

Eigenschappen GeoFort benut voor beter klimaat

Het klimaat van het GeoFort in Herwijnen is aanzienlijk verbeterd met zonwerende folie en meer ventilatie. De warmtevraag is wel toegenomen, maar actieve koeling was niet nodig. Zonder nader onderzoek zou de eigenaar van het fort gekozen hebben voor actieve koeling in elke ruimte.

GeoFort in Herwijnen is onderdeel van de Nieuwe Hollandse Waterlinie en tegenwoordig in gebruik voor bijeenkomsten en (les)activiteiten in het teken van kaarten en navigatie. Het GeoFort kampte met comfortklachten: te koud in de winter en te warm in het tussenseizoen en met name in de zomer bij een hoge bezetting. LBPSIGHT heeft in samenwerking met de architect BunkerQ en de installatieadviseur Adviesburo Tolsteeg de mogelijkheid onderzocht om het binnenklimaat te verbeteren door gebruik te maken van de gebouweigenschappen.

Dik grondpakket

Het hoofdgebouw van het GeoFort omvat twee tegenover elkaar gelegen kazernes van twee bouwlagen die met elkaar zijn verbonden door een met glas overkapte kazernestraat, met daarin meerdere rookluiken. De beide kazernes liggen grotendeels onder een dik grondpakket ($d > 3$ m) en hebben slechts aan één zijde een gevel, waarin zich een aantal kleine beweegbare kozijnen met enkel glas bevinden. De muren hebben diktes van circa 1 meter. Samen met het dikke grondpakket beschikt het hoofdgebouw over

een aanzienlijke thermische massa. De bezetting van de verschillende ruimtes fluctueert sterk.

Nieuw evenwicht

Bij een fort denkt iedereen al snel aan een koud en vochtig gebouw. Bij leegstand is dit zeker het geval. Maar na de ingebruikname en structurele verwarming kruipt het fort langzaam naar een nieuw evenwicht rondom de ingestelde binnentemperatuur (20-21 °C). Door de grote thermische massa kan het bijna twee jaren duren voordat het nieuwe evenwicht is bereikt. Condensatie en schimmelvorming vormen daarom juist in de eerste twee jaren na de ingebruikname een risico, als de omringende thermische massa nog niet volledig is opgewarmd. Deze periode kan aanzienlijk langer duren bij meer incidenteel gebruik. De traagheid van de grote thermische massa is in ieder geval sterk bepalend voor het binnenklimaat.

Ventilatie en thermische massa

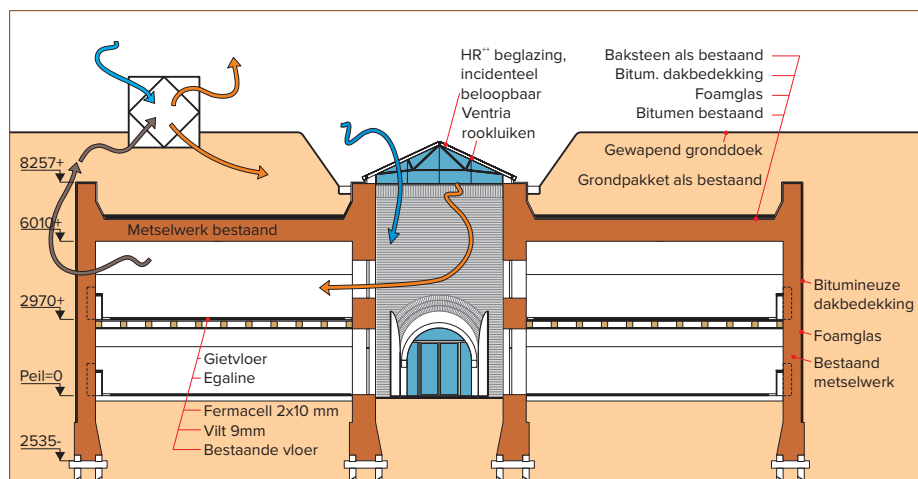
In het onderzoek naar klimaatverbetering is de invloed van deze grote thermische massa, zowel voor de opslag van warmte

als voor de warmteweerstand, nauwkeurig meegenomen. De mechanische ventilatie is beschouwd als gegeven, omdat aanpassingen zoals het omdraaien van de ventilatierichting technisch niet (eenvoudig) haalbaar zijn.

Een eerste verbetering kon direct worden uitgevoerd: het verlagen van het CO₂-setpoint voor de afvoerventilatoren, waardoor deze sneller naar de hoogste ventilatiestand gaan. Een tweede verbetering betrof de inzet van de rookluiken voor spuiventilatie van de kazernestraat. Hiermee kan de kazernestraat in de zomer beter op een comfortabele temperatuur worden gehouden. Dit heeft direct gevolgen voor de aangrenzende ruimtes die hun verse lucht betrekken uit de kazernestraat. Een derde verbetering is het verhogen van het setpoint voor verwarmen van 19 °C naar 21 °C om comfortklachten in de winter te vermijden. Het setpoint was juist laag gehouden om comfortklachten in de zomer te beperken.

EnergyPlus

De vraag was of deze maatregelen voldoende waren om het hele jaar door te zorgen voor een goed of voldoende binnenklimaat in de afzonderlijke ruimtes met verschillend gebruik, gegeven de groeiambitie van GeoFort. De toekomstige bezettingspatronen verschillen per seizoen: 's winters minder en 's zomers meer bezoekers. De gedetailleerde informatie over het gebouw, de installaties en het gebruik is gemodelleerd in EnergyPlus. Daarbij is in het bijzonder aandacht besteed aan de realistische modellering van de natuurlijke ventilatie via de rookluiken en via kieren in de gebouwschil en van de uitwisseling van lucht tussen de verschillende ruimtes onderling via trapgaten en (tijdelijk) geopende deuren. EnergyPlus beschikt hiertoe over een zogeheten airflow network gebaseerd op



AIRNET (zie publicatie G.N. Walton 'AIRNET – A Computer Program for Building Airflow Network Modeling', NISTIR 89-4072, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, 1989). Hoewel geavanceerd blijft het een simpele weergave van de werkelijkheid.

Resultaten

Voor de verbetering van het klimaat zijn een aantal varianten doorgerekend (zie tabel 1 verderop). De belangrijkste uitkomsten voor ruimte 21 en de kazernestraat staan in tabel 2 en in tabel 3. In ruimte 21 zijn op de drukste momenten 50 personen aanwezig. Vanuit het oogpunt van gezondheid is dat alleen gedurende beperkte tijd per dag mogelijk, omdat in deze situatie slechts 16 m³/h verse lucht per persoon met de huidige installatie beschikbaar is. Daarmee raakt de groeiambitie van GeoFort de grenzen van wat het fort aankan bij de huidige ventilatie.

Verlaging van het setpoint voor natuurlijke ventilatie van de kazernestraat van 28 °C naar 23 °C leidt tot een factor 6 meer natuurlijke ventilatie daar. In de zomer daalt daardoor de gemiddelde luchttemperatuur in de kazernestraat van 24,4 °C naar 22,6 °C. In ruimte 21 daalt hierdoor de gemiddelde luchttemperatuur van 24,2 °C naar 22,9 °C in de zomer. Door zonwerende folie op het glazen dak van de kazernestraat daalt in de zomer in ruimte 21 de gemiddelde luchttemperatuur verder van 22,9 °C naar 21,4 °C. Dit kan ook met actieve koeling in ruimte 21 worden bereikt. Extra natuurlijke ventilatie en zonwerende folie in de kazernestraat zijn voldoende om de temperatuurstijging in ruimte 21 door de hogere bezetting op te vangen. Zonder deze maatregelen loopt de luchttemperatuur daar op tot ruim 28 °C in de zomer en met deze maatregelen tot iets boven de 26 °C.

Stookseizoen

Door de zonwerende folie daalt ook in het stookseizoen de gemiddelde luchttemperatuur in de kazernestraat: van 18,5 °C naar 17,1 °C. De kazernestraat zelf wordt daardoor minder bruikbaar voor activiteiten in het stookseizoen (zonder dat daar ook verwarming wordt geïnstalleerd). Ook vraagt deze verlaging dan meer verwarming in de aangrenzende ruimtes. De warmtevraag stijgt met 75% (30 GJ). Dat is enerzijds jammer maar biedt anderzijds in het GeoFort de moge-

Een gebouw kan meer dan je denkt

Om in een gebouw een comfortabel binnenklimaat te realiseren wordt te gemakkelijk geleund op de inzet van klimaatinstallaties. Terwijl natuurlijke ventilatie en het beter benutten van gebouweigenschappen ook al een grote bijdrage kunnen leveren.

De rol van het gebouw zelf in het bereiken van een goed binnenklimaat (en het terugdringen van het energieverbruik) staat door de toegenomen installatietechniek niet langer meer op de voorgrond bij het ontwerp. Terwijl gebouwen zelf over eigenschappen beschikken die, mits juist ingezet, kunnen bijdragen aan een goed binnenklimaat en een lager energieverbruik. Het voordeel voor de gebouweigenaar is een lagere investering in installatietechniek en een beter te beheren gebouw. Hoe dramatisch deze ontwikkeling naar meer installatietechniek en minder gebouwkwaliteit uitpakt, blijkt bijvoorbeeld uit de recente renovatie van de Katreinetoren in Utrecht. Het pand uit de jaren 90 heeft veel glas in de gevel, waardoor veel warmte binnenkomt. Bij de renovatie is niet de gevel aangepakt maar de klimaatinstallatie. Om een goed binnenklimaat te bereiken was voor het klimaatplafond een koelcapaciteit van 98 W/m² vereist (zie ook artikel 'Klimaatplafond combineert koeling met geluidsabsorptie', Bouwwereld 1, 2014). Daarmee kan op elke vierkante meter vloer de warmte van maar liefst tien spaarlampen (of twee gloeilampen) worden weggekoeld.

Gebouweigenschappen benutten voor binnenklimaat

Het benutten van gebouweigenschappen voor een goed binnenklimaat was vroeger van belang omdat er nog amper installatietechniek beschikbaar was. Gebouweigenschappen in die tijd waren overigens niet zaligmakend als het gaat om het comfort. Enkel glas, weinig isolatie en kieren deden afbreuk aan het comfort. Dat is het gat geworden waarin de klimaatinstallaties zijn gesprongen. Voor nieuwbouw is de kwaliteit van de gebouwschil sterk verbeterd wat betreft isolatie, kierdichting en zonwering. Is het dan ondertussen nu wel mogelijk om voornamelijk met gebouweigenschappen een goed of desnoods voldoende binnenklimaat te bereiken? Voor veel gebouwen kan deze vraag naar het oordeel van LBPI SIGHT positief worden beantwoord. Voor gebouwen met strenge eisen aan het binnenklimaat (musea, ziekenhuizen, etc.) of sterk fluctuerende bezetting (theaters) blijft installatietechniek belangrijk. Maar ook voor dergelijke gebouwen geldt dat in eerste instantie de gebouweigenschappen zouden moeten worden benut voor een goed binnenklimaat.

Het benutten van de gebouweigenschappen is niet enkel voorbehouden aan nieuwbouw met een kwalitatief goede gebouwschil. Ook en misschien wel juist in de bestaande bouw zijn gebouweigenschappen te vinden die kunnen helpen bij het realiseren van het gewenste comfort.

Welke gebouweigenschappen leiden tot welke verbetering van het binnenklimaat en/of welke vermindering van het energieverbruik? Deze vraag kan alleen goed worden beantwoord als de interactie tussen het buitenklimaat, de gebouwschil, het gebruik en de eventuele installatietechniek nauwkeurig wordt gemodelleerd. Een dergelijk model benut bij voorkeur fysica hiervoor en vermijdt zoveel mogelijk empirie. Bij de huidige, (zeer) energiezuinige ontwerpen en ook bij revolutionaire ontwerpen is het sowieso onmogelijk om terug te vallen op (ruime) ervaringen.

1 // Doorsnede van het hoofdgebouw. De gebalanceerde mechanische ventilatie vindt plaats via centrale inblaas in de kazernestraat en door afzuiging uit de afzonderlijke ruimtes via de achterwand (met warmteterugwinning). De wand tussen de kazernestraat en de afzonderlijke ruimtes is daarvoor voorzien van grote openingen onder de kozijnen, die een aanzienlijk geluidlek vormen. De maximale afvoer is 800 m³/h per ruimte en is in sommige ruimtes beperkt CO₂-gestuurd (via twee ventilatiestanden). Natuurlijke ventilatie is alleen mogelijk via het dak van de kazernestraat.

Karakter van bepalende gebouweigenschappen

Isolatie verhoogt de warmteweerstand van de gebouwschil. In het stookseizoen verdwijnt daardoor minder warmte door de gebouwschil (via transmissie). De isolatie resulteert in een hogere oppervlaktetemperatuur aan de binnenzijde, wat het comfort ten goede komt.

Kierdichting vermindert het ongecontroleerde transport van (opgewarmde) lucht door de gebouwschil. Daardoor verdwijnt minder warmte en worden gelijktijdig tochtklachten voorkomen. Isolatie houdt niet alleen warmte binnen, maar ook warmte buiten. Dit gegeven kan in de zomer worden benut om het gebouw (zolang mogelijk) koel te houden. Dit geldt vooral voor gebouwen met een geringe interne warmtelast.

De **oriëntatie** van het gebouw en in het bijzonder van het glas alsmede het **glaspercentage** helpen om passieve zonne-energie te benutten. In het midden van het stookseizoen is het voordelig om zoveel mogelijk zonnewarmte te benutten. In de zomer en in de tussenseizoenen ontstaat snel een overschot aan warmte. Het gevolg is een (te) hoge binnentemperatuur. Thermische massa, zonwering en beweegbare ramen (spuien) kunnen worden ingezet om de binnentemperatuur te beheersen.

Thermische massa buffert tijdelijk warmte. De opname en afgifte van warmte zijn autonoom: ze kunnen niet door de gebruiker worden beïnvloed. De warmte kan zowel een externe bron (zon) als een interne bron (personen, apparatuur) zijn. De afgifte van warmte volgt de opname met een zekere vertraging en spreiding. De vorm van de thermische massa dient zo te worden gekozen dat, gegeven het gebouwgebruik, de buffercapaciteit en de afgifte van warmte worden geoptimaliseerd voor het binnenklimaat. De autonome afgifte van warmte leidt tot een iets hoger warmteverbruik. Daar staat een beter binnenklimaat tegenover door de opvang van warmtepieken.

Zonwering helpt om zonnewarmte buiten te houden. Zonwering aan de buitenzijde van het glas is effectiever dan zonwering aan de binnenzijde. Zonwering in beweegbare vorm (screens, etc.) die de hoeveelheid binnenvallend zonlicht kan regelen, is beter dan zonwering in vaste vorm (zonwerend glas). Maar ook beweegbare zonwering is niet in staat om het binnenklimaat zelf te regelen, omdat ze afhankelijk is van de zon. Zonwering voorkomt de noodzaak voor actieve koeling, al dan niet met behulp van (spui)ventilatie. Automatische zonwering wordt meestal gestuurd op zonstraling. Om thermische massa te benutten moet de zonwering (ook) worden gestuurd op binnentemperatuur.

Beweegbare ramen maken het mogelijk om grote hoeveelheden lucht te verplaatsen van buiten naar binnen in korte tijd. Met het luchttransport wordt koude toegevoerd (en warmte afgevoerd). Door bij het ontwerp aandacht te besteden aan positionering en fijninstelling kunnen te openen ramen een relevante rol spelen bij de temperatuurbeheersing in ruimten.

lijkheid voor het beter benutten van de bestaande houtpelletketel. Het vermogen van de houtpelletketel is overgedimensioneerd en deze valt daarom regelmatig uit doordat de ketel zijn warmte niet kwijt kan. Het voordeel is verder dat geen actieve koeling nodig is voor een behaaglijk binnenklimaat. Dat scheelt investeringskosten en energieverbruik (jaarlijks 4000 kWh).

Inzicht

Met het inzicht uit de gebouwsimulatie blijven de maatregelen om een goed binnenklimaat te bereiken beperkt tot de toepassing van een zonwerende folie en het beter benutten van de al aanwezige rookluiken voor een effectieve natuurlijke ventilatie van de kazernestraat. Zonder dit inzicht zou de eigenaar van het fort zijn overgegaan op de installatie van zogeheten monoblocks voor actieve koeling in elke ruimte. Deze monoblocks vragen een extra hoge investering door de benodigde doorvoeren voor leidingen en kanalen door de (zeer dikke) wanden en daken. Nog afgezien van de gevolgen voor de monumentale waarde. De monoblocks leiden ook tot hogere kosten van beheer en onderhoud. En doordat ze geluid produceren, veroorzaken ze meer geluidsoverlast in de vergaderruimtes. De huidige geluidsisolatie tussen de kazernestraat en de vergaderruimtes is gering. Met een extra voorzetaam kan dit voldoende worden verbeterd. Deze verbetering is echter zinloos als in de ruimte zelf weer een geluidbron wordt toegevoegd.

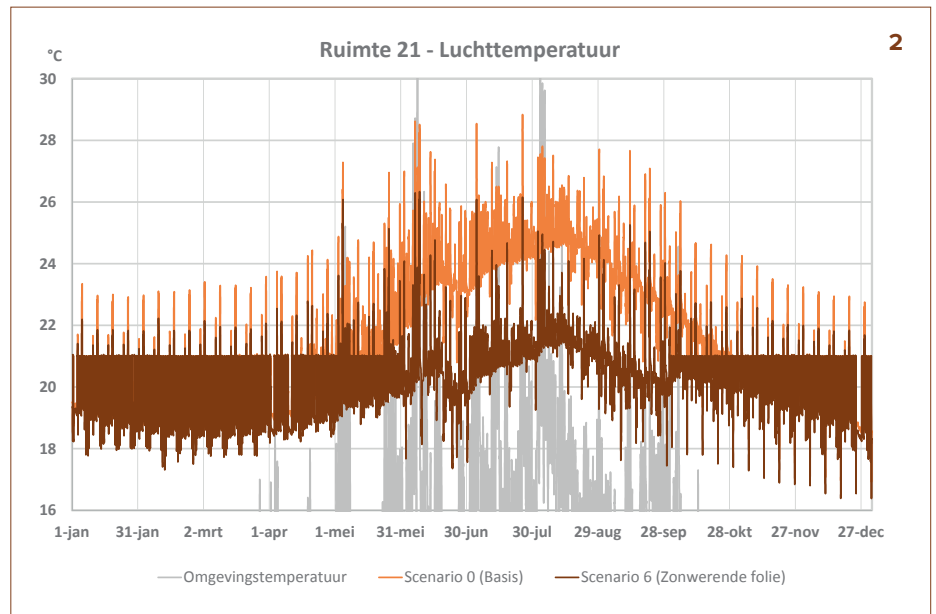
Ook in bestaande bouw zijn gebouweigenschappen te vinden die kunnen helpen bij het realiseren van het gewenste comfort

Raadgevend ingenieursbureau LBPSIGHT stelt regelmatig zijn kennis en ervaring beschikbaar op gebied van bouwfysica, bouwakoestiek en brandveiligheid.

Reacties: www.lbpsight.nl of avb@lbpsight.nl



1



2

1 // De entree van het hoofdgebouw van het GeoFort te Herwijnen. Het gebouw is nagenoeg geheel ingegraven. De oorspronkelijke gebouwdelen liggen aan weerszijden van de kazernestraat met de later toegevoegde glasoverkapping. 2 // Het uurlijks verloop van de luchttemperatuur in ruimte 21 voor de bestaande situatie (scenario 0) en de oplossing met natuurlijke ventilatie en zonwerende folie (scenario 6). De grote thermische massa geeft een duidelijke sinusvorm door het jaar heen. In het stookseizoen wordt deze overdag verstoord door de luchttemperatuur naar 21 °C te brengen, waarna 's nacht de luchttemperatuur weer terugvalt tot de temperatuur van de omringende thermische massa. Door de uurlijkse waarden en de lijndikte van de grafiek is deze fluctuaties alleen te onderscheiden aan de uitersten. Het hele jaar door ontstaat een verstoring door de bezetting die incidenteel de luchttemperatuur tijdelijk nog verder verhoogt tot ruim 28 °C in de zomer en die daarna wederom terugvalt tot de temperatuur van de omringende thermische massa. Door natuurlijke ventilatie en zonwerende folie daalt de maximale luchttemperatuur naar 26 °C. De gemiddelde temperatuur van de thermische massa is ook gezakt en zal bijdragen aan meer warmteopname in de thermische massa bij grote bezetting.

Varianten voor gebouwsimulaties GeoFort

Scenario	Naam	Omschrijving
0	Als bestaand	Als bestaand met toekomstige bezetting. Ventilatie van de kazernestraat (setpoint = 28 °C).
1	Passieve koeling	Meer natuurlijke ventilatie van de kazernestraat (setpoint = 23 °C).
2	Zomernachtventilatie	Scenario 1 en mechanische zomernachtventilatie.
3	Binnenzonwering	Scenario 1 en binnenzonwering kazernestraat.
4	Passief & actief	Scenario 3 en actieve koeling (setpoint = 24 °C).
5	Actieve koeling	Scenario 1 en actieve koeling (setpoint = 24 °C).
6	Zonwerend glas	Scenario 2 en zonwerende folie ($ZTA_{\text{Totaal}} = 0,4$) op de glasoverkapping van de kazernestraat.

De uitkomsten van de gebouwsimulaties voor ruimte 21

		Als bestaand	Passieve koeling	Zomernachtventilatie	Binnenzonwering	Passieve & actieve koeling	Actieve koeling	Zonwerende folie
$T_{\text{lucht,gem;stookseizoen}}$	(°C)	21,2	21,2	21,2	21,1	21,1	21,1	20,9
$T_{\text{lucht,gem;zomer}}$	(°C)	24,2	22,9	23,0	22,7	21,5	21,5	21,4
$TO_{25^{\circ}\text{C}}$	(uur)	307	76	96	69	11	10	11
$TO_{28^{\circ}\text{C}}$	(uur)	9	1	1	1	0	0	0

De uitkomsten van de gebouwsimulaties voor de centrale kazernestraat

		Als bestaand	Passieve koeling	Zomernachtventilatie	Binnenzonwering	Passieve & actieve koeling	Actieve koeling	Zonwerende folie
$T_{\text{lucht,gem;stookseizoen}}$	(°C)	18,5	18,5	18,6	18,5	18,4	18,4	17,1
$T_{\text{lucht,gem;zomer}}$	(°C)	24,4	22,6	22,7	22,7	21,0	20,8	21,0
$TO_{25^{\circ}\text{C}}$	(uur)	1337	138	120	145	19	34	49
$TO_{28^{\circ}\text{C}}$	(uur)	115	46	40	55	5	4	4