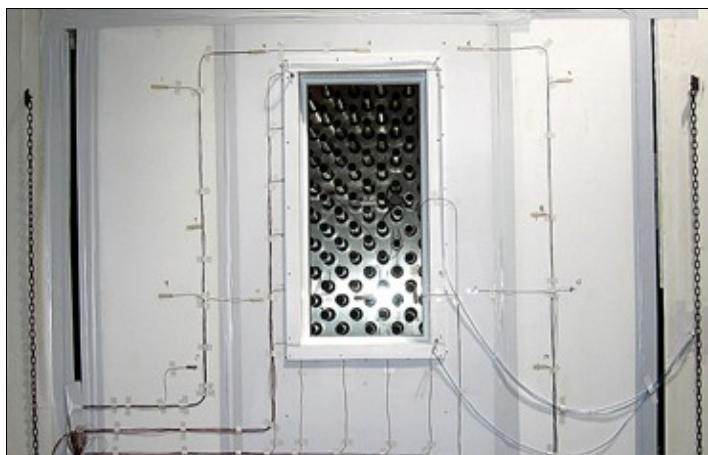


HEEFT HOUT EEN NATUURLIJKE VOORSPRONG ... OF NIET? [DEEL 2]

THERMISCHE OPTIMALISATIE VAN HOUTEN RAMEN

Houten buitenschrijnwerk scoort traditioneel goed op het gebied van thermische prestaties. Het materiaal geleidt immers weinig warmte. Bij aluminium schrijnwerk moet men een thermische onderbreking voorzien om de warmteverliezen te beperken en bij pvc-buitenschrijnwerk gaan de thermische prestaties vaak omlaag door de stalen versterkingen die in de kamers geplaatst worden. Maar is die natuurlijke voorsprong van hout vandaag nog wel geldig? Aluminium en pvc hebben de laatste jaren immers een inhaalbeweging gemaakt.

Door ir. arch. Nathan Van Den Bossche



In samenwerking met de National Research Council van Canada doet de Universiteit Gent experimenteel onderzoek naar de thermische prestaties van schrijnwerk, schrijnwerkaansluitingen en het risico op condensatie. Deze proeven zijn echter bijzonder duur en complex, waardoor men meestal gebruikmaakt van computer-simulaties

GELEIDING, STRALING EN CONVECTIE

Warmte wordt op drie verschillende manieren getransporteerd van de warme binnenruimte naar de koude buitenomgeving: door geleiding, straling en convectie.

Geleiding

Bij de geleiding wordt warmte in een vaste stof doorgegeven en is de warmtestroom afhankelijk van de warmtegeleidingscoëfficiënt λ . Die λ -waarde varieert ruwweg van 0,025 W/mK (stilstaande lucht) tot 380 W/mK (koper): een verschil met factor 10.000. Hoe hoger de λ -waarde, hoe meer energie er doorgelaten wordt. Stilstaande lucht heeft een bijzonder lage λ -waarde en daarom zoekt men bij de ontwikkeling van isolatiematerialen gewoonlijk verschillende technieken om lucht te doen stilstaan (denk maar aan cellen van pur, dekens van minerale wol ...). Hout heeft een λ -waarde die meestal

tussen 0,1 en 0,2 W/mK ligt en voldoet daarmee net niet aan de definitie van een isolatiemateriaal ($\lambda < 0,065$ W/mK).

Straling

In raamprofielen kan een deel van het warmtetransport gebeuren door elektromagnetische straling. Het is een fysische eigenschap van elk materiaal dat het elektromagnetische straling uitzendt als gevolg van de temperatuur van het object (het betreft hier een laagfrequente straling, niet te verwarren met de hoogfrequente elektromagnetische straling bij een gsm of een microgolfoven). De straling tussen twee oppervlakken hangt af van de temperatuur en het type materiaal: een gepolijst stuk metaal zal minder straling uitzenden dan een ruw stuk metaal. Buiten gepolijste metalen blijkt dat de meeste materialen ongeveer hetzelfde gedrag vertonen (ze hebben een emissiecoëfficiënt ϵ tussen 0,9 en 0,95).

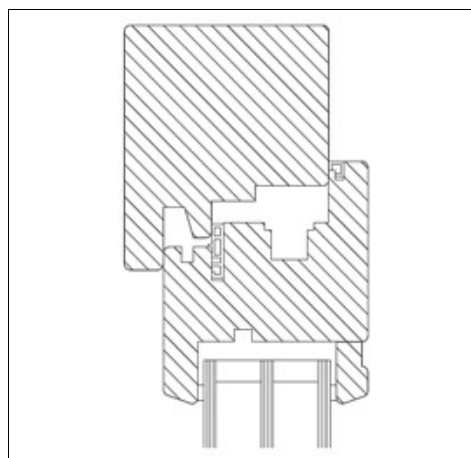
Aangezien straling enkel optreedt in holtes, zal het effect bij houten buitenschrijnwerk meestal minder belangrijk zijn.

Convectie

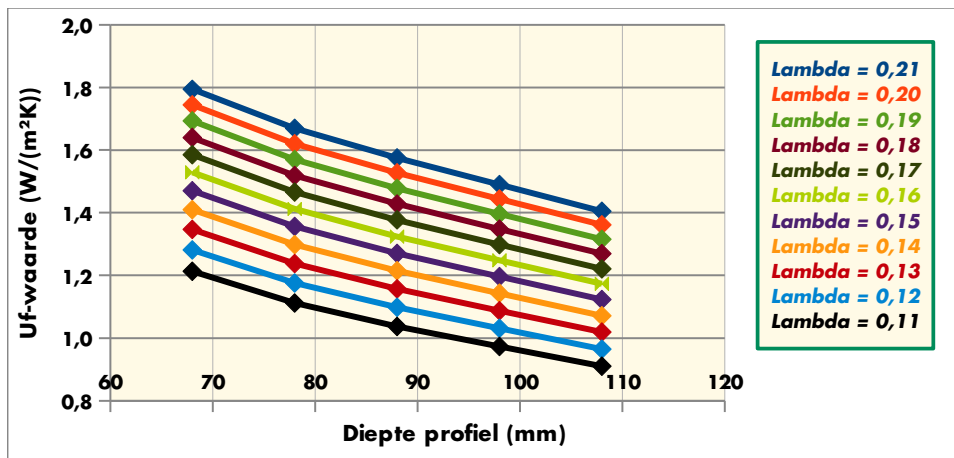
De laatste vorm van warmtetransport is convectie: energie wordt via warme lucht verplaatst. Het fenomeen wordt het best duidelijk als je je hand boven een brandende kaars houdt: de hoge temperaturen komen er niet door geleiding of straling. Als de lucht opwarmt, dan zet die uit, daalt de massadichtheid en stijgt de warme lucht (denk maar aan een heteluchtballon). Bij een dubbele beglazing gebruikt men uiteraard zware edelgassen om het rondraaien van de lucht tegen te gaan. Ook in zeer kleine holtes kan er convectie optreden en kan die een belangrijk effect hebben op de thermische prestaties van raamprofielen. Het basisprincipe is vrij eenvoudig: hoe groter de holte, hoe meer convectie er zal zijn.

BEREKENINGSMETHODE

Om de warmteverliezen door een raamprofiel te berekenen, moeten we dus rekening houden met geleiding, straling en convectie. Die zijn afhankelijk van de geometrie, de λ -waarde en de emissiecoëfficiënt van de materialen, alsook van de afmetingen van luchtholtes. Het mag duidelijk zijn dat uw rekenmachine hier niet volstaat. Men maakt dan ook gebruik van gespecialiseerde simulatiesoftware zoals Bisco, Therm of Heat. De belangrijkste norm voor de berekening van de warmtestroom in raamprofielen is de norm NBN EN ISO 10077-2: hierin staat in detail beschreven hoe men rekening dient te houden met de geleiding, de straling en de convectie in de berekening. Die norm voert een reeks vereenvoudigingen in, omdat de berekening anders quasi onmogelijk zou zijn of omdat er bijna voor elk raam een aparte berekening zou moeten gebeuren. In het volgende



Figuur 1: referentieprofiel als grootste gemene deler van heel wat houten profielen op de markt



Figuur 2: om de thermische prestaties van houten raamprofielen te verbeteren, kan men in de eerste plaats een beter isolerende houtsoort kiezen (y-as) en/of de dikte van de profielsectie vergroten (x-as)

TABEL 1: LAMBDAWAARDE VAN ENKELE COURANTE HOUTSOORTEN

HOUTSOORT	λ-WAARDE [W/mk]
Zilverspar, fijnspar, sitkaspar, lodgepole pine, western red cedar	0,11
Khaya Spp., Europese lariks, lariks x eurolepis, Siberische lariks, Canadese lariks, lariks, witte spar, white seraya, grove den, douglas pine, light red meranti, Amerikaans mahonie, framiré, westelijke hemlockspar, gemodificeerd hout	0,13
Sapelli, sipo, Tasmaanse eik, mengkulang, niangon, iroko, wane, dark red meranti, teak, makoré	0,16
Afzelia, bintangor, blue gum, salingo gum, eucalyptus, merbau, gerutu, matoa, Amerikaanse witte eik, Europese eik, robinia	0,18

stuk worden de verschillende technieken besproken die men kan gebruiken om de thermische prestaties van houten buitenschrijnwerk te verbeteren. Om het effect van verschillende technieken te testen, moeten we uiteraard een vertrekpunt hebben. Daarom is er in samenspraak met de sector een referentieprofiel uitgetekend dat je kunt beschouwen als de grootste gemene deler van heel wat houtprofielen die je vandaag op de markt vindt (zie **figuur 1**). Dit is een 68 mm-profiel van één enkele vleugel met een aanzichtsbreedte van 123,6 mm. De λ-waarde van het hout is 0,18 W/mK en die van de rubberen of EPDM-dichtingen 0,25 W/mK. Zoals besproken in de vorige aflevering (Schrijnwerk 164), geeft de U_F-waarde aan hoe goed of slecht een raamprofiel presteert op energetisch gebied. De U_F-waarde wordt uitgedrukt in W/m²K. Het geeft dus aan hoeveel energie erdoor gaat per vierkante meter, en dat per graad Celsius warmteverschil. Bij de simulatie van de U_F-waarde bekijkt men gewoonlijk een profiel van 1 m lengte. De oppervlakte voor ons profiel is dan 1 m x 0,1236 m = 0,1236 m². Stel dat de software aangeeft dat er bij een temperatuurverschil van 20 °C in totaal 5 watt door het profiel gaat, dan kunnen we de U_F-waarde berekenen door 5 watt te delen door het temperatuurverschil (5 W / 20 K = 0,25 W/K) en dat

dan te delen door de oppervlakte van 1 lopende meter profiel (0,25 / 0,1236 = 2,023 W/m²K). De U_F-waarde is dus niet afhankelijk van de temperatuur, maar wel van de breedte. Als men de U_F-waarde van verschillende raamprofielen vergelijkt, zou men rekening moeten houden met de breedte van elk profiel. Voor de energieverliezen moet men de U_F-waarde immers ook altijd vermenigvuldigen met de oppervlakte.

OPTIMALISATIE

Dikte en houtsoort

Hierbij vallen we onmiddellijk met de deur in huis: dikte en houtsoort zijn zonder twijfel de belangrijkste parameters om de thermische prestaties te verbeteren. Omdat we op zoek zijn naar thermisch uitstekende profielen, zijn we hier vertrokken van het oorspronkelijk raam, maar met een drievoudige beglazing erin (42 mm dik). **Figuur 2** geeft aan wat de U_F-waarde is in functie van de dikte van het profiel (op de x-as: van 68 mm tot 108 mm) en elke lijn staat voor één specifieke λ-waarde van het hout. Per 10 mm hout daalt de U_F-waarde met gemiddeld 0,09 W/m²K, maar het effect vermindert, naarmate het profiel dikker is. Voor ons basisprofiel van 68 mm van tropisch hardhout (λ-waarde 0,18 W/mK) is de U_F-waarde

1,655 W/m²K. Door enkel de dikte van het hout te vergroten naar 108 mm, daalt de U_F-waarde naar 1,269 W/m²K: een verbetering van 23,3%. Naast de dikte speelt ook de λ-waarde van het hout een belangrijke rol. Momenteel wordt in de Europese norm NBN EN ISO 10077-2 enkel een onderscheid gemaakt tussen loofhout en naaldhout, maar dit is inmiddels verouderd en achterhaald. In de laatste draft van de nieuwe Europese norm die de oude moet vervangen, is er een tabel opgenomen met houtsoorten per λ-waarde: zie **tabel 1**. Gemodificeerde houtsoorten (thermisch/chemisch proces) zijn in opmars bij buitenschrijnwerk en bieden een uitstekende verhouding tussen isolatiewaarde en een hoge duurzaamheid. Uit deze tabel blijkt dat de laagste λ-waarde die men vindt, 0,11 W/mK is (voor de houtsoorten die men in buitenschrijnwerk kan gebruiken). De U_F-waarde van het basisprofiel daalt van 1,655 W/m²K naar 1,213 W/m²K: een verbetering van 26,7%. Als we nu de dikte laten toenemen tot 108 mm en de λ-waarde gelijkstellen aan 0,11 W/mK, verwachten we in totaal een vermindering van 23,3 + 26,7 = 50%. Uit de simulaties blijkt dat de U_F-waarde 0,91 W/m²K is: een vermindering van slechts 45%. Dit toont al aan dat je het effect van verschillende technieken nooit zomaar mag sommen. Toch kunnen we zonder te lamineren al een U_F-waarde bekomen onder de 1 W/m²K, wat zeer laag is. Uiteraard spelen op het vlak van thermische prestaties ook andere aspecten mee: duurzaamheid, sterkte, verwerkbaarheid, uitloging, uitzicht, kostprijs... Bij de selectie van een houtsoort dient men alle aspecten in overweging te nemen en mag de λ-waarde niet de enige drijfveer zijn.

Lamineren met PU, PIR, Purenit of kurk

De U_F-waarde kon duidelijk verbeterd worden door een lagere λ-waarde of een dikker profiel, maar de eerste optie kan mogelijk de sterkte van het profiel verminderen (een lagere λ-waarde impliceert normaal ook een

lagere densiteit en sterkte) en voor de tweede optie heeft men ook behoorlijk wat extra hout nodig. Een oplossing die mogelijk tegemoetkomt aan deze problemen, is het gebruik van gelamineerd hout (**foto 3**). Een eerste mogelijkheid is om in het midden van het profiel een strook hout van 2 cm vervangen door kurk (λ = 0,04 W/mK), waardoor de U_F-waarde daalt van 1,655 W/m²K naar 1,146 W/m²K. Voorzien we twee aparte stroken van elk 1,5 cm, dan daalt de U_F-waarde verder naar 1,019 W/m²K. In het derde geval kunnen we de strook van 1,5 cm hout tussen de kurkstroken ook nog eens vervangen door PU (λ = 0,035 W/mK), wat resulteert in een U_F-waarde van 0,880 W/m²K voor een profiel van amper 68 mm van hardhout (**figuur 4**). Bij deze techniek moet er echter wel extra aandacht besteed worden aan de montage van het beslag en de verlijmingskwaliteit van de profielen. Die laatste moet door de leverancier van de profielen gecontroleerd en geverifieerd worden conform de Europese normering.

Luchtholtes in het profiel

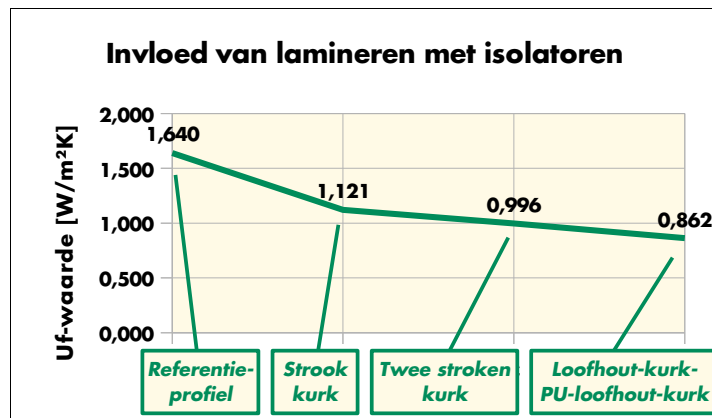
Aangezien stilstaande lucht goed isoleert, zou men kunnen proberen om ook in een houten profiel kleine luchtholtes te voorzien om de prestaties te verbeteren. Om dit te testen, zijn er simulaties uitgevoerd op het basisprofiel, waarbij er in de sectie in totaal 20 holtes van 4 mm op 14 mm aangebracht werden (16% minder hout, zie **figuur 5**). Daardoor daalt de U_F-waarde van 1,655 W/m²K naar 1,516 W/m²K: goed voor 9% verschil. Deze techniek wordt gewoonlijk toegepast bij gelamelleerde profielen, waarbij de gaten gefreesd worden in de verschillende planken die samen het profiel vormen. Nadelige effecten zijn sterkteverlies en mogelijke problemen bij de drainagevoorzieningen. Verder is ook een correcte uitvoering van de hoekverbinding van groot belang om het risico op versnelde aantasting te beperken.

Combinatie hout-aluminium en hout-ABS

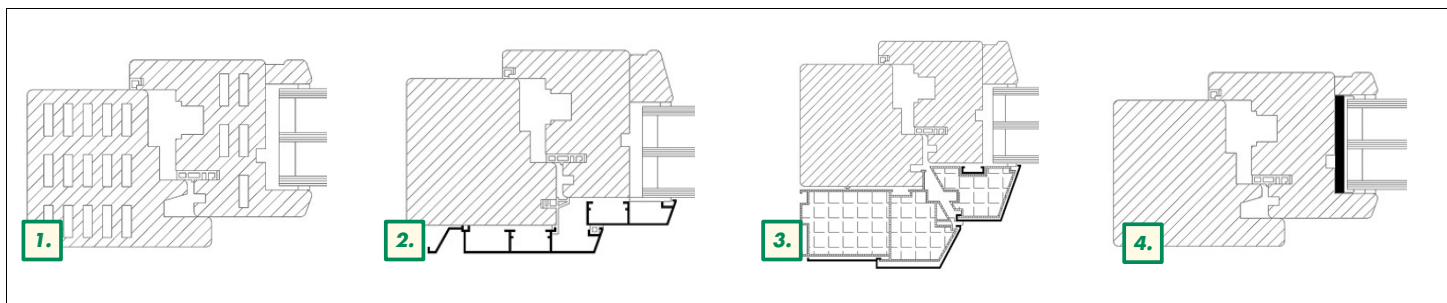
Het gebruik van een aluminium schaal



Foto 3: gelamineerde profielen laten toe om een zeer lage U_F-waarde te bekomen voor een relatief beperkte profieldiepte; daardoor blijft het mogelijk om hardhout te blijven gebruiken met alle bijbehorende voordelen qua duurzaamheid en afwerking



Figuur 4: uit onderzoek met freesproeven van het TCHN blijkt dat er bij het profileren van samengestelde profielen met een isolator geen extra botheid optreedt bij de slijngereedenschappen. Met andere secties van pur of PIR zijn nog betere prestaties haalbaar!



Figuur 5: thermische optimalisatie is eveneens mogelijk via (1) de integratie van luchtholtes, (2) de combinatie met aluminium schalen, (3) de combinatie met ABS of (4) de integratie van isolatie tussen de vleugel en het glas

(figuur 5) zorgt voor een ander uitzicht aan de buitenzijde en vraagt ook minder onderhoud dan een traditioneel houten profiel. Door de schaal is het hout grotendeels afgeschermd van vocht en (uv-)licht. Op thermisch gebied heeft de schaal weinig invloed (een vermindering met $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$), maar die schaal laat wel toe dat men bv. naaldhout gebruikt met een lagere λ -waarde, omdat het hout beter afgeschermd is. Het belang van de λ -waarde werd reeds eerder besproken. Het systeem waarmee het aluminium aan het houten profiel gehecht wordt, kan net zo goed gebruikt worden om een extra isolerende buffer aan te brengen. De isolerende capaciteit van de aluminium bescherming op zich is nihil. Door tussen het hout en de bescherming een kunststof profiel te voorzien, al dan niet opgevuld met isolatiemateriaal, wordt het profiel thermisch verbeterd zonder al te grote ingrepen aan de opbouw van het houten profiel zelf (figuur 5). Voor het kunststof profiel is gerekend met een λ -waarde van $0,2 \text{ W/mK}$, wat typisch is voor een harde kunststof zoals ABS of pvc. Om het profiel op te vullen, worden er vaak cellulosevlokken ($\lambda = 0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$) gebruikt die de profielen gemakkelijk kunnen opvullen. Deze techniek is bij ons nog niet echt gekend, maar wordt in het buitenland al af en toe aangewend. Als de λ -waarde van het hout onveranderd blijft op $0,18 \text{ W/mK}$, daalt de totale U -waarde naar $0,897 \text{ W/m}^2\text{K}$. Let wel: het profiel wordt in totaal 110 mm dik, want de schaal is 42 mm dik. Gebruiken we dan ook nog een houtsoort met $\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$, dan is de U -waarde $0,804 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Dikte beglazing

De Europese norm NBN EN ISO 10077-2 schrijft voor dat men voor de simulaties de beglazing mag vervangen door een isolatieplaat ($\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$) met dezelfde dikte als het glas. Concreet zou dit willen zeggen dat een simulatie eigenlijk alleen maar geldig is voor één specifieke glasdikte. Verder blijkt uit simulaties dat de U -waarde van het profiel met ongeveer 4% stijgt, als men de drievoudige beglazing vervangt door een dubbele beglazing. De afstand tussen de binnen- en de buitenkant ter hoogte van de glasrand is nu immers iets kleiner. In principe zou je voor berekeningen kunnen opgeven dat het glas bv. 53 mm dik is, zodat je de laagste U -waarde verkrijgt. Toch raden we aan om normale waarden op te geven die representatief zijn voor werkelijke glasdiktes. In de toekomst zou het beter zijn dat men aparte U -waarden berekent voor een dubbele en drievoudige beglazing.

Isolatie tussen vleugel en beglazing

Een techniek die vaak te zien is bij aluminium raamprofielen, is het gebruik van een strook isolatie tussen de vleugel en de glasrand. Als we dit toepassen bij het houten profiel waar er 6 mm speling voorzien is tussen het glas en het profiel (figuur 10), blijkt het effect kleiner te zijn dan 1%. In tegenstelling tot aluminium profielen is de rand zelf hier al voor een stuk geïsoleerd door het hout, wat ervoor zorgt dat het effect van de bijkomende isolatie beperkt blijft. Uiteraard zal het effect toenemen, naarmate de voeg tussen het glas en het profiel groter wordt, en ook in

bepaalde specifieke situaties kan het soms de moeite waard zijn. Een risico van deze techniek is dat het water in de sponning door de capillariteit blijft zitten tussen de strook isolatie en de secundaire dichting van de beglazing. Mogelijk kan de duurzaamheid van de dichting dan aangetast worden door de aanwezigheid van vocht.

Combinaties

Uiteraard is het steeds mogelijk om verschillende van de technieken die besproken zijn, toe te passen op een en hetzelfde profiel. Zo kan men bijvoorbeeld gelamelleerd hout nemen (kurk/pur/kurk) in combinatie met het ABS-profiel met cellulose-isolatie: daardoor zakt de U -waarde van $1,655 \text{ W/m}^2\text{K}$ naar $0,616 \text{ W/m}^2\text{K}$. Door ook het resterende hout nog te vervangen door hout met $\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$, daalt de U -waarde naar $0,594 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Figuur 6 toont de temperaturen in een gewoon profiel en een thermisch verbeterd profiel en geeft aan waarlangs de warmte naar buiten gaat.

CONCLUSIES

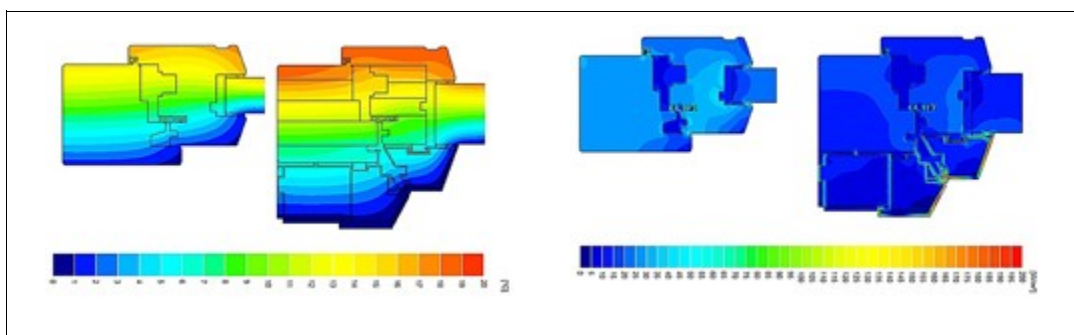
De meest efficiënte optimalisatie-technieken voor houten buitenschrijnwerk liggen voor de hand: dikkere profielen en hout met een lagere λ -waarde. Beter isolerende profielen met een lage U -waarde worden in hoofdzaak geassocieerd met naaldhoutsoorten met een geringe dichtheid en duurzaamheid, maar dit is niet altijd het geval. Momenteel worden er producten ontwikkeld en geproduceerd van

tropische hardhoutsoorten (FSC) of van gemodificeerd hout met een hoge duurzaamheid en lambda-waarden ($0,13 \text{ W/mK}$), gelijk aan die van naaldhout.

Verder zit er toekomst in het gebruik van gelamelleerd hout waarin kurk, PIR of pur verwerkt is. Daarnaast is ook een isolerende ABS of pvc-buitenschale zeer efficiënt, maar die zijn voorlopig nog minder gekend in Vlaanderen.

Voor traditionele ramen is het evident om in eerste instantie over te schakelen naar iets dikkere profielen en/of hout met een lagere λ -waarde te gebruiken om de warmteverliezen te verminderen. Wie zich wil richten op de passiefhuismarkt, moet misschien nog iets verder gaan en gebruikmaken van nog dikkere profielen, specifieke houtsoorten, gelamelleerd hout of een isolerende buitenschale.

In de eerste plaats moet het schrijnwerk vooral lucht- en waterdicht zijn en in staat zijn om de natuurelementen te trotseren voor de komende dertig jaar. De thermische prestaties zijn belangrijk, maar men hoeft de duurzaamheid niet aan te tasten voor een verschil van $0,05$ in U -waarde. Bovendien bestaat er eigenlijk niet zoiets als een 'passiefhuusraam'. Bij een passiefhuis tellen enkel de luchtdichtheid en de energieverliezen van de totale woning en zijn er geen strikte eisen voor het schrijnwerk op zich. Daarom is het aan te raden dat men bij de ontwikkeling van een nieuw profiel niet ondoordacht te werk gaat en zich goed informeert over alle eigenschappen van het hout. Voor de thermische prestaties geeft dit artikel slechts een algemeen overzicht. Men kan zich dan ook het best laten bijstaan door specialisten om een eigen profiel te optimaliseren. □



Figuur 6: Isothermen en de warmtestroomdichtheid door een thermisch geoptimaliseerd profiel.

Typisch zijn er bij hout geen specifieke koudebruggen waar er veel energie verloren gaat. De doorsnede is behoorlijk homogeen, wat zorgt voor een gelijkmatige warmtestroom en een temperatuurverloop zonder sterke plaatselijke verschillen. Een goed isolerend profiel heeft aan de binnenzijde uiteraard een hogere oppervlaktetemperatuur (goed tegen condensatie) en aan de buitenzijde een lagere oppervlaktetemperatuur

THERMISCHE OPTIMALISATIE VAN RAAMPROFIELEN

Deel 1: Inleiding

(Schrijnwerk nr. 164)

Deel 2: Hout

(Schrijnwerk nr. 165)

Deel 3: Pvc

(Schrijnwerk nr. 166)

Deel 4: Aluminium en staal

(Schrijnwerk nr. 166)