

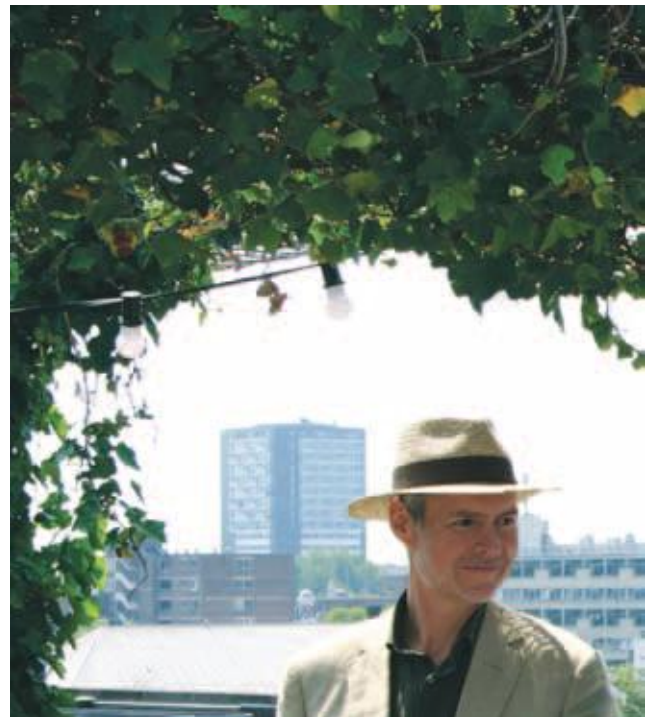
Begroeide daken isoleren niet

Na dertig jaar is de twijfel weggenomen: begroeide daken hebben onder Nederlandse weersomstandigheden een verwaarloosbare isolerende werking. Uit onderzoek op Hogeschool Rotterdam naar technische eigenschappen van extensief begroeide daken blijkt dat de factoren die bijdragen aan isolerende werking alleen op slecht geïsoleerde daken enige betekenis zullen hebben. Hoeveel dat is, zal nooit in een gemiddelde te berekenen zijn. Daarvoor zijn de omstandigheden op begroeide daken te dynamisch en te veranderlijk. Hoe is dat onderzoek uitgevoerd en waarom heeft het dertig jaar geduurd voordat dit bekend werd?

Christoph Maria Ravesloot, Hogeschool Rotterdam

Wat werd dertig jaar lang beweerd? Vanuit praktisch oogpunt is het eenvoudig voor te stellen dat een laag droog substraat met daarin gewortelde planten isolatiewaarde kan toevoegen aan een dak. Immers: planten groeien ook op minerale wol-platen, waarom dan niet een dergelijk isolatiemateriaal op het dak gelegd en de planten laten groeien? Rond de invoering van het Bouwbesluit in 1992 is dat een aantal keren in Nederland gebeurd. Het mooiste voorbeeld staat in de Romolenpolder in Haarlem. Architect Renz Pijnenborgh, de nestor van de grasdaken in Nederland, bouwde daar een aantal woningen in een gebogen rij, die zijn voorzien van een grasdak. Aan dit dak werd een Rc-waarde toegekend van 2,5, m²K/W zodat aan de toenmalige eisen van het Bouwbesluit zou kunnen worden voldaan. Zowel de drainagelaag van 10 cm steenwol als de substraatlaag en vegetatie zouden opgeteld deze isolatiewaarde realiseren.

Uit onderzoek, dat in die tijd sporadisch uitgevoerd was, bleek dat op niet geïsoleerde daken inderdaad een bijdrage aan isolerende werking van de constructie door substraat en beplanting verwacht mocht worden. Deze was naar de ervaring van de onderzoekers echter niet vergelijkbaar met de waarde van een laag minerale wol. Vanaf 1992 is op een



Christoph Maria Ravesloot, Hogeschool Rotterdam.



dak van een nieuwbouwwoning minimaal een R-waarde van $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ verplicht aan te brengen. Vanaf dat moment kan al geen toegevoegde isolerende waarde van substraat met vegetatie meer verwacht worden, omdat de dakconstructie al geïsoleerd is. Het minimale isolerende vermogen van de substraatlaag en de vegetatie valt ruim weg te strepen tegen de waarde van isolatie in de constructie.

Stilstaande lucht en afstromend water

Het uitgangspunt van een minerale wol als substraat met daarop vegetatie, is een droge, stilstaande luchtlaag en snel afstromend water, mocht er neerslag op de begroeiing vallen. De hoeveelheid stilstaande lucht is echter nauwelijks te voorspellen, berekenen of meten ten opzichte van de mate van doorworteling door verschillende planten, zoals grassen. Daarnaast voert de afwatering, afhankelijk van de hellingshoek, mogelijk ook warmte mee van de onderliggende geïsoleerde constructie.

De dynamische processen die in een substraatlaag en vegetatielaag van een begroeid dak optreden, blijken in de praktijk nauwelijks goed te meten en ook niet tot een gemiddelde R-waarde terug te rekenen. Er zal op enig moment best wel een droge laag ontstaan die bijdraagt aan een isolerende werking. Echter, die zal niet kunnen compenseren voor warmteverlies als gevolg van afstromend water na neerslag. Maar ook dat energieverlies is niet te berekenen of te meten.

Standaard is niet handig

Ondanks deze kennis, is in de praktijk de gedachte blijven hangen dat begroeide daken bijdragen aan isolatie van de hele dakconstructie. Het was een uitdaging om met berekeningen en metingen aan te tonen dat begroeide daken wel een bijdrage zouden kunnen leveren.

Daarbij stonden drie hinderpalen in de weg omdat:

- A** er geen duidelijke bepalingsmethode voor het berekenen en meten van isolerende werking van dakbegroeiing is. Welke methode je moet kiezen is dus niet duidelijk. Als het per type opbouw voor dakbegroeiing, met nauwkeurig omschreven eigenschappen van substraat en begroeiing, wel mogelijk zou zijn om een berekening of zelfs een meting te maken van een eventueel isolerende werking, dan zou dat niet vergelijkbaar zijn met andere berekeningen en metingen.
- B** het niet vergelijkbaar zijn van verschillende opbouwen te vermoeden geeft dat de afzonderlijke bepalingen van een gemiddelde waarde, binnen uitzonderlijke dynamische omstandigheden, lastig te maken zijn en waarschijnlijk onnauwkeurig en onbetrouwbaar zullen zijn. En waarom zou je de isolerende werking van een type dakbegroeiing A willen weten en kopen, als deze niet vergelijkbaar is met de isolerende werking van dakbegroeiing type B? Dat komt niet betrouwbaar over. De opdrachtgever kan er niets mee en de aanbieder ook niet.
- C** een eenduidige bepalingsmethode waarschijnlijk niet voor alle denkbare opbouwen voor dakbegroeiing passend zal zijn, waardoor de standaard toch weer verlaten zal worden. Innovatieve oplossingen zouden worden uitgesloten, alleen maar omdat het isolerend vermogen met de standaard bepalingsmethode niet gemaakt kan worden. Waar hebben we dit eerder meegemaakt?

Hoe is dan ooit berekend of gemeten? Er zijn niet veel wetenschappelijke metingen van thermische effecten van begroeide daken in de wereld bekend. Dat heeft waarschijnlijk te maken met de hoge complexiteit en daarmee gepaard

BEGROEIDE DAKEN

gaande kosten van een meetopstelling. Een begroeid dak met onderliggende constructie moet op een groot aantal plaatsen van thermische sensoren worden voorzien, om de temperaturen op verschillende plaatsen in het dak te kunnen meten. Dergelijke gegevens geven een afgeleide maat voor de warmte die door de constructie gestroomd moet zijn, om de gemeten temperatuurverschillen verklaarbaar te maken. Echter, de afgeleide verklaring is gebaseerd op de theoretische aanname dat de warmte alleen in de richtingen tussen de meetpunten stroomt en dat er geen warmtestromen dwars op deze richtingen stroomt of dat er tussen twee meetpunten warmte bijkomt of verdwijnt. En dat kan door de dynamische omstandigheden op een begroeid dak wel degelijk gebeuren. Theoretisch is het aanneembaar dat de dynamiek zo groot zal zijn, dat er geen sprake zal zijn van het meten van lineaire stromingen tussen de meetpunten.



Onvergelijkbare resultaten van metingen

De enige oplossing zou een uitgebreid driedimensionaal netwerk van meetpunten kunnen zijn. De tweedimensionale metingen die wel gemaakt zijn, geven echter duidelijk aanwijzingen dat de toegevoegde isolerende werking van een begroeid dak op de bestaande geïsoleerde constructie verwaarloosbaar zal zijn. Dus 3D meten zal daaraan niet veel veranderen, hoogstens aan de nauwkeurigheid waarmee dat vastgesteld kan worden.

Er zijn drie hoofdcategoryën met factoren die zorgen voor verschillende resultaten bij metingen naar thermische isolatie.

- 1 er wordt uitgegaan van verschillende dakopbouwen en bijbehorende meetopstellingen,
- 2 de omgevingsfactoren verschillen door weers- en klimaatomstandigheden,
- 3 het doel van de onderzoeken verschilt van elkaar.

De ongerijmde conclusie uit vele metingen over de hele wereld was daarom tot nu toe dat begroeide daken soms wel en soms niet isoleren: het kan vriezen en het kan dooien.

Duidelijk is wel dat, door de extreme omstandigheden op het dak, de isolerende werking niet tot een gemiddelde waarde terug te voeren zal zijn. Een gemiddelde isolerende werking bestaat daarom niet.

Hoe zit isolerende werking in elkaar? Een aantal wetenschappers zijn in staat gebleken om modellen te bouwen op basis van theorie en praktijkmetingen, van de bouwfysische processen op, in en door een dakconstructie met begroeiing. Vier modelleers blijken hun modellen zo compleet te hebben geijkt, dat deze bijna alle mogelijk bouwfysische processen, in drie dimensies, modelleren. Een model is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. De vraag die bij het gebruik van deze modellen als eerste gesteld dient te worden, is welke nauwkeurigheid opgeofferd is om de vereenvoudiging te kunnen maken.

De verschillen tussen de vier modellen geven een indruk van de gedetailleerdheid van de modellen. Sommige modellen houden geen rekening met de hoeveelheid blad van de vegetatie of de hoeveelheid ruimte tussen de bladeren van de vegetatie. Een model vergeet rekening te houden met convectie van lucht in de vegetatielaag. De nauwkeurigheid van een model is niet zo groot als bijvoorbeeld de opslag van warmte in de massa van de gebruikte materialen niet meegenomen wordt. Door dit soort omissies voldoet geen van de vier modellen voor de omstandigheden in Nederland.

Een model voor de Nederlandse omstandigheden

Daarom zijn alle bouwfysische processen in afzonderlijke variabelen omgezet en samengebracht in één model. Met dat model is een gevoeligheidsanalyse gemaakt door per variabele de minimale extreme waarde en de maximale extreme waarde, zoals die in Nederland voorkomen, per variabele in te voeren. Bij iedere nieuwe invoer is naar de afwijking in de uitkomst gekeken. De variatie in invoer toont hoe gevoelig de einduitslag van de modelberekening is voor variatie in de invoer. Als de uitkomst niet verandert, kan de onderzoeker zich afvragen waarom die variabele dan in de formule van het model zit.

Er zijn bij de meeste variabele zichtbare verandering in de uitkomst, dit zijn de acht variabelen die theoretisch een positieve invloed hebben op de thermisch isolatie:

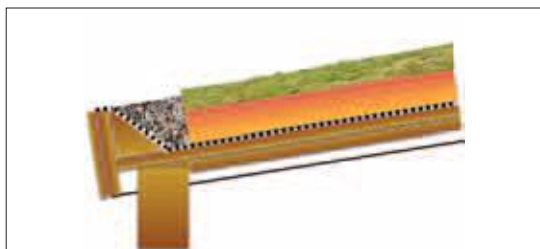
- Een lage dekkingsgraad van het dak, *LAI*;
- Lage korte golfstraling transparantie coëfficiënt van de begroeiing;
- Een lage korte golfstraling reflectiecoëfficiënt van de begroeiing en van het substraat;
- Een lage emissiecoëfficiënt van de begroeiing en substraat *Albedo*;
- Een hoge massa warmtetransportweerstand van het begroeiingsoppervlak;
- Een hoge massa warmtetransportweerstand van het substraatoppervlak;
- Een hoge bladstomata massa warmtetransportweerstand;
- Een hoge damptransportweerstand van de substraatoppervlak, *natheidsfactor*.

Echter, slechts van drie zijn die groot genoeg om bij te kunnen dragen aan de isolerende werking bovenop de R-waarde van de constructie onder een begroeid daksysteem. Deze drie zijn LAI, Natheidsfactor en Albedo effect. De oplettende lezer zal hier opmerken dat deze drie variabelen in de praktijk niet gebruikt worden om een R-waarde van een constructie te bepalen.

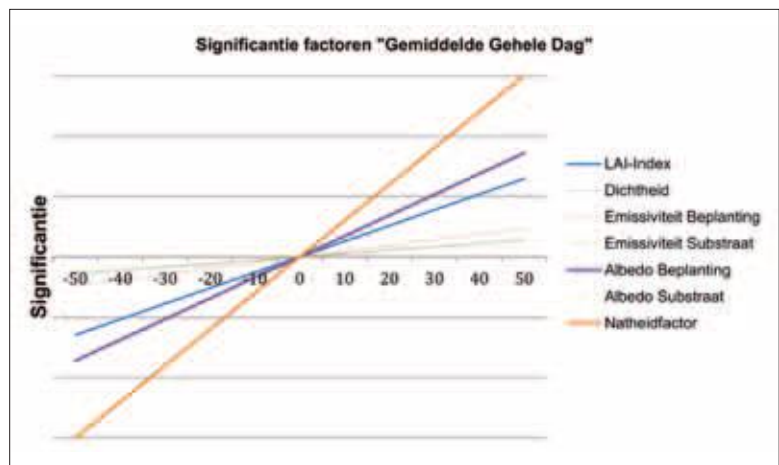
De hoeveelheid bladeren die zoninstraling op het substraat tegenaan en die bovendien warmte in de laag tussen bladeren en substraat enigszins vasthoudt, heeft positieve invloed op isolerende werking. Daarnaast is het niet raar te bedenken dat een begroeid dak niet isoleert als het substraat nat is. Omdat het in Nederland in de winter met onvoorspelbare regelmaat regent, kan geen waarde worden toegekend aan de isolerende werking. Het Albedo effect, de uitwisseling van straling tussen het begroeide dak en de omgeving, zoals de hemelkoepel, brengt nog net een beetje gevoeligheid in het model. Als je de kleur van het substraat ten opzichte van de hoeveelheid bladgroen van de vegetatie zou optimaliseren, dan zou nog een beetje extra isolerende werking gevonden kunnen worden.

Ter laatste controle zijn theoretische maximale waarden voor de bijdrage in isolerende werking in energiegebruiksberekeningen meegenomen. Uit die berekening blijkt dat de theoretische verhoging van de Rc waarde van een begroeid dak, niet tot verandering in energiegebruik van woningen leidt.

Daarom heeft het dertig jaar geduurd. Op het moment dat begroeide daken halverwege de jaren tachtig van de vorige eeuw bekend werden, hadden ze nog isolerende werking ten opzichte van de ongeïsoleerde onderconstructie. We wisten niet hoe het thermische gedrag in het dak verliep. Nu weten we dat de bepalende factoren in het thermische gedrag van dakbegroeiing geen relatie hebben met de manier waarop de warmteweerstand bepaald wordt. Gedurende de dertig jaar daarna zijn daken steeds zwaarder geïsoleerd. Dat verliep van R-waarde minder dan 1,5 m²K/W in de jaren tachtig tot 6,0/m²K/W per 1 januari 2015. Dat is een bijna vier keer zo dikke laag isolatiemateriaal. Daardoor zullen een paar plantjes op een laagje droog of nat substraat niet veel meer kunnen bijdragen aan de totale warmteweerstand van de constructie, de Rc. ●



Illustratie 1 toont de opbouw van het dak van de Romolenpolder in Haarlem uit 1991 van architect Renz Peijnenborg, gebouwd net voor de invoering van het Bouwbesluit in 1992. De substraat- drainage-laag van 50 mm steenwol zou samen met de graszoden voor een R-waarde van 2,5 m²K/W zorgen



Illustratie 2 toont extreme waarden voor factoren die de thermische eigenschappen van begroeide daken kunnen bepalen. Deze zijn onderdeel van de bouwfysische processen zoals ze in de meest geavanceerde modellen worden gebruikt.

Symbol	Omschrijving	Eenheid	Range	Ingevoerde waarde
$R_{0,1}$	Netto straling geabsorbeerd begroeiing	W/m ²	0-300	3,56663415
r_1	Dekkingsgraad van het dak	-	0,1-1	0,5
τ_1	Korte golfstraling transmissie coefficient begroeiing	-	0,1-0,7	0,40
ρ_1	Korte golfstraling reflectiecoëfficiënt begroeiing	-	0,14-0,26	0,2
ρ_2	Korte golfstraling reflectiecoëfficiënt substraat	-	0,08-0,43	0,08
i_0	Invallende zonnestraling op horizontale vlak	W/m ²	-	44,00
ϵ_1	Emissie coëfficiënt begroeiing	-	0,970-0,988	0,979
σ	Stefan-Boltzmann constante	W/m ² K ⁴	-	5,64E-08
T_{sky}	Temperatuur hemel	Kelvin	-	270,6
T_a	Temperatuur begroeiing	Kelvin	267-286	276
ϵ_{da}	Emissie coëfficiënt begroeid dak	-	0-1	0,9195
T_s	Temperatuur substraat	Kelvin	267-286	279
H_b	Voelbare warmtestroom begroeiing	W/m ²	-	32,53333333
L_b	Latente warmtestroom begroeiing	W/m ²	-	-0,734554815
F	Leaf Area Index	-	0,5-6	2
$(\rho c)_a$	Volumetrische thermische capaciteit lucht	J/m ³ K	1211-1299	1220
r_a	Massa warmtetransportweerstand begroeiingsoppervlak	s/m	50-200	75
T_a	Temperatuur lucht	Kelvin	267-286	277
τ	Thermische psychometrische constante	Pa/K	-	67,15549
r_1	Bladstomata massa warmtetransportweerstand	s/m	200-12000	6009
$P_{V,air}$	Verzadigde dampspanning lucht tussen de begroeiing	Pa	330-1450	800
$P_{V,a}$	Dampspanning lucht	Pa	650-720	677,00
$R_{0,s}$	Netto geabsorbeerde zonnestraling substraat	W/m ²	-	3,238859959
ϵ_s	Emissie coëfficiënt substraat	-	0,908-0,967	0,938
H_b	Voelbare warmtestroom substraat	W/m ²	-	-23,23809524
L_b	Latente warmtestroom substraat	W/m ²	-	-36,99721661
r_1	Massa warmtetransportweerstand van tussen lucht en substraatoppervlak	s/m	25-44	30
r_{sub}	Damptransportweerstand substraatoppervlak	s/m	21-48	34,5
$P_{V,air}$	Verzadigde dampdruk lucht boven de substraatoppervlak	Pa	330-1450	900
K_{sub}	Warmtegeleiding substraat	W/mK	-	8,549467783
ΔT	Temperatuurverschil top en bodem substraat	Kelvin	-	1
z_{sub}	Dikte Substraat	m	0,05-1	0,15

Illustratie 3 toont de uitkomst van de gevoeligheidsanalyse, waaruit blijkt dat drie variabelen, Natheidsfactor, Albedo effect en LAI bij niet geïsoleerde daken nog enige invloed hebben op de isolerende werking. Deze drie komen niet voor in de bouwfysica die nodig is om een R-waarde van een begroeide dak te kunnen berekenen.

Literatuur:

Ravesloot C.M. (2015). Determining Thermal Specifications for Vegetated Green Roofs in Moderate Winter Climates, CCSE, Journal Modern Applied Science; Vol. 9, No. 13 p 208-223;

Dit artikel kunt u lezen op www.roofs.nl