



Vergelijking van duurzame koelsystemen

Hoewel de koelbehoefte van een gebouw sterk gereduceerd kan worden door een aangepast ontwerp en de toepassing van passieve koelstrategieën, zal er in vele gevallen toch een koelsysteem nodig zijn om ook tijdens de steeds warmere zomers een goed thermisch comfort te kunnen garanderen. Deze koelsystemen vertonen echter grote verschillen qua koelvermogen, thermisch comfort, energieverbruik, kostprijs en milieu-impact. Het is dus belangrijk om de mogelijkheden en beperkingen ervan te kennen.

J. Van der Veken, ir., projectleider, laboratorium Verwarming en ventilatie, WTCB

Wat verstaan we onder 'duurzame koelsystemen'?

Aangezien duurzaamheid een breed begrip is, werd er binnen het CORNET-project **SCoolS** een vergelijking opgezet van verschillende koelsystemen. Hierbij werd er gefocust op koelsystemen die een zeer hoge energetische efficiëntie behalen en zo weinig mogelijk koelmiddelen bevatten. Indien er geen compressor, noch koelmiddelen aan te pas komen, wordt er ook wel gesproken over *free cooling*.

Er bestaan meerdere vormen van *free cooling*. Zo wordt er in kantoorgebouwen vaak geopteerd voor een systeem met warmtewisselaars op het dak, terwijl er in de woningbouw eerder gebruikgemaakt wordt van **free geocooling**. Deze laatste systemen bestaan uit een geothermische warmtepomp, een extra warmtewisselaar en een aangepast regelsysteem. Deze uitbreidingen zorgen ervoor dat de warmtepomp in de zomer niet hoeft te draaien en dat de in de winter in de geothermische bron opgeslagen koude via de warmtewisselaar overgedragen kan worden op het afgiftesysteem zonder tussenkomst van een actieve koelcomponent. De installatie moet in dit geval echter wel aan een aantal voorwaarden voldoen. Zo moet:

- **de geothermische bron correct gedimensioneerd worden.** Zeker een gesloten systeem moet in de winter genoeg afgekoeld worden door de warmtepomp om in de zomer voldoende koeling te kunnen leveren. De bodemtemperatuur moet immers ook op het einde van de zomer nog laag genoeg zijn (typisch 16 °C voor *free cooling*)
- **het afgiftesysteem ook bij hogere afgiftetemperaturen (doorgaans 16-18 °C) over genoeg koelvermogen beschikken** aangezien de geothermische bron en de warmtewisselaar op piekmomenten geen lagere temperaturen kunnen afleveren. Net zoals er bij verwarming best gestreefd wordt naar een warmteafgifte op lage temperatuur om het systeem optimaal te laten werken, is

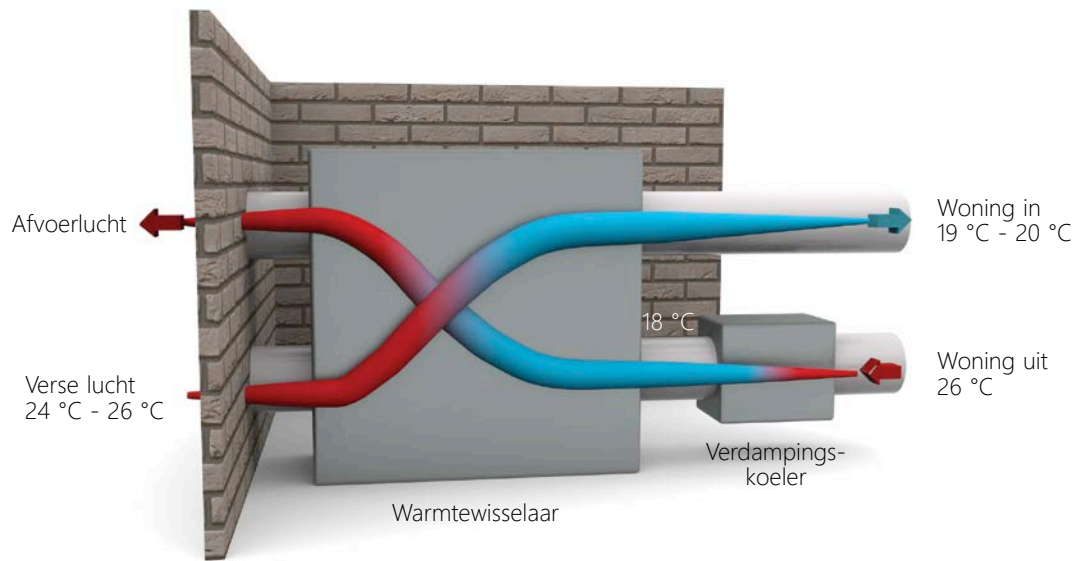
het bij koeling belangrijk om te streven naar een zo hoog mogelijke afgiftetemperatuur. Dit verlaagt bovendien het risico op condensvorming van vochtige binnenlucht op het koelende oppervlak. Daartegenover staat echter dat het niet mogelijk is om de lucht te ontvochtigen.

Bij de vergelijking van de koelsystemen werd er uitgegaan van een correcte dimensionering van de bron, maar werden er verschillende afgiftesystemen opgenomen, meer bepaald:

- een **'hybride' of 'gedynamiseerde' convector of radiator** die ook kan koelen (zie afbeelding 1). Gezien de lage temperatuurverschillen is het afgiftevermogen echter wel beperkt. Zo zal een hybride convector die in de winter 40 W/m² warmte afgeeft bij een aanvoertemperatuur van



1 | Hybride convector.



2 | Principe van indirecte verdampingskoeling.

40 °C, in de zomer ongeveer 15 W/m² kunnen afgeven bij 16 °C. Aangezien deze systemen evenwel niet voorzien zijn op het opvangen en afvoeren van condenswater, moet er een bijkomend regelsysteem geïmplementeerd worden dat de temperatuur van de warmtewisselaar boven het dauwpunt van de binnenlucht moet houden. Hierdoor kan het afgiftevermogen echter wel nog verder verlagen

- **twee vloerkoelingsystemen:** een klassiek systeem met leidingen in de dekvloer en een systeem met een 'droge' opbouw, waarbij de maximale koelafgifte tussen 30 à 40 W/m² varieert bij een aanvoertemperatuur van 16 °C. Om condensvorming op de vloer te vermijden, moet er ook hier in een regelsysteem voorzien worden dat de aanvoertemperatuur doet toenemen wanneer de relatieve vochtigheid aan het oppervlak te hoog dreigt op te lopen
- **een koelbatterij in de aanvoer van een balansventilatiesysteem.** Deze kan gekoppeld worden aan een duurzame bron op hogere temperatuur, zoals een geothermische lus op 16 °C. Dit leidt echter wel tot een beperkt koelvermogen (typisch 0,6 kW bij een debiet van 300 m³/h).

Bij de vergelijking werd ook de **verdampingskoeling** in aanmerking genomen. Dit proces bestaat erin dat er bij de verdamping van water warmte onttrokken wordt aan de omringende lucht. Hoewel dit principe rechtstreeks toegepast zou kunnen worden door de binnenomgeving te bevochtigen, leidt dit tot hogere relatieve vochtigheden en kan het ook microbiologische problemen veroorzaken. Daarom werden in deze studie enkel indirecte systemen onderzocht (zie afbeelding 2). Hierbij wordt de extractielucht in de koeler afgekoeld (bv. van 26 °C naar 18 °C). Vervolgens passeert deze lucht doorheen de warmtewisselaar van het ventilatiesysteem waar hij de warmte van de verse aanvoerlucht kan opnemen. Hierdoor zal deze laatste afkoelen (bv. van 25 °C naar 20 °C). Dit systeem blijft energie-efficiënt, maar heeft een laag koelvermogen.

Dit zal op een warme dag doorgaans minder dan 0,5 kW bedragen bij een ventilatiedebiet van 300 m³/h.

Ten slotte werden er ook twee meer klassieke koelsystemen opgenomen in de vergelijking:

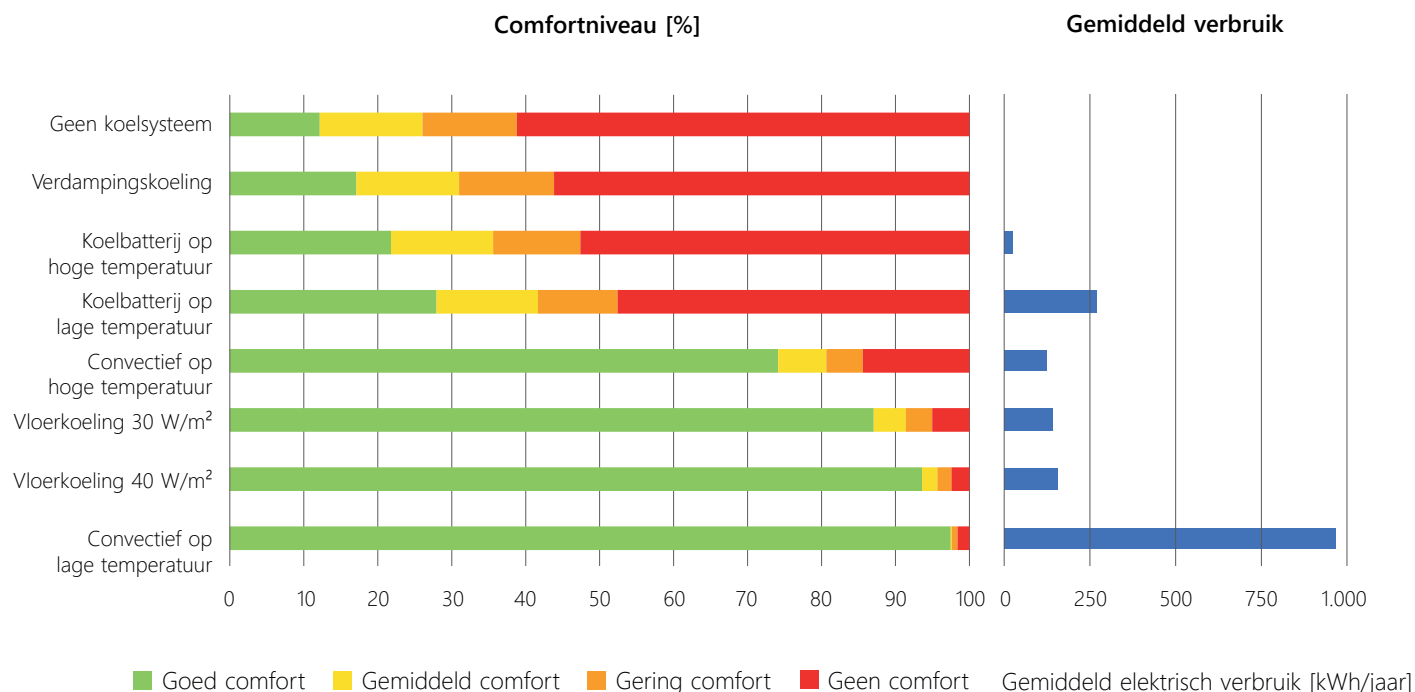
- **een koelbatterij in een balansventilatiesysteem die gekoppeld is aan een koelsysteem met een compressor op lage temperatuur,** wat het afgiftevermogen bijna kan verdubbelen ten opzichte van een koelbatterij op hoge temperatuur. Dit gaat echter wel ten koste van de efficiëntie van de opwekking
- **een convectief koelsysteem** dat in principe voor elke behoefte gedimensioneerd kan worden, maar in deze studie op 50 W/m² koeling afgetopt werd. Het kan hier gaan om een omkeerbare lucht-luchtwarmtepomp met binneneenheden, maar ook om ventiloconvectoren gekoppeld aan een lucht-waterwarmtepomp.

Hoe presteren deze koelsystemen op het vlak van comfort en energie?

Met behulp van **dynamische energiesimulaties** werden er 9.200 combinaties onderzocht waarbij er in de volgende parameters gevarieerd werd:

- vijf woningtypes
- twee venstergroottes
- twee inertieniveaus
- twee isolatieniveaus
- vier oriëntaties
- drie verschillende zonweringen
- drie verschillende niveaus van ventilatieve koeling
- acht verschillende koelsystemen.

Hoewel deze simulaties oorspronkelijk bedoeld waren om een tool te ontwikkelen (zie de [WTCB-Dossiers 2021/3.3](#)) en een casespecifieke vergelijking mogelijk te maken op het vlak



3 | Comfortniveaus en gemiddeld verbruik in alle woningen in functie van het koelsysteem.



4 | Proeven op afgifte-elementen bij Thomas More Kempen.

van comfort en energie, kunnen ze ook een algemeen beeld geven van de **prestaties van de verschillende koelsystemen**.

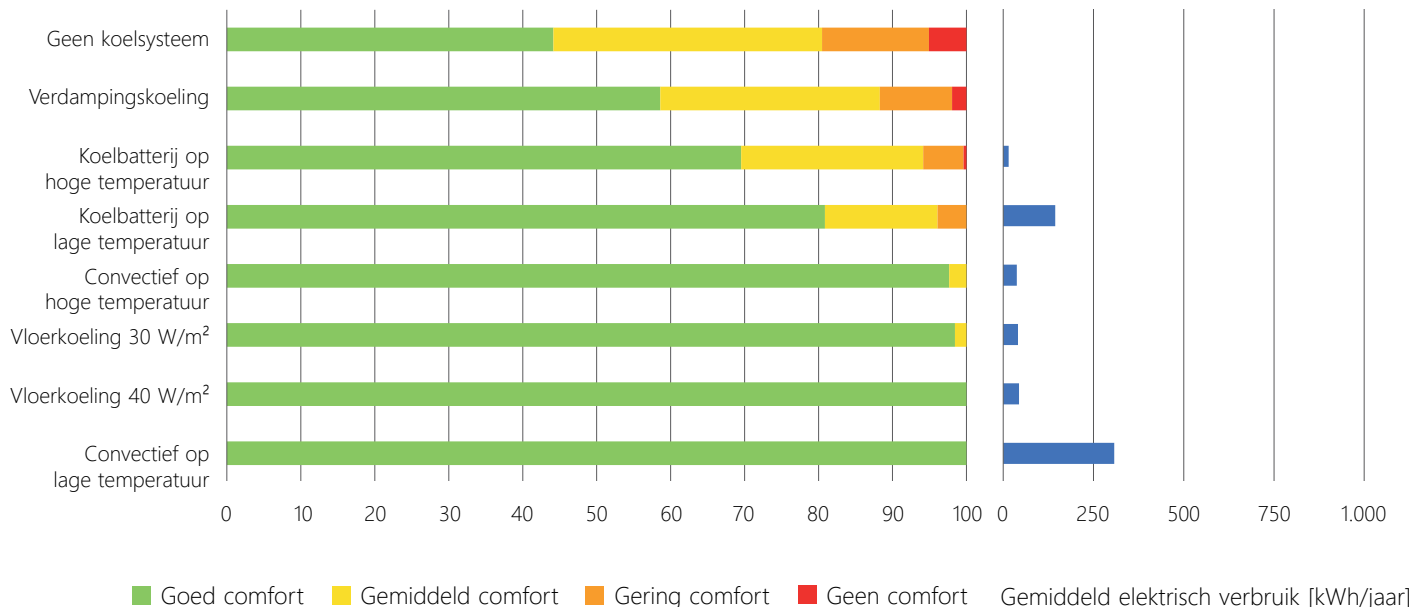
In afbeelding 3 wordt het comfortniveau weergegeven voor alle bestudeerde combinaties. De comfortniveaus werden vastgelegd op basis van de maximaal toelaatbare temperatuur in de woning, namelijk 28 °C overdag en 26 °C 's nachts. Wanneer deze grenzen gedurende de hele zomer minder dan 33 u overschreden worden door de gesimuleerde binnentemperatuur, dan kunnen we spreken van een goed zomercomfort, tussen 33 u en 100 u van een gemiddeld comfort en tot 250 u van een gering comfort. Daarboven kunnen we stellen dat er geen comfort is.

Op de grafiek kunnen we aflezen dat 60 % van de gesimuleerde woningen zonder koelsysteem slechts een beperkt zomercomfort geniet en dat amper een achtste van de woningen een goed comfort vertoont. Hoewel het comfort na de plaatsing van een indirecte verdampingskoeling of een koelbatterij op een balansventilatiesysteem wel verbetert, scoort drie vierde van de woningvarianten pas goed na de installatie van een **systeem met meer koelvermogen**, zoals een hybride convector die 15 W/m² specifiek koelvermogen kan afgeven bij hogere koeltemperaturen, een vloerkoeling (30-40 W/m²) en de klassieke convectieve luchtkoeling op lage temperatuur van 50 W/m².

Door de verhoging van het koelvermogen neemt ook het energieverbruik toe, al blijft dit wel binnen de perken. Zeker

Comfortniveau [%]

Gemiddeld verbruik



5 | Comfortniveau en gemiddeld verbruik van de woningen met buitenzonwering en ventilatieve koeling in functie van het koelsysteem.

bij de systemen op hoge temperatuur (convectief op hoge temperatuur of vloerkoeling) blijft het elektrische verbruik laag door de hoge efficiëntie van de gekoppelde *free cooling*. Ook bij de klassieke koelsystemen (convectief op lage temperatuur) ligt het gemiddelde verbruik nog net onder 1.000 kWh/jaar.

We willen er wel op wijzen dat de simulaties uitgaan van een ideale regeling, een relatief hoge insteltemperatuur en een logisch gebruikersgedrag. Het energieverbruik kan in de praktijk dus hoger uitvallen.

Uit de grafiek in afbeelding 5 blijkt dat het comfort spectaculair verbetert bij de toepassing van zonwering en ventilatieve (nacht)koeling. Als we alleen de **combinaties met deze passieve koelstrategieën** beschouwen, dan stellen we vast dat bijna de helft van de woningen zelfs zonder koelsysteem een goed zomercomfort vertoont. We zien ook dat de verdampingskoeling en koelbatterijen in het ventilatiesysteem veel beter scoren. Zeker de systemen met aparte afgiftelichamen (convectief of vloerkoeling) leveren in deze gevallen een goed comfort op. Ten slotte zakt het energieverbruik aanzienlijk, gemiddeld tot ongeveer een derde ten opzichte van alle woningen (zie afbeelding 3 op de vorige pagina).

Duurzame koelsystemen en passieve maatregelen

De simulatieresultaten tonen aan dat het wel degelijk **mogelijk is om een goed zomercomfort te verzoenen**

met een laag energieverbruik. De combinatie van *free cooling* en afgiftesystemen op hogere temperaturen maakt het bovendien mogelijk om eventueel schadelijke koelmiddelen te vermijden.

Aangezien deze duurzame systemen dikwijls over een lager afgiftevermogen beschikken, is de selectie en dimensionering ervan niet altijd evident. De benodigde afgiftevermogens variëren immers naargelang van het volume en het gebruik van de ruimten, de zonnewinsten en de compactheid van het gebouw. Daarenboven ontbreekt de mogelijkheid om de binnenlucht te ontvochtigen wanneer de relatieve vochtigheid te hoog zou oplopen.

Het toepassen van een goede zonwering en nachtventilatie (door het openen van vensters of via ventilatieroosters) verlaagt de koelbehoefte en maakt ook het benodigde vermogen homogener, wat de selectie van het koelsysteem vergemakkelijkt.

Daar waar een koeling via het ventilatiesysteem in combinatie met deze passieve maatregelen al kan volstaan, zijn het vooral de **hybride convectoren en de vloerkoeling** die een goed zomercomfort garanderen. Deze afgiftesystemen functioneren overigens op hoge regimetemperaturen, wat meer mogelijkheden biedt naar duurzame koelbronnen toe (bv. geothermie, koelketen en optimaal draaiende omkeerbare warmtepomp). 