



# Thermische eigenschappen extensief begroeide daken

## Zijn de claims van isolerende werking houdbaar?

Ontwerpend onderzoek op Hogeschool Rotterdam toont aan dat de thermische eigenschappen die aan extensief begroeide daken worden toegedicht, nog wel eens tegen zouden kunnen vallen. In een vergelijking van meetresultaten, theoretische beschouwingen en praktische berekeningen blijken de voor- en nadelen vaak tegen elkaar weg te vallen. Er valt nog maar weinig te innoveren, zeker als in 2015 de minimale R-waarde voor een dakconstructie omhoog zou gaan naar 5 [SI]. Bij passieve koeling door dakbegroeiing valt wel iets te halen.

Auteur: Christoph Maria Ravesloot

### Niet te vergelijken

De thermische eigenschappen van een begroeid dak zijn afhankelijk van de opbouw van de verschillende lagen, van het vochtgehalte daarin. Tevens zijn zowel de omstandigheden aan de binnenkant van de constructie (binnenklimaat) als aan de buitenkant van de constructie (weersomstandigheden) van invloed. Al tientallen jaren wordt op verschillende manieren aan de thermische eigenschappen van dakbegroeiing gemeten. Door alle bekende metingen uit de literatuur te vergelijken, is een overzicht gemaakt van alle factoren die in de literatuur genoemd worden en van factoren die in de praktijk ooit gemeten zijn. Uit de vergelijking van die metingen blijkt... dat ze niet te vergelijken zijn. Daarna zijn de gegevens die uit het literatuuroverzicht afkomstig zijn, afgezet tegen de huidige gebruikelijke R-waarden en de toekomstige verplichte minimale R-waarde van 5 [SI]. Zowel in een R-waarde-berekening als in een EPC-berekening valt een eventuele positieve bijdrage weg. De bijdrage van passieve koeling, doordat dakbegroeiing de temperaturen

boven het dak sterk vermindert, kan wel significant zijn.

### De thermische eigenschappen van een begroeid dak zijn afhankelijk van de opbouw van verschillende lagen, van het vochtgehalte daarin

#### Het is nooit zomer of winter op het dak

De tabel is bijna oneindig lang en geeft in vele beschrijvingen van kleine submodellen aan welke factoren voor welke bijdrage verantwoordelijk kunnen zijn bij het totale thermische gedrag van substraat en begroeiing. In het onderzoek is gekeken naar deze totale thermische werking, als factoren in hun extreme waarde zouden optreden. Dit wordt een gevoeligheidsanalyse genoemd. De gevoeligheidsanalyse in dit onder-

zoek geeft dus een maat voor de invloed van een bij elkaar horend groepje factoren op het totale thermische gedrag volgens het model. Helaas zijn nog niet alle waarden voor de afzonderlijke factoren bekend. Het theoretische model is dus nauwkeuriger dan in de praktijk gemeten is. Wel blijkt dat in de meeste combinaties van extreme waarden de thermische eigenschappen van begroeide daken niet per se verbeteren. Dat lijkt voor zowel het substraat apart van de begroeiing, als voor substraat en begroeiing opgeteld te gelden. Daarop kwamen de onderzoekers tot de ontdekking dat het beeld van een begroeid dak in de winter- of de zomersituatie niet zomaar overeenkomt met een gemiddeld beeld van al die factoren in hun extreme waarden. De typische zomer- of wintersituatie, waarbij de temperaturen boven het dak duidelijk afwijken ten opzichte van de temperaturen onder het dak, wordt bij een gevoeligheidsanalyse van de theoretische modellen niet zo vaak benaderd. Dat zou dus kunnen betekenen dat de omstandigheden op een extensief begroeid dak zo vaak kunnen veranderen,

Symbol	Variabele	Eenheid	Range
$\sigma_f$	Dichtheid beplanting	-	0-1
$I_s$	Korte-golf straling	$W/m^2$	398-493
$\alpha_f$	Korte-golf albedo van beplanting	-	0-1
$\epsilon_f$	Lange-golf beplanting emissiviteit	-	0-1
$I_{lr}$	Lange-golf straling	$W/m^2$	-
$\sigma$	Stefan-Boltzmann constante	$W/m^2 K^4$	$5,6710 \times 10^{-8}$
$T_f$	Temperatuur beplanting	Kelvin	253-353
$T_g$	Temperatuur substraat	Kelvin	253-353
$\epsilon_g$	Lange-golf substraat emissiviteit	-	0-1
$H_f$	Voelbare warmte flux beplanting	$W/m^2$	-
$L_f$	Latente warmte flux beplanting	$W/m^2$	-

Illustratie 1 Een lijst met variabelen die een rol spelen in de thermische modellering van de beplantingslaag op een begroeid-dakconstructie. De formule is in illustratie 2 weergegeven.

$$F_f = \sigma_f \left[ I_s (1 - \alpha_f) + \epsilon_f I_{lr} - \epsilon_f \sigma T_f^4 \right] + \frac{\sigma_f \epsilon_f \epsilon_g \sigma}{\epsilon_f + \epsilon_g - \epsilon_f \epsilon_g} (T_g^4 - T_f^4) + H_f + L_f$$

Illustratie 2 De wiskundige formule voor het bepalen van de energiebalans van de beplantingslaag op een begroeid dak.

dat er niet zomaar gesproken kan worden van een stabiele of gemiddelde winter- of zomersituatie. In het onderzoek van Hogeschool Rotterdam is de vraag gesteld of er desalniettemin een beeld overblijft van het thermisch gedrag van extensief begroeiende daken waar wel een conclusie aan verbonden kan worden. Die conclusie is er mogelijk wel: als je naar de grote verschillen in meetopstellingen en meetresultaten kijkt, dan valt de grote

diversiteit en dynamiek op. Dit klopt ook met het beeld dat ontstaat uit de theoretische modellen voor het thermisch gedrag.

In het onderzoek zijn alle factoren, op basis van de bandbreedte die gebruikt is in de gevoeligheidsanalyse, beoordeeld op de mate van invloed die deze nog kunnen hebben als er sprake zou zijn van een stabiele of gemiddelde thermische zomer- of wintersituatie. Dan blijven er maar wei-

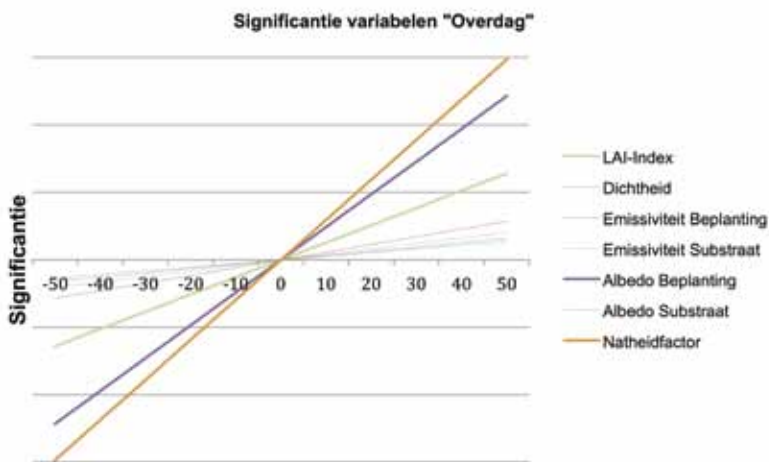
nig factoren over. Bij de wintersituatie dient ook nog verschil te worden gemaakt in overdag- en nachtsituatie, omdat de straling op en uit het dak van invloed zou kunnen zijn.

Met deze factoren moet een ontwerper rekening houden als hij de thermische werking van substraat en begroeiing bij koelbehoefte wil maximaliseren. Nu kan een ontwerper meestal niet zo veel aan de wind veranderen, tenzij de dakvorm of dakrandvorm erop zou worden aangepast. De andere factoren zijn beter te beïnvloeden, bijvoorbeeld door extensief begroeiende daken in die richting verder te optimaliseren. Bij beschouwing van de bandbreedtes bij deze factoren kan een bijdrage aan de totale Rc-waarde van de dakcon-

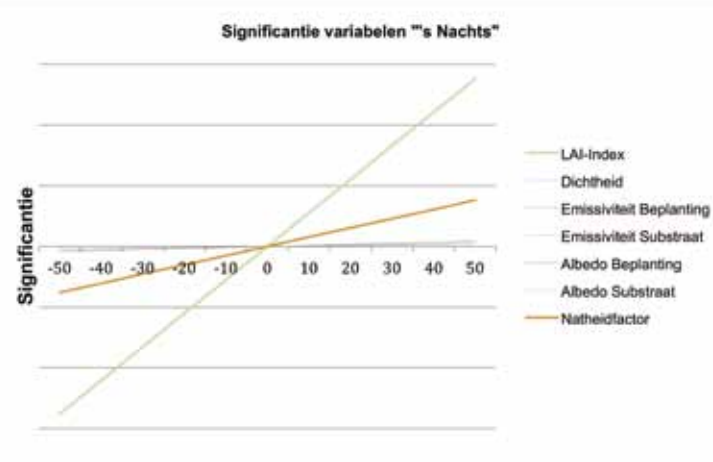


Daktype		binnen temperatuur °C		energieverbruik kWh / m <sup>2</sup> a		
		temp gemiddeld	temp maximum	verwarming	koeling	totaal
zwart dak	0	28,3	30,1	36,0	2,5	38,5
begroeide dak LAI	0,5	26,6	28,3	35,4	0,2	35,6
begroeide dak LAI	2,0	26,3	28,0	36,1	0,1	36,2
begroeide dak LAI	3,5	26,2	27,9	36,2	0,1	36,2
begroeide dak LAI	5	26,2	27,9	36,3	0,1	36,4

Illustratie 3 Thermische eigenschappen van begroeide daken, gedifferentieerd naar LAI (Leaf Area index). De invloed van de LAI is zichtbaar in modelberekeningen, maar niet zo heel groot (naar Faffal I. et al. 2011<sup>1</sup>). De vraag is of dit aandeel in een praktijkmeting tegen de achtergrond van meetnauwkeurigheid overeind blijft.



Illustratie 4 De gevoeligheid van de beplantingslaag voor de overwegende factoren natheidsfactor, Albedo-effect beplanting en LAI-index in een overdagsituatie (Delemarre en Somers, 2012).



Illustratie 5 De gevoeligheid van de beplantingslaag voor de overwegende factoren LAI-index, natheidsfactor, Albedo-effect beplanting en (LAI-index) in een nachtsituatie (Delemarre en Somers, 2012).

structies van een of enkele tienden verwacht worden. Dat is in orde van grootte enkele keren de waarde van de overgangsweerstanden van lucht binnen en buiten. Vanuit die verhouding gezien

zijn het dus geen bijdragen die je zomaar mag verwaarlozen.

### Invloed op Rc en EPC

Als er op een extensief begroeid dak, blijkend uit modellen en metingen, slechts op een beperkt aantal eigenschappen kan worden geïnnoveerd,



Illustratie 7 Bezoekerscentrum De Hoep in Castricum van architect Maarten Min uit het jaar 1992. Bij dit bezoekerscentrum heeft de beplanting en het substraat een bovengemiddelde invloed op de totale Rc-waarde van de constructie, omdat het oppervlak een groot deel van het gebouw beslaat en omdat de constructieve R-waarde in de tijd dat het gebouw ontworpen is, nog niet zo hoog was als nu gebruikelijk is. De EPC-eis voor woningbouw werd in 1994 verlaagd naar 1,2 [-].

<sup>1</sup> Issa Jaffal\*, Salah-Eddine Ouldboukhitine, Rafik Belarbi (2011): Renewable Energy, A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance, LEPTIAB, University of La Rochelle, december 2011

### Omschrijving

Omschrijving	Eenheid	Range
Dichtheid begroeiing-	0-1	
Korte-golf straling	W/m <sup>2</sup>	398-493
Korte-golf albedo van beplanting	-	0-1
Lange-golf begroeiing emissiviteit	-	0-1
Lange-golf straling	W/m <sup>2</sup>	-
Stefan-Boltzmann constante	W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>	5,6710 x 10 <sup>-8</sup>
Temperatuur begroeiing	Kelvin	253-353
Temperatuur substraat	Kelvin	253-353
Lange-golf substraat emissiviteit	-	0-1
Voelbare warmte flux begroeiing	W/m <sup>2</sup>	-
Latente warmte flux begroeiing	W/m <sup>2</sup>	-
Windless exchange coëfficiënt	W/m <sup>2</sup>	2,0
Leaf Area Index	-	0-6
Luchtdichtheid tussen begroeiing	Kg/m <sup>3</sup>	-
Specific heat of air at constant pressure	J/kg K	-
Bulk Transfer coëfficiënt	-	0,01-0,0155
Windsnelheid oppervlakte begroeiing	m/s	1-100
Luchttemperatuur tussen de begroeiing	K	253-353
Latente warmte van verdamping	J/Kg	-
Begroeiing oppervlakte natheid factor	-	0-1
Mixing ratio van de lucht bij de begroeiing oppervlakte	-	0-1
Verzadiging mixing ratio bij temperatuur begroeiing	-	0-1
Korte-golf albedo van substraat	-	0-1
Voelbare warmte flux substraat	W/m <sup>2</sup>	-
Latente warmte flux substraat	W/m <sup>2</sup>	-
Thermische geleiding van substraat t.p.v. oppervlakte	W/mk	-
Dikte substraat	m	0,08-0,15
Temperatuur net onder substraat	K	253-353
Luchtdichtheid t.p.v. substraat	Kg/m <sup>3</sup>	-
Bulk transfer coëfficiënt van de voelbare warmte	-	-
Bulk transfer coëfficiënt for latent heat near the grond	-	-
Mixing ratio van de lucht bij het substraat oppervlakte	-	0-1

Illustratie 6 De lijst met factoren die in de modelering van thermische eigenschappen van substraat en begroeiing zijn gebruikt.

is dan te bepalen hoeveel bijdrage te verwachten valt aan de totale Rc-waarde van een dakconstructie en aan de EPC-berekening met die Rc-waarde? De Rc-waarden van twee verschillende vegetatiedaken zijn uitgerekend. Eén met een substraatsamenstelling met dikte 80 mm met een toegevoegde:  $R = 0,45 \text{ m}^2\text{K/W}$ , en een tweede met substraatsamenstelling dikte 80 mm met een toegevoegde:  $R = 0,26 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Beide zijn met water verzadigd, de drainagelaag is 25 mm met luchtpouw.  $R = 0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Andere factoren zijn contant aangenomen. Deze waarden zijn voor de wintersituatie ingevoerd in EPC-software (ENORM). Bij een EPC van 0,60 [-]

reageert de berekening niet op veranderingen in de R-waarde voor de dakconstructie. Bij een uitgangspunt van  $\text{EPC} = 1,30$  [-] reageert de EPC naar 1,31. Bij  $\text{EPC} 2,[-]$  65 naar 2,67. De bewering dat vroeger, bij lagere EPC en bij lagere Rc-waarden voor het dak, de isolerende werking van invloed was, wordt bevestigd. Maar na de verlaging van EPC onder 1,3 valt de invloed weg. Ook mensen die nog nooit een EPC-berekening gemaakt hebben, kunnen inzien dat een dergelijke kleine toevoeging aan de Rc-waarde van een dankconstructie in een EPC-berekening wegvalt.

Dit artikel is gebaseerd op afstudeerwerk van Erik Huang, Marc Delemarre en Pepijn Somers van Hogeschool Rotterdam in de periode februari tot augustus 2012. Zij hebben hun onderzoek samen uitgevoerd en hebben daarvoor contacten onderhouden met de MKB-leden van het SIA-RAAK-MKB-onderzoek Classificatie en implementatie technische eigenschappen Begroeiende Daken van Hogeschool Rotterdam, kenniscentrum Sustainable Solutions, Lectoraat Innovatie Bouwproces en Duurzaamheid.

### Bronnen:

- Delemarre M, Somers P. (2012), De isolerende werking begroeiende daken in de zomer, isolerend vermogen begroeiende daken, fictie of feit? Hogeschool Rotterdam Sustainable Solutions RDM Campus, afstudeerverslag lectoraat Innovatie Bouwproces en Duurzaamheid, SIA-RAAK-MKB-onderzoek Classificatie en implementatie technische eigenschappen begroeiende daken, augustus 2012;
- Huang, E. (2012), Thermische werking van begroeiende daken in de winter, Hogeschool Rotterdam Sustainable Solutions RDM Campus, afstudeerverslag lectoraat Innovatie Bouwproces en Duurzaamheid, SIA-RAAK-MKB-onderzoek Classificatie en implementatie technische eigenschappen begroeiende daken, augustus 2012;
- Issa Jaffal\*, Salah-Eddine Ouldboukhitine, Rafik Belarbi (2011), Renewable Energy, A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance, LEPTIAB, University of La Rochelle, december 2011.



Auteur dr. ds. ir. Christoph Maria Ravesloot is lector Innovatie Bouwproces en Duurzaamheid bij het instituut Sustainable Solutions op RDM Campus van Hogeschool Rotterdam.