

Auteurs Wilfred Heesakkers, Condaïr; Arjan Schrauwen, ISSO

Indirecte adiabatistische koeling in luchtbehandelingssystemen

Indirecte adiabatistische koeling heeft een groot potentieel om gebouwen energiezuinig te kunnen koelen. De voordelen van indirecte adiabatistische koeling worden om die reden ook volop geprezen: het is energiezuinig, koudemiddelvrij, en juist in warme periodes kan het relatief veel koeling leveren. Toch is van een echte doorbraak nog altijd geen sprake. ISSO, TVVL en een aantal leveranciers hebben zich verenigd in een projectgroep om mogelijke belemmeringen weg te nemen middels een aantal acties. Een van de acties is om indirecte adiabatistische koeling meer aandacht te geven en een objectief beeld weer te geven van de mogelijkheden van deze techniek. Dit artikel vormt hiertoe een onderdeel van.

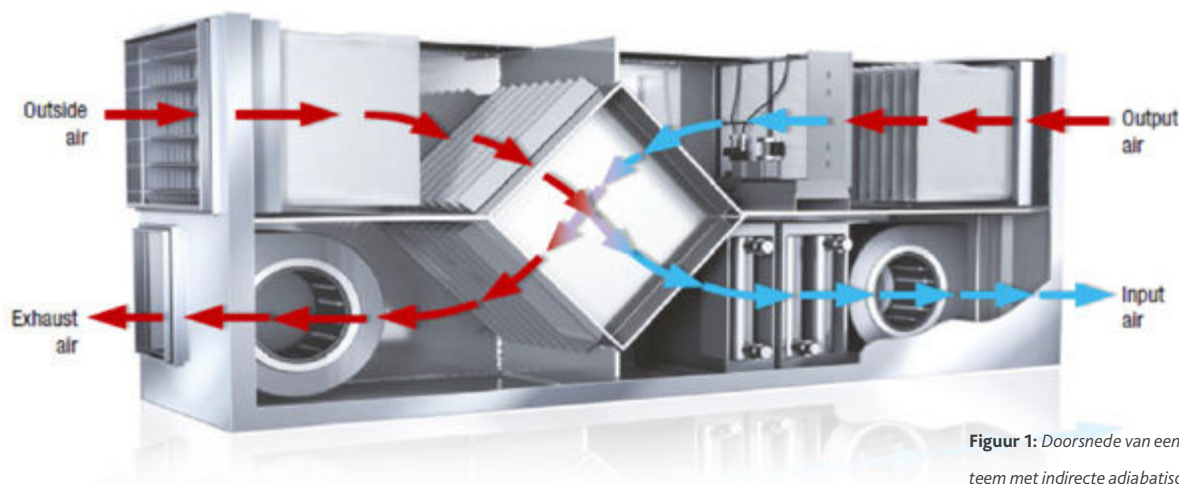
Basisenergiebeleid

De Europese richtlijn betreffende de energieprestatie van gebouwen (EPBD) werd opgesteld met de bedoeling om de totale energie-efficiëntie van gebouwen in de Europese Unie te bevorderen, rekening houdend met de klimatologische en plaatselijke omstandigheden, en met de

binnenklimaateisen en de kostenefficiëntie. Het ontwerp van luchtbehandelingssystemen zal in de toekomst dan ook helemaal anders zijn. Vooral de vereiste van meer efficiënte koeling is daarbij van belang. Op nationaal niveau werd de EPBD-richtlijn in Nederland voor gebouwtechniek omgezet in het bouwbesluit welke energieprestatie-eisen aan gebouwen stelt. Tevens is in het activiteitenbesluit en de wet milieubeheer vastgelegd dat bedrijven met een verbruik van > 50.000 kW elektrisch en >25.000 m³ gas verplicht zijn energiebesparende maatregelen te treffen met een terugverdientijd van 5 jaar of minder.

Indirecte adiabatistische koeling in luchtbehandelingssystemen

Indirecte adiabatistische koeling in luchtbehandelingssystemen is een van de mogelijke manieren om duurzame koeling te genereren. In dit artikel wordt het energiepotentieel van deze energie-efficiëntiemaatregel geïllustreerd. In de loop van het jaar worden haalbare regeneratiepercentages berekend en in grafieken weergegeven aan de hand van een simulatieberekening op basis van voorbeelden van systeemparameters en meteorologische gegevens van verschillende locaties.



Figuur 1: Doorsnede van een luchtbehandelingssysteem met indirecte adiabatistische koeling

Principe van indirecte adiabatische koeling

Bij indirecte adiabatische koeling wordt er water in een retourluchtstroom gebracht. Dit water zal verdampen waarbij het de hiervoor benodigde energie direct aan de luchtstroom onttrekt. De temperatuur van deze luchtstroom zal dalen waarna het de kruisstroomwisselaar zal passeren. Hier wordt middels warmteoverdracht de passerende toevoerlucht gekoeld. Doordat water alleen wordt ingebracht in de retourluchtstroom zijn er geen nadelige effecten van een hoge relatieve vochtigheid in de toevoerluchtstroom. Deze luchtstromen blijven immers altijd volledig gescheiden. Een bijkomend voordeel is hierdoor dat er relatief veel water kan worden ingebracht. Dit heeft direct een hogere temperatuurdaling van de retourluchtstroom tot gevolg. Daarnaast zal een groter temperatuurverschil in luchtstromen, een betere koeling tot gevolg hebben.

Factoren die het haalbare koeleffect beïnvloeden

Bij indirecte adiabatische koeling vindt de verdamping plaats aan de luchtafvoerszijde van een luchtbehandelingssysteem. In de kruisstroomwisselaar als weergegeven in afbeelding 1 vindt uiteindelijk de energieoverdracht plaats waardoor de toevoerlucht van buiten wordt afgekoeld. De mate waarin buitenlucht kan worden afgekoeld, wordt bepaald door de hoeveelheid verdampt water aan de luchtafvoerszijde, maar ook door het ontwerp en de efficiëntie van de kruisstroomwisselaar of het warmteterugwinningssysteem.

De afvoerlucht kan tot net voor het verzadigingspunt worden bevochtigd. De hoeveelheid verdampt water en daardoor ook de bereikte koeling is afhankelijk van de snelheid waarmee de lucht door de adiabatische koeler wordt geleid, maar ook van de toestand van de afvoerlucht die de adiabatische koeler binnenstroomt. Het belangrijkste element hierbij is; de luchttemperatuur vóór verdamping:

- hoe koeler de lucht, des te minder vocht hij kan absorberen en des te kleiner het koeleffect is. Dit is het vochtigheidsgehalte vóór verdamping.
- hoe meer water de lucht al bevat, des te minder vocht hij kan absorberen en des te kleiner de temperatuurdaling is die kan worden gerealiseerd.

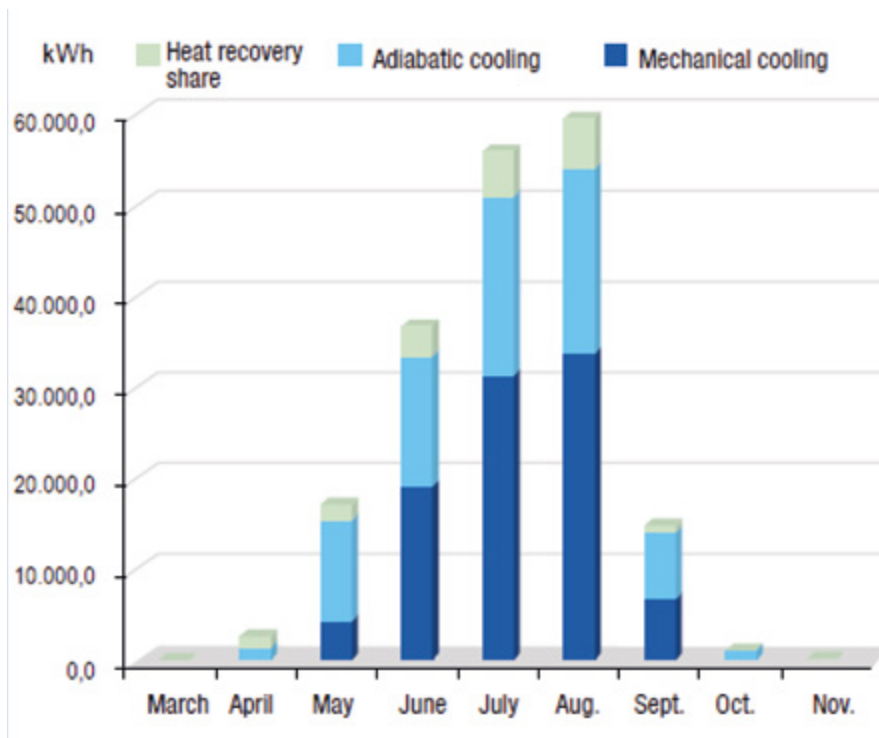
De theoretische limiet van adiabatische koeling wordt bereikt bij volledige verzadiging van de lucht met water (d.w.z. bij een relatieve vochtigheid van 100%). Een toename van het vochtigheidspercentage tot waarden van 92% tot 95% is haalbaar in luchtbehandelingssystemen tegen een economisch verantwoorde kostprijs, afhankelijk van het ontwerp van de adiabatische koeler.

Energiebesparingen door adiabatische koeling

De energie-eisen voor voelbare koeling in een gebouw worden voornamelijk bepaald door de binnenvallende zonnestrallen en door de interne thermische belasting veroorzaakt door mensen, apparatuur en verlichting. Afhankelijk van de buitenlucht en de bestaande bronnen van vocht in het gebouw is er ook latente energie nodig om de vochtigheid op een toelaatbaar niveau te houden.

Luchtdebiet van het luchtbehandelingssysteem	52.500 m ³ /h
Aantal dagen per week in gebruik	7 dagen
Aanvang van dagelijks gebruik	06.00 h
Einde van dagelijks gebruik	18.00 h
Stijging van vochtigheidspercentage in de kamer	1,0 g/kg
Min./max.-waarde luchtvochtigheid binnen	40%/65% rel.
Bevochtigingsrendement	94%
Warmteterugwinningsefficiëntie	: 0,75
Stapgrootte simulatie	: 1,0 K

Tabel 1: Relevante uitgangsparameters voor simulatie.



Figuur 2: Voorbeeld van een grafische weergave van de energiebehoefte die maandelijks wordt gegenereerd om gebouwen af te koelen in het geselecteerde representatieve luchtbehandelingsstelsel. Bij de berekening werden meteorologische gegevens voor een normale zomer gebruikt. De systeemsimulatie werd uitgevoerd met behulp van de softwaretool Condair Coolblue 2.0.

Adiabatische koeling is geschikt voor het voelbaar koelen van binnenstromende lucht. De latente koeling die nodig is voor ontvochtiging of voelbare koeling die verder gaat dan het potentieel van adiabatische koeling moet daarna plaatsvinden door middel van een mechanische, maar kleinere koeler. In een goed ontworpen systeem wordt veel meer elektrische aandrijfenergie voor mechanische koeling bespaard door adiabatische koeling dan nodig is om het extra drukverlies aan de afzuigluchtzijde door de afvoerventilator op te vangen.

Tijdens de planningsfase kan met simulatieberekeningen op basis van de werking van het luchtbehandelingsstelsel in de representatieve gebouwlocatie worden bepaald hoeveel energie regeneratief kan worden opgewekt en hoeveel energie kan worden bespaard door adiabatische koeling. In deze simulatie moeten rekening worden gehouden met alle omstandigheden van de buitenlucht in de loop van het jaar en met de relevante ontwerpparameters van het luchtbehandelingsstelsel.

Simulatie van een luchtbehandelingsstelsel met adiabatische koeling

De energiebijdrage van adiabatische koeling kan worden geïllustreerd met een simulatieberekening voor een representatief gebouw. Dit betekent dat we op basis van meteorologische gegevens van de locatie berekenen wat

nodig is om het representatief gebouw te koelen en wat adiabatische koeling van het gebouw daar in de loop van het jaar aan bijdraagt.

Deze resultaten kunnen dienen als realistisch uitgangspunt voor de juiste dimensionering van het luchtbehandelingsstelsel en de evaluatie van de rendabiliteit van deze energie-efficiëntie maatregel tijdens het systeemontwerp.

Systeemparameters voor het representatieve gebouw

De simulatieberekening werd uitgevoerd voor het luchtbehandelingsstelsel als weergegeven in afbeelding 1. Voor de berekening van het systeem wordt er gerekend met zomercompensatie van de binnentemperatuur waardoor er naast een comfortabel werkklimaat, ook rekening gehouden wordt met het temperatuurverschil met de buitenlucht. De warmte wordt teruggewonnen met een platenwarmtewisselaar zonder vochtoverdracht van de afvoeluchtzijde naar de toevoeluchtzijde en zonder lekken. De verhouding tussen het debiet van toevoelucht en afvoelucht wordt verondersteld 1:1 te zijn. Voor de andere ontwerpparameters werd voor de systeemsimulatie uitgegaan van de parameters in tabel 1.

De totale jaarlijkse energiebijdrage wordt berekend op basis van de som van de afzonderlijke resultaten die via de simulatie voor ieder uur van het jaar worden bepaald. De

berekeningen zijn gebaseerd op de statistische locatiegegevens van de wereldwijde meteorologische database Meteonorm Version 6.1.

Bespreking van de simulatieresultaten

De simulatie geeft duidelijk de koeling weer in de loop van het jaar, opgedeeld in mechanische koeling, adiabatise koeling en warmteterugwinning. Het effect van warmteterugwinning zonder gebruik te maken van adiabatise koeling is zeer klein. Pas wanneer adiabatise koeling wordt ingezet naast het mechanisch koelsysteem wordt er een aanzienlijke besparing gerealiseerd.

Simulatieresultaten op basis van gegevens voor normale zomers tonen de gemiddelde energiebijdrage tijdens een langdurige systeemwerking, en zijn daarom geschikt om de energiebesparingen door adiabatise koeling en de kostenefficiëntie ervan te beoordelen. Als we de grote variaties van de buitenluchtomstandigheden in de loop van het jaar bekijken, dan wordt snel duidelijk dat de koelapparatuur voldoende koelvermogen moet leveren in alle mogelijke luchtomstandigheden. Om die reden moeten simulatieresultaten op basis van extreme waarden voor warme zomers

worden gebruikt voor systeemdimensionering. Als ook toekomstige klimaatomstandigheden in aanmerking moeten worden genomen, dan kunnen modelsimulaties met toekomstige meteorologische gegevens worden uitgevoerd, op voorwaarde dat ze representatief genoeg zijn.

De simulatieresultaten verwijzen naar het representatieve luchtbehandelingsysteem op vijf geselecteerde locaties. Door de energiebijdrage van adiabatise koeling hoeft aanzienlijk minder koelvermogen te worden opgewekt door de mechanische koeler. Zoals blijkt uit de simulatie leidt adiabatise koeling tot aanzienlijke regeneratieve bijdragen. Er zijn duidelijke verschillen in de weergegevens van de geselecteerde locaties, ook bij eenzelfde systeemontwerp. In streken met een hogere vochtigheid van de buitenlucht, en waar dus meer energie vereist is voor ontvochtiging, is de energiebijdrage hiervan verhoudingsgewijs kleiner.

Tabel 2: De simulatieresultaten verwijzen naar een representatief luchtbehandelingsysteem op 5 geselecteerde locaties. Door de energiebijdrage van adiabatise koeling hoeft aanzienlijk minder mechanisch koelvermogen te worden opgewekt.

Simulatieresultaten voor een representatief gebouw						
Locatie		Maastricht	München	Stuttgart	Wenen	Den Haag
$Q_{K(32^{\circ}\text{C}, 40\% \text{ rel. vocht.})}$	kW	321				
Bedrijfsuren	u/jaar	912	758	1.127	1.213	727
Q_{K, tot^*}	kW	560	371	486	598	538
$Q_{K, \text{mechanisch}^*}$	kW	351	269	289	416	364
$Q_{K, \text{verdamp.} + \text{warmteterugw.}^*}$	kW	209	102	197	182	174
$W_{K, \text{tot}}$	kWh/jaar	120.098	93.628	154.993	184.584	111.707
$W_{K, \text{mechanisch}}$	kWh/jaar	53.887	44.849	67.192	96.235	66.994
$W_{K, \text{verd.}}$	kWh/jaar	56.479	42.871	72.132	72.873	38.741
$W_{K, \text{warmteterugwinning}}$	kWh/jaar	9.733	5.909	15.669	15.477	5.972
Π_{Reg}	%	55,1	52,1	56,6	47,9	40,0
* simulatie met extreme waarden voor warme zomers						

$Q_{K(32^{\circ}\text{C}, 40\% \text{ rel. vocht.})}$	Totaal koelvermogen bij standaard buitenluchtomstandigheden
Q_{K, tot^*}	Mechanisch koelvermogen (extreme waarde)
$Q_{K, \text{verdamp.} + \text{warmteterugw.}^*}$	Regeneratief koelvermogen (extreme waarde)
$W_{K, \text{tot}}$	Totale koelenergie jaarlijks gegenereerd (gemiddelde waarde)
$W_{K, \text{mechanisch}}$	Energieaandeel van mechanische koeling (gemiddelde waarde)
$W_{K, \text{verd.}}$	Energieaandeel van adiabatise koeling (gemiddelde waarde)
$W_{K, \text{warmteterugwinning}}$	Energiebijdrage van warmteterugwinning (gemiddelde waarde)
Π_{Reg}	Aandeel van regeneratieve koeling gemiddelde waarde)

Het totale regeneratieve aandeel wordt gevormd door de som van de energiebijdragen van adiabatische koeling en warmteterugwinning. In de geselecteerde gebouwlocaties stijgt dit tot 40% à 57% van de totale koelenergie die jaarlijks moet worden opgewerkt.

Kostenefficiëntie

Het grootste obstakel bij de keuze voor hernieuwbare energie is de kostenefficiëntie. Energie-efficiëntie maatregelen zoals adiabatische koeling moeten rendabel zijn. De hogere kosten tijdens de investeringsfase moeten worden terugverdiend door kostenbesparingen tijdens de werking van deze systemen. Deze afweging moet voor ieder gebouw worden gemaakt. Een betrouwbare systeem simulatie zorgt voor transparante verhoudingen en biedt een realistische vergelijking met conventionele maatregelen om gebouwen te koelen.

Conclusies

De voorbeeldberekeningen in tabel 2 tonen duidelijk aan dat adiabatische koeling energievoordelen biedt. De

energiebesparingen zijn afhankelijk van het gebouw dat moet worden gekoeld, het ontwerp van het luchtbehandelingsstelsel en de ligging van het gebouw in kwestie.

De resultaten tonen aan dat de systeemparameters en de meteorologische gegevens van de locaties een grote invloed hebben op de haalbare energiebijdragen en de correcte dimensionering van de systeemcomponenten. Een statische berekening van de koelvereisten in standaard buitenluchtomstandigheden houdt hier niet voldoende rekening mee. Een realistische beoordeling van het vereiste koelvermogen en de koelprestaties in de loop van het jaar is alleen mogelijk als tijdens de ontwerpfase een dynamische systeemstimulatie wordt toegepast.

Simulatieberekeningen op basis van meteorologische gegevens voor normale zomers leveren gemiddelde waarden op en vormen de basis voor de beoordeling van betrouwbare energiebesparingen en rendabiliteitsstudies. Simulatie resultaten op basis van gegevens met extreme waarden voor warme zomers zorgen voor een juiste dimensionering van de vereiste systeemcomponenten. Daarbij wordt ook rekening gehouden met de hogere koelvereisten tijdens warmere zomers, een realiteit in het klimaat van tegenwoordig.



De projectgroep bestaat uit:

Arjan Schrauwen	ISSO
Marius Klerk	Air@Work
Wilfred Heesakkers	Condair (hoofdauteur artikel)
Frank van Kesteren	Menerga
Ron Brands	Cumulus (tot 1 oktober 2019)
Wil Sampers	Cumulus
Kor Foekens	Oxycom
Johan Boonstra	HygroTemp
Bert Leffers	Stulz Groep BV
Bengt Cornelissen	Aire Fresh Systems

Foto 1. Deze Condair ME, adiabatische bevochtiger, is specifiek ontworpen voor energiezuinig indirect adiabatische koeling in luchtbehandelingskasten. Gebruik van dit systeem, inclusief behandeld water in retour of buitenluchtstroom van de luchtbehandelingskast, geeft via koude-uitwisseling van luchtstroom in kruisstroomwisselaar of twin-coil het duurzame indirect adiabatische koeleffect aan de toevoer- en inblaaslucht.