

# ONDERZOEK NAAR HET BINNEN- KLIMAAT IN TOPMONUMENTEN: HET JACHTHUIS ST. HUBERTUS



Ing. Edgar Neuhaus en dr.ir. Henk L. Schellen  
Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Bouwkunde,  
Unit Building Physics and Systems

*Het Jachthuis St. Hubertus, gelegen op de Hoge Veluwe, maakt onderdeel uit van ons culturele erfgoed en er wordt grote waarde gehecht aan het behoud van zowel het gebouw als haar collectie. Dit intact houden kan in dit soort gebouwen bij voorkeur geschieden middels passieve conservering [1]. Ook voor passieve conservering is het wenselijk dat de interne relatieve vochtigheid en temperatuur binnen een bepaalde bandbreedte blijven. Na onderzoek van het binnenklimaat door Instituut Collectie Nederland en de TU Eindhoven is gebleken dat het binnenmilieu niet voldoet aan deze eisen [2]. Een belangrijk instrument om passieve conservering mogelijk te maken in het Jachthuis St. Hubertus, is een juist ingeregelde verwarmingsinstallatie, om zo de gewenste binnencondities te handhaven betreffende temperatuur en relatieve luchtvochtigheid. Met behulp van een testopstelling wordt momenteel onderzocht of er, door de huidige c.v.-installatie aan te passen, een binnenklimaat gecreëerd kan worden waarin de aanwezige museale objecten, zoals meubels, boeken en tapijten beter geconserveerd worden. Computersimulaties wijzen reeds uit dat aanpassing van de huidige c.v.-regeling kan leiden tot een beter binnenklimaat ten behoeve van conservering. De huidige c.v.-regeling, welke op ruimtetemperatuur schakelt, wordt dan vervangen door een regeling die de verwarming tevens schakelt op basis van relatieve luchtvochtigheid, een zogenaamde hygrostatische regeling. Deze regeling wordt momenteel veelvuldig toegepast in monumentale gebouwen in Engeland [3].*

## INLEIDING

Rond 1915 kreeg Berlage de opdracht om een Jachthuis te ontwerpen dat moest komen op het terrein van de Hoge Veluwe nabij de provinciale weg tussen Otterlo en Hoenderloo. Het Jachthuis (zie figuur 1) werd gebouwd in de periode 1916 tot 1922 in opdracht van het echtpaar



**Figuur 1:** Aanzicht van het Jachthuis St. Hubertus met vijverpartij.

Kröller-Müller. Berlages ontwerp voor het Jachthuis omvatte zowel de ruimtelijke opzet, de esthetische opbouw van het exterieur als ook de inrichting en de afwerking van het interieur compleet met stoffering, meubilering en accessoires. Bij de bouw van het Jachthuis hoorde ook het inrichten van de omgeving, het graven van enorme vijvers en het aanleggen van een park en wegen.

Tegenwoordig behoort het Jachthuis tot een van de topmonumenten en meest exclusieve interieurs van Nederland en er wordt grote waarde gehecht aan het behoud van zowel exterieur als het interieur. Het Jachthuis is zowel door zijn architectuur als door de inrichting een uitzonderlijk werk van Berlage. Veel van zijn ontwerpideeën zijn hier verwezenlijkt.

Nadat er herhaaldelijk schade aan interieur en collectie werd geconstateerd, welke terug te voeren is op het ongunstige binnenklimaat, werd er door de Rijksgebouwendienst besloten in samenwerking met Instituut Collectie Nederland en de TU Eindhoven een nader onderzoek naar het binnenklimaat op de starten.

## METHODE

Het onderzoek naar het binnenklimaat is begonnen met metingen naar temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en verlichtingssterkte<sup>1</sup>. Aangezien het binnenklimaat o.a. een resultante is van het buitenklimaat, de interactie met gebouwschil, installatie en gebruiker, is het belangrijk om ook in deze factoren meer inzicht te verkrijgen. Hiertoe zijn de bouwfysische aspecten van het gebouw en de verwarmingsinstallatie van het monument geïnventariseerd. Tevens is er door de beheerder een lijst bijgehouden met de bezoekersaantallen en activiteiten. Na het analyseren van de meetwaarden is er een computersimulatie gemaakt van een aantal vertrekken. Dit is gedaan om meer inzicht te krijgen in de invloed van de installatie en gebruiker op het binnenklimaat. Aan de hand van de conclusies van metingen en simulaties wordt er naar een oplossing gezocht om het binnenklimaat te verbeteren. In dit geval is dat het aanpassen van de regeling van de verwarmingsinstallatie. De invloed van deze aanpassing wordt eerst nader onderzocht met behulp van een testopstelling.

## INVENTARISATIE GEBOUW EN INSTALLATIE

De toren ligt op de symmetrieas van het Jachthuis. De twee vleugels die vanuit dit midden ontstaan, omarmen de

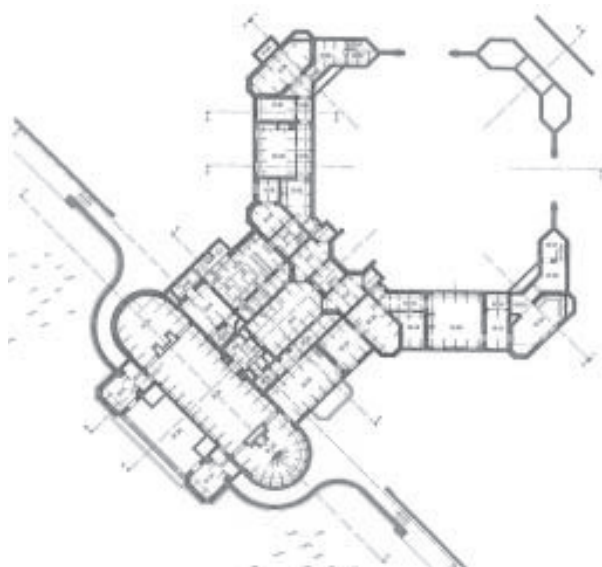
<sup>1</sup> Het onderzoek is met name gericht op de binnenluchtcondities (T en RV).

binnenplaats aan de noordoostzijde van het huis. De entree van het jachthuis ligt aan dit hof. Via de entree kom je in een centrale hal van twee bouwlagen. Als je deze hal uitloopt bereik je de grote eetkamer aan de vijverzijde. Rechts van de hal bevindt zich het oorspronkelijke dienstengedeelte, met onder andere de keuken en de vertrekken voor gasten. Dit deel van het jachthuis wordt nu bewoond door de huismeester. Links van de hal bevinden zich de ruimten van mevrouw en meneer.

Het jachtslot heeft een interessante vorm: een 31 meter hoge middentoren en uitspringende vleugels (zie figuur 2). Deze vleugels bootsen naar alle waarschijnlijkheid een hertengeveel na, refererend aan de legende van Sint Hubertus, patroonheilige van de jagers. Voor de bouw zijn deels geglaazuurde bakstenen en leistenen gebruikt. Voor de constructie is deels gebruik gemaakt van gepopnagelde metalen balken. De wanden bestaan uit spouwmuuren, voorzien van enkel glas. De centrale hal is voorzien van glas in lood ramen. Een deel van de vertrekken op de begane grond, zoals de hal, eetkamer en bibliotheek, maakt deel uit van de rondleiding. Voorts worden de vertrekken op de begane grond gebruikt door personeel en dienen de vleugels incidenteel als logeervertrekken.

Het gebouw wordt verwarmd door twee parallel geschakelde oliegestookte c.v.-ketels met een nominaal vermogen van elk 140 kW. De aanvoerwatertemperatuur van de verwarmingslichamen is groeps geregeld. Dat wil zeggen dat de c.v.-installatie is opgedeeld in vier verschillende radiatorgroepen. Deze radiatoren zijn voor het merendeel weggewerkt in een originele, op het interieur aansluitende omkasting (zie figuur 3).

Voorts zijn deze verwarmingslichamen voor het merendeel voorzien van een handbediende afsluiter. Voor de radiatoren die voorzien zijn van een thermostatische kraan, is een begrenzing in ruimtetemperatuur mogelijk. De verwar-



Figuur 2: Plattegrond van het Jachthuis St. Hubertus.

mingsinstallatie wordt weersafhankelijk geregeld met een nachtverlaging.

## METINGEN

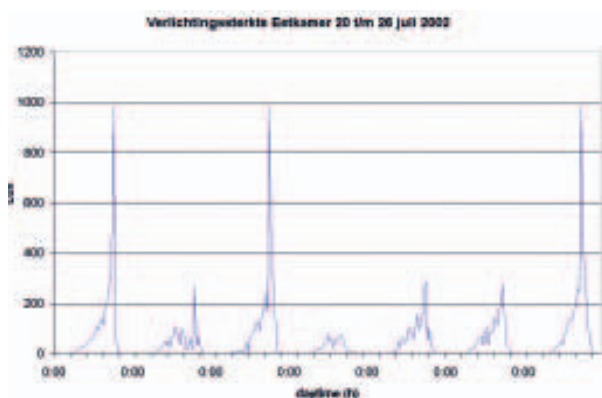
Het onderzoek naar het binnenklimaat in het Jachthuis is gestart met langeduurmetingen naar luchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid en verlichtingssterkte. Om een goed beeld van het binnenklimaat te verkrijgen is er een jaar lang in 15 verschillende vertrekken gemeten met behulp van een draadloos telemetrisch meetsysteem.

### Meetresultaten T en RV

De verkregen meetresultaten voor wat betreft temperatuur en relatieve luchtvochtigheid, kan men toetsen aan prestatie-eisen voor collectiebehoud, bijvoorbeeld zoals gesteld door de ASHRAE [4]. Voor een gebouw als dit, kan men ASHRAE klasse B als prestatie-eis aanhouden. ASHRAE Klasse B is gedefinieerd voor een gebouw opgebouwd uit bakstenen met enkel glas en heeft een klimaatinstallatie met een precisie regeling, enige gradiënten plus verlaging van de temperatuur tijdens de winter. De eis stelt dat de relatieve vochtigheid tussen de 40% en 60% mag schommelen, met een maximale verandering van 10% per uur en 10% per dag. Voor de temperatuur geldt dat deze tussen de 15°C en 25°C mag liggen met een maximale verandering van 5°C per uur en 5°C per dag. Als voorbeeld zijn in figuur 7 de meetwaarden van de Eetkamer in een Klimaat Evaluatie Kaart weergegeven [zie ook artikelen Martens en anderen]. Analyse van de metingen wijst uit dat het huidige binnenklimaat niet gunstig is voor collectiebehoud. Gedurende het stookseizoen is het te droog, veelvuldig komen relatieve vochtigheden van onder de 30% voor. Buiten het stookseizoen treden er vaak te hoge relatieve vochtigheden op, tegen de 70%. Tevens zijn de dagschommelingen in RV te hoog. Deze conclusie geldt voor vrijwel alle vertrekken waarin is gemeten.



Figuur 3: Veel radiatoren in het Jachthuis zijn weggewerkt achter een op het interieur aansluitende omkasting.



Figuur 4: Verlichtingssterkte in de Eetkamer.

#### Meetresultaten verlichtingssterkte

De maximaal toelaatbare verlichtingssterkte voor middelmatig lichtgevoelige voorwerpen ligt bij 150 lux bij een belasting van 8 uur per dag [1]. Meetresultaten in de Eetkamer naar de verlichtingssterkte tonen aan dat er waarden optreden die langdurig hoger dan 150 lux zijn, met pieken van wel 1000 lux in de zomer (zie figuur 4).

Na de metingen is de beglazing voorzien van UV-werende folie en speciale gordijnen. Deze gordijnen zorgen ervoor dat overtollig daglicht met 82% wordt gereduceerd en de warmte-instraling met 58% verminderd. Daarnaast wordt het licht, en daarmee ook de infraroodcomponent van licht, door deze gordijnen verstrooid, waardoor er minder plaatselijke opwarming optreedt. Aan de buitenzijde van de Eetkamer zijn tevens rolluiken aanwezig, welke zoveel mogelijk gesloten worden gehouden.

## HYGROSTATISCH GEREGELD STOKEN

Een alternatieve methode van verwarmen, waarbij er voor collectiebehoud gunstigere binnenluchtcondities optreden, is het zogenaamde hygrostatisch geregeld stoken [3]. Hierbij



Figuur 5: Flowchart van de hygrostatische regeling.

wordt de c.v.-ketel aangestuurd door een speciaal geprogrammeerde regelaar. De inputsignalen van de c.v.-regelaar zijn ruimtetemperatuur en relatieve vochtigheid van de ruimtelucht. Het principe van hygrostatisch geregeld stoken komt er op neer dat er gestookt wordt indien de RV in de ruimte te hoog is. De verhoging in ruimtetemperatuur zal een daling van de RV tot gevolg hebben. Indien de RV in de ruimte te laag is, zal de regelaar de verwarmingsinstallatie niet inschakelen. Hierdoor wordt de ruimte niet verwarmd, waardoor de RV ook niet meer zal dalen ten gevolge van het stookgedrag. Indien de RV zich binnen de gewenste bandbreedte bevindt, is het mogelijk een streef temperatuur in te stellen, om toch nog enig thermisch comfort te creëren.

In deze regeling zijn een onder- en bovengrens voor de temperatuur instelbaar, net als de gewenste bandbreedte voor de RV.

In figuur 5 is het stroomschema weergegeven voor de hygrostatische regeling, met een ingestelde bandbreedte voor de RV van 40% tot 60% en waarbij de minimum<sup>2</sup>- en maximumtemperatuur 10°C en 25°C zijn. De streef temperatuur is in dit voorbeeld op 17°C gesteld.

Bovendien kan de regelaar nog uitgerust worden met een aantal additionele functies, zoals een omschakeling op comfortregeling indien er thermisch comfort gewent is. Hierbij wordt de ruimte geleidelijk opgestookt met een instelbaar aantal K per uur, tot de gewenste temperatuur, met eventuele nachtverlaging.

Een nadeel van deze hygrostatische regeling is dat er lage temperaturen op kunnen treden indien de RV in de ruimte onder de ingestelde ondergrens ligt. Deze regeling is dan ook niet geschikt voor vertrekken waar geen thermisch comfort nodig is.

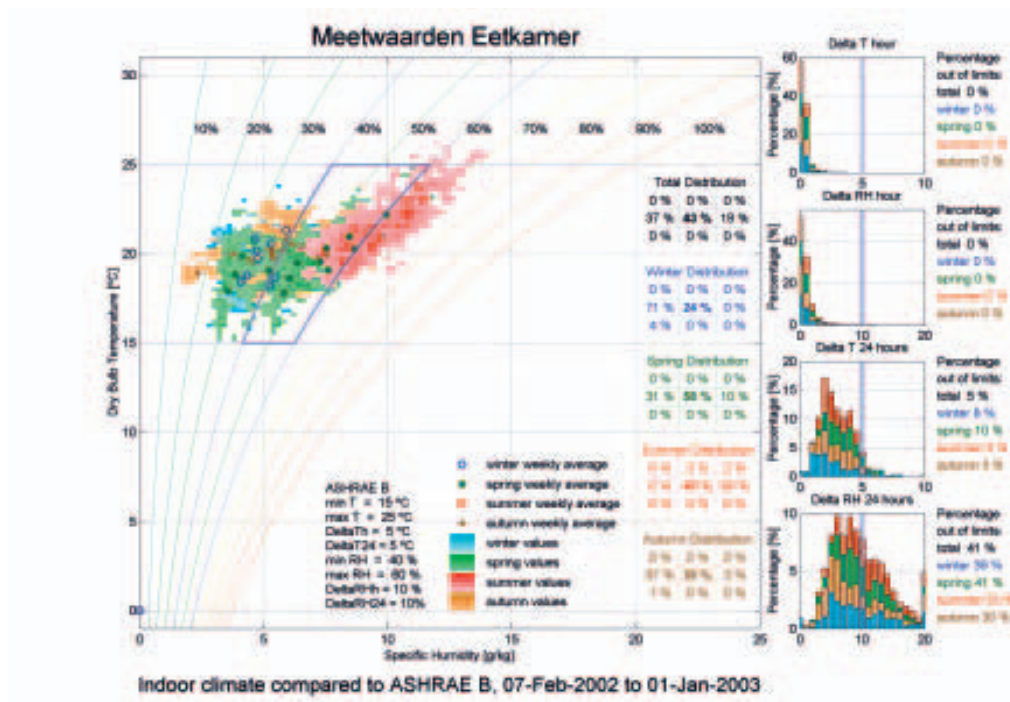
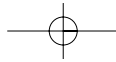


Figuur 6: De Eetkamer.

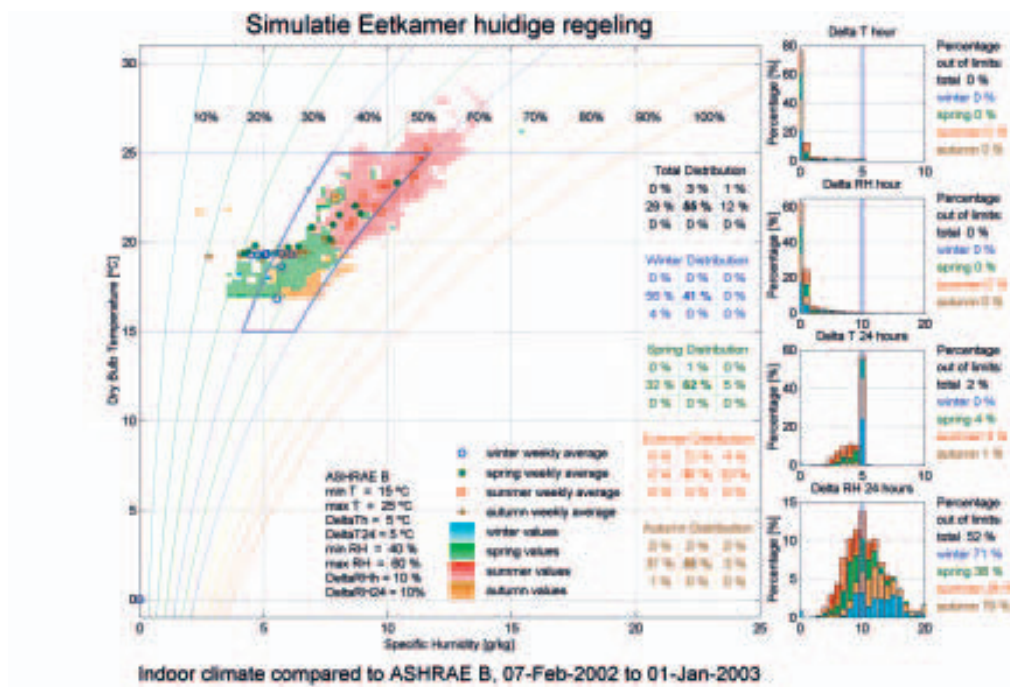
## SIMULATIE

Met behulp van computersimulatie is er nader onderzocht welke invloed de verwarmingsinstallatie, het buitenklimaat en gebruiker op het binnenklimaat heeft. Ook is er bekeken welke alternatieven er zijn om het binnenklimaat te verbeteren.

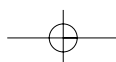
<sup>2</sup> Gezien de samenstelling van interieur en collectie, kan hier als minimumtemperatuur 10°C aangehouden worden.



Figuur 7: De meetresultaten van de Eetkamer weergegeven in een Klimaat Evaluatie Kaart. In deze kaart zijn de meetwaarden vergeleken met de eisen zoals gesteld in ASHRAE klasse B.



Figuur 8: De simulatieresultaten van de Eetkamer met de huidige regeling vergeleken met eisen volgens ASHRAE klasse B.



ren ten aanzien van collectiebehoud, bijvoorbeeld door aanpassing van de verwarmingsinstallatie. Hiervoor is er met behulp van het programma HAMbase een aantal vertrekken van het Jachthuis gesimuleerd.

In figuur 8 zijn de simulatieresultaten weergegeven voor de Eetkamer (zie figuur 6) met het huidige verwarmings-systeem. De instellingen welke hiervoor gebruikt zijn, zijn als volgt: het opgesteld vermogen is 4000 W en als dagtemperatuur is 22°C (gemeten huidige temperatuur) met een nachtverlaging van 5 K gebruikt. Vervolgens is er een simulatie gemaakt waarbij de radiatoren in de Eetkamer hygrostatisch geregeld verwarmd worden, zie figuur 9. Hierbij is er voor de gewenste RV een bandbreedte van 40 tot 60%

ingesteld. Als minimum- en maximumtemperatuur zijn 10°C en 25°C ingesteld. Als streeftemperatuur indien de RV tussen de 40 en 60% ligt, is 17°C ingevoerd.

Uit de simulatieresultaten valt duidelijk op te maken dat de hoge relatieve luchtvochtigheden minder voorkomen indien de huidige verwarmingsregeling wordt omgeschakeld op een hygrostatische regeling. Dit geldt ook voor de lage relatieve luchtvochtigheden tijdens de koudere perioden. De verwarming blijft bij lage luchtvochtigheden uitgeschakeld tot de ingestelde minimumtemperatuur, in dit geval tot 10°C.

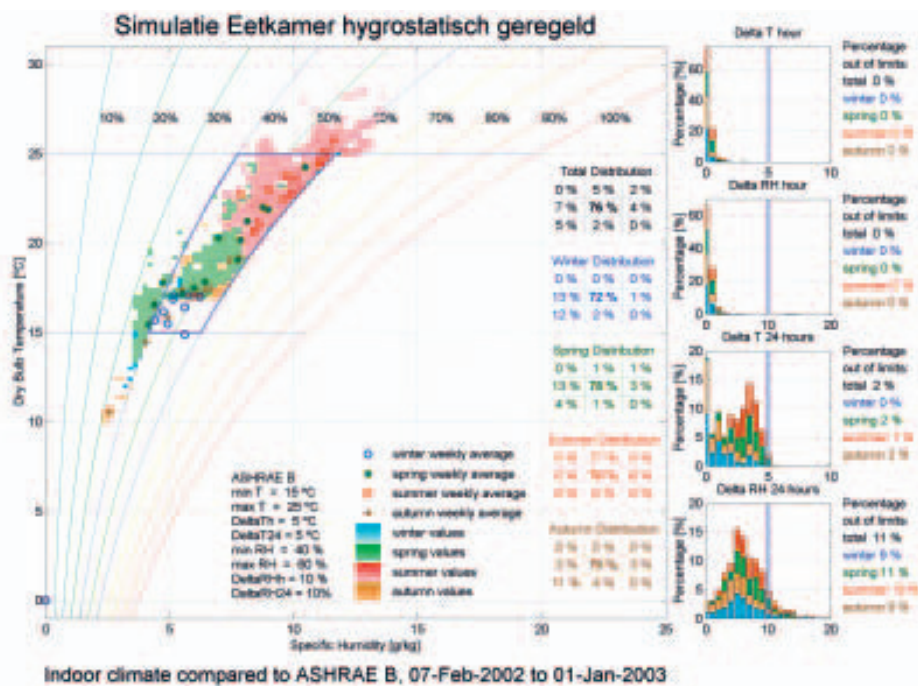
## TESTOPSTELLING

Het effect van een hygrostatische gestookte c.v.-installatie wordt momenteel onderzocht in een testopstelling op de TU. Om een realistischer beeld van de effecten na aanpassing van de regeling te verkrijgen, zal er tevens een testopstelling in

een gedeelte van het Jachthuis St.Hubertus komen. Tijdens deze tests wordt het binnenklimaat gedurende een jaar nauwkeurig gemonitord. Gemeten worden de luchtcondities, de oppervlaktetemperaturen en de zonninstraling van het testvertrek. Ook wordt het schakelgedrag van de regeling gemonitord. Indien deze tests in het Jachthuis een gunstig resultaat hebben, wordt mogelijk de regeling van de c.v.-installatie aangepast, zodat er niet alleen conventioneel naar comfort gestookt kan worden, maar tevens op basis van relatieve luchtvochtigheid.

## LITERATUUR

- [1] Jütte, B.A.H.G., 1994. Passieve conservering; klimaat en licht. Centraal Laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap; ISBN: 90-72905-33-4
  - [2] Neuhaus E., Schellen H., 2004. Jachthuis St.Hubertus: Vooronderzoek naar het binnenklimaat. TU Eindhoven Fago rapportnr. 04.94.K
  - [3] Staniforth, S., Hayes B., Bullock L., 1994. Appropriate technologies for relative humidity control for museum collections housed in historic buildings, The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC) London. pag. 123-128.
  - [4] ASHRAE, 1999. Heating, ventilating and Air-Conditioning Applications, Chapter 20, museums, libraries and archives. ISBN 1-883413-72-9
- Haak, B., Siegers R., 2003. Het Jachthuis Sint Hubertus, van ontwerp tot monument. ISBN: 90-807875-1-5



Figuur 9: De simulatieresultaten van de Eetkamer indien deze ruimte hygrostatisch geregeld verwarmd wordt, weergegeven in een Klimaat Evaluatie Kaart.