



# DUURZAME KOELING

WAAROM KOELEN ?



THOMAS  
**MORE**

 Buildwise

 University of Antwerp  
Faculty of Applied  
Engineering

[www.duurzamekoeling.be](http://www.duurzamekoeling.be)

# INHOUDSTAFEL

## 01

### KLIMAAT

Hitte eiland	1
Sterfte bij hitte	1

## ZOMERCOMFORT

Acclimatisatie	2
Comfortmodel van Fanger	2
Adaptieve comfortlimiet	3

## 02

## 03

### KOELBEHOEFTE OF WARMTELAST

Voelbare of latente warmte	4
Transmissie	4
Ventilatie en infiltratie	5
Interne warmtebronnen	5
Zoninstraling door ramen	5
Gebouwmassa en rekenmethodes	6
Gebruikersgedrag	6

## DUURZAME KOELING

Omgeving	7
Acclimatisatie	7
Passieve koeling	7
Vrije koeling	8
Actieve koeling	9
Hydronische koeling	9
COndenserende en niet-condenserende koeling	9
Hernieuwbare energie	10

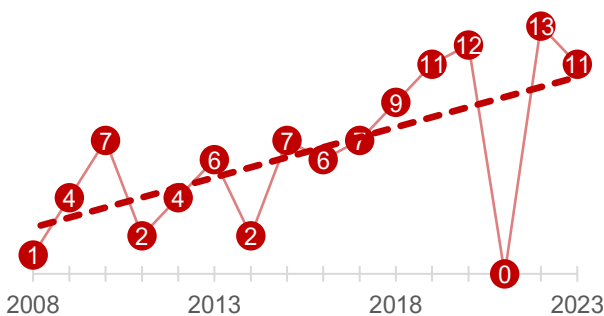
## 04

Deze fiche kwam tot stand in het kader van het Tetra project 'Koeling 2.0', met de steun van VLAIO. Vragen of opmerkingen: [kce@thomasmore.be](mailto:kce@thomasmore.be)

@2023

# 1 Klimaat

In de klimaatcrisis heeft de realiteit de modellen ingehaald, en dat is vooral merkbaar tijdens de zomers. Wat ooit als 'typisch zomerweer' werd beschouwd, is nu genadeloos heet geworden tijdens de jaarlijks wederkerende hittegolven. Het KMI-rapport van 2020 maakt duidelijk dat de gemiddelde jaarlijkse temperatuur in de loop der jaren is gestegen, evenals het aantal hittegolven. Zoals blijkt uit de groei van het aantal tropische dagen (met een dagtemperatuur boven de 30°C), stijgt daarbij ook sterk het aantal dagen waarop koeling in woningen waarschijnlijk noodzakelijk is. Bovendien voorspellen de projecties van het KMI dat het aantal hittegolven zeker niet zal afnemen. In het meest pessimistische scenario wordt daarentegen voorspeld dat tegen 2100 het aantal hittegolven zal verdrievoudigen, de intensiteit verdubbelen en de duur met 50% zal toenemen.



Figuur 1: Aantal tropische dagen per jaar in Ukkel, inclusief trendlijn (bron: VMM op basis van KMI)

Vanwege het veranderende klimaat en de verbeterde isolatie van gebouwen groeit de vraag naar energie voor koeling snel en komt deze dichterbij de buurt van die voor verwarming, wat een aanzienlijke impact heeft op onze energiebalans en het ontwerp van onze klimaatinstallaties. In de toekomst zal dit nog belangrijker worden.

## 1.1 Hitte-eiland

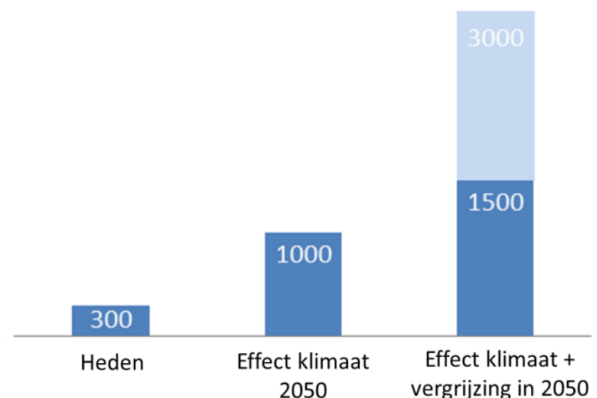
Onze steden zijn hoofdzakelijk opgebouwd uit steenachtige materialen die de warmte beter absorberen en vasthouden dan de omliggende natuur. De vorm van een stad en de veelal donkere afwerking (denk aan de verschillende bitumineuze afdichtingen) verhoogt de absorptie van zonne-energie nog. Daarnaast zorgt de verharding ervoor dat er minder verdamping van water uit de ondergrond kan plaatsvinden en tenslotte zijn er

natuurlijk ook de vele warmteverliezen van elektrische of thermische toestellen die de bewoners en/of de industrie gebruiken. Alles samen creëert dit een overtemperatuur ten opzichte van het omliggende land; het zogenaamde hitte-eilandeffect.

Een specifieke vorm van die warmtebronnen in de stad zijn HVAC-toestellen. Uit de statistieken blijkt dat het aantal koelinstallaties de afgelopen jaren sterk toegenomen is. Luchtgebaseerde koelsystemen (bv. airco's) voeren de overtollige warmte echter direct naar buiten af, wat ook effect heeft op de directe omgeving. In steden met een hoog aantal koelsystemen, is er dan ook vaak sprake van een extra plaatselijke temperatuurstijging. Een overstap naar groene energiebronnen, zoals zonne-energie met behulp van PV-panelen, of stockage van overtollige warmte in de ondergrond via geothermie, is een stap in de goede richting, maar op zichzelf niet voldoende. Het blijft van cruciaal belang om de principes van de Trias Energetica toe te passen en de energievraag, ook voor koeling, zoveel mogelijk te beperken.

## 1.2 Sterfte bij hitte

Door de toenemende temperatuur en de vergrijzende bevolking neemt het risico op overlijden als gevolg van hitte toe. In 2019 werd in een Nederlands onderzoek een prognose gemaakt van het aantal sterfgevallen als gevolg van hitte. Het is dus van belang om goed om te gaan met hitte, en één van de oplossingen hiervoor is het voorzien van een optimaal binnenklimaat in gebouwen.



Figuur 2: Verwachte aantal hiteslachtoffers bij ongewijzigd beleid in Nederland (bron: HKV)

## 2 Zomercomfort



Comfort tijdens de zomer is, net als in de winter, sterk afhankelijk van de omgevingstemperatuur. Veel mensen ervaren temperaturen boven 25°C als heet, maar er zijn nog andere factoren die een rol spelen tijdens de zomer. Droge lucht en extra luchtcirculatie (tocht) kunnen bijvoorbeeld een afkoelend effect hebben terwijl een hoge luchtvochtigheid voor een benauwd gevoel zorgt. Daarnaast speelt de individuele graad van activiteit (metabolisme) en kleding van de persoon een grote rol in comfortbeleving. Ten slotte zorgt straling van oppervlakten zoals vloeren, plafonds en wanden voor een andere ervaring. Hierdoor kunnen grote verschillen ontstaan tussen afgiftesystemen die een invloed kunnen hebben op luchtvochtigheid (bijv. condenserende systemen zoals lucht-lucht warmtepompen die de binnenlucht kunnen drogen) of oppervlaktetemperaturen (bijv. klimaatvloer, -wand of -plafond die veel warmtestraling kunnen capteren).

Om een goed zomercomfort in een woning te bekomen is het belangrijk om de wensen en gewoontes van de bewoners goed te begrijpen en op basis daarvan de juiste maatregelen te nemen.

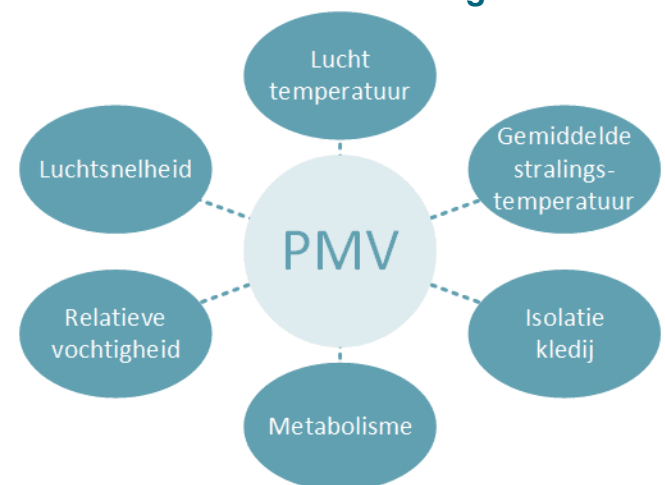
### 2.1 Acclimatisatie

In ons klimaat is niet iedereen al ingesteld op de hitte, waardoor de zon vaak nog hartelijk wordt verwelkomd in de woning. Door bijvoorbeeld de woonkamer, met vaak de grootste ramen, naar het zuiden te richten of ramen open te zetten op warme dagen, komt er heel wat extra warmte binnen. Verder zijn er voorlopig weinig aanpassingen in ons dagelijks leven, zoals het verplaatsen van werk- en eetmomenten naar koelere tijden en het aanpassen van onze kleding (voornamelijk in de werksituatie). Uit een Nederlands onderzoek tijdens de hittegolf van 2020 blijkt dat mensen die wel koelen, hun systemen gemiddeld instellen op 22-23°C. Dit creëert echter een situatie waarin men minder snel naar buiten gaat vanwege het grote temperatuurverschil, en men bijvoorbeeld eerder voor de auto kiest bij verplaatsingen.

Ons lichaam kan zich echter ook aanpassen aan de hitte als we dit toelaten. Dit betekent dat de binnentemperatuur kan stijgen in lijn met de buitentemperatuur, met een beperkt verschil van 6-8 graden. Fysiologisch onderzoek heeft aangetoond dat mensen onder bepaalde omstandigheden per dag tot wel één graad hogere temperaturen kunnen verdragen. Dit betekent dat je natuurlijke hittetolerantie vanzelf toeneemt en dat je meer comfort kunt ervaren tijdens warme periodes. Koeling kan dit proces echter belemmeren, waardoor het belangrijk is om koeling en ventilatie slim te laten samenwerken.

De mogelijkheid van een lichaam om zich aan te passen aan hitte geeft aan dat culturele verschillen en eigengemaakte gewoontes wel degelijk relevant zijn voor het omgaan met warmte. Bovendien is het belangrijk op te merken dat niet ieder lichaam dezelfde mogelijkheden heeft om zich aan te passen aan hitte, en dit vermogen kan afnemen naarmate mensen ouder worden.

### 2.2 Comfortmodel van Fanger



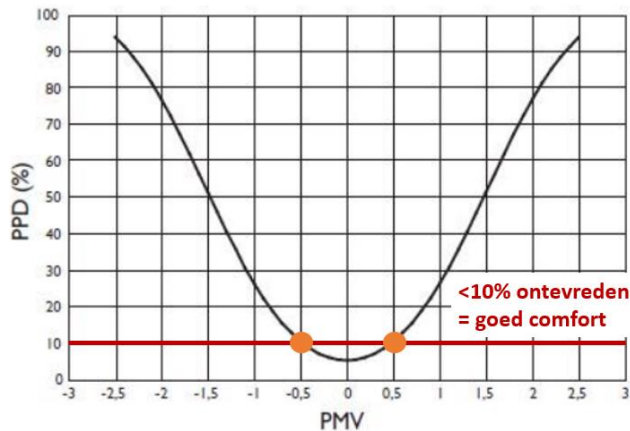
Figuur 3: Comfortcriteria volgens model van Fanger

Comfort in een ruimte wordt beoordeeld aan de hand van zes criteria. Omdat individuele factoren zoals metabolisme en kledingkeuze een rol spelen, kan iedereen comfort anders ervaren. De PMV (Predicted Mean Vote) en PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) indices zijn ontwikkeld om het comfortniveau voor groepen mensen te voorspellen op basis van deze criteria. PMV wordt gewoonlijk weergegeven op een schaal van -3 tot +3.

3	heel warm
2	warm
1	lichtjes warm
0	noch warm, noch koud
-1	lichtjes koud
-2	koud
-3	heel koud

Figuur 4: PMV-waarden

De PPD-index voorspelt dan weer het percentage personen dat ontevreden is over de temperatuur in een ruimte, omdat zij het te koud of te warm hebben. Zelfs bij een PMV van 0, wat als neutraal wordt beschouwd, blijft 5% van de aanwezige personen ontevreden. Het comfortniveau wordt meestal als goed gedefinieerd wanneer de PPD onder 10% ligt en dus 90% van de aanwezigen tevreden zijn. Dit komt overeen met een PMV waarde tussen -0.5 en 0.5. Voor een standaard situatie in de zomer, inclusief lichtere klederdracht (bv. korte broek), komen we uiteindelijk voor 'goed comfort' op een temperatuurband van de comforttemperatuur tussen 23°C en 26°C. Stel dat we ons iets meer bedekken en een lange broek aantrekken zal de comfortband zakken naar 22-25°C of nog een graad lager.

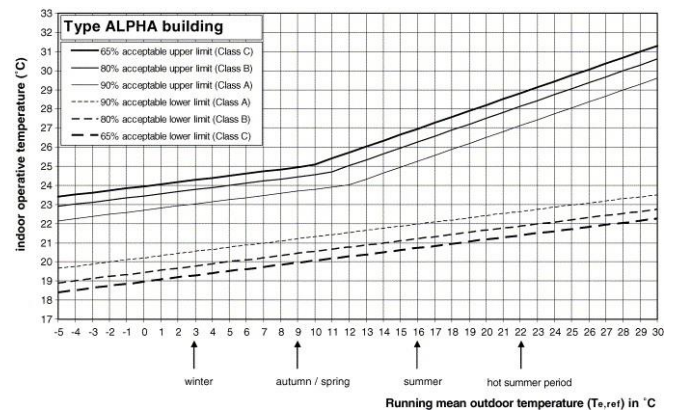


Figuur 5: PMV-PPD diagram

### 2.3 Adaptieve comfortlimiet

Het model van Fanger is niet specifiek ontworpen voor woningen. De perceptie kan anders zijn, wanneer men de mogelijkheid heeft om zelf invloed te hebben op het klimaat door bijvoorbeeld het openen van ramen. Voornamelijk bij hogere buitentemperaturen, en het hierboven uitgelegde mechanisme van acclimatisatie, kunnen de comfortgrenzen hoger liggen dan voorspeld door het model van Fanger. Om hier rekening mee te houden zijn er eerst voor Nederland adaptieve grenzen opgemaakt voor residentiële gebouwen (alpha gebouw, dit geldt in principe niet wanneer er

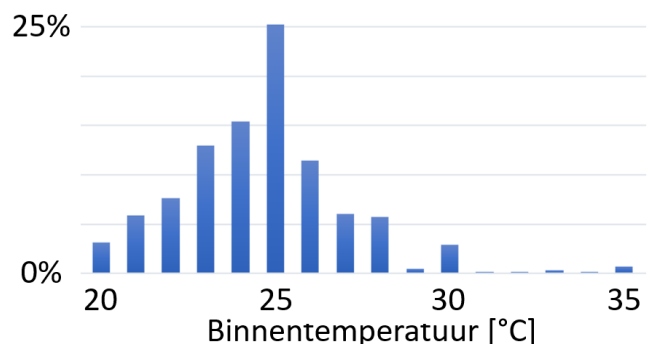
airco aanwezig is), zoals het hieronder getoonde adaptief model van Van der Linden.



Figuur 6: Adaptieve grenzen (bron: van der Linden et al.)

Ondertussen is de methodiek ook opgenomen in de Europese comfortnorm EN 16798-1. Hiervoor wordt gekeken naar de gemiddelde buitentemperatuur, waarbij minstens de laatste 4 dagen in rekening gebracht worden. Dit toont aan dat acclimatisatie wel degelijk invloed heeft op het comfort. Zeker voor slaapkamers kan het op vlak van gezondheid toch aan te raden zijn om een absolute temperatuurgrens op te leggen. Vanuit de CIBSE Guide A en TM59 wordt daarvoor 26°C naar voor geschoven.

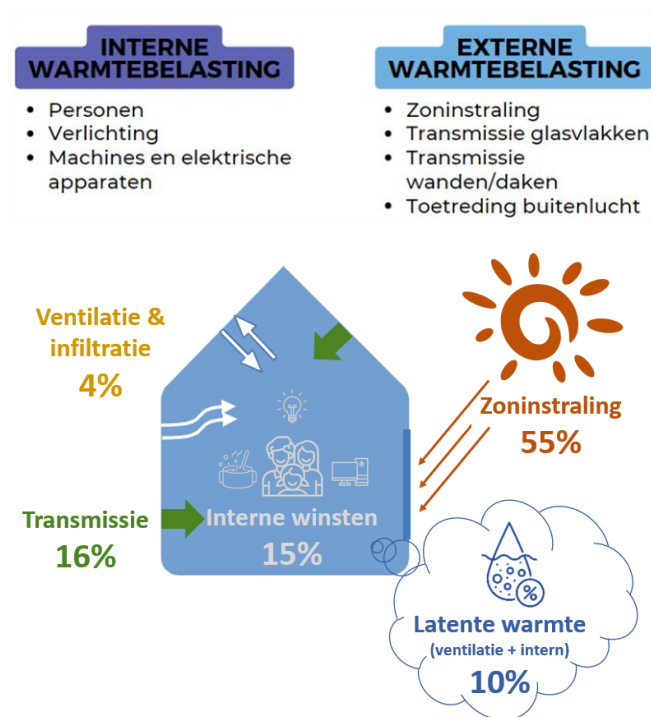
Er is wel nog steeds een groot verschil tussen de aangehaalde comfortgrenzen en de gewenste temperatuur die in de lage landen het vaakst ingesteld wordt wanneer er een koelsysteem aanwezig is (20-24°C) of de temperaturen waarbij mensen tijdens een ondervraging aangeven dat het te warm is. Dus in de praktijk is het vaak nodig om strenger te zijn dan de aangegeven comfortlimieten om vraag van de bewoners.



Figuur 7: Antwoorden op de vraag 'Bij welke binnentemperatuur vind je het te warm?' (bron: TNO)

### 3 Koelbehoefte of warmtelast



Door de veranderingen in het klimaat en onze manier van bouwen, stijgt de kans op oververhitting in woningen. Dit, in combinatie met de groeiende behoefte aan comfort, leidt tot een toenemende vraag naar koeling in huizen. Het inschatten van het vereiste koelvermogen is echter ingewikkelder dan voor verwarming, vanwege de grotere invloed van gebruikersgedrag, gebouwmassa en zonnestraling, die lastig te voorspellen zijn.



Figuur 8: Voorbeeld van het gewicht van verschillende warmtelasten voor een halfopen traditionele nieuwbouwwoning

#### 3.1 Voelbare en latente warmte

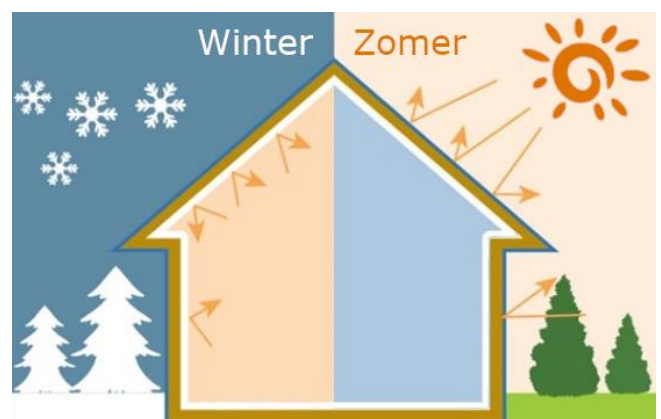
De warmtelast in een woning komt in twee vormen voor:

- Voelbare warmte is de warmte die binnenkomt en zorgt voor een temperatuurverschil in de lucht. Dit kan bijvoorbeeld ontstaan door zonnestraling of warmteoverdracht via wanden. 
- Latente warmte ontstaat bij de faseovergang van een stof, zoals de verdamping van water naar damp, waarbij er geen verandering is in de 

temperatuur van de lucht. Een goed voorbeeld hiervan is het koken van water, waarbij de temperatuur constant 100°C blijft, maar warmte toegevoegd wordt die zorgt voor de omzetting naar waterdamp. Latente warmte in gebouwen wordt beïnvloed door het toevoegen van waterdamp, zoals tijdens het koken of door zweten. Deze kan verwijderd worden door ventilatie of door condensvorming in de airconditioning.

#### 3.2 Transmissie

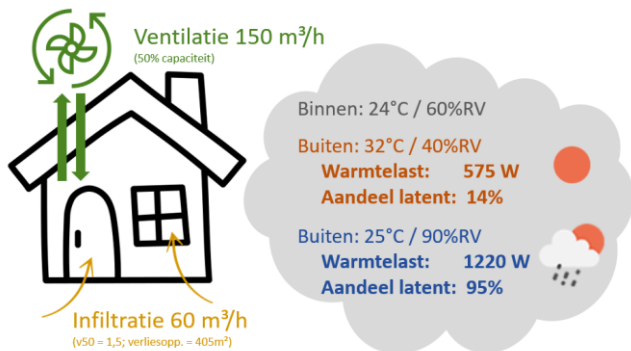
Een veelvoorkomend misverstand over zomercomfort is dat isolatie de oorzaak is van oververhitting. Net zoals bij verwarming beperkt isolatie de warmteverliezen via wanden en daken en houdt het de warmte buiten. Echter, als er geen aanvullende maatregelen worden genomen om de warmte die op andere manieren de woning binnenkomt af te voeren, kan zelfs een goed geïsoleerde woning opwarmen en deze warmte ook langer vasthouden. In de winter hangen warmteverliezen voornamelijk af van de buitentemperatuur, maar in de zomer heeft ook zonnestraling een aanzienlijke invloed. Tijdens de zomer is het bijvoorbeeld merkbaar dat gevelstenen veel warmte kunnen absorberen en deze warmte zelfs na zonsondergang kunnen afgeven. Bij het bepalen van de behoefte aan koeling is het daarom verstandig om methoden te gebruiken die rekening houden met deze factoren.



Figuur 9: Werking isolatie

### 3.3 Ventilatie en infiltratie

Wanneer de buitentemperatuur sterk stijgt, komt de warmte de woning binnen via ventilatie en infiltratie, via kieren, spleten en open ramen. Vanwege de verschillen in temperatuur en luchtvochtigheid binnen en buiten, bestaat deze warmte altijd uit zowel latente als voelbare warmte. Zo is het mogelijk dat op een minder warme, maar regenachtige, dag de warmtelast een stuk hoger ligt dan op een hete, droge zomerdag.



Figuur 10: Voorbeeld van voelbare en latente warmtelast voor een typische Belgische halfopen woning bij een zonnige en een warme, vochtige dag

Infiltratie kan enkel voorkomen worden door luchtdicht bouwen, en is moeilijker aan te pakken in bestaande woningen. Het infiltratiedebiet varieert afhankelijk van factoren zoals windsnelheid, windrichting en de oriëntatie van de woning en is dus geen constante.

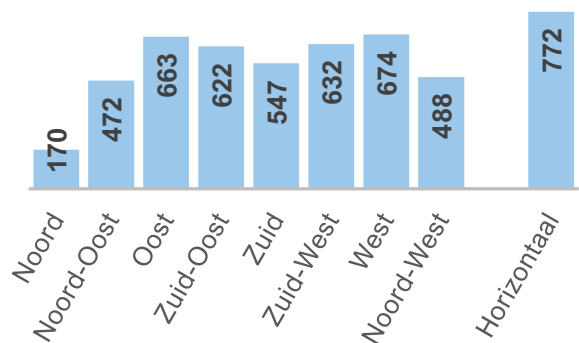
Door balansventilatie met warmteterugwinning toe te passen, kan de voelbare warmte door ventilatie sterk worden verminderd. In de winter wordt de warmte binnen gehouden, terwijl het systeem in de zomer ook kan worden gebruikt om de warmte buiten te houden. Mits een goede regeling in het toestel is ook nachtkoeling mogelijk, maar hierbij dient men ook rekening te houden met de luchtvochtigheid. Zo kan buitenlucht van 20°C met een luchtvochtigheid van 95% nog steeds zorgen voor een (latente) warmtelast. Er bestaan ook toestellen met een sorptiewiel zodat ook latente warmte kan teruggewonnen worden.

### 3.4 Interne warmtebronnen



Een vaak onzekere en onderschatte factor in de energiehuishouding van een gebouw zijn interne warmtelasten, afkomstig van personen, verlichting, apparaten en verwarmingsinstallaties. Het is essentieel om een goed inzicht te hebben in het gedrag van bewoners om deze lasten correct te kunnen inschatten. In kantoren kunnen lasten vaak worden bepaald op basis van werktijden, machinegebruik en het aantal computers, maar in woningen is dit veel complexer. Hier spelen het aantal bewoners en hun gedrag een rol, zoals activiteiten, vakantieperiodes, hobby's en kookgewoontes. Een voorbeeld van een verandering in moderne woningen is het gebruik van recirculatie dampkappen, waardoor warmte en waterdamp niet meer direct naar buiten wordt afgevoerd. Dit houdt zowel vocht als warmte binnen in de woning en kan invloed hebben op de keuze van het koelsysteem. Niet alle systemen zijn immers in staat om de latente warmte af te voeren.

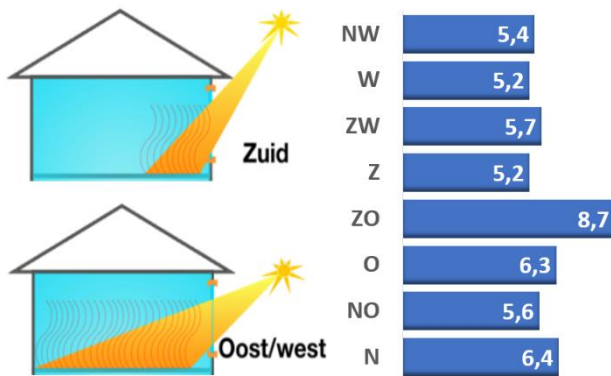
### 3.5 Zoninstraling door ramen



Figuur 11: Maximale warmtelast afhankelijk van de oriëntatie van ramen in W/m<sup>2</sup> (bron: ISSO kleintje koellast)

De belangrijkste oorzaak van oververhitting in gebouwen zijn de raampartijen, waardoor een aanzienlijke hoeveelheid warmte wordt binnengebracht door zonnestraling. Horizontale oppervlakken zoals lichtkoepels en dakvensters zijn bijzonder gevoelig, aangezien de zon 's middags bijna loodrecht op deze oppervlakken schijnt, met als gevolg dat meer dan 750 W per vierkante meter glasoppervlak kan worden binnengebracht in de woning. Bij verticale vensters is de oriëntatie van het glas cruciaal. In tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht, veroorzaken vooral oostelijke en westelijke oriëntaties de grootste warmtelast en niet de zuidzijde. Dit komt door de steile invalshoek van de zon 's middags wanneer deze hoog aan de

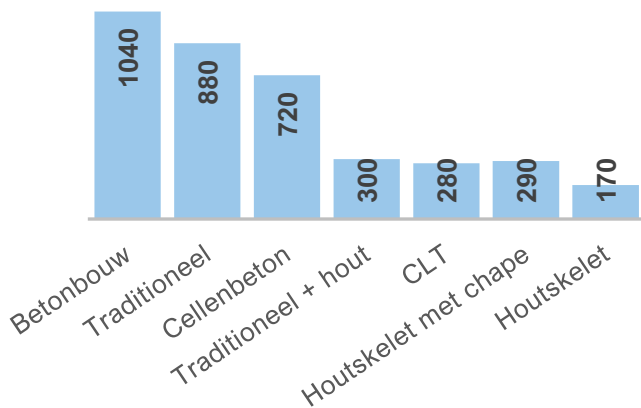
hemel staat, waardoor de zon minder diep in de woning kan doordringen.



Figuur 12: Verschillen in straling door ramen en gebruiksduur van het koelsysteem in relatie tot de oriëntatie van de voorgevel (bron: TNO)

### 3.6 Gebouwmassa en rekenmethodes

In de praktijk wordt het effect op het zomercomfort vertraagd door de thermische massa van het gebouw. Een zwaar gebouw, bijvoorbeeld opgetrokken uit beton of steen, zal trager opwarmen, maar het is ook moeilijker af te koelen. Terwijl dit bij een lichte constructie zoals een houtskelet woning een stuk sneller zal gaan.



Figuur 13: Voorbeeld van de gebouwmassa per m² vloeropp. voor verschillende types constructies voor een kleine slaapkamer (16m²) met beperkte ramen.

Er zijn hoofdzakelijk drie methoden om koellastberekeningen uit te voeren, en elk van deze methoden houdt op een andere manier rekening met de thermische massa van het gebouw:



- Eenvoudige rekenregels zoals vuistregels of berekeningsmethodes op basis van de maximale instraling per vierkante meter voor ramen. Deze

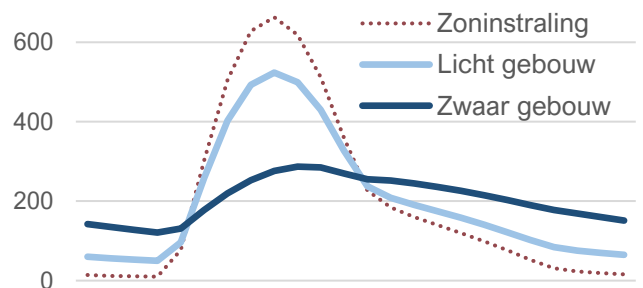
houden geen rekening met gebouwmassa of gelijktijdigheid en zijn dus vaak een overschatting.



- Stationaire berekeningen incl. accumulatie en beschaduwing. Beter zijn methodes waar vereenvoudigd wordt rekening gehouden met het gebouw en beschaduwing door middel van dempingsfactoren.



- Dynamische simulaties moduleren het gebouw in detail over een jaar en leveren de beste resultaten. Maar ze zijn vaak tijdrovend en uitgevoerd met specifieke software.



Figuur 14: Invloed van gebouwmassa op koellast in gebouw (bron: ISSO kleintje koellast)

### 3.7 Gebruikersgedrag

Gebruikersgedrag speelt een cruciale rol bij het bepalen van de koelbehoefte. Zoals eerder genoemd, kan zomercomfort sterk variëren van persoon tot persoon. Het is belangrijk om vermogens van de koelsystemen af te stemmen op de wensen van de bewoners en bij de selectie rekening houden met de gewenste temperaturen. De opgegeven condities van verschillende toestellen variëren in de praktijk echter vaak, waardoor het moeilijker is om systemen onderling te vergelijken.

Anderzijds hebben behalve de voorkeuren van bewoners, ook de handelingen een invloed op de warmtelast. Het openen van ramen kan een positieve invloed hebben, maar enkel wanneer dit correct gebeurt, dus niet op de warmste momenten van de dag, maar eerder 's nachts. En ook koken, hobby's en professionele activiteiten veranderen de koelbehoefte.

## 4 Duurzame koeling

Koelte en warmte zijn vaak met elkaar verbonden. Het is meestal voordeliger om zowel de warmtevraag als de koelbehoefte samen op te



lossen. Helaas gebeurt dit in de huidige praktijk zelden, waarbij zomercomfort vaak over het hoofd wordt gezien bij het ontwerpen van gebouwen en hun omgeving. De toenemende frequentie van hittedagen en veranderingen in bouwmethoden leiden steeds vaker tot comfortproblemen in zomer.

Na een hete zomer zie je steeds meer airco's verschijnen op daken, muren en in voortuinen. Een uitdaging bij dergelijke installaties is het beperken van de hoeveelheid koelmiddel, rekening houdend met milieu- en veiligheidsrisico's. Veel koelmiddelen zijn sterke broeikasgassen of licht ontvlambaar. Blind blijven voor de toenemende comfort-gedreven vraag naar koeling in gebouwen is dus niet duurzaam en kan leiden tot inefficiënte en milieubelastende koelsystemen. Systemen zoals bijvoorbeeld hydronische koeling, kunnen hier een oplossing bieden. Het is belangrijk om bewuster om te gaan met koeling en dit ook in het ontwerp van woningen mee te nemen. In Nederland wordt de "Ladder van Koeling" gebruikt om de behoefte aan koeling volgens de regels van de Trias Energetica in te vullen met zo weinig mogelijk verbruik aan energie.

#### 4.1 Omgeving

Om de warmte uit woningen te weren, begint de eerste stap in de omgeving. Schaduw van andere gebouwen of beplanting in de tuin zijn langetermijnprojecten, maar hebben een grote invloed op het binnenklimaat. In stedelijke omgeving moet ook rekening gehouden worden met een

eventueel 'Hitte-eilandeffect', waardoor de temperatuur plaatselijk nog verder stijgt.

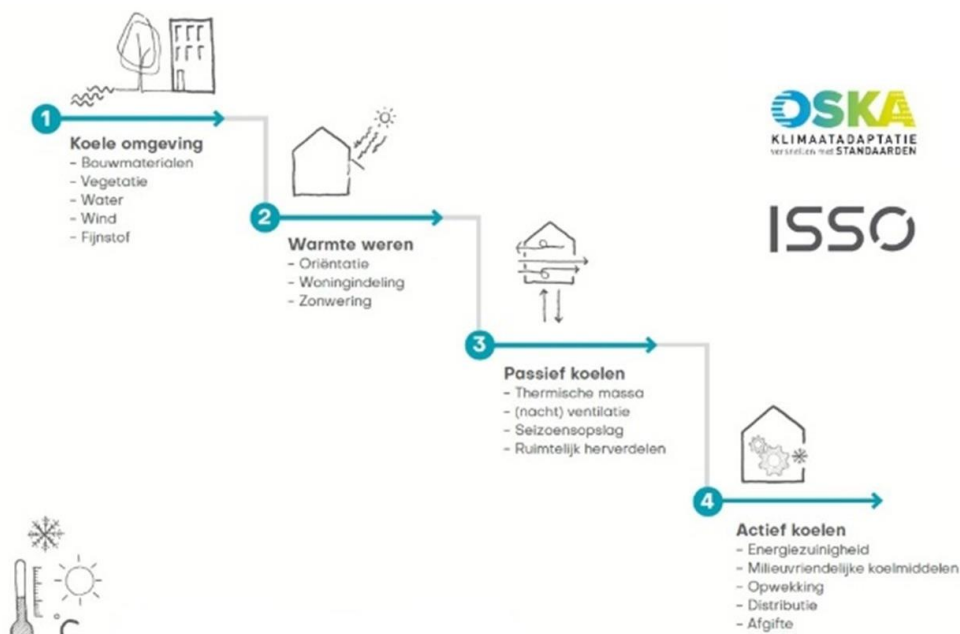
#### 4.2 Acclimatisatie

Dit betekent dat een koelsysteem energie kan besparen door de ingestelde doeltemperatuur geleidelijk te laten stijgen. Ook persoonlijke koelmethoden, zoals het gebruik van een ventilator of koeldekens, kunnen aanzienlijk bijdragen aan de plaatselijke comfortervaring. Door ons hiervan bewust te zijn, kunnen we de behoefte aan koeling verminderen zonder aanpassingen aan de woning of installatie.

#### 4.3 Passieve koeling

De term "passieve koeling" wordt vaak gebruikt voor systemen zoals vrije koeling via geothermie of koeling via een klimaatvloer (vloerverwarming). Volgens de Europese richtlijn verwijst passieve koeling echter naar het afvoeren van warmte of verminderen van de koelbehoefte door natuurlijke energiestromen, zoals geleiding, convectie, straling, ventilatie. En dit zonder het gebruik van een koelvloeistof zoals water, glycol of koudemiddel. Mogelijke oplossingen onder passieve koeling zijn:

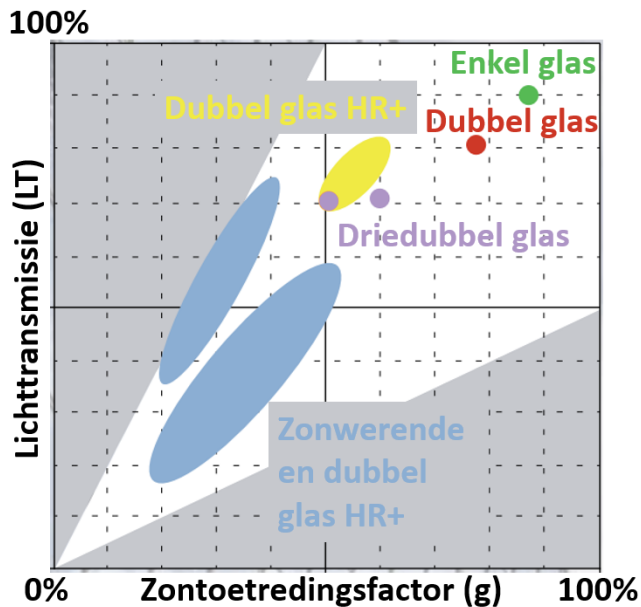
- Aanpassen van de oriëntatie van de woning, raampartijen zo gunstig mogelijk kiezen en wanneer nodig schaduw te creëren door het gebruik van een oversteek of zonwering.
- Gebruik van materialen in het gebouw om zoveel mogelijk warmte te weren. Denk daarbij



Figuur 15: Ladder van Koeling (bron: ISSO)

bijvoorbeeld aan een groen dak of groene gevel die een groot deel van de warmte absorberen.

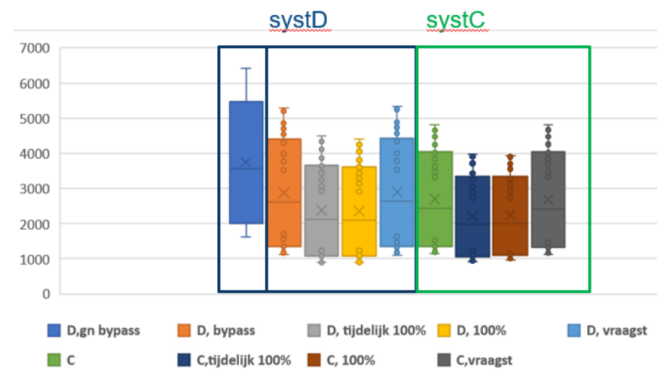
- **Gebruik van lichte kleuren** van gevels en daken, om zo weinig mogelijk zonne-energie te absorberen.
- **Zonwerende beglazing.** Er bestaan veel verschillende soorten beglazing. De invloed op de koellast kan variëren tussen 18-87% via de zontoetredingsfactor (hoe lager, hoe minder zon doorgelaten wordt).



Figuur 16: Invloed van glas op zontoetreding en lichtdoorlatendheid van ramen (bron: verbond van de glasindustrie).

- **Grote gebouwmassa** gebruiken om de warmtelast te spreiden over de dag. Dit heeft invloed op het maximum vermogen van het koelsysteem, maar een kleine impact op het jaarverbruik zonder extra maatregelen.
- **Nachtkoeling** door het openen van ramen op de juiste tijdstippen. Best opletten in dit geval met inbraak-veiligheid. De omgeving moet hiervoor ook geschikt zijn (nachtlawaai, luchtvervuiling, ...)
- **Intensieve nachtkoeling** door het voorzien van grote openingen voor het toepassen van nachtkoeling. Net als bij gewone nachtkoeling is de invloed van nachtkoeling beperkt op het piekvermogen van het koelsysteem, maar aanzienlijk op het jaarverbruik.
- **Mechanische ventilatie** door een verhoogd ventilatiedebiet en gebruik van een bypass in systemen met warmteterugwinning. Het effect

is eerder beperkt omdat bij hoge debieten geluidsoverlast kan ontstaan.



Figuur 17: Koelvraag bij verschillende ventilatiesystemen.

- **Adiabatische koeling van ventilatielucht.** Dit proces koelt de ventilatielucht door water te verdampen. Het is van belang dat de vochtige lucht niet in de woning terechtkomt en kan zorgen voor schimmel- of bacteriegroei. Net als bij mechanische ventilatie is het effect beperkt door akoestische overwegingen.

Bij het ontwerpen van een woning is het essentieel om deze technieken vanaf het begin te integreren. Ze kunnen namelijk aanzienlijk bijdragen aan het verminderen van de koelbehoefte en zelfs voldoende zijn om optimaal zomercomfort te bereiken.

#### 4.4 Vrije koeling

Vrije koeling, of "free cooling," omvat alle koelsystemen die gebruik maken van een natuurlijke koudebron en geen koelgenerator (meestal compressor) nodig hebben. Deze systemen omvatten:

- De meeste **geothermische** warmtepompen kunnen gebruik maken van vrije koeling (vaak wordt dit passieve koeling genoemd). Aangezien de bodem vanaf een bepaalde diepte gemiddeld circa 10°C is, kan deze bron rechtstreeks of via een warmtewisselaar gebruikt worden voor hoge temperatuur afgiftesystemen (±16-18°C). Het elektriciteitsverbruik komt dan enkel van de sturing en de circulatiepompen voor bron en afgifte. Het potentieel is hoog bij verticale boringen, maar deze kunnen tegen het einde van de zomer op hun limieten botsen indien er bij het ontwerp geen rekening gehouden werd met de koelbehoefte. Bij horizontale captatie-netten

zijn de mogelijkheden beperkt. Geothermie kan bovendien ook ingezet worden voor koeling zonder deze te koppelen aan een warmtepomp. Ten slotte bestaan ook geothermische systemen die toch gebruik maken van hun compressor en dus vallen onder actieve koeling.

- Een droge koeler of drycooler gebruikt een warmtewisselaar met ventilator om de koelvloeistof af te koelen. Dit werkt enkel wanneer de buitentemperatuur onder de gewenste koeltemperatuur ligt (tot 5°C verschil). Een adiabatische koeler gebruikt het principe van een droge koeler in combinatie met verdamping van water, waardoor er afhankelijk van de luchtvochtigheid extra kan gekoeld worden (tot 15°C verschil). Er zijn verschillende varianten van dit systeem tot en met een koeltoren toe, maar zijn meestal gericht op professionele toepassingen.

#### 4.5 Actieve koeling

Actieve koeling omvat alle koelsystemen die gebruikmaken van een koelcircuit. De meest voor de hand liggende systemen met actieve koeling zijn klassieke airconditioners of lucht-lucht warmtepompen. Lucht-water warmtepompen vallen ook onder deze categorie, evenals enkele water-water warmtepompen, zoals die in combinatie met bijvoorbeeld PVT (photovoltaïsche en thermische) panelen of die koeltechnisch of hydronisch kunnen omgekeerd worden.

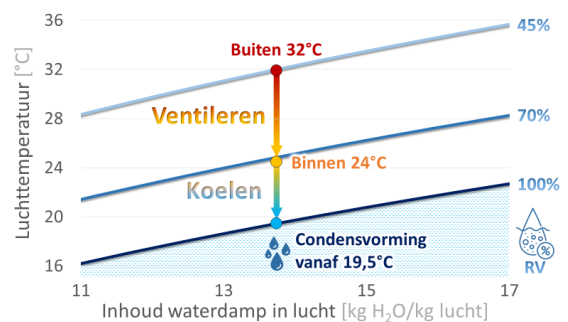
#### 4.6 Hydronische koeling

Om het risico op lekkage te beperken, is het soms verstandig om een centraal koelsysteem te gebruiken met een op water gebaseerd (hydronisch) distributiesysteem om verschillende locaties te bereiken. Dit kan zowel voor vrije koeling als bij actieve koelsystemen toegepast worden. Een hydronisch systeem wordt vaak al ingezet voor verwarming en kan zo een dubbele functie krijgen indien er bij het ontwerp rekening mee gehouden wordt. Waterleidingen kunnen gemakkelijker binnenshuis worden geïnstalleerd, met minder beperkingen dan koeltechnische leidingen op het gebied van veiligheid, milieu en leidingafstanden. Hierdoor kan het worden ingezet voor oppervlaktekoelsystemen met specifieke voordelen op het gebied van comfort en ruimtegebruik in een woning. Aandachtspunten zijn vorstschade in de winter (buitenleidingen beschermen) en

condensvorming op leidingen (vaak bij temperaturen <18°C). Voor hoge temperatuur koeling is dit laatste geen probleem, maar voor ijswatersystemen (vanaf 6°C) moet veel aandacht besteed worden aan correcte dampdichte isolatie.

#### 4.7 Condenserende en niet-condenserende koeling

Bij het vergelijken van koelsystemen is er een fundamenteel verschil in de omgang met vocht. In tegenstelling tot de winter, is in de zomer de luchtvochtigheid binnen hoog omdat de binnenkomende lucht afgekoeld wordt. Het belang van latente warmte is al benadrukt, maar dit heeft ook praktische gevolgen voor koelsystemen aangezien niet alle systemen geschikt zijn wanneer er condensvorming optreedt. Daarom wordt een onderscheid gemaakt tussen condenserende en niet-condenserende afgiftesystemen.



Figuur 18: Veranderen van luchtvochtigheid bij het afkoelen van lucht

Condenserende types (soms ook bekend als 'deep cooling' of ijswatersysteem) zijn te herkennen aan het feit dat ze condensatie opvangen en afvoeren in het apparaat en de regimetemperatuur kan zakken tot wel 6°C (ijswater). Dit is typisch voor lucht-lucht warmtepompen (koelmiddel en directe expansie) en de meeste ventilo-convectoren (ijswater). Zo kan de lucht gekoeld worden tot onder het dauwpunt (100% luchtvochtigheid) en heb je twee grote voordelen. De luchtvochtigheid naar beneden brengen in de ruimte zorgt voor een beter comfort en het afgifte-element kan vaak kleiner zijn door de lagere regimetemperaturen in het systeem. Er kan echter overal condens optreden en de volledige installatie moet dampdicht geïsoleerd zijn of voorzien van een condensafvoer, wat bij hydronische systemen een uitdaging kan zijn.





Figuur 19: voorbeeld van condenserende afgiftesystemen, dit kan zowel hydronische als voor dx systemen (airco)

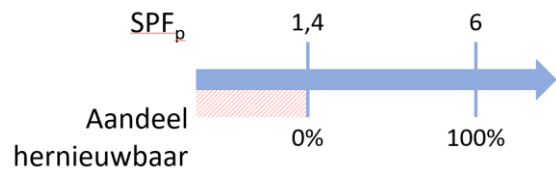
Niet-condenserende systemen (soms aangeduid als hoge temperatuur koeling of 'light cooling') hebben geen condensafvoer en moeten dus steeds boven het dauwpunt blijven, anders ontstaan er waterdruppels onder de convectoren of op de vloer. Dit betekent dat de aanvoertemperatuur beperkt is, vaak tot 18°C of hoger wanneer dauwpuntbewaking wordt toegepast. Oppervlakteverwarming en -koeling zijn steeds niet-condenserend, maar compenseren het kleinere vermogen door het gebruik van grote oppervlaktes en kunnen straling als extra troef gebruiken om het comfort te verbeteren. Voor ventilo-convectoren gaat het vaak over klassieke convectoren/radiatoren die worden



uitgerust met ventilators om meer vermogen te kunnen leveren. Uiteraard kunnen alle condenserende systemen ook niet-condenserend werken, al zal dit met een lager vermogen zijn.

#### 4.8 Hernieuwbare energie

Een nieuwe richtlijn van de Europese commissie bepaalt de berekeningsmethode voor het aandeel van hernieuwbare energie voor koeling. Passieve koeling wordt hier buiten beschouwing gelaten, maar zowel vrije- als actieve koeling komt in aanmerking. De hoeveelheid door het koelsysteem geleverde energie die als hernieuwbare wordt beschouwd wordt bepaald door de primair seizoensgebonden prestatiefactor ( $SPF_p$ ) van de installatie en neemt lineair toe tussen een  $SPF_p$  van 1.4 tot 6.



Figuur 20: Aandeel van de koelvoorziening dat als hernieuwbaar beschouwd wordt, afhankelijk van de  $SPF_p$  van de installatie.

## Bibliografie

CIBSE. (2017). *TM59 Design methodology for the assessment of overheating risk in homes*.

CIBSE. (2021). *Guide A Environmental design*.

(2021). *Gedelegeerde Verordening van de Commissie tot wijziging van bijlage VII bij Richtlijn (EU) 2018/2001 inzake een methode voor de berekening van de hoeveelheid hernieuwbare energie die wordt gebruikt voor koeling en stadskoeling*. Brussel: Europese commissie.

Huizinga, J., & Kolen, B. (2019). *Data analyse sterfte bij hitte*. HKV.

ISSO. (2018). *Kleintje koellast*.

KMI, Koninklijk Meteorologisch Instituut. (2020). *Klimaatrapport 2020*. Ukkel: Dr. D. Gellens.

Kuijjer, L. (2021). *Exploring probable futures of summer comfort in Dutch households: Phase 1: Anticipating the role of smart technologies in the dynamics of everyday life*. Eindhoven University of Technology.

OSKA. (2022). *werkgroep verkenning hitte in de buitenruimte*.

Rovers, V., Niessink, R., Loonen, P., van der Wal, A., & Matthijssen, E. (2021). *Energievraag van ruimteteoeling in woningen*. TNO.

Van der Linden, A., Boerstra A.C., Raue, A., Kurvers, S., & de Dear, R. (2006). *Adaptive temperature limits: A new guideline in The Netherlands: A new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate*. *Energy and Buildings*.

Wuyts, T., De Pauw, M., Van der Veken, J., & Janssen, G. (2021). *Indoor summer comfort: a study into the practical useability of sustainable cooling systems*. ECEEE 2021 SUMMER STUDY.