

Vraaggestuurde ventilatie met wtw en grondwarmte

Dit artikel beschrijft de resultaten van het eerste half jaar monitoring van een nulwoning in Groenlo. Het ventilatiesysteem in de woning is vraaggestuurd met warmteterugwinning, in combinatie met het gebruik van grondwarmte in de vorm van een grondbuis. De resultaten tonen aan dat het ventilatiesysteem een gezond en comfortabel binnenklimaat creëert op energiezuinige wijze.

Ir. B. (Bart) Cremers, adviseur Kenniscentrum, Zehnder Group Nederland

DE WONING

De woning, zoals weergegeven in figuur 1, is gebouwd volgens de normen van passief bouwen en bewoond vanaf juli 2010. Het huis heeft een compacte, goed geïsoleerde gevel met zuid georiënteerde ramen met drievoudige beglazing. Zonnecellen en zonneboilers op het dak zorgen voor de productie van elektriciteit en warm water tijdens zonnige dagen. Een warmtepomp met een verticale bron zorgt voor verwarming en koeling via een afgiftesysteem in de vloer. Details van het huis zijn gegeven in [1] en [2].

HET VENTILATIESYSTEEM

Een warmteterugwintoestel (WHR 960, kortweg wtw-unit) brengt verse lucht in de woning en voert lucht uit de woning af naar buiten. De warmte van de retourlucht wordt gebruikt voor het opwarmen van de verse lucht op een energiezuinige manier. De meest gebruikte ventilatiehoeveelheid is 160 m³/h. Voor een huis met een volume van 840 m³ betekent dit een ventilatievoud van ongeveer 0,2 h⁻¹. De verse lucht wordt naar de afzonderlijke ruimten gebracht door zeven separate ronde kunststof luchtkanalen (ComfoTube). Vier daarvan leiden naar laag-inducerende roosters vlak boven de vloer van de slaapkamers (ouders, kind en gasten) en naar een werkkamer, alle op de begane grond. De rest leidt naar de woonkamer op de eerste verdieping.

De retourlucht komt uit de woonkamer, de zolder, de badkamer en de toiletten via zeven retourkanalen (ComfoTube). Zowel de toevoer als de retour worden verdeeld en verzameld via geluiddempers (ComfoWell); één in de retourlucht en twee in de toevoerlucht.

De keuken wordt geventileerd door een afzonderlijke wtw-unit (WHR 930). De werking hiervan is niet bijgehouden.

De handmatig ingestelde ventilatiehoeveelheid (normaal stand 1; 160 m³/h) wordt automatisch verhoogd door vraagsturing op basis van vier afzonderlijke CO₂-sensoren in de woonkamer en de slaapkamers (ouders, kind en gasten). Wanneer één van de CO₂-waarden boven een ingestelde grenswaarde komt, dan zorgt een stuursignaal naar de wtw-unit voor verhoging van de hoeveelheid verse lucht. Een grondbuis, voorzien van filter, zorgt voor de grondwarmte (aanzuig van de grondbuis is te zien in figuur 1). De grondbuis is 50 m lang, 200 mm in diameter en ligt op een gemiddelde diepte van 2,5 m. De grondbuis ligt op afschot in de grond om eventueel water af te voeren. Tussen de grondbuis en de wtw-unit bevindt zich een luchtklep. De wtw-unit regelt de stand van deze luchtklep, zodat verse lucht ofwel direct van buiten wordt aangezogen via de noordgevel ofwel via de grondbuis.

GEGEVENSVERZAMELING

De relevante parameters van het ventilatiesysteem zijn verzameld met een interval

van één minuut door een aan de Wtw-unit verbonden laptop. De bewoner heeft de verzamelde gegevens en eventueel commentaar wekelijks verzonden. Daarna zijn de gegevens omgewerkt tot uurgemiddelden, waarna ze geanalyseerd zijn in de vorm van zogenaamde 'carpet-plots', duurgrafieken, correlatiegrafieken en staafdiagrammen. Dit artikel beschrijft de resultaten van de geanalyseerde periode van februari 2011 tot september 2011.

COMFORTABELE CO₂-WAARDEN

Het comfort van het binnenklimaat is vastgesteld aan de hand van gemeten CO₂-waarden in de ouderslaapkamer (twee ouders), de kinderslaapkamer en de logeerkamer. De ingestelde grenswaarden voor de vraagsturing zijn 800 ppm voor de woonkamer en 1.000 ppm voor de slaapkamers. Volgens verwachting vertonen de uurgemiddelde CO₂-waarden een verhoging bij aanwezigheid van personen in de kamers. Als voorbeeld worden de CO₂-waarden in de kinderkamer getoond voor de periode februari tot mei 2011. Over dag zijn de CO₂-waarden vergelijkbaar met de natuurlijke CO₂-waarde van de buitenlucht van 400 ppm en 's nachts zijn de waarden 800 tot 1000 ppm. Zodra de grenswaarde van 1.000 ppm wordt bereikt, wordt de ventilatiehoeveelheid verhoogd zodat de CO₂-waarden vastgehouden worden op een gezond en comfortabel niveau.

(bij de uitgang van de grondbuis) tussen de 12 en 17°C ligt voor buitentemperaturen tussen 16 en 33°C. Voor milde buitentemperaturen tussen 10 en 16°C wordt de luchtklep gesloten, zodat de uitwisseling met de grond uitgeschakeld wordt; verse lucht wordt nu direct via de noordgevel aangezogen in plaats van via de grondbuis.

De voordelen van de uitwisseling met de grond zijn als volgt. 's Winters zorgt dit voor vorstvrije werking van de wtw-unit zonder gebruik te hoeven maken van een elektrische voorverwarmer. 's Zomers wordt de verse lucht gekoeld tot onder de binnentemperatuur, zodat vrije koeling gedurende de hele zomer ingezet kan worden in plaats van slechts gedurende koude zomernachten. Het verhoogde elektriciteitsverbruik van de ventilatoren om de lucht door de grondbuis te laten stromen is verwaarloosbaar (toerental moet met 2% worden verhoogd).

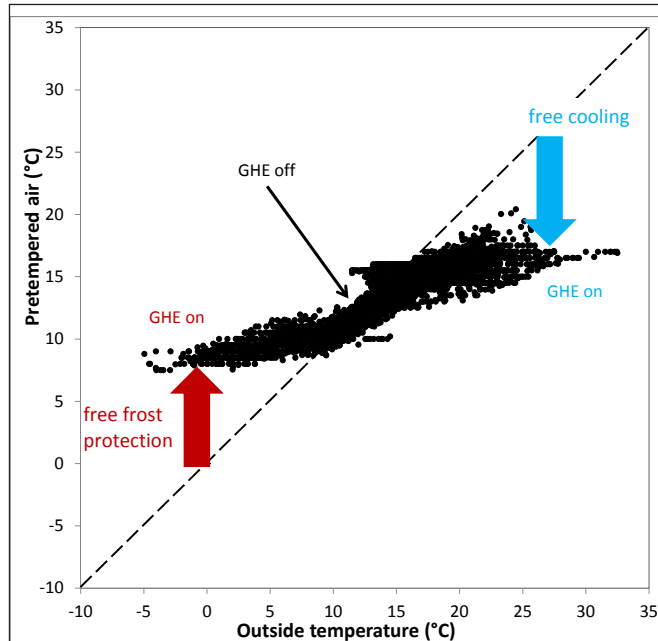
's Winters wordt de (voorverwarmde) verse lucht op efficiënte wijze verder opgewarmd in de warmtewisselaar van de wtw-unit. Figuur 5 toont dat verse lucht toegevoerd wordt in de woonkamer en de slaapkamers met een comfortabele temperatuur van 18°C, zelfs bij lage buitentemperaturen in de winter. Zonder warmteterugwinning zou de toevoer van lucht met een temperatuur gelijk aan de buitentemperatuur resulteren in tochtverschijnselen. Voor buitentemperaturen boven 13°C wordt de warmteterugwinning uitgeschakeld wanneer koeling gewenst en voorhanden is. Dit gebeurt wanneer aan de volgende voorwaarden voldaan is:

- actuele binnentemperatuur is boven de ingestelde comforttemperatuur (hier: 21°C);
- actuele (eventueel voorgekoelde) verse luchttemperatuur is lager dan de actuele binnentemperatuur.

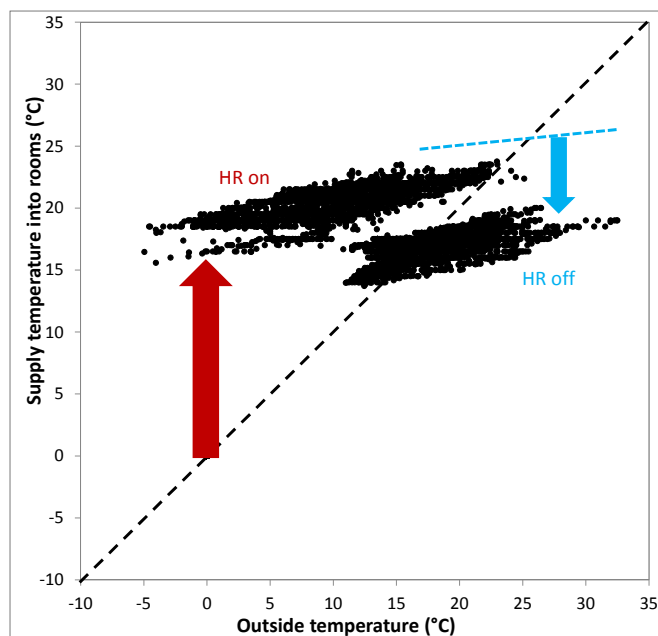
Warmteterugwinning wordt uitgeschakeld in de wtw-unit door de retourlucht om de warmtewisselaar heen te leiden. Verse lucht komt daardoor direct (zonder warmteterugwinning) de leefruimten binnen. Dit resulteert in vrije koeling van de woning omdat de toevoertemperatuur altijd lager is dan de binnentemperatuur. De praktijkgegevens tonen aan dat de toevoertemperatuur onder de 20°C blijft. Door de relatief lage ventilatiehoeveelheid (160 m³/h) kan deze vrije koeling qua vermogen niet vergeleken worden met airconditioningsystemen, maar het werkt wel comfort verhogend en het verlaagt de koellast van de woning.

ENERGIEZUINIGE VENTILATIE

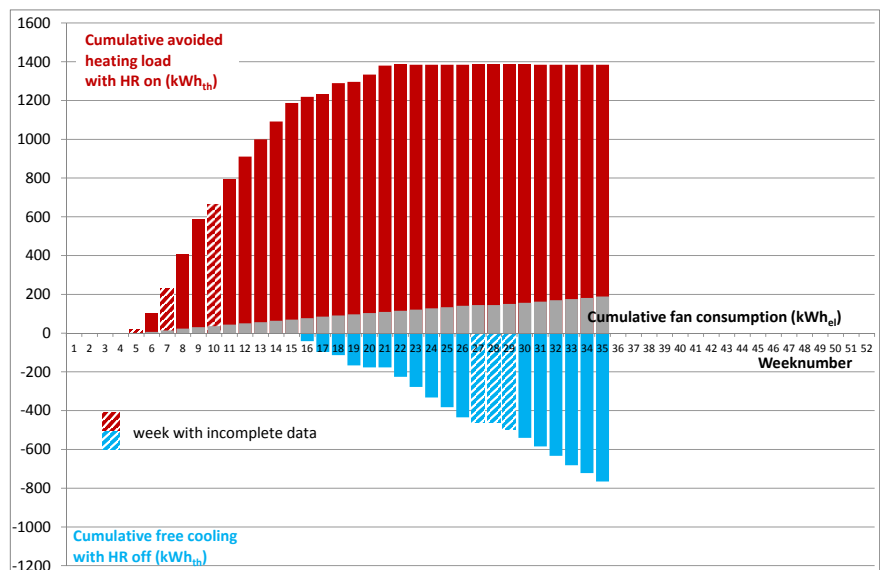
De voordelen van ventilatie met warmteterugwinning met gebruik van grondwarmte worden uitgelegd aan de hand van vermeden



-Figuur 4- Uurgemiddelde waarden van de verse lucht die de woning binnentreedt. Uitwisseling met de grond (GHE on) zorgt 's winters voor een vorstvrije werking van de wtw-unit (zonder gebruik van een elektrische voorverwarmer) en 's zomers voor langdurige vrije koeling. Bij milde buitentemperaturen wordt de verse lucht direct aangezogen via de noordgevel (GHE off).



-Figuur 5- Uurgemiddelde waarden van de toevoertemperatuur die naar de leefruimten toegaat met en zonder warmteterugwinning (hr-on, hr-off). De vermeden verwarming wordt aangegeven door een rode pijl en de vrije koeling ten opzichte van de binnentemperatuur wordt aangegeven met een blauwe pijl.



-Figuur 6- Cumulatieve vermeden verwarming (rood), cumulatieve vrije koeling (blauw) en cumulatief elektriciteitsverbruik door de ventilatoren (grijs) gedurende de rapportageperiode.

verwarming en vrije koeling. Dankzij warmteterugwinning door de wtw-unit hoeft het centrale verwarmingssysteem de koude buitenlucht niet te verwarmen naar de gewenste binnentemperatuur (vermeden verwarming, zie rode pijl in figuur 5). De hoeveelheid vermeden verwarming wordt berekend met de ventilatiehoeveelheid en het verschil tussen toevoertemperatuur en buitentemperatuur. Zonder warmteterugwinning geeft de vrije koeling aan dat de binnenlucht gekoeld wordt door de binnenkomende (lagere) toevoertemperatuur (zie blauwe pijl in figuur 5). De hoeveelheid vrije koeling wordt berekend met de ventilatiehoeveelheid en het verschil tussen binnentemperatuur en toevoertemperatuur.

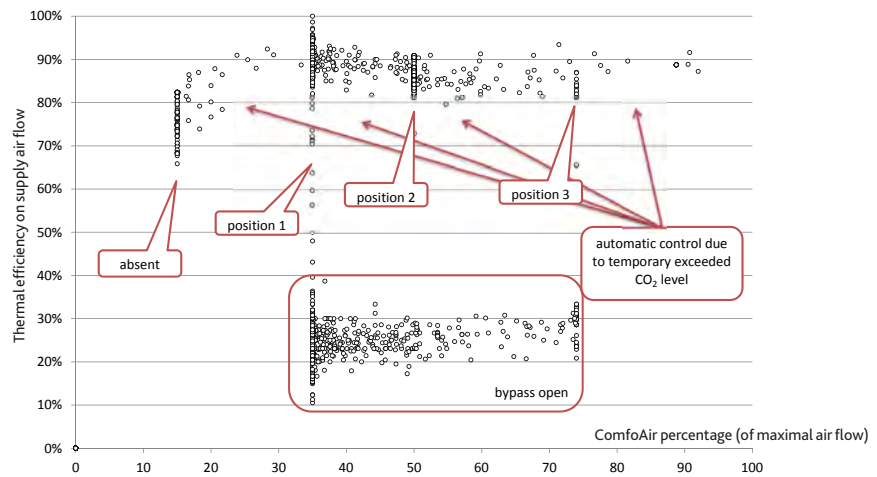
Figuur 6 geeft de cumulatieve vermeden verwarming en vrije koeling per week aan gedurende de rapportageperiode. In de koude periode tot week 22 is energie bespaard door de warmteterugwinning. Vanaf week 16 is vrije koeling toegepast (2011 had een opmerkelijk vroeg en warm voorjaar). Het energetisch voordeel is bereikt met slechts het elektrisch verbruik van de ventilatoren in de wtw-unit. Deze verbruiken slechts 33 W bij 160 m³/h dankzij het flexibele luchtverdeelsysteem met lage weerstand.

Tabel 1 geeft totaalwaarden voor de rapportageperiode van februari tot september 2011 en een schatting voor een volledig jaar gebaseerd op extrapolatie van de verzamelde gegevens. Een schatting van de jaarlijkse werkingsgraad API ('annual performance indicator') voor het verwarmings- en koelseizoen is berekend uit de verhouding tussen jaarlijkse energieopbrengst en elektriciteitsverbruik van de ventilatoren. De waargenomen API voor de vermeden verwarming komt goed overeen met de verwachte API van 11 voor een warmteterugwinstelsysteem in een vergelijkbaar winterklimaat in Milaan, Italië uit [3].

■ THERMISCH RENDEMENT WTW

Het thermisch rendement is gedefinieerd als de verhouding tussen de opwarming van de verse lucht en de maximaal haalbare opwarming $(T_{\text{toevoer}} - T_{\text{verse lucht}}) / (T_{\text{retour}} - T_{\text{verse lucht}})$. Wanneer uitwisseling van grondwarmte gebruikt wordt, dan stelt de verse luchttemperatuur in deze formule de voorverwarmde of voorgekoelde lucht voor.

Het thermisch rendement van een wtw-unit is afhankelijk van vele factoren, waarvan de



-Figuur 7- Thermisch rendement van de wtw-unit als functie van het ventilatorpercentage (van het maximale ventilatortoerental)

ventilatiehoeveelheid en de massabalans tussen toevoer- en retourlucht de belangrijkste zijn. Figuur 7 toont het rendement in de praktijk als functie van het ventilatorpercentage. De wtw-unit staat voornamelijk in stand 1 (ventilatorpercentage 35%). De standen 2 en 3 en 'afwezig' zijn ook waar te nemen.

Tussentijdse ventilatorpercentages komen voor wanneer de CO₂-vraagsturing het ventilatorpercentage geleidelijk omhoog voert. Met open bypass (warmteterugwinning uitgeschakeld) is het gemiddelde ongewenste thermisch rendement 24%. Dit rendement zou in het ideale geval 0% moeten zijn, maar de ventilatoren warmen de verse lucht iets op (ongeveer 2°C), ondanks het gebruik van energiezuinige gelijkstroomventilatoren. Bij gebruik van wisselstroomventilatoren zou het thermisch rendement nog hoger uitvallen. Met gesloten bypass (warmteterugwinning ingeschakeld) wordt het optimale rendement bereikt voor de meest gebruikte stand 1 (160 m³/h). Het rendement is lager bij de stand 'afwezig', waarschijnlijk door onbalans in de luchtstromen bij deze lage hoeveelheden. Voor hogere ventilatorstanden zakt het thermisch rendement, doordat de lucht zó snel door de warmtewisselaar stroomt dat het eindige uitwisselingsoppervlak merkbaar wordt.

Het waargenomen gemiddelde thermische rendement met gesloten bypass ligt op 89%. Deze waarde is hoog, rekening houdend met het feit dat toevoer- en retourluchtstroom niet perfect in balans zijn. De bewoner heeft de wtw-unit ingeregeld met een luchthoeveelheid die lager is in de retour dan in de toevoer. Gedetailleerde meting van luchthoeveelheden liet een onbalans van 6% zien. Wanneer wiskundig gecorrigeerd wordt voor deze onbalans, dan wordt een rendement bereikt

van $89\% / (100\% - 6\%) = 95\%$. Dit betekent dat wanneer de wtw-unit ingeregeld zou zijn in massabalans, een thermisch rendement van 95% bereikt zou zijn. Dit komt perfect overeen met het thermisch rendement zoals in het laboratorium gemeten is.

■ CONCLUSIE

De verzamelde praktijkgegevens van een vraaggestuurd ventilatiesysteem met warmteterugwinning en gebruik van grondwarmte in een nulwoning in Groenlo heeft veel interessante inzichten gegeven. Een gezond binnenklimaat kan bereikt worden met een hoog comfort in termen van CO₂-niveaus en toevoertemperaturen. De energiezuinige werking is bewezen door de vermeden verwarming van 1.385 kWh en vrije koeling van 769 kWh gedurende de rapportageperiode. Een schatting van de jaarlijkse werkingsgraad is 10 voor de vermeden verwarming en 4 voor de vrije koeling. Dataverzameling zal nog ten minste voortduren tot februari 2012 om een volledig jaar in kaart te kunnen brengen. Een gedetailleerd rapport voor het volledige jaar zal volgen na verwerking van de gegevens.

■ LITERATUUR

1. Vollebregt R. (2011), Koelen zonder energiegebruik door zomernachtventilatie, Verwarming & Ventilatie, mei 2011, pp. 268-271
2. Mooi R. (2011), Huis vol technische installatiesnuffjes, Installatie & Sanitair, 3, april 2011, pp. 12-14
3. Kriesi R. (2011), Comfort ventilation - a key factor of the comfortable, energy-efficient building, Rehva Journal, May 2011, pp. 21-26

	Rapportageperiode	Schatting volledig jaar	API (schatting)
Cumulatieve vermeden verwarming	1.385 kWh	2.700 kWh	10
Cumulatieve vrije koeling	769 kWh	1.000 kWh	4
Elektriciteitsverbruik ventilatoren	190 kWh	275 kWh	

-Tabel 1- Cumulatief energetisch voordeel van ventilatie met warmteterugwinning en geschatte jaarlijkse werkingsgraad.