StDev	Standardavvikelse, ett totalt mått på hur varje enskild observation avviker från medelvärdet.[17]
Upper limit	Se “Limits”.

[16] Sandin, Praktisk byggnadsfysik, 72.
[17] Rydén, Stokastik för ingenjörer, 17.

Varaktighetsdiagram	Diagramtypen är ett bra sätt att illustrera ett samband mellan två variabler (i detta fall RF och tid). RF på y-axeln är sorterat från det högsta till det lägsta värdet och avser framförallt att belysa närvaron av hög RF.
Ångkvot	Kvoten mellan massan av luftens vatteninnehåll och massan torr luft (g/kg) enligt formeln nedan.[18] Ångkvot har valts framför ånghalt eftersom ångkvoten inte är temperaturberoende. $x = \frac{m_{H2O}}{m_L}$

Tab. 2. Begrepp och beteckningar.

1.7 Skoklosters slott

Nedan följer endast en mycket kort beskrivning av slottet. Läsaren som önskar en mer detaljerad genomgång hänvisas till boken ”Skoklosters slott under 350 år” av Carin Bergström (redaktör/utgivare) och Ralf Turander (fotograf).

Det väldiga barockslottet Skoklosters slott ligger på Skohalvön mellan Stockholm och Uppsala. Under uppförandet som påbörjades under 1650-talet på uppdrag av fältherren och greven Carl Gustaf Wrangel (1613-76) var slottet under stormaktstiden det största privata byggnadsföretaget i Sverige. Slottets prominenta samlingar är ett resultat av att Wrangel, likt flera av tidens framgångsrika militärer, ville framstå som en bildad renässansfurste och bortom krigsskådeplatserna därmed verkade som både kulturmagnat och samlare av lyxföremål, konst och böcker och nya innovationer.[19]

Slottet är helt uppfört av tegel, med en utvändig vit kalkputs, och vilar på en grund av gråsten. Bottenvåningens murar är cirka en meter

[18] Nevander & Elmarsson, Fukthandbok, 15.
[19] Millhagen, Makt och ära, Skokloster - ett slott från stormaktstiden, 4.

tjocka, men smalnar av till en halv meter till den översta våningen.[20] De tjocka tegelväggarna bidrar till en värmetrög konstruktion och gör väggarna till såväl en fukt- och värmebuffert. Takbeläggningen, vilken merparten är ursprunglig, består av svartglaserade tegelpannor på öppen läkt och är fästade på undersidan med kalkbruk.[21] Invändigt är de flesta golven av trä. Med anledning av att Skoklosters slott på 1700- och 1800-talet huvudsakligen har tjänstgjort som sommarbostad har byggnaden stått ouppvärmd under vinterhalvåren. Slottet är till stor del också ouppvärmt idag, med undantag för några rum på bottenvåningen som innehåller kontor. Slottet förvärvades av staten 1967 och förvaltas idag av Statens fastighetsverk (SFV).[22]

1.8 Aktiva åtgärder vid klimatstyrning

De aktiva åtgärder som tillämpas i aktuellt klimatexperiment vid Skoklosters slott är *avfuktning*, *skyddsvärme* och *fuktstyrd ventilation*. Mätningarna utförs i systematiskt utvalda rum, vilka också har tilldelats ett referensrum där inga åtgärder sker.

1.8.1 Avfuktning

Avfuktning sker med antingen en kondens- eller adsorptionsavfuktare. I denna klimatstudie har en adsorptionsavfuktare använts med motiveringen att den går att använda vid låga temperaturer vintertid.[23] Avfuktning innebär i stort att extrahera vattenånga ur luften för att på så vis hålla ned RF i en byggnad som antingen permanent eller säsongsvis har hög RF. [24]Processen avser alltså att driva ut varm och fuktig luft, vilken efter bearbetning utgör omkring 10 % av den totala inblåsta luften. Resterande del (90 %) är alltså avfuktad och kan blåsas

[20] Millhagen, Makt och ära, Skokloster - ett slott från stormaktstiden, 5.
[21] Ibid, 6.
[22] Ibid, 3.
[23] Wessberg, Leijonhufvud & Broström, An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle, 2.
[24] Klenz Larsen & Broström, Climate Control in Historic Buildings, 56.

tillbaka in i rummet. För att inga historiska föremål skulle skadas av den torra luftströmmen har den avfuktade luften, genom vertikala rör som pekar åt olika håll, fördelats på två ställen i rummet.[25] För samtliga mätår gäller att avluften, det vill säga den varma och fuktiga inomhusluften, leddes ut genom en förberedd ruta i ett fönsterparti (fig. 3).[26]

Avfuktaren i studien var av modellen DA250, vilken har en maximal effekt på 1400 W och en avfuktningskapacitet på 1,1 kg/h (20 °C, 60 % RF).[27] Styrning skedde med en hygrostat (HygroPro), placerad cirka 1,5 meter över golvet på en stolpe mitt i rummet cirka 2 meter från ytterväg.[28] Hygrostaten registrerade i sin tur RF och temperatur i enlighet med isolinjens leveransinställning (LIM I). I studien användes under det första året en säkerhetsmarginal på 3 % RF. Då denna inte gav önskad effekt ändrades säkerhetsmarginalen under andra och tredje året till 8 %.[29]

[25] Wessberg, Leijonhufvud & Broström, An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle, 4.
[26] Beskrivning, Ramböll, 6.
[27] Wessberg, Leijonhufvud & Broström, An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle, 4.
[28] Beskrivning, Ramböll, 8.
[29] Wessberg, Leijonhufvud & Broström, An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle, 4.

Fig. 3. Avfuktare installerad i Grå rummet (år 1). Foto: Magnus Wessberg.

1.8.2 Skyddsvärme

Skyddsvärme är den mest beprövade tekniken för att sänka RF och syftar till att värma ett rum eller en byggnad för att hålla RF under en viss nivå. Vidare, för att erhålla en stabil RF, krävs hänsyn till hastigheten för luftinfiltration och temperaturkontroll. Detta innebär att en otät och värmetrög byggnad kan uppleva stora variationer i RF. Metoden är särskilt användbar för att minska RF under vinterhalvåret och intention är vanligen inte att skapa mänsklig komfort, utan istället ett skonsamt klimat ur bevarandesynpunkt. Då detta inte kräver lika höga temperaturer är värmeeffekten mindre än för konventionella

värmesystem.[30] Skyddsvärmen på Skoklosters slott innefattade befintliga kamflänsradiatorer (fig. 4). Dessa drevs av direktverkande el och hade placerats ut på golvet för att värma rumsluften.[31] Genom styrning av en hygrostat framför termostatstyrning går det att hålla en stabil RF och även minska energianvändningen, detta eftersom värmen endast sätts igång när RF är för hög.[32] Hygrostaten har installerats enligt samma förutsättningar som för avfuktningen, det vill säga cirka 1,5 meter över golvet på en stolpe mitt i rummet cirka 2 meter från ytterväggg. Kurva för styrning, LIM I, är också densamma och med samma motivering som för avfuktning ändrades också säkerhetsmarginalen på 3 % RF (år 1) till 8 % (år 2 och 3).

Fig. 4. Skyddsvärme installerad i Grå rummet (år 3). Foto: Rickard Eriksson

1.8.3 Fuktstyrd ventilation

Ventilation avser här avsiktligt intag av utomhusluft och evakuering av inomhusluft och ser alltså inte till klimatskalets otätheter, vilka i sig ofta

[30] Klenz Larsen & Broström, Climate Control in Historic Buildings, 49.
[31] Beskrivning, Ramböll, 7.
[32] Wessberg, Leijonhufvud, Broström, An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle, 2.

medför en hög luftomsättning. För att erhålla ett gott resultat med fuktstyrd ventilation krävs dock ett relativt tätt klimatskal.[33] Den installerade ventilationsanordningen i klimatstudien var ett fuktstyrt tilluftssystem (VentoFlex) och reglerades genom förhållandet mellan vattenångans partialtryck inomhus och utomhus. Endast då förhållandet (kvoten) var större än 1,1 gick fläkten, vilken hade en effekt på 110 W.[34] Avsikten med detta är att fläkten endast ska gå då uteluften är torrare än inne, vilket styrdes av två givare, den ena placerad utomhus och skyddad från sol, den andra på en stolpe mitt i rummet.[35]

För samtliga försöksrum i studien skedde intag av tilluften genom en kanalfläkt ansluten till en flexibel slang fäst i en skiva placerad i fönstret med tilluftintag. Vad beträffar frånluften anordnades detta på två olika sätt för att möta rummens förutsättningar. Grå rummet och Florens har eldstäder och frånluften anordnades därför via ett spjäll med ställdon monterat på en skiva som spändes fast i eldstaden. I London anordnades frånluften via en fönsteröppning (fig. 5). De olika tillvägagångssätten har dock ingen betydelse för resultatet.

[33] Wessberg, Leijonhufvud, Broström, An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle, 2.
[34] Ibid, 4.
[35] Beskrivning, Ramböll, 13.

Fig. 5. Fuktstyrd ventilation installerad i London som idag har funktionen som tavelmagasin. Foto: Rickard Eriksson

1.9 Disposition

Rapporten ”Fuktstyrning av inomhusklimatet på Skoklosters slott - En utvärdering av avfuktning, skyddsvärme och fuktstyrd ventilation” uppehåller sig i tre huvudavsnitt. Efter den inledande delen följer en systematisk genomgång av hur inomhusklimatet har uppträtt i respektive försöks- och referensrum under de tre åren. Resultatet presenteras i kronologisk ordning där referensrummen följs efter respektive försöksrum. Avsnittet består till stor del av diagram och tabeller, vilka ligger till grund för slutsats och diskussion i den tredje och avslutade delen. Som bilaga finns samlade varaktighetsdiagram över RF i de olika rummen och åren samt försöksplan från 2011.

2 RESULTAT

För avfuktning och skyddsvärme under studiens första år hade isolinjens leveransinställning (LIM I) en säkerhetsmarginal på 3 % RF. Vilket tidigare har kommenterats var denna standardiserade marginal inte tillräcklig för att aktivera utrustningen i önskad utsträckning och för år 2 och 3 användes istället säkerhetsmarginalen 8 %. Notera dock att detta endast gäller mätutrustningen och inte isolinjen i scatterdiagrammen som redovisas i detta avsnitt. Med blott vetskapen ovan, om ändringen av den standardiserade säkerhetsmarginalen, visar sig ett viktigt resultat, nämligen att behovet av aktiv klimatkontroll har varit lågt. Vid studerande av energianvändningen för år 1 (tab. 3) framgår det exempelvis att avfuktaren i Grå rummet endast har fordrat 32 kWh, vilket motsvarar bara några timmar.

Med den nya marginalen kan (för avfuktning och skyddsvärme) något högre energianvändning noteras, även om ökningarna är små. Fortfarande om avfuktning var till exempel energianvändningen år 2 i Florens 59 kWh. För år 3 i London var energianvändningen 443 kWh, vilket är den högsta för samtliga åtgärder i studien. Med anledning av att säkerhetsmarginalen var densamma de två sista åren beskriver detta rummens betydelse, då givetvis i samverkan med utomhusklimatet. I avsnitt *1.5.2 Metod för analys* beskrivs den metodiska utmaningen kring studerandet av indata, detta eftersom rummens position och egenskaper varierar och väderleken skiljer sig från år till år. Till detta kan alltså redan nu tilläggas en begränsad drifttid, vilket medför ett mer begränsat jämförelseunderlag. Trots detta har viktiga observationer ändå kunnat göras. Inför genomgången nedan av respektive försöks- och referensrum för de tre åren är det viktigt att ha försökets inledande tätningsåtgärder i minnet. Renovering och tätning av fönster och dörrar har nämligen haft en positiv inverkan i form av stabilare RF. Detta konstaterade Wessberg, Leijonhufvud och Broström i artikeln "An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle" från 2016 eftersom de även studerade indata från ett tidigare försöksår då ingen tätning hade skett.

Energianvändning										
	År 1			*År 2*			*År 3*			*Avfuktning*
Rum	*CS1*	*CS2*	*CS3*	*CS1*	*CS2*	*CS3*	*CS1*	*CS2*	*CS3*	*Fuktstyrd ventilation*
Energi (kWh)	32	249	431	231	277	443	249	59	261	*Skyddsvärme*

Tab. 3. Energianvändning för respektive klimatåtgärd under varje år.

2.1 År 1

2.1.1 Grå rummet (CS1) – avfuktare

Maximal RF (77,2 %) (tab. 4) för år 1 Grå rummet är ett relativt lågt värde, anmärkningsvärt är dock att det infaller under en sommarmånad, närmare bestämt 2 juni. Vanligt är annars att RF når sina högsta nivåer under vinterhalvåret. I aktuellt fall kan det inträffade förklaras genom nederbörd eftersom RF utomhus under dygnet varierade mellan 48,9 % och 95,4 %. Utomhustemperaturen varierade under det aktuella dygnet mellan 14,7 °C och 24,6 °C. Genom att känna till RF och temperaturen kan risken för fuktangrepp på grund av kondensation bedömas. Fuktproduktion inomhus är vanligtvis en parameter som behöver beaktas, men då slottet i stort är ouppvärmt och inte rymmer några fuktproducerande verksamheter kan denna ignoreras.

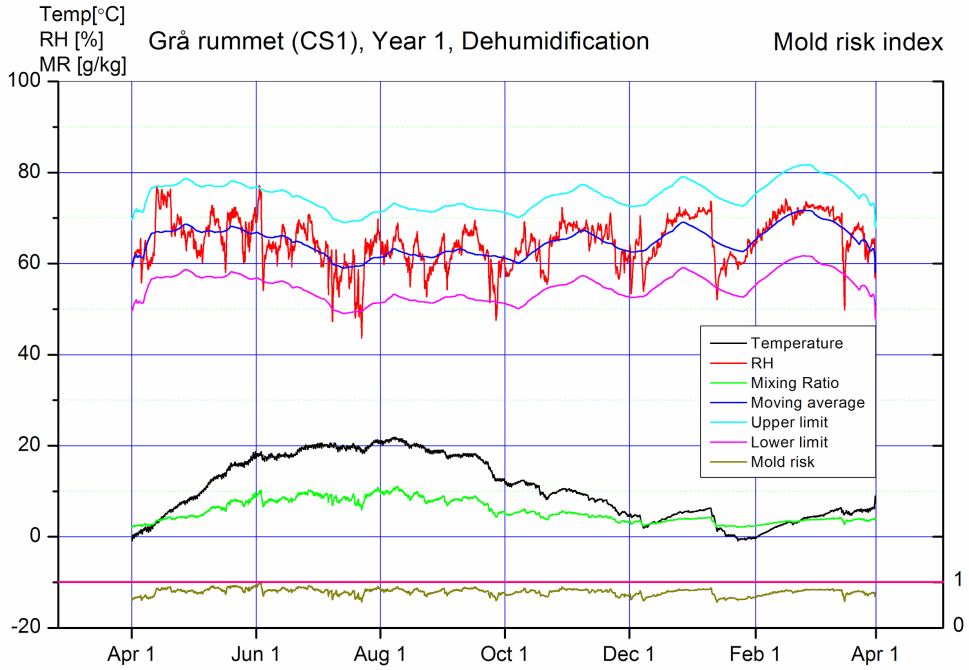


Fig. 6. Grå rummet (CS1) år 1, avfuktning. Årsdiagram över temperatur, RF, ångkvot, glidande medelvärde (med en övre och undre gräns adderad 10 procentenheter från ursprungligt värde) och en kvot som visar mögelrisken.

I fig. 6, liksom i påföljande årsdiagram sker ibland snabb växling av RF. Ett exempel då detta sker i Grå rummet är mellan 10 januari och 13 januari då RF (max) under exakt tre dygn går från 73,5 % till 52, 1 %, en differens på 21,4 %. Vid studerande av samma period (10-13 januari 2014) för Florens och London går det att se att för Florens var differensen 22,3 % och för London 18,5 %. Då variationerna inträffade samtidigt går det att verifiera att dessa till stor del beror på utomhusklimatet. Fenomenet kan också åskådliggöras genom att studera den maximala differensen av RF inom en vecka respektive tolv timmar. Inom en vecka är värdet 23 % och inom tolv timmar 16 % (tab. 4). Notera att den framtagna maximala differensen av RF kan ske snabbare än en vecka eller tolv timmar. Årsdiagrammet visar också att temperatur och ångkvoten följer varandra, men att temperaturen går ner snabbare än ångkvoten, något som medför en fasförskjutning. Andelen tid över mögelrisk (det vill säga över LIM I) var i Grå rummet år 1 med avfuktning 0,01 % (fig. 7).

Grå rummet (CS1) år 1, avfuktning							
Parameter	Average	StDev	Max	Min	SD30	MA_{max}	MA_{min}
RH (%)	65	5	77	44	4	72	58
Temp (°C)	10,5	6,9	21,8	-0,9	0,8		
MR (g/kg)	5,6	2,4	11,1	2,1	0,6		
Max diff RH within a week			2013-06-02 13:00		2013-06-04 13:00		23
Max diff RH within 12h			2013-07-08 01:00		2013-07-08 10:00		16

Tab. 4. Grå rummet (CS1) år 1, avfuktning. Årsdata över RF, temperatur, ångkvot och variationer av RF.

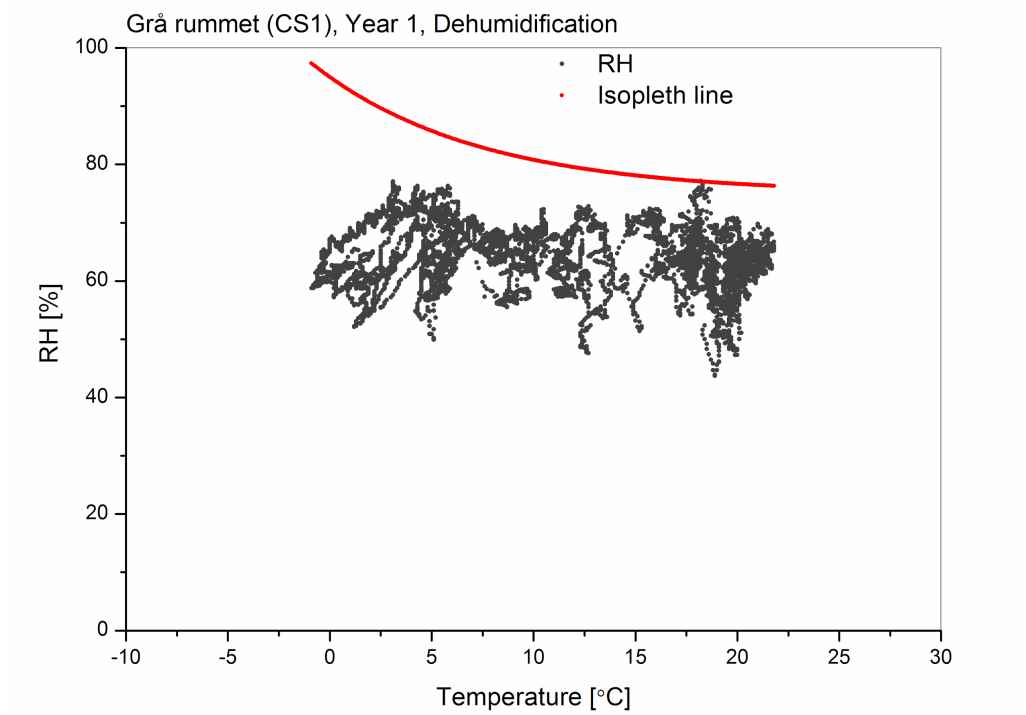


Fig. 7. Grå rummet (CS1) år 1, avfuktning. Andelen tid över mögelrisk (det vill säga över LIM I): 0,01 %.

2.1.2 Blå rummet (RF1) - referens

Blå rummet, beläget på samma våningsplan och i samma väderstreck som Grå rummet (tab. 1) har under år 1 i princip samma inomhusklimat som försöksrummet (fig. 8). Det nästintill identiska inomhusklimatet gör att det inte är nödvändigt att göra samma analys på referensrummet som på försöksrummet. Utöver rummens likheter

beror det på den tidigare beskrivna korta drifttiden hos avfuktaren. Varaktighetsdiagrammet nedan redogör för rummens klimat.

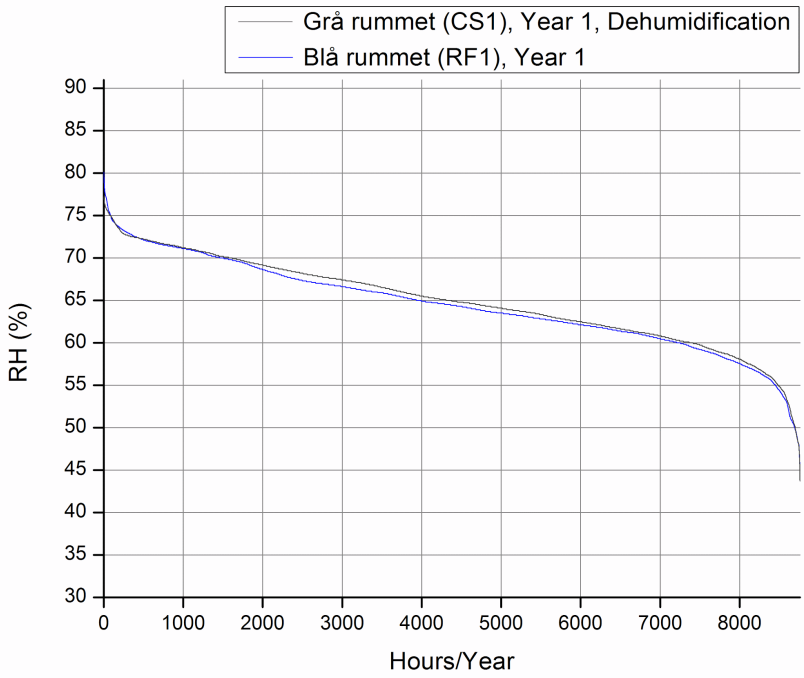


Fig. 8. Blå rummet (RF1) och Grå rummet (CS1) år 1. Varaktighetsdiagram över variation av RF.

Ett scatterdiagram (fig. 9) över mögelrisken uppvisar dock en skillnad mellan rummen. Mögelrisken är för Blå rummet 0,34 % medan den för Grå rummet är 0,01 %. Multipliceras respektive procentsats med 8760 timmar (ett år) blir mögelrisken 29,8 respektive 0,9 timmar. Scatterdiagrammet för Blå rummet visar att de knappt 30 timmarna infaller vid en temperatur strax över 15 °C. Vid närmare undersökning går det att se att timmarna till stor del är från 21 maj. Åter till avfuktaren i Grå rummet går det i diagram över energianvändningen att se att avfuktaren huvudsakligen var aktiv 17-22 maj. Det är alltså tydligt att under de knappt 30 timmarna med mögelrisk i Blå rummet kunde dessa undvikas i Grå rummet genom att avfuktaren var aktiv. Lägst var mögelrisken för Blå rummet 13 januari.

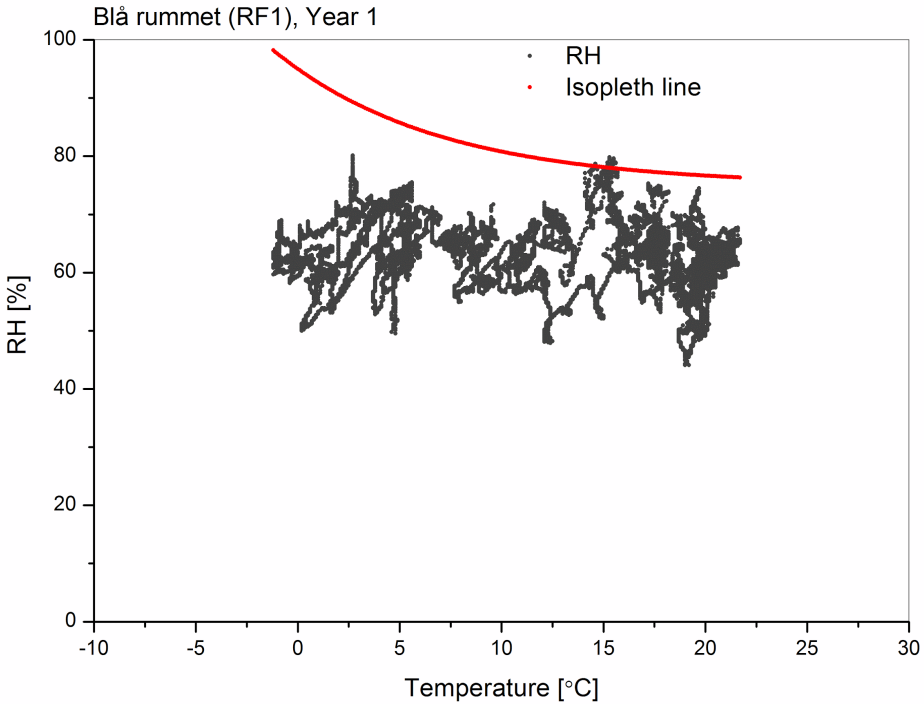


Fig. 9. Blå rummet (RF1) år 1. Andelen tid över mögelrisk (det vill säga över LIM I): 0,34 %.

2.1.3 Florens (CS2) – fuktstyrd ventilation

Ur fig. 10 går det att observera att Florens under år 1 med fuktstyrd ventilation hade 0 °C eller lägre under flera dagar i april, december, januari och februari. Den längsta perioden med minusgrader inomhus var 12-31 januari 2014. Låga temperaturer minskar den kemiska nedbrytningshastigheten, men kan också ge upphov till mekaniska skador. Det är därför vanligt med rekommendationer om lägsta tillåtna temperatur. Vid studerande av grafen för RF (fig. 10) för nämnda månader går det att urskilja årets högsta värden, dock är inga värden över 80 %. Den lägsta temperaturen (-3,4 °C) (tab. 5) inträffade 23 januari och hade vid tillfället 65 % RF och ångkvoten 1,9 g/kg. Även i det fall RF skulle vara högre bedöms dock risken vara låg för att föremål ska frysa sönder eftersom porerna hos ett föremål i rummet inte innehåller tillräckligt mycket fukt för att orsaka skada. Mögelriskkurvan i årsdiagrammet visar att inga mätpunkter ligger ovan utsatt nivå. De värden som ligger närmast isolinjen är från samma period i maj i likhet med Grå och Blå rummet.

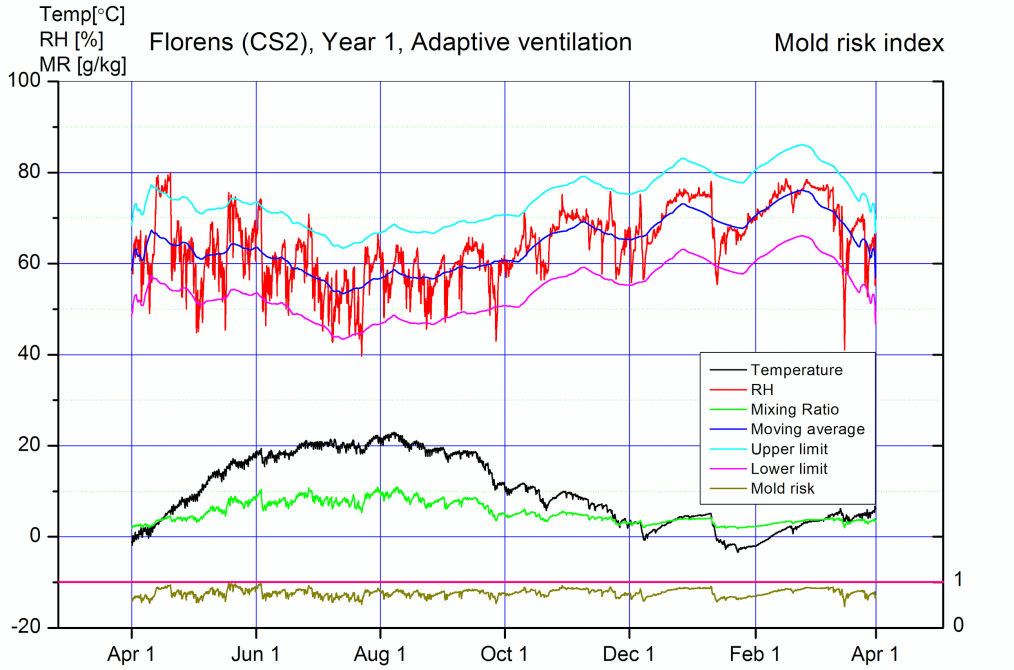


Fig. 10. Florens (CS2) år 1, fuktstyrd ventilation. Årsdiagram.

Florens (CS2) år 1, fuktstyrd ventilation							
Parameter	Average	StDev	Max	Min	SD30	MA_{max}	MA_{min}
RH (%)	64	8	80	40	5	76	53
Temp (°C)	10,0	7,6	22,9	-3,4	1,0		
MR (g/kg)	5,3	2,3	11,0	1,9	0,7		
Max diff RH within a week			2014-03-10 23:00		2014-03-16 16:00		36
Max diff RH within 12h			2013-04-20 01:00		2013-04-20 13:00		21

Tab. 5. Florens (CS2) år 1, fuktstyrd ventilation. Årsdata över RF, temperatur, ångkvot och variationer av RF.

2.1.4 Bryssel (RF2) – referens

I Bryssel år 1 är andelen tid över mögelrisk 0,06 % (fig. 12), vilket motsvarar drygt 5 timmar. I aktuellt fall inträffar de värden som är nära eller är ovanför mögelrisken huvudsakligen i mars och oktober. Även då det enligt utsatt gräns inte fanns risk för mögel i försöksrummet har det varit intressant att jämföra scatterdiagrammen mellan Florens och Bryssel. I dessa framgår att behållningen av fuktstyrd ventilation har varit mycket god vid hög RF, vilken övervägande sammanfaller med låg temperatur som i mars och oktober i detta fall. Beskriven

observation om ventilationsanordningens vinster vid hög RF (och låg temperatur) gör sig också tydlig i varaktighetsdiagrammet (fig. 11). Det bör dock redan här påpekas att varaktighetsdiagrammen som skildrar klimatet i Florens och Bryssel på många sätt liknar varandra under de tre åren. Det är därför svårt att utifrån dessa avgöra om graferna uppvisar en framgångsrik klimatåtgärd eller endast skillnader hos försöks- och referensrummet.

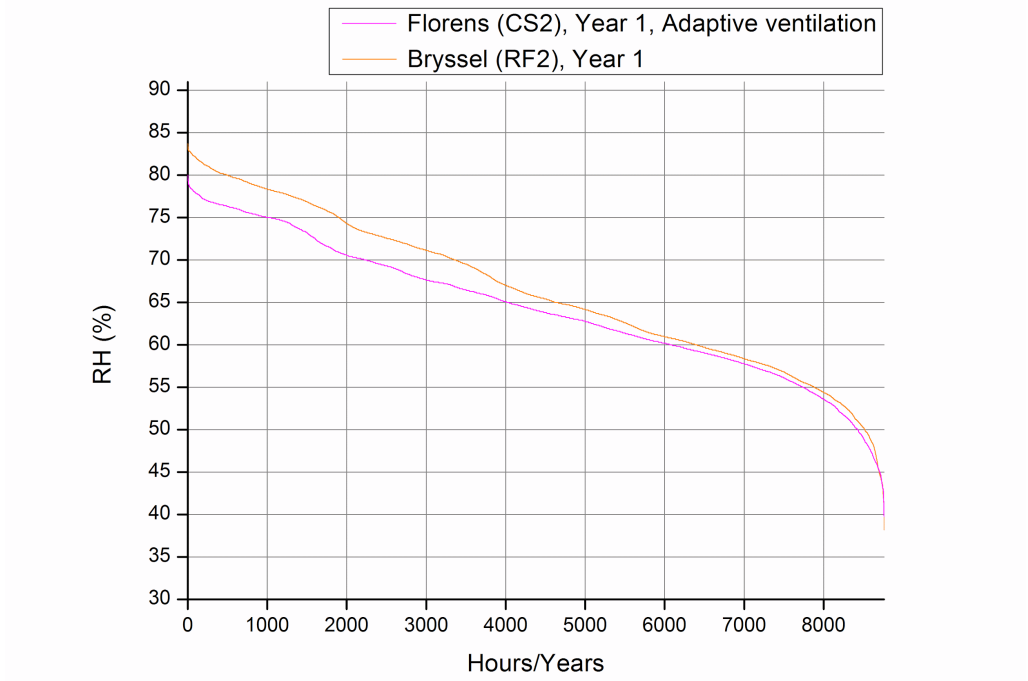


Fig. 11. Bryssel (RF2) och Florens (CS2) år 1. Varaktighetsdiagram över variation av RF.

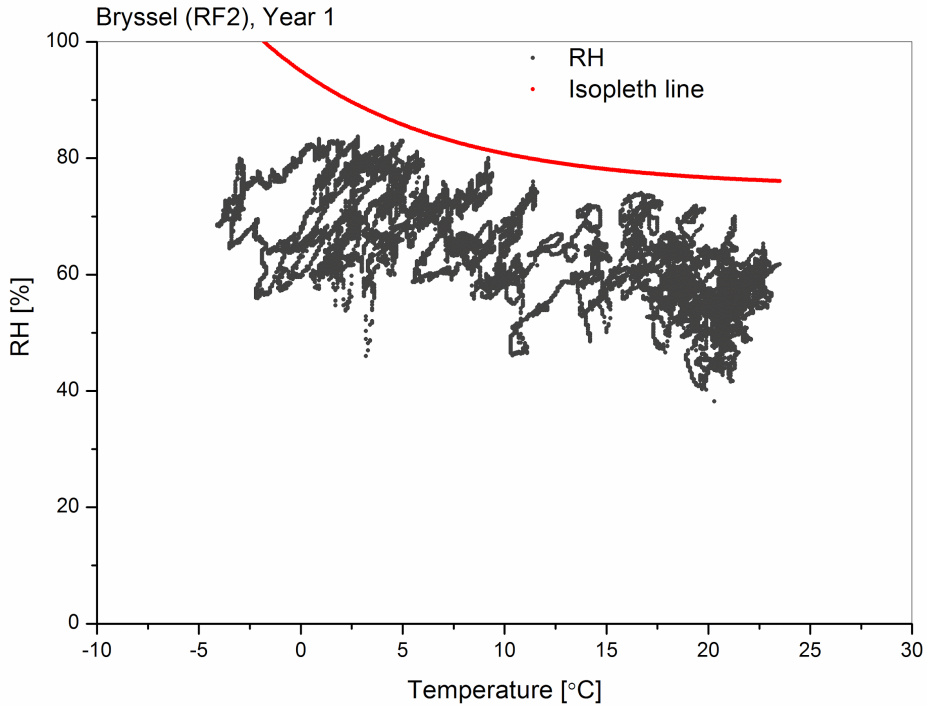


Fig. 12. Bryssel (RF2) år 1. Andelen tid över mögelrisk (det vill säga över LIM I): 0,06 %.

2.1.5 London (CS3) – skyddsvärme

Rummet London ligger i slottets sydvästra hörn och fungerar som tavelmagasin åt museet och visas vanligen inte upp för besökare. Rummet ligger i anslutning till den så kallade *Ofullbordade salen* vars klimat under stora delar av året kan liknas med utomhusklimatet. Londons utmärkande egenskaper tilldrar sig en mängd intressanta upplysningar om det rådande klimatet. RF varierar under år 1 mellan 37 % (22 juli 2013) och 88 % (7 februari 2014) och har under året den högsta veckovisa variationen av RF (39 %) för hela klimatstudien (fig. 13 och tab. 6). I det tidigare avsnittet om Florens under år 1 med fuktstyrd ventilation beskrevs hur låga temperaturer kan ge upphov till mekaniska skador. Alltför låg RF kan också medföra dessa skador. Ett viktigt syfte med fuktstyrning är dessutom att erhålla acceptabel variation av RF för att mekaniska skador inte ska uppstå, då huvudsakligen på sammansatta material. Vid åskådliggörande i ett samlat varaktighetsdiagram där respektive klimatåtgärd i ett rum illustreras går det att se att år 1 var torrare än övriga år (bilaga 1). Det är

därför svårt att säga i vilken grad resultatet i London beror på skyddsvärmen och utomhusklimatet.

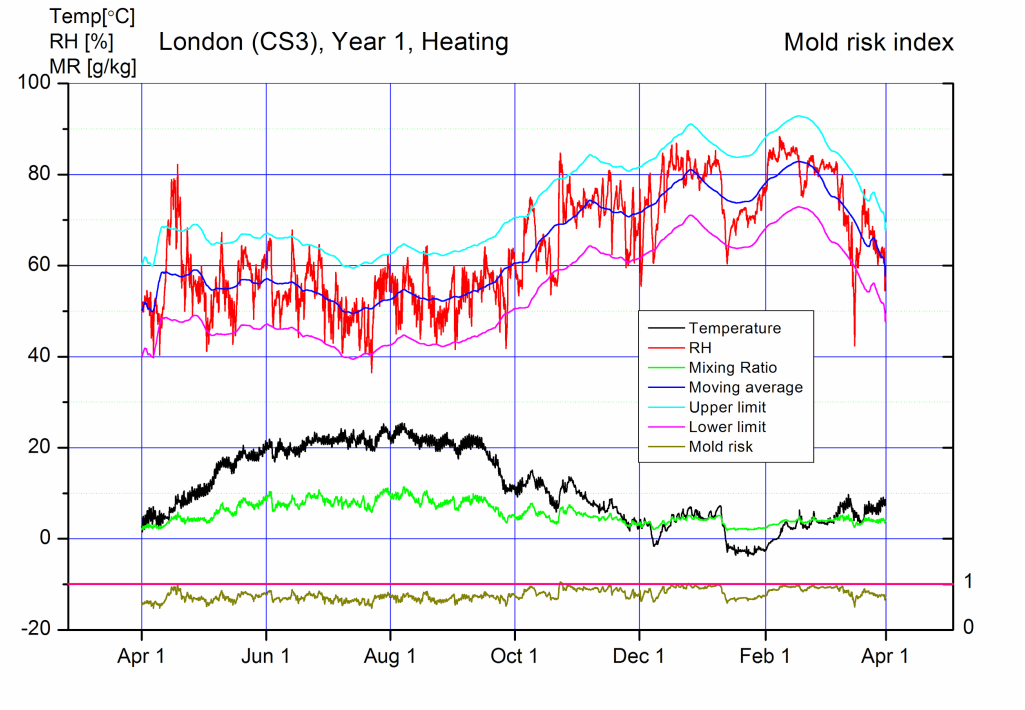


Fig. 13. London (CS3) år 1, fuktstyrd ventilation. Årsdiagram.

London (CS3) år 1, skyddsvärme							
Parameter	Average	StDev	Max	Min	SD30	MA_{max}	MA_{min}
RH (%)	64	12	88	37	5	83	49
Temp (°C)	11,3	8,1	25,4	-3,8	1,6		
MR (g/kg)	5,6	2,3	11,4	1,8	0,9		
Max diff RH within a week			2013-04-09 18:00		2013-04-16 17:00		39
Max diff RH within 12h			2013-12-01 08:00		2013-12-01 19:00		21

Tab. 6. London (CS3) år 1, fuktstyrd ventilation. Årsdata över RF, temperatur, ångkvot och variationer av RF.

Utifrån bestämda gränsvärden har det under nästan 58 timmar förelegat mögelrisk i London år 1 med skyddsvärme (fig. 14). Med de indata som ligger till grund för scatterdiagrammet går det att se att mätpunkterna är från några dagar i slutet av oktober och i slutet av december. Under denna period varierade temperaturen mellan 4,4-13,1 °C och RH 79-87 %. Energianvändningen för hela året var 432 kWh och är den högsta mellan rummen år 1 (tab. 3). Skyddsvärmen har

huvudsakligen varit igång mellan oktober och februari. Som mest aktiv var anläggningen 16 december till 10 januari 2014.

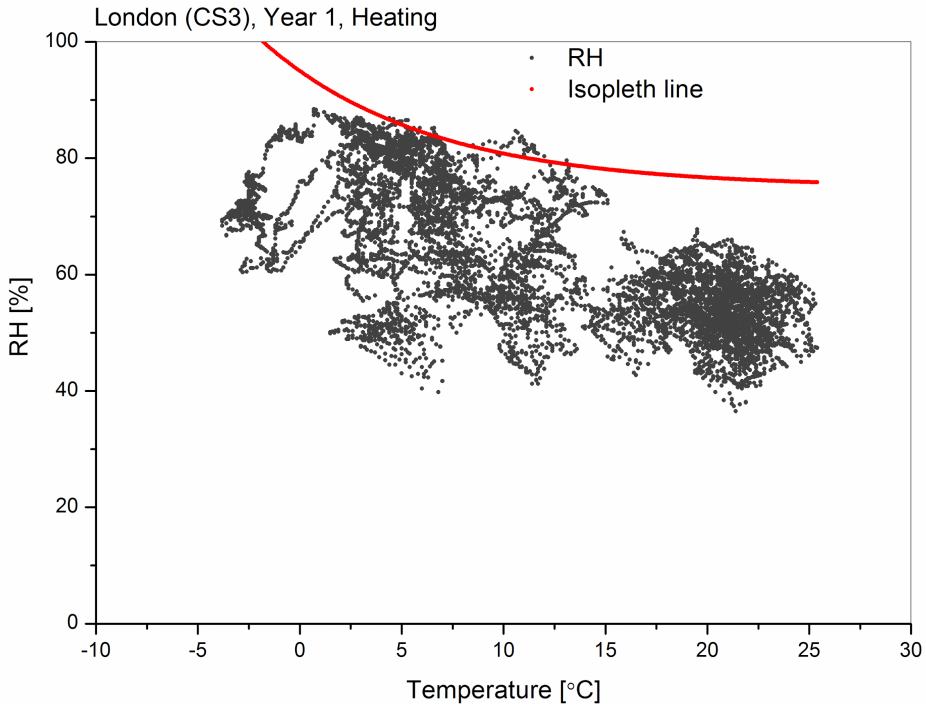


Fig. 14. Andelen tid över mögelrisk (det vill säga över LIM I): 0,66 %. Scatterdiagrammet visar situationen för London och skyddsvärme under år 1.

2.1.6 Gröna sängkammaren (RF3) – referens

I varaktighetsdiagrammet har Gröna sängkammaren (sett till höga RF) klart lägre RF än London, vilket upplyser oss om att rummen skiljer sig alltför mycket för att vara direkt jämförbara (fig. 15). Gröna sängkammarens låga mögelrisk motsvarar knappt en timme (fig. 16) och inträffar i slutet av oktober i likhet med flertalet av Londons riskvärden. Utomhusklimatets påverkan är här alltså påtagligt.

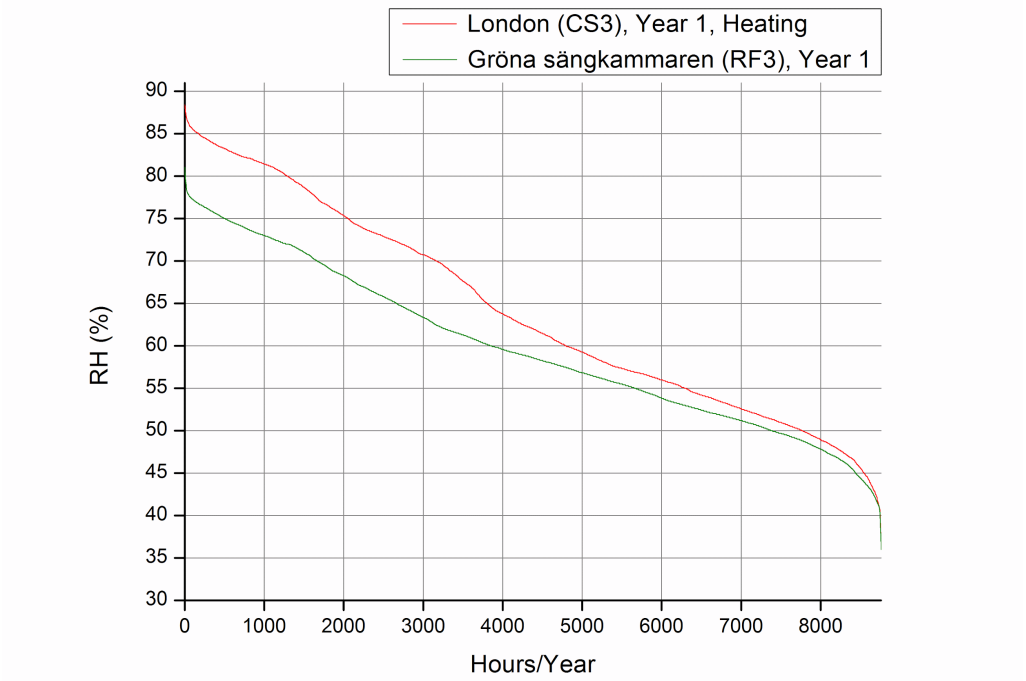


Fig. 15. Gröna sängkammaren (RF3) och London (CS3) år 1. Varaktighetsdiagram över variation av RF.

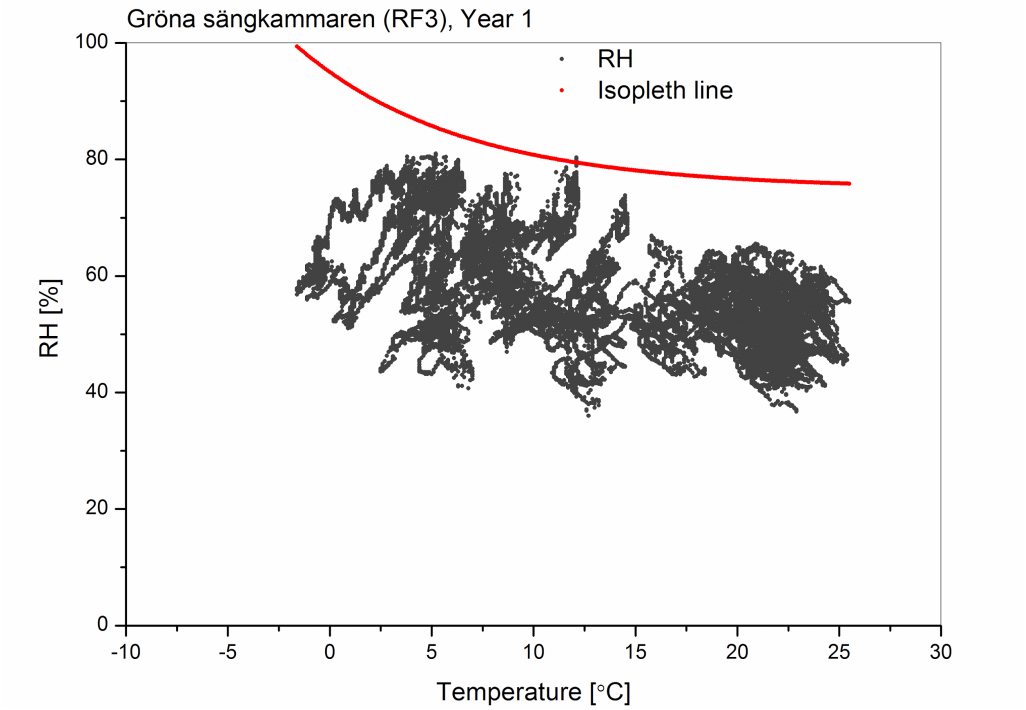


Fig. 16. Gröna sängkammaren (RF3) år 1. Andelen tid över mögelrisk (det vill säga över LIM I): 0,01 %.

2.2 År 2

2.2.1 London (CS3) – avfuktare

Londons utmärkande egenskaper har tidigare berättats om och får än större följder vid exceptionella utomhusförhållanden som de som rådde sommaren 2014. När SMHI skulle sammanfatta sommaren var både värme- och nederbördsrekorden i landet många, något som också märks vid studerandet av klimatet i London för år 2 med avfuktning.[36] Den högsta uppmätta temperaturen för hela studien är 28,2 °C och inträffade 4 augusti 2014 i det aktuella rummet (tab. 7). Vid tillfället var RF 54,2 % och ångkvoten 13 g/kg (nära 14,3 g/kg, vilket är årets maximala värde). RF (max) är utmärkande hög, hela 90 % 2 januari 2015 (fig. 17). Vad beträffar variation av RF står rummet för den i studien högsta inom 12 timmar, nämligen 22 %. Denna sker 15 april och beror på en snabb väderomställning. För det aktuella rummet och året fanns det enligt scatterdiagrammet ingen mögelrisk.

[36] http://www.smhi.se/nyhetsarkiv/sommaren-2014-inneholl-allt-i-vadervag-1.77694

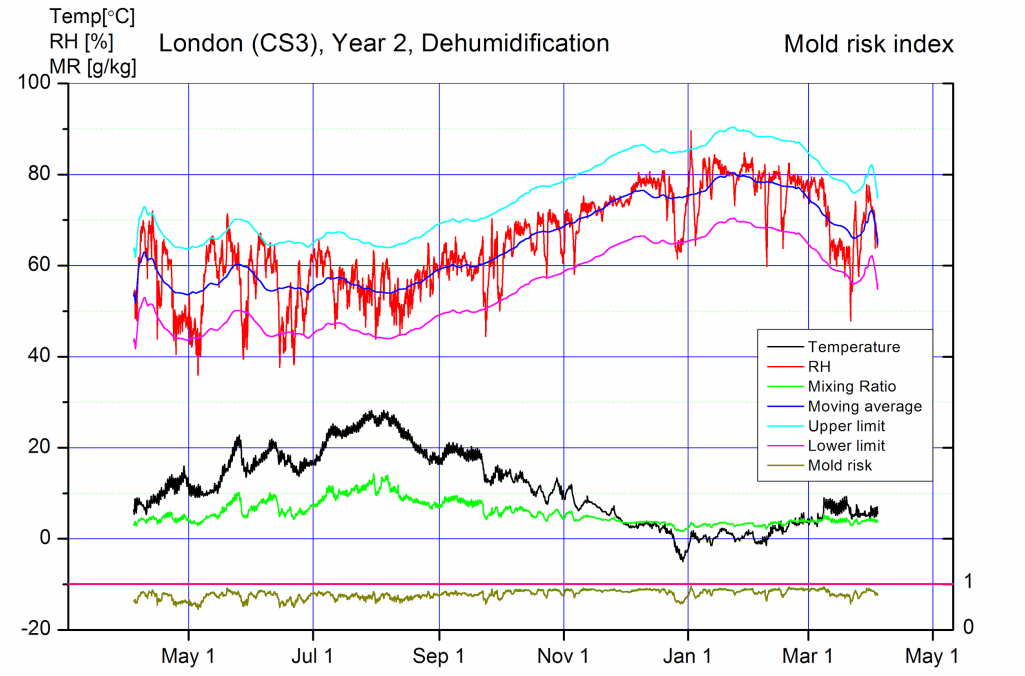


Fig. 17. London (CS3) år 2, avfuktning. Årsdiagram.

London (CS3), år 2, avfuktning							
Parameter	Average	StDev	Max	Min	SD30	MA_{max}	MA_{min}
RH (%)	65	10	90	36	5	80	52
Temp (°C)	11,0	8,0	28,2	-5,0	1,6		
MR (g/kg)	5,7	2,6	14,3	1,6	0,9		
Max diff RH within a week			2014-05-05 12:00		2014-05-12 04:00		30
Max diff RH within 12h			2014-04-15 02:00		2014-04-15 14:00		22

Tab. 7. London (CS3) år 2, avfuktning. Årsdata över RF, temperatur, ångkvot och variationer av RF.

2.2.2 Gröna sängkammaren (RF3) – referens

I enlighet med år 1 framgår det också i varaktighetsdiagrammet för år 2 att egenskaperna hos de aktuella försöks- och referensrum skiljer sig alltför mycket för att motivera utförligare jämförelser mellan rummen. Dock bör det framföras att max- och minvärden för RF, temperatur och ångkvot för rummen är nära inpå identiska. Detta märks också på varaktighetsdiagrammet för år 2 där graferna förenas i ändpunkterna på ett sätt det inte gör för år 1 (fig. 18). Den exceptionella väderleken under sommarhalvåret 2014 är den främsta förklaringen.

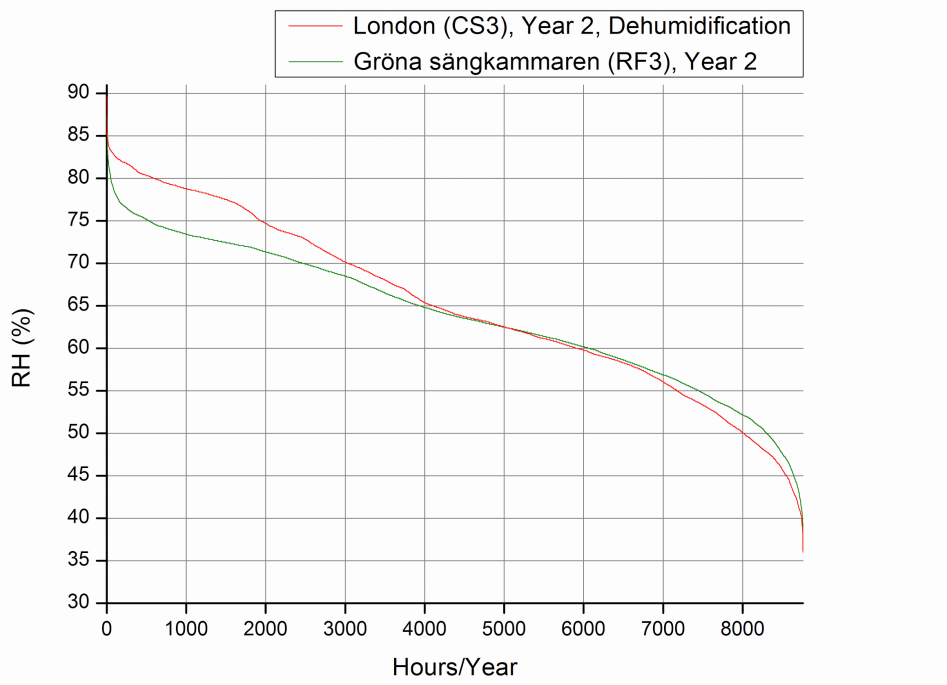


Fig. 18. Gröna sängkammaren (RF3) och London (CS3) år 2. Varaktighetsdiagram över variation av RF.

I Gröna sängkammaren förelåg mögelrisk under sammanlagt 24 timmar, fördelade i slutet av oktober och i början av mars. Temperaturen varierade under dessa perioder mellan 7,0 - 12,4 °C. RF för perioden var 79 - 86 % (fig. 19).

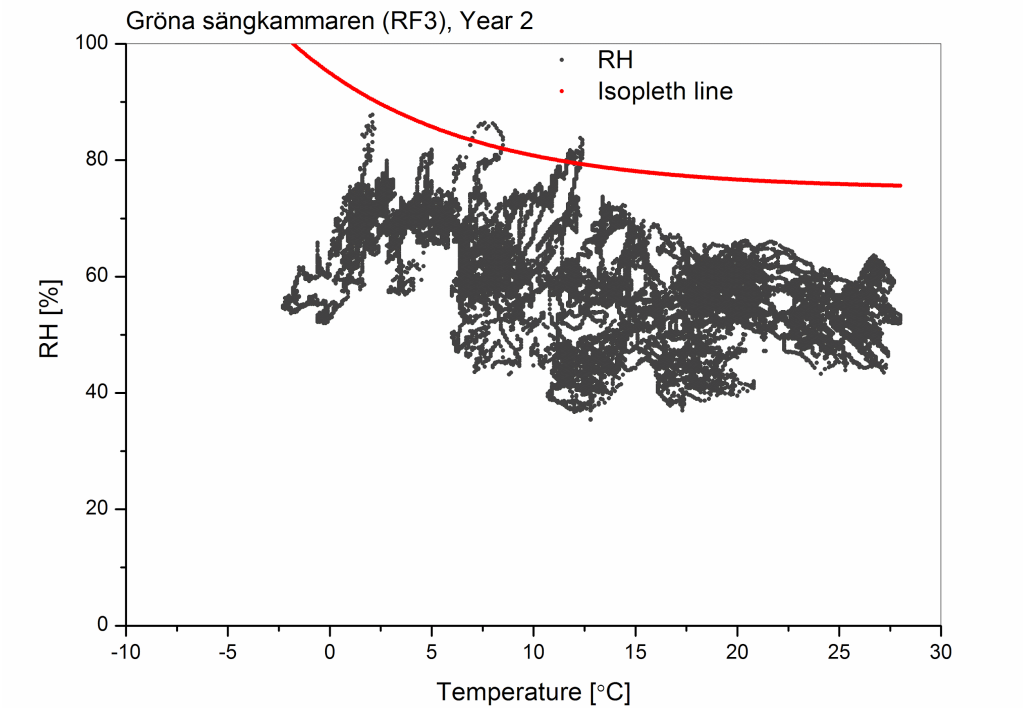


Fig. 19. Gröna sängkammaren (RF3) år 2. Andelen tid över mögelrisk (det vill säga över LIM I): 0,27 %.

2.2.3 Grå rummet (CS1) – fuktstyrd ventilation

Ur årsdiagrammet för Grå rummet år 2 med fuktstyrd ventilation påträffas inga uppseendeväckande klimatförhållanden (fig. 20). Den lägsta ångkvoten (1,8 g/kg) (tab. 8) är daterad till 28 december 2014 och inträffar samtidigt som den lägsta temperaturen (-2,1 °C). RF vid detta tillfälle var 57 %. Omständigheten förklarar det ofta rådande sambandet mellan de tre parametrarna. På samma sätt inträffar den högsta ångkvoten (13,0 g/kg) samtidigt som den högsta temperaturen (23,8 °C). RF vid denna mätpunkt från 6 augusti 2014 var 70,5 %. För det aktuella rummet och året fanns det enligt scatterdiagrammet ingen mögelrisk.

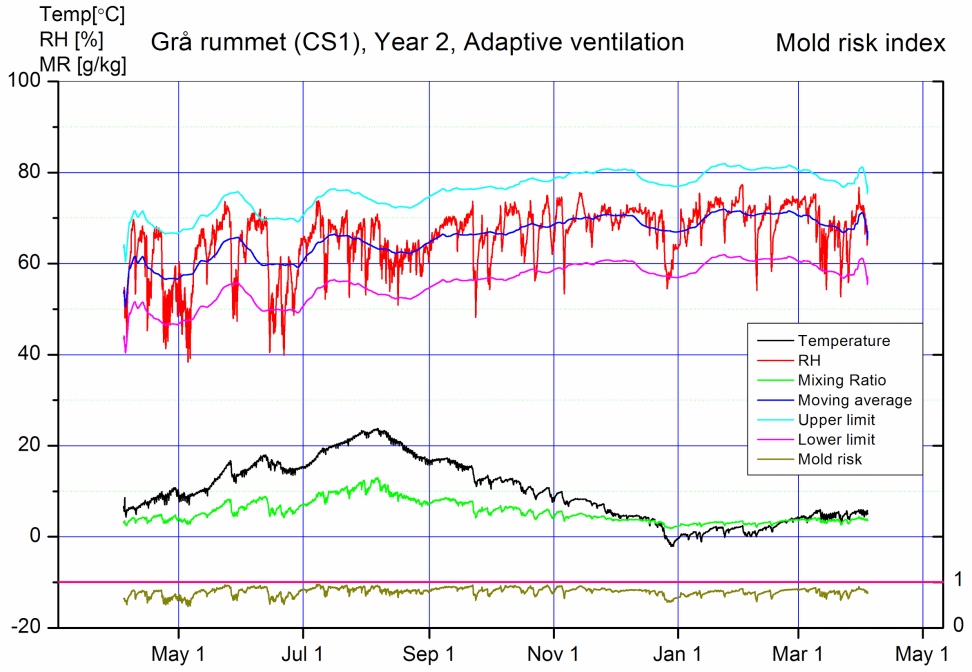


Fig. 20. Grå rummet (CS1) år 2, fuktstyrd ventilation. Årsdiagram.

Grå rummet (CS1) år 2, fuktstyrd ventilation							
Parameter	Average	StDev	Max	Min	SD30	MA_{max}	MA_{min}
RH (%)	66	7	77	38	5	72	50
Temp (°C)	10,0	6,6	23,8	-2,1	0,9		
MR (g/kg)	5,4	2,5	13,0	1,8	0,7		
Max diff RH within a week			2014-06-10 00:00		2014-06-14 16:00		31
Max diff RH within 12h			2014-04-15 03:00		2014-04-15 14:00		21

Tab. 8. Grå rummet (CS1) år 2, fuktstyrd ventilation. Årsdata över RF, temperatur, ångkvot och variationer av RF.

2.2.4 Blå rummet (RF1) – referens

I Blå rummet år 2 fanns det enligt scatterdiagrammet ingen mögelrisk. De mätpunkter som är närmast att kränka isolinjen, och därmed utgöra mögelrisk, är från oktober. Max- och minvärden inträffar i stort sett samtidigt i försöks- och referensrum (tab. 8, 9 och fig. 21), dock är det beaktansvärt att det är torrare i referensrummet under de perioder hög RF uppträder (fig. 21). Ventilationen är den åtgärd som är mest aktiv och kan verka uttorkande, något som föranleder utseendet av varaktighetsdiagrammets högra del (fig. 21).

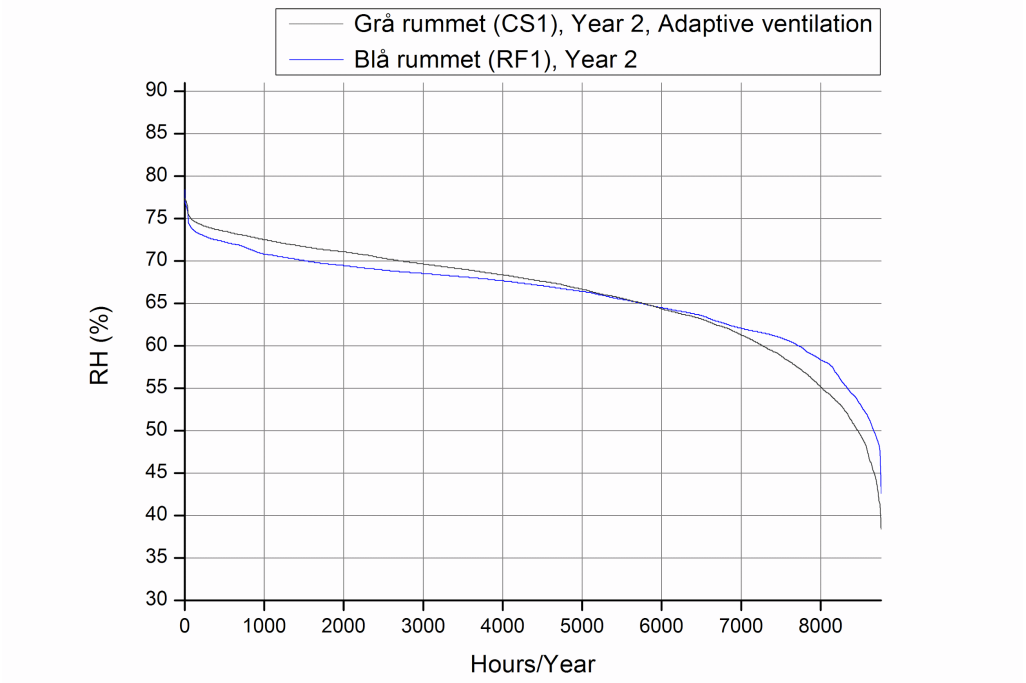


Fig. 21. Blå rummet (RF1) och Grå rummet (CS1). Varaktighetsdiagram över variation av RF.

Blå rummet (RF1) år 2							
Parameter	Average	StDev	Max	Min	SD30	MA_{max}	MA_{min}
RH (%)	68	5	79	46	3	74	60
Temp (°C)	10,1	6,7	23,8	-1,0	0,7		
MR (g/kg)	5,6	2,5	13,1	2,2	0,5		
Max diff RH within a week			2014-06-10 01:00		2014-06-14 15:00		25
Max diff RH within 12h			2014-09-22 06:00		2014-09-22 16:00		15

Tab. 9. Blå rummet (RF1) år 2. Årsdata över RF, temperatur, ångkvot och variationer av RF.

2.2.5 Florens (CS2) – skyddsvärme

Vid en månadsvis jämförelse mellan de olika försöksrummen går det att se att det rum som utrustas med skyddsvärme inte nödvändigtvis har de högsta temperaturerna under vinterhalvåret. Under år 2 då Florens var försett med skyddsvärme är det bara i november månad som rummet har den högsta medeltemperaturen. Intressant är också att Florens, i jämförelse med de övriga försöksrummen, hade den lägsta medeltemperaturen under kalla månader som januari, februari och mars. Liknande mönster återkommer vid studerandet av

maxtemperatur. Exempelvis är det bara i januari som Florens innehar, den mellan försöksrummen, högsta temperaturen. Förklaringen ligger dels i att skyddsvärmen inte har varit igång eftersom det inte har funnits mögelrisk. Rummens utformning och position har också stor betydelse och har i varierande grad betydelse för solvärmetillskottets inverkan. För att studera faktorns inverkan undersöktes detta momentant i Origin Pro 8 där Fourierdiagram (i programmet kallades dessa FFT, Fast Fourier Transform) kunde visa tydliga dygnscykler, vilka beror på solinstrålningen. För det aktuella rummet och året fanns det enligt scatterdiagrammet ingen mögelrisk. Fig. 22 och tab. 10 redogör för klimatsituationen i övrigt för Florens år 2 med skyddsvärme.

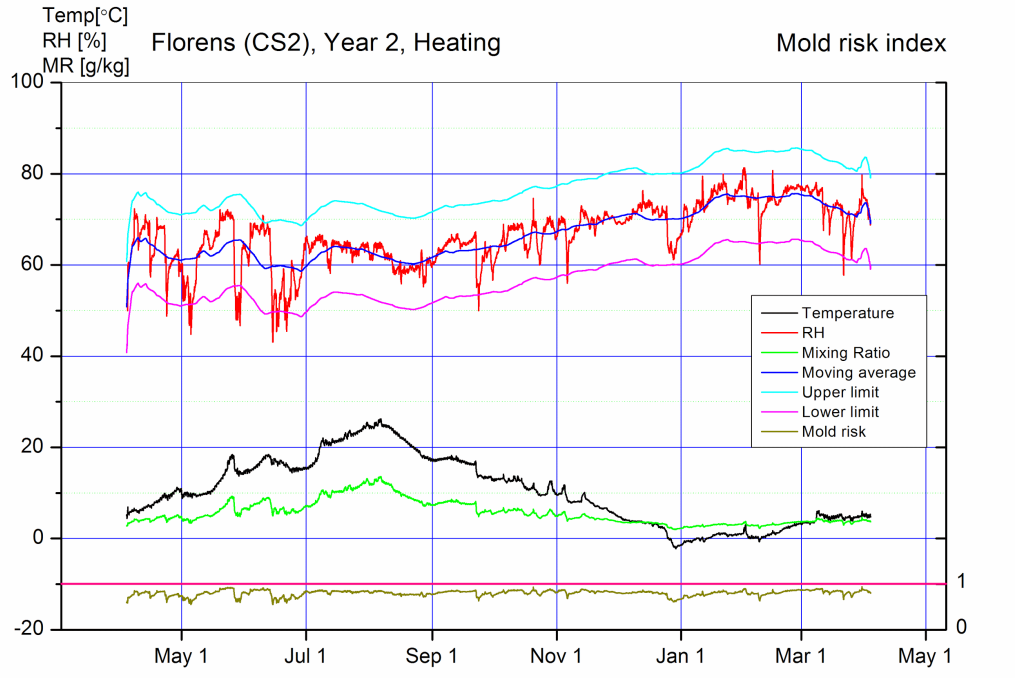


Fig. 22. Florens (CS2) år 2, skyddsvärme. Årsdiagram.

Florens (CS2) år 2, skyddsvärme							
Parameter	Average	StDev	Max	Min	SD30	MA_{max}	MA_{min}
RH (%)	67	6	81	43	4	76	51
Temp (°C)	10,3	7,4	26,2	-2,2	1,0		
MR (g/kg)	5,6	2,6	13,6	2,0	0,6		
Max diff RH within a week			2014-06-09 20:00		2014-06-14 16:00		28
Max diff RH within 12h			2014-05-26 12:00		2014-05-27 00:00		15

Tab. 10. Florens (CS2) år 2, skyddsvärme. Årsdata över RF, temperatur, ångkvot och variationer av RF.

2.2.6 Bryssel (RF2) – referens

Rummet får år 2 utstå omkring 71 timmar mögelrisk enligt bestämd gräns (fig. 24). Tidpunkterna är från oktober och mars och har en temperatur 4,0-10,3 °C och RF 81-88 %. Fig. 23 inbjuder till att beskriva behållningen av skyddsvärme, men vilket tidigare har nämnts liknar varaktighetsdiagrammen som skildrar klimatet i Florens och Bryssel på många sätt varandra under de tre åren. Det är därför svårt att utifrån dessa avgöra skyddsvärmens verkliga inverkan.

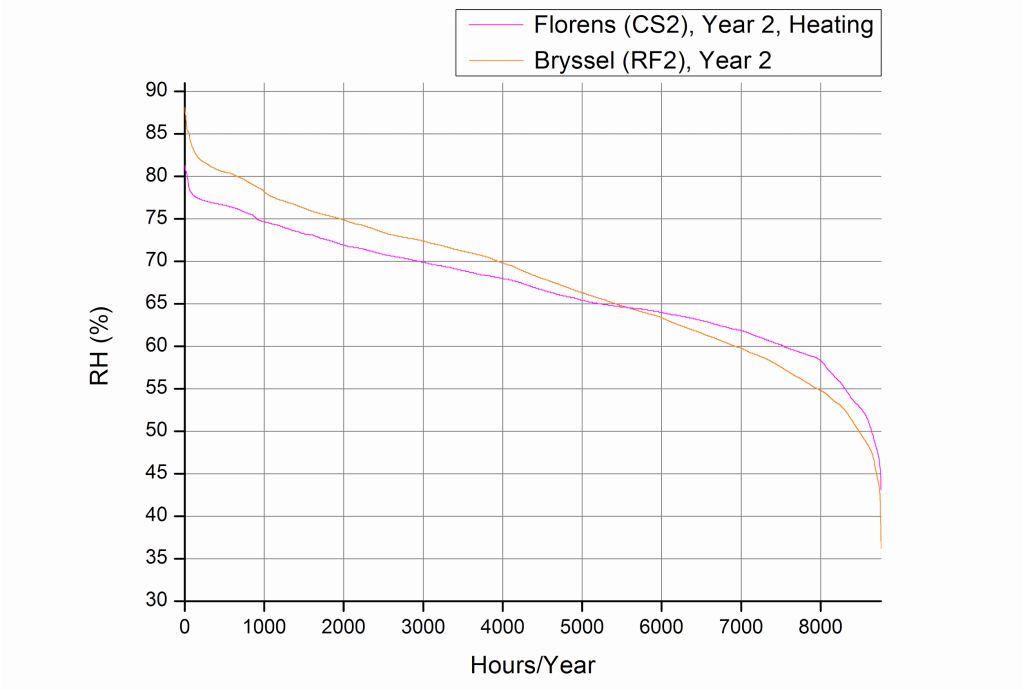


Fig. 23. Bryssel (RF2) och Florens (CS2). Varaktighetsdiagram över variation av RF.

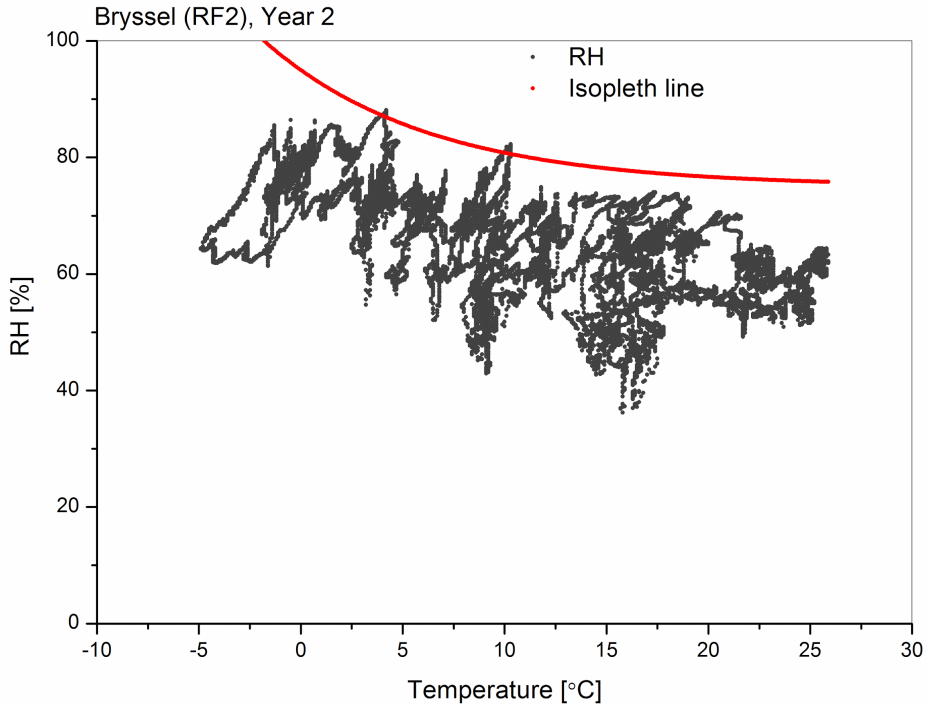


Fig. 24. Bryssel (RF2) år 2. Andelen tid över mögelrisk (det vill säga över LIM I): 0,81 %.

2.3 År 3

2.3.1 Florens (CS2) – avfuktare

Klimatdata för Florens år 3 med avfuktning (fig. 25 och tab. 11) visar maxtemperaturen 21,3 °C från 5 juli 2015 och mintemperaturen -6,2 °C från 22 januari 2016. Temperaturerna i sig är triviala, men intressant blir det då RF och ångkvot undersöks vid dessa två toppnoteringar. Vid T (max) är RF 66 % och ångkvoten 10,4 g/kg. För T (min) gäller RF 65 % och ångkvoten 1,4 g/kg. Nästan samma RF infaller alltså vid både den högsta och lägsta temperaturen medan ångkvotens variation är påfallande. Intressant är också att ångkvoten vid högsta respektive lägsta RF är i princip den samma. Nedslagen syftar framförallt till att redovisa komplexiteten mellan de ingående parametrarna. För det aktuella rummet och året fanns det enligt scatterdiagrammet ingen mögelrisk.

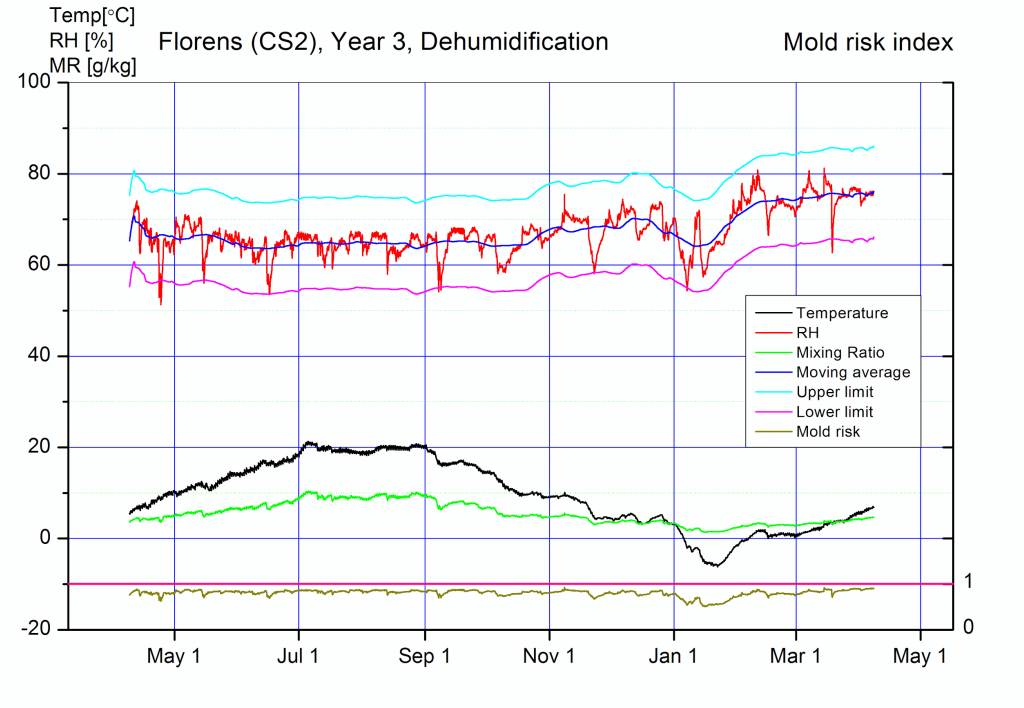


Fig. 25. Florens (CS2) år 3, avfuktning. Årsdiagram.

Florens (CS2) år 3, avfuktning							
Parameter	Average	StDev	Max	Min	SD30	MA_{max}	MA_{min}
RH (%)	67	5	81	51	3	76	64
Temp (°C)	9,6	7,4	21,3	-6,2	0,8		
MR (g/kg)	5,5	2,4	10,4	1,4	0,4		
Max diff RH within a week			2015-04-17 09:00		2015-04-24 09:00		19
Max diff RH within 12h			2016-03-18 05:00		2016-03-18 17:00		15

Tab. 11. Florens (CS2) år 3, avfuktning. Årsdata över RF, temperatur, ångkvot och variationer av RF.

2.3.2 Bryssel (RF2) – referens

Tid över mögelrisk är knappt 2 timmar (fig. 27), vilka infaller i september. I övrigt är det framförallt mätvärden från november som pekar på förhöjd mögelrisk. Av samma anledning som tidigare är det utifrån varaktighetsdiagrammet (fig. 26) svårt att avgöra avfuktarens inverkan.

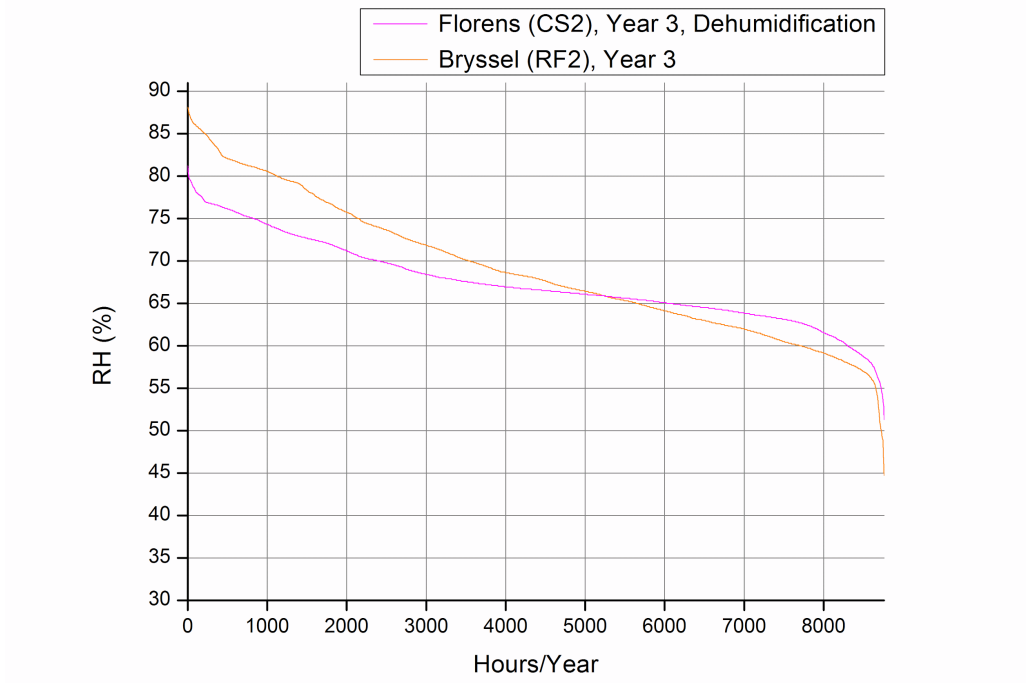


Fig. 26. Bryssel (RF2) och Florens (CS2) år 3. Varaktighetsdiagram över variation av RF.

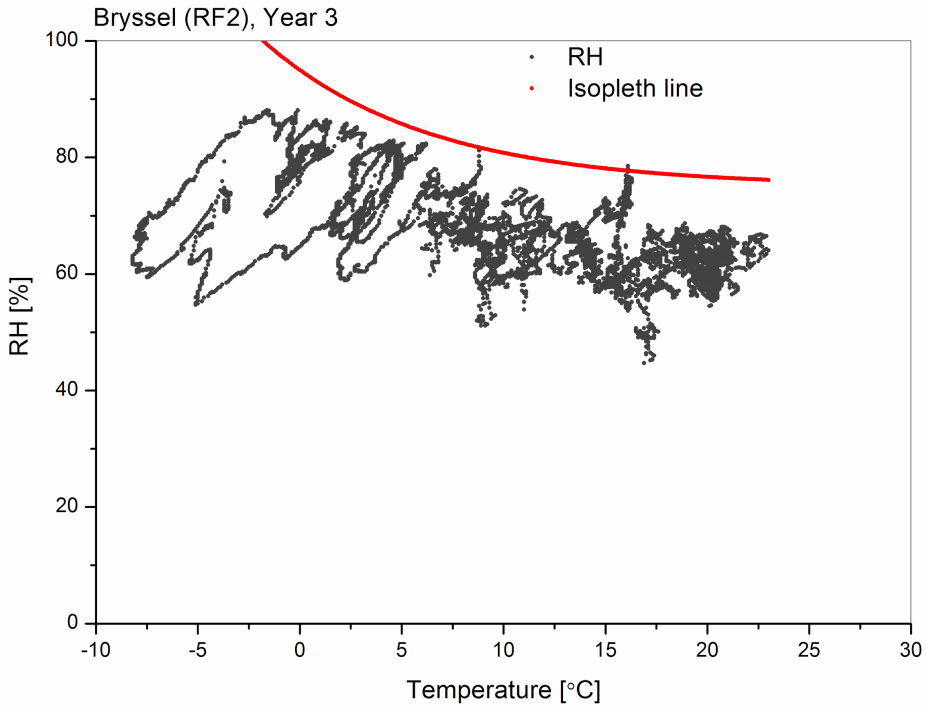


Fig. 27. Bryssel (RF2) år 3. Andelen tid över mögelrisk (det vill säga över LIM I): 0,02 %.

2.3.3 London (CS3) – fuktstyrd ventilation

London år 3 med fuktstyrd ventilation präglas av flera signifikativa värden. Vad beträffar RF varierade denna mellan 35 % (24 april 2015) och 90 % (30 januari 2016) (fig. 28 och tab. 12). Vid månadsvis jämförelse mellan försöksrummen går det att se att London hade de klart högsta maxtemperaturerna år 3 (alla månader förutom januari). Rummet hade också den lägsta temperaturen för hela studien, nämligen -8,3 °C (tab. 12). Vid denna mätpunkt var RF 59 % och ångkvoten 1,1 g/kg.

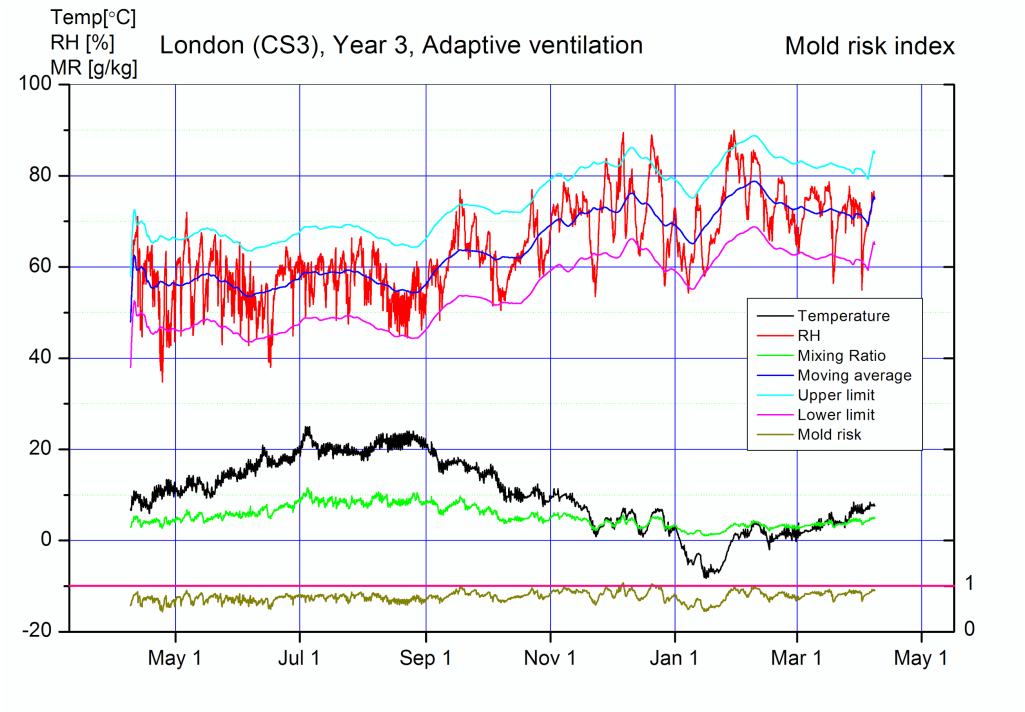


Fig. 28. London (CS3) år 3, fuktstyrd ventilation. Årsdiagram.

London (CS3) år 3, fuktstyrd ventilation							
Parameter	Average	StDev	Max	Min	SD30	MA_{max}	MA_{min}
RH (%)	65	10	90	35	6	79	48
Temp (°C)	10,1	7,8	25,0	-8,3	1,5		
MR (g/kg)	5,3	2,2	11,5	1,1	0,7		
Max diff RH within a week			2015-12-20 14:00		2015-12-27 02:00		33
Max diff RH within 12h			2015-04-26 09:00		2015-04-26 20:00		21

Tab. 12. London (CS3) år 3, fuktstyrd ventilation. Årsdata över RF, temperatur, ångkvot och variationer av RF.

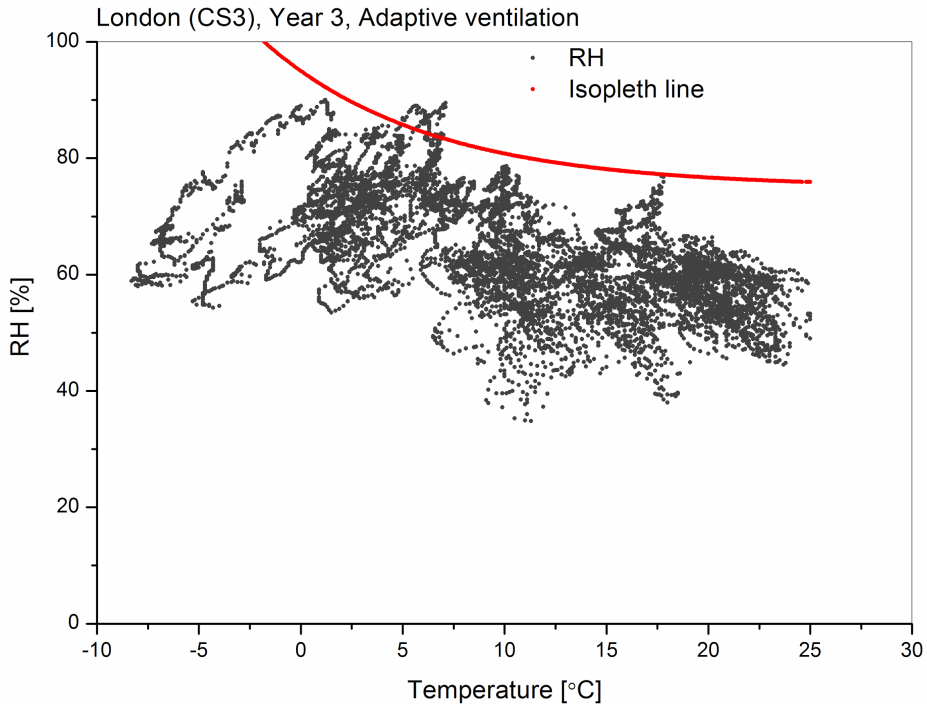


Fig. 29. London (CS3) år 3, fuktstyrd ventilation. Andelen tid över mögelrisk (det vill säga över LIM I): 0,95 %.

Andelen tid ovanför mögelrisk (det vill säga LIM-I) var i rummet den högsta för studien, 0,95 % (fig. 29), vilket motsvarar 83 timmar. För att undersöka denna toppnotering närmare går det att studera fler parametrar i scatterdiagrammet. De 83 timmarna i aktuellt fall var fördelade på fem tillfällen, vilka redovisas i tab. 13. Långa perioder som vid tillfälle 1 (44 h) och 2 (30 h) medför störst risk för rummet.

Timmar ovanför mögelrisk			
Tillfälle	*Start*	*Stopp*	*Timmar*
1	2015-12-20 06:00	2015-12-22 02:00	44
2	2015-12-05 18:00	2015-12-07 00:00	30
3	2015-12-23 12:00	2015-12-23 16:00	4
4	2015-12-23 05:00	2015-12-23 08:00	3
5	2015-12-23 02:00	2015-12-23 04:00	2
			83

Tab. 13. London (CS3) år 3, fuktstyrd ventilation. Antalet timmar ovanför mögelrisk. Under sammanlagt 83 timmar har det i London år 3 med fuktstyrd ventilation varit överhängande risk för mögel.

2.3.4 Gröna sängkammaren (RF3) – referens

I Gröna sängkammaren år 3 fanns det enligt scatterdiagrammet ingen mögelrisk. Fig. 30 uppvisar återigen att aktuellt försöksrum inte är jämförbart med referensrummet.

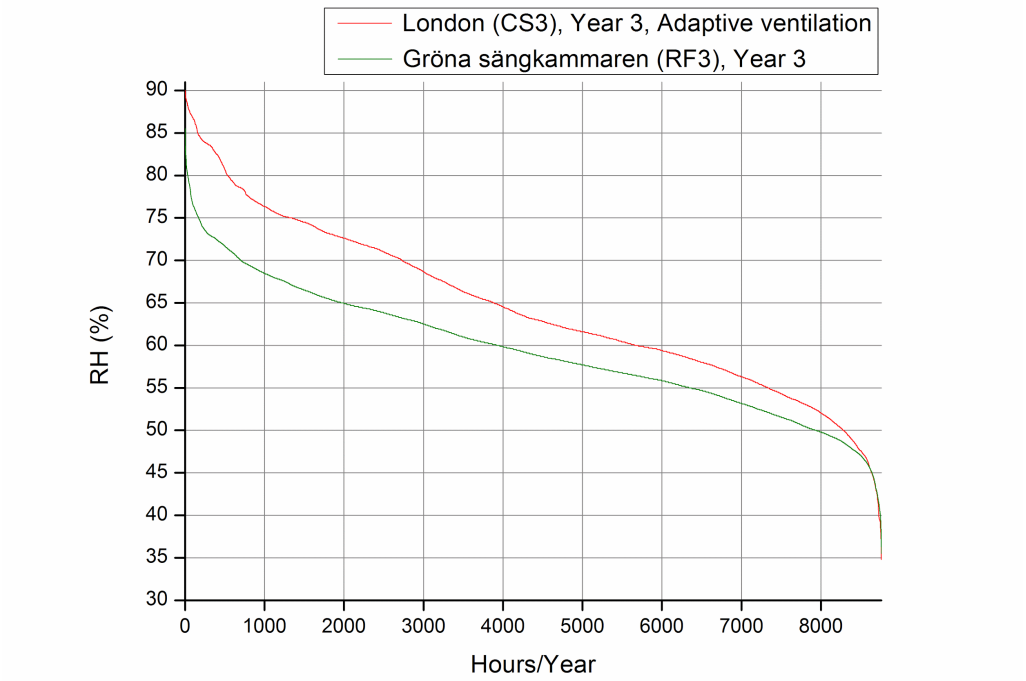


Fig. 30. Gröna sängkammaren (RF3) och London (CS3) år 3. Varaktighetsdiagram över variation av RF.

2.3.5 Grå rummet (CS1) – skyddsvärme

Årsdiagrammet för Grå rummet år 3 med skyddsvärme uppvisar endast små variationer av RF. Det övre gränsvärdet som är adderat 10 procentenheter ovanför det glidande medelvärdet ligger dessutom under nästan hela perioden under 80 % (fig. 31). Resultatet blir än tydligare i varaktighetsdiagrammen (fig. 32 och bilaga 1). Skyddsvärmens goda inverkan under rådande omständigheter kan dels illustreras genom att jämföra Grå rummet och Blå rummet under hela år 3 där en tydlig sänkning av RF framgår. I bilaga 1 går det också att se en närbild på de 1000 timmarna med högst RF.

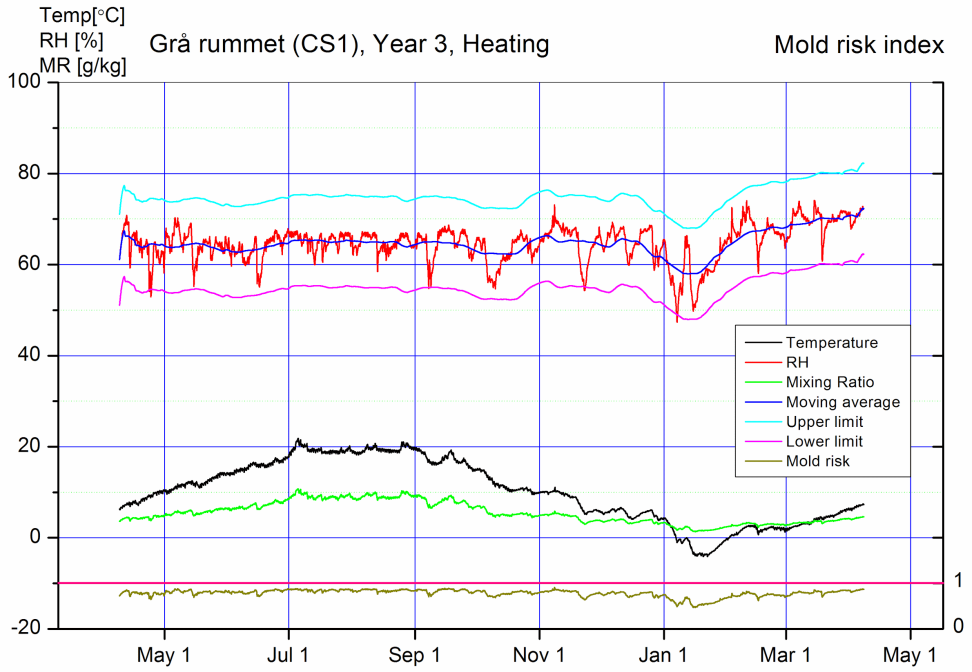


Fig. 31. Grå rummet (CS1) år 3, skyddsvärme. Årsdiagram.

Vid studerande av variationen av RF under en vecka respektive tolv timmar utmärker sig också Grå rummet under år 3 positivt. Den högsta differensen under en vecka har varit 19 % (tab. 14), vilket endast inträffar en annan gång i studien nämligen med avfuktning i Florens under samma år. (tab. 11) De två rummen har, bortsett från våningsplan, samma läge i slottet, vilket är en delförklaring till resultatet. Differensen av RF under tolv timmar är till och med mer

uppenbar och uppvisar goda förhållanden i rummet. Denna skillnad var 10 %, vilket kan ställas mot övriga rum som varierar mellan 15-22 % (under alla åren), med undantag för Blå rummet som för det aktuella året också har en tolvtimmarsvariation på 10 %. För det aktuella rummet och året fanns det enligt scatterdiagrammet ingen mögelrisk.

Grå rummet (CS1) år 3, skyddsvärme							
Parameter	Average	StDev	Max	Min	SD30	MA_{max}	MA_{min}
RH (%)	65	4	74	47	3	72	58
Temp (°C)	10,2	6,8	21,8	-4,1	0,8		
MR (g/kg)	5,4	2,4	10,8	1,4	0,5		
Max diff RH within a week			2016-01-07 11:00		2016-01-12 06:00		19
Max diff RH within 12h			2015-04-23 03:00		2015-04-23 13:00		10

Tab. 14. Grå rummet (CS1) år 3, skyddsvärme. Årsdata över RF, temperatur, ångkvot och variationer av RF.

2.3.6 Blå rummet (RF1) – referens

Max- och minvärden mellan försöks- och referensrum inträffar i princip samtidigt (tab. 14, 15 och fig. 32). I Blå rummet år 3 fanns det enligt scatterdiagrammet ingen mögelrisk.

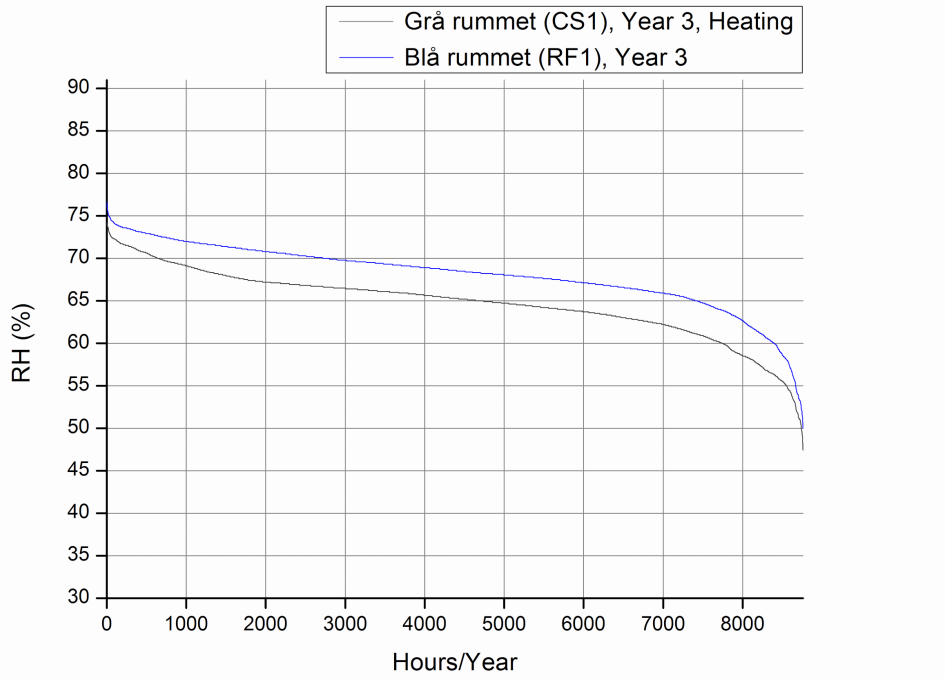


Fig. 32. Blå rummet (RF1) och Grå rummet (CS1) år 3. Varaktighetsdiagram över variation av RF.

Parameter	Average	StDev	Max	Min	SD30	MA_{max}	MA_{min}
RH (%)	68	4	77	50	3	74	61
Temp (°C)	9,4	6,7	19,5	-4,8	0,7		
MR (g/kg)	5,4	2,4	10,3	1,4	0,4		
Max diff RH within a week			2016-01-07 11:00		2016-01-11 10:00		20
Max diff RH within 12h			2016-03-18 04:00		2016-03-18 16:00		10

Tab. 15. Blå rummet (RF1) år 3, skyddsvärme. Årsdata över RF, temperatur, ångkvot och variationer av RF.

3 SLUTSATS OCH DISKUSSION

3.1 Slutsatser

Resultatet visar att risken för uppkomst och tillväxt av mögel på Skoklosters slott har varit låg under de tre studieåren. Behovet av fuktstyrning har därmed också varit lågt, något som framgår genom att den standardiserade säkerhetsmarginalen i försöket behövde höjas 5 % inför år 2 för att radiatorer och avfuktare skulle vara mer aktiva. Det låga behovet fuktstyrning framgår också vid studerande av energianvändningen. Vid studerande av energianvändningen för år 1 framgår det exempelvis att avfuktaren i Grå rummet endast har varit igång några timmar. Fig. 25, vilken visar årsdiagrammet för avfuktning i Florens år 3, uppvisar också ett bra bevarandeklimat och styrker slutsatsen att behovet av fuktstyrning har varit lågt eftersom åtgärden har haft den näst lägsta energianvändningen (59 kWh) i studien. Sett till den sammanlagda försökstiden har avfuktaren varit den mest energieffektiva åtgärden under den sammanlagda försökstiden. Energianvändningen är dock generellt låg för samtliga åtgärder och borde rimligtvis inte vara avgörande vid framtida åtgärdsval.

Även om de undersökta rummen i stor utsträckning har en bra bevarandemiljö är den omvärdering av klimatstrategin som Leijonhufvud och Broström önskade redan 2010 i artikeln ”The indoor climate in Skokloster castle” befogad. Det kanske tydligaste exemplet på detta ges av att återigen studera Grå rummet år 1 med avfuktning, denna gång tillsammans med referensrummet (Blå rummet). Mögelrisken enligt första årets gränsvärden var för Grå rummet knappt en timme och för Blå rummet knappt 30 timmar. Scatterdiagrammet för Blå rummet visade att de knappt 30 timmarna inföll 21 maj, en av de dagar avfuktaren huvudsakligen var aktiv (17-22 maj). Det var alltså tydligt att under de knappt 30 timmarna med mögelrisk i Blå rummet kunde dessa undvikas i Grå rummet genom att avfuktaren var aktiv. Klimatet kan alltså vara bra under en lång tid, ibland ett helt år, men att flera parametrar sedan infaller samtidigt och medför mögelrisk enligt

utsatta gränsvärden. Den aktuella jämförelsen kunde göras eftersom de två rummen bedöms vara de försöks- och referensrum i studien som har det mest likartade klimatet. Det är huvudsakligen de samlade varaktighetsdiagrammen som åskådliggör rummens likheter.

I avsnitt *1.5.1 Metod för studien* beskrivs att, utöver näringsämnen, temperatur och luftfuktighet, är tidsfaktorn avgörande för uppkomst och tillväxt av mögel. Utifrån det presenterade resultatet går det dock inte att avgöra vad som är en farligt lång tidsperiod.

Trots den metodiska utmaningen kring studerandet av indata på grund av utrustningens begränsade drifttid, rummens varierande egenskaper och stora påverkan av utomhusklimatet är det tydligt att inte bara avfuktaren har varit gynnsam. Vid studerande av varaktighetsdiagrammet mellan Grå rummet och Blå rummet år 3 framgår till exempel vinsterna med skyddsvärme.

Vid rumsvis jämförelse mellan Grå rummet och Blå rummet under de tre åren går det också att se att graferna hamnar i olika ordning. Det borde alltså betyda att skillnaden mellan de två rummen inte beror på utomhusklimatet. Även fuktstyrd ventilation har haft en positiv inverkan på mögelrisken. Detta framgår till exempel vid studerande av Florens år 1 och Grå rummet år 2 eftersom där inte fanns mögelrisk. London år 3 hade den högsta mögelrisken i studien, något som hellre förklaras med rummets utmärkande egenskaper än ventilationens bidrag. I Grå rummet användes metoden under studiens andra år, det vill säga 2014, men då sommarhalvåret präglades av exceptionell väderlek är det i detta fall svårt att jämföra åtgärden med övriga.

I ”An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle”, den första artikeln om samtliga tre mätår skrev Wessberg, Leijonhufvud och Broström att försökets inledande tätningsåtgärder har haft en positiv effekt på stabiliteten av RF och till viss del även på mögelrisken. I vilken grad tätningsåtgärderna har påverkat resultatet har inte studerats närmare i denna rapport eftersom underlaget begränsades till de tre studieåren.

Författaren delar dock uppfattningen om att ett minskat luftbyte vore effektivt för att hålla nere variationerna av RF, detta eftersom det inte sker några fuktproducerande verksamheter i slottet. Utöver diverse tätningsåtgärder är det därför av stor vikt att också informera museipersonal om vinsterna med att hålla dörrar till och mellan rummen stängda. I annat fall tillförs fukt från till exempel korridorer och medför höjd mögelrisk. Trots behållningen av restaurering och tätning av fönster samt insättning av flera glasdörrar visar resultatet att variationerna av RF ändå är så pass stora att de möjligen kan orsaka skada. Detta åskådliggörs dels i årsdiagrammen för rummen (*beskrivs i avsnitt 2.1.1 Grå rummet (CS1) - avfuktare*), men också genom framtagna uppgifter om den maximala variationen av RF under en vecka respektive tolv timmar.

Årsdiagrammen innehåller också en viktig uppgift om utomhusklimatets påverkan. Det är nämligen tydligt att de största variationerna av RF i respektive rum sammanfaller med varandra även om den värmetröga konstruktionen minskar effekten av utomhusvariationerna. Vad gäller den maximala differensen av RF inom en vecka respektive tolv timmar är det uppseendeväckande att det rum som idag har funktionen som tavelmagasin står för toppnoteringarna. Den högsta veckovisa variationen av RF är 39 % och för 12 timmar 22 %. Tätning kan till viss del minska dessa variationer, men för att nå en låg varaktig mögelrisk går det inte att bortse från vikten av aktiv fuktstyrning för att bli av med de värsta toppnoteringarna, framförallt vad gäller RF. Vad gäller den fuktstyrda ventilationen framgår det (exempelvis i Grå rummet år 2) att åtgärden innebär de lägsta noteringarna av RF, något som kan orsaka mekaniska skador. Det kan därför vara lämpligt att införa ett minvärde i styrvillkoren då ventilationen inte går. En generell slutsats är att det till stor del är undantagen som har styrt utrustningen och att undantagen därför borde vara vägledande och slutligen de dimensionerande vid val av klimatstyrningsstrategi i Skoklosters slott.

3.2 Diskussion

De många varaktighetsdiagrammen över RF har varit särskilt användbara för att skapa en uppfattning om försöks- och referensrummens likheter och olikheter. Det framgick tidigt i undersökningen att det endast för ett försöks- och referensrum gick att göra direkta jämförelser rummen emellan. Dessa var Grå rummet och Blå rummet. I de andra fallen fick rummen många gånger studeras var för sig. Även om resultatet på många sätt är svårtolkat är det tydligt att det vore alltför riskfyllt att inte tillämpa aktiv fuktstyrning vid Skoklosters slott. Slutsatsen om att det till stor del är undantagen som har styrt utrustningen och därmed borde vara vägledande vid val av klimatstyrningsstrategi är viktig för att inte förledas av att det under stora delar av året inte är mögelrisk.

Inför val av klimatstyrningsstrategi är det viktigt att beakta några generella nackdelar med åtgärderna. En generell nackdel med avfuktning är att metoden kan förorsaka ökad fukttransport genom klimatskalet. Detta har studerats av Poul Klenz Larsen som i ett försök simulerade energianvändning av avfuktning och skyddsvärme och kunde konstatera att avfuktning, utifrån energianvändning, lämpade sig bättre i de fall otäta klimatskal förelåg. En annan nackdel med metoden är de praktiska svårigheterna med installationen om det inte finns några befintliga kanaler.

Oönskade effekter med skyddsvärme är att det kan uppstå en temperaturgradient i det uppvärmda utrymmet. Detta kan leda till ogynnsamma mikroklimat som exempelvis kan medföra mögel bak på tavlor som hänger på kalla ytterväggar. En annan nackdel kan vara höga temperaturer under sommarhalvåret.[37] Redan inför igångsättningen av klimatstudien diskuterades Londons lämplighet som försöksrum. Under ett möte 12 mars 2013 framfördes önskemål om

[37] Wessberg, Leijonhufvud & Broström, An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle, 2.

grundvärme i London för att förhindra frostskador på de tavlor som förvaras i rummet. De fuktbegränsande metoderna i studien skulle ske utan grundvärme i rummen, varpå diskussion följde om ett annat rum skulle kunna användas i försöket. Vid tiden fanns dock inga pengar att renovera ytterligare fönster om ett nytt försöksrum skulle tas fram. Uppfattningen var att ”om RF hålls under 70 % vid varmare perioder hålls fuktkvoten i trä nere. När temperaturen sedan sjunker är mängden ”skadligt” vatten ganska låg och risken för frostskador bör minska.” Årsdiagrammen visar att RF inte har överstigit 70 % under juni till augusti. Det bör tilläggas att det under mötet också uttalades att om befintliga skador skulle förvärras eller nya uppstå skulle försöket avbrytas.[38] Justin Moll presenterade i sitt examensarbete ”Inneklimatet på Skoklosters slott” från 2014 ett förslag på hur det skulle gå att ”konstruera ett fristående rum inom London” med ett lämpligare klimat.

Leijonhufvud och Broström menade i artikeln ”The indoor climate in Skokloster castle” från 2010 att det skulle krävas skyddsvärme och/eller avfuktning för att erhålla en låg varaktig mögelrisk. Tillvägagångssättet är efter denna studie ännu aktuella, men det kräver noggrann överläggning med konservatorer och andra aktörer för att försäkra att inga intressen glöms bort. Samtal bör därför ske innan en åtgärd väljs framför en annan. Vilket tidigare har nämnts ska dock inte energianvändningen vara avgörande vid val av åtgärd eftersom energianvändningen har varit generellt låg i studien.

[38] Klimatprojekt Skokloster, möte 2013-03-12.

3.3 Vidare forskning

Mer utförliga analyser av erhållen mätdata kommer att ske sommaren 2016. Syftet är att ta fram en slutlig sammanställning av den treåriga klimatstudien för att möjliggöra val av klimatstyrningsstrategi på Skoklosters slott. Sammanställningen kommer att göras av Eriksson, Wessberg, Broström och Leijonhufvud. Wessberg kommer även att presentera sin del av forskningen under *"The 2nd International Conference on Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings"* (EECHB 2016) i Bryssel under hösten 2016.

Med anledning av den ambitiösa klimatstudien vore det intressant att låta en del mätinstrument sitta kvar för att möjliggöra en uppföljning. Försöks- och referensrummen i aktuell studie utgör totalt 6 av 77 rum, men mätdata finns också för ytterligare några rum, däribland den Ofullbordade salen som ligger i anslutning till rummet London. Ett rum som inte har undersökts, men borde undersökas närmare är biblioteket längst upp i slottet för att se om klimatet är lämpligt för den stora boksamlingen. Det förslag Justin Moll presenterade om att skapa fristående mindre rum skulle också kunna användas i biblioteket om flytt av böckerna inte tillåts. Ett forskningsområde som behöver utforskas ytterligare är tidsparametern, det vill säga hur lång tid ovanför mögelrisk som är direkt skadligt. Vad gäller slutsatsen om att det till stor del är undantagen som har styrt utrustningen vore ett möjligt spår att lägga till vinddata för att påvisa utmärkande händelser. Skoklosters slott ser alltså ut att även i fortsättningen bli ett tillhåll för konservatorer och forskare.

4 REFERENSER

Tryckta

Artiklar

Wessberg, Leijonhufvud, Broström, An evaluation of three different methods for energy efficient indoor climate control in Skokloster Castle, 2016.

Krus, Kilian & Sedlbauer, Mould growth prediction by computational simulation on historic buildings, 2007. ISBN 978-87-7602-080-4

Sedlbauer, Krus, Breuer, Mould growth prediction with a new biohygrothermal method and its application in practice, 2003. ISBN: 83-88499-09-2

Litteratur

Abel, Enno & Elmroth, Arne, Byggnaden som system, 2., rev. uppl., Formas, Stockholm, 2008

Broström, Tor & Nilsen, Lisa (red.), Energy efficiency in historic buildings: postprints from the conference: Visby, February 9–11, 2011, Gotland University Press, Visby, 2012

Camuffo, Dario, Microclimate for cultural heritage, Elsevier, New York, 1998

Fjæstad, Monika (red.), Tidens tand: förebyggande konservering: magasinshandboken, Riksantikvarieämbetet, Stockholm, 1999

Hagentoft, Carl-Eric, Vandrande fukt, strålande värme: så fungerar hus, Studentlitteratur, Lund, 2003

Klenz Larsen & Broström, Climate Control in Historic Buildings, 2015.

Legnér, Mattias & Geijer, Mia, Kulturarvet och komforten: inomhusklimatet och förvaltningen av kulturhistoriska byggnader och samlingar 1850-1985, Krilon, Klintehamn, 2015

Millhagen, Rebecka, Makt och ära, Skokloster - ett slott från stormaktstiden, Tidskriften Kulturvärden 1998:2

Nevander, Lars Erik & Elmarsson, Bengt, Fukthandbok: praktik och teori, 3. utg., Svensk Byggtjänst, Stockholm, 2006

Rydén, Jesper, Stokastik för ingenjörer, Studentlitteratur, Lund, 2014

Sandin, Kenneth, Praktisk byggnadsfysik, Studentlitteratur, Lund, 2010

Otryckta

Handlingar

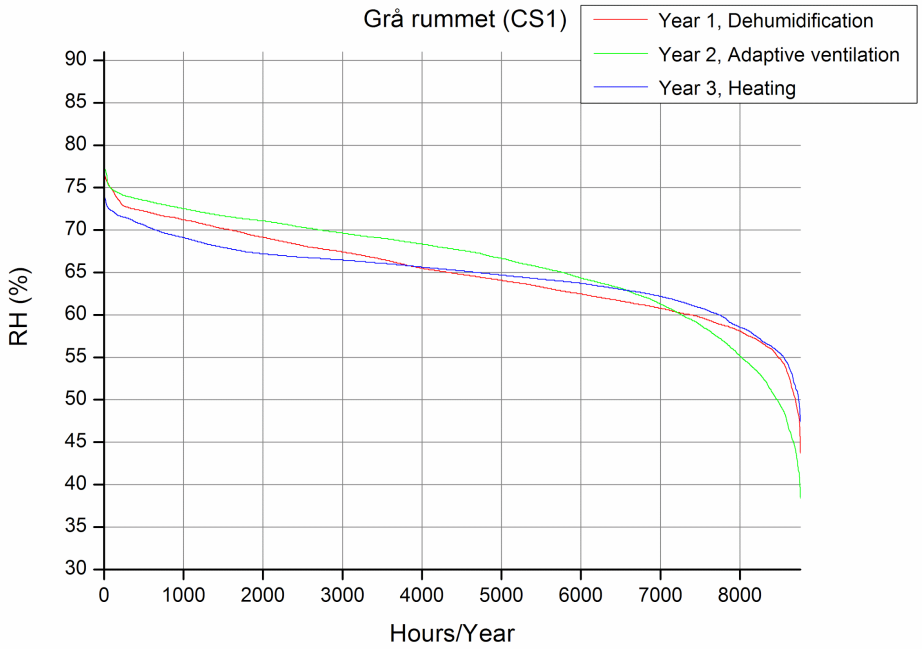
Försöksplan avseende mögelförebyggande åtgärder på Skoklosters slott, 2011-10-26
Beskrivning, Ramböll

Internet

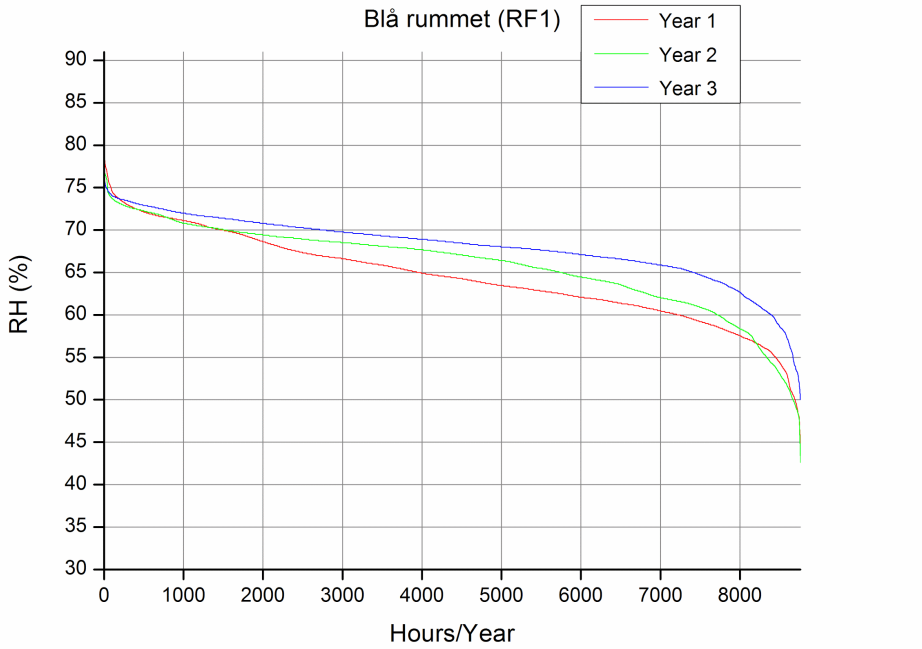
http://ungc.yale.edu/, hämtad 2016-04-18
https://www.youtube.com/watch?v=8XLGyQ8Fi_4, hämtad 2016-04-18

Bilaga 1 – Varaktighetsdiagram (B.1)

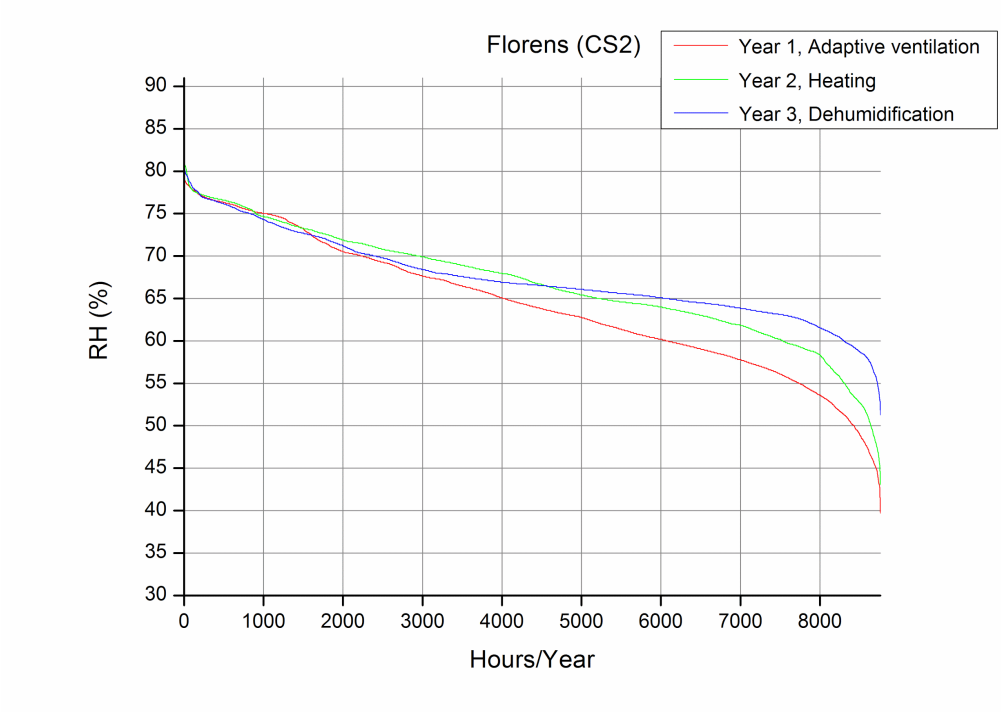
Respektive rum under samtliga studieår (B.1.1)



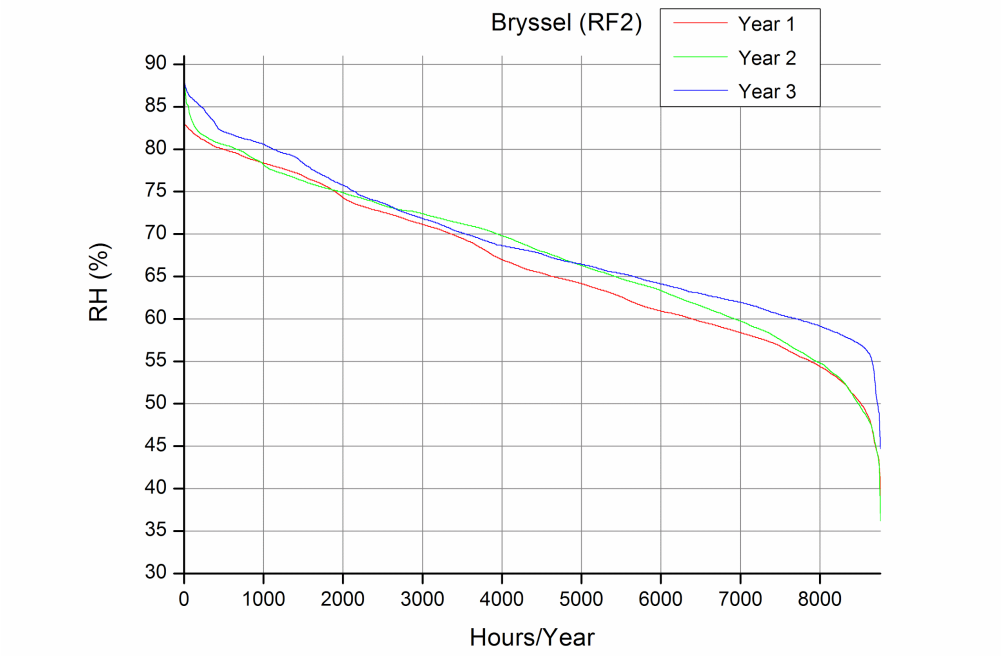
B.1.1.1



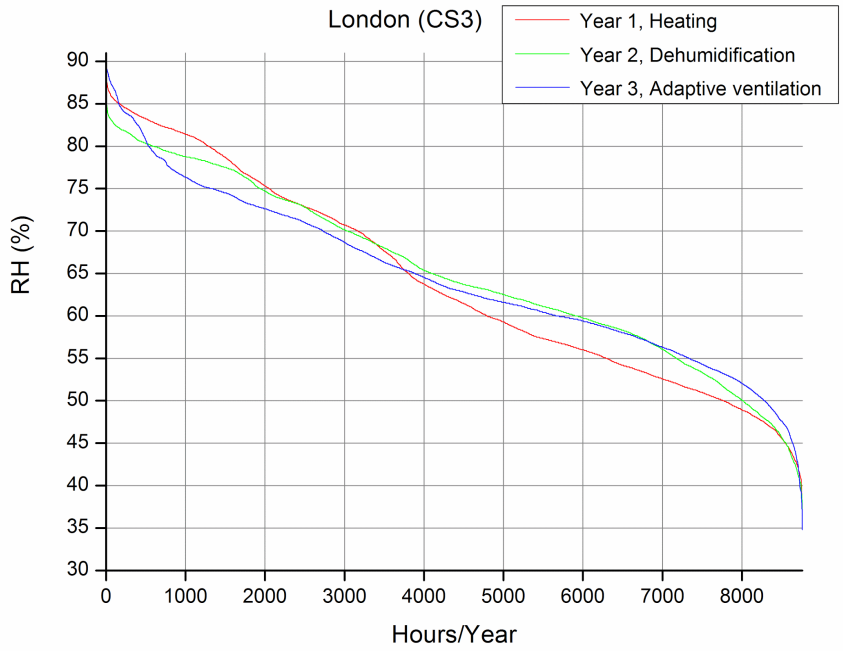
B.1.1.2


Florens (CS2)
Year 1, Adaptive ventilation
Year 2, Heating
Year 3, Dehumidification
RH (%)
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
Hours/Year

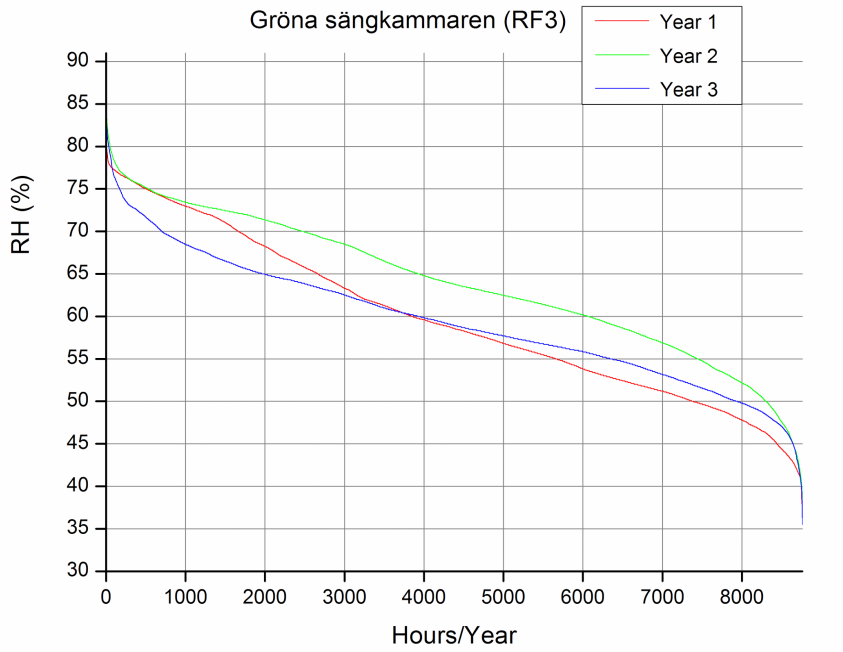
B.1.1.3


Bryssel (RF2)
Year 1
Year 2
Year 3
RH (%)
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
Hours/Year

B.1.1.4

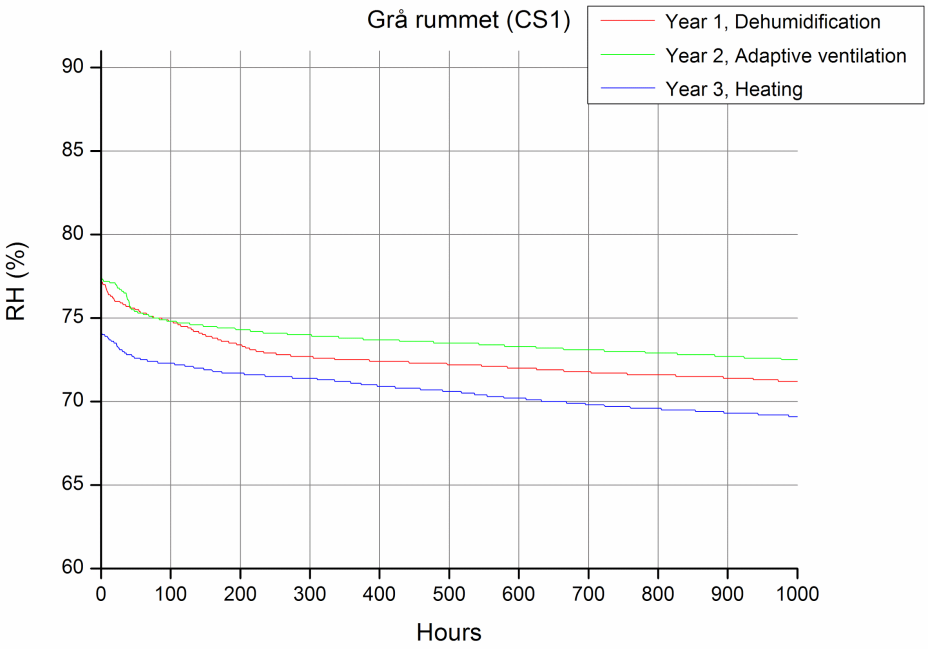

London (CS3)
Year 1, Heating
Year 2, Dehumidification
Year 3, Adaptive ventilation
RH (%)
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
Hours/Year

B.1.1.5

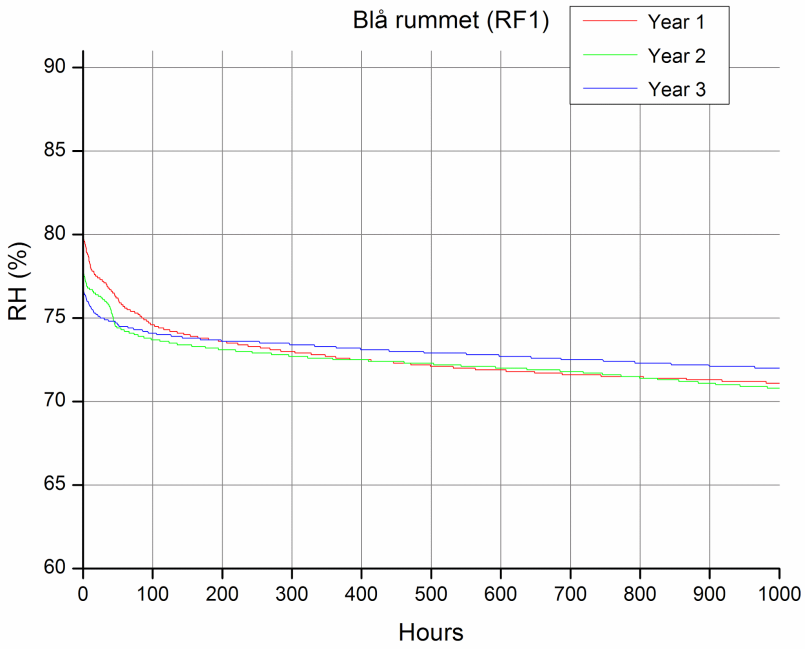

Gröna sängkammaren (RF3)
Year 1
Year 2
Year 3
RH (%)
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
Hours/Year

B.1.1.6

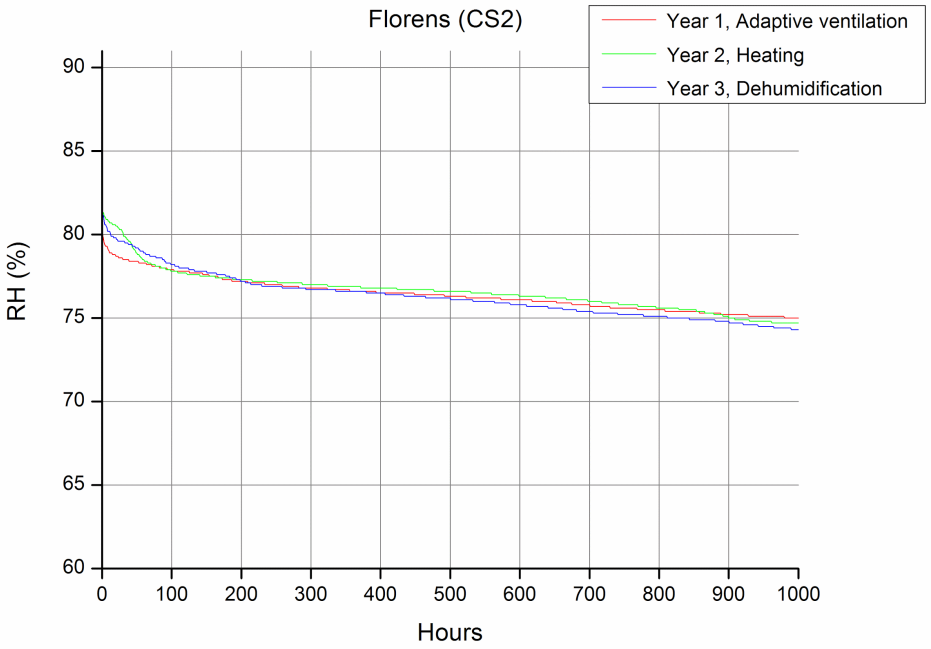
Respektive rum under samtliga studieår för 1000 timmar av högst RF (B.1.2)



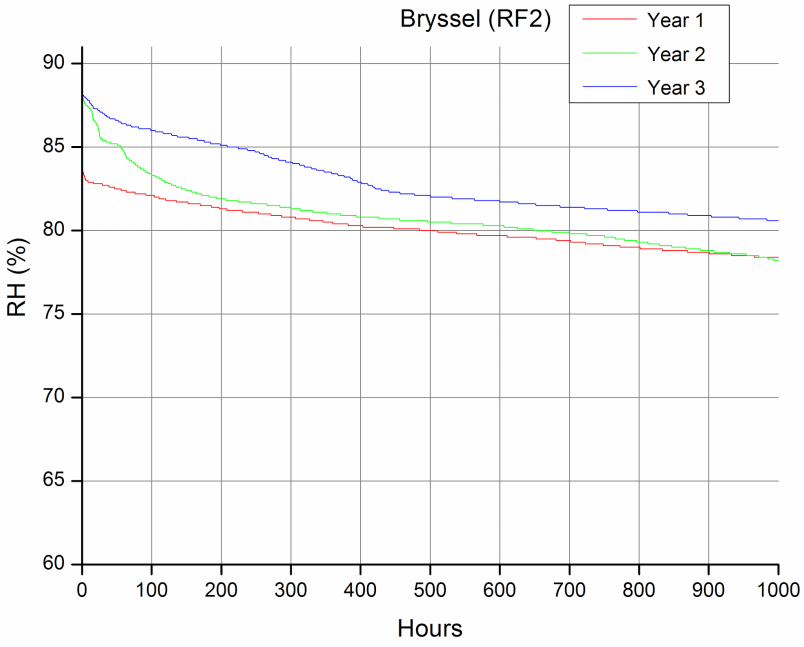
B.1.2.1



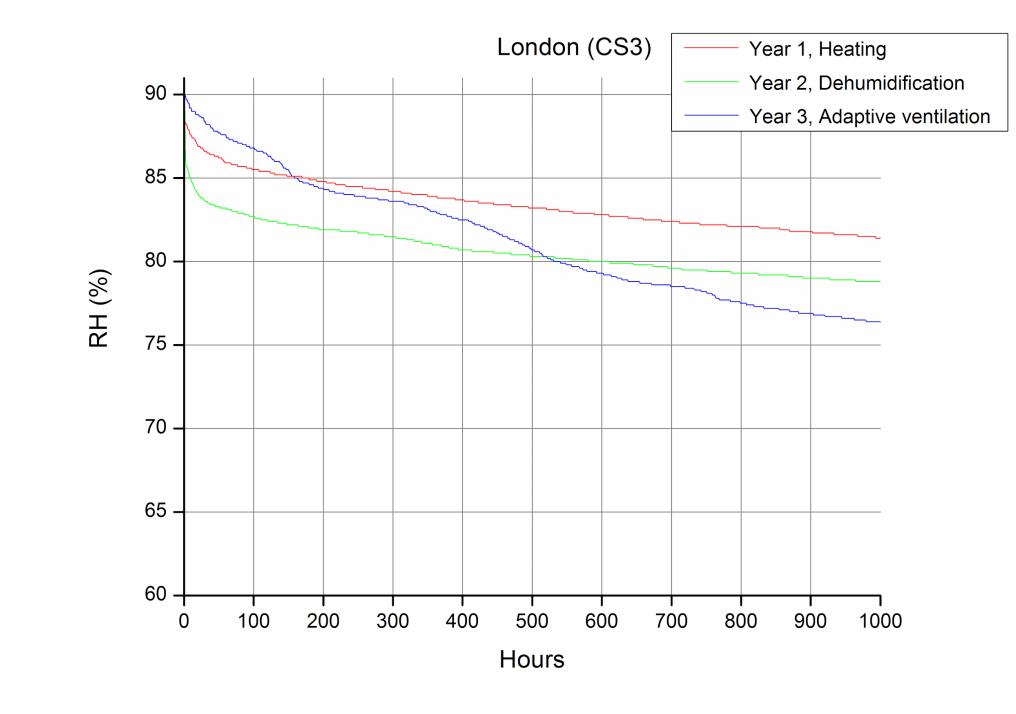
B.1.2.2


Florens (CS2)
Year 1, Adaptive ventilation
Year 2, Heating
Year 3, Dehumidification
RH (%)
90
85
80
75
70
65
60
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
Hours

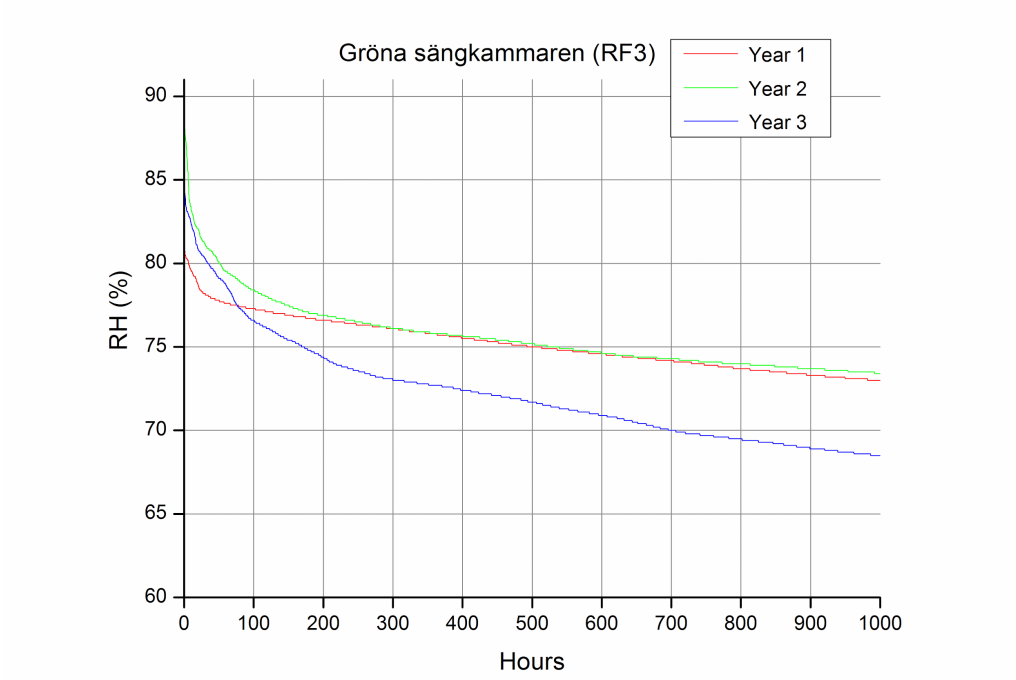
B.1.2.3


Bryssel (RF2)
Year 1
Year 2
Year 3
RH (%)
90
85
80
75
70
65
60
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
Hours

B.1.2.4


London (CS3)
Year 1, Heating
Year 2, Dehumidification
Year 3, Adaptive ventilation
RH (%)
90
85
80
75
70
65
60
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
Hours

B.1.2.5


Gröna sängkammaren (RF3)
Year 1
Year 2
Year 3
RH (%)
90
85
80
75
70
65
60
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
Hours

B.1.2.6

Bilaga 2 – Försöksplan avseende mögelförebyggande åtgärder på Skoklosters slott (B.2)

Tor Broström 2011-10-26

Försöksplan avseende mögelförebyggande åtgärder på Skokloster slott

UTKAST

Bakgrund

Mögel har konstaterats i ett antal rum. De mätningar och analyser som gjorts visar på små, men signifikanta, skillnader i inneklimatet mellan ”bra” och ”dåliga” rum. Möjliga förklaringar till dessa skillnader är:

- Varierande grad av soluppvärmning pga rummens läge i byggnaden
- Varierande grad av luftväxling.

Vid ett möte på slottet 2011-10-17 diskuterades inneklimatproblematiken mellan forskare och olika företrädare för byggnaden och dess verksamheter. En allmän slutsats är att det inte finns några uppenbara och enkla åtgärder som skulle kunna säkerställa ett mögelfritt slott.

Vid mötet föreslogs systematiska försök i olika rum för att komma fram till en lösning som är långsiktig hållbar, dvs att det är en godtagbar kompromiss avseende brukande, bevarande, resursutnyttjande och kostnader.

Tre typer av aktiva åtgärder diskuterades:

- Skyddsvärme, dvs man värmer för att hålla RF under en viss nivå.
- Avfuktning. Typ av avfuktare återstår att bestämma.
- Fuktstyrd ventilation, dvs en fläkt går endast då uteluften är torrare än inne.

Högskolan på Gotland Cramérgatan 3 Tfn: 0498-29 99 00
post: info@hgo.se
Org.nr: 202100-4987 621 67 Visby Fax: 0498-29 99 62
Webb: www.hgo.se
Högskolan på Gotland
Passion & vetenskap

Vad gäller passiva åtgärder, t ex tätning och dubbelfönster pågår en studie av befintliga mätdata. Denna studie får visa om det är motiverat med särskilda försök inom detta område.

Högskolan på Gotland fick i uppdrag att ta fram en försöksplan.Erfarenheter från Läckö och Gripsholm slott ska beaktas i såväl planering som genomförande av försöken.De akuta mögelproblem som finns eller kan komma att uppstå måste hanteras parallellt med försöken.

Urval av rum

För att på rimlig tid kunna jämföra de olika typerna av åtgärder som nämns ovan krävs att försöken omfattar fyra rum. Ytterligare fyra jämförbara rum väljs ut som referens, dvs där gör man inga åtgärder

Nr	Försöksrum	Referensrum (inga åtgärder)
1	2 V	2 R
2	3K	??
3	??	??

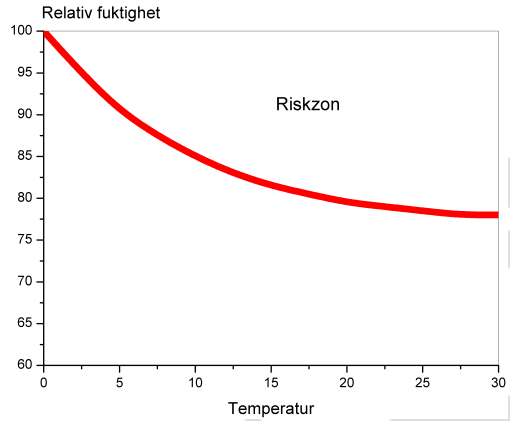
Här behöver vi hjälp med att välja ut bra rum för försöken. De rum som väljs ut för försök bör vara med i de mätningar som nu pågår.

UTKAST

Högskolan på Gotland Cramérgatan 3 Tfn: 0498-29 99 00
post: info@hgo.se
Org.nr: 202100-4987 621 67 Visby Fax: 0498-29 99 62
Webb: www.hgo.se
Högskolan på Gotland
Passion & vetenskap

Krav på inneklimatet

I denna studie styrs klimatet huvudsakligen för att förhindra uppkomst av mögel. Styrningen sker i förhållande till Sedlbauers riskkurva, se nedan. En övre gräns för RF sätts till 90%. En värdefull följdeffekt är att inneklimatet kommer att stabiliseras, både kortvariga och långvariga variationer minskar i amplitud.



Genomförande

Alla tre åtgärder provas ett år vardera i alla tre rummen, till exempel enligt följande:

Rum	År 1	År 2	År 3
1	Avfuktning	Uppvärmning	Fuktstyrd ventilation
2	Uppvärmning	Fuktstyrd ventilation	Avfuktning
3	Fuktstyrd ventilation	Avfuktning	Uppvärmning

UTKAST

Högskolan på Gotland Cramérgatan 3 Tfn: 0498-29 99 00
post: info@hgo.se
Org.nr: 202100-4987 621 67 Visby Fax: 0498-29 99 62
Webb: www.hgo.se
Högskolan på Gotland
Passion & vetenskap

Åtgärder

Åtgärd	Beskrivning	Kommentar	Kostnad
Skyddsvärme	Direktverkande el styrs av hygrostat.	Dimensionering återstår att göra. Fristående element placeras på lämplig plats. En hygrostat placeras vid yttervägg	5 000 kr
Avfuktare	Kondensationsavfuktare eller sorptionsavfuktare styrs med hygrostat	Avrinning eller tömning måste ordnas. Tilluften ordnas så att man får en bra spridning i rummet	15 -30 000 kr (beroende på typ av avfuktare)
Fuktstyrd ventilation	En frånluftsfläkt monteras i en eldstad. Tätning av fönster och dörrar.	Helst bör tilluften ordnas med styrda spjäll Ute- och innegivare för temperatur och relativ fuktighet.	15 000 kr

Alla åtgärder kräver att el dras fram samt att rummen tätas så gott det går. Kostnader för installation och mätning (se nedan) tillkommer.

UTKAST

Mätningar

Mätning	Placering	Intervall
Temp	Mitt i rummet	15 min
Temp	Yttervägg	15 min
RF	Mitt i rummet	15 min
Temp	Ute	15 min
RF	Ute	15 min
Eleffekt		Kontinuerligt
Luftomsättning		4 ggr per år
Värmekamera		En gång på sommaren En gång på vintern
Detaljerad kartering av temp och RF i rummen		En gång på sommaren En gång på vintern

Befintlig mätutrustning för temp och RF kan användas. Analys av mätdata ingår i pågående projekt och medför ingen kostnad.

Mätning av luftomsättning kostar cirka 10 000 kr per rum och år.

UTKAST

Datorsimuleringar

Modeller för datorsimulering av berörda rum, men inte hela bygganden, upprättas. Till en början med går arbetet ut på att anpassa modellen till verkligheten, dvs mätdata. Därefter kan datorsimuleringarna användas för att se hur olika åtgärder eller yttre störningar påverkar rummen och byggnaden och kan på så vis ge underlag till långsiktiga strategier för klimatstyrning.

Organisation

Högskolan på Gotland, genom Tor Broström, samt Göteborgs universitet, genom Tor Broström står för den vetenskapliga delen undersökningen.

Projektledning (vem bestämmer?)

Styrgrupp?

Förväntat resultat

Försöken förväntas visa hur olika typer av klimatstyrning fungerar i Skokloster med avseende på

- Byggnadens nyttjande som museum
- Bevarandeklimat
- Energiförbrukning
- Fysiska och estetiska effekter av installationerna
- Behov tillsyn och underhåll

UTKAST

Högskolan på Gotland Cramérgatan 3 Tfn: 0498-29 99 00
post: info@hgo.se
Org.nr: 202100-4987 621 67 Visby Fax: 0498-29 99 62
Webb: www.hgo.se
Högskolan på Gotland
Passion & vetenskap