

De mythe thermische massa

De Nederlandse en internationale bouwregelgeving spitsen steeds meer toe op 'thermische massa'. Ook voor passieve gebouwen wordt het vaak afgeschilderd als een besparende maatregel op het energiegebruik van klimaatinstallaties.

De effectiviteit van thermische massa is echter afhankelijk van een groot aantal factoren en thermische massa kan zelfs averechts werken op het energiegebruik: een grotere massa moet immers opwarmen en afkoelen.

Ir. C. (Christa) de Vaan, Arup; ir. J. (Jaap) Wiedenhoff MBA, Arup; prof.dr.ir J.L.M. (Jan) Hensen, Technische Universiteit Eindhoven

De term thermische massa wordt vaak in één zin genoemd met energiebesparing, zonder dat dit voor die specifieke situatie is geanalyseerd. Zo is in Nederland het effect van thermische massa in de nieuwe Energie Prestatie Norm (EPN) opgenomen. Daarbij wordt echter geen rekening gehouden met het feit dat bij bepaalde gebouwwormen en gebruiksfuncties deze massa juist een negatief effect heeft op het energiegebruik en dat in zo'n geval vaak het energiegebruik zelfs kleiner is door een verlaagd plafond al dan niet met thermische massa.

Duurzaamheid lijkt zoveel te gaan inhouden als een checklist van maatregelen. Deze maatregelen kunnen echter voor verschillende klimaten, gebruiksfuncties en gebouwwormen niet onder één noemer worden geplaatst en daarom zal ieder gebouw, met verstand, moeten worden geanalyseerd. In dit artikel een uiteenzetting van de voor- en nadelen van thermische massa.

■ WAT IS THERMISCHE MASSA?

In de gebouwde omgeving wordt met het begrip 'thermische massa' bedoeld de capaciteit van een gebouw voor het opslaan en afstaan van warmte. Het effect dat wordt bedoeld met thermische massa wordt in de

praktijk veroorzaakt door de warmtecapaciteit, wat het product is van de massa en soortelijke capaciteit van een materiaal. In dit artikel spreken we eenvoudigheidshalve over massa en een zwaar of licht gebouw.

Hoe hoger de zogenoemde thermisch massa van een gebouw hoe langzamer de temperatuur in een gebouw zal stijgen en dalen. In het algemeen zijn er drie fysische processen waarop thermische massa van invloed is (figuur 1):

- 1.vertraging in het warmtetransport (warmte-transmissie) door ondoorzichtige gebouwwormhullingen (gevels, daken, vloeren) [1];
- 2.vertraging in de omzetting van interne warmproductie naar daadwerkelijk afgegeven warmte [1];
- 3.vertraging in afkoeling en opwarming van een gebouw na een verandering in het setpoint van de binnentemperatuur.

■ DYNAMISCHE VERGELIJKING

Om het totale effect van de thermische massa op de drie fysische parameters uit eerste paragraaf te kunnen bepalen is een (dynamische) simulatie uitgevoerd. Daarbij zijn zowel een zwaar als een licht gebouw met dezelfde isolatiewaarde gesimuleerd in IES Virtual Environment. Klimaatdata voor

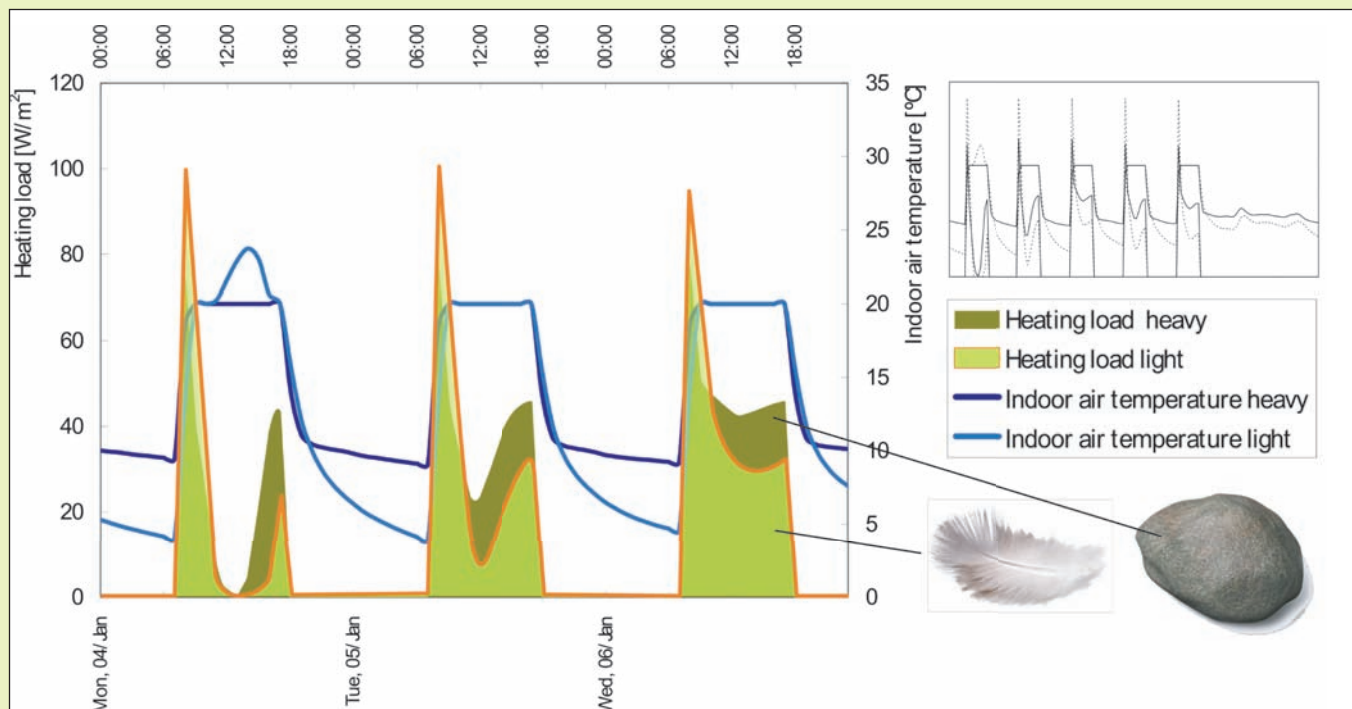
Amsterdam zijn gebruikt voor de simulatie en er is uitgegaan van een kantoorgebouw waarbij de verwarmings- en koelinstallaties 's nachts zijn uitgeschakeld. Met de simulatie kunnen verschillen in het gedrag worden herleid, die kunnen worden doorgeredeneerd naar andere situaties.

Verwarming

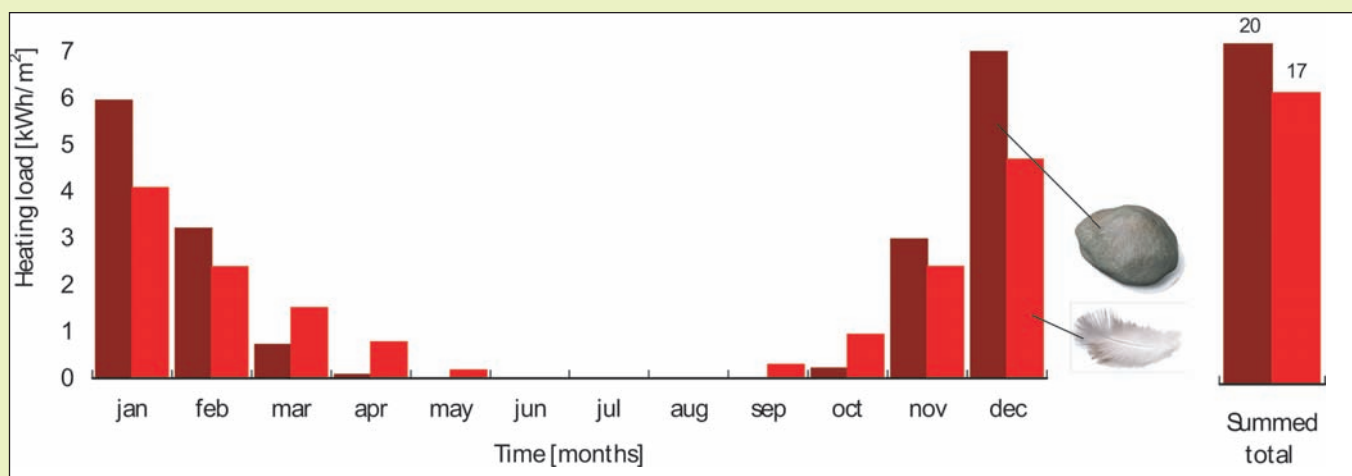
's Avonds koelt een licht gebouw meer af dan een zwaar gebouw dat, gecombineerd met de snellere geleiding van warmte door de constructie, leidt tot een verhoogde verwarmingsvraag (piek) in de ochtend (figuur 2). Het zware gebouw heeft echter in totaal meer energie nodig om 's ochtends zijn gehele massa op te warmen. Dit betekent dat de curve voor de verwarmingsvraag voor het zware gebouw in de ochtend lager maar breder is. De overdag geproduceerde warmte (personen, apparatuur, verlichting en zonnewarmte) zal grotendeels pas in de nacht vrij komen bij een zwaar gebouw. Dit in tegenstelling tot een



-Figuur 1- Drie fysische processen waarop de thermische massa van invloed is.



-Figuur 2- Vergelijking tussen de warmtevraag voor een zwaar en een licht gebouw voor enkele dagen in januari.



-Figuur 3- Vergelijking tussen de warmtevraag per maand voor een zwaar en een licht gebouw.

licht gebouw waar deze warmteproductie vrijwel direct nuttig zal zijn in het verlagen van de warmtelast, dat resulteert in een lager energiegebruik van het lichte gebouw overdag (figuur 2).

In het tussenseizoen (herfst/lente) kan de snelle reactie van het lichte gebouw een negatief effect hebben op het energiegebruik voor verwarming (figuur 3). Als het lichte gebouw in de nacht te ver afkoelt moet het 's ochtends worden opgewarmd tot de binnentemperatuur weer een graad of 20 is.

Koeling

Bij koeling kan de opslagcapaciteit van thermische massa voordelen bieden, aangezien een deel van de warmtelast en het warmtetransport door de gebouwomhulling pas vrij komt gedurende de nacht, als de koelinstallaties zijn uitgeschakeld. Dit resulteert in een lichte verlaging van de koelbehoefte gedurende de nacht (figuur 4).

Daarnaast bestaat in het tussenseizoen het risico dat een licht gebouw, door afkoeling tijdens de nacht, er 's ochtends een verwarmingsbehoefte ontstaat terwijl op dezelfde dag door hoge buitentemperaturen en een hoge warmteproductie er een koelbehoefte ontstaat. Op zeer warme dagen wordt het verschil in energiegebruik tussen de twee concepten kleiner. Als de warmtelast verder toeneemt, wordt de thermische massa een ballast voor het gebouw. De massa raakt als het ware verzadigd waardoor het 's nachts moeilijker zal zijn alle warmte te verliezen en het gedurende de dag meer energie kost om het gebouw te koelen. Op zulke momenten is ook de verhoogde afkoeling van het lichte gebouw tijdens de nacht een voordeel. Figuur 5 laat zien dat het verschil in energiegebruik voor koeling minder wordt in de maanden met hogere temperaturen en groter wordt in de maanden met lagere temperaturen. Nachtventilatie kan effectief zijn in de afkoe-

ling van het gebouw gedurende de zomernacht (figuur 6). Er zijn echter een aantal aspecten waar men bij de keuze voor nachtventilatie op moet letten, zoals gebruikspatronen, veiligheid, windsnelheden, luchtvochtigheid, regen, systeemregeling en onderhoud. En daarnaast dient bij natuurlijke ventilatie te worden onderzocht of deze (met inbegrip van eventueel later geplaatste tussenwanden) voldoende effectief is. Met andere woorden is de luchtstroming en het temperatuurverschil voldoende om het gebouw 's nachts voldoende af te koelen. En in geval van mechanische ventilatie, weegt de energiebesparing voor koeling op tegen het extra energiegebruik voor ventilatie. Op sommige dagen en in sommige klimaatzones is het temperatuurverschil tussen de luchttemperatuur overdag en 's nacht niet groot, bij een gebouw met een grote massa zal het langer duren voor deze massa is afgekoeld, waardoor hoge luchtsnelheden noodzakelijk zijn en natuurlijke

ventilatie niet langer effectief is. In geval van nachtventilatie kan een licht gebouw in een dergelijke situatie voordelen bieden.

CONCLUSIE/DISCUSSIE

In paragraaf 1 zijn de fysische processen besproken waarop gebouwmassa van invloed is. Samenvattend zal de massa van een gebouw op deze fysische fenomenen en daarmee het energiegebruik in sommige situaties een positieve en sommige situaties een negatieve invloed hebben (figuur 7). In koude perioden waarin uitsluitend warmte nodig is, heeft thermische massa overwegend een negatief effect op het energiegebruik voor alle fysische fenomenen. Voor koeling wordt alleen de vertraging in afkoeling negatief beïnvloed door massa en in het tussenseizoen is thermische massa overwegend een voordeel.

In figuur 8 wordt dit seizoensafhankelijke effect grafisch weergegeven. Hierin is schematisch de buitentemperatuur uitgezet tegen de warmtevraag of de koelbehoefte voor een licht gebouw. In het tussenseizoen verbruikt het lichte gebouw meer energie, maar wanneer overwegend koeling of verwarming nodig is zal een zwaar gebouw meer energie gaan verbruiken. Afhankelijk van de frequentieverdeling van de buitentemperatuur in een bepaald klimaat zal de effectiviteit van thermische massa ten opzichte van een licht gebouw veranderen. Zo zal een zwaar gebouw in een relatief koud klimaat minder energie gebruiken dan een licht gebouw.

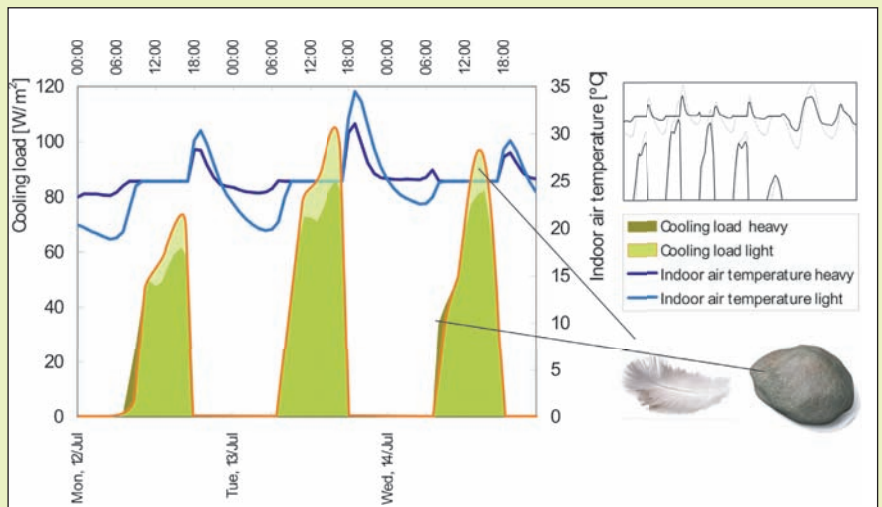
Of het totale energiegebruik voor koeling en verwarming lager of hoger is voor een zwaar gebouw dan voor een licht gebouw kan geen algemene uitspraak worden gedaan, aangezien dit van een aantal aspecten afhankelijk is:

De gebruiksfunctie:

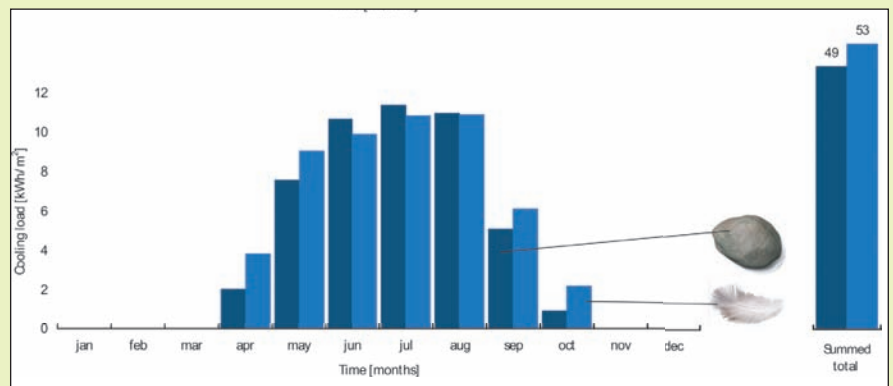
Figuur 7 en 8 gelden voor een kantoorgebouw en veel vergelijkbare gebouwfuncties. Echter in gebouwtypen waar een nachtverlaging of het volledig uitschakelen van het verwarmings- en koelsysteem niet wenselijk is zal een licht gebouw overwegend nadelig zijn. Soms ligt dit nog iets complexer zoals bij een woning waarbij lagere nachttemperaturen voor de slaapvertrekken vaak comfortabel gevonden wordt, maar in de woonruimte juist niet.

Mate van klimatisering:

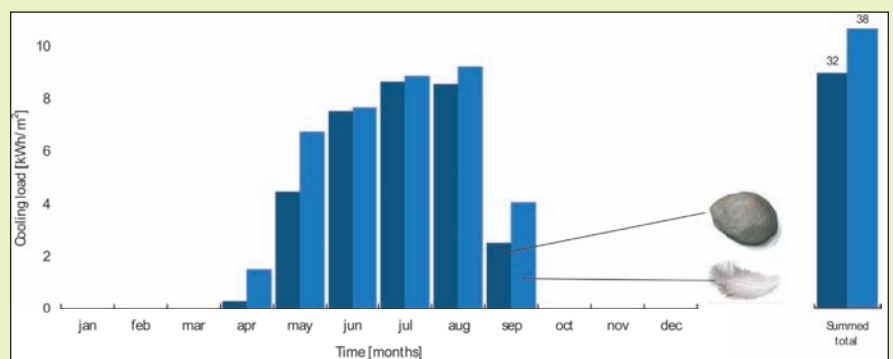
In een ongeklimatiseerd gebouw of gebouwdeel zal het klimaat constanter zijn bij een gebouw met massa. Dit is vanwege dezelfde reden dat het tussenseizoen voor een licht gebouw nadelig is. In een zwaar gebouw worden de variaties in dag en nachttemperatuur uitgemiddeld over de tijd, bij een licht gebouw zullen de variaties in het binnenkli-



-Figuur 4- Vergelijking tussen de koellast voor een zwaar en een licht gebouw voor enkele dagen in juli.



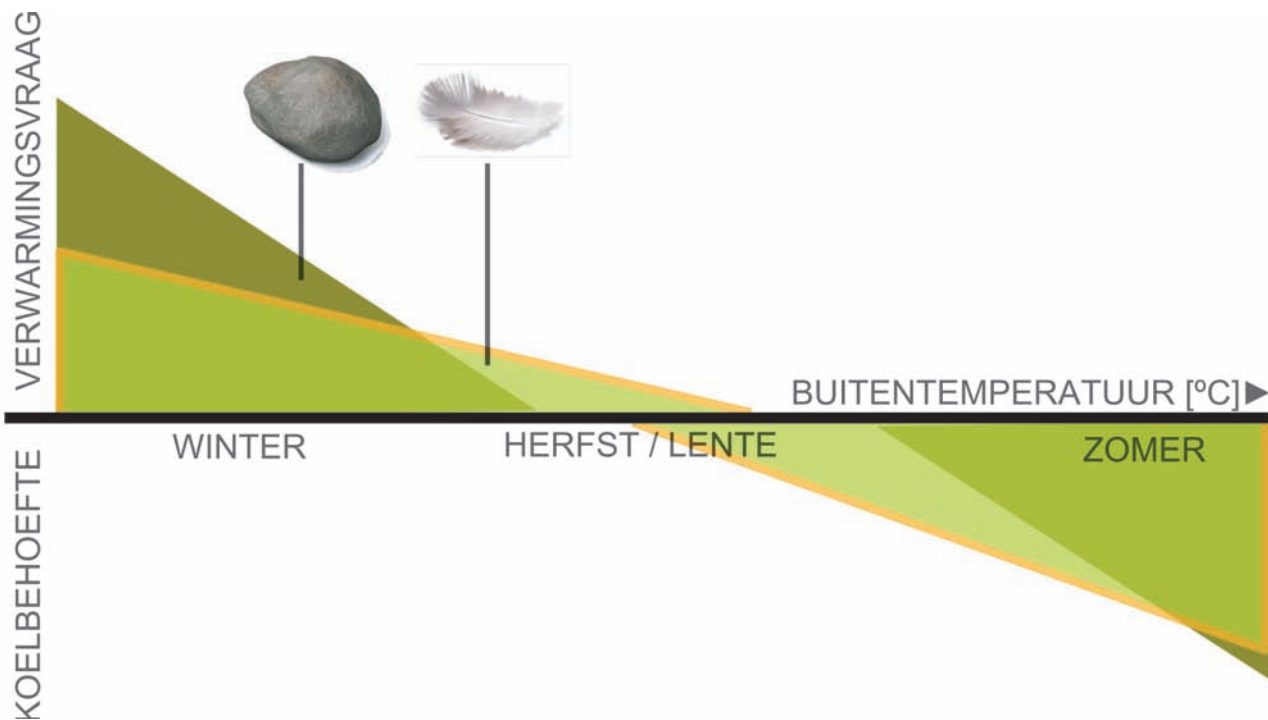
-Figuur 5- Vergelijking tussen de koelbehoefte -zonder nachtventilatie- per maand voor een zwaar en een licht gebouw.



-Figuur 6- Vergelijking tussen de koelbehoefte -met nachtventilatie- per maand voor een zwaar en een licht gebouw.

| | | VERWARMING | KOELING | TUSSENSEIZOEN |
|---|--|------------|---------|---------------|
| 1. VERTRAGING IN WARMTE-TRANSMISSIE | | - | + | + |
| 2. VERTRAGING IN INTERNE WARMTE-LAST | | - | + | + |
| 3. VERTRAGING IN OPWARMING EN AFKOELING | | - | - | + |

-Figuur 7- Indicatie van de invloed van thermische massa op het energiegebruik van een gebouw (- negatief, + positief).



-Figuur 8- Schematische weergave van de warmtevraag en de koelbehoefte voor een zwaar en een licht gebouw ten opzichte van de buitentemperatuur.

maat in grotere mate die van het buitenklimaat volgen. In een ongeklimateerd atrium of in een serre zal thermisch massa daardoor een voordeel bieden.

Het klimaat:

Het klimaat en dan in het bijzonder de buitentemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid zijn sterk van invloed op het effect dat thermische massa op het energiegebruik heeft. In het gematigde en relatief vochtige klimaat van West-Europa ligt daarbij in een grijs gebied.

Latente koeling:

Vanwege de hoge luchtvochtigheid en vochtproductie wordt de lucht in de meeste nieuw gebouwde utiliteit gebouwen ontvochtigd. Hoe groter het aandeel is van deze latente koellast in het totale energiegebruik, des te kleiner is het verschil tussen het totale energiegebruik voor koeling voor een licht en een zwaar gebouw. Daarnaast zal de effectiviteit van nachtventilatie worden verlaagd en kan de absorptie van het vocht door de massa een negatieve invloed hebben op de latente koellast.

Gebouwvorm:

Hoe groter de verhouding van gebouwomhulling en vloeroppervlak hoe gunstiger een licht gebouw. Dit komt doordat er meer warmte- en koudeverlies optreedt, waardoor het seizoen met overwegend koeling of verwarming (en niet het tussenseizoen) leidend wordt in de bepaling van het totaal verbruik.

De klimaatregeling:

De regeling van de klimaatinstallaties is kritischer voor een lichtgewicht gebouw, omdat

het klimaat in een zwaar gebouw constanter is. Er is een slim regelsysteem nodig dat voorkomt dat in het tussenseizoen (mede door nachtventilatie) zowel koeling als verwarming nodig is. Dit is ook de reden dat een licht gebouw lastiger te simuleren is waardoor de resultaten vaak een pessimistischer beeld geven dan de praktijk.

Isolatie waarde:

Door de trend van het in toenemende mate isoleren van gebouwen zullen lichtgewicht gebouwen meer voordelen krijgen. Dit komt doordat het tussenseizoen minder van belang wordt op het energiegebruik van het lichte gebouw en de koeling van zware gebouwen kritischer wordt. De interne warmte die ontstaat door verlichting, mensen, apparatuur en door externe warmtetoevoer (zonnewarmte) blijft in het gebouw en zal in vele gevallen (gekoeld) moeten worden afgevoerd. In de nacht koelt een goed geïsoleerd zwaar gebouw weinig af.

Hoge interne warmtelast:

Bij een hoge interne warmtelast treedt hetzelfde principe op. De gebouwmassa zal sneller verzadigen en de benodigde energie om een zwaar gebouw af te koelen is hoger.

Een duurzaam gebouw en systeem ontwerpen is meer dan het invullen van checklisten. Daarbij moet de technische fysische achtergrond worden begrepen en moet er innovatief en niet in hokjes worden gedacht. Het technische gebouwconcept en het gebouwontwerp dienen met elkaar in harmonie te zijn. Zo moeten de klimaatinstallaties voor een zwaar gebouw anders worden ontworpen dan in een licht gebouw om energie zuinig te kunnen

zijn en zo zal bij een bepaald gebouwtype bij voorkeur een lichte of juiste zware uitvoering passen.

REFERENTIES:

1. ASHREA, Fundamentals Handbook, Residential Cooling and Heating Load Calculations, (2005)
2. CIBSE Guide A, Environmental design, 2006
3. S. Visitsak, An evaluation of the bioclimatic chart for choosing design strategies for a thermostatically controlled residence in selected climates, Texas University, 2007
4. S.V. Szokolay, Introduction to architectural science, the basis of sustainable design, Elsevier Amsterdam, 2008
5. Dornelles, K. A. and Roriz M, Thermal Inertia, Comfort and Energy Consumption in Buildings: A Case Study in São Paulo State - Brazil, International Journal for Housing Science and Its Applications, VOL 28; PART 2, pages 153-162
6. B. Givoni, Man, Comfort, climate analysis and building design guidelines, Energy and Buildings, 18 (1992) 11-23
7. B. Givoni, Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures, Energy and Buildings 28 (1998) 25-32