

P. Eykens, isoproC cvba, Kapelstraat 1, 1980 Zemst

Hygrische studie koud dak met cellulose-isolatie

Rapport 03/01 (10 pp.)

INLEIDING

Op 24 april 2003 werd Prof. A. Janssens van de Vakgroep Architectuur en Stedenbouw van de Universiteit Gent gevraagd om in opdracht van de firma isoproC cvba een numerieke studie uit te voeren naar het hygrothermisch gedrag van een koud daksysteem. Er werd gevraagd om na te gaan of er risico's verbonden zijn aan de toepassing van het voorgestelde daksysteem voor een nieuwbouw met serviceflats, voorzien van een mechanisch ventilatiesysteem.

Het betreft een licht plat dak samengesteld uit de volgende lagen (van buiten naar binnen):

1. EPDM-membraan 1.5 mm
2. Draagvloer uit OSB-platen, 18 mm
3. Cellulose-isolatie (isofloc L) droog ingeblazen tussen de dakliggers over de volledige hoogte van de dakspouw, 360 mm; de dakliggers zijn I-liggers uit OSB, as op as 400 mm, hoogte 360 mm, lijfplaat 11 mm, boven- en onderregel 45 mm x 39 mm
4. Lucht/dampscherm (pro clima)
5. Leidingenspouw
6. Gipskarton 12 mm

Dit rapport bespreekt de algemene problematiek van het 'koude' platte dak, geeft de uitgangspunten van de simulaties en analyseert de resultaten.

HET KOUD DAK: PROBLEEMSTELLING

In de Technische Voorlichtingen van het WTCB (TV 215, referentie 1) worden voor platte daken nog slechts twee dakontwerpen toegelaten: het warme en het omgekeerde dak. Bij het warme dak worden dampscherm, thermische isolatie en dakafdichting bovenop de draagvloer aangebracht. Bij het omgekeerde dak is de dakafdichting rechtstreeks op de draagvloer aangebracht en bevindt de thermische isolatie zich op de dakafdichting. Beide dakontwerpen kunnen als luchtdicht beschouwd worden.

Het zogenaamde lichte koud dak, een tussen de dakstructuur geïsoleerd en geventileerd houten dak, is juist omwille van het courant gebrek aan luchtdichtheid in de praktijk condensgevoelig, getuige verschillende schadegevallen in de jaren '70 en '80. Dit ontwerp wordt daarom als algemene dakoplossing afgeraden in de TV 215. Dit betekent echter niet dat het koud dakontwerp per definitie problematisch is wat betreft vochtgedrag. Wel dat met de conventionele bouwtechnieken en –praktijk het risico groot is dat de noodzakelijke luchtdichtheid niet gerealiseerd kan worden en dat hierdoor vochtproblemen kunnen ontstaan.

Mits toepassing van aangepaste luchtdichtingstechnieken, en zorgvuldig ontwerp en uitvoering, kan een aangepast koud daktype echter toegepast worden voor gebouwen waar geen extreem vochtig binnenklimaat te verwachten is. Toepassingsvoorbeelden van koude daken in streken met een kouder klimaat dan het onze tonen dit aan (zie referenties 4 en 7).

De volgende kenmerken van de hier bestudeerde dakopbouw moeten de risico's verbonden aan het koud dakontwerp wegnemen:

1. De afwezigheid van een geventileerde luchtspouw tussen bebording en isolatie. Volgens de in de TV215 gehanteerde definitie is de aanwezigheid van een met buitenlucht geventileerde spouw één van de specifieke (nadelige) kenmerken van een koud dak. Door de aanwezigheid van een geventileerde spouw ontstaat bij een gebrekkige luchtdichtheid van het dak een continu stromingspad tussen binnen en buiten, zodat vochtige binnenlucht via het dak naar buiten kan exfiltreren, met mogelijke vochtaccumulatie in de bebording tot gevolg. Het weglaten van een geventileerde spouw uit het dakontwerp is dus een eerste stap om een goede vochtuithouding van het dak mogelijk te maken.
2. Het gebruik van een luchtschermsysteem (hier: pro clima). Sinds enkele jaren zijn nieuwe luchtdichtingssystemen op de markt, waarmee een continue luchtdichtheid met een grotere betrouwbaarheid in de praktijk kan gerealiseerd worden. Toepassing van een dergelijk systeem is essentieel voor een veilig vochtgedrag van een koud dak. Volgende ontwerp- en uitvoeringsaspecten moeten hierbij gerespecteerd worden:
 - Het dak ontwerpen om een continue uitvoering van het luchtschermsysteem mogelijk te maken: gebruik van een leidingenspouw voor electrica en andere leidingen aan de binnenkant van het luchtschermsysteem, detailleren zodat luchtdichte aansluitingen tussen luchtschermsysteem en structuur eenvoudig uitvoerbaar zijn,... (vb. ook bij toepassing van een luchtschermsysteem is het moeilijk om het scherm luchtdicht aan te sluiten op H-vormige dragende kolommen).
 - Het luchtschermsysteem laten uitvoeren door een hiervoor opgeleide aannemer, met toepassing van alle noodzakelijke componenten van het systeem (scherm, dichtingsbanden, kleefband, dichtingsmoffen,...)
 - Na uitvoering een luchtdichtheidstest van het scherm uitvoeren, en remediëren indien nodig.
3. Het gebruik van een dampscherm met vochtafhankelijke eigenschappen. Naast een goede luchtdichtheid is een snelle droging van ingebouwd vocht (hygroscopisch vocht in houten elementen, neerslag,...) belangrijk om een goed presterend koud dak te realiseren. Bij toepassing van conventionele dampschermen (kuststoffolies) zit ingebouwd vocht ingesloten tussen twee dampdichte lagen: de dakbedekking en het dampscherm. Hierdoor bestaat het risico dat de houten bebording langdurig blootgesteld wordt aan hoge vochtgehalten, met mogelijke biologische degradatie (houtrot) tot gevolg. Het hier voorgestelde dampscherm heeft de eigenschap meer doorlatend te zijn voor waterdamp wanneer de relatieve vochtigheid van de omgeving toeneemt. Dit draagt bij tot een snellere uitdroging van het dak. Een juiste keuze van dampscherm is dus belangrijk om de duurzaamheid van het dak te garanderen. Om deze keuze wetenschappelijk te onderbouwen worden daarom hygrothermische simulaties uitgevoerd. Op deze manier is het mogelijk het vochtgedrag van het dak te evalueren bij toepassing van verschillende types dampschermen.

HYGROTHERMISCHE SIMULATIES

Het vochtgedrag van het dak werd onderzocht met behulp van het rekenprogramma 2DHAV. Dit berekent het gecombineerde warmte-, lucht- en waterdamptransport in bouwconstructies, en voorspelt het verloop van temperaturen, warmtestromen, dampdrukken en vochtgehalten in functie van de tijd onder invloed van de wisselende randvoorwaarden van buiten- en binnenklimaat. Meer details over het rekenprogramma vindt men terug in referentie 2.

Bij de studie fungeerden de eigenschappen van het dampscherm en de vochtbelasting (klimaatklasse) van het binnenklimaat als variabele parameters. In alle gevallen wordt verondersteld dat het lucht/dampscherm volgens bovenstaande principes luchtdicht is uitgevoerd.

Dakopbouw

Het dak wordt beschouwd als een 1-dimensionaal systeem, opgebouwd uit de volgende lagen (van buiten naar binnen):

1. EPDM, 1.5 mm ($\mu d = 100$ m)
2. OSB, 18 mm
3. Cellulose, 360 mm
4. Dampscherm, 0.23 mm (3 varianten)
5. Leidingenspouw ($R = 0.17$ m²K/W)
6. Gipskarton 12 mm

Het vochtgedrag wordt onderzocht voor 3 verschillende dampschermen:

1. pro clima DB+: $\mu d(\text{droog}) = 4$ m
2. pro clima DB+SPEZIAL: $\mu d(\text{droog}) = 16$ m
3. polyethyleen-folie: $\mu d = 10$ m

De eerste twee dampschermen zijn materialen met zogenaamd vochtregulerende eigenschappen. Dit betekent dat de dampdichtheid van het dampscherm functie is van de relatieve vochtigheid van de omgeving. Op deze manier wordt een grote dampdichtheid gerealiseerd in de winter (lage relatieve vochtigheid binnen), en een verbeterde droogcapaciteit in de zomer (hoge relatieve vochtigheid binnen, lagere dampdichtheid). Het laatste dampscherm is een standaard kunststoffolie die courant als dampscherm wordt toegepast in bijvoorbeeld hellende daken.

Materiaaleigenschappen

Om het dak in het rekenprogramma te kunnen invoeren moeten de thermische en hygrische transport- en opslagcoëfficiënten worden gedefinieerd volgens een vastgelegd formaat. Hierbij is uitgegaan van meetgegevens uit de literatuur (Referentie 3 en 4), en van rapporten ter beschikking gesteld door de firma isoproC (Referentie 5). Figuren 1 en 2 tonen enkele van de gefitte functies in vergelijking met de meetgegevens. Voor de numerieke simulatie wordt elke materiaallaag opgedeeld in een aantal rekenknopen. In wat volgt worden de toegepaste materiaaleigenschappen en het aantal rekenknopen per laag weergegeven.

EPDM (2 rekenknopen):

- $d = 0.0015$ m,
- $\lambda = 0.2$ W/m/K
- $\mu d = 100$ m, $w_H = 0$ kg/m³

OSB (4 rekenknopen):

- $d = 0.018$ m, $\rho = 640$ kg/m³, $c = 1880$ J/kg/K
- $\lambda = 0.113 + 3.14 \cdot 10^{-4} \cdot w$ W/m/K
- $\mu = 1/(4.2 \cdot 10^{-3} + 7.4 \cdot 10^{-6} \exp(8.7 \cdot \phi))$
- $w_H = 400 \cdot (1 - \ln \phi / 1.2 \cdot 10^{-3})^{-1/3.1}$ kg/m³

Cellulose (36 rekenknopen):

- $d = 0.36$ m, $\rho = 50$ kg/m³, $c = 1880$ J/kg/K
- $\lambda = 0.037 + 0.37 \cdot 10^{-3} \cdot w$ W/m/K
- $\mu = 1/(0.36 + 4.5 \cdot 10^{-4} \exp(7.5 \cdot \phi))$
- $w_H = 426 \cdot (1 - \ln \phi / 9.2 \cdot 10^{-5})^{-1/1.75}$ kg/m³

Dampscherm pro clima (2 rekenknopen):

- $d = 0.00023$ m, $\rho = 900$ kg/m³, $c = 1880$ J/kg/K
- $\lambda = 0.2$ W/m/K
- $\mu = 1/(5.73 \cdot 10^{-5} + 1.7 \cdot 10^{-7} \exp(9.3 \cdot \phi))$: pro clima DB+
- $\mu = 1/(1.4 \cdot 10^{-5} + 6.2 \cdot 10^{-9} \exp(12.5 \cdot \phi))$: pro clima DB+SPEZIAL

- $w_H = 1050 \cdot (1 - \ln \phi / 0.05)^{-1/1.05} \text{ kg/m}^3$
 Dampscherm polyethyleen (2 rekenknopen):

- $d = 0.00023 \text{ m}$,
- $\lambda = 0.2 \text{ W/m/K}$
- $\mu d = 10 \text{ m}$, $w_H = 0 \text{ kg/m}^3$

Luchtsponw (1 rekenknoop):

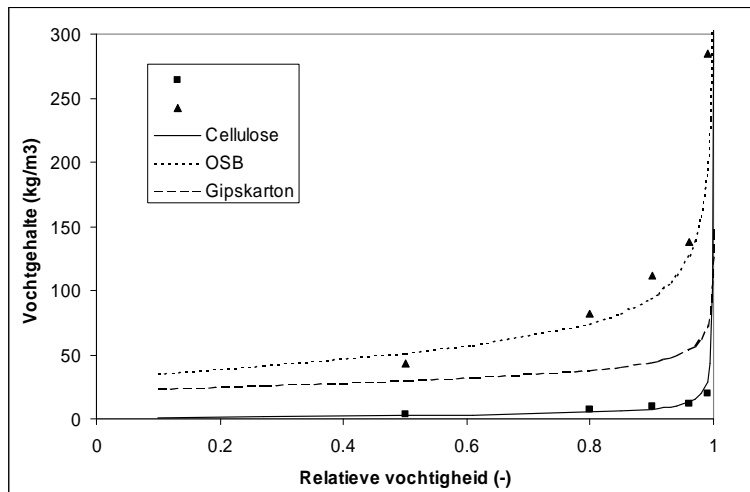
- $d = 0.02 \text{ m}$,
- $R = 0.17 \text{ m}^2\text{K/W}$

Gipskarton (2 rekenknopen):

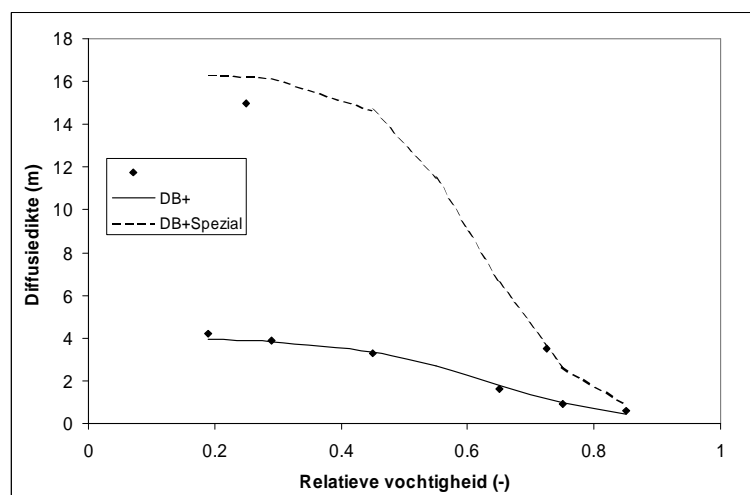
- $d = 0.012 \text{ m}$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $c = 840 \text{ J/kg/K}$
- $\lambda = 0.095 + 0.003 \cdot w \text{ W/m/K}$
- $\mu = 1 / (0.071 + 2.8 \cdot 10^{-3} \exp(4.1 \cdot \phi))$
- $w_H = 150 \cdot (1 - \ln \phi / 3 \cdot 10^{-4})^{-1/4.8} \text{ kg/m}^3$

Hierbij is ρ de dichtheid, c de specifieke warmtecapaciteit, λ de warmtegeleidingscoëfficiënt, μ het diffusieweerstandsgetal, ϕ de relatieve vochtigheid en w_H het hygroscopisch vochtgehalte.

De ontwerp-U-waarde van het dak is gelijk aan $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$, in de veronderstelling dat het vochtgehalte van de lagen in evenwicht is met de relatieve vochtigheid van de omgeving.



Figuur 1: Hygroscopisch vochtgehalte van OSB-plaat, Gipskarton en Cellulose-isolatie.



Figuur 2: Diffusiedikte μd van dampscherm pro clima als functie van relatieve vochtigheid.

Randvoorwaarden (Figuur 3 en 4)

Buitenklimaat:

- TRY Ukkel (uurgemiddelde waarden van temperatuur, vochtigheid en bezonning)
- Helling 0°, geen beschaduwing.
- $e = 0.9$ (emissie langgolvig), $a = 0.8$ (absorptie zonnestraling)

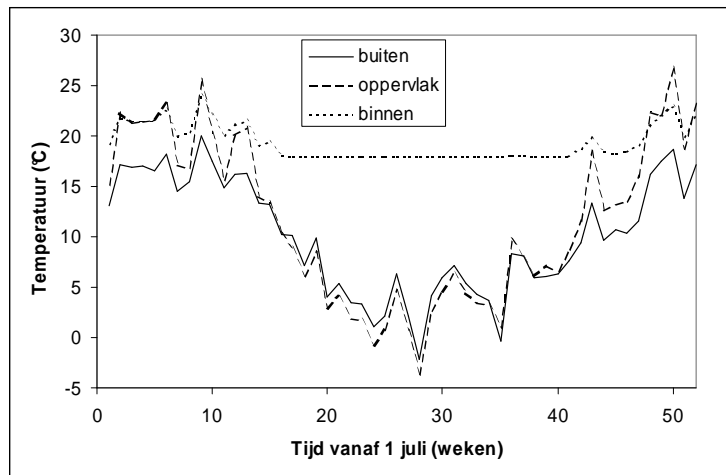
Binnenklimaat (Referentie 6):

- Binnentemperatuur $\theta_i = \max(18^\circ\text{C}, 8^\circ\text{C} + 0.8 \cdot \theta_e)$
- Klimaatklasse 2: Dampdruk binnen $p_i = p_e + 436 - 22 \cdot \theta_e$ Pa (gemiddelde vochtbelasting in woning: 50%-grens)
- Klimaatklasse 3: Dampdruk binnen $p_i = p_e + 713 - 22 \cdot \theta_e$ Pa (hoge vochtbelasting in woning: 95%-grens)

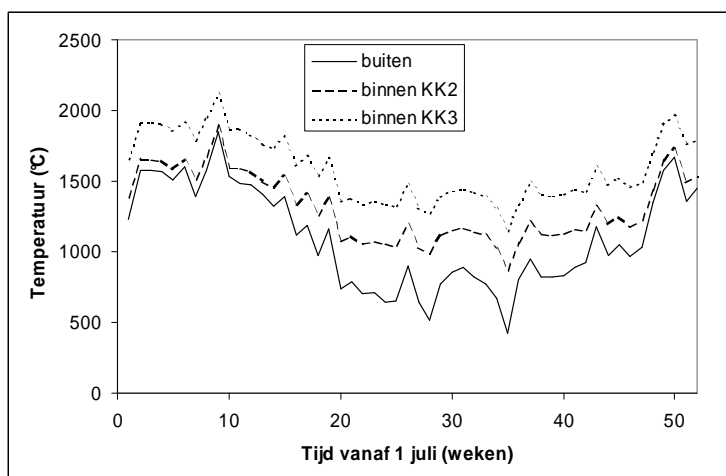
Beginvoorwaarden:

- OSB-plaat: $w = 100 \text{ kg/m}^3$, $\varphi = 0.9$
- Andere materialen: $\varphi = 0.8$

Dit laatste uitgangspunt impliceert dat de cellulose-isolatie droog wordt ingebracht (beschutte stockage op de werf) en dat het dampscherm pas wordt aangebracht als het vochtgehalte van de bebording kleiner is dan 15%.



Figuur 3: Weekgemiddelde waarden van temperatuur in binnen- en buitenklimaat, en van de oppervlaktetemperatuur van de afdichting (invloed zon en hemelstraling): verloop vanaf 1 juli.



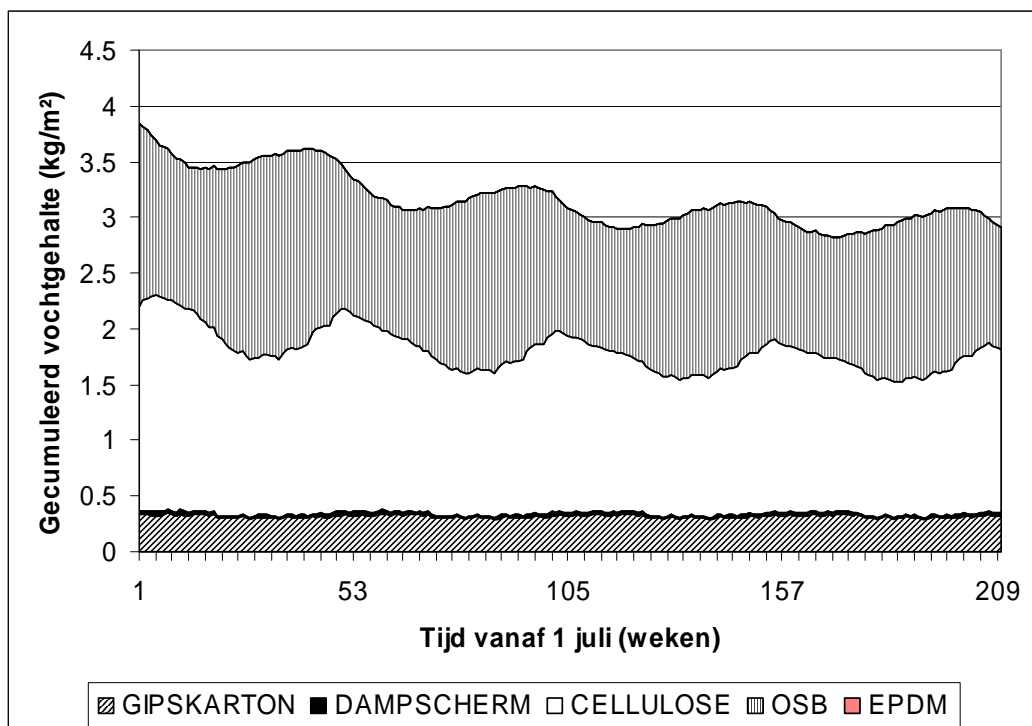
Figuur 4: Weekgemiddelde waarden van de dampdruk in binnen- en buitenklimaat, en voor twee binnenklimaatklassen: verloop vanaf 1 juli.

Beoordeling resultaten

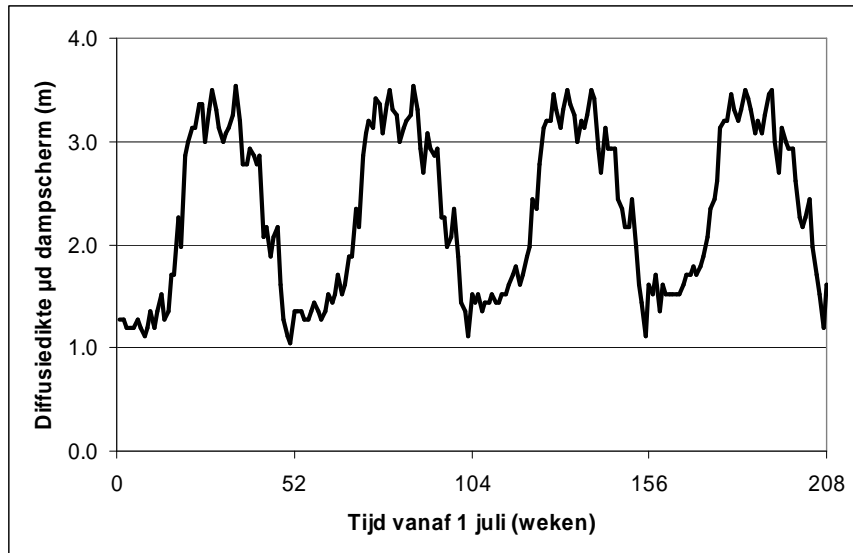
De resultaten hebben betrekking op 6 verschillende gevallen. De prestaties van het dak werden beoordeeld bij toepassing van drie dampschermen, en dit telkens voor de twee binnenklimaatklassen waaronder woongelegenheden worden gecatalogeerd. Ter illustratie van de resultaten en van de methodiek van beoordelen van het vochtgedrag, wordt eerst het oorspronkelijk voorgestelde dakontwerp besproken, namelijk met het dampscherm pro clima DB+. Als binnenklimaat wordt klimaatklasse 2 verondersteld.

Een periode van 4 jaar werd gesimuleerd, startend van 1 juli. Een typisch resultaat van de berekening wordt voorgesteld in Figuur 5. De figuur stelt het verloop van het vochtgehalte van de verschillende materiaallagen voor in functie van de tijd. Hierop zijn volgende evoluties merkbaar:

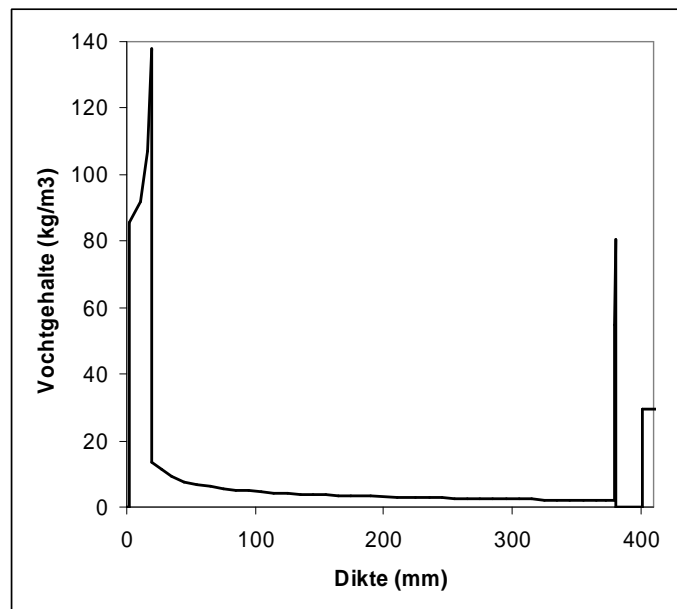
1. Het totale beginvochtgehalte van het dak neemt af van de oorspronkelijke waarde van 3.9 kg/m^2 naar 3.0 kg/m^2 op het einde van de rekenperiode. Op geen enkel ogenblik treedt condensatie tegen de EPDM-dakbedekking op. De vochtgehalten van de materialen blijven in het hygroscopisch gebied.
2. Wanneer het overschot aan vocht uit het dak is gedroogd evolueert het vochtgehalte van het dak naar een evenwichtssituatie, gekenmerkt door een zich jaarlijks hernemende cyclus van bevochtiging in de winter en droging in de zomer. Deze schommeling (rond 3.0 kg/m^2) is het gevolg van damptransport vanuit het binnenklimaat naar het dak, en omgekeerd. Tegelijk vindt een migratie van (hygroscopisch) vocht plaats van de cellulose-isolatie naar de OSB-plaat in de winter, en omgekeerd in de zomer.
3. Gekoppeld aan de bevochtiging-drogingscyclus schommelt de diffusiedikte van het pro clima dampscherm tussen een lage waarde in de zomer (hierdoor wordt droging bevorderd) en een hoge waarde in de winter (hierdoor wordt bevochtiging vertraagd). Dit is duidelijk op Figuur 6.



Figuur 5: Verloop van het vochtgehalte van de materiaallagen (Dampscherm DB+, KK2)



Figuur 6: Tijdsverloop van de weekgemiddelde diffusiedikte van het damp scherm DB+ (KK2).



Figuur 7: Verdeling van het vochtgehalte in de verschillende daklagen (0 = buitenoppervlak) bij maximaal vochtgehalte in de OSB-plaat (Jaar 1, week 28)

Bij de beoordeling van het vochtgedrag worden twee criteria geëvalueerd:

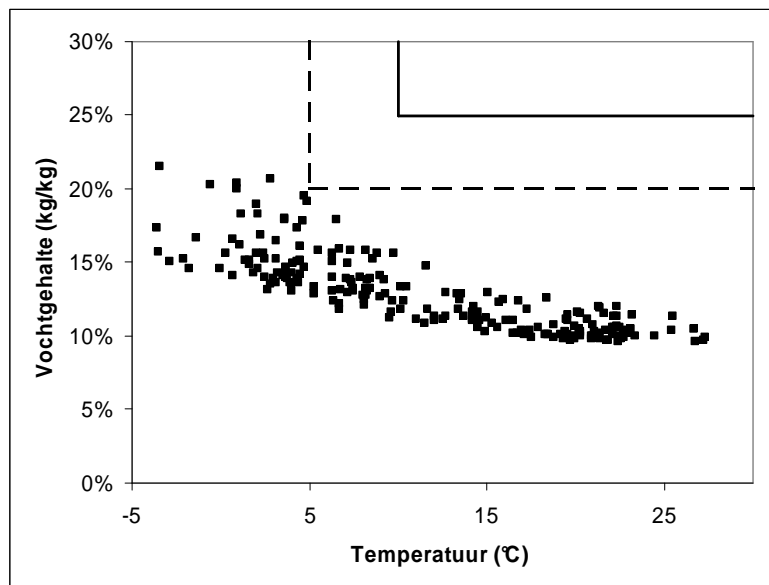
1. Kan het bij aanvang aanwezige vocht uit het dak drogen?
2. Blijven tijdens dit droogproces, en tijdens de uiteindelijk bereikte evenwichtssituatie, de vochtgehalten in het dak voldoende laag om biologische degradatie tegen te gaan?

De tweede vraag heeft belang voor de OSB-plaat, dit is het materiaal dat aan de hoogste vochtgehalten onderworpen wordt (Figuur 7). Om dit te beoordelen wordt gebruik gemaakt van duurzaamheidscriteria, afgeleid voor onbehandeld naaldhout (referenties 7 en 8). Voor OSB-plaat zijn in de literatuur geen duurzaamheidscriteria gedocumenteerd, maar algemeen wordt aangenomen dat de criteria voor onbehandeld hout het strengst zijn. Bij elke simulatie wordt het aantal uren berekend waarbij het meest kritische punt in de OSB-plaat (de spouwzijde) aan bepaalde condities van temperatuur en vochtigheid is blootgesteld:

1. TOW 20/5 (TOW = 'Time of Wetness'): Aantal uren dat de spouwzijde van de OSB-plaat zowel een vochtgehalte heeft hoger dan 20% kg/kg en een temperatuur boven

- 5°C. Wanneer het materiaal langdurig (meerdere maanden) in deze toestand blijft geldt een beperkt risico op schimmelontwikkeling. We eisen dat deze toestand zich in totaal nooit langer dan 1 maand per jaar mag voordoen: TOW 20/5 < 720 h/jaar;
2. TOW 25/10: Aantal uren dat de spouwzijde van de OSB-plaat zowel een vochtgehalte heeft hoger dan 25% kg/kg en een temperatuur boven 10°C. Wanneer het materiaal enige tijd (meerdere weken) in deze toestand blijft geldt een significant risico op schimmel- en houtrotontwikkeling. We eisen dat deze toestand zich nooit langer dan 1 week per jaar mag voordoen: TOW 25/10 < 168 h/jaar.

Wanneer hetzij vochtgehalte hetzij temperatuur kleiner zijn dan resp. 20% kg/kg en 5°C, is het risico op biologische degradatie te verwaarlozen. In Figuur 8 worden de duurzaamheidscriteria grafisch geïllustreerd: hieruit blijkt dat bij toepassing van dampscherm DB+ in binnenklimaatklasse 2 er geen risico op biologische degradatie bestaat.



Figuur 8: Duurzaamheidsbeoordeling: vergelijking tussen de berekende weekgemiddelde vochtgehalten aan de spouwzijde van de OSB-plaat (dampscherm DB+, KK2) en de kritische condities voor temperatuur en vochtgehalte.

Globale beoordeling

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de resultaten voor de zes varianten (drie dampschermen/ 2 klimaatklassen). Volgende parameters worden opgesomd:

- Het gecumuleerde vochtgehalte M_{tot} (kg/m²) op het einde van het eerste jaar (J1) en op het einde van de volledige rekenperiode (J4). Deze waarde laat toe na te gaan of er resulterend droging optreedt in het dak.
- Het maximaal weekgemiddeld vochtgehalte u_{max} (%kg/kg) dat optreedt in de OSB-plaat in jaar 1 of 4. Dit komt doorgaans overeen met het vochtgehalte aan de spouwzijde van de plaat tijdens de koudste week van het jaar.
- TOW 20/5 in jaar 1 en 4 (h/jaar)
- TOW 25/10 in jaar 1 en 4 (h/jaar)

De resultaten die niet voldoen aan één van de hoger vooropgestelde criteria in verband met droging of duurzaamheid worden gearceerd weergegeven in de tabel.

Hieruit blijkt dat het veronderstelde binnenklimaat een bepalende factor is om een veilige dakoplossing af te leiden. De onderzochte dampschermen zorgen elk voor een veilig vochtgedrag van het dak zolang het gebouw tot binnenklimaatklasse 2 behoort.

Overzicht van de rekenresultaten

| Dampscherf: | Pro clima DB+ | | Pro clima DB+S | | PE-folie (μ d 10m) | | |
|--|---------------|------|----------------|------|-------------------------|------|------|
| Klimaatklasse: | KK2 | KK3 | KK2 | KK3 | KK2 | KK3 | |
| M_{tot} (kg/m ²)* | J1 | 3.4 | 4.0 | 3.6 | 3.8 | 3.7 | 3.9 |
| | J4 | 3.0 | 4.0 | 3.1 | 3.7 | 3.4 | 4.0 |
| u_{max} (%kg/kg)* (weekgemiddeld) | J1 | 21.5 | 27.9 | 24.5 | 26.8 | 25.7 | 27.3 |
| | J4 | 15.2 | 27.1 | 16.9 | 23.4 | 20.9 | 29.9 |
| TOW 20/5 (h) | J1 | 24 | 736 | 297 | 572 | 389 | 613 |
| | J4 | 0 | 640 | 0 | 247 | 15 | 665 |
| TOW 25/10 (h) | J1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | J4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 |

* Beginvoorwaarden (juli): $M_{tot} = 3.9$ kg/m²; $u_{max} = 15$ %kg/kg

Bij een vochtiger binnenklimaat (KK3) zorgt enkel het dampscherf 'pro clima DB+SPEZIAL' voor een voldoende snelle uitdroging van het dak, en een voldoende evenwicht tussen bevochtiging en droging, zodat aan de duurzaamheidscriteria wordt voldaan. Bij de twee andere dampschermen treedt een jaarlijks resulterende bevochtiging van de dakstructuur op. Statistisch kan niet uitgesloten worden dat één van de flats die zich onder het onderzochte koud dak bevinden tot binnenklimaatklasse 3 kan behoren. Daarom is toepassing van het 'DB+SPEZIAL'-dampscherf aan te raden om een veilig vochtgedrag van het koud dakontwerp te garanderen.

Belang van een droge bebording

De bovenstaande beoordeling ging uit van een beginsituatie met een relatief droge bebording (15 %kg/kg). In de bouwpraktijk is het niet uitgesloten dat bij slechte weersomstandigheden de bebording een hoger vochtgehalte heeft op het ogenblik dat de dakbedekking wordt aangebracht.

Om de gevoeligheid van het vochtgedrag van het dak voor deze parameter na te gaan werden daarom aanvullende berekeningen uitgevoerd voor de dakopbouw met dampscherf 'pro clima DB+SPEZIAL', en met hogere waarden van het beginvochtgehalte in de OSB-plaat. De resultaten zijn samengevat in onderstaande tabel.

De simulaties tonen aan dat het vochtgedrag van het dak in de evenwichtssituatie (vierde jaar) ongevoelig is voor de waarde van het beginvochtgehalte: het dak droogt relatief snel uit, zodat in de evenwichtssituatie aan de duurzaamheidscriteria voldaan wordt. Zoals te verwachten valt wordt het vochtgedrag van het dak tijdens het eerste jaar wel sterk beïnvloed door het oorspronkelijk vochtgehalte van de bebording. Een waarde van 17.5% komt uit de berekeningen naar voren als een grenswaarde voor het beginvochtgehalte van de bebording zodat ook tijdens het eerste jaar een veilige vochtshouing van het dak gegarandeerd wordt.

Invloed van een hoger beginvochtgehalte (dampscherf DB+SPEZIAL)

| Begintoestand: | $M_{tot} = 4.2$ kg/m ² $u_{max} = 17.5$ %kg/kg | | $M_{tot} = 4.5$ kg/m ² $u_{max} = 20.0$ %kg/kg | | $M_{tot} = 5.1$ kg/m ² $u_{max} = 25.0$ %kg/kg | |
|---------------------------------------|--|------|--|------|--|------|
| Klimaatklasse: | KK2 | KK3 | KK2 | KK3 | KK2 | KK3 |
| M_{tot} (kg/m ²) | J1 | 3.9 | 4.1 | 4.1 | 4.3 | 4.8 |
| | J4 | 3.2 | 3.8 | 3.4 | 3.9 | 4.1 |
| u_{max} (%kg/kg) (weekgemiddeld) | J1 | 29.9 | 32.6 | 35.9 | 38.6 | 51.9 |
| | J4 | 18.4 | 25.3 | 19.9 | 27.3 | 32.3 |
| TOW 20/5 (h) | J1 | 663 | 926 | 1259 | 1574 | 1958 |
| | J4 | 0 | 422 | 0 | 609 | 881 |
| TOW 25/10 (h) | J1 | 19 | 35 | 75 | 87 | 329 |
| | J4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 |

BESLUIT

Uit de studie is gebleken dat een goed vochtgedrag van de in de inleiding voorgestelde dakopbouw kan gerealiseerd worden, mits toepassing van het membraan 'pro clima DB+SPEZIAL' als damp scherm. Bij gebruik van dit materiaal behoudt het dak een goede vocht huishouding ook bij toepassing boven een ruimte met binnenklimaatklasse 3.

Net als alle daken van het type 'koud dak' is ook het vochtgedrag van het hier voorgestelde dak echter gevoelig aan werf- en uitvoeringsomstandigheden. Volgende maatregelen zijn daarom essentieel om deze gevoeligheid te verminderen en de kwaliteit van het dak te waarborgen:

1. Toepassing van een luchtschermsysteem (hier: type 'pro clima') en uitvoering van een luchtdichtheidstest om de uitvoeringskwaliteit na te gaan;
2. Controle van het vochtgehalte van de bebording: lucht/damp scherm en isolatie mogen pas aangebracht worden als het vochtgehalte van de OSB-platen gemiddeld kleiner is dan 17.5 gewichtsprocenten.

REFERENTIES

1. WTCB. 2002. *Technische Voorlichting 215*. Het platte dak: opbouw, materialen, uitvoering, onderhoud. Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, Brussel.
2. Janssens, A. 2001. 'Advanced numerical models for hygrothermal research: 2DHAV model description' *Moisture analysis and condensation control* (H.R. Trechsel, editor). ASTM Manual 40. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA, ISBN 0-8031-2089-3, 177-178.
3. Trechsel, H.R. (ed.) 2001. *Moisture analysis and condensation control*. ASTM Manual 40.
4. Pedersen, C.R. 1990. Combined heat and moisture transfer in building constructions. Thermal insulation laboratory, Technical University of Denmark, Report nr 214.
5. Prüfprotokoll pro clima DB+ en DB+ SPEZIAL, Materialforschungs- und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig. 1998.
6. Janssens, A. 1999. Inwendige condensatie: oorzaken, constructieve maatregelen, ontwerpregels. Syllabus van de *Studiecyclus 'Vocht in de bouw'*, Deel 3. TI-KVIV, 18 november 1999, Antwerpen, 18 pp.
7. Fazio, P et al. (Concordia University Montreal) 1998. Testing of flat roofs insulated with cellulose fiber. Proceedings of the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VII Conference. ASHRAE Special Publications, Atlanta, 3-13.
8. Viitanen, H. 1996. Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material: effect of humidity, temperature and exposure time. Dissertation, University of Uppsala.

Mei 2003

A. Janssens
Universitair docent



Enkele kanttekeningen bij het rapport “koud” plat dak
van prof. Arnold Janssens van de RUG

“koud” plat dak

De term “koud” plat dak slaat hier op het feit dat in deze dakopbouw de draagvloer zich aan de 's winters koude zijde van de isolatie bevindt. Het is echter geenszins de bedoeling in deze opbouw te ventileren tussen isolatie en draagvloer. Volgens de definitie gehanteerd in Toegepaste bouwfysica 2, bouwdelen, blz. 207, Hugo Hens, Leuven, 1999 betreft het hier bijgevolg geen “koud” plat dak maar een “warm” plat dak.

draagvloer in OSB

In Duitsland wordt heel sterk gepleit voor het gebruik van massieve planken als draagvloer i.p.v. OSB of andere houtderivaatplaten gebonden met synthetische lijm. Enerzijds omwille van de hogere dampdoorlaatbaarheid, hygroscopiciteit en capillariteit van planken, anderzijds omdat bepaalde lijmen zouten vrijgeven. Bij toepassing van massieve planken wordt de constructie veel minder vochtgevoelig en daardoor ook minder kwetsbaar voor bvb. uitvoeringsfouten waardoor onvoorzien vocht in de constructie zou dringen.

een maximale vochtigheid van 17,5 % in de OSB

Volgens informatie van dhr. Godefroid betreffende Sterling OSB bedraagt het vochtgehalte van de platen op het eind van het productieproces zonder speciale maatregelen $\pm 3\%$. Door een speciaal procédé wordt de vochtigheid evenwel opgedreven tot $\pm 7\%$, omdat dit overeen zou stemmen met de hoogste vochtigheid bij de inbouwfase. De in dit rapport gestelde bovengrens van 17,5 % ligt dus nog ruim 10 % hoger. Alleszins is het belangrijk de platen tegen neerslag te beschermen.

bezonnig

In dit rapport is uitgegaan van de veronderstelling dat de constructie niet afgeschermd is van de zon. Bezonnig levert een positieve bijdrage aan de uitdroging.

pressurisatieproef

Na uitvoering van de luchtdichting en voor het aanbrengen van de binnenafwerking moet het plat dak onderworpen worden aan een pressurisatieproef waarbij eventuele uitvoeringsfouten in de damprem worden opgespoord en bijgewerkt. Dit houdt in dat de opeenvolging van de werken op de werf zodanig moet zijn dat in het bovenvermelde stadium het gebouw in onder- en overdruk kan worden gezet met BlowerDoor of WINCON, wat inhoudt dat het gebouw op dat moment voldoende luchtdicht moet zijn om een drukverschil van ± 50 Pa te kunnen opbouwen.

pro clima DB+ versus pro clima DB+ SPEZIAL

De mogelijkheid tot uitdrogen van de dakopbouw is groter bij toepassing van pro clima DB+ dan bij toepassing van pro clima DB+ SPEZIAL. Voor zover het binnenklimaat het toelaat (binnenklimaatklasse 2; bvb. normale woningen) verdient de DB+ bijgevolg de voorkeur boven de pro clima DB+ SPEZIAL, die eerder aangewezen is voor klimaatklasse 3 (bvb. sociale woningen).

pro clima INTELLO, nog sterker vochtgestuurd

Eind 2004, ruim een jaar na het verschijnen van dit rapport, is het gamma van pro clima nog uitgebreid met de pro clima INTELLO, een damprem met een equivalente luchtlaagdikte μd die varieert van meer dan 10 m bij droge omgevingsvochtigheid (winteromstandigheden) tot minder dan 0,25 m bij vochtige omgevingsvochtigheid (zomeromstandigheden). Deze damprem biedt daardoor nog extra veiligheid. Begin 2005 is de pro clima INTELLO+ aan het gamma toegevoegd, de gewapende variante van de pro clima INTELLO, bestemd voor toepassing in combinatie met inblaasisolatie..

Voor meer informatie verzoeken we u niet te aarzelen ons te contacteren.

Paul Eykens, isoproC

Kapelstraat 1, 1980 Zemst

015 62 39 35 – info@isoproc.be - www.isoproc.be