

TNO-rapport

2001-G&I-R088

Bevordering passieve koeling in woningen

Datum	8 augustus 2001
Auteurs	Ir. M.E. Spiekman m.m.v. Ir. H.A.L. van Dijk
Aantal pagina's	49
Aantal bijlagen	7
Opdrachtgever	Novem B.V. Utrecht
Projectleider	Ir. M.E. Spiekman
Projectnaam	Bevordering passieve koeling in woningen
Projectnummer	006.96439/01.01
Novemnummer	143.700-941.2

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, 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 belang-hebbers is toegestaan.

Samenvatting

In opdracht van NOVEM is door TNO Bouw een oriënterend onderzoek gedaan naar mogelijkheden en effectiviteit van passieve koeling in de woningbouw. Enerzijds omdat het risico op een oncomfortabel binnenklimaat in de zomer in woningen steeds meer lijkt toe te nemen. Er bestaat een toenemende tendens om airconditioningsystemen in woningen in te voeren, te beginnen via de ‘doe het zelf’ branche. Daarnaast is er los van deze ontwikkelingen behoefte aan het voorkómen van een oncomfortabel binnenklimaat door oververhitting in de zomer.

Naast een overzicht van bestaande toepassingen en ontwikkelingen op het gebied van passieve koeling in woningbouw in Nederland en in andere landen is een inschatting gemaakt van het effect van deze technieken op de oververhitting in de zomer. De effectiviteit van de diverse technieken zijn globaal met elkaar vergeleken. Daarnaast is, indien relevant, ook gekeken wat het bijkomende effect is op de warmtebehoefte van een woning in de winter.

Naast technieken om koude te reguleren en af te voeren zijn ook technieken bekeken om de koelbehoefte te minimaliseren. Het is effectiever de oorzaak weg te nemen of(/en) zo vroeg met passief koelen te starten, zodat het gebouw niet de kans krijgt om op te warmen, dan om warmte weg te koelen. Dit geldt overigens algemeen en niet uitsluitend in combinatie met passieve koeltechnieken.

In een gematigde zomer is koelen aan het eind van de dag genoeg om ruimte inclusief constructie af te koelen. Dit werkt niet in warme weken.

In bijlage G is een overzichtstabel gegeven, waarin alle beschouwde technieken kort staan samengevat. De volgende technieken zijn beschouwd:

Minimaliseren van de koelbehoefte:

- Gebouw: Oriëntatie en raamgrootte
- Ramen: zonwering en glastypen
- Gebouwschil: kleur en isolatie
- Beplanting rondom de woning

Koude reguleren en afvoeren:

- Koude reguleren: zware isolatiematerialen en fase overgangsmaterialen
- Koelen m.b.v. de lucht: ventileren met relatief koele buitenlucht, nachtventilatie en verdampingskoeling
- Koelen m.b.v. de hemel: stralingspaneel op het dak
- Koeling m.b.v. de grond: voorcoelen van lucht of water via de grond

Technieken met een grote effectiviteit zijn buitenzonwering en ventilatie (nachtventilatie, maar ook het gebruik van grote roosters), mits deze ook overdag worden toegepast onafhankelijk of de bewoners thuis zijn of niet. Ook redelijk effectief zijn beglazingstypen met hoge LTA en lage ZTA, beplanting rondom het huis, mits deze de ramen deels beschaduwden, en overstekken boven zuid georiënteerde ramen. Voordeel van deze technieken is dat ze altijd aanwezig zijn en dat de effectiviteit niet afhankelijk is van het gebruikersgedrag van de bewoners. Tot slot is ook koelen met de grond een redelijk effectieve techniek.

Het voordeel van buitenzonwering (ook bijzonder glas en beplanting) en ventilatie boven de andere besproken technieken is dat het vrij simpele maatregelen zijn. De drempel voor toepassing en de kans van slagen zijn hiermee groter.

Het voordeel van passieve koelconcepten is dat ze geen of nauwelijks energie gebruiken en doorgaans beperkt extra materiaalgebruik vergen (milieubelasting). Doordat de capaciteit doorgaans beperkt is geldt dat de effectiviteit wordt verhoogd als overdag reeds met koelen gestart wordt, dus ook als de bewoners niet thuis zijn. Hierdoor krijgt de binnentemperatuur niet de kans om op te lopen. Dit vereist een andere koelstrategie dan bij actief koelen tot nu gebruikelijk is. Voor het beperken van het energiegebruik bij actieve koelsystemen geldt echter hetzelfde principe: warmte die uit de woning wordt geweerd of voortijdig afgevoerd kan de constructie niet meer opwarmen en hoeft niet meer te worden weg gekoeld.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
2	Wat is passief koelen	6
3	Werkingsprincipe van diverse passieve koelconcepten	7
3.1	Minimaliseren van de koelbehoefte	7
3.1.1	Gebouw: oriëntatie en raamgrootte	7
3.1.2	Ramen: zonwering en glastypen	8
3.1.3	Gebouwschil: kleur en isolatie	9
3.1.4	Beplanting rondom de woning	9
3.2	Koude reguleren en afvoeren	10
3.2.1	Koude reguleren	10
3.2.2	Koelen m.b.v. de lucht	12
3.2.3	Koelen m.b.v. de hemel	16
3.2.4	Koeling m.b.v. de grond	17
4	Inschatting effectiviteit van diverse passieve koelconcepten	19
4.1	Methodiek vergelijking effectiviteit	19
4.2	Minimaliseren van de koelbehoefte	20
4.2.1	Gebouw: oriëntatie en raamgrootte	21
4.2.2	Ramen: zonwering en glastypen	22
4.2.3	Gebouwschil: kleur en isolatie	27
4.2.4	Beplanting rondom de woning	27
4.3	Koude reguleren en afvoeren	29
4.3.1	Koude reguleren	29
4.3.2	Koelen m.b.v. de lucht	31
4.3.3	Koelen m.b.v. de hemel	35
4.3.4	Koelen met behulp van de grond	37
4.4	Passief koelen en de EPN	43
5	Conclusies	44
6	Ondertekening	47
7	Literatuur	48
	Bijlage(n)	
	A Cumulatieve gegevens temperatuur TRY en 1995	
	B Grondtemperatuur	
	C Beschrijving Novem tuinkamerwoning	
	D Productinformatie koelplafond	
	E Samenstelling klankbordgroep	
	F Bepretingsverslagen klankbordgroepbijeenkomst	
	G Overzichtstabel passieve koeltechnieken	

1 Inleiding

In opdracht van NOVEM is door TNO Bouw een oriënterend onderzoek gedaan naar mogelijkheden en effectiviteit van passieve koeling in de woningbouw.

Met name bij nieuwbouwwoningen neemt het risico toe dat te hoge binnentemperaturen optreden in de zomer die leiden tot een oncomfortabel binnenklimaat. Er bestaat een toenemende tendens om airconditioningsystemen in woningen in te voeren, te beginnen via de 'doe het zelf' branche. Ook los van deze ontwikkeling is er behoefte aan het voorkómen van een oncomfortabel binnenklimaat door oververhitting in de zomer.

Het doel van het project is antwoord te geven op de vragen: Wat zijn de mogelijkheden van passieve koeling in de woningbouw. Welke nieuwe technieken kunnen hiervoor worden ingezet. Hoe kan het effect van passieve koeling worden gewaardeerd. Wat is het effect op de oververhitting of het comfort in de zomer en daarmee op de kans op gebruik van mechanische koeling. Maar daarnaast ook: wat is het bijkomende effect op de warmtebehoefte van een woning in de winter.

Het project is ingedeeld in een aantal fasen. Belangrijkste werkzaamheden in het project zijn:

- Inventarisatie van bestaande toepassingen en ontwikkelingen op het gebied van passieve koeling in Nederland en in andere landen.
- Het bepalen van methodieken om de effectiviteit van passieve koeling te kunnen beoordelen.
- Inschatten van de effectiviteit van verschillende passieve koeltechnieken.

Hoofdstuk 2 van dit rapport geeft kort aan wat in deze studie als passief koelen wordt gedefinieerd. In hoofdstuk 3 wordt het werkingsprincipe van diverse passieve koeltechnieken beschreven. Hoofdstuk 4 geeft vervolgens een inschatting van de effectiviteit van deze technieken. In beide hoofdstukken worden eerst technieken besproken om koelbehoefte te minimaliseren en vervolgens technieken om koude te reguleren en af te voeren. De resultaten worden uiteindelijk in hoofdstuk 5 (conclusies) samengevat. In bijlage G is een overzichtstabel gegeven, waarin alle beschouwde technieken nogmaals kort staan samengevat.

De tussenresultaten van het onderzoek zijn tweemaal besproken met een klankbordgroep. De samenstelling van deze groep is vermeld in bijlage E.

2 Wat is passief koelen

Er zijn in feite drie mogelijkheden om oververhitting tegen te gaan:

1. het voorkomen c.q. minimaliseren van de warmte winst (interne warmte winst, warme winst door de zon)
2. het reguleren van de warmte winst (gebouw massa)
3. het afvoeren van warmte

Passief koelen is een energie efficiënte methode om dit te doen en omvat in principe alle drie bovengenoemde principes.

Een manier om actief/passief koelen te definiëren is de volgende [21]:

- Actief koelen is een manier van koelen waarbij ergens in het systeem warmte wordt opgepompt van een lage naar een hoge temperatuur.
- Passief koelen is een manier van koelen waarbij warmteoverdracht op een natuurlijke wijze gebeurt van een hoge naar een lage temperatuur. Wel kan er sprake zijn van hulp energie (pomp, ventilator) en/of een automatische regeling. Het totale energiegebruik blijft echter een orde van grootte kleiner dan in het geval van actieve koeling.

In deze studie worden met passief koelen niet alleen concepten bedoeld waarmee warmte wordt afgevoerd, zoals nachtelijke ventilatie, koeling door verdamping en door ventilatie, maar evengoed het reguleren van warmte door gebruik van gebouwmassa (buffering van koude) en het voorkómen van warmtewinst (warmte weren) door verbeteren van de indeling/zonering van gebouwen, diverse vormen van zonwering (overstekken, uitvalschermen, bomen en struiken), et cetera en interactie tussen verschillende concepten. In principe worden met passieve koeling alle concepten bedoeld die oververhitting verminderen of tegengaan, waar buiten een eventuele kleine hoeveelheid hulpenergie (bijvoorbeeld van een ventilator of mechanische sturing) geen energiegebruik aan te pas komt.

3 Werkingsprincipe van diverse passieve koelconcepten

3.1 Minimaliseren van de koelbehoefte

Bij het voorkomen c.q. minimaliseren van de warmte winst zijn diverse aspecten, in meerdere of mindere mate, van belang:

- gebouwworm en oriëntatie, locatie van belangrijke vertrekken in de woning
- raamgrootte, locatie en details
- beglazingstype
- zonwering en beschaduwing
- isolatie van de gebouwschil
- beheersen van interne warmte winst
- kleur van de gebouwschil
- gebruik van buitenruimten, beplanting nabij de woning

Door het minimaliseren van de warmte winst zal de gemiddelde binnentemperatuur nooit lager worden dan de gemiddelde buitentemperatuur. Reguleren en afvoeren van warmte heeft echter meer effect als ook aan het minimaliseren van de warmte winst aandacht is besteed. De gemiddelde buitentemperatuur in Nederland is overigens slechts een klein deel van het jaar aan de hoge kant, waardoor minimaliseren van de warmte winst wel degelijk een groot deel van de tijd voldoende effectief is.

Over het algemeen is het goedkoper om de warmte winst te minimaliseren, dan om koeling, zelfs passieve koeling, toe te passen in een gebouw. Daarom zal hieraan altijd veel aandacht besteed moeten worden.

3.1.1 *Gebouw: oriëntatie en raamgrootte*

Om het warmteverlies in de winter zo klein mogelijk te houden is compact bouwen een voordeel. Ook als de buitentemperatuur hoger is dan de binnentemperatuur, biedt compact bouwen een voordeel om de warmtestroom door de constructie van buiten naar binnen te minimaliseren. Ook de kans op (ongewenste) infiltratie wordt zo verkleind.

In de perioden gedurende de dag dat echter van natuurlijke ventilatie gebruik kan worden gemaakt om de woning af te koelen, als de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur of als de lichtsnelheid kan bijdragen aan het comfort, dan kan compact bouwen nadelig zijn om dwarsventilatie te bewerkstelligen. Een oplossing hiervoor, aangegeven door Givoni [9], is het gebruik van inbandige portieken met geïsoleerde deuren/luiken/ramen. Zolang deze gesloten zijn is het gebouw compact van vorm en de isolatie van de schil groot, waardoor koude in de winter en warmte gedurende warme perioden buiten gehouden kan worden. Zodra de luiken worden geopend, ontstaat een vergroting van het geveleppervlak, met relatief slecht geïsoleerde oppervlakken, waardoor een groter warmtetransport en zo mogelijk ventilatie kan plaatsvinden.

Praktijk: De vraag is in hoeverre bewoners deze inbandige ruimten in de praktijk als buitenruimte zullen gebruiken op momenten dat dit klimaattechnisch gewenst is.

Oriëntatie:

In verband met passieve zonne-energie in de winter is bouwen op het zuiden interessant. In de zomersituatie is de zuid oriëntatie, en ook de west oriëntatie echter

ongunstig. Goede (buiten)zonwering en/of beschaduwning van deze ramen in de zomersituatie is hier van groot belang. Bij gebouwen met een lichte gebouwmassa kan ook de oost oriëntatie kritiek zijn.

Raamgrootte:

Conventionele raamsystemen zijn een zwakke schakel vanuit het oogpunt van warmtelast. Als de zontoetreding door goede zonwering en beschaduwning is geminimaliseerd, is de warmteweerstand ten opzichte van de omringende geveldelen en de infiltratie door naden en kieren echter een voordeel zolang de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur. Met de toenemende warmteweerstand van raamsystemen stijgt de koelbehoefte van gebouwen.

In periodes met een hoge buitentemperatuur is een hoge warmteweerstand van de beglazing echter gunstig. Statistisch gezien is de buitentemperatuur gemiddeld zo'n 120 uur per jaar hoger dan 25°C.

3.1.2 *Ramen: zonwering en glastypen*

Vaste en beweegbare zonwering:

Horizontale vaste zonwering kan 's zomers voor zuid oriëntaties voldoen om directe zonnestraling tegen te gaan, terwijl er 's winters als de zon lager staat wel gebruik gemaakt kan worden van PzE. Voor oost en west oriëntaties gaat dit minder op, aangezien de zon hier 's zomers lager staat.

Het voordeel van beweegbare zonwering is dat het zonnestraling kan toelaten of tegenhouden, afhankelijk van wat gewenst is en is hierdoor efficiënter dan vaste zonwering. Naast directe zonnestraling kan het ook diffuse straling weren.

Buitenzonwering:

Met buitenzonwering kan makkelijk een reductie van de opvallende zonnestraling tot 10% à 15% worden gehaald. De effectiviteit van de zonwering hangt af van de mate van afscherming van de directe, maar ook de indirecte straling, de mogelijkheid van het afvoeren van de geabsorbeerde warmte en een eventueel opgewarmde luchtlaag en de mate van absorptie, reflectie en transmissie zowel van het zichtbare licht als van de warmtestraling.

De kleur van de zonwering is vooral van belang als de zonwering een gesloten oppervlak vormt: Een donkere zonwering absorbeert meer straling en zal zo meer warmte naar binnen overdragen dan een lichte zonwering die meer straling reflecteert. Licht gekleurde lamellen zullen echter in half open stand zowel meer naar buiten als ook naar binnen toe reflecteren, waardoor het voordeel van een lagere absorptie gedeeltelijk teniet wordt gedaan. Doordat lichte zonwering door deze reflecties meer daglicht het vertrek in brengt dan donkere zonwering, heeft licht gekleurde zonwering licht technisch toch de voorkeur.

Binnenzonwering:

De effectiviteit van binnenzonwering is thermisch gezien een stuk lager dan van buitenzonwering: zonnestraling wordt pas tegengehouden nadat het al door de beglazing het vertrek is binnengekomen.

Recent onderzoek met binnenzonwering met een hoge reflectie ($\rho > 0,92$) geeft echter redelijke goede resultaten: in combinatie met warmtewerende beglazing is een g-waarde van ca. 0,21 gemeten (Fraunhofer ISE, Bartenbach Lichtlabor).

Glastypen:

Warmte winst door zontoetreding kan gereduceerd worden door toepassen van speciale glastypen:

- Absorberend glas. Vooral de lang golvlige straling wordt geabsorbeerd. Aangezien de geabsorbeerde warmte slechts gedeeltelijk wordt afgegeven aan het vertrek is de totale warmtedoorlating van dit glastype lager dan van normaal blank glas. Het zichtbare licht wordt ook gedeeltelijk geabsorbeerd, waardoor eigenschappen van het daglicht in het vertrek enigszins wijzigen.
- Reflecterend glas. Door een reflecterende coating wordt directe zonnestraling gereflecteerd. Ook de absorptie is hoger dan van normaal blank glas.
- Beglazing met lage emissie coatings. Deze coatings verlagen de emissie van lang golvlige straling van 0,9 tot minder dan 0,1, waardoor de thermische isolatie van de beglazing wordt verhoogd.
- Beglazing met variabele transmissie. Hieronder vallen photochrome, thermochrome en electrochrome beglazing. De optische eigenschappen (verstrooiing, absorptie en/of reflectie) van deze beglazing veranderen omkeerbaar onder invloed van elektrische stroom of spanning, warmte of licht.

3.1.3 Gebouwschil: kleur en isolatie

Gevels en daken in Nederland zijn goed geïsoleerd. Geabsorbeerde warmte in het oppervlak van de constructie, bijvoorbeeld door opvallende zonnestraling, zal hierdoor maar voor een gering aandeel naar binnen dringen.

De goede isolatie is een beperkende factor voor de werking van directe stralingskoeling, verdampingskoeling en grondkoeling.

De kleur van de buitengevel heeft grote invloed op de oppervlaktetemperatuur. De invloed op de binnentemperatuur is niet groot als de gevel goed geïsoleerd is, zoals in Nederland het geval is.

Opwarmen van de buitengevel en dak hebben een groter effect op de binnentemperatuur als de ventilatie- en infiltratielucht hierdoor wordt opgewarmd.

Afgifte van geabsorbeerde warmte in de buitengevel naar het vertrek wordt vertraagd als de gevel enige massa heeft. Door afkoeling van de massa gedurende de nacht zal minder warmte de binnenruimte uiteindelijk bereiken.

Dit effect is vooral van belang als de constructie niet goed geïsoleerd is.

3.1.4 Beplanting rondom de woning

Beplanting rondom een gebouw kan door beschaduwing van de gevel de oppervlakte temperatuur verlagen. Het effect op de binnentemperatuur is niet groot door de goede gevelisolatie. De beschaduwing van ramen kan wel een groot effect hebben door reductie van de directe zonnestraling. Afhankelijk van het type begroeiing is de mate van beschaduwing seizoensafhankelijk, waardoor er in de winter van de zontoetreding gebruik gemaakt kan worden.

Beplanting van de grond verlaagt de grondreflecties.

Doordat de omgevingstemperatuur rondom het gebouw wordt verlaagd, is de ventilatie- en infiltratieluchttemperatuur wat lager.

Begroeiing op de gevel verlaagt de windsnelheid, wat effect heeft de warmteweerstand van de gevel. Ook kan begroeiing de luchtsnelheid binnen reduceren.

Extra comfort door beplanting is afhankelijk van wat de bewoners met hun tuin doen. Deels is het een stedenbouwkundig vraagstuk..

3.2 Koude reguleren en afvoeren

Door gebruik te maken van de warmte capaciteit van de gebouwmassa kan warmteafvoer gereguleerd worden. Warmte belasting in een vertrek kan tijdelijk opgeslagen worden in de gebouwmassa. Als 's avonds de binnentemperatuur van het gebouw daalt wordt de warmte afgegeven aan het vertrek, waarna het kan worden afgevoerd. Door bijvoorbeeld 's nachts de constructie extra af te koelen kan de warmte capaciteit van de constructie worden verhoogd en zo wordt de binnentemperatuur overdag verlaagd (zie 3.2.2)

Het afvoeren van warmte kan plaatsvinden met behulp van:

- de hemel (straling)
- de lucht (ventilatie, verdamping van water)
- de grond (geleiding)

De mate van afvoer is afhankelijk van de beschikbaarheid van de warmte buffer of 'heat sink', de mogelijkheid voor warmteoverdracht en het temperatuurverschil tussen binnenruimte en heat sink.

3.2.1 *Koude reguleren*

Reguleren van warmte vindt doorgaans plaats door warmte tijdelijk op te slaan in de gebouwmassa. Uit de kantorenbouw is bekend dat koude reguleren door middel van een zware gebouwmassa gecombineerd met **nachtventilatie** een effectieve manier is om temperatuuroverschrijdingen te reduceren. Paragraaf 3.2.2.1 gaat hier verder op in.

Zware isolatiematerialen:

In een woning waar maar een beperkte massa aanwezig is, zullen grotere temperatuuroverschrijdingen plaatsvinden dan in een woning met een zware massa. Een verschil in de maximum temperatuur tussen licht en conventioneel (zwaar) bouwen van 8°C is niet uitzonderlijk. [22]

In een lopende studie van TNO Bouw voor Novem [22] wordt momenteel onderzocht of het gebruik van 'zware' isolatiematerialen een bijdrage kan leveren tot het verminderen van de temperatuuroverschrijdingen in de zomer voor woningen met een lichte gebouwmassa. Het gaat in dit kader om isolatiematerialen als cellulose plaatmateriaal en houtvezelisolatie met een veel grotere warmtecapaciteit per volume-eenheid in vergelijking met conventionele isolatiematerialen (zie tabel 3.1).

In de tabel is duidelijk te zien dat houtvezel isolatie per volume-eenheid 17 x meer thermische capaciteit heeft dan glaswol isolatie, maar dat dit op zich weer 7x kleiner is in vergelijking met beton.

Tabel 3.1: *Vergelijking van thermische parameters voor verschillende materialen op basis van materiaalspecificaties (overgenomen uit [22]).*

	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
<p>Toelichting:</p> <p>λ = warmtegeleidingcoëfficiënt van het materiaal [W/(m.K)]</p> <p>ρ = dichtheid van het materiaal [(kg/m³)]</p> <p>c = specifieke warmtecapaciteit van het materiaal [J/(kg.K)]</p> <p>c/V = specifieke warmtecapaciteit per volume-eenheid[kJ/(m³.K)]</p> <p>$a = \frac{\lambda}{\rho c} =$ temperatuurvereffeningscoëfficiënt [10⁻⁶ m²]</p> <p>$\delta = \sqrt{\frac{aT}{\pi}} =$ indringdiepte bij temperatuur periode T = 24 uur</p> <p>T = de cyclusduur van de temperatuurverandering [s]</p>					

De voorlopige conclusies van dit onderzoek zijn:

- buitenzonwering en extra ventilatie zijn bij een lichte bouwwijze noodzakelijk om het discomfort tot acceptabele niveaus terug te brengen
- ook als deze maatregelen zijn genomen zien we bij de lichte bouwwijze nog steeds een belangrijk aantal overschrijdingsuren (die bij zich een zware bouwwijze niet meer manifesteren)
- het toepassen van zware isolatie bij de probleemgevallen kan het comfort aanmerkelijk verbeteren. Het comfort blijft echter duidelijk minder goed dan in een woning met een zware gebouwmassa.
- het toepassen van zware isolatie is alleen zinvol bij een lichte bouwwijze; indien toegepast bij een conventionele bouwwijze zal het effect op het binnenklimaat zeer gering zijn.
- de invloed van zware isolatie is het grootst voor vertrekken die onder een plat dak gesitueerd zijn.

Fase overgangsmateriaal:

Een andere techniek om de koude en warmte te reguleren in woningen met een beperkte gebouwmassa is het gebruik van bouwmaterialen (muren en plafonds) geïmpregneerd met een fase overgangsmateriaal dat een smeltpunt heeft rond de 16°C tot 25°C.

Een fase overgangsmateriaal (Phase Change Material: PCM) heeft de mogelijkheid binnen een bepaald temperatuurbereik van fase te veranderen. Een PCM die bijvoorbeeld door de zon wordt verwarmd stijgt in temperatuur totdat het faseveranderingspunt (smeltpunt) is bereikt. Vanaf dat moment wordt de energie die nodig is voor de faseverandering in de PCM geabsorbeerd. Gedurende dit proces blijft de temperatuur van het materiaal constant. Zodra de faseverandering voltooid is zal de temperatuur van het materiaal weer toenemen.

Op deze wijze kan een dergelijk materiaal in de zomer overdag warmte opnemen en 's nachts weer afstaan eventueel in combinatie met nachtventilatie. In de winter kan het materiaal passieve zonne-energie opnemen om het energiegebruik voor verwarming te beperken.

Voorals organische PCM's zijn geschikt voor toepassing in bouwmaterialen. [23] In tabel 3.2 staan de materiaaleigenschappen van de belangrijkste fase overgangsmaterialen in combinatie met gipsplaat vermeld.

Tabel 3.2: Organische PCM's verwerkt in gipsplaat (overgenomen uit [23])

PCM:	Smeltpunt [°C]	Vriespunt [°C]	Dichtheid [kg/m ³]	Smeltwarmte [kJ/kg zuiver PCM]	Gemiddelde smeltwarmte [kJ/kg bouwmat.]
Butyl stearaat	18	21	855	140	30
1-dodecanol	20	21	830,9	200	47
45/55 capric-lauric acid	17	21		143	28
Propyl palmitaat	16	19	845,5	186	40

3.2.2 Koelen m.b.v. de lucht

3.2.2.1 Koelen door ventilatie

In niet-geconditioneerde, natuurlijk geventileerde gebouwen schommelt het binnenklimaat meer dan in geconditioneerde gebouwen. Gebruikers accepteren hier echter grotere schommelingen en hogere binnentemperaturen dan in geconditioneerde gebouwen.

Uit onderzoek blijkt dat er een relatie is tussen de maximaal geaccepteerde binnentemperatuur en de gemiddelde buitentemperatuur.

Er zijn een aantal manieren om ventilatie te gebruiken voor comfortverhoging in de zomer:

- ventileren met relatief koele buitenlucht (ten opzichte van de binnenlucht)
- comfortventilatie
- nachtventilatie

Ventileren met relatief koele buitenlucht:

Zolang de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur heeft ventileren een direct koelend effect op de binnenlucht.

Diverse parameters beïnvloeden de ventilatiecondities:

- Gebouwworm
- Locatie van de ventilatieopeningen (aanvoer en afvoer) t.o.v. de windrichting
- Totale oppervlakte effectieve ventilatieopening in de overdruk- en onderdruk zones van de gevel
- Verticale positie van de ventilatieopeningen
- Mate van belemmering van de ventilatiestroom in de woning

Dwarsventilatie is een effectieve manier om grote ventilatie debieten in een woning te creëren. Er worden echter in lang niet alle woningen voorzieningen voor dwarsventilatie gemaakt [21].

Indien geen dwarsventilatie kan ontstaan in een vertrek, is de grootte van de ventilatieopening van slechts beperkte invloed, zeker als de wind loodrecht op de gevel staat. Als er sprake is van dwarsventilatie neemt het ventilatiedebiet toe als de oppervlakte van de openingen toeneemt.

Als de toe- en afvoeropening niet even groot zijn wordt de totale luchtstroom bepaald door de kleinste opening. Indien de luchtstroom in de woning wordt belemmerd door bijvoorbeeld gesloten deuren, is de opening die hierin aanwezig is maatgevend. Een kleine aanvoer opening en een grote afvoer opening hebben tot gevolg dat de binnenkomende ventilatiestroom een grote snelheid heeft, maar dat de ventilatiestroom minder kans krijgt zich over de ruimte te verdelen. Door detaillering van de ventilatieopening kan de toevoerlucht in verticale richting een bepaalde kant op gestuurd worden.

Comfortventilatie:

Bij hogere luchtsnelheden wordt een hogere binnentemperatuur als comfortabel geaccepteerd. Ondanks een hogere buitentemperatuur dan de binnentemperatuur kan ventileren soms toch comfortverhogend zijn. Vooral bij hogere luchtvochtigheden is dit het geval. De hogere luchtsnelheid heeft een verhoogde verdamping van zweet van de huid tot gevolg en heeft zo een verkoelend effect. Zeker bij hogere ventilatievouden zal de binnenluchttemperatuur de buitenluchttemperatuur gaan benaderen.

Deze vorm van ventileren wordt comfort ventilatie genoemd.

Bij een maximale binnentemperatuur van ca. 28 à 30°C, afhankelijk van de RV, kan comfortventilatie bij een luchtsnelheid van 2 m/s nog tot een comfortabel binnenklimaat leiden, mits tocht en overlast van te hoge luchtsnelheden worden voorkomen.

Comfort ventilatie verhoogt echter de binnentemperatuur en warmt de constructie op. Als de gebouwmassa 's nachts niet voldoende de mogelijkheid krijgt om af te koelen is een dergelijke vorm van ventileren niet bevorderlijk voor het binnenklimaat. Bij lichte gebouwconstructies is dit minder een bezwaar.

Als de RV in een vertrek niet verlaagd hoeft te worden en binnenluchttemperatuur is lager dan de buitentemperatuur, dan kan de luchtsnelheid beter worden verhoogt met ventilatoren (plafond ventilatoren, tafelventilatoren). Deze gebruiken wel een hoeveelheid energie en hebben ook een zekere mate van extra interne warmtelast tot gevolg.

Nachtventilatie:

Door 's nachts te ventileren kan de massa met koele buitenlucht worden afgekoeld. Dit wordt nachtventilatie genoemd. Doordat de massa is afgekoeld is de binnentemperatuur de volgende dag lager. Een zware gebouwmassa is een vereiste voor een goede werking van nachtventilatie. Door de luchtsnelheid langs de massa te verhogen kan de warmte opname respectievelijk afgifte worden verhoogt.

In plaats van gebouwmassa kan eventueel ook gebruik gemaakt worden van andere opslagsystemen, als water tanks. Ook kan de ventilatielucht door luchtkanalen in de vloer, het plafond of door wanden geleid worden met de bedoeling warmte op te nemen. Het voordeel hiervan is dat men binnen geen last heeft van te koude buitenlucht en is er geen sprake van inbraakproblemen. Doordat er beter contact is tussen lucht en massa zal de massa zo sneller gekoeld kunnen worden dan wanneer buitenlucht het vertrek in wordt gebracht.

De minimum buitenlucht temperatuur 's nachts en het temperatuurverschil tussen dag en nacht bepalen onder meer de potentie van het systeem. De RV van de binnenlucht bepaald de maximale comfortabele binnentemperatuur zonder dat ventilatie noodzakelijk is. Door het gebruik van plafond- of tafelventilatoren kan indien gewenst de luchtsnelheid worden verhoogd.

Vuistregel: Als de maximum buitentemperatuur niet hoger is dan 36°C, de minimum buitentemperatuur niet hoger dan 20°C en het temperatuurverschil buiten tussen dag en nacht meer dan 10°C, dan is nachtventilatie toepasbaar. In Nederland is dat het geval.

De effectiviteit van de massa is afhankelijk van de:

- geleiding
- dichtheid
- warmtecapaciteit
- dikte
- oppervlakte

Het beste materiaal voor warmteopslag is beton met een hoge dichtheid.

De minimum temperatuur tot waar de massa afgekoeld kan worden hangt af van de:

- minimum buitentemperatuur
- mate en periode van ventilatie.

De minimum buitentemperatuur kan eventueel verder verlaagd worden door gebruik te maken van verdamping of nachtelijke uitstraling.

Thermische trek:

Onderzoek van onder meer WTCB toont aan dat ventilatiedebieten door thermische trek voldoende kunnen zijn voor adequate nachtelijke koeling. Het principe van thermische trek kan gebruikt worden als er weinig wind is om een ventilatiestroom te initiëren. De grootte van de ventilatieopeningen is hierbij van groter belang dan het temperatuurverschil of het hoogte verschil tussen de openingen

Beperkingen:

- Een lage binnentemperatuur 's nachts in combinatie met een hoge luchtsnelheid kan oncomfortabel zijn. Hierdoor ontstaat de kans dat de gebruiker van het gebouw de ventilatie vermindert of stopt voordat de massa voldoende is gekoeld.
- Privacy en veiligheidsredenen kunnen de mate van ventilatie verlagen zodra de bewoners naar bed gaan: ramen zullen worden gesloten. In dat geval kunnen beveiligde openingen in combinatie met mechanische afzuiging een alternatief bieden.
- Op het moment dat de bewoners naar bed gaan, kan de buitenlucht nog warm zijn (zwoele zomeravond). Pas later in de nacht is de buitenlucht voldoende afgekoeld.
- Als slechts een beperkt oppervlak aan gebouw massa beschikbaar is zal nachtventilatie ook maar een beperkt effect hebben.

Als gebruik wordt gemaakt van mechanische ventilatie is nachtkoeling beter te controleren.

Geluidsoverlast en slechte luchtkwaliteit kunnen eventueel een probleem zijn bij het gebruik van natuurlijke ventilatie in het algemeen.

3.2.2.2 *Koelen door verdamping*

Het koelende effect dat met verdamping bereikt kan worden hangt af van de temperatuur en RV van de buitenlucht. Door verdamping zal de lucht afkoelen en de RV stijgen, de zogenaamde natte bol temperatuur blijft gelijk en is de minimum temperatuur tot waar de lucht kan afkoelen. Aangezien na verdamping de RV van de lucht nooit 100% zal zijn, zal deze minimale temperatuur niet worden gehaald. Meestal zal de temperatuur zo'n 20% tot 30% van het verschil tussen initiële temperatuur en droge boltemperatuur hoger zijn. Dit is natuurlijk mede afhankelijk van de wijze waarop het verdampingsproces plaatsvindt en dus de mate waarop de lucht bevochtigd wordt.

Voorbeeld: Lucht met een temperatuur van 30°C en een RV van 60% zal 'maximaal' tot 24°C kunnen worden gekoeld en meer reëel is zo'n 26°C. Is de RV 30%, dan kan de lucht tot 'maximaal' 18°C worden gekoeld.

Als geen warmte wordt toegevoegd of onttrokken spreken we van een adiabatisch proces: de totale energie inhoud van de lucht blijft constant, er vindt alleen een verschuiving plaats van voelbare warmte naar latente warmte.

Als vuistregel wordt aangehouden dat koelen door verdamping effectief is als de natte bol temperatuur van de buitenlucht niet hoger is dan 22°C. In ons klimaat is de natte bol temperatuur vrijwel altijd lager dan 22°C.

Naast directe verdampingskoeling bestaan ook systemen die op een indirecte wijze koelen met behulp van verdamping. Deze systemen bieden een alternatief voor gebieden met een vochtiger klimaat.

Directe verdampingskoeling:

Mechanische verdamping koelmachines bestaan al sinds het begin van de 20ste eeuw. Deze systemen behoren eigenlijk niet meer tot de passieve koelsystemen.

Het eenvoudigste type is een compacte machine waarbij grote hoeveelheden buitenlucht langs bevochtigde vezels wordt geleid. Het systeem bevat een ventilator en een pomp. De bevochtigde lucht wordt direct het vertrek in geblazen. Aangezien de ingeblazen lucht slechts enkele graden lager is dan de gewenste binnentemperatuur, zijn grote luchtdebieten noodzakelijk. De hoge luchtsnelheden en hoge RV zijn niet altijd even gewenst.

Een alternatief is om de bevochtigde en gekoelde buitenlucht door een warmtewisselaar te leiden zonder dat de twee luchtstromen met elkaar in contact komen en er dus geen vochtuitwisseling plaatsvindt. Een dergelijk systeem is groter dan het eerste en gebruikt ook meer energie.

De natte bol temperatuur van de inblaaslucht is door de warmte-uitwisseling in de warmtewisselaar gedaald. Door deze lucht wederom door een bevochtiger te leiden, kan de temperatuur nog verder worden verlaagd, waardoor lagere luchtdebieten mogelijk zijn. Iedere extra fase in het proces kost echter extra ventilator energie.

Een andere vorm van directe verdampingskoeling waarnaar in het verleden onderzoek is gedaan, zijn koeltorens. De lucht boven in de toren wordt gekoeld door verdamping, waardoor het zwaarder wordt en zakt.

Als de oppervlaktetemperatuur van het dak een bron van oververhitting van het gebouw is, kan bevochtigen van het dak een oplossing zijn. Door de goede isolatie van het dak zal dat in ons klimaat minder relevant zijn.

Indirecte verdampingskoeling:

Indirecte koeling vindt plaats door gevels of het dak van een gebouw te koelen door verdamping. De gekoelde constructie kan vervolgens als warmteopnemer fungeren en warmte absorberen. Op deze manier wordt de binnenlucht- en stralingstemperatuur verlaagd zonder dat de RV in het vertrek oploopt. Dit wordt bijvoorbeeld in de praktijk gerealiseerd door een laag water op een dak aan te brengen. Voorwaarde is dat het water volledig beschaduwd wordt en dat de constructie tussen water en vertrek niet geïsoleerd is. In ons klimaat is dit systeem daarom niet als zodanig toepasbaar. Het is mogelijk om isolatie aan de buitenzijde van de te koelen constructie en de waterlaag aan te brengen.

Het systeem vereist echter een plat dak met een behoorlijk dragend vermogen. De kosten om het systeem waterdicht te maken zijn hoog.

Een alternatief is de waterbassins onder of naast het gebouw te plaatsen. Het bassin kan dieper worden gemaakt, waardoor de opslagcapaciteit wordt vergroot. Er zal warmtetransport van het water naar het gebouw noodzakelijk zijn, bijvoorbeeld door een mechanische lucht- of waterstroom. De gekoelde lucht kan direct worden ingeblazen, het gekoelde water kan bijvoorbeeld in een fan-coil systeem of in een wandverwarmingssysteem gebruikt worden.

3.2.3 Koelen m.b.v. de hemel

Stralingsafgifte naar de hemel is groot. Dit geldt niet alleen voor de nacht maar ook overdag. Overdag staan de oppervlakken die warmte naar de hemel uitstralen echter ook bloot aan zonnestraling. Hierdoor zal alleen 's nachts de netto straling een koelend effect hebben. De stralingsafgifte is afhankelijk van de RV van de lucht en de mate van bewolking van de hemel.

Het totale netto stralingsverlies kan niet altijd volledig gebruikt worden voor het koelen van de woning: Als de straler kouder is dan de buitenluchttemperatuur zal deze door convectie opwarmen. Ook treedt er verlies op door transport van de straler naar het gebouw.

Een aantal principes van stralingskoeling kunnen worden onderscheiden:

- een zwaar dak met beweegbare isolatie
- een lichtgewicht straler
- een onafgedekte zonnecollector

Een zwaar dak met beweegbare isolatie:

Een zware dakconstructie koelt 's nachts af tot onder de buitentemperatuur. Door overdag het dak aan de buitenzijde te isoleren kan de koele massa dan als warmtebuffer voor het onderliggende vertrek fungeren. In de VS is een dergelijk systeem vercommercialiseerd. Nadeel is dat het een duur systeem is en dat de bewegende isolatie mechanisch onbetrouwbaar is. Daarnaast profiteren uitsluitend de vertrekken vlak onder het dak van het systeem.

Een lichtgewicht straler:

Het tweede systeem maakt gebruik van een licht stralingspaneel. Een goed geïsoleerd dak kan geen gebruik maken van de nachtelijke uitstraling van het buitenoppervlak door de warmteweerstand van het dak. Door een stralingspaneel boven de isolatie aan te

brengen en lucht door de opening ertussen aan te zuigen met behulp van een ventilator, kan de buitenlucht 's nachts worden afgekoeld door het stralingspaneel en naar binnen geblazen. De ingeblazen lucht is kouder dan de buitenlucht en kan 's avonds en 's nachts direct als koeling worden gebruikt. Indien in de loop van de dag koeling gewenst is, kan de ingeblazen lucht gebruikt worden om de interne constructie af te koelen. In dat geval is een zware bouwmasse vereist.

Het stralingspaneel zelf is licht en zal geen warmte bufferen. Door straling naar de hemel koelt het paneel 's nachts af tot onder de buitenluchttemperatuur. Convectieve warmteoverdracht, afhankelijk van de windsnelheid nabij het stralingsoppervlak, van het paneel naar de warmere buitenlucht vertraagt dit proces.

Een onafgedekte zonnecollector:

In de zonnecollector, wordt 's nachts water gekoeld en getransporteerd door kanalen in de betonnen constructie om deze af te koelen. In de winter kan dit systeem gebruikt worden om overdag water op te warmen.

3.2.4 Koeling m.b.v. de grond

Alleen de temperatuur in de eerste meters van de grond varieert met de buitentemperatuur en de zonnestraling. Dieper gelegen grond heeft min of meer een constante temperatuur van zo'n 10°C. Door de oppervlakte van de grond te beschaduwten kan de oppervlaktetemperatuur van de grond ver onder de buitenluchttemperatuur worden gebracht. Door bijvoorbeeld kiezels of houtsnippers op de grond aan te brengen wordt de convectieve warmteafgifte naar de warme buitenlucht verlaagd, terwijl verdamping mogelijk blijft (al zal deze lager zijn door reductie van de windsnelheid). Als de grond niet apart beschaduwd wordt moet deze laag een flinke dikte hebben om de zonnestraling te kunnen absorberen.

De temperatuur van de lagen direct onder het oppervlak worden ook verlaagd.

Zowel actief als passief kan de grond een koelbron zijn.

Passief kan de relatief lage temperatuur van de grond ten opzichte van de buitenlucht de constructie koelen door direct als warmteopnemer te fungeren. Dit werkt echter alleen als de constructie niet geïsoleerd is.

Door het gebruik van luchtkanalen of waterleidingen in de grond kan de koude grond ook op een indirecte manier worden benut:

Luchtcirculatie door de kanalen in de grond kan met buiten- of binnenlucht plaatsvinden. Voor gebouwen met een lage bouwmasse kan ventileren via de grond een alternatief zijn, waarbij de grond in plaats van de constructie als warmtebuffer fungeert. Praktijk ervaring met dit systeem laat zien dat mechanische ventilatie nodig is voor een goede werking van het systeem. De kanalen zijn moeilijk toegankelijk voor onderhoud.

Gevels grenzend aan de grond kunnen worden uitgevoerd met een spouw. Het binnenspouwblad kan worden geïsoleerd, waardoor de warmteweerstand in de winter wordt gegarandeerd. Door ventilatielucht door de spouw te leiden kan deze worden afgekoeld.

Er zullen maatregelen moeten worden getroffen om nadelige effecten van condensatie in de kanalen/spouw te voorkomen, zoals schimmelgroei met bijkomende stankproblemen.

Het warmtetransport tussen gebouw en grond kan ook via water plaatsvinden, waarbij in de woning bijvoorbeeld van een fan-coil systeem of een stralingspaneel gebruik gemaakt kan worden.

Ook diverse actieve koelsystemen als warmtepompen maken gebruik van de grond.

Ontwerpaspecten als daglichttoetreding, natuurlijke ventilatie mogelijkheden, extra belasting van de constructie door grond en waterdruk, waterdichtheid etc zijn aspecten die een rol spelen bij eventueel gedeeltelijk ondergronds bouwen.

4 Inschatting effectiviteit van diverse passieve koelconcepten

4.1 Methodiek vergelijking effectiviteit

In de volgende paragrafen wordt de effectiviteit van diverse passieve koeltechnieken ingeschat en onderling vergeleken. Hiervoor is gebruik gemaakt van een voorbeeld woning: de Novem tuinkamerwoning. Een beschrijving van de woning is gegeven in bijlage C.

Voor de beoordeling van het zomercomfort in woningen zijn geen gevalideerde richtlijnen of methodieken voorhanden. Om de effectiviteit van de systemen te kunnen beoordelen wordt in deze studie de mate van temperatuuroverschrijding vergeleken. De mate van temperatuuroverschrijding is niet uitsluitend afhankelijk van het passieve koelsysteem, maar ook van de constructie van de woning, de oriëntatie, de glasoppervlakte, de interne warmtelast, de ruimte in de woning die wordt bekeken, het klimaat waarbij oververhitting wordt beoordeeld, etc. De beoordeling van de diverse systemen op basis van absolute temperatuuroverschrijdingsuren is daarom niet zo zinvol. Gekozen is om de temperatuuroverschrijding voor de verschillende systemen onderling en met een referentiesituatie te vergelijken.

Om de vergelijking te kunnen maken wordt in grafieken het aantal uren temperatuuroverschrijding voor de diverse systemen gepresenteerd als functie van de comforttemperatuur. In deze grafieken is af te lezen hoeveel uren per jaar de comforttemperatuur boven een bepaalde waarde komt. De gepresenteerde comforttemperaturen zijn berekend voor de woonkamer van de tuinkamerwoning voor het klimaatjaar 1995 (een jaar met een warme zomer).

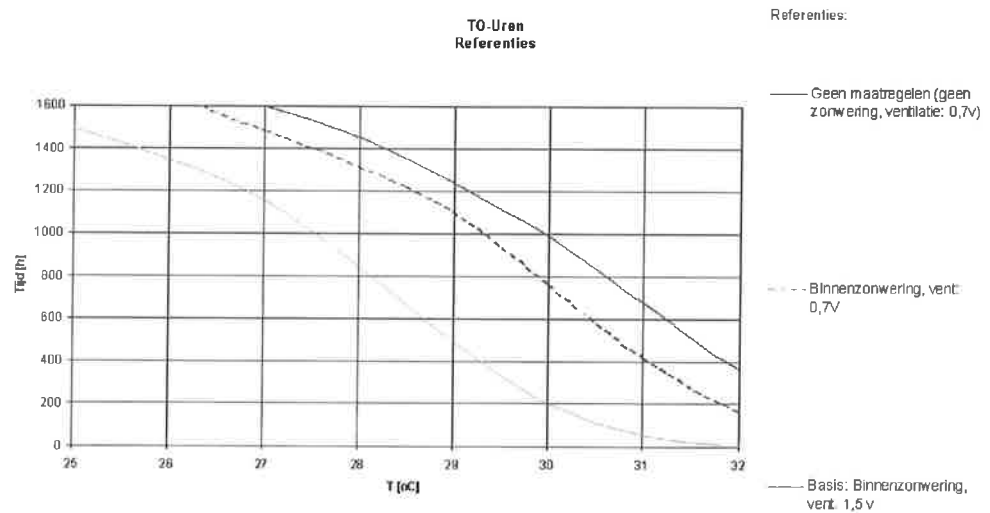
Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het rekenprogramma WIS (Advanced Windows Information System), versie 1.0 voor de bepaling van de eigenschappen van beglazingssystemen met binnen en buitenzonwering en van het gebouwsimulatiemodel VA114, versie 1.38 (VABI) voor het bepalen van de temperatuuroverschrijdingsuren.

Alle grafieken worden gepresenteerd op de zelfde schaal en met drie referentievarianten:

- De woonkamer zonder maatregelen: geen binnen/buitenzonwering en een lage (0,7voudige) ventilatievoud
- Idem met binnenzonwering (zonwering sluit bij 300 W/m^2)
- Idem met binnenzonwering (zonwering sluit bij 300 W/m^2) en extra ventilatie overdag (1,5voudig)

Bij alle berekende varianten van passieve koelsystemen is er vanuit gegaan dat er minimaal binnenzonwering aanwezig is die gesloten wordt bij opvallende zonnestraling van 300 W/m^2 en dat er overdag minimaal een ventilatievoud van $1,5 \text{ h}^{-1}$ en 's nachts minimaal $0,7 \text{ h}^{-1}$ aanwezig is.

In onderstaande grafiek zijn de temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur voor de drie referentie situaties gegeven.



Figuur 4.1: *Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur van de drie referentievarianten.*

4.2 Minimaliseren van de koelbehoefte

Ons klimaat is dusdanig dat oververhitting vrijwel altijd het gevolg is van warmte winst en niet van een hoge buitentemperatuur. In een gemiddelde zomer (TRY) komt de buitentemperatuur slechts 13 dagen boven de 25°C, waarvan slechts 3 dagen boven de 28°C. In de zeer warme zomer van 1995 kwam de temperatuur 38 dagen boven de 25°C en 21 dagen boven de 28°C, waarvan slechts 1 uur boven de 31°C (zie bijlage A).

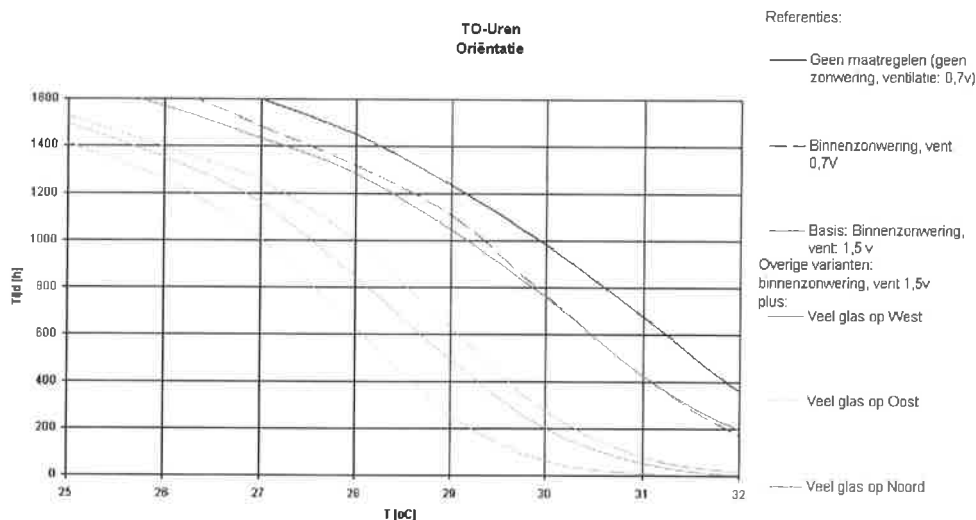
Op deze warme perioden na, is het minimaliseren van de warmte winst doorgaans voldoende om oververhitting in een woning te voorkomen. Maar ook op warme dagen levert het voorkómen van warmte winst een grote bijdrage aan het voorkómen van oververhitting.

Het voorkómen van warmte winst door middel van bijvoorbeeld buitenzonwering en het gebruik van overstekken is een reeds bewezen techniek. Helaas worden echter nieuwbouwwoningen niet standaard met buitenzonwering uitgevoerd.

4.2.1 Gebouw: oriëntatie en raamgrootte

Oriëntatie:

In onderstaande grafiek wordt het effect van oriëntatie van de ramen getoond voor de voorbeeld woning. De drie referentie situaties zijn Noord-Zuid georiënteerd met veel glas op Zuid en minder op Noord (zie bijlage C). Voor de variant berekeningen is de woning steeds een kwartslag gedraaid.



Figuur 4.2: Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur bij verschillende oriëntaties (Referentie situaties: Noord – Zuid, met veel glas op Zuid)

Dergelijke studies zijn niet nieuw en de resultaten zijn dan ook niet verassend: Een groot raamoppervlakte op het westen geeft de meeste temperatuuroverschrijdingen, meer dan een groot raamoppervlakte op het Zuiden. Veel raam op het Noorden geeft, uiteraard, relatief de minste koelbehoefte. Omdat in deze situatie ook glas op het zuiden aanwezig is, valt het effect ten opzichte van de basisvariant mee.

Voor meer vergelijkende berekeningen: zie [25].

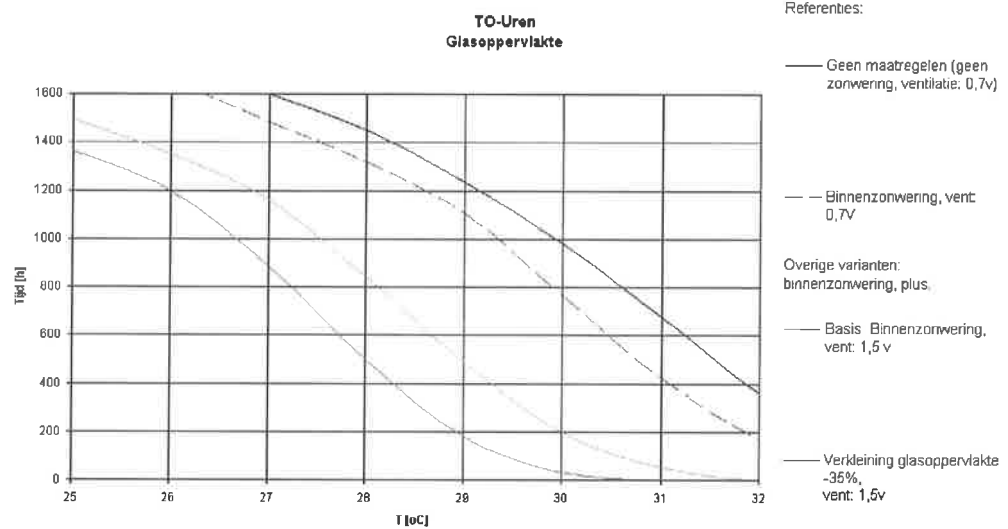
Wintersituatie:

Indicatieve berekeningen voor het stookseizoen van de woonkamer voor de vier oriëntaties geeft een ca 20% hogere warmtebehoefte dan de woonkamer met een noord-zuid oriëntatie met veel glas op het noorden in plaats van op het zuiden. Voor de oost-west georiënteerde woning geldt dat veel glas op het westen zo'n 10% hogere warmtebehoefte geeft dan veel glas op het zuiden. Terwijl veel glas op het oosten voor deze woning wat energiegebruik in de winter vergelijkbaar is met de woonkamer met veel glas op het noorden.

Ook hier geldt: Voor meer vergelijkende berekeningen: zie [25].

Glasoppervlakte:

Voor de Noord- Zuid georiënteerde woning is in onderstaande grafiek het effect gegeven van verkleinen van de raamoppervlakte met 35%.



Figuur 4.3: *Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur bijverkleining van de glasoppervlakte*

De effectiviteit van de reductie van de glasoppervlakte is niet zeer groot.

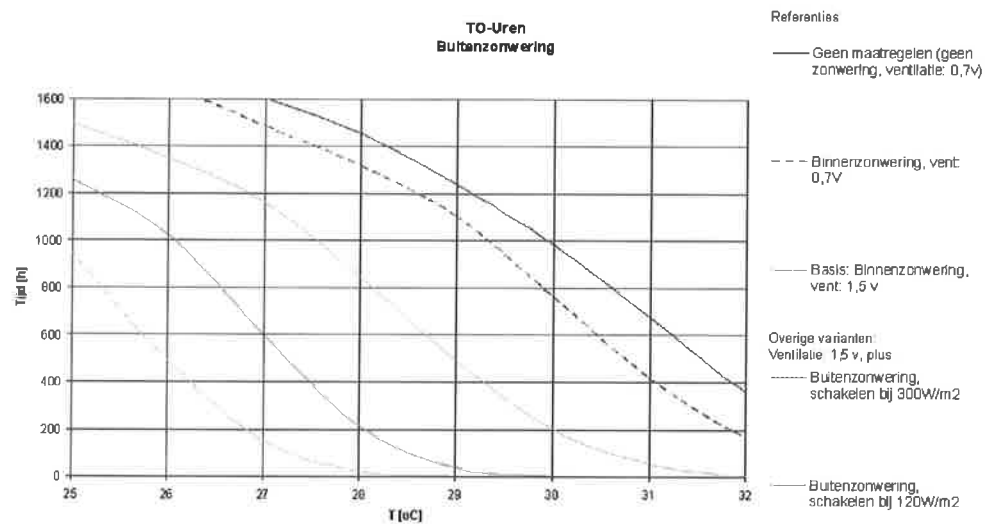
Wintersituatie:

Een indicatieve berekeningen voor het stookseizoen geeft een ca 7% hogere warmtebehoefte.

4.2.2 *Ramen: zonwering en glastypen*

Buitenzonwering:

In onderstaande grafiek wordt, naast de drie referentievarianten, het effect van buitenzonwering op de comforttemperatuur getoond voor de voorbeeld woning.



Figuur 4.4: *Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur van de varianten met buitenzonwering.*

De effectiviteit van buitenzonwering is volgens verwachting een stuk beter dan van binnenzonwering. Een probleem van buitenzonwering is echter dat deze in praktijk regelmatig te laat of niet wordt gebruikt:

- Zijn de bewoners thuis, dan zal de buitenzonwering vaak pas dicht gaan als het binnen te warm wordt. Op dat moment is bevindt de warmte zich reeds in de woning. Buitenzonwering helpt warmte buiten de woning te houden, maar kan geen warmte uit een woning afvoeren.
- Zijn de bewoners niet thuis, dan zal de buitenzonwering open blijven.

Het voorkomen van warmte winst werkt alleen goed als de oorzaak het grootste gedeelte van de tijd wordt aangepakt.

Wintersituatie:

In een situatie met beweegbare buitenzonwering zal de warmtebehoefte van de woonkamer nauwelijks hoger zijn dan in de situatie zonder zonwering, indien de buitenzonwering in de winter weinig gebruikt wordt.

Wordt de zonwering gebruikt conform hetzelfde schakelcriterium als in de zomer dan is de warmtebehoefte in de winter 25% hoger bij een schakelcriterium van 300 W/m² en 40% hoger bij een schakelcriterium van 120 W/m².

In de praktijk zal de extra warmtebehoefte een stuk lager zijn dan deze maximale waarden.

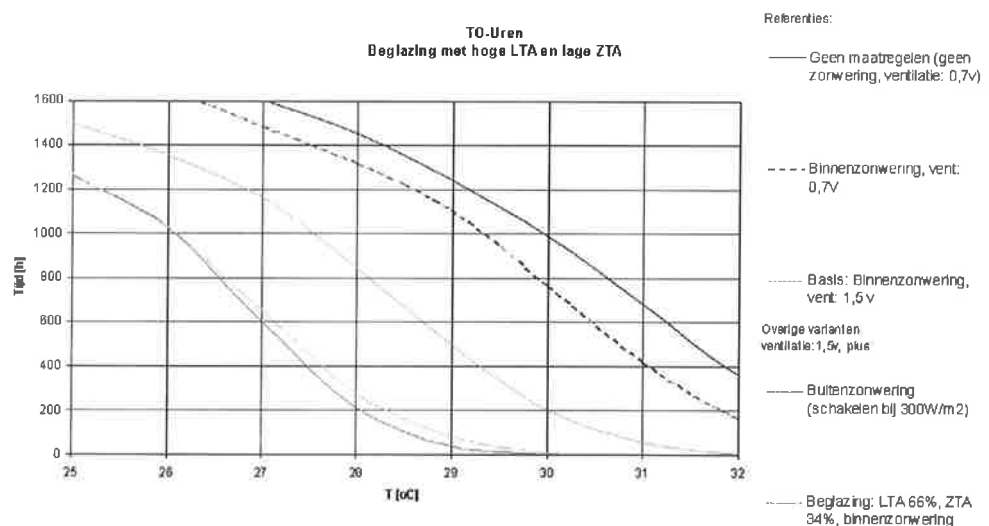
Beglazing met hoge LTA en lage ZTA:

Een alternatief voor buitenzonwering is het gebruik van een beglazingstype met een hoge LTA (lichttoetreding) en een lage ZTA (zontoetreding). Dergelijke beglazing is

reeds op de markt, voorbeelden hiervan zijn Thermoplus Energy van Glaverned (LTA = 71, ZTA = 39) en een beglazing van Pilkington met LTA = 68 en ZTA = 33, etc. Voor de kantorenbouw levert bijvoorbeeld Pilkington ook beglazing die nog een stapje verder gaat: LTA = 50 en ZTA = 25. Optimaal is een beglazingstype met een hoog mogelijk LTA en een zo laag mogelijke ZTA. De meest maximale verhouding tussen LTA en ZTA is echter 100:45, aangezien 45% van de zonnewarmte in zichtbaar licht zit. [19]

Het grote voordeel van deze beglazing ten opzichte van buitenzonwering is dat de zonwerende werking altijd aanwezig is, ook als bewoners niet thuis zijn. Dit is tevens een nadeel: in de winter zal de passieve zonne-energieopbrengst lager zijn als de ZTA-waarde van de beglazing lager is ten opzichte van een situatie met buitenzonwering, waarbij de zonwering in de winter niet of veel minder wordt gebruikt.

Het effect van beglazing met een LTA van 66 en een ZTA van 34 op de temperatuuroverschrijding is weergegeven in de onderstaande grafiek. (Opmerking: ZTA en LTA zijn hier gedefinieerd bij loodrechte inval).



Figuur 4.5: *Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur van de variant met buitenzonwering en de variant met beglazing met LTA = 66 en ZTA = 34.*

Bij de vergelijking van de effectiviteit van de beglazing met LTA = 66 en ZTA = 34, vanaf hier HR6634 genoemd, met normale HR-beglazing met buitenzonwering (schakelcriterium bij 300 W/m²) blijkt de effectiviteit vergelijkbaar te zijn. De ZTA-waarde van de beglazing met buitenzonwering is weliswaar hoger (ZTA = ca. 10%), maar deze ZTA-waarde is slechts een deel van de tijd aanwezig, terwijl de hogere ZTA van de HR6634-beglazing constant aanwezig is. Zoals eerder opgemerkt heeft de HR6634-beglazing als groot voordeel dat de effectiviteit niet afhankelijk is van het gebruikersgedrag.

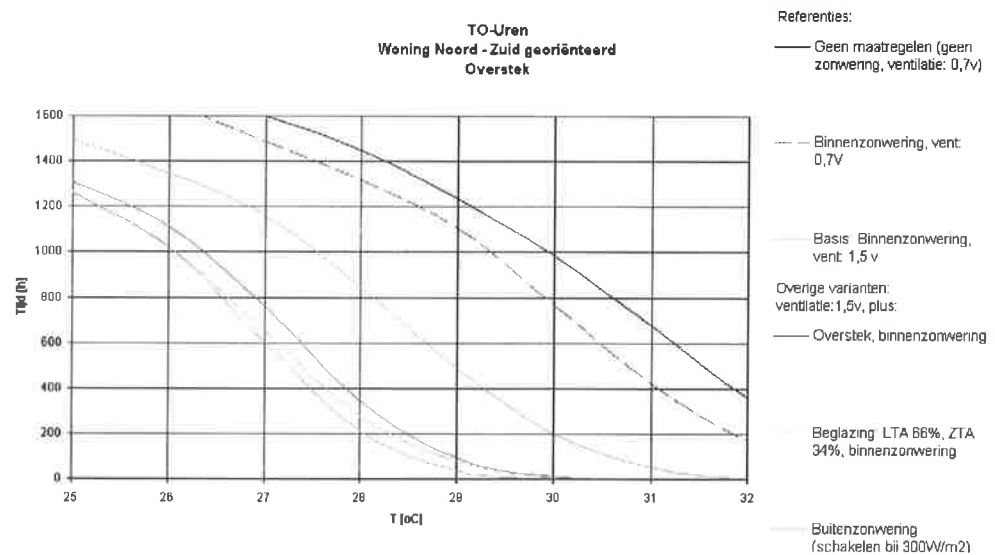
Wintersituatie:

Een indicatieve berekeningen voor het stookseizoen van de woonkamer met HR6634-beglazing geeft een ca 10% hogere warmtebehoefte dan de woonkamer met buitenzonwering, welke in de winter niet of nauwelijks gebruikt zal worden. (Voor de uitgangspunten van deze berekening: zie bijlage C.)

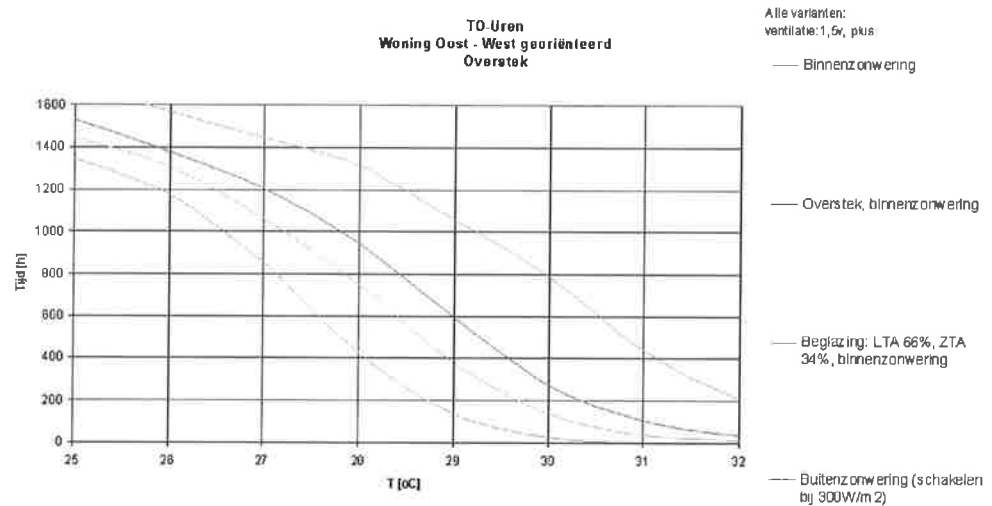
Overstekken:

Een ander alternatief voor het gebruik van buitenzonwering is het gebruik van overstekken. Ook voor deze maatregel geldt dat de effectiviteit niet afhangt van het gebruikersgedrag.

De effectiviteit van het gebruik van overstekken in vergelijking met de variant met buitenzonwering en de variant met HR6634-beglazing is weergegeven in de onderstaande grafieken, voor twee oriëntaties: noord-zuid en oost-west.



Figuur 4.6: *Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur van de variant met buitenzonwering, de variant met beglazing met LTA = 66 en ZTA = 34 en de variant met overstek (oriëntatie: NOORD-ZUID).*



Figuur 4.7: *Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur van de variant met buitenzonwering, de variant met beglazing met LTA = 66 en ZTA = 34 en de variant met overstek (oriëntatie: OOST-WEST).*

Uiteraard is de effectiviteit van de overstekken afhankelijk van de positie van het overstek t.o.v. het raam en de lengte en breedte van het overstek. De grafieken zijn slechts bedoeld ter indicatie van de effectiviteit: de overstekken zijn hier niet geoptimaliseerd, noch voor de zomersituatie, noch voor de wintersituatie.

Zoals verwacht zijn de overstekken voor de noord-zuid oriëntatie effectiever dan voor de oost-west oriëntatie in vergelijking met de andere varianten. Ook de variant met HR6634-beglazing is overigens voor de oost-west oriëntatie ten opzichte van de variant met buitenzonwering wat minder effectief.

De daglichteis in het Bouwbesluit is een mogelijk probleem bij het gebruik van overstekken.

Wintersituatie:

Een indicatieve berekeningen voor het stookseizoen van noord-zuid variant met overstek geeft een ca 11% hogere warmtebehoefte dan de variant zonder overstek. Voor de oost-west situatie is de warmtebehoefte voor de variant met overstek ca. 7% hoger dan voor de variant zonder overstek. De variant met HR6634-beglazing (oost-west) heeft een ca. 5% hogere warmtebehoefte van de variant met normale HR beglazing (oost-west).

Voor de noord-zuid situatie ontlopen de varianten met overstek of HR6634-beglazing elkaar zowel voor de zomer- als voor de wintersituatie niet veel. Voor de oost-west situatie heeft in beide seizoenen de HR6634-beglazing een lichte voorkeur. Maar nogmaals: de overstekken zijn hier niet geoptimaliseerd.

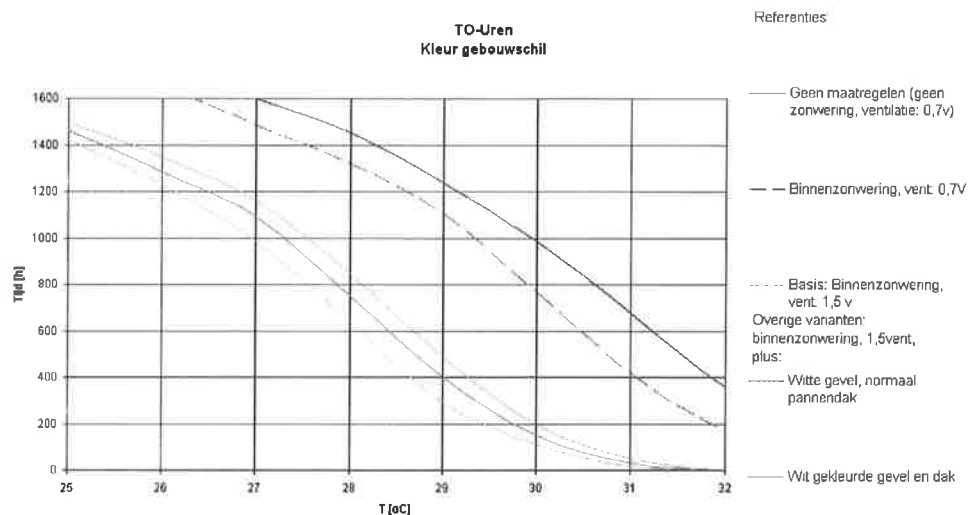
Buitenzonwering heeft in alle gevallen (zomer en winter en voor beide oriëntaties) de voorkeur, met de kanttekening dat de effectiviteit in de zomer afhankelijk is van het gebruikersgedrag.

4.2.3 Gebouwschil: kleur en isolatie

Een lichte gebouwschil heeft een flink lagere oppervlakte temperatuur aan de buitenzijde dan een donkere gebouwschil. Voor goed geïsoleerde gevels en daken geldt dat de invloed van de kleur op de binnentemperatuur niet zo groot is.

Met een eenvoudige indicatieve berekening is het effect van een witte gebouwschil bekeken: Een witte gebouwschil heeft in het geval van de voorbeeld woning een effect op de binnentemperatuur van de woning die vergelijkbaar is met een vergelijkbare woning met een normale gebouwschil (baksteen en dakpannen), maar met een lagere ZTA-waarde van het glas in de gevel, namelijk 0,52 in plaats van 0,60. Het effect zit grotendeels in het dak.

In onderstaande grafiek wordt, naast de drie referentievarianten, het effect van een licht gekleurde gebouwschil op de comforttemperatuur getoond voor de voorbeeld woning. Zowel de situatie met witte gevel en dak als de situatie met uitsluitend een witte gevel is weergegeven.



Figuur 4.8: *Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur van de variant met een lichtgekleurde buitenschil*

4.2.4 Beplanting rondom de woning

Het effect van koeling door beplanting rondom de woning wordt voornamelijk veroorzaakt door beschaduwing [2]. Een omgeving die beschaduwd wordt door beplanting zal een lagere temperatuur hebben dan een omgeving beschaduwd door een bouwwerk, vanwege het koelende effect van verdamping door de planten. Om de effectiviteit van beplanting in de schatten worden de volgende drie effecten meegenomen:

1. Beschaduwing van de ramen
2. Beschaduwing van de gevel
3. Verlaging van de ventilatie- en infiltratielucht temperatuur

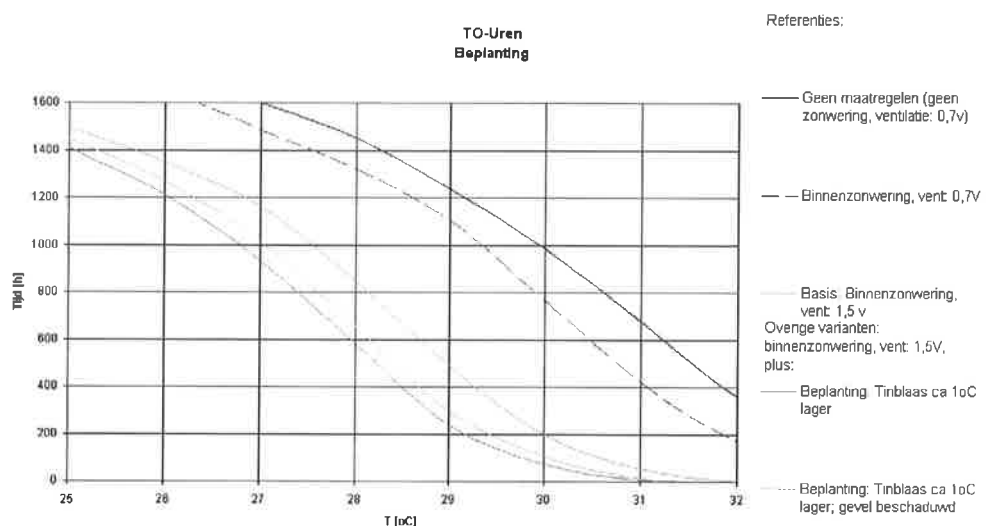
Ad 1. Beschaduwning van ramen: De hoeveelheid zonnestraling die door beplanting wordt geabsorbeerd verschilt van plant tot plant. Een boom kan bijvoorbeeld zo'n 70% tot 85% van de zonnestraling absorberen. In combinatie met de ZTA-waarde van HR+ beglazing, zal de equivalente ZTA-waarde van door deze bomen beschaduwde glas vergelijkbaar zijn als van glas met buitenzonwering, namelijk zo'n 10% tot 20% (voor het effect op de comforttemperatuur in de woning; zie *Figuur 4.4*). Voordeel van planten boven buitenzonwering, voor de zomersituatie althans, is dat ze altijd aanwezig zijn, ook als de bewoners niet thuis zijn. Het effect van beschaduwning van de ramen is flink. Aan de andere kant zal het effect van beplanting geringer zijn dan uit *Figuur 4.4* blijkt, aangezien de beplanting een (deel van een) raam doorgaans slechts een deel van de tijd zal beschaduwen.

Wintersituatie:

In de winter verliezen veel planten weliswaar hun bladeren, maar de absorptie kan alsnog zo'n 35% tot 45% zijn. In combinatie met de ZTA-waarde van HR+ beglazing, zal de equivalente ZTA-waarde van door de kale bomen beschaduwde glas zo'n 35% zijn. Afhankelijk van de stand van de bomen voor de ramen kan dit tot maximaal zo'n 10% hogere warmtebehoefte leiden in de winter.

Ad 2. Beschaduwning van de gevel: Het effect van beschaduwning van de gevel is klein omdat de buitenschil goed geïsoleerd is (zie 4.2.3 en *Figuur 4.8*).

Ad 3. Verlaging van de ventilatie- en infiltratielucht temperatuur: Het effect van verlaging van de ventilatie- en infiltratietemperatuur is ingeschat en weergegeven in de volgende figuur. Aangenomen wordt (globale inschatting op basis van [2]) dat de temperatuurafname van de omgevingslucht door beschaduwning door planten in ons klimaat zo'n 1°C à 2°C is. Ook een inschatting van de effectiviteit van de combinatie van een lagere ventilatieluchttemperatuur en beschaduwning van de gevel (ad 2) is weergegeven.



Figuur 4.9: *Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur als gevolg van beplanting: verlaging van de ventilatieluchttemperatuur en beschaduwning van de gevel.*

4.3 Koude reguleren en afvoeren

4.3.1 Koude reguleren

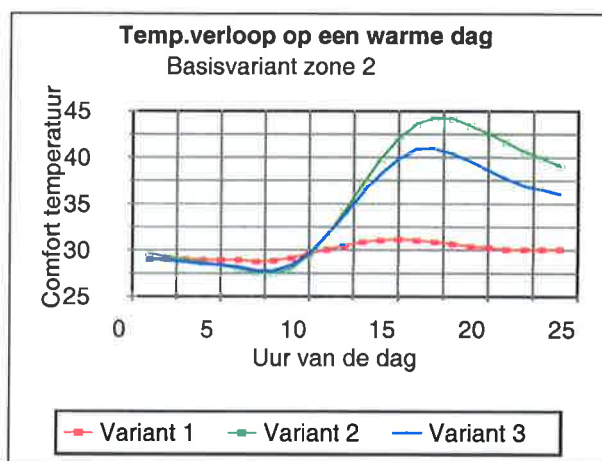
Zware isolatiematerialen:

De effectiviteit van zware isolatiematerialen is ingeschat in een lopende studie van TNO Bouw voor Novem [22]. Uit deze studie blijkt dat de verschillen tussen licht en conventioneel (zwaar) bouwen zeer groot zijn; een verschil van 8°C in de maximum temperatuur is niet uitzonderlijk. Het toepassen van zware isolatiematerialen bij een lichte bouwwijze heeft een temperatuurdemping tot gevolg en daardoor zal het thermisch comfort duidelijk verbeteren. Het niveau dat optreedt bij de conventionele bouwwijze wordt echter niet gehaald.

Het toepassen van zware isolatiematerialen is alleen zinvol bij een volledig lichte bouwwijze. Naarmate zich meer inwendige thermische massa in de woning bevindt, bijvoorbeeld in de vorm van steenachtige wanden en vloeren, zal het effect van zware isolatie geringer zijn.

Het thermische discomfort bij de lichte bouwwijze blijkt het grootste te zijn voor vertrekken die direct onder het dak zijn gelegen. Bij die situaties is het effect van zware isolatie het grootste. [22]

Om een meer kwantitatief beeld te geven van het effect een lichte gebouwmassa ten opzichte van een zware gebouwmassa en het effect van zware isolatie zijn onderstaande grafieken uit [22] overgenomen:

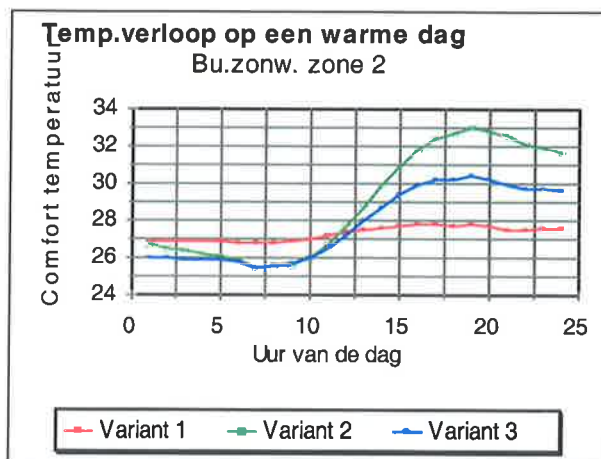


Figuur 4.10: Temperatuurverloop op een warme dag in zone 2 (slaapkamer zuidzijde) voor de drie varianten .

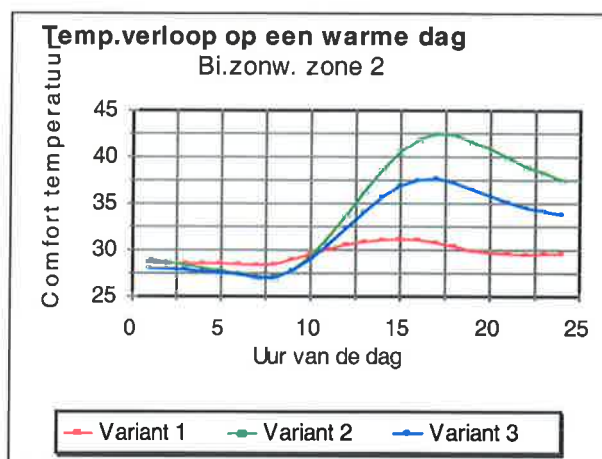
Variant 1: zware bouwwijze

Variant 2: lichtbouwwijze

Variant 3: lichte bouwwijze met zware isolatie



Figuur 4.11: Als Figuur 4.10, maar nu met buitenzonwering



Figuur 4.12: Als Figuur 4.10, maar nu met binnenzonwering

Fase overgangsmateriaal:

Om een inschatting te kunnen maken van de effectiviteit van fase overgangsmateriaal wordt de buffercapaciteit van gipsplaat met fase overgangsmateriaal vergeleken met de buffercapaciteit van gipsplaat zonder fase overgangsmateriaal en met de buffercapaciteit van een laag beton:

De capaciteit van 20 mm gipsplaat met fase overgangsmateriaal is ca. 500 KJ/m².

De capaciteit van 20 mm gipsplaat zonder fase overgangsmateriaal is ca. 20 KJ/m²K.

Ofwel: gipsplaat met fase overgangsmateriaal heeft een vergelijkbare buffer als gipsplaat zonder fase overgangsmateriaal van gelijke dikte bij een temperatuurstijging van de gipsplaat zonder fase overgangsmateriaal met ca. 25°C.

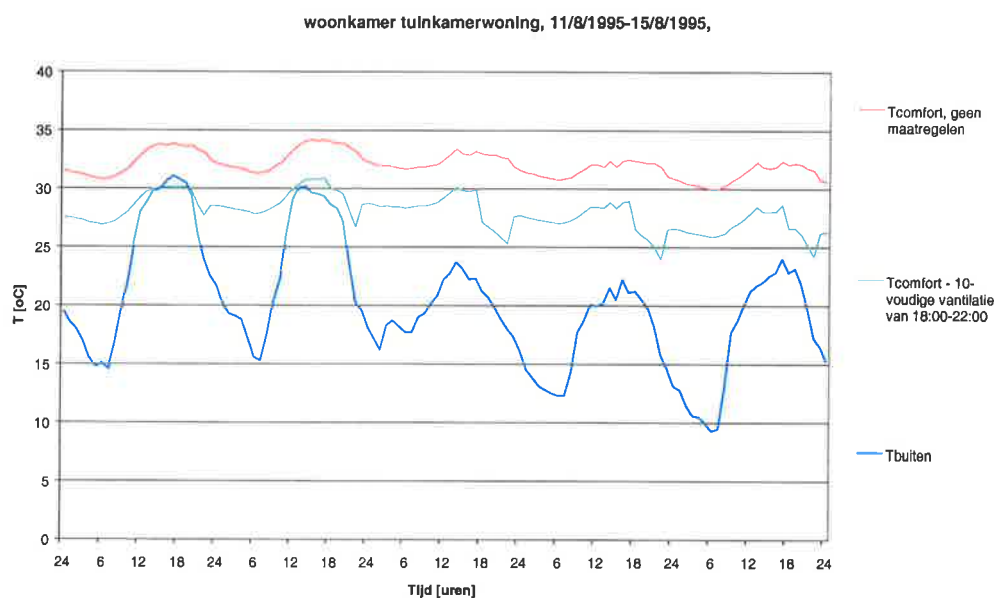
De capaciteit van 100 mm beton is ca. 200 KJ/m²K. Ofwel: 20 mm gipsplaat met fase overgangsmateriaal heeft een vergelijkbare buffer als 100 mm beton bij een temperatuurstijging van het beton met ca. 2,5°C.

Uit bovenstaande berekening blijkt dat de capaciteit van een gipsplaat met fase overgangsmateriaal significant is. Echter, zodra al het fase overgangsmateriaal van fase is veranderd zal de temperatuur van de gipsplaat snel oplopen en verliest het materiaal zijn bufferende werking. Om dit te voorkomen zal de gipsplaat met fase overgangsmateriaal gecombineerd moeten worden met een zware massa, bijvoorbeeld beton.

4.3.2 Koelen m.b.v. de lucht

Spuiventilatie

Zolang het buiten koeler is dan binnen, is ventilatie een goede maatregel om de woning te koelen. Door spuiventilatie is het mogelijk om snel de temperatuur van de lucht in een opgewarmd vertrek naar beneden te krijgen. Zodra echter de constructie is opgewarmd, zal de vertreklucht snel stijgen op het moment dat de ventilatie stopt. In onderstaande grafiek is dit geïllustreerd aan de hand van de tuinkamerreferentiewoning van de Novem. In de woning zijn geen maatregelen getroffen om de warmte winst van de zon op de zuidgevel te voorkomen dan wel af te voeren, behalve een verhoogd ventilatievoud ($10 \text{ m}^3/\text{hm}^3$) van 18:00-22:00.



Figuur 4.13: Comforttemperatuur in de woonkamer gedurende een aantal warme dagen in augustus '95 met en zonder spuiventilatie gedurende de avonduren.

Ter vergelijking is de comforttemperatuur berekend van dezelfde woning zonder maatregelen, met uitsluitend een basisventilatie van $0,7 \text{ m}^3/\text{hm}^3$ (geen van de varianten heeft binnen- of buitenzonwering):

- de binnentemperatuur daalt zodra er met ventileren wordt gestart. Bij een hoger ventilatievoud zal deze daling nog een wat groter zijn.
- zodra er met ventileren wordt gestopt stijgt de binnentemperatuur in de woning.
- de ventilatie heeft echter de constructie deels kunnen koelen, aangezien de maximale binnentemperatuur overdag toch enkele graden lager ligt dan in de woning zonder ventilatie 's avonds.

De benodigde ventilatievoud is eenvoudig natuurlijk te bereiken. Probleem hierbij is de inbraakveiligheid en regendichtheid, waardoor een dergelijke ventilatie moeilijk te bereiken is bij afwezigheid van de bewoners of bijvoorbeeld 's nachts.

Grote roosters:

Om redelijke natuurlijke ventilatiedebieten te creëren op momenten dat bewoners niet thuis zijn, kan gedacht worden aan de plaatsing van grote roosters. Een voorbeeld van dergelijke roosters zijn de roosters toegepast in het Keppekouter gebouw in België (zie *Figuur 4.14*). In dit kantoorgebouw worden de roosters 's nachts gebruikt om op inbraakveilige en regendichte wijze nachtventilatie te kunnen toepassen. De roosters worden 's avonds in de ramen geplaatst. 's Ochtends worden de roosters verwijderd.



Figuur 4.14: Voorbeeld van inbraakveilige en regendichte grote ventilatieroosters in het gebouw Keppekouter (België), foto CD-rom NatVent, EU-Joule project

In dit geval gaat het om roosters in combinatie met schuiframen.

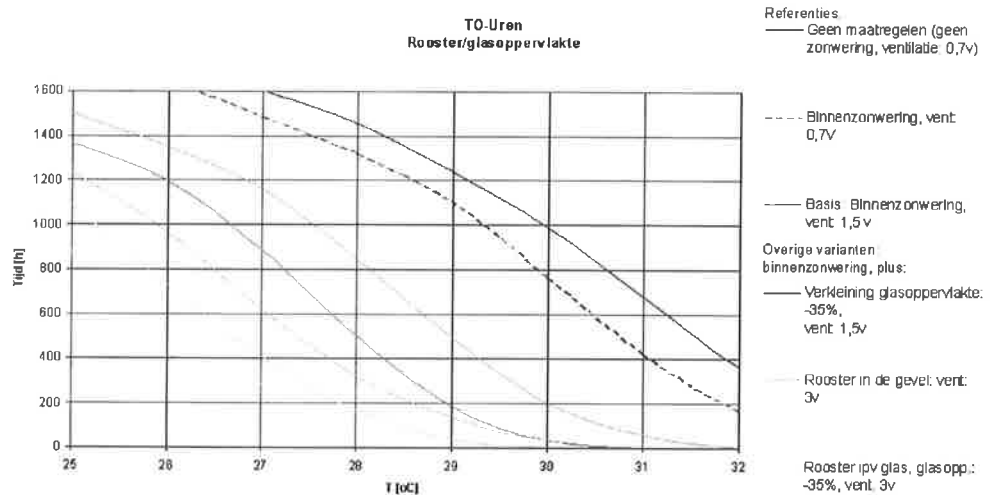
Op vergelijkbare wijze is het wellicht mogelijk grote roosters te ontwikkelen in combinatie met draairamen, voor toepassing in de woningbouw. In plaats van verwijderen van de roosters op momenten dat geen grote ventilatiedebieten zijn gewenst, is een optie om de roosters zo te ontwerpen dat het raam voor of achter het rooster gesloten kan worden. In plaats van de roosters dagelijks te plaatsten/verwijderen zouden de roosters met de seizoenswisselingen geplaatst/verwijderd kunnen worden. Belangrijk hierbij is dat er voor de wintersituatie apart regelbare ventilatievoorzieningen worden aangebracht, zodat tochtvrij ventileren ook in koudere perioden mogelijk blijft.

Voordelen van een dergelijk rooster zijn:

- Er kan met grotere debieten geventileerd worden dan met de gangbare ventilatie roosters boven de ramen, zonder dat bewoners aanwezig hoeven te zijn (inbraakwerend/regendicht);
- Als het raam gesloten is, is de infiltratie door het rooster minimaal;
- Als het rooster in een raam wordt geplaatst wordt op dat moment het raamoppervlak verkleind. Zodra, bijvoorbeeld in het najaar, het rooster wordt verwijderd, is het glasoppervlak weer beschikbaar voor passieve zonne-energie;
- Een beveiliging is nodig tegen te hoge windbelasting (sluiten).

In onderstaande grafiek is de effectiviteit van een dergelijk groot rooster weergegeven, waarbij het ventilatiedebiet conservatief is ingeschat op 3 h^{-1} . Vergeleken zijn:

- een situatie waarbij het rooster een vast onderdeel van de gevel uitmaakt, dus waarbij geen verkleining van de raamoppervlakte in de zomerperiode plaatsvindt;
- een situatie waarbij het rooster in het raam geplaatst wordt, dus waarbij in de zomer wel een verkleining van de glasoppervlakte plaatsvindt;
- een situatie waarbij de uitsluitend de glasoppervlakte wordt verkleind maar geen extra natuurlijk ventilatiestroom in de woning wordt gecreëerd (uitsluitend ter vergelijking)



Figuur 4.15: *Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur van de variant met roosters in de gevel zonder verkleining van de glasoppervlakte, de variant met roosters in het raam inclusief verkleining van de glasoppervlakte en de variant met verkleining van de glasoppervlakte zonder extra ventilatie.*

De extra ventilatie die overdag aanwezig is in de woning, ook zonder dat de bewoners aanwezig zijn, reduceert de temperatuuroverschrijdingsuren flink. Zeker in combinatie met reductie van de glasoppervlakte wordt de effectiviteit vergelijkbaar met de variant met buitenzonwering die dicht gaat bij 300 W/m^2 .

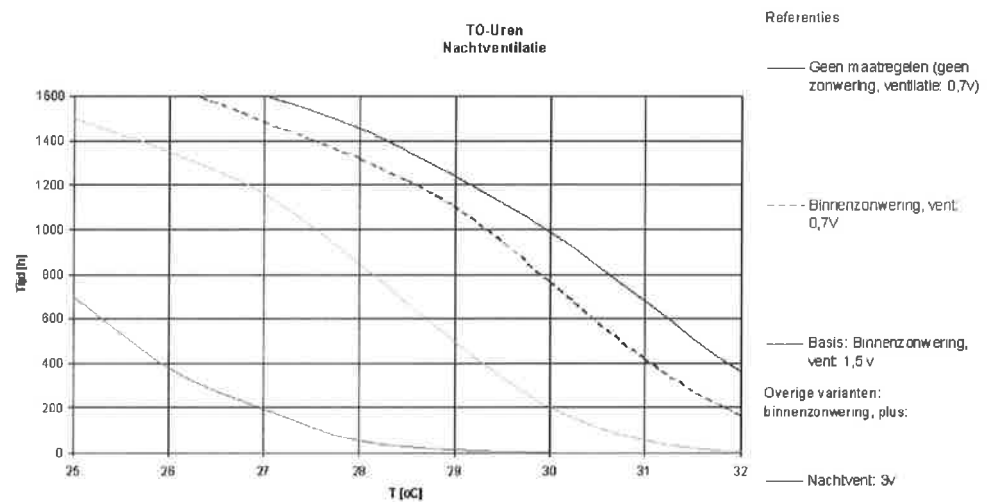
De effectiviteit van de reductie van de glasoppervlakte op zichzelf is niet zeer groot.

Wintersituatie:

Een indicatieve berekeningen voor het stookseizoen van de variant met een verkleind raamoppervlakte van 35% geeft een ca 7% hogere warmtebehoefte. Echter een rooster in het raam dat in het najaar te verwijderen is, heeft de voordelen van een verhoogde ventilatievoud en een verkleind raamoppervlakte in de zomer en toch een groot raamoppervlakte voor passieve zonne-energie in de winter.

Nachtventilatie:

Bij de inschatting van de effectiviteit van nachtventilatie is er vanuit gegaan dat er 's nachts minimaal 3-voudige ventilatie in de woning kan worden gecreëerd. De effectiviteit is mede afhankelijk van de massa van de constructie van de woning. In onderstaande grafiek is de effectiviteit weergegeven van nachtventilatie voor de voorbeeldwoning die gebruikt is in deze studie.



Figuur 4.16: *Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur van de variant met nachtventilatie.*

De effectiviteit van nachtventilatie in een woning met een zware gebouwsmassa is groot. Om de benodigde ventilatievoud te creëren, kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van de eerder beschreven roosters om een inbraakveilige en regendichte situatie te realiseren. In verband met kans op tocht is deze wijze van ventileren minder geschikt voor slaapkamers.

Koelen door verdamping:

Om een idee te krijgen van het effect van verdampingskoeling is met behulp van de vereenvoudigde rekenmethodiek uit [8] een inschatting gemaakt van de uitblaasstemperatuur van een directe verdampingskoeler als functie van de inlaattemperatuur en relatieve vochtigheid:

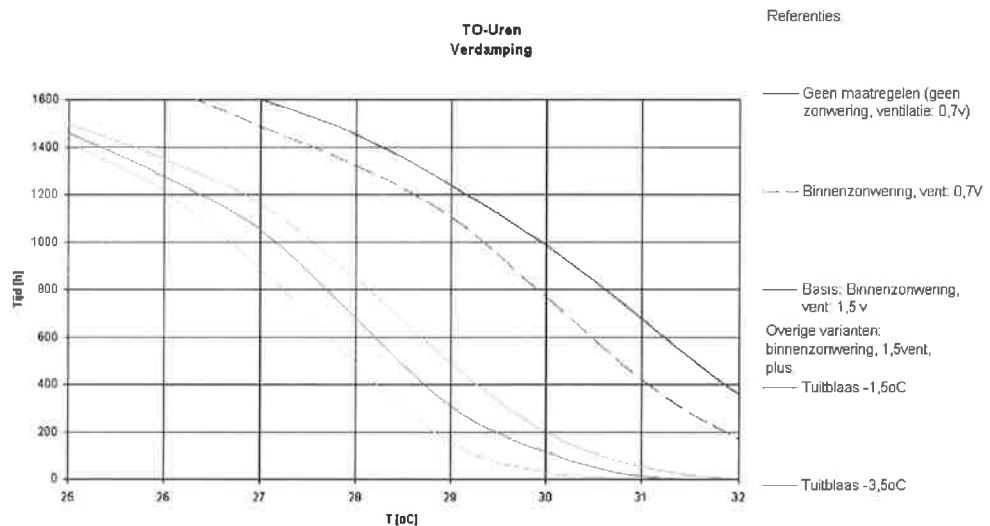
Tabel 4.1: Effect directe verdampingskoeling

$T_{\text{inlaat}} [^{\circ}\text{C}]$	30	30	30	25	25	25
$RV_{\text{inlaat}} [\%]$	70	50	30	70	50	30
$T_{\text{uitblaas}} [^{\circ}\text{C}]$	28,3	26,2	23,9	23,3	21,5	19,3
$\Delta T [^{\circ}\text{C}]$	1,7	3,8	6,1	1,7	3,5	5,7

Bij een hoge RV van de buitenlucht is de afname van de luchttemperatuur door directe verdamping niet groot. Door toename van de reeds hoge RV zal het uiteindelijke effect op het comfort in de woning gering zijn.

Bij een lagere RV is de afname van de luchttemperatuur groter. Ook hier moet men zich echter realiseren dat door toename van de RV in de woning de comforttemperatuur waarbij men zich prettig voelt afneemt.

Onderstaande grafiek geeft het effect op de comforttemperatuur van de afname van de ventilatielucht met $1,5^{\circ}\text{C}$ respectievelijk $3,5^{\circ}\text{C}$. Hierbij is het negatieve effect van toename van de RV op de temperatuur waarbij men zich prettig voelt buiten beschouwing gebleven.



Figuur 4.17: *Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur bij afname van de ventilatieluchttemperatuur met $1,5^{\circ}\text{C}$ respectievelijk $3,5^{\circ}\text{C}$*

4.3.3 Koelen m.b.v. de hemel

Nachtventilatie met stralingspanelen:

Er is een inschatting gemaakt van de effectiviteit van nachtventilatie waarbij de ventilatielucht extra wordt gekoeld door straling naar de hemelkoepel. Bij dit systeem wordt buitenlucht s' nachts onder een stralingspaneel naar binnen gehaald (mbv

ventilatoren). Doordat het stralingspaneel door straling naar de hemel kouder is dan de buitenlucht wordt deze extra afgekoeld.

De mate waarin de buitenlucht, die langs de straler wordt gezogen, kan worden afgekoeld is ingeschat met behulp van het softwarepakket WIS (Windows Information System). In WIS is een systeem gemodelleerd met een stralingspaneel, een spouw geventileerd met buitenlucht en een goed isolerend materiaal aan de binnenzijde. Naast spouwdikte, paneellengte en de luchtsnelheid in de spouw is ook de stralingstemperatuur van de hemel is van invloed op de uiteindelijke mate van afkoeling van de lucht. De stralingstemperatuur van de hemel wordt op basis van [18] ingeschat op $T_{\text{buitenlucht}} - 10^{\circ}\text{C}$. De breedte van het paneel is niet van invloed op de mate van afkoeling van de ventilatielucht, maar wel op het totale debiet dat wordt gekoeld. Convectieverdracht aan de bovenzijde van het paneel verhoogt de paneeltemperatuur en verkleint hiermee de koelcapaciteit. Deze convectie is afhankelijk van de luchtsnelheid van de lucht aan de buitenzijde.

Voorbeeldberekening van temperatuur verlaging van de ventilatielucht voor nachtventilatie voor de voorbeeldwoning:

Uitgangspunten:

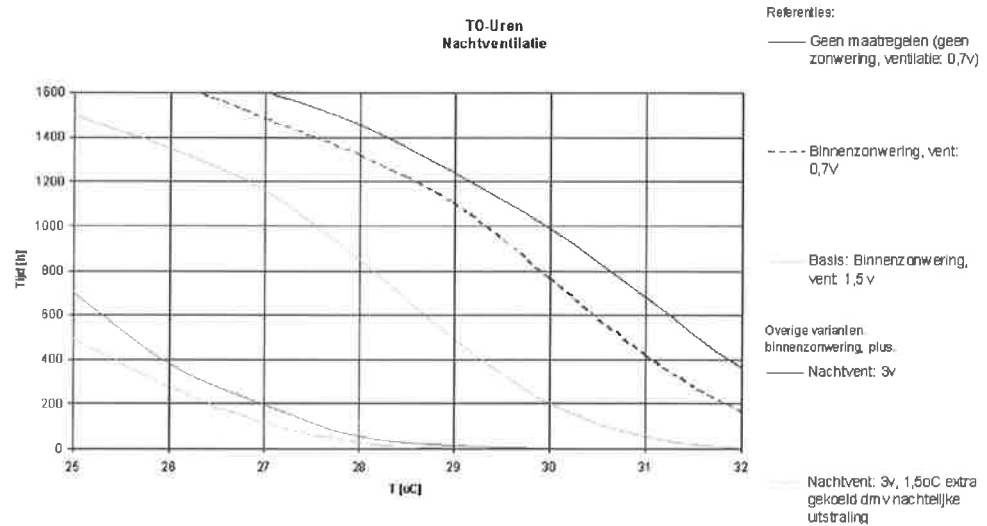
- paneellengte = 10 m
- paneelbreedte = 5 m
- spouwdikte = 50 mm
- luchtsnelheid onder het paneel = 1 m/s
- convectieverdracht aan de bovenzijde van het paneel = $15 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $T_{\text{buitenlucht}} = T_{\text{binnen}} = 20^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{hemel, straling}} = 10^{\circ}\text{C}$

Het luchtdebiet wat gekoeld wordt is hiermee $900\text{m}^3/\text{h}$, wat voor de voorbeeld woning neerkomt op ruim 2,5-voudige ventilatie. Het temperatuurverschil tussen ingaande en uitgaande lucht van het paneel wordt met bovenstaande uitgangspunten ingeschat op ca. $1,5^{\circ}\text{C}$.

Verlaging van de luchtsnelheid zal een grotere ΔT tot gevolg hebben, echter ook een lager debiet. Betere opties zijn verhoging van de warmteoverdracht van het paneel aan de lucht in de spouw door bijvoorbeeld het aanbrengen van ribben of kokers en/of het verkleinen van de convectieverdracht aan de bovenzijde van het paneel door het gebruik van een windscherm.

Verbeteren van de warmteoverdracht van het paneel aan de lucht in de spouw heeft maximaal een extra ΔT van ca 1°C tot gevolg. Het effect van een windscherm zit in dezelfde orde van grootte.

In onderstaande grafiek is de effectiviteit van nachtventilatie met $1,5^{\circ}\text{C}$ extra gekoelde buitenlucht vergeleken met nachtventilatie met niet extra gekoelde buitenlucht.



Figuur 4.18: *Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur van de variant met nachtventilatie en de variant met nachtventilatie, waarbij de inblaaslucht extra is gekoeld met stralingspanelen.*

De extra koelcapaciteit door de verlaging van de inblaasttemperatuur gedurende de nachtventilatie is echter niet groot.

Uit onderzoek in zuidelijke landen blijkt ook dat bij een kleine helling al veel straling van de (warmere) grond wordt opgevangen. [21]

4.3.4 Koelen met behulp van de grond

Stralingspanelen:

Er is een inschatting gemaakt van de effectiviteit van een koelsysteem waarbij water in een horizontale smalle pijp in de grond wordt afgekoeld en vervolgens met behulp van stralingspanelen zijn koelcapaciteit aan de woning afgeeft.

Het heeft de voorkeur om zoveel mogelijk gebruik te kunnen maken van een reeds aanwezig (lage temperatuur) verwarmingssysteem (vloerkoeling, radiatoren). Dit spaart investeringskosten. Een groot voordeel van vloerkoeling is ook dat zonnewarmte die direct op de vloer valt gebufferd kan worden

Er kleven echter diverse haken en ogen aan het gebruik van reeds aanwezige verwarmingssystemen die nader onderzoek vragen. Een aantal vragen zijn bijvoorbeeld:

- De locatie van verwarmingsafgifte systemen is anders dan die voor koelen ideaal is. In hoeverre is een dergelijk afgifte systeem in staat voldoende koeling op een comfortabele wijze te leveren (koude voeten, warm hoofd, spelende kinderen op de vloer)?
- Wat gebeurt er met luchtstroming bij vloerkoeling, wandkoeling. Daalt koele lucht zonder te mengen (wand) of blijft het laag (vloer) zonder te mengen?

Om de effectiviteit van koelen met de grond met behulp van stralingspanelen in te schatten is vooralsnog uitgegaan van stralingspanelen aan het plafond, waarbij bovenstaande problemen geen rol spelen.

- De koelcapaciteit van de koelpanelen is ingeschat op basis van productinformatie van koelplafonds [20] als functie van de ruimtetemperatuur en de water aan- en afvoertemperatuur van het paneel (zie ook bijlage D).
- Het warmteverlies van het water in de pijp naar de grond is als volgt ingeschat [14]:

$$T_{uit} = (T_{in} - T_{omg}) * \exp(-\alpha F / \phi \rho c) + T_{omg}, \text{ waarin}$$

T_{uit} = uitgaande watertemperatuur in °C

T_{in} = ingaande watertemperatuur in °C

T_{omg} = ongestoorde grondtemperatuur in °C

$\phi \rho c$ = warmtecapaciteit van de inhoud van de leiding in J/K

αF = warmteoverdragend vermogen van pijp en grond in W/K

Het warmteoverdragend vermogen is gebaseerd op de warmteweerstand van de grond [2]:

$\alpha F = F/R_{gr}$, met F is de lengte van de buis in m en

$R_{gr} = (1/2\pi\lambda_s) * \text{Ln} [(2(h + \Delta h)/D_c) * (1 + \sqrt{1 - (D_c/(2(h + \Delta h)))^2})]$ in mK/W, waarin:

λ_s = warmte geleidingcoëfficiënt van de grond in W/mK

h = diepte van de pijp in m

Δh = fictieve grondlaag in m die warmteweerstand tussen grond en buitenlucht beschrijft: $\Delta h = \lambda_s/\alpha_s$

α_s = warmte overgangcoëfficiënt: $5.7 + 3.8 * v$ in W/m²K, met v = luchtsnelheid in m/s

D_c = buitendiameter van de buis in m

De warmteweerstand van de buis zelf is verwaarloosd, evenals de warmteweerstand tussen water en pijp en in de pijp zelf. Deze zijn echter veel kleiner dan de warmteweerstand van de grond.

Uitgaande van een bepaald klimaatplafond (type en afmeting), een grondtemperatuur, waterdebiet en buisdiepte in de grond kunnen de ingaande en uitgaande watertemperaturen in grond respectievelijk de radiator iteratief worden berekend. De berekening is slechts een globale inschatting. Er is geen rekening gehouden met uitputting van de koelcapaciteit van de grond door opwarming.

Voorbeeldberekening van de koelcapaciteit van de stralingskoelpanelen gekoeld met water uit de grond voor de voorbeeldwoning:

Uitgangspunten:

- Buisdiepte = 3 m
- $T_{grond, 3m} = 12$ °C (zie bijlage B)
- Buisdiameter $d = 13$ mm
- Stroomsnelheid water = 1 m/s
- Warmtegeleidingcoëfficiënt van de grond = 2 W/mK
- Buislengte = 130 m
- Klimaatplafond type Noltec TO2 (zie bijlage D voor specificatie)
- Totaal paneeloppervlakte in de woning: 21 m²

Er is meer ruimte beschikbaar aan het plafond voor de plaatsing van plafondpanelen, waardoor tevens de capaciteit van het systeem groter wordt. De oppervlakte wordt echter niet te hoog aangenomen, om een link te behouden met eventuele vervanging van plafondpanelen door gevelpanelen (het bestaande verwarmingssysteem), waarvoor een veel beperktere oppervlakte beschikbaar is.

De koelcapaciteit van het water is afhankelijk van de vertrektemperatuur en word voor bovenstaande uitgangspunten als volgt ingeschat:

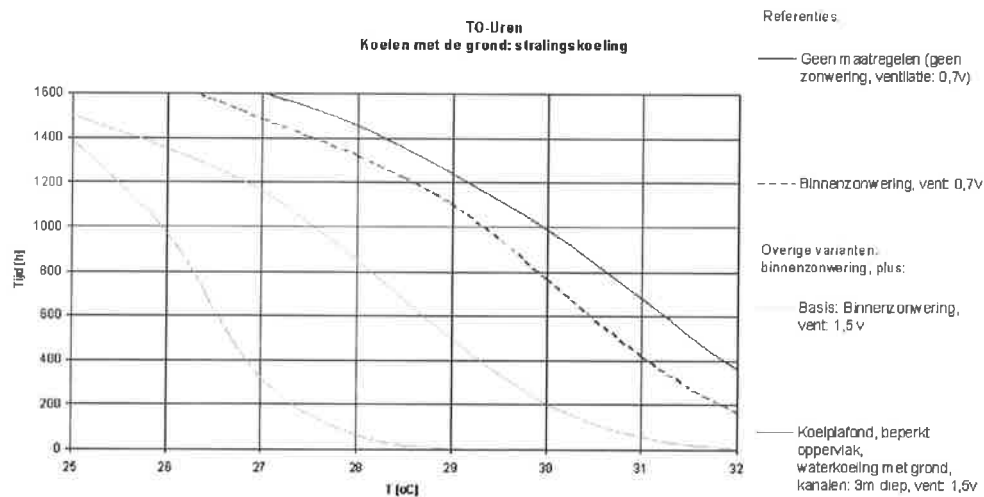
Tabel 4.2: *Koelcapaciteit en gemiddelde watertemperatuur*

Ti [°C]	26	27	28	29	30	31
Twater,gem [°C]	17.5	18.0	18.4	18.9	19.3	19.8
Qkoel [W]	1298	1402	1506	1611	1716	1822

Een indicatieve gevoeligheidsstudie laat zien dat:

- een toename van het debiet (hogere stroomsnelheid van het water of een grotere buisdiameter) de koelcapaciteit slechts gering verhoogt.
- De toename van de totale radiatoroppervlakte en/of de buislengte in de grond een groter effect op de koelcapaciteit heeft. Dit geldt ook voor radiator type. Ter indicatie de volgende cijfers:
 - een verdubbeling van de buislengte in de grond geeft in deze situatie een ca. 30% grotere koelcapaciteit (berekend bij een $T_i = 26^{\circ}\text{C}$)
 - vergroting van de radiatoroppervlakte met 50% geeft in deze situatie een ca. 25% grotere koelcapaciteit (berekend bij een $T_i = 26^{\circ}\text{C}$)
 - een combinatie van deze twee geeft in deze situatie een ca. 65% grotere koelcapaciteit (berekend bij een $T_i = 26^{\circ}\text{C}$)

Onderstaande grafiek geeft een indruk van de effectiviteit van bovenbeschreven systeem



Figuur 4.19: *Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur van de variant met waterkoeling met de grond met koelplafond.*

Bovenstaand inschatting laat een redelijke effectiviteit zien van grondkoeling met stralingspanelen. Een grondiger studie is noodzakelijk om het effect van uitputting van de bodem mee te kunnen nemen en de mogelijkheden van het gebruik van bestaande verwarmingsafgiftesystemen voor de koeling te gebruiken.

De stralingspanelen reduceren ten opzichte van andere in dit rapport vergeleken koelsystemen vooral de hogere temperatuuroverschrijdingen.

Een systeem met directe waterleidingen door de grond is niet commercieel voor handen, een systeem in combinatie met een warmtepomp en een warmtewisselaar wel. Ook is er inmiddels al enige ervaring opgedaan met zogenaamde energiepalen, waarbij er gebruik wordt gemaakt van heipalen om waterleidingen doorheen te laten lopen. Deze ontwikkeling lijkt potentieel te hebben. Nadeel is dat er soms meer of langere palen moeten worden toegepast dan constructief noodzakelijk is. Een ander nadeel is dat de palen slecht bereikbaar zijn voor mogelijk noodzakelijk onderhoud. Een netwerk van buizen in de tuin, minder diep onder de grond, is wat dat betreft wat beter bereikbaar. [21]

Een aandachtspunt bij klimaatplafonds of andere stralingspanelen met koud water is het condensatierisico. Condensbeveiliging kan op een aantal manieren worden uitgevoerd: [24]

- raamcontacten waarmee de toevoer van koelwater wordt stopgezet als het raam wordt geopend;
- condensdetectie op het koudste deel van het stralingspaneel waarmee de toevoer van koud water wordt stopgezet;
- lokale temperatuurverhoging van het koelwater afhankelijk van het gemeten ruimtedauwpunt;
- centrale temperatuurverhoging van het koelwater afhankelijk van het gemeten dauwpunt van de buitenlucht en de vochtlast in het gebouw.

Luchtkoeling:

Naast koelen met de grond met behulp van stralingspanelen, is er een inschatting gemaakt van de effectiviteit van een koelsysteem waarbij buitenlucht door kanalen in de grond wordt gekoeld en vervolgens direct in de woning wordt ingeblazen. Het komt er op neer dat de ventilatielucht enkele graden wordt verlaagd.

De mate van afkoeling van de buitenlucht in de kanalen is berekend aan de hand van een parametrisch model. De methodiek is opgesteld aan de hand van een grote hoeveelheid metingen, waarna met behulp van regressie uit de meetdata een vereenvoudigd model is afgeleid. Uiteindelijk bleken 4 parameters de koelcapaciteit voornamelijk te beïnvloeden:

- de pijp lengte
- de pijp diameter
- de lichtsnelheid in de pijp
- de diepte van de pijp in de grond

Voor een beschrijving van het gebruikte model wordt verwezen naar [17]. Met dit model kan aan de hand van bovengenoemde parameters, de buitenluchttemperatuur (T_{in}) en de grondtemperatuur (T_{omg}), ter plaatsen van de buisdiepte, de uitgaande luchttemperatuur aan het einde van de buis (T_{uit}) worden bepaald.

Voorbeeldwoning temperatuur verlaging ventilatielucht:

Uitgangspunten:

- Buisdiepte = 1,5 m
- $T_{grond, 3m} = 14 \text{ °C}$ (zie bijlage B)
- Buisdiameter $d = 300 \text{ mm}$
- Lichtsnelheid in de buis = 4 m/s
- Buislengte = 30 m

Bovenstaande buisdiameter en lichtsnelheid resulteren in een 3-voudige ventilatie in de woning indien er geen additionele ventilatie met verse buitenlucht plaatsvindt. De mate van afkoeling van deze lucht via kanalen op 1,5 m diepte in de grond wordt als volgt ingeschat:

Tabel 4.3: Tuit na grondkoeling als functie van de T_{in} , buisdiepte 1,5 m

T_{in}	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Tout	18.3	19.0	19.8	20.5	21.2	21.9	22.6	23.4	24.1	24.8	25.5	26.2
dT	1.7	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8

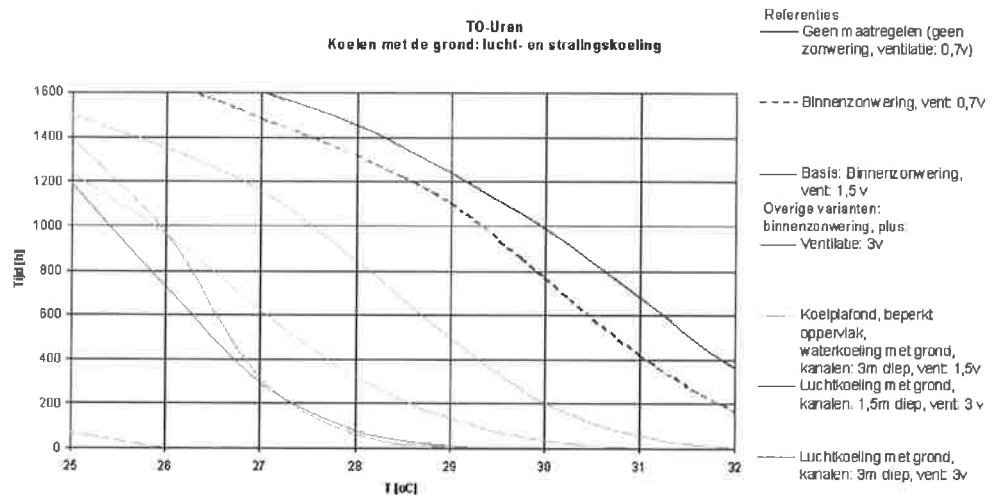
De capaciteit van de grondkoeling kan bijvoorbeeld worden vergroot door de buizen dieper in de grond te leggen. In **Tabel 4.4** is het effect van de grondkoeling op de inblaasluchttemperatuur gegeven voor dezelfde situatie als in **tabel 4.3**, maar nu voor een buis op 3 m diepte.

Tabel 4.4: Tuit na grondkoeling als functie van de T_{in} , buisdiepte 3m

T_{in}	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Tout	14.8	15.2	15.5	15.9	16.2	16.6	16.9	17.3	17.6	18.0	18.3	18.7
dT	5.2	5.9	6.5	7.2	7.8	8.5	9.1	9.8	10.4	11.1	11.7	12.4

De effectiviteit van deze vorm van koelen is gegeven in onderstaande grafiek voor beide hierboven aangegeven dieptes van de buizen in de grond. Er is hierbij uitgegaan dat er niet met een lagere temperatuur dan 18°C wordt ingeblazen. Er zal een regeling noodzakelijk zijn die regelt dat de inblaastemperatuur niet te laag wordt.

Los van de extra verlaging van de inblaastemperatuur zal er voor moeten worden gezorgd dat het ventilatievoud wordt verlaagd als de buitenluchttemperatuur te laag wordt omdat er anders een gevaar van onderkoeling ontstaat met discomfort als gevolg.



Figuur 4.20: Temperatuuroverschrijdingsuren als functie van de comforttemperatuur van de variant met luchtkoeling met de grond met kanalen op 1,5 m en 3 m diepte enter vergelijking de variant met 3 voudige ventilatiezonder voorkoeling van de lucht via de grond en de variant met waterkoeling met een koelplafond.

Een groot deel van de effectiviteit is te danken aan het feit dat er altijd overdag wordt geventileerd met 3-voudige ventilatie, ook als de bewoners niet thuis zijn. Uit de grafiek blijkt dat het extra effect van verkoelen van de ventilatielucht bij het gekozen inblaasdebiet van 3 h^{-1} niet zo heel groot is als de buizen 1,5 m diep in de grond liggen, maar zeer groot wordt bij diepere ligging van de buizen (3 m).

In Duitsland loopt een reeks projecten (kantoren) waar luchtkoeling via buizen door de grond als topkoeling wordt gebruikt. Ook in de winter kan dit systeem nuttig gebruikt worden om buitenlucht voor te verwarmen (voorkomt bevriezen van de HR-WTW unit). Er zijn geen resultaten van deze projecten bekend. [21]

4.4 Passief koelen en de EPN

Het gebruik van passieve koeltechnieken wordt in de regelgeving nergens gestimuleerd. Het gebruik van overstekken wordt in de daglichtnorm zelfs bestraft, evenals het gebruik van overstekken of HR6634-beglazing in de *EPN*.

Bij steeds scherpere *EPC*'s neemt de kans op temperatuuroverschrijdingen in de zomer toe, evenals het risico van steeds verdere penetratie van koeling die door de bewoners achteraf wordt aangebracht. Het opnemen van energiegebruikberekening voor koeling in de *EPN*, ook indien in de bouwvergunningaanvraag geen koeling is opgenomen, zou het gebruik van passieve koeling kunnen stimuleren. Dit kan bijvoorbeeld door de omzetting naar energiegebruik te berekenen met een forfaitair laag rendement voor een denkbeeldige koelinstallatie. Er moet in dat geval wel voor worden gewaakt dat de constructie het gebruik van koelinstallaties met een hoog rendement niet stimuleert boven passieve koeltechnieken.

5 Conclusies

Veel van de in hoofdstuk 4 genoemde passieve koelsystemen hebben een redelijke of een goede effectiviteit.

Als je een ruimte wilt koelen die gedurende de dag is opgewarmd heb je een groot koelvermogen nodig. Aangezien de koelcapaciteit van passieve koelsystemen vaak beperkt is, zal passief koelen snel niet meer toereikend zijn. Het is effectiever de oorzaak weg te nemen of(/en) zo vroeg met passief koelen te starten, zodat het gebouw niet de kans krijgt om op te warmen. Dit geldt overigens algemeen en niet uitsluitend in combinatie met passieve koeltechnieken.

Als in een warme periode het 'wegkoelen' van de warmte van korte duur is, dan is de ruimte gedurende de koeltermijn wellicht comfortabel, maar zodra het koelen stopt warmt het vertrek weer op omdat de warmte nog niet uit de constructie is verdwenen. Ook dit is een reden om op tijd met koelen te beginnen, dan wel warmte winst te voorkomen.

In een gematigde zomer is koelen aan het eind van de dag genoeg om ruimte inclusief constructie af te koelen. Dit werkt niet in warme weken.

Conclusies in het kort:

(In bijlage G is een overzichtstabel gegeven, waarin alle beschouwde technieken nogmaals kort staan samengevat.)

Minimaliseren van de koelbehoefte:

- **Gebouw: Oriëntatie en raamgrootte:** Veel glas op het zuiden geeft uiteraard een grotere koelbehoefte in de zomer dan veel glas op het noorden. Hier tegenover staat echter ook een lagere warmtebehoefte in de winter. Hetzelfde geldt eveneens voor kleinere glasoppervlakten
- **Ramen: zonwering en glastypen:** Buitenzonwering is effectief, maar alleen als het ook overdag wordt toegepast: de buitenzonwering moet zodanig zijn dat het ook bij de afwezigheid van personen in de woning functioneert,
 - dan wel door een regeling gekoppeld bijvoorbeeld aan een windmeter
 - dan wel omdat het altijd (of seizoensgebonden) aanwezig is in de vorm van bijvoorbeeld een overstek of de eigenschappen van de beglazing. Nadeel van maatregelen die altijd aanwezig zijn is de geringere opbrengst van passieve zonne-energie in de winter. Het gebruik van overstekken of HR6634-beglazing wordt in de *EPN* bestraft. Het opnemen van energiegebruikberekening voor koeling in de *EPN*, ook indien in de bouwvergunningaanvraag geen koeling is opgenomen, zou het gebruik van passieve koeling kunnen stimuleren.
 - Aspecten als wind- en regenbelasting is een aandachtspunt.
- **Gebouwschil: kleur en isolatie:** Het effect van een witte gevel op de koelbehoefte is bij onze bouwwijze niet groot. De oppervlaktetemperatuur wordt weliswaar flink gereduceerd, echter door de goede isolatie van de gevel wordt zonder witte gevel slechts een klein deel van deze warmte door transmissie de woning in getransporteerd.
- **Bepanting rondom de woning:** De beschaduwing van de gevel en afkoeling van de ventilatielucht (extra door verdamping) hebben een matig positief effect op de koelbehoefte in de woning. Zodra de bepanting ook (delen van) ramen beschaduwde kan het effect redelijk tot flink worden, afhankelijk van de mate van beschaduwing.

Koude reguleren en afvoeren:

- Koude reguleren: Zowel zware isolatiematerialen als fase overgangsmaterialen kunnen worden toegepast in combinatie met een lichte bouwwijze. In beide gevallen draagt de techniek significant bij tot verbetering van het binnencomfort.
- Koelen m.b.v. de lucht: Ventilatie overdag is een effectieve maatregel, mits het ook functioneert als de bewoners niet thuis zijn. Ventilatievoorzieningen dienen dusdanig te zijn dat ze:
 - Inbraakveilig en regendicht zijn, zodat ze open kunnen staan bij afwezigheid van de bewoners, terwijl ze toch een flink debiet hebben.
 - Beveiligd zijn tegen (= sluiten bij) te hoge windbelasting
 - Nachtventilatie is zelfs zeer effectief, maar
 - De ventilatievoorzieningen voor nachtventilatie dienen een flink debiet te hebben, terwijl ze toch inbraakveilig en regendicht moeten zijn.
 - De woning moet massa hebben anders is nachtventilatie minder of niet effectief.
 - Aan de toepassing van sterke nachtventilatie in slaapkamers wordt getwijfeld. De luchttemperaturen zijn 's nachts dusdanig laag en de debieten dusdanig hoog dat de kans op tocht groot is.
 - Het effect van directe verdampingskoeling is afhankelijk van de relatieve vochtigheid. Bij lage RV is het effect redelijk, echter doordat de RV toeneemt door de verdamping, neemt de comforttemperatuur waarbij men zich behaaglijk voelt af. Hierdoor is er meer koeling nodig dan bij andere technieken.
- Koelen m.b.v. de hemel: De extra effectiviteit van voorcoelen van de ventilatielucht bij nachtventilatie door stroming langs een paneel die koelt door straling naar de hemel is gering.
- Koeling m.b.v. de grond:
 - Het voorcoelen van ventilatielucht (dagventilatie) via de grond is redelijk effectief. De effectiviteit neemt flink toe bij toename van de diepte van de kanalen. Nadelen van het systeem zijn:
 - Kanalen in de grond zijn lastig te bereiken voor onderhoud. Hoe dieper de kanalen liggen, des te lastiger dit wordt.
 - Voor de luchttoevoer zijn ventilatiekanalen in de woning nodig.
 - Het systeem vraagt een investering.
 - Het koelen van water via de grond in combinatie met stralingspanelen is redelijk effectief.
 - De voorkeur gaat uit naar een combinatie met vloerkoeling of het gebruik van radiatoren als stralingspanelen, zodat aangehaakt kan worden bij het bestaande verwarmingssysteem. De investeringskosten nemen hiermee af en de acceptatie is naar verwachting groter. Hier kleven echter diverse haken en ogen aan die nader onderzoek vragen.
 - Condensatierisico is een punt van aandacht.

Het voordeel van buitenzonwering en ventilatie boven andere besproken technieken is dat het vrij simpele maatregelen zijn. De drempel voor toepassing zijn lager en de kans van slagen zijn hiermee groter.

Het voordeel van passieve koelconcepten is dat ze geen of nauwelijks energie gebruiken en doorgaans beperkt extra materiaalgebruik vergen (milieubelasting). Doordat de capaciteit doorgaans beperkt is geldt ook hier dat de effectiviteit wordt verhoogd als overdag reeds met koelen gestart wordt, dus ook als de bewoners niet thuis zijn. Hierdoor krijgt de binnentemperatuur niet de kans om op te lopen. Dit vereist een andere koelstrategie dan bij actief koelen tot nu gebruikelijk is. Voor het beperken van het energiegebruik bij actieve koelsystemen geldt echter hetzelfde principe: warmte die uit de woning wordt geweerd of voortijdig afgevoerd kan de constructie niet meer opwarmen en heeft niet meer te worden weg gekoeld.

6 Ondertekening

Delft, 8 augustus 2001
SNM088, NOV (slla)

Ing. G.A.H. van Amerongen
Hoofd Afdeling Duurzame Energie en Gebouwen



Ir. M.E. Spiekman
Auteur



7 Literatuur

- [1] Orshoven, D. van, et al (2000), 'Pleiade: warm in de winter, koel in de zomer', WTCB tijdschrift, lente 2000, pp. 3-13.
- [2] Shashua-Bar, I. and Hoffman, M.E. (2000), 'Vegetation as a climatic component in the design of an urban street', *Energy and Buildings*, Vol. 31, pp. 221-235.
- [3] Riain, C.Ni. (1999), 'Cooling Effectiveness of south façade passive stacks in a naturally ventilated office building', *Indoor+Built Environment*, Vol. 8, pp. 309-321.
- [4] Geros, V. et al, (1999), 'Experimental evaluation of night ventilation phenomena', *Energy and Buildings*, Vol 29, pp. 141-154.
- [5] Tassou, S.A. (1998), 'Low energy cooling technologies – a review', Seminar Publication IMechE Conference.
- [6] 'Field studies of thermal comfort and adaptation, a collection of papers from ASHRAE Winter Meeting in San Francisco, California, January 1998' (1998), ASHRAE Technical Data Bulletin, Volume 14, number 1.
- [7] Santamouris, M (1996), 'On the efficiency of night ventilation techniques for thermostatically controlled buildings', *Solar Energy*, Vol. 56, No. 6, pp. 479-483.
- [8] Santamouris, M and Asimakopoulos, D. (1996), 'Passive cooling of buildings', James&James, London. ISBN 1 873936 47 8.
- [9] Givoni, B. (1994), 'Passive and low energy cooling of buildings', Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York. ISBN 0-442-01076-1.
- [10] Tiwari, G.N. et al (1994), 'A comparison of passive cooling techniques', *Building and Environment*, Vol. 29, No. 1, pp. 21-31.
- [11] Antinucci, M, et al (1992), 'Passive and hybrid cooling of buildings – state of the art', *Int. J. Solar Energy*, Vol. 11, pp. 251-271.
- [12] Steemers, Th.C. (1991), 'The state of the art in passive cooling', *Int. J. Solar Energy*, Vol. 10, pp. 5-14.
- [13] Abrams, D.W. (1986), 'Low-energy cooling', Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York. ISBN 0-442-20951-7.
- [14] TNO TPD, intern rapport "Beschrijving subroutine PIJPV", datum onbekend.
- [15] Bruce, T, "Central solar heating plants with seasonal storage – basic design data for the heat distribution system". IEA Solar Heating and Cooling Programme, Task VII, Oktober 1982.

- [16] Westgeest, W.F., TNO TPD, “Resultaten van een rekenmodel van een kruipruimte”, april 1987.
- [17] Mihalakakou, G et al, “Parametric prediction of the buried pipes cooling potential for passive cooling applications”, *Solar Energy*, Vol 55, No. 3, pp 163-173, 1995.
- [18] IAE Annex X11, “Windows and Fenestration”, rapport 1986/1987.
- [19] Wind, H., “Coatings afgestemd op juiste golflengte”, *Bouwwereld* nr. 22, pp 54-56, 11 december 2000.
- [20] Productinformatie klimaatplafond: www.noltec.nl.
- [21] Besprekingsverslagen klankbordgroepbijeenkomst “Passieve koeling in de woningbouw”.
- [22] Oldengarm, J., Lopend project “De invloed van het toepassen van ‘zware’ isolatiematerialen op het binnenklimaat van woningen”, in uitvoering bij TNO Bouw in opdracht van Novem, afronding in 2001.
- [23] Smeding, S.F. en Bach, P.W., “Compacte thermische energieopslag bij kantoorgebouwen”, ECN juni 1997.
- [24] Isso publicatie 48, “Koelplafonds/klimaatplafonds”, 1998
- [25] Versluis, R., Dijk, H.A.L., TNO Bouw, “Bepaling PZE bijdrage aan de warmtebalans van een goed geïsoleerde woning”, TNO rapport 98-BBI-R1292 in opdracht van Novem, 30 november 1998

A Cumulatieve gegevens temperatuur TRY en 1995

Tabel A-1: Cumulatieve gegevens buitentemperatuur per uur van de dag

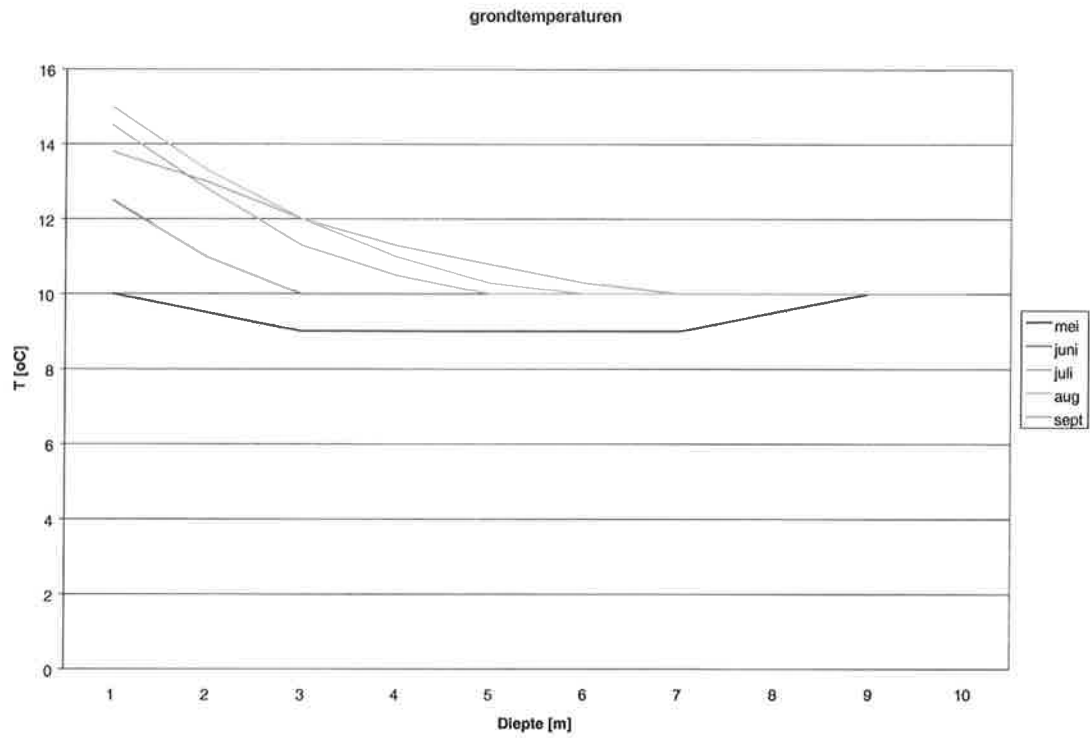
1995	>15	>16	>17	>18	>19	>20	>21	>22	>23	>24	>25	>26	>27	>28	>29	>30	>31	>32
1	65	52	37	26	18	13	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	61	46	32	25	17	6	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	55	38	29	19	12	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	51	35	24	17	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	44	33	22	11	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	42	29	19	8	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	51	33	21	11	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	62	49	33	18	12	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	78	65	56	35	25	15	11	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	104	85	68	57	48	35	26	18	10	6	2	0	0	0	0	0	0	0
11	122	104	86	70	61	51	39	29	24	15	11	8	2	0	0	0	0	0
12	137	120	104	83	71	63	53	39	31	26	17	15	11	5	3	0	0	0
13	140	130	120	98	84	69	60	51	41	31	24	18	15	9	7	5	0	0
14	150	139	124	103	89	82	67	54	47	36	28	25	19	15	9	7	3	0
15	152	139	124	107	96	78	70	57	46	41	31	24	22	15	12	6	4	0
16	152	140	126	111	93	77	67	60	46	41	37	27	21	17	12	8	4	1
17	144	133	120	106	89	73	66	56	47	43	37	29	23	20	12	8	4	0
18	140	124	113	99	83	70	67	56	45	41	32	27	21	18	10	6	4	0
19	128	115	101	86	74	68	59	52	46	34	25	21	18	14	7	5	1	0
20	122	105	86	78	70	60	52	45	31	25	19	17	12	6	5	1	0	0
21	103	90	76	68	56	45	39	28	23	16	12	7	3	1	0	0	0	0
22	88	74	62	53	43	35	23	20	13	7	4	2	1	0	0	0	0	0
23	76	67	54	44	32	24	17	10	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0
24	72	56	48	33	27	16	11	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
totaal	2339	2001	1685	1366	1115	898	737	586	461	365	280	220	168	120	77	46	20	1
dagen	161	150	139	118	107	89	75	67	55	46	38	30	25	21	13	10	7	1

TRY	>15	>16	>17	>18	>19	>20	>21	>22	>23	>24	>25	>26	>27	>28	>29	>30	>31	>32
1	40	21	11	5	4	4	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	30	15	5	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	28	10	6	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	24	9	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	19	8	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	16	5	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	21	8	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	33	17	10	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	57	34	20	13	8	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	92	65	42	24	14	11	8	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	111	91	63	44	26	19	14	9	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0
12	124	105	86	60	42	29	20	17	7	4	4	2	2	0	0	0	0	0
13	135	115	100	77	55	41	27	20	16	9	4	4	2	2	1	0	0	0
14	142	121	108	81	64	47	36	23	18	13	5	3	3	2	2	1	0	0
15	148	126	107	89	72	54	38	25	20	15	10	4	3	2	2	2	0	0
16	147	131	107	96	69	52	39	28	21	16	10	6	3	3	2	2	1	0
17	143	130	115	92	73	52	38	27	21	12	10	5	3	3	2	2	1	0
18	136	123	102	84	68	52	37	25	16	13	9	3	3	3	2	2	0	0
19	122	114	95	73	59	39	27	21	14	8	4	3	2	2	1	1	0	0
20	113	98	78	56	45	27	22	13	8	5	2	2	2	1	1	0	0	0
21	99	75	50	34	25	12	11	5	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0
22	75	52	34	23	13	8	4	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
23	61	36	21	12	7	3	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
24	50	28	15	8	3	3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
totaal	1966	1537	1191	887	656	460	328	222	154	103	64	35	24	18	13	10	2	0
dagen	164	144	126	109	91	67	46	30	25	17	13	6	3	3	2	2	1	0

In de tabel is tevens het aantal dagen weergegeven waarop de buitentemperatuur minimaal 1 uur boven een bepaalde waarde is gekomen.

B Grondtemperatuur

In onderstaande grafiek is de grondtemperatuur gegeven als functie van de diepte en de maand. De data voor deze grafiek is ontleend aan [3].



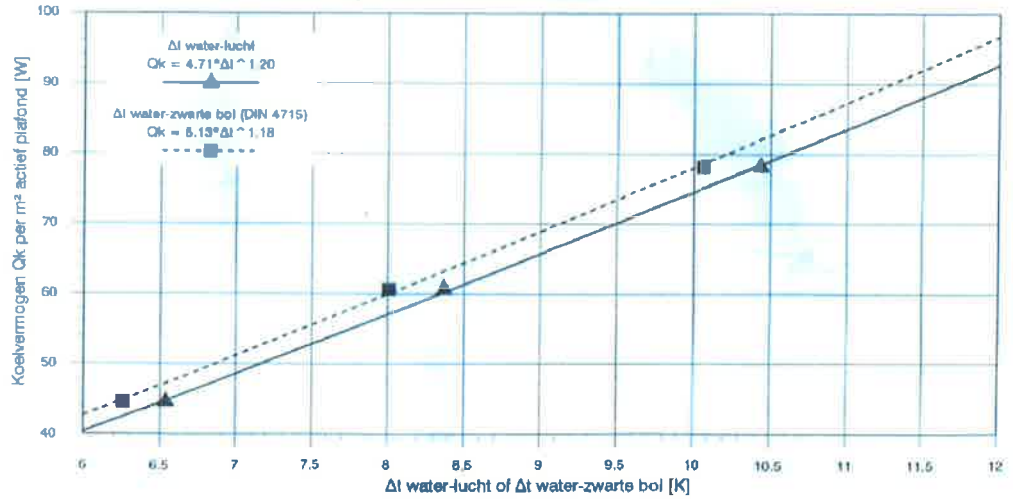
C Beschrijving Novem tuinkamerwoning

ALGEMENE UITGANGSPUNTEN	
Woningtype	Novem Tuinkamerwoning: Oppervlakte = 5,4 x 9,3
Referentiejaar	Zomerberekeningen: De Bilt 1995 Winterberekeningen: TRY de Bilt
Zone-indeling	Drie zones: 1: woonkamer benedenverdieping 2: slaapkamers 1e verdieping 3: zolder 2 ^o verdieping (schuin dak)
Oriëntatie	Noord-Zuid (ook Oost-West variant bekeken)
Beglazing	<ul style="list-style-type: none"> - Glaspercentage t.o.v. gevel: ca. 17% glas in noordgevel en 32% glas in zuidgevel (bij oost-west variant: noord = oost, zuid = west) - type: HR++ - ZTA = 60% zonder zonwering, 10% met buitenzonwering, 40% met binnenzonwering
Constructie	Zwaar, Rc = 3 m ² KW
Beschaduwing	Geen. Variant met overstek: lengte overstek = 1 m, breedte = woningbreedte, plaats: t.p.v. verdiepingsvloer 1 ^{ste} en 2 ^{de} verdieping.
Ventilatie	Basis ventilatie: 0,7-voudig, dag en nacht.
Interne warmtebronnen	Volgens tabel G2. NEN5128:1998

D Productinformatie koelplafond

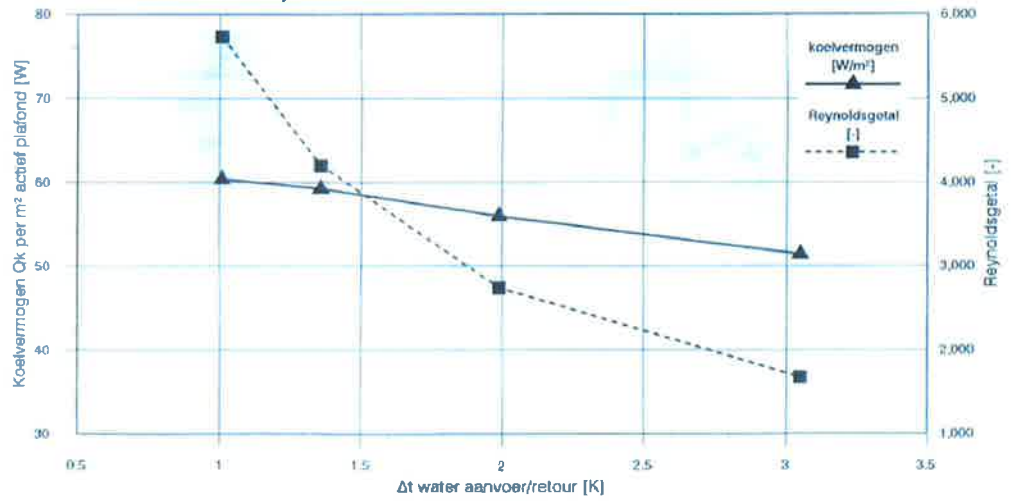
Klimaatplafond Noltec TO2

Koelvermogen Q_k in relatie tot Δt water/ruimte
 bij Δt water aanvoer/retour = 2 K



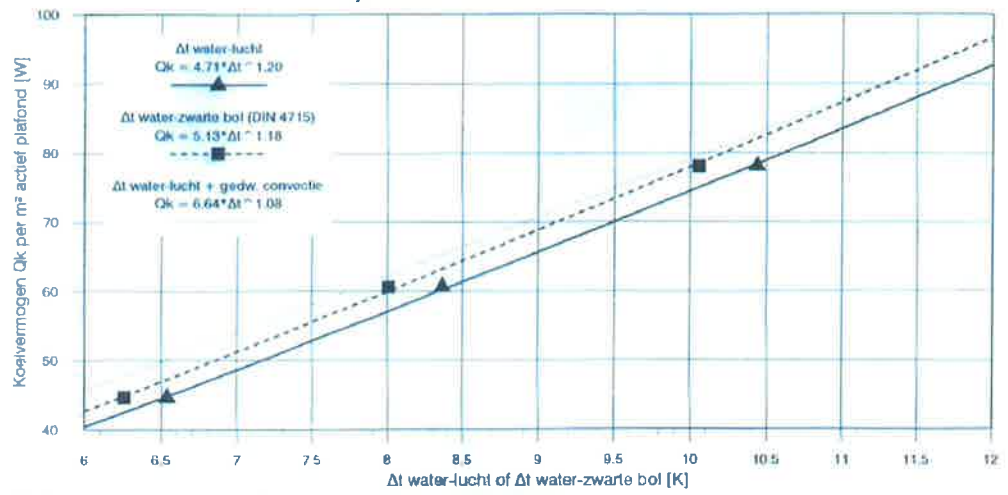
Klimaatplafond Noltec TO2

Koelvermogen Q_k in relatie tot Δt water
 bij Δt ruimtelucht / wateraanvoer = 24-15 = 9 K



Klimaatplafond Noltec TO2

Koelvermogen Q_k in relatie tot Δt water/ruimte
bij Δt water aanvoer/retour = 2 K



Met gedwongen convectie ($v = 0,1$ m/s; $\alpha = 6$ W/m²K)

[20]

E Samenstelling klankbordgroep

Gedurende de loop van dit project hebben twee klankbordbijeenkomsten plaatsgevonden. De klankbordgroep bestond uit de volgende personen:

dhr. E. Bax	Damen Consultants b.v.
dhr. J.J.M. van Bree	Wilma Vastgoed bv
dhr. L. Brouwer	Novem
dhr. P. Deenik	Natuvent
dhr. N. Dekker	Hunter Douglas Europe BV
dhr. H.A.L. van Dijk	TNO Bouw
dhr. P. Erdsieck	Mobius Consult b.v.
dhr. E. van den Ham	CDC
dhr. A. Meester	Alusta b.v.
dhr. D van Orshoven	WTCB
dhr. R. Ottens	Saint Gobain Glass Nederland

F Bepreklingsverslagen klankbordgroepbijeenkomst

BESPREKINGSVERSLAG

Onderwerp	:	1 ^{ste} Bijeenkomst klankbordgroep "Passieve Koeling in de Woningbouw"
Datum	:	donderdag 22 juni 2000
Auteur	:	M. Spiekman
Aanwezig	:	J. van Bree, L. Brouwer, P. Deenik, N. Dekker, D. van Dijk, J. Eijsackers, P. Erdtsieck, A. Meeser, D. van Orshoven, M. Spiekman
Afwezig	:	E. Bax, E. van den Ham, R. Ottens

1. Voorstelronde

Leo Brouwer opent de bijeenkomst en houdt een korte introductie over de NOVEM activiteiten op het gebied van passieve koeling en aanverwante terreinen. Vervolgens stelt iedereen zich kort voor.

2. Doel van de bijeenkomst

Het doel van de bijeenkomst wordt kort toegelicht (Spiekman):

- Het uitbreiden van de lijst met mogelijke passieve koelsystemen op basis van de (praktijk)ervaring van de leden van de klankbordgroep.
- Nagaan welke passieve koelconcepten interessant worden gevonden om in de volgende fase van het project op effectiviteit en praktische uitvoerbaarheid nader te bekijken en onderling te vergelijken.

3. Korte presentatie van de inventarisatie

Er volgt een korte presentatie door Marleen Spiekman van de inhoud van de concept rapportage ("Bevordering passieve koeling in woningen. Deel 1: Inventarisatie van technieken en ontwikkelingen" – Werkdocument d.d. 16 juni 2000) die iedereen van tevoren ontvangen heeft.

4. Discussie beschreven systemen en mogelijke aanvullingen

Naar aanleiding van de presentatie volgt een discussie. Hieronder volgt een puntsgewijze opsomming van de aandachtspunten en opmerkingen die zijn gemaakt:

- Gebalanceerde ventilatie werkt niet goed in de zomer situatie (Eijsackers):
 - De capaciteit is doorgaans laag
 - Er worden geen voorzieningen voor dwarsventilatie gemaakt
 - In combinatie met WTW: er is vaak geen bypass of deze wordt niet gebruikt
- Een manier om actief/passief koelen te definiëren is (v.Orshoven):
 - Actief: ergens in het systeem wordt warmte opgepompt van een lage naar een hoge temperatuur
 - Passief: warmteoverdracht gebeurt op een natuurlijke wijze van een hoge naar een lage temperatuur. Wel kan er sprake zijn van hulpenergie (pomp, ventilator) en/of een automatische regeling. Het totale energiegebruik blijft echter een orde van grootte kleiner dan in het geval van actieve koeling. Waar wat dit laatste betreft de grens ligt is gevoelsmatig.
- Verstandig is om gebruik te maken van bestaande systemen (Deenik). Bijvoorbeeld:
 - Dubbel gebruik van circulatiepomp CV en radiatoren (condensatieafvoer nodig)
 - Turbostand op de afzuigventilator: gelijkstroom ventilatoren zijn redelijk stil en gemakkelijk op te voeren (worden al gebruikt voor motorloze afzuigkappen). Wat betreft mogelijk geluidoverlast zijn inblaasventielen vaak het probleem. Capaciteit: Voor luchtkwaliteit is 75 m³/h voldoende, met turbostand is een debiet van 500 m³/h haalbaar (Meester).
- Systemen werken optimaler als ze functioneren zonder ingrijpen van de bewoners (Meester). Op het moment dat een bewoner ingrijpt is het doorgaans al te laat. Maar bewoners moeten wel de mogelijkheid hebben om te kunnen ingrijpen.
- Mogelijk wordt de EPN in de toekomst inclusief zomerkoeling: koelbehoefte van een woning wordt berekent en bestraft alsof een actief koelsysteem met een forfaitair rendement wordt geïnstalleerd, ook indien in werkelijkheid geen koeling wordt aangebracht (v. Dijk).

Pas op: Hiermee stimuleer je wellicht de invoer van koelvoorzieningen met een lage(re) COP in plaats van passieve koeltechnieken (v. Orshoven/Eijsackers).
Er zullen in ieder geval geschikte alternatieven voor handen moeten zijn.
- Woningen die worden gebouwd onder GIW-garantie (Garantie Instituut Woningbouw) moeten voldoen aan de zogenaamde ABC-lijst, waarin onder meer een maximum van 150 temperatuur overschrijdingsuren wordt geëist (Eijsackers). In het verleden is dit al eens aanleiding geweest om compressiekoeling te installeren, terwijl dit met buitenzonwering te voorkomen bleek.

De eis is overigens ooit bepaald voor kantoorgebouwen en staat voor woningen dus ter discussie.
- Een idee als alternatief voor het optimaal regelen van mogelijke passieve koelsystemen is de 'zomer- en winteruitrusting': Twee maal per jaar (in het voorjaar en in het najaar) worden een aantal maatregelen aan de woning getroffen, die een half jaar blijven zitten. In het voorjaar wordt bijvoorbeeld een vast overstek aangebracht boven de ramen om zontoetreding in de zomer te voorkomen. In het najaar wordt dit overstek verwijderd zodat het gebruik van passieve zonne-energie door de ramen in de winter mogelijk is (Erdsieck). De besparing is hierdoor niet optimaal en zal minder zijn dan de besparing

(op papier) bij een optimale regeling. Door adaptatie van de bewoners zal een optimale regeling in de praktijk echter ook minder scoren.

- Door granulaat uit sloop toe te passen kan de gebouwmassa worden vergroot (Eijsackers). De tendens is om binnenwanden licht uit te voeren. Door het aanbrengen van bijvoorbeeld houtenvloeren vermindert de warmtecapaciteit van de vloer aanzienlijk.

Voor slaapkamers is een lichte massa een voordeel, aangezien die sneller afkoelt (v. Bree). Vloeren en plafonds worden wel zwaar uitgevoerd. In combinatie met vloerverwarming: zowel warmte als koeling kunnen zich goed verspreiden in de woning.

- Wat is eigenlijk de oorzaak van de problemen in de zomersituatie (v. Orshoven)? Mogelijkheden:

- Doordat de nieuwbouwwoningen fysiek anders zijn dan jaren terug (luchtdichter, lichter?, HR-glas). Opmerking: uit een rekenstudie blijkt dat het geringere warmteverlies door HR+beglazing is makkelijk 'kort te sluiten' door wat extra ventilatie (v. Dijk).

- Door hogere comfortwensen (airco op het werk)

Vocht en schimmelklachten treden juist vaak op in nieuwere woningen (Eijsackers).

In bestaande wijken zijn de bomen volgroeid. Het effect van beplanting wordt groot geacht. In een stad is het een paar graden warmer dan buiten de stad.

Het is een goed idee om de binnentemperatuur in verschillende woningen van verschillende bouwjaarklassen te meten en vergelijken in de zomersituatie, dus een vergelijkbaar onderzoek als Damen Consultants nu uitvoert voor de wintersituatie (Brouwer).

- In België wordt momenteel op zeer assertieve wijze reclame gemaakt voor airconditioning (v. Orshoven).

5. Vaststellen voorkeur passieve koelconcepten voor uitwerking in volgende fasen:

Vervolgens werd de discussie gericht op de mening van de klankbordgroep met betrekking tot mogelijkheden en potentie van de verschillende systemen:

Koelen met lucht:

- Inbraakveilige (en regendichte) grote ventilatieopeningen bieden mogelijkheden (Erdsieck).

Deze zijn bij het NatVent project (EU) al toegepast (Deenik).

- Doordat de buitentemperatuur slechts een klein deel van het jaar hoger is dan de binnentemperatuur is koelen door ventilatie voor ons klimaat de meest logische optie. Overigens: De comforttemperatuur die comfortabel wordt geacht is afhankelijk van het klimaat: in Griekenland wordt een waarde van ca. 28°C aangehouden, in Nederland ca. 25°C en in Scandinavië ca. 22°C (v. Orshoven).

Koelen met behulp van de bodem:

- Wilma bekijkt momenteel de mogelijkheden van grondkoeling (v Bree).
- Een systeem met directe waterleidingen door de grond is niet commercieel voor handen, een systeem in combinatie met een warmtepomp en een warmtewisselaar wel.

- Er is al wat ervaring opgedaan met “energiepalen” (v. Orshoven). Deze ontwikkeling lijkt potentieel te hebben. Nadeel is dat er soms meer of langere palen moeten worden toegepast dan constructief noodzakelijk. Ook zijn de palen slecht bereikbaar voor mogelijk noodzakelijk onderhoud. Wat dit betreft is een netwerk van buizen in de tuin, minder diep onder de grond, een optie.
- In Duitsland loopt een reeks projecten (kantoren) waar luchtkoeling via buizen door de grond als topkoeling wordt gebruikt (v. Orshoven). Ook in de winter kan dit systeem nuttig gebruikt worden om de buitenlucht voor te verwarmen (voorkomt bevroren van de HR-WTW unit).

Verdampingskoeling:

- Het effect van schaduw en verdampingskoeling van beplanting wordt hoog geacht. Het comfort is dan echter afhankelijk van wat de bewoners met de tuin doen. Wellicht is er niet eens ruimte voor beplanting (deels ook stedenbouwkundig vraagstuk).

Stralingskoeling:

- De capaciteit van stralingskoeling wordt klein geacht.
- Uit onderzoek in zuidelijke landen blijkt dat bij een kleine helling al teveel straling van de grond wordt opgevangen (v. Orshoven).

6. Afspraken voor volgende bijeenkomst

De volgende (en tevens laatste) bijeenkomst is afgesproken op **woensdag 27 september 2000**, van **10:00 tot 13:00**, wederom bij **Novem** in Utrecht. Voor deze vergadering zal door TNO een concept rapportage met een meer gekwantificeerde uitwerking van een aantal passieve koelsystemen wordt rondgestuurd.

7. Afsluiting

De bijeenkomst wordt om ca. 13:00 gesloten. Iedereen wordt van harte bedankt voor het vrijmaken van zijn tijd en voor zijn inbreng in de discussie.

BESPREKINGSVERSLAG

Onderwerp	:	2 ^{ste} Bijeenkomst klankbordgroep "Passieve Koeling in de Woningbouw"
Datum	:	woensdag 27 september 2000
Auteur	:	M. Spiekman
Aanwezig	:	E. Bax, J. van Bree, L. Brouwer, P. Deenik, D. van Dijk, J. Eijsackers, P. Erdtsieck, A. Meeser, R. Ottens, D. van Orshoven, M. Spiekman, R. Traversari
Afwezig	:	N. Dekker, E. van den Ham

1. Ontvangst

Iedereen die de vorige keer niet aanwezig was wordt voorgesteld.

2. Presentatie werkdocument

Er volgt een korte presentatie door Marleen Spiekman van de inhoud van de concept rapportage ("Een eerste inschatting van de effectiviteit van passieve koelconcepten voor woningen". Werkdocument d.d. 25/09/2000) die iedereen van tevoren ontvangen heeft.

3. Discussie n.a.v. werkdocument

Naar aanleiding van de presentatie volgt een discussie. Hieronder volgt een puntsgewijze opsomming van de belangrijkste aandachtspunten en opmerkingen die zijn gemaakt:

Vergelijking van de technieken:

Ivm de presentatie van de effectiviteit wordt geopperd om een referentiesituatie te kiezen met een bepaalde basisventilatie en bijvoorbeeld binnenzonwering om de technieken mee te vergelijken. Presentatie in TO of GTO uren is wenselijk.

Opgemerkt wordt dat een indicatief rekenmodel aardig zou zijn, waarmee bijvoorbeeld zoninstraling en/of binnentemperatuur voor diverse technieken snel kan worden ingeschat.

Ventilatie met grote roosters:

Discussie over ventilatievoud dat haalbaar is met grote roosters: Er is gemeten aan open ramen: de ventilatievoud is al snel 20 voudig. Met kleppen wordt al 3 voudig gehaald.

Zonwering:

Buitenzonwering werkt goed, probleem is dat het Bouwbesluit dit afstraft middels de daglichteis (vraag: geldt dit ook voor beweegbare zonwering?).

Consumenten beseffen niet dat buitenzonwering de koelbehoefte fors reduceert. Het kopen van buitenzonwering kost daarnaast ook nog eens tijd, terwijl een airco op voorraad bij de Doe het zelf winkel te koop is.

Een aardig onderzoek blijft: wat is de motivatie van mensen om een airco aan te schaffen (relatie woning, auto, kantoor). Een alternatief voor zonwering kan zijn: glas met een lage ZTA en een hoge LTA.

Grondkoeling:

Hoe zit het met de uitputting van de grond? Grondwater levert maar een kleine bijdrage. De grondgeleiding is het meest bepalend. Vraag: zijn waterleidingen bruikbaar? Radiatoren worden doorgaans te groot ontworpen (op 'worst case' situatie), biedt perspectief voor koeling.

Voordeel van vloerkoeling: zon valt op vloer, dus directe buffering.

Comfort:

Interessant is om uit te zoeken wat het effect is van een paar graden daling van de binnentemperatuur op het comfort. Dit ook in relatie met beleving en acceptatie (maximale binnentemperatuur is gekoppeld aan de buitentemperatuur, lage temperatuur is minder prettig dan koude voeten in de zomer, gevoeligheid voor luchtbeweging).

Slimme regeling:

Voordeel van een slimme regeling (met individuele overrule) is dat het systeem robuuster is mbt bewonersgedrag.

Extra verdiepingshoogte:

Extra verdiepingshoogte is in het kader van passief koelen geen gek idee. De kosten zijn echter hoog. Ook is het energiegebruik in de winter hoger.

Praktijkonderzoek:

ECN doet momenteel praktijkonderzoek aan een aantal proefwoningen (Ecobuild) in Petten. Onderzoek duurt 4 jaar.

4. Discussie over uiteindelijke doel

Tot slot werd er kort gediscussieerd over de toekomst van passief koelen:

- Discussie: moet er ontworpen worden voor extreme situaties. Meninge verdeeld: Ja, om aanschaf koelers te onderscheppen. Nee, dat is niet rendabel.
- Het is nog te vroeg om bijvoorbeeld passieve koelsystemen te labelen.
- Passief koelen wordt gestimuleerd als er eisen in het bouwbesluit worden opgenomen, bv via de EPN.

5. Afsluiting

De bijeenkomst wordt om ca. 13:00 gesloten. Iedereen wordt van harte bedankt voor het vrijmaken van zijn tijd en voor zijn inbreng in de discussie.

G Overzichtstabel passieve koeltechnieken

	Techniek	Werkingsprincipe	Effectiviteit (Eerste inschetting)*		Status	Benodigde investering	Effect op benutting PZE in de winter hogere warmtebehoefte tov referentie	Specifiek goed te combineren met
			ΔTC25 [Uren]	ΔTC28 [Uren]				
1 Minimaliseren isolatiebehoefte								
a Gebouw: oriëntatie en raamgrootte	Oriëntatie	Veel glas op noord; minder zontoetreding	100	225	Toepasbaar	Geen speciale investering	20%	
	Glasoppervlakte	Verkleinen glasoppervlakte; verkleinen van de zontoetreding Voorbeeld: verkleinen glasoppervlakte met 35%	125	350	Toepasbaar	Geen speciale investering	7%	Grote ventilatieroosters
b Ramen: zonwering en glasypen	Buitenzonwering	Verkleinen van de zontoetreding Schakelcriterium: 300W/m ²	250	650	Toepasbaar	Buitenzonwering, evt sensoren etc	In geval van beweegbare zonwering: gering tot 25%	
		Schakelcriterium: 120W/m ²	600	840	Toepasbaar	Buitenzonwering, evt sensoren etc	In geval van beweegbare zonwering: gering tot 40%	
	Beglazing: hoge LTA, lage ZTA	Zoveel mogelijk lichtdoorlatend, zo min mogelijk warmtedoorlatend Voorbeeld: LTA = 66, ZTA = 34	250	450	Toepasbaar	Speciale beglazing	10%	
	Overstek	Verkleinen van de zontoetreding Overstek boven ramen bij noord-zuid georiënteerde woning	200	500	Toepasbaar	Aanbrengen overstek	11%	
		Overstek boven ramen bij oost-west georiënteerde woning	175	350	Toepasbaar	Aanbrengen overstek	7%	
c Gebouwschil: kleur en isolatie	Kleur gebouwschil	Gebouwschil wit; verkleinen van de zontoetreding door de dichte gevel	40	100	Toepasbaar	Gevel in licht kleuren uitvoeren	gering lager	
d Beplanting rondom de woning	Beplanting rondom de woning	Beplanting beschadwt de gevel (verkleining zontoetreding door de dichte gevel), door verdamping wordt eveneens de ventilatie en infiltratielucht gekoeld Idem, ook beschaduwng van de ramen; verkleinen zontoetreding	100 100 tot 600	250 250 tot 840	Toepasbaar Toepasbaar	Tuin- evt straatbeplanting Tuin- evt straatbeplanting	gering 0 tot 10%	
2 Koude reguleren en afvoeren								
a Koude reguleren	Zware isolatiematerialen (zoals cellulose plaatmateriaal en houtvezelisolatie)	Bufferende werking van het isolatiemateriaal. Alleen relevant bij geringe gebouwmassa.	zie [22]	zie [22]	Toepasbaar/ experimenteel	Ander type isolatiemateriaal toepassen		Gebouwen met een lichte gebouwmassa
	Fase overgangmateriaal	Buffering van warmte tijdens de faseovergang van het materiaal	20 mm gipsplaat met fase overgangmateriaal heeft een vergelijkbare buffer als 100 mm beton bij een temperatuurswijziging van het beton met ca. 2,5°C.	350	Experimenteel	Gebruik fase overgangmateriaal in gipsplaat	lager (in de winter kan het materiaal passieve zonne-energie opnemen)	Gebouwen met een zware gebouwmassa
b Koelen m.b.v. de lucht	Grote roosters in de gevel	Koelen met relatief koude buitenlucht door gebruik van grote roosters in de gevel	270	525	Toepasbaar/ experimenteel	Gebruik (vaste) grote roosters in de gevel; inbraakvrij, regendicht, dicht bij storm	-	
	Grote roosters in raamkozijnen	Idem, door plaatsing grote roosters in een raamkozijn. Hierdoor levens verkleining van de raamoppervlakte	400	600	Toepasbaar/ experimenteel	Gebruik (loose) grote roosters in raamkozijnen (inbraakvrij, regendicht, dicht bij storm)	-	Verkleinen van de raamoppervlakte
	Nachtventilatie	Verhoging van de warmtebuffer (gebouwsmassa) door deze 's nachts extra te koelen d.m.v. relatief koude ventilatielucht	800	800	Toepasbaar/ experimenteel	Toepassen zware gebouwsmassa, toepassen inbraakvrije ventilatievoorzieningen	-	Gebouwen met een zware gebouwsmassa. Toepassen in combinatie met inbraakvrije ventilatiemogelijkheden
	Koelen door verdamping	Door verdamping daalt de temperatuur en stijgt de RV. Let op: Door verhoging van de RV, daalt de comforttemperatuur waarbij men zich behaaglijk voelt. Bij de TC25 en TC28 uren hiernaast is nog geen rekening gehouden met dit aspect. De cijfers zijn hierdoor geflatteerd.	50 à 100	150 à 350	Experimenteel	Toepassen verdampingakoeler	-	
c Koelen m.b.v. de hemel	Nachtventilatie met stralingspanelen	Afkoeling nachtventilatielucht door inblaas langs stralingspaneel op dak, gekoeld door nachtelijke uitstraling naar de hemel.	1000 t.o.v. nachtvent: 200	200 t.o.v. nachtvent: 25	Experimenteel	Lichte straler op het dak. Ventilatie distributie de woning in.		Stralingspaneel in combinatie met nachtventilatie en zware gebouwsmassa
d Koeling m.b.v. de grond	Koelen van water in de grond, afgifte met stralingspanelen	Constante lage grondtemperatuur gebruikt om water te koelen. Afgifte met stralingspanelen	100	800	Experimenteel	Onder meer noodzakelijk: leidingenstelsel in de grond. LT-afgiftesysteem in de woning.		Combinatie met lage temperatuur stralingsafgiftesystemen (wand- en vloerverwarming, grote radiatoren)
	Koelen van lucht in de grond, direct ingeblazen in de woning	Constante lage grondtemperatuur gebruikt om lucht te koelen. Lucht wordt direct ingeblazen in de woning. De effectiviteit is afhankelijk van het ventilatievoud en de diepte van de kanalen in de grond.	100 à 300	750	Experimenteel	Onder meer noodzakelijk: luchtkanalen in de grond en in de woning		Combinatie met mechanische ventilatie

* ΔTC25 [Uren] = afname van het aantal uren dat in de woonkamer de comforttemperatuur hoger is dan 25°C t.o.v. de referentiesituatie (Basisvariant met binnenzonwering en 1,5voudige ventilatie. De referentie heeft een TC25 = 1500 uur)
 ΔTC28 [Uren] = idem voor temperaturen boven de 28°C (De referentie heeft een TC28 = 850 uur)