

TNO-rapport
1998-G&I-R0416

Bouwfysisch gedrag van vernieuwbare isolatiematerialen als cellulose.

TNO Bouw

Contactpersoon

Schoemakerstraat 97
Postbus 49
2600 AA Delft

Telefoon 015 269 69 00
Fax 015 269 52 99

Datum

16 november 1999

Auteur(s)

Ir. J. Oldengarm

Opdrachtgever

: Novem BV
Utrecht



Novem nr.

149.907-202.0

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vernieuwvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Projectleider

: Ir. J. Oldengarm

Projectnummer

: 8.26.5.3192 / 006.96081/01.01

Aantal pagina's

: 43

1999

Samenvatting

Een rekenstudie is uitgevoerd naar het bouwfysisch gedrag van cellulose isolatiemateriaal. Dit is een isolatiemateriaal dat geproduceerd wordt uit vernieuwbare grondstoffen (meestal oud papier) en is vergelijkbaar met andere vernieuwbare materialen als houtvezels, stro, hennep, kokosvezels etc. Het gemeenschappelijk kenmerk van deze materialen is dat ze hygroscopisch zijn waardoor ze zich bouwfysisch anders gedragen dan de conventionele isolatiematerialen als minerale wol en kunststofschuimen.

Aan de hand van simulatieberekeningen met het programma Match is onderzocht of vernieuwbare isolatiematerialen als cellulose bouwfysisch verantwoord kunnen worden toegepast in gangbare bouwconstructies. Bij het onderzoek is met name gekeken naar het condensatiegedrag, waarbij de berekende vochtgehalte van de materialen als toetsingscriterium is gehanteerd.

Uit de studie blijkt dat vernieuwbare isolatiematerialen als cellulose heel kunnen goed worden toegepast in gangbare gevel- en dakdoosconstructies. Voorwaarde is dat een goed geventileerde dak- of gevelspouw aanwezig is.

Voor een (niet geventileerde) platdak toepassing is het gebruik van een hygroscopisch isolatiemateriaal minder geschikt. Door migratie van het ingebouwde vocht kunnen plaatselijk te hoge vochtgehalten ontstaan.

De toepassing in een spouwmuurconstructie is goed mogelijk, mits men er verzekerd kan zijn dat regenwater niet in contact kan komen met het isolatiemateriaal. In situaties waarbij deze waterkering niet zeker is moet men voorzichtig zijn met het toepassen van dit soort isolatiematerialen in een spouwmuur.

Het hygroscopische karakter van een isolatiemateriaal heeft invloed op de isolatiewaarde. Simulatieberekeningen laten zien dat men gemiddeld over een stookseizoen moet rekenen op een extra warmteverlies van 10 tot 20 %. Dit valt echter binnen de grenzen van de correctiefactor (25 %) die de NEN 1068 voorschrijft voor het bepalen van de in de praktijk te hanteren rekenwaarde voor de warmtegeleidingscoëfficiënt van hygroscopische isolatiematerialen.

Kritische invloedsfactoren bij toepassing van vernieuwbare isolatiematerialen doen zich vooral voor als lage densiteiten worden gebruikt. Toepassing in plaatvorm geeft de beste waarborgen voor een goede kwaliteitsbeheersing.

Een analyse, mede op basis van experimenteel verkregen gegevens, laat zien dat met de toepassing van cellulose of houtvezelisolatie de effectieve thermische massa van een lichtgewicht constructie aanzienlijk kan worden vergroot. Toepassing van deze materialen kan daarom bijdragen tot het verminderen van de temperatuuroverschrijdingsproblematiek bij woningen of tot het verminderen van de koelbehoefte bij kantoren. Aanbevolen wordt dit verder te onderzoeken in een vervolgproject.

Inhoud

1.1	Opdracht	5
1.2	Doel van het project	5
1.3	Achtergrond	5
1.4	Bouwfysisch gedrag	6
1.5	Aanpak van de studie.....	6
1.5.1	Vochtgedrag.....	6
1.5.2	Karakterisering thermische massa.....	6
2	Wat zijn vernieuwbare isolatiematerialen?.....	7
3	Simulatieberekeningen: uitgangspunten.....	8
3.1	Inleiding.....	8
3.2	Het programma Match.....	8
3.3	Materiaalgegevens.....	9
3.3.1	Hygroscopische eigenschappen.....	9
3.3.2	Invloed van vocht op de warmtegeleidingscoëfficiënt	11
3.4	Randcondities.....	11
3.4.1	Binnenklimaat	11
3.4.2	Buitenklimaat.....	11
3.5	Ingebouwd vocht.....	11
3.6	Ingebouwd vocht bij de simulatieberekeningen.....	12
3.7	Presentatie van de uitkomsten.....	12
3.8	Inwendige condensatie	12
3.9	Voorbeeldconstructies	13
3.10	Bouwkundige parameters	13
3.11	Karakterisering hygrische parameters	14
3.12	Invloed van luchtdoorlatendheid op het vochttransport	14
3.13	Invloed oriëntatie.....	15
3.14	Modellering van spouwventilatie.....	15
3.15	Keuze densiteiten	15
4	Geventileerde geveldoosconstructie.....	16
4.1	Algemeen.....	16
4.2	Opbouw basis variant	16
4.3	Verloop vochtgehalte bij cellulose isolatie.....	16
4.4	Verloop vochtgehalte met minerale wol.....	18
4.5	Invloed dampremmende laag	18
4.6	Andere varianten	19
5	Geventileerde dakdoos constructie	21
5.1	Algemeen.....	21
5.2	Opbouw basis variant	21
5.3	Uitkomsten.....	21
5.4	Invloed van de dakhelling en de oriëntatie	21

6	Platdak constructie	23
6.1	Algemeen.....	23
6.2	Opbouw basis variant	23
6.3	Uitkomsten.....	23
6.4	Vergelijking met minerale wol.....	25
6.5	Invloed van dampremming	25
6.6	Variant met dakplaat	26
6.6.1	Dakopbouw.....	26
6.6.2	Vochtgedrag van cellulose in zomer en winter	26
6.6.3	Vergelijking met minerale wol: zomercondensatie.....	27
6.6.4	Vochtgehalte van de dakplaat	28
6.6.5	Dampremmende laag weglaten?	29
6.6.6	Conclusies platdak toepassing.....	29
7	Spouwmuur gevel constructie.....	30
7.1	Algemeen.....	30
7.2	Opbouw basisvariant	30
7.3	Uitkomsten.....	30
8	De invloed van vocht op de isolatiewaarde	32
9	Vochtuitwisseling met het binnenklimaat	34
9.1	Inleiding.....	34
9.2	Uitwendige scheidingsconstructies	34
9.3	Inwendige scheidingsconstructies	34
10	Karakterisering van de thermische massa	35
10.1	Inleiding.....	35
10.2	Het experiment.....	35
10.3	Parameter identificatie.....	36
10.4	Problemen met parameter identificatie.....	36
10.5	Resultaten van de parameter identificatie.....	37
10.6	Discussie en conclusies	37
11	Andere vernieuwbare isolatiematerialen	39
11.1	Overzicht	39
11.2	De warmtegeleidingscoëfficiënt van natuurlijke materialen.....	39
11.3	Invloedsfactoren warmtegeleidingscoëfficiënt	40
11.4	Kritische invloedsfactoren bij toepassing in de praktijk.....	40
11.5	Invloed van vocht op de structuur van het materiaal.....	41
12	Conclusies.....	42

1 Inleiding

1.1 Opdracht

In opdracht van Novem is een studie verricht naar de bouwfysische aspecten van het toepassen van vernieuwbare isolatiematerialen in de bouw. Het project is op verzoek van Novem in twee fasen verdeeld:

Fase 1:

- 1a.: onderzoek vochtgedrag van constructies met vernieuwbare isolatiematerialen
- 1b.: karakterisering van de thermische massa

Fase 2:

- 2a.: bepaling invloed op het thermisch binnenklimaat in de zomer
- 2b.: bepaling van de invloed op de koellast van een gebouw

Dit rapport doet verslag van de werkzaamheden in fase 1.

1.2 Doel van het project

Het doelstellingen van het project zijn:

Voor fase 1:

- 1a. het formuleren van de eisen waaraan bouwconstructies moeten voldoen om cellulose isolatiematerialen thermo-hygrisch verantwoord te kunnen toepassen.
- 1b. karakterisering van de thermische parameters voor het vaststellen van de thermische massa.

– Voor fase 2:

- 2a. aantonen dat de toepassing van cellulose of houtvezel isolatiematerialen een bijdrage kunnen geven tot het verminderen van de oververhitting in de zomer bij energiezuinige woningen.
- 2b. aantonen dat de toepassing van deze materialen een bijdrage kunnen geven tot het verminderen van de koelenergie bij kantoorgebouwen.

De aspecten genoemd onder 2a en 2b blijven onderwerp van toekomstig onderzoek.

1.3 Achtergrond

Als gevolg van het overheidsbeleid met betrekking tot Duurzaam Bouwen is de belangstelling voor het toepassen van vernieuwbare isolatiematerialen toegenomen. Diverse, meestal kleine, ondernemingen proberen vernieuwbare isolatieproducten, zoals cellulose, houtvezel, vlasvezel etc., op de bouwmarkt te brengen. Een steeds

terugkerend probleem daarbij is dat men moeite heeft om aan te tonen dat de aangeboden producten aan de te stellen eisen voldoen. De markt voor deze producten is nog kleinschalig en relevante productinformatie is veelal niet voorhanden. Deze studie beoogt een bijdrage te geven tot het verkrijgen van een beter inzicht in het bouwfysisch functioneren van dit type materialen.

1.4 Bouwfysisch gedrag

Voor vernieuwbare isolatiematerialen als cellulose- en houtvezelisolatie geldt dat deze zich bouwfysisch anders gedragen dan de conventionele isolatiematerialen. Een belangrijke eigenschap is het hygroscopische karakter van deze materialen. Enerzijds wordt dat als een probleem ervaren vanwege de onbekendheid omtrent het te verwachten bouwfysische gedrag van het materiaal in een bouwconstructie, anderzijds ziet men voordelen omdat men kan profiteren van eigenschappen die de traditionele isolatiematerialen niet hebben.

1.5 Aanpak van de studie

1.5.1 Vochtgedrag

Het thermo-hygrisch gedrag van enkele voorbeeldconstructies wordt bestudeerd aan de hand van simulatieberekeningen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van het programma Match, dat in staat is het thermo-hygrische gedrag van hygroscopische materialen goed te modelleren.

1.5.2 Karakterisering thermische massa

Met behulp van een parameter identificatie analyse van beschikbare experimentele meetgegevens worden de thermische parameters van vier isolatiesystemen met elkaar vergeleken (minerale wol, PS, cellulose in plaatvorm en houtvezel in plaatvorm).

2 Wat zijn vernieuwbare isolatiematerialen?

Vernieuwbare isolatiematerialen hebben als gemeenschappelijk kenmerk dat de grondstof hoofdzakelijk bestaat uit natuurlijke materialen die in principe onuitputtelijk beschikbaar zijn. Er bestaat een grote verscheidenheid aan materialen die onder deze noemer vallen, zoals: cellulose (meestal op basis van oud papier), houtvezelplaten, vlasvezeldekens, hennepvezels, kokosvezels, katoen, schapenwol, stro, geëxpandeerde kurk, etc.

In veel gevallen worden stoffen toegevoegd om de eigenschappen van het product te verbeteren, bijvoorbeeld met betrekking tot de brandveiligheid. De materialen worden geleverd als los materiaal, in de vorm van een isolatiedeken en soms in de vorm van plaatmateriaal. Niet alle materialen worden met evenveel succes op de markt geïntroduceerd. De vernieuwbare materialen zijn meestal duurder en de acceptatie in de bouwwereld ligt nogal moeilijk. Toch is er een toenemende belangstelling voor vernieuwbare materialen vanwege de extra aandacht uit oogpunt van duurzaam bouwen.

Het belangrijkste verschil ten opzichte van de traditionele materialen is het vochtgedrag in verband met het hygroscopische karakter van de natuurlijke grondstoffen. Een andere aspect is het warmte-accumulerend vermogen bij toepassing met een hoge densiteit. Met name bij producten die in plaatvorm worden geleverd worden hoge densiteiten bereikt van 80 tot 140 kg/m³. Tezamen met een hoge specifieke warmtecapaciteit geeft dat een specifieke thermische massa per eenheid isolatiedikte die een factor 10 tot 15 hoger ligt in vergelijking met traditionele isolatiematerialen. Toepassing van zwaardere isolatiematerialen heeft gunstige gevolgen voor het binnenklimaat in gebouwen onder zomercondities en voor het benodigde koelvermogen indien het gebouw wordt gekoeld. De potentiële voordelen hiervan kunnen worden bestudeerd aan de hand van gebouwsimulatieberekeningen. Dit aspect is onderwerp van een voorgesteld vervolgonderzoek.

3 Simulatieberekeningen: uitgangspunten

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het vochtgedrag van enkele voorbeeldconstructies geïllustreerd aan de hand van simulatie berekeningen met het Match programma. Bij de voorbeeldconstructies wordt telkens een vergelijking gemaakt tussen twee isolatie varianten:

- de traditionele isolatie variant (steenwol, 30 kg/m³)¹
- een variant met cellulose isolatie (in plaatvorm, 80 kg/m³)

Het vochtgedrag wordt geanalyseerd en besproken aan de hand van grafisch weergegeven uitkomsten van de simulatieberekeningen.

3.2 Het programma Match

Match is een thermo-hygrisch rekenmodel met belangrijke verbeteringen ten opzichte rekenprogramma's die gebaseerd zijn op de veel toegepaste Glaser methode. Het rekenmodel is het resultaat van het dissertatie-onderzoek van Pedersen [1] aan de Universiteit van Denemarken. TNO Bouw heeft de merites van dit rekenmodel onderzocht, mede in het kader van het IEA 24 Project "Heat, Air and Moisture Transfer". In dit internationale samenwerkingsproject is de kennis gebundeld op het gebied van gecombineerde warmte-, vocht- en luchttransport in constructies van gebouwen [2]. De gebruikelijke manier om constructies thermo-hygrisch te beoordelen is met behulp van de Glaser rekenmethode op basis van seizoen- of maandgemiddelde klimaatgegevens. Het Match programma rekent met een Test Reference Year op basis van uurlijkse klimaatgegevens. Het belangrijkste bezwaar van de Glaser methode is dat het geen rekening houdt met het hygroscopisch gedrag van materialen. In tegenstelling tot conventionele isolatiematerialen kunnen materialen als cellulose veel vocht opnemen. De consequentie hiervan is dat het vochtgedrag van constructies met hygroscopische isolatiematerialen niet goed met de Glaser methode kan worden beoordeeld. Match is een rekenprogramma waarin het gedrag van hygroscopische materialen goed in model is gebracht (MATCH is de afkorting voor "Moisture And Temperature calculations for Constructions of Hygroscopic materials"). In het Match programma wordt de vochtbalans gekoppeld aan de hygroscopische curve van de ingevoerde materialen. De hygroscopische curve geeft het verband tussen het vochtgehalte en de relatieve vochtigheid in de evenwichtstoestand.

¹ Bij toepassing in doosconstructies wordt meestal een lage densiteit toegepast. Zie ook 3.15

- Daarnaast is in het Match programma nog een aantal verfijningen aangebracht, zoals
- zowel waterdampdiffusie als capillair vochttransport is in model gebracht
 - ook het latente warmtetransport (door verdamping en condensatie van waterdamp) wordt meegenomen.
 - de warmtegeleidingscoëfficiënt wordt afhankelijk gesteld van het materiaalvochtgehalte
 - de invloed van zoninstraling, maar ook de nachtelijke uitstraling wordt meegenomen

3.3 Materiaalgegevens

De opzet van Match vraagt om de kennis van een groot aantal materiaalgegevens. In totaal zijn 28 parameters nodig om het warmte- en vochttransport en de interacties daartussen te beschrijven. Deze gegevens zijn niet altijd beschikbaar of op eenvoudige wijze vast te stellen. Daarom wordt bij Match een databank meegeleverd waarin de benodigde materiaalgegevens voor de meest voorkomende bouwmaterialen zijn opgeslagen. Voor het modelleren van het cellulose materiaal is uitgegaan van de gegevens die de leverancier heeft laten bepalen bij bekende laboratoria.

3.3.1 Hygroscopische eigenschappen

De hygroscopische curve is ontleend aan laboratorium metingen van een cellulose product zoals dat in de handel is. Deze hygroscopische curve wijkt overigens weinig af van die van andere natuurlijke producten. De hygroscopische curve geeft het verband weer tussen de vochtgehalte in het materiaal (in kg/kg of kg/m³) en de relatieve vochtigheid (RV in %) van de omringende lucht bij de evenwichtstoestand. Gegevens hierover vinden we in een catalogus die is gepubliceerd door de Universiteit van Denemarken². In deze catalogus vinden we ook de methode om een hygroscopische curve te karakteriseren met behulp van slechts drie parameters (u_s , A en $1/n$). De formule luidt:

$$U_{vol} = \rho \cdot u_s \left(1 - \frac{\ln \varphi}{A}\right)^{\frac{1}{n}}$$

waarin

U_{vol} = het vochtgehalte in kg/m³
 ρ = de soortelijke massa kg/m³
 φ = de relatieve vochtigheid (=RV/100%)

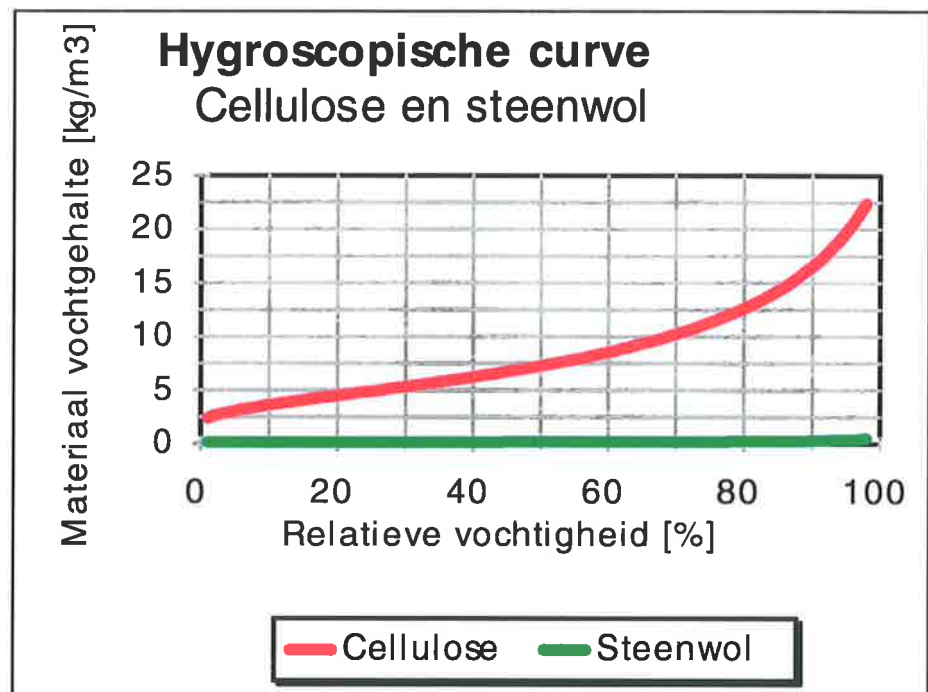
In onze studie zijn de volgende waarden gebruikt voor de parameters u_s , A en $1/n$:

² Hanson, K.K.; "Sorption isotherms. A Catalogue; Technical University Denmark; Technical Report 162/86, 1986.

Tabel 3.1 Parameters hygroscopische curve

Parameter:	Minerale wol	Cellulose
ρ [kg/m ³]	30	80
u_s	0.0442	0.275
A	0.000558	0.12
$1/n$	0.2899	0.64

In figuur 3.1 zijn de hygroscopische curven voor beide materialen weergegeven. Deze figuur geeft ook duidelijk het verschil weer tussen de twee materialen.



Figuur 3.1

Hygroscopische curven van de twee materialen die in deze studie zijn vergeleken

3.3.2 Invloed van vocht op de warmtegeleidingscoëfficiënt

Naarmate het vochtgehalte in een isolatiemateriaal toeneemt zal de warmtegeleidingscoëfficiënt λ ook toenemen. In het Match programma wordt dit verdisconteerd met een vochtcoëfficiënt f_u volgens de formule

$$\lambda = \lambda_{droog} + f_u \cdot u$$

waarin

λ_{droog} = de λ -waarde van het materiaal in droge toestand ($u=0$)

u = het vochtgehalte van het materiaal [kg/kg]

Tabel 3.2 Rekenwaarden

	<i>Minerale wol</i>	<i>Cellulose</i>
λ_{droog} [W/m.K]	0.036	0.04
f_u [W/m.K]	0.05	0.03

3.4 Randcondities

3.4.1 Binnenklimaat

In Match wordt het binnenklimaat gekarakteriseerd door maandelijkse waarden voor temperatuur en luchtvochtigheid. Voor het bepalen van luchtvochtigheid binnen zijn we uitgegaan van de voorlopige norm PrEN 13788 [3]. In deze ontwerpnorm wordt het verband gegeven tussen de luchtvochtigheid van de binnenlucht en de buiten-temperatuur.

3.4.2 Buitenklimaat

Voor het buitenklimaat is het test referentiejaar (TRY) van de Bilt gebruikt. Dit referentiejaar omvat uurlijkse waarden voor temperatuur, luchtvochtigheid, zonnestraling en windsnelheid. De op een dak- of gevelvlak vallende zonnestraling wordt berekend afhankelijk van de oriëntatie en hellingshoek. Ook de nachtelijke uitstraling wordt meegenomen. De convectieve warmteoverdracht aan de buitenzijde wordt gerelateerd aan de windsnelheid.

3.5 Ingebouwd vocht

Tijdens de bouwphase kan extra vocht in de constructie komen, bijvoorbeeld doordat bouwdelen met regenwater in contact komen voordat de waterkerende voorzieningen zijn aangebracht. Ook als bouwdelen droog in de buitenlucht worden opgesla-

gen in de buitenlucht zullen ze extra vocht opnemen omdat de relatieve vochtigheid buiten hoog is, vooral bij lage buitentemperaturen. Vooral als de bouwphase juist voor de winter start, kunnen als gevolg van het ingebouwde vocht kritische situaties ontstaan. Start de bouwphase voor de zomer dan heeft de constructie meestal voldoende gelegenheid om het ingebouwde vocht in de warmere zomerperiode af te voeren.

3.6 Ingebouwd vocht bij de simulatieberekeningen

Teneinde potentiële problemen met de onderzochte constructies te signaleren worden de simulatieberekeningen gestart op 1 oktober van het referentiejaar. Vervolgens worden simulaties uitgevoerd voor twee opeenvolgende jaren met hetzelfde referentiejaar. Dit geeft de mogelijkheid te controleren of eventueel vochtaccumulatie ontstaat. Vochtaccumulatie in de loop der jaren kan ontstaan als in de zomerperiode minder vocht wordt afgevoerd dan tijdens de winter in de constructie condenseert. Verder wordt bij de start van de simulatieberekening een hoge aanvangsvochtgehalte voor de bouwmaterialen opgegeven. We zijn uitgegaan een startwaarde die overeenkomt met het evenwichtsvochtgehalte bij een relatieve vochtigheid van 90 %.

3.7 Presentatie van de uitkomsten

Het Match programma heeft vele mogelijkheden om de uitkomsten te presenteren. Zo heeft men de keuze uit uur-, dag of maandgemiddelden van de uitkomsten voor de temperatuur, het materiaalvochtgehalte, de relatieve vochtigheid, de warmtestromen en de vochtstromen in elke laag van de constructie. In principe levert elke simulatieberekening een zeer grote hoeveelheid informatie op. Daarom is enig inzicht vereist om de relevante gegevens te selecteren en vervolgens te interpreteren. In dit rapport zullen we ons beperken tot de presentatie van maandgemiddelde waarden van de uitkomsten. Dit geeft een goed beeld van het bouwfysisch functioneren van een constructie.

3.8 Inwendige condensatie

Onze eerste interesse is het vochtgedrag van het isolatiemateriaal en we zullen daarbij letten op het eventueel optreden van inwendige condensatie. Het begrip inwendige condensatie zullen we ruim moeten hanteren. Bij condensatie denkt men in eerste instantie aan het ontstaan van condensvocht in de vorm van water op de koude delen in het inwendige van een constructie. Men kan spreken van een condensatiegebied als de temperatuur in dat gebied lager is dan de dauwpuntstemperatuur in dat gebied. Bevindt zich in dat gebied een hygroscopisch materiaal dan wordt geen vrij condenswater gevormd doch wordt het “condensvocht” binnen bepaalde grenzen hygroscopisch gebonden. In het condensatiegebied krijgt het hygroscopi-

sche materiaal een hogere materiaalvochtgehalte. Een te hoog vochtgehalte kan betekenen dat het materiaal op langere termijn wordt aangetast (zoals bij houtachtige materialen). Ook zal een hoog vochtgehalte leiden tot het verminderen van de isolatiewaarde.

We zijn vooral geïnteresseerd in eventuele condensatie aan de koude zijde van de constructie. Op grond van enkele oriënterende simulaties is geconcludeerd dat volstaan kan worden met het bekijken van het vochtgehalte in een dunne (5 mm) buitenste laag van het isolatiemateriaal. Gebleken is dat dit een goede maat is voor het al dan niet ontstaan van inwendige condensatie aan de koude zijde van de constructie.

3.9 Voorbeeldconstructies

Voor de volgende voorbeeldconstructies zijn simulatieberekeningen uitgevoerd:

- a. een geventileerde geveldoos constructie
- b. een geventileerde dakdoos constructie
- c. een platdak constructie (geen ventilatie)
- d. een spouwmuur constructie (zwakke ventilatie)

De constructiegegevens zijn ontleend aan woningontwerpen uit de praktijk (volgens gegevens van Warmteplan BV en VDM Wonen). Teneinde een meer algemeen beeld te kunnen vormen van het bouwfysisch functioneren van deze constructies zullen we een aantal parameters moeten variëren. We zijn er steeds van uitgegaan dat de isolatiematerialen in een “droog” milieu worden toegepast (dat wil zeggen dat we veronderstellen dat het isolatiemateriaal is afgeschermd tegen mogelijk contact met regenwater). Het toepassen van een cellulose materiaal in een spouwmuur, zonder waterkerende maatregelen, is niet aan te bevelen.

3.10 Bouwkundige parameters

Het thermo-hygrische gedrag van een constructie wordt mede bepaald door een aantal bouwkundige parameters, zoals

- de dikte van de isolatielaag
- de warmtegeleidingscoëfficiënt van de isolatie
- de dampdoorlatendheid van de isolatie
- de dampdoorlatendheid van de afwerklagen aan de warme zijde
- de eventuele dampremmende laag aan de warme zijde
- de dampdoorlatendheid van afwerklagen aan de koude zijde
- de eventuele waterkerende dampopen folie
- de ventilatie van de eventuele gevel- of dakspouw
- de oriëntatie (i.v.m. zoninstraling)
- de luchtdoorlatendheid van de constructie

In deze studie willen we het vochtgedrag van een hygroscopisch isolatiemateriaal vergelijken met dat van minerale wol. De verschillen in warmtegeleiding en dampdiffusie door deze materialen zijn niet erg groot en zullen dan ook niet als parameter worden meegenomen. Om het aantal simulaties te beperken zullen we moeten zoeken naar een meer schematische karakterisering van de thermo-hygrische parameters.

3.11 Karakterisering hygrische parameters

Voor een meer schematische karakterisering beschouwen we een constructie die is opgebouwd uit drie basislagen, waarbij de buitenste lagen kunnen zijn samengesteld uit verschillende componenten:

- de afwerking aan de koude zijde (bijv. waterkerende laag, luchtsponw, buitenbeplating)
- de isolatielaag
- de afwerking aan de warme zijde (bijv. binnenbeplating, dampremmende laag)

We voeren nu de volgende hygrische parameters in:

Z_{warm} = totale dampdiffusieweerstand van de (afwerk)lagen aan de warme zijde van de isolatielaag

Z_{koud} = totale dampdiffusieweerstand van de (afwerk)lagen aan de koude zijde van de isolatielaag

Tenslotte kunnen we het aantal parameters terugbrengen door het verhoudingsgetal

$$Z_{\text{warm}} / Z_{\text{koud}}$$

in te voeren.

Dit verhoudingsgetal is een goede indicator voor de hygrische kwaliteit van een constructie. In het Match programma wordt als rekengrootheid de dampdiffusieweerstand Z gehanteerd. In de praktijk wordt vaak de $\mu.d$ -waarde gehanteerd. Het verband tussen de beide grootheden is $\mu.d = 0.185 \cdot Z$, als Z wordt uitgedrukt in $\text{G.Pa.m}^2.\text{s/kg}$.

3.12 Invloed van luchtdoorlatendheid op het vochttransport

In deze studie zullen we ons beperken tot het vochtgedrag van constructies als gevolg van waterdamptransport door dampdiffusie. Waterdamp kan de constructie ook binnendringen door toevoer van vochtige binnenlucht als gevolg van het niet

luchtdicht zijn van gevel- of dakconstructies. Het potentieel aan toevoer van waterdamp is hierbij zelfs vele malen groter dan bij dampdiffusie. We zullen dit echter niet in deze studie meenemen. We gaan er vanuit dat de beschouwde constructies voldoende luchtdicht zijn.

3.13 Invloed oriëntatie

De oriëntatie van een constructie ten opzichte de noord-zuid ligging heeft grote invloed op het thermo-hygrisch functioneren. Als een gevel- of dakvlak door de zon bestraald wordt, leidt dit tot hogere temperaturen in de constructie, waardoor meer vocht uit de constructie kan worden afgevoerd. Dit gunstige effect geldt niet voor constructies die geen zonnestraling ontvangen. In deze studie zullen we uitgaan van de meest ongunstige situatie door te rekenen met op het noorden gerichte dak- en gevelvlakken. Bij één van de voorbeeldconstructies is met de oriëntatie en de hellingshoek gevarieerd.

3.14 Modelleren van spouwventilatie

Spouwventilatie is een belangrijke factor bij al dan niet ontstaan van condensvochtproblemen. In het Match programma kan de invloed van spouwventilatie worden gemodelleerd door gebruik te maken van een equivalente dampdiffusieweerstand die aan de buitenste constructielaag wordt toegekend.

3.15 Keuze densiteiten

Er zijn steeds vergelijkende berekeningen gemaakt tussen cellulose en minerale wol isolatie. Om het aantal parameters te beperken is gekozen voor een vaste waarde voor de densiteiten. Omdat minerale wol niet hygroscopisch is, is de keuze voor een bepaalde densiteit voor minerale wol minder relevant. De gerapporteerde vochtgehalten bij minerale wol moeten dan ook anders geïnterpreteerd worden dan die voor een hygroscopisch materiaal. Eigenlijk kan men stellen dat bij minerale wol slechts de extreme waarden van belang zijn. Een lage waarde betekent dat het materiaal droog is (geen condensatie) en een hoge waarde betekent dat er condensvocht in de vorm van water aanwezig is. Bij hygroscopische materialen zal het vochtgehalte geleidelijk variëren, waarbij tot hoge vochtgehalten het eventuele condensvocht hygroscopisch wordt gebonden. Het rapporteren van het vochtgehalte bij minerale wol heeft geen andere betekenis dan het geven van een indicatie of al dan niet condensatie optreedt.

4 Geventileerde geveldooconstructie

4.1 Algemeen

We gaan uit van een geveldooconstructie waarin het isolatiemateriaal als het ware goed beschermd is opgeborgen. Dit is een ideale toepassing voor vernieuwbare isolatiematerialen omdat het risico van vochtindringing van buitenaf gering is. Het is een veel toegepaste constructie in de houtskeletbouw. Als gevelbekleding kunnen bijvoorbeeld rabat delen worden toegepast, waardoor een goede ventilatie van de gevelspouw tot stand komt. De geveldoo wordt ook in de gietbouw toegepast als gevelvullend element. De gevelafwerking kan dan bestaan uit metselwerk, waarbij de gevelspouw zwak wordt geventileerd. Deze variant wordt besproken in hoofdstuk 7.

4.2 Opbouw basis variant

Als basis variant is gekozen voor de volgende opbouw (van binnen naar buiten):

- 15 mm gipsplaat ($Z = 2.3$)
- dampremmende folie ($Z=125$)
- 165 mm isolatie (cellulose 80 kg/3 of minerale wol 30 kg/3)
- 4 mm vezelplaat ($Z=0.77$)
- goed geventileerde luchtsouw ($Z = 0.027$)
- rabat delen ($Z = 0.2$)

Vele variaties hierop zijn mogelijk waarbij vooral de verhouding $Z_{\text{warm}} / Z_{\text{koud}}$ kan variëren. Voor de basisvariant en enkele varianten daarop zijn simulatieberekeningen uitgevoerd, waarbij telkens een vergelijking wordt gemaakt tussen cellulose isolatie en minerale wol.

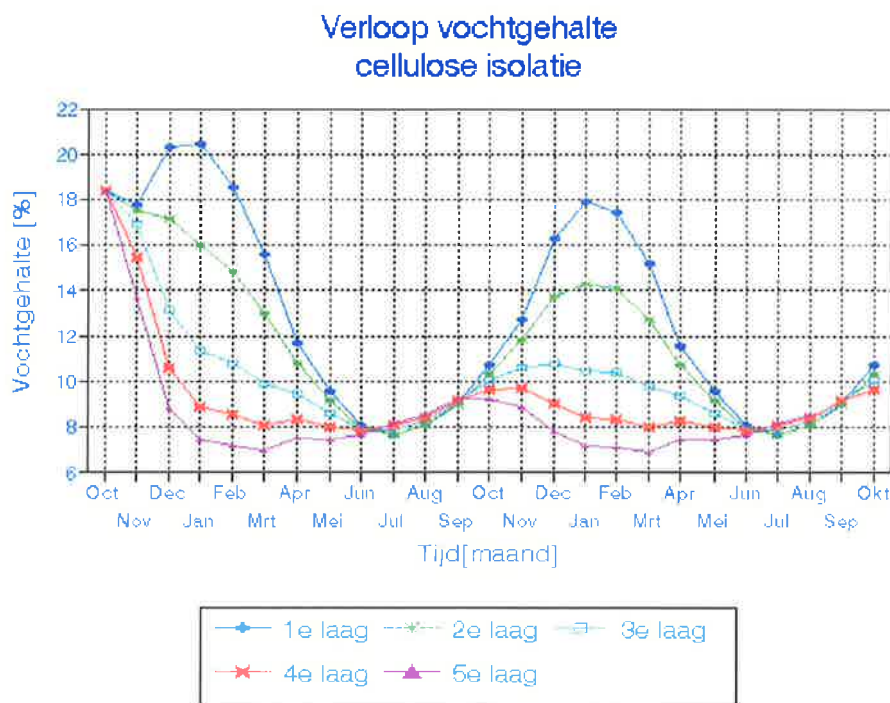
4.3 Verloop vochtgehalte bij cellulose isolatie

Figuur 4.1 toont het verloop van het maandgemiddelde vochtgehalte (in gew. %) van het cellulose isolatiemateriaal in de verschillende lagen. De isolatie is verdeeld gedacht in een dunne laag van 5 mm aan de buitenzijde en vervolgens 4 isolatielagen van elk 40 mm (van buiten naar binnen).

Hieronder volgt een puntsgewijze toelichting op figuur 1:

- Door de toepassing van een dampremmende laag zal weinig vocht vanuit de binnenlucht de constructie binnendringen. Het verloop dat men ziet is vooral het gevolg van een herverdeling van het vocht door de wisselende temperaturen over de seizoenen.

- Alle lagen beginnen met hetzelfde vochtgehalte; dit komt omdat verondersteld is dat in aanvang bij de bouw het vocht gelijkmatig is verdeeld
- Door het hogere aanvangsvochtgehalte is het vochtgehalte gedurende de eerste winterperiode hoger dan in de tweede winterperiode. Pas in de zomer na de eerste winter krijgt de constructie voldoende gelegenheid om het ingebouwde vocht af te voeren.
- In de winterperiode treedt telkens een herverdeling van het hygroscopisch vocht op. Het vocht uit de lagen aan de warme zijde migreert naar lagen aan de koude zijde. Dit is duidelijk te zien in het verloop van de vochtgehalten in figuur 4.1.
- In de zomerperiode treedt steeds een evenwichtssituatie op waarbij het vocht min of meer gelijkmatig over de isolatie wordt verdeeld.
- Het maandgemiddelde vochtgehalte in de buitenste laag is in het eerste jaar maximaal iets meer dan 20 %. Dit is een acceptabele waarde voor cellulose³.



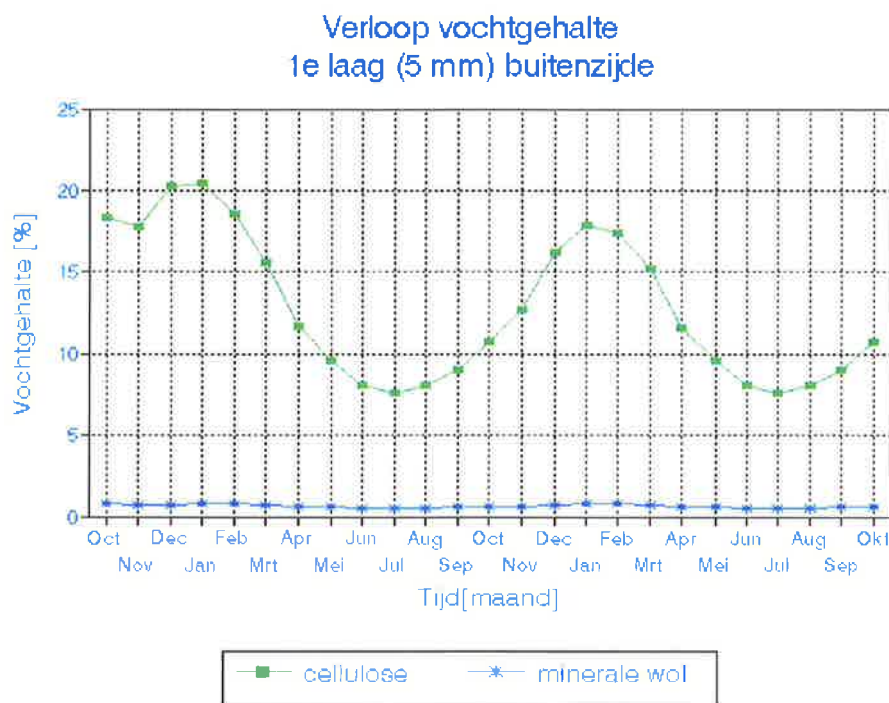
Figuur 4.1 Verloop van het vochtgehalte in de celluloselagen in een geventileerde gevelconstructie met 165 mm cellulose en met een dampremmende PE folie aan de binnenzijde. De eerste laag van 5 mm bevindt zich aan de koude zijde. De overige lagen zijn 40 mm dik.

³ De leveranciers van cellulose isolatie geven de volgende waarden op voor toelaatbare vochtgehalten:

- voor langere tijd (60 dagen) gemiddeld 35 gew. %
- voor korte tijd maximaal 130 gew. % (bij een hoger vochtgehalte kan uitloging plaatsvinden van de aan het materiaal toegevoegde materialen, zoals boraten en schimmelwerende middelen).

4.4 Verloop vochtgehalte met minerale wol.

Dezelfde constructie is opnieuw doorerekend waarbij de cellulose isolatie is vervangen door minerale wol. Minerale wol is een niet-hygroscopisch materiaal en de vochtgehalten zijn hier dan ook een ordegrootte lager. Ter vergelijking is in figuur 4.2 alleen het verloop van het vochtgehalte in de kritische (buitenste) laag van 5 mm weergegeven voor beide materialen. Hieruit blijkt duidelijk dat in de minerale wol weinig vocht aanwezig is, ook in de winter. Men kan zich afvragen of de buitenbekleding van de geveldoos bij deze situatie extra vocht op zal nemen. Dit blijkt echter niet uit de simulatieberekeningen.

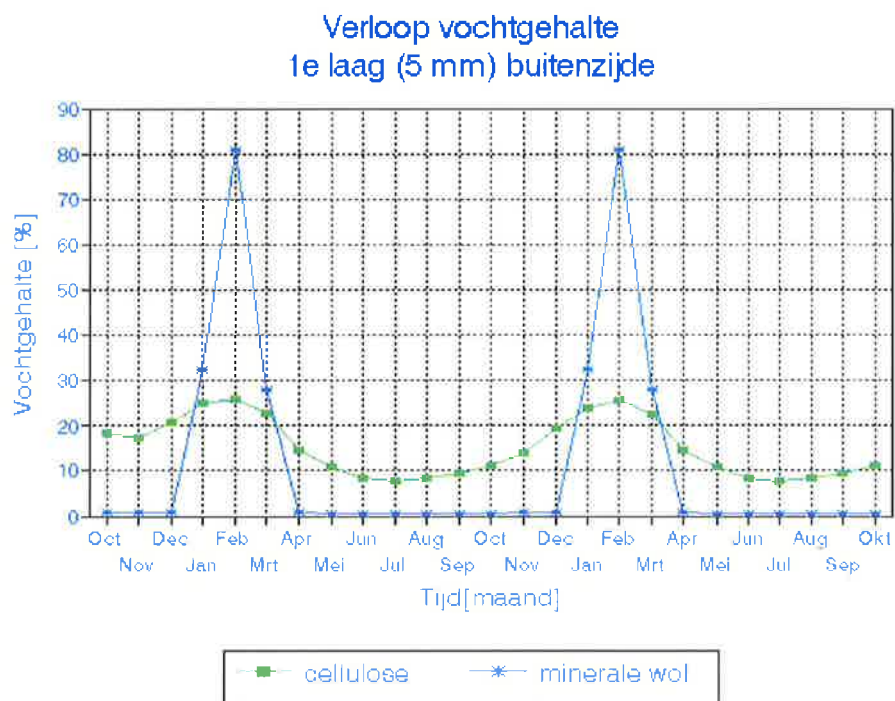


Figuur 4.2 *Vergelijking van het verloop van het vochtgehalte in de kritische buitenlaag voor cellulose isolatie en minerale wol. Variant: geveldoos met dampremmende PE-folie aan de binnenzijde.*

4.5 Invloed dampremmende laag

Als we bij de in 4.2 genoemde constructie de dampremmende laag (de PE-folie) weglaten ontstaat een andere situatie. De vergelijking in figuur 4.3 laat zien dat tijdens de winterperiode in de kritische laag van de minerale wol isolatie een hoog maximum vochtgehalte ontstaat. Dit is geen hygroscopisch vocht, maar condenswater dat zich in het isolatiemateriaal ophoopt (het programma Match rapporteert dit als een vochtgehalte, in feite is het de hoeveelheid condenswater per kg isolatiemateriaal in de kritische laag).

Het maximum vochtgehalte in het cellulose materiaal is ook hoger, maar is relatief gezien in veel mindere mate toegenomen. Terwijl in de minerale wol in feite condenswater wordt gevormd, wordt bij cellulose het vocht aanbod omgezet in hygroscopisch vocht. We kunnen hieruit concluderen dat bij deze voorbeeldconstructie de toepassing van cellulose isolatie blijkbaar minder kritisch dan een vergelijkbare constructie met minerale wol zonder damprem. Overigens wordt in de praktijk bij toepassing van minerale wol in een dergelijke constructie vrijwel altijd een dampremmende laag aan de warme zijde toegepast. De praktische conclusie is: daar waar men bij toepassing van minerale wol een dampremming nodig heeft, kan deze bij toepassing van cellulose eventueel worden weggelaten.



Figuur 4.3 *Vergelijking van het verloop van het vochtgehalte in de kritische laag voor cellulose isolatie en minerale wol voor een geveldoos zonder PE-folie.*

4.6 Andere varianten

De dampdoorlatende eigenschappen van de bekleding aan beide zijden van de geveldoos is bepalend voor het (kritisch) vochtgedrag. In tabel 4.1 zijn de resultaten voor enkele varianten waarbij gekozen is voor andere dampdiffusieweerstanden aan de koude en warme zijde. Als resultaat van de simulatieberekening zijn alleen de maximaal optredende vochtgehalten in de tweede winterperiode vermeld.

De tabel laat zien dat voor minerale wol vrij abrupt condensatie optreedt bij een afnemende verhouding $Z_{\text{warm}}/Z_{\text{koud}}$. Bij cellulose isolatie is er geen plotseling over-

gang omdat het potentieel aan condensvocht als hygroscopisch vocht wordt opgenomen. Bij een zelfde opbouw van de constructie geeft het toepassen van cellulose isolatie een minder kritisch gedrag ten aanzien van inwendige condensatie. Een kritische grenswaarde voor de verhouding $Z_{\text{warm}}/Z_{\text{koud}}$ is niet direct uit de tabel af te leiden. Een algemeen geldende vuistregel is dus niet te geven. Het verdient daarom aanbeveling om elke situatie afzonderlijk te beoordelen.

					Max. vochtgehalte [gew. %] in de buitenste 5 mm	
Variant	Omschrijving	Z_{warm}	Z_{koud}	Verhouding $Z_{\text{warm}}/Z_{\text{koud}}$	Cellulose	Minerale Wol
1	Geveldoos met 165 mm isolatie met PE folie en geventileerde gevelspouw	127	1.0	127	17.9	0.7
2	als variant 1 zonder PE-folie	2.3	1	2.3	22.1	2.1
3	als variant 2 kleinere Z_{warm}	1.65	1	1.65	25.3	80.8
4	als variant 2 grotere Z_{koud}	2.3	3.2	0.72	25.0	58.0
5	als variant 1 kleinere Z_{warm}	60	3.2	19.6	16.4	0.7

TABEL 4.1 Uitkomsten van simulatieberekeningen voor verschillende varianten van de geveldoos constructie. Z_{warm} is de de dampdiffusieweerstand aan de warme zijde, Z_{koud} aan de koude zijde. Het berekende maximaal optredende maandgemiddelde vochtgehalte in de kritische laag is vermeld.

5 Geventileerde dakdoos constructie

5.1 Algemeen

Dit is een veel toegepaste constructie bij met pannen afgedekte hellende daken. Verondersteld mag worden dat de pannen vrij luchtopen zijn waardoor een goede ventilatie van de dakspouw tot stand komt.

5.2 Opbouw basis variant

Als basis variant is gekozen voor de volgende opbouw (van binnen naar buiten).

- 15 mm gipsplaat ($Z = 2.3$)
- dampremmende folie ($Z=125$)
- 165 mm isolatie (cellulose 80 kg/m³ of minerale wol 30 kg/m³)
- 4 mm vezelplaat ($Z=0.77$)
- goed geventileerde luchtspouw ($Z = 0.027$)
- pannen ($Z = 0.2$)

Vele variaties hierop zijn mogelijk waarbij vooral de verhouding $Z_{\text{warm}} / Z_{\text{koud}}$ kan variëren. Voor de basisvariant en enkele varianten daarop zijn simulatieberekeningen uitgevoerd.

5.3 Uitkomsten

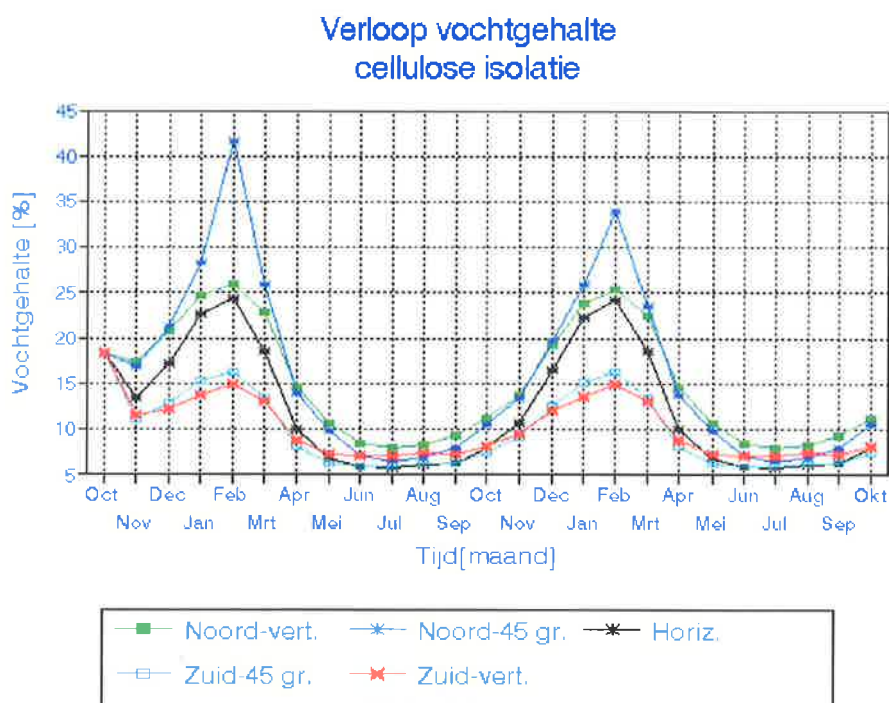
Omdat dakdoos constructie bouwfysisch gezien vrijwel identiek is aan de geveldoos constructie zijn de uitkomsten vergelijkbaar. Het belangrijkste verschil is dat een schuin dak meer bloot wordt gesteld aan nachtelijke uitstraling. Dit afwijkende gedrag wordt pas goed zichtbaar als we een constructie nemen die kritisch is ten aanzien van inwendige condensatie.

5.4 Invloed van de dakhelling en de oriëntatie

Voor een kritische variant ($Z_{\text{warm}} = 2.3 \text{ G.Pa.m}^2.\text{s/kg}$) zijn enkele simulatieberekeningen uitgevoerd voor verschillende hellingshoeken en oriëntaties:

- verticaal vlak gericht op het noorden
- vlak met hellingshoek van 45 ° gericht op het noorden
- horizontaal vlak
- vlak met hellingshoek van 45 ° gericht op het zuiden
- verticaal vlak gericht op het zuiden

Het verloop van het vochtgehalte in het cellulose materiaal is in figuur 5.1 weergegeven. Hieruit blijkt dat er grote verschillen kunnen optreden. Vlakken gericht op het zuiden gedragen zich het meest gunstig omdat zonnestraling de constructie periodiek opwarmt waardoor er meer vocht kan worden weg geventileerd. De meest ongunstige situatie is een schuin dak gericht op het noorden. Op dit vlak valt in de winter geen zonnestraling, terwijl er wel nachtelijke uitstraling is omdat dit vlak een groot deel van de koude hemelkoepel "ziet". De conclusie die men hieraan kan verbinden is dat het verstandig is een veiligheidsmarge in acht te nemen bij het op deze wijze beoordelen van het thermo-hygrische gedrag van constructies.



FIGUUR 5.1 De invloed van de hellingshoek en noord-zuid orientatie op het vochtgedrag in de kritische laag bij een dakconstructie met cellulose isolatie.

6 Platdak constructie

6.1 Algemeen

We gaan hier uit van een niet geventileerde platdak constructie. Het karakteristieke bouwfysische kenmerk is de hoge dampdiffusieweerstand van de waterkerende laag. In dit soort constructies is het optreden van condensatie bijna onvermijdelijk. Bij een slecht ontwerp kan zelfs vochtaccumulatie ontstaan als in de zomer minder vocht wordt afgevoerd bij verdamping dan in de winter wordt opgebouwd bij condensatie. Vochtaccumulatie leidt uiteindelijk tot schade aan het dak, maar ook condensatie zonder een seizoensaccumulatie is niet gewenst omdat de isolatiewaarde van het dak zal afnemen.

6.2 Opbouw basis variant

Als basis variant is gekozen voor de volgende opbouw (van binnen naar buiten):

- 15 mm gipsplaat ($Z = 2.3$)
- luchtsponw ($Z = 0.027$)
- 18 mm triplex plaat ($Z = 7.2$)
- dampremmende folie ($Z = 125$)
- 80 mm isolatie (cellulose 80 kg/3 of minerale wol 30 kg/3)
- bitumineuze dakbedekking ($Z = 1400$)

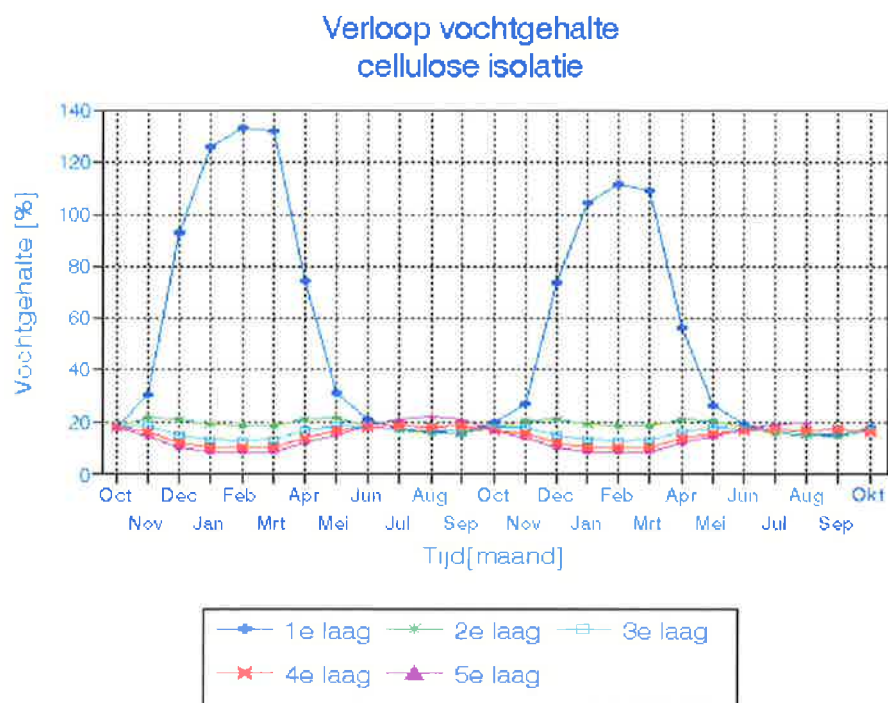
Vele variaties hierop zijn mogelijk waarbij vooral de verhouding $Z_{\text{warm}} / Z_{\text{koud}}$ kan variëren. Voor de basisvariant en enkele varianten daarop zijn simulatieberekeningen uitgevoerd, waarbij telkens een vergelijking wordt gemaakt tussen cellulose isolatie en minerale wol.

Een bouwfysisch gezien ongunstig aspect van de basisvariant is dat de isolatie zich direct onder de dakbedekking bevindt. Daarom is ook gekeken naar een variant met een houtachtige dakbeplating direct onder de dakbedekking.

6.3 Uitkomsten

Het vochtgedrag in deze constructie verloopt anders dan bij de geventileerde constructies. Figuur 6.1 laat het verloop zien van het vochtgehalte in de verschillende lagen van de cellulose isolatie. De isolatie is hier wederom ingedeeld een 1e (kritische) laag van 4 mm aan de buitenzijde, en vervolgens 4 lagen van elk 19 mm. Men ziet dat de buitenste laag een extreem hoog vochtgehalte heeft tijdens de winterperiode, terwijl de andere lagen het hele jaar door droog blijven. In de tweede winter is het maximum vochtgehalte lager; er treedt dus geen accumulatie op.

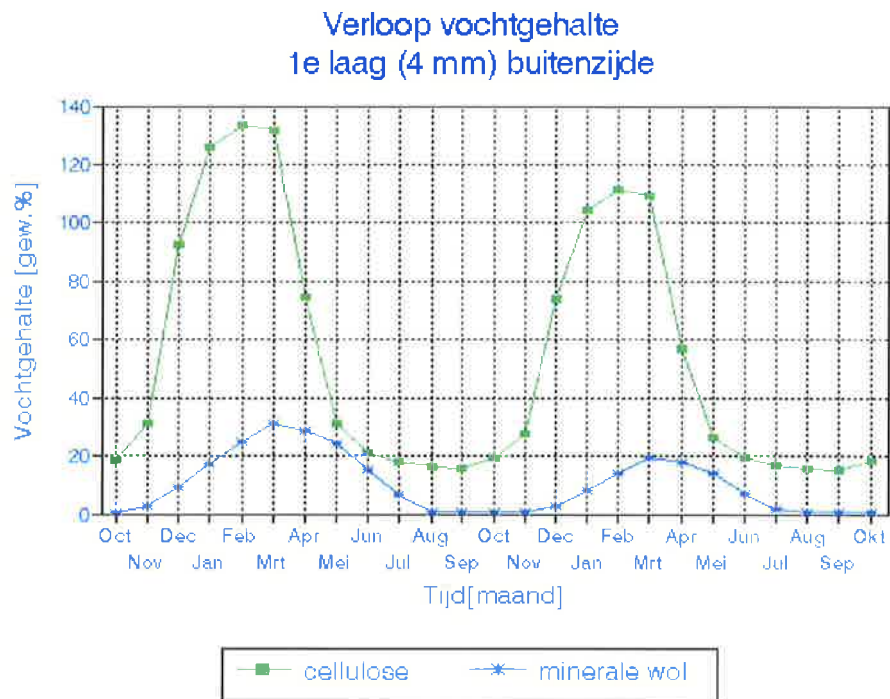
Bij nadere beschouwing blijkt het hoge vochtgehalte in de kritische laag niet te worden veroorzaakt door vochtindringing van binnenuit (er is een PE-folie die weinig vocht doorlaat). De vochtophoping ontstaat louter en alleen door migratie van het reeds aanwezige vocht in de constructie naar de koude zijde. Voor een deel is dat het normale hygroscopische vocht in droge toestand van het cellulose materiaal, voor een ander deel is dat het extra ingebouwde vocht (als gevolg van de aanname van een hoog aanvangsvochtgehalte).



Figuur 6.1 Verloop van vochtgehalte in een platdak constructie met cellulose isolatie en een PE-folie aan de warme zijde. De 1e laag van 4 mm dik (de kritische laag) bevindt zich aan de koude zijde. Deze laag wordt in de winter erg vochtig. De overige lagen blijven droog.

6.4 Vergelijking met minerale wol.

Figuur 6.2 vergelijkt het verloop van het vochtgehalte in de kritische laag voor beide isolatiematerialen. Hieruit blijkt dat bij minerale wol een lange periode van condensatie optreedt, maar ook hier treedt geen accumulatie op. Wat opvalt is dat de ongunstige situatie bij minerale wol veel langer aanhoudt dan bij toepassing van cellulose isolatie.



Figuur 6.2 Vergelijking van het verloop van het vochtgehalte in de kritische laag voor eenplattendak constructie met cellulose isolatie en minerale wol.

6.5 Invloed van dampremming

Men zou kunnen denken dat het hoge vochtgehalte in de kritische laag van de isolatie zal verminderen als men een zwaardere damprem toepast (bijvoorbeeld $Z = 375$). Dit blijkt juist te zijn voor de minerale wol, maar bij de cellulose isolatie neemt het maximum vochtgehalte juist toe. Dit is te verklaren door te bedenken dat men bezig is een hygroscopisch materiaal binnen twee dampremmende lagen op te sluiten. Het ingebouwde vocht kan er moeilijk uit en zal in de winter zich zoveel mogelijk verplaatsen naar de koudste plek vlak onder de dakbedekking.

6.6 Variant met dakplaat

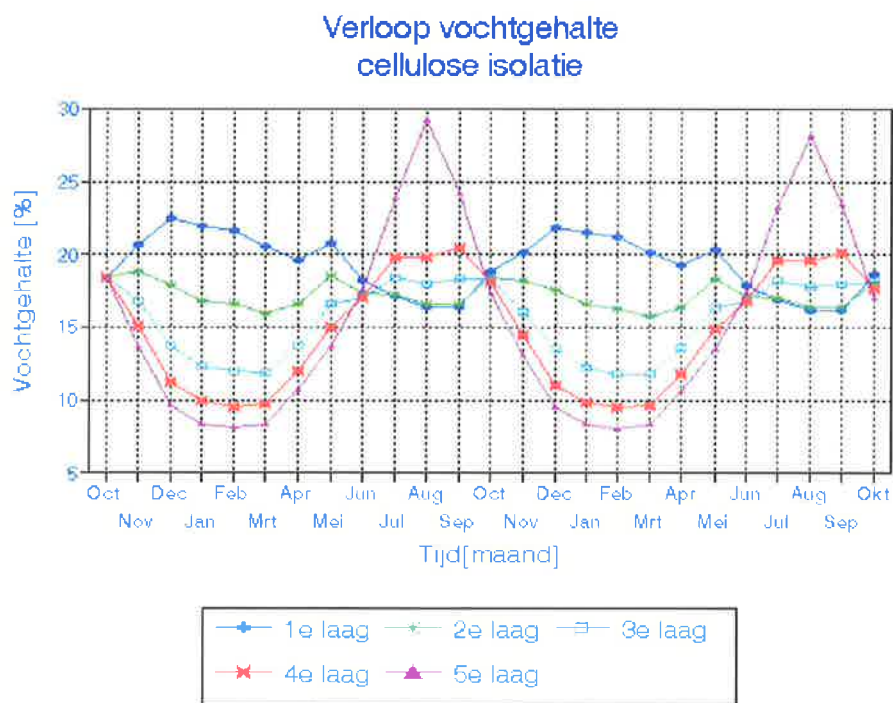
6.6.1 Dakopbouw

In plaats van de dakbedekking direct op de isolatie te plaatsen (hetgeen bij steenwol veel wordt gedaan) is het voor de cellulose isolatie wellicht beter een dakplaat toe te passen waarop de dakbedekking wordt bevestigd. De dakopbouw wordt dan (van binnen naar buiten):

- 15 mm gipsplaat ($Z = 2.3$)
- luchtsponw ($Z = 0.027$)
- 18 mm triplex plaat ($Z = 7.2$)
- dampremmende folie ($Z = 375$)
- 80 mm isolatie (cellulose 80 kg/3 of minerale wol 30 kg/3)
- 18 mm triplex plaat ($Z = 7.2$)
- bitumineuze dakbedekking ($Z = 1400$)

6.6.2 Vochtgedrag van cellulose in zomer en winter

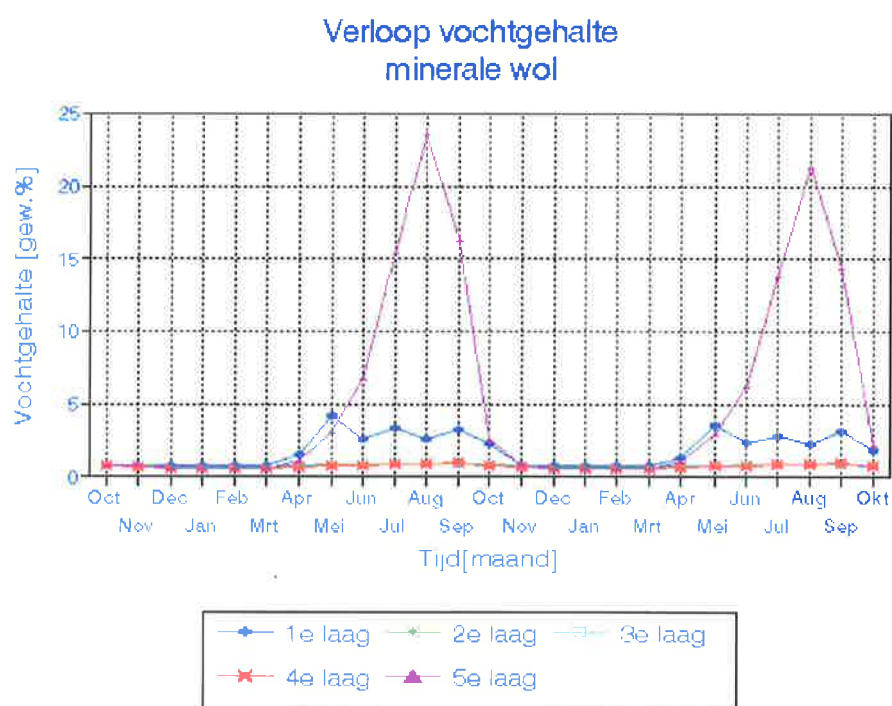
Een simulatieberekening laat zien (zie figuur 6.3) dat het verloop van het vochtgehalte nu anders verloopt. In de winter blijft het materiaal droog, terwijl in de zomer nu juist een hoog vochtgehalte optreedt in de isolatielaag aan de binnenzijde. De verklaring is dat in de zomer als gevolg van zoninstraling de buitenste isolatielaag warmer is dan de binnenste isolatielaag. Het ingebouwde vocht beweegt zich dan naar de koudere binnenlagen.



Figuur 6.3 Verloop van het vochtgehalte. Variant: platdak constructie met cellulose isolatie houten dakbeplating tussen dakbedekking en isolatie

6.6.3 Vergelijking met minerale wol: zomercondensatie

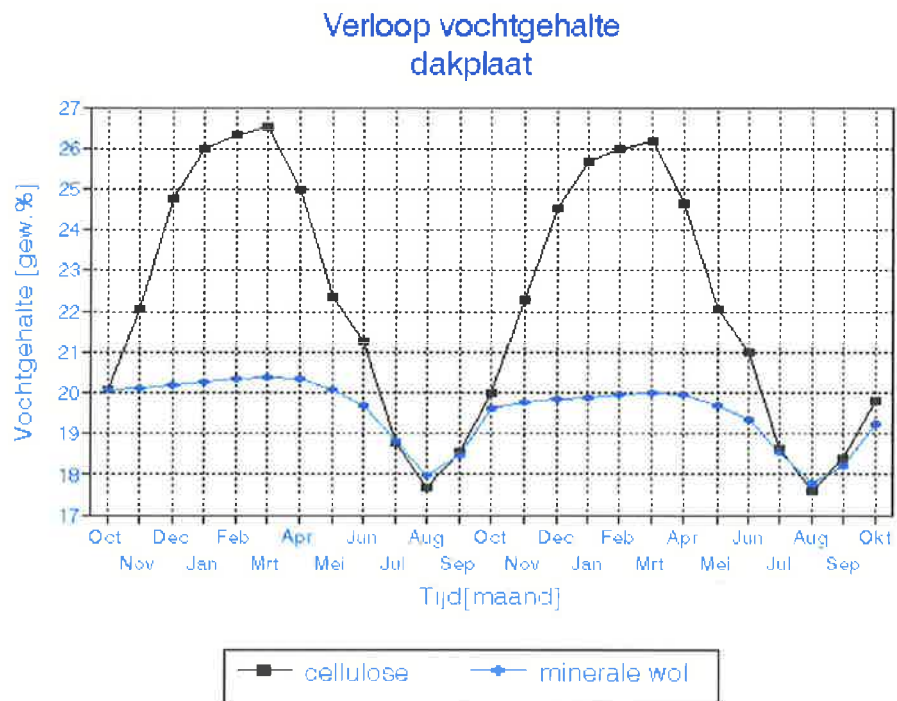
Figuur 6.4 laat ter vergelijking het verloop van het vochtgehalte zien van dezelfde constructie met toepassing van minerale wol. Hieruit blijkt dat de isolatie in de winter droog blijft, terwijl in de zomer duidelijk condensatie optreedt in de isolatie-lagen aan de “warme” zijde (let wel: dit is de warme zijde in de winterperiode; in de zomer wordt dit deel kouder ten opzichte van delen direct onder de dakbedekking die warm worden door zoninstraling). Het verschijnsel dat hierop treedt wordt wel een zomercondensatie genoemd. Het kan optreden bij constructies waarbij ingebouwd vocht (mogelijk in de vorm van hygroscopisch vocht) zich tussen twee dampdichte lagen bevindt. De gevolgen zullen bij toepassing van een hygroscopisch materiaal als cellulose het minst dramatisch zijn omdat bij dit materiaal de vochtmi-gratie in het materiaal zelf wordt opgevangen.



Figuur 6.4 Zelfde berekening als bij figuur 6-3 maar nu met mineral wol isolatie. Ook hier treedt zomercondensatie op in de koelere delen aan de binnenzijde.

6.6.4 Vochtgehalte van de dakplaat

Men kan zich afvragen of in deze situatie er toch niet een te hoog vochtgehalte in de dakplaat op zal treden in de winterperiode. Immers, het is mogelijk dat tijdens de winterperiode het ingebouwde vocht naar de dakplaat migreert. Figuur 6.5 laat het verloop van de vochtgehalten bij de dakplaat zien voor de cellulose en minerale wol varianten. Hieruit blijkt dat de dakplaat bij toepassing van cellulose isolatie te vochtig wordt in de winterperiode. Weliswaar is door toepassing van een dakplaat de cellulose isolatie droger geworden, maar dit gaat blijkbaar ten koste van hoog vochtgehalte in de dakplaat. Ook bij minerale wol vinden we een hoog vochtgehalte in de dakplaat maar dit valt binnen aanvaardbare grenzen.



Figuur 6.5 Vergelijking van het verloop van het vochtgehalte in de dakplaat bij dezelfde omstandigheden als bij figuren 6-3 en 6-4.

6.6.5 Dampremmende laag weglaten?

Eerder is al opgemerkt (6.5) dat bij cellulose isolatie het toepassen van een zwaardere damprem de thermo-hygrische prestatie niet doet verbeteren. De vraag is of men de dampremmende laag (PE-folie) helemaal kan weglaten. Een extra simulatieberekening laat zien dat dit niet het geval is. Het vochtgehalte in de dakplaat verloopt op dezelfde wijze als getoond in figuur 6-5, waarbij de maximale waarden voor de vochtgehalten dan oplopen tot meer dan 30 % gew.

6.6.6 Conclusies platdak toepassing

Uit het voorgaande volgt dat het toepassen van cellulose isolatie in niet geventileerde dakconstructies op problemen kan stuiten. Door de herverdeling van het hygroscopisch vocht kunnen ongewenste vochtgehalten in de constructie optreden. Het toepassen van dampremmende folies aan de warme zijde verandert daar weinig aan.

7 Spouwmuur gevel constructie

7.1 Algemeen

Het toepassen van vernieuwbare isolatiematerialen in de traditionele spouwmuur constructie dient met de nodige voorzichtigheid te gebeuren. Het buitenspouwblad is meestal niet waterdicht en daarom moet worden voorkomen dat doorslaand regenwater in contact kan komen met het hygroscopisch isolatiemateriaal. In de ideale spouwmuur zal de luchtspouw daarbij een barrière moeten vormen. In de praktijk kunnen er echter gemakkelijk vochtbruggen ontstaan door valspectie. Het toepassen van een waterkerende dampopen folie aan de buitenzijde van de isolatielaag kan dit risico verminderen. In de simulatieberekening zijn we uitgegaan van een ideale spouwmuur constructie.

7.2 Opbouw basisvariant

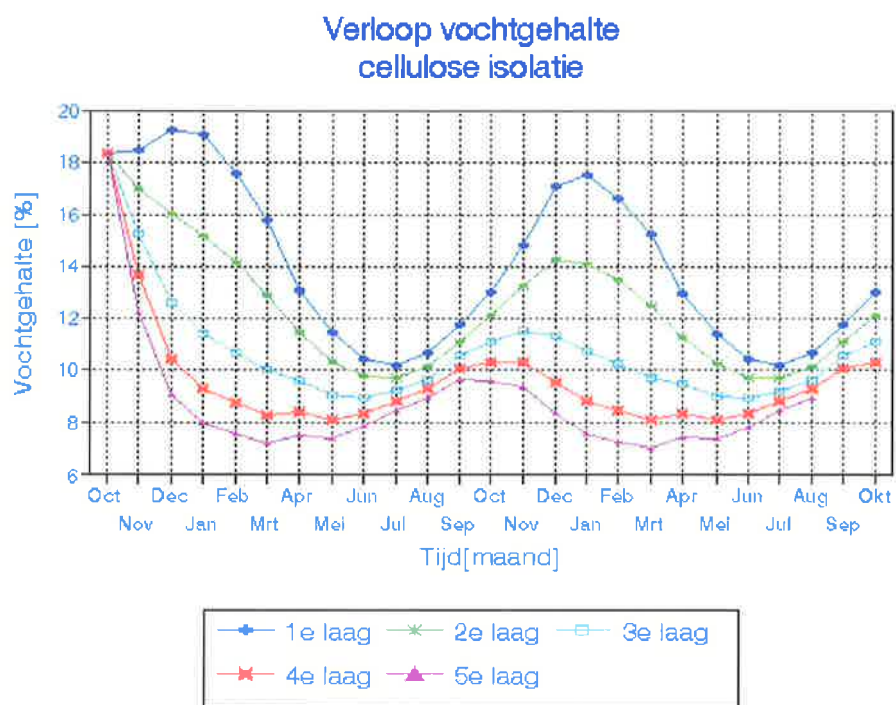
Als basis variant is gekozen voor de volgende opbouw (van binnen naar buiten).

- 10 mm stucwerk ($Z = 2.0$)
- 100 mm kalkzandsteen ($Z = 14.9$)
- 100 isolatie (cellulose 80 kg/m^3)
- waterkerende folie (zeer dampopen)
- 40 mm luchtspouw ($Z = 0.027$)
- 100 metselwerk (zwakke ventilatie, $Z = 0.43$)

Variaties hierop zijn mogelijk, maar zolang we uitgaan van een tenminste zwak geventileerde gevelspouw zullen er bouwfysisch gezien geen grote verschillen optreden.

7.3 Uitkomsten

De uitkomsten van een simulatieberekening met cellulose isolatie in de spouwmuur is te zien in figuur 7.1. Het vochtgedrag geeft hetzelfde beeld te zien als bij de geveldoos constructie in paragraaf 4.4. We concluderen hieruit dat de toepassing materialen als cellulose in spouwmuren goed mogelijk is, mits men verzekerd kan zijn dat regenwater niet in contact kan komen met het isolatiemateriaal.



Figuur 7.1 Verloop van het vochtgehalte in cellulose isolatie bij toepassing in een spouwmuurgevel.

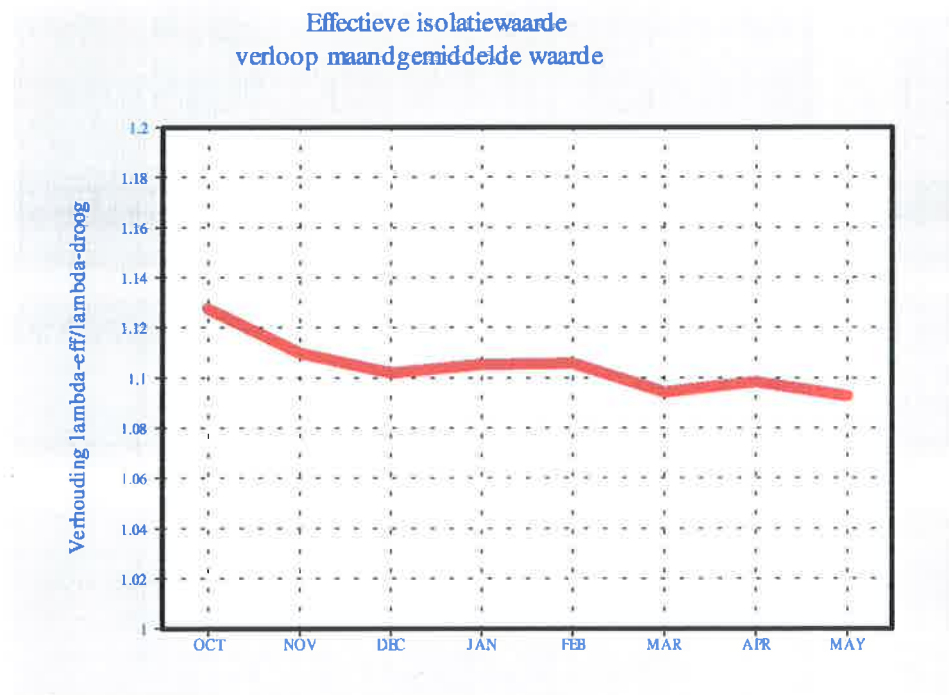
8 De invloed van vocht op de isolatiewaarde

Omdat het vochtgehalte in een hygroscopisch materiaal in het stookseizoen varieert, zal de isolatiewaarde niet constant zijn. Het Match programma berekent de momentane warmtestroom door de constructie waarbij de invloed van het materiaalvochtgehalte is verdisconteerd (zie 3.3.2). Door de gemiddelde warmtestroom over het stookseizoen te bepalen kunnen we op basis van een simulatieberekening de effectieve warmtegeleidingscoëfficiënt bepalen. De effectieve warmtegeleidingscoëfficiënt volgt uit de formule:

$$\lambda_{\text{eff}} = q \cdot d / \Delta T \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]$$

waarin

q	=	berekende gemiddelde warmtestroomdichtheid [W/m^2]
d	=	dikte van het isolatiemateriaal [m]
ΔT	=	gemiddelde temperatuurverschil over het isolatiemateriaal [$^\circ\text{C}$]



Figuur 8.1 Verloop van de verhouding $\lambda_{\text{eff}}/\lambda_{\text{droog}}$ van cellulose isolatie in een geventileerde dakconstructie (met PE-folie).

De waarde voor λ_{eff} is niet constant maar zal voortdurend variëren onder invloed van de klimaatwisselingen aan weerszijden van de constructie. Het verloop van de maandgemiddelde waarden over het stookseizoen is weergegeven in figuur 8.1.

Uit deze figuur blijkt dat de verhouding $\lambda_{\text{eff}}/\lambda_{\text{droog}}$ in de loop van het stookseizoen afneemt. We kunnen hieruit concluderen dat de herverdeling van het vocht in de constructie tijdens winterperiode niet leidt tot een afnemende prestatie van de isolatiewaarde.

Berekende waarden voor de relatieve effectieve warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda_{\text{eff}}/\lambda_{\text{droog}}$, gemiddelde over de winterperiode zijn gegeven in tabel 8.1. De gevonden waarden hebben betrekking op een geventileerde dakdoosconstructie.

Tabel 8.1 Berekende relatieve effectieve warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda_{\text{eff}}/\lambda_{\text{droog}}$.

	$\lambda_{\text{eff}}/\lambda_{\text{droog}}$
Min.wol (met PE folie)	1.0
Min.wol (zonder PE folie)	1.068
Cellulose (met PE folie)	1.106
Cellulose (zonder PE folie)	1.197

De getallen kunnen worden gerelateerd aan de correctiefactoren die in de NEN 1068 worden gehanteerd. In de NEN 1068 geldt voor minerale wol een correctiefactor van 1.10 en voor hygroscopische materialen een factor van 1.25.

De resultaten laten zien dat hygroscopische isolatiematerialen zoals toegepast in deze voorbeeldconstructies beter presteren dan volgens de correctiefactoren uit de NEN1068.

Met andere woorden: de vochtinvloed op de isolatiewaarde is zodanig dat dit voldoende wordt verdisconteerd in de huidige rekenvoorschriften.

9 Vochtuitwisseling met het binnenklimaat

9.1 Inleiding

Van de natuurlijke isolatiematerialen wordt vaak beweerd dat deze een vochtregulerende werking hebben op het binnenklimaat. De gedachte hierachter is dat een overschot aan vocht in de binnenlucht door het materiaal wordt opgenomen, terwijl dit weer wordt afgegeven aan de binnenlucht als deze te droog dreigt te worden. Bij nadere beschouwing blijkt het nodig om onderscheid te maken tussen twee soorten constructies:

- uitwendige scheidingsconstructies (met één zijde grenzend aan de buitenlucht)
- inwendige scheidingsconstructies (met beide zijden grenzend aan de binnenlucht)

9.2 Uitwendige scheidingsconstructies

In de winterperiode zal een vochtstroom van de binnenlucht naar de constructie plaatsvinden vanwege waterdampdiffusie door de constructie naar buiten. Een deel van deze vochtstroom kan door een hygroscopisch materiaal als cellulose worden geabsorbeerd. In de zomerperiode zal het geabsorbeerde vocht weer worden afgegeven, voornamelijk naar de buitenlucht. De vochtstromen zijn verder vrij klein omdat men aan de binnenzijde de isolatie over het algemeen zal afschermen met dampremmende materialen. Deze dampremmende lagen zorgen er ook voor dat er in een korte tijdsperiode (bijvoorbeeld een etmaal) nauwelijks vochtbuffering kan plaatsvinden. Concluderend kan men stellen dat het toepassen van natuurlijke isolatiematerialen in uitwendige scheidingsconstructies over het algemeen niet of nauwelijks een vochtregulerend effect zal hebben op het binnenklimaat.

9.3 Inwendige scheidingsconstructies

Bij constructies die aan beiden zijden aan binnenlucht grenzen, zoals binnenwanden of woningscheidende wanden, ligt de situatie anders. De temperatuur van de wanden ligt hele jaar door vrijwel op hetzelfde niveau. Vochttransport als gevolg van temperatuurverschil of een dampdrukverschil over de constructie vindt daarom nauwelijks plaats. Onder deze omstandigheden kan de constructie (met het daarin aanwezige cellulose materiaal of i.d.) wel vocht opnemen of afgeven als gevolg van variaties van luchtvochtigheid in de binnenlucht, mits de wandafwerking niet te dampremmend is. Afhankelijk van het totale wandoppervlak dat aan de vochtuitwisseling meedoet zal een vorm van vochtregulering van het binnenklimaat tot stand kunnen komen.

10 Karakterisering van de thermische massa

10.1 Inleiding

Onlangs zijn door het bedrijf Homann te Berga (D) twee nieuw type isolatiematerialen als plaatmateriaal geïntroduceerd: een cellulose isolatieplaat met een densiteit van circa 80 kg/m^3 en een houtvezelplaat met een densiteit van circa 120 kg/m^3 . Omdat deze materialen tevens een hoge soortelijke warmtecapaciteit hebben is de effectieve thermische massa van de platen veel groter dan die van conventionele materialen als minerale wol of kunststofschuim. Het toepassen van zware isolatiematerialen in lichte gebouwen zou kunnen bijdragen tot het verminderen van de oververhittingsproblematiek of tot het verminderen van de koelbehoefte als het gebouw mechanisch wordt gekoeld.

In opdracht van Homann is een experiment uitgevoerd in de buiten testcellen van TNO Bouw. Het doel van dit experiment was te laten zien hoe de verschillende isolatiematerialen zich thermisch gedragen onder zomerse condities. Een kwalitatieve analyse van de metingen is gerapporteerd in een TNO-rapport⁴. In het kader van deze studie zijn de meetgegevens op kwantitatieve wijze geanalyseerd teneinde thermische parameters van de isolatiematerialen te karakteriseren.

10.2 Het experiment

Voor het experiment is een testwand gemaakt die bestaat uit vier secties met verschillende isolatiematerialen:

- a. cellulose isolatieplaat (80 kg/m^3)
- b. glaswol isolatie (20 kg/m^3)
- c. PS isolatieplaten (20 kg/m^3)
- d. houtvezel isolatieplaat (140 kg/m^3)

De testwand is gemonteerd in de op het zuiden gerichte opening van de testcel. Door de testcel aan de binnenzijde te koelen wordt een temperatuurverschil over de testwand aangehouden. De testwand is voorzien van temperatuur- en warmtestroomsensoren. Daar de vier isolatiesystemen op dezelfde wijze worden blootgesteld aan het binnen- en buitenklimaat kan het thermische gedrag van de systemen onderling worden vergeleken.

⁴ TNO-report 98-BBI-R0410 "Analyse der Waermeparameter von vier Daemstoffen unter sommerlichen Bedingungen", Juni 1998

10.3 Parameter identificatie

Het doel van parameter identificatie is de thermische parameters af te leiden uit een thermisch model op basis van de beschikbare meetgegevens. Voor dit doel is een bij TNO Bouw ontwikkeld programma gebruikt: MRQT. Het parameter identificatie proces bestaat uit een aantal stappen.

Als eerste stap moet een thermisch model worden opgesteld. In ons geval is de isolatielaag gemodelleerd door een netwerk van 12 lagen, die elk bestaan uit een parameter voor geleiding (H) en een parameter voor de warmtecapaciteit C.

De volgende stap is het MRQT programma te voeden met meetgegevens. In onze analyse hebben we de over 5 minuten gemiddelde temperatuur gegevens ingevoerd voor een periode van zeven opeenvolgende dagen.

Het MRQT programma berekent vervolgens de hierbij behorende warmtestromen en vergelijkt deze met de gemeten warmtestromen op basis van een eerste schatting van de thermische parameters. Als er een afwijking wordt gevonden worden de thermische parameters bijgesteld. Door deze stappen te herhalen en gebruik te maken van statistische methoden wordt in een iteratief proces uiteindelijk de beste fit gevonden voor H en C.

De laatste stap bestaat uit het afleiden van de waarden voor de warmtegeleidingscoëfficiënt λ en specifieke thermische massa pc.

10.4 Problemen met parameter identificatie

Er is naar gestreefd om afzonderlijke waarden te vinden voor de warmtegeleidingscoëfficiënt λ en specifieke thermische massa pc. Dit blijkt voor ons experiment niet goed te lukken. De voornaamste reden is dat een correlatie bestaat tussen een temperatuurverandering door geleiding en een temperatuurverandering door warmtebuffering.

Dit wordt ook duidelijk als men kijkt naar de formule voor de temperatuurvereffeningscoëfficiënt a. Dit kental wordt gebruikt om de voortplanting van een temperatuurgolf door een materiaal te beschrijven. De formule voor a luidt:

$$a = \frac{\lambda}{\rho c}$$

met

λ = warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal [W/(m.K)]

ρ = densiteit van het materiaal [(kg/m³)]

c = specifieke warmtecapaciteit van het materiaal [J/(kg.K)]

Verschillende waarden voor pc en λ kunnen dezelfde waarde voor a opleveren en kunnen dus ook dezelfde thermische gedrag vertonen.

Een andere oorzaak is dat het experiment is opgezet voor zomercondities waarbij het gemiddelde temperatuurverschil over de testwand klein is. Dit betekent dat de tem-

peratuuereffecten door geleiding klein zijn ten opzichte van de temperatuuereffecten door warmtebuffering.

Hier staat tegenover dat MRQT wel statische betrouwbare uitkomsten kan geven voor de gecombineerde parameter a .

10.5 Resultaten van de parameter identificatie

De uitkomsten van de parameter identificatie zijn gegeven in tabel 10.1. In deze tabel is tevens de waarde gegeven voor de indringdiepte, die uit de waarde voor a kan worden afgeleid volgens

$$\delta = \sqrt{\frac{aT}{\pi}}$$

waarbij

T = de cyclusduur van de temperatuurverandering [s]

De definitie voor de indringdiepte is ontleend aan de voorlopige EN norm PrEN-13786. In Tabel 10.1 is de waarde voor de indringdiepte bij een 24-uurs cyclus weergegeven.

Tabel 10.1 Uitkomsten MRQT analyse

	<i>Cellulose</i>	<i>Glaswol</i>	<i>PS</i>	<i>Houtvezel</i>
<i>Temperatuurvereffeningscoëfficiënt</i>				
<i>a (*10-6 m²/s)</i>	0,30	2,4	1,5	0,22
<i>Indringdiepte</i>				
<i>δ (in cm)</i>	9,0	26,0	20,1	7,8

10.6 Discussie en conclusies

In tabel 10.1 zijn de uitkomsten van de parameter identificatie gegeven die verkregen zijn uit een experiment onder zomercondities. Het is interessant deze getallen te vergelijken met de gegevens die afgeleid zijn uit de materiaal specificaties van de bij het experiment gebruikte materialen.

In tabel 10.2 zijn deze materiaalgegevens voor λ , ρ , c en c/V (thermische massa per volume eenheid) opgegeven, tezamen met de hieruit afgeleide waarden voor a en δ .

We zien dat op deze wijze bepaalde waarden voor a en δ niet veel afwijken van de waarden die uit het experiment zijn afgeleid. We concluderen daarom dat de productgegevens van de leveranciers ook geldig zijn voor zomercondities.

Om vast te stellen in welke mate de zwaardere isolatiematerialen als cellulose en houtvezel isolatie bijdragen tot het verminderen van de koelbehoefte in gebouwen moet gebruik gemaakt worden van een gebouwsimulatieprogramma.

Tabel 10.2: Thermische parameters op basis van materiaalgegevens.

	Cellulose	Glaswol	PS	Houtvezel	Beton
λ [W/m.K]	0,04	0,04	0,04	0,045	1,5
ρ [kg/m ³]	80	20	15	140	2400
c [J/(kg.K)]	1944	799	1378	1951	800
c/V [kJ/(m ³ .K)]	155	16	21	273	1920
a [10 ⁻⁶ m ²]	0,26	2,5	1,9	0,165	0,78
δ [cm]	8,4	26,2	23,0	6,7	14,6

11 Andere vernieuwbare isolatiematerialen

11.1 Overzicht

In dit onderzoek hebben we ons beperkt tot de toepassing van cellulose isolatiemateriaal in een beperkt aantal voorbeeldconstructies. De uitkomsten zijn echter ook toepasbaar op andere vernieuwbare isolatiematerialen zoals genoemd in onderstaande tabel. De belangrijkste parameter daarbij is de densiteit van het materiaal. Tabel 11.1 geeft een globaal overzicht.

Tabel 11.1 Overzicht vernieuwbare isolatiematerialen

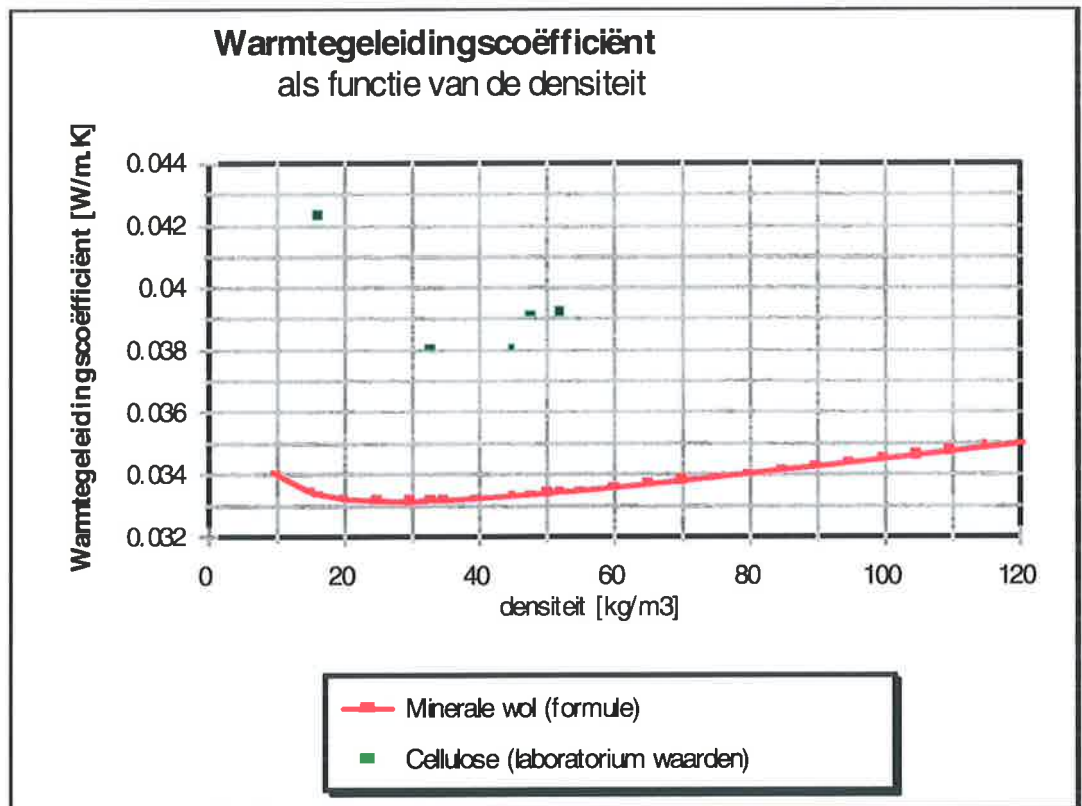
Materiaal	Densiteit [kg/m³]	λ_{droog} [W/m.K] (zie toelichting in 11.2)
<i>cellulose in plaatvorm</i>	70...90	ca. 0.04
<i>cellulose, in vlokform</i>	30...70	ca. 0.04
<i>houtvezel in plaatvorm</i>	120...140	ca. 0.045
<i>katoen</i>	circa 20	ca. 0.04
<i>schapenwol</i>	circa 20	ca. 0.04
<i>stro, geperst</i>	tot 400	ca. 0.1
<i>geëxpandeerde kurk</i>	100...150	ca. 0.045
<i>vlasvezeldecken</i>	circa 10	ca. 0.04

11.2 De warmtegeleidingscoëfficiënt van natuurlijke materialen

De getalwaarden voor de warmtegeleidingscoëfficiënt die men vindt in commerciële productgegevens bij natuurlijke materialen dienen met de nodige voorzichtigheid te worden gehanteerd. De bepaling van de warmtegeleidingscoëfficiënt vindt plaats onder laboratorium omstandigheden waarbij de werkwijze bij de meting van invloed kan zijn op de uitkomst. Meestal zal men het materiaal eerst drogen omdat de norm voor de bepaling van de warmtegeleidingscoëfficiënt dit voorschrijft. Bij een hygroscopisch materiaal is het onduidelijk hoever men moet gaan met het drogen. Om te voorkomen dat tijdens de meting het monster weer vocht opneemt wordt het materiaal soms ingepakt met een dampdichte folie. Omdat de warmtegeleidingscoëfficiënt afhankelijk is van het vochtgehalte kan men een grote spreiding verwachten in de meetwaarden. Een ander kritisch punt is dat bij materialen met een lage densiteit zorgvuldig vastgesteld moet worden wat de densiteit van het product is tijdens de meting. Door samendrukking van het materiaal kan de gevonden waarde anders zijn dan bij toepassing in de praktijk. De betrouwbaarheid van de λ -waarden hangt dus nauw samen met de omstandigheden waarbij de bepaling heeft plaatsgevonden.

11.3 Invloedsfactoren warmtegeleidingscoëfficiënt

In het algemeen kan men stellen dat de warmtegeleidingscoëfficiënt (λ_{droog}) mee zal variëren met de densiteit van het materiaal. Vanaf circa 30 kg/m³ zal de warmtegeleidingscoëfficiënt van een product toenemen met toenemende densiteit. Bij lage densiteiten (< 30 kg/m³) zal de warmtegeleidingscoëfficiënt toenemen met een afnemende densiteit. Figuur 11.1 geeft ter illustratie enkele gegevens uit de databank van IEA Annex 24⁵



Figuur 11.1 Verband tussen de warmtegeleidingscoëfficiënt en de densiteit voor
a. minerale wol, volgens een formule uit literatuur⁵
b. cellulose, volgens laboratorium meet aarden uit literatuur⁵

11.4 Kritische invloedsfactoren bij toepassing in de praktijk

Voor hygroscopische materialen geldt dat warmtegeleidingscoëfficiënt toeneemt bij een toenemend vochtgehalte in het materiaal. Afhankelijk van de toepassing kan de effectieve warmtegeleidingscoëfficiënt tussen 10 en 20 % hoger (zie hoofdstuk 8)

⁵ IEA Annex 24 Final Report Task 3: Material Properties.

liggen, uitsluitend als gevolg van het effect van het vochtgehalte op de warmtegeleiding. Naar mate de densiteit toeneemt zal hygroscopisch vocht een grotere rol spelen.

In de NEN 1068 wordt een correctiefactor van 1.25 gehanteerd voor natuurlijke isolatiematerialen bij het bepalen van de rekenwaarde voor de λ onder praktijkomstandigheden (voor materialen als minerale wol is de correctiefactor 1.1). Bij toepassing van NEN 1068 is de invloed van vocht dus min of meer verdisconteerd.

Hieronder volgt een opsomming van andere kritische factoren die eveneens van invloed kunnen zijn op het warmteverlies onder praktijkomstandigheden.

- Bij toepassing van een (te) lage densiteit kan de structuur van het materiaal dermate open worden dat luchttransport door het materiaal aanleiding geeft tot een extra warmteverlies.
- Bij toepassing van lage densiteiten in losse vorm moet men er rekening mee houden dat inklinking kan ontstaan, waardoor bij de toepassing in verticale of schuine bouwconstructies lege ruimtes zullen ontstaan.
- De toepassing van producten met een zeer lage densiteit zijn nogal uitvoeringsgevoelig. Bij een praktijkonderzoek van TNO Bouw⁶, waar (onder andere) vlasvezel isolatie was toegepast, bleek bij een visuele inspectie dat de vlasvezeldekens sterk geplooid en onregelmatig verdeeld in een geveldoos constructie waren aangebracht. De gemeten isolatiewaarde van de constructie was mede daardoor veel kleiner dan verwacht.

Over het algemeen kan men stellen dat de kwaliteitsborging bij los geleverde materialen moeilijk is te realiseren. Dit geldt ook voor isolatiedekens met een lage densiteit. Het minst kritisch zijn producten die in plaatvorm worden geleverd.

11.5 Invloed van vocht op de structuur van het materiaal.

Hiervoor is reeds opgemerkt dat producten met een lage densiteit en de daarmee gepaard gaande open structuur in het materiaal een kritische factor vormt ten aanzien van het goed functioneren van de isolerende werking onder praktijkomstandigheden.

Een andere vraag die zich voordoet is wat er gebeurt als het materiaal bij de bouw of in de periode erna in contact komt met water. Niet alle producten met natuurlijke materialen zullen hier tegen bestand zijn. Juist vanwege het hygroscopische karakter kunnen deze materialen veel vocht opnemen en het is vraag of na droging het materiaal nog dezelfde structuur zal hebben.

De natuurlijke isolatiematerialen dienen daarom bij voorkeur in een blijvend droog milieu te worden toegepast. Er zijn vele toepassingen in bouwconstructies denkbaar waarbij men met een redelijke mate van zekerheid van een blijvend droog milieu mag uitgaan.

⁶ TNO-rapport 96-BBI-R1177 "Bouwfysisch onderzoek Eco-kantoor te Bunnik".

12 Conclusies

Onderzoek vochtgedrag

Aan de hand van simulatieberekeningen met het programma Match is onderzocht of vernieuwbare isolatiematerialen als cellulose bouwfysisch verantwoord kunnen worden toegepast in gangbare bouwconstructies. Bij het onderzoek is met name gekeken naar het condensatiegedrag, waarbij de berekende vochtgehalten van de materialen als toetsingscriterium is gehanteerd. De simulatieberekeningen zijn uitgevoerd voor vier verschillende type constructies en voor varianten daarop.

De geveldooconstructie met goed geventileerde gevelspouw

Bij dit type constructie treden geen condensvochtproblemen op als cellulose isolatie wordt toegepast. In vergelijking met het toepassen van minerale wol is het condensatierisico zelfs minder kritisch omdat het cellulosemateriaal in staat is om het potentiële condensvocht te bufferen. Mits de gevelspouw goed wordt geventileerd kan de dampremmende laag aan de binnenzijde worden weggelaten zonder dat condensvochtproblemen ontstaan. Uit oogpunt van behoud van de isolatiewaarde kan de toepassing van een dampremmende laag daarentegen wel zinvol zijn.

Verder is het vochtgedrag sterk afhankelijk van de dampremmende eigenschappen van de binnen- en buitenafwerking van de geveldoo. De berekeningen met de diverse varianten leiden echter niet een algemeen geldende vuistregel. Het verdient daarom aanbeveling om elke situatie afzonderlijk te beoordelen.

De dakdooconstructie met goed geventileerde dakspouw

Dit type constructie is vergelijkbaar met de vorige en conclusies zijn dan ook hier van toepassing. Een belangrijk verschil is dat een hellend dak meer warmte uitstraalt naar de koude (nachtelijke) hemelkoepel waardoor de dakdooconstructie uit oogpunt van condensatierisico's iets kritischer is.

Toepassing bij een (niet geventileerd) plat dak.

Kenmerk van deze constructie is het gebruik van een dampdichte waterkerende laag aan de buitenzijde. De toepassing van cellulose isolatie kan hier tot kritische situaties leiden. Als ook een dampremmende folie aan de warme zijde aanwezig is ontstaat een situatie waarbij sprake is van ingebouwd vocht. Door herverdeling van het hygroscopische vocht kan het vocht zich tijdens de winterperiode ophopen aan de buitenzijde van de constructie. Bijtoepassing van een houtachtige beplating aan de buitenzijde blijft de cellulose isolatie weliswaar droog, maar in dat geval wordt het vochtgehalte van de beplating te hoog. Het weglaten van de dampremmende laag aan de warme zijde verbetert de situatie omdat het ingebouwde vocht dan de mogelijkheid heeft om naar binnen toe te ontsnappen tijdens de zomerperiode. Daarbij overigens condensatie aan de binnenzijde ontstaan. Over het algemeen kan men dus stellen dat cellulose isolatie minder geschikt is voor toepassing in platte (niet geventileerde) daken.

Gevelconstructie met een zwak geventileerde spouwmuur.

Bij de simulatieberekeningen laten zien dat de toepassing van materialen als cellulose in spouwmuren goed mogelijk is, mits men er verzekerd kan zijn dat regenwater niet in contact kan komen met het isolatiemateriaal. In situaties waarbij deze waterkering niet zeker is moet men voorzichtig zijn met het toepassen van hygroscopische isolatiematerialen.

Invloed van vocht op de isolatiewaarde

Het hygroscopische karakter van een isolatiemateriaal heeft invloed op de isolatiewaarde. Simulatieberekeningen laten zien dat men gemiddeld over een stookseizoen moet rekenen op een extra warmteverlies van 10 tot 20 %. Dit valt echter binnen de grenzen van de correctiefactor (25 %) die de NEN 1068 voorschrijft voor het bepalen van de in de praktijk te hanteren rekenwaarde voor de warmtegeleidingscoëfficiënt van hygroscopische isolatiematerialen.

Vernieuwbare isolatiematerialen algemeen

Kritische invloedsfactoren bij toepassing van vernieuwbare isolatiematerialen doen zich vooral voor als lage densiteiten worden gebruikt. Toepassing in plaatvorm geeft de beste waarborgen voor een goede kwaliteitsbeheersing.

Het gebruik van thermisch massa

Een analyse, mede op basis van experimenteel verkregen gegevens, laat zien dat met de toepassing van cellulose of houtvezelisolatie de effectieve thermische massa van een lichtgewicht constructie aanzienlijk kan worden vergroot. Toepassing van deze materialen kan daarom bijdragen tot het verminderen van de temperatuuroverschrijdingsproblematiek bij woningen of tot het verminderen van de koelbehoefte bij kantoren. Aanbevolen wordt dit verder te onderzoeken in een vervolgproject



ir. J. Oldengarm
auteur



ing. G.A.H. van Amerongen
Afdelingshoofd Duurzame Energie en de
Gebouwde Omgeving

Delft, september 1999

OMJ0416, NOV (krl)