

Energieanalyse voor balansventilatiesystemen op basis van veldstudies

Bart Cremers

*Zehnder Group Zwolle
Lingenstraat 2
8028 PM Zwolle
bart.cremers@zehndergroup.com*

SAMENVATTING

Systemen voor balansventilatie brengen op gecontroleerde wijze voldoende buitenlucht in de woning, zonder daarbij afhankelijk te zijn van steeds wisselend natuurlijke krachten. Tijdens koude periodes zorgt warmteterugwinning voor een verlaging van de verwarmingslast door ventilatie. Daarbuiten wordt de terugwinning automatisch gereduceerd of geheel uitgeschakeld en wordt ventilatiekoeling geleverd op mechanische wijze. Is het warm, dan zorgt de terugwinning voor een comfortabel koele toevoer van verse lucht. De combinatie van balansventilatie en een aardwarmtewisselaar zorgt voor verkoeling van de warme buitenlucht in de zomer zodat ventilatiekoeling wordt geleverd gedurende de hele zomer, en niet alleen tijdens koude zomernachten.

Met gebruik van veldstudies wordt in deze studie de automatische regeling van terugwinning en uitgeschakelde terugwinning uitgelegd. In West- en Midden-Europa worden zes projecten met balansventilatie gemonitord, waarvan twee zijn gecombineerd met een aardwarmtewisselaar. Voor elk project zijn een jaar lang de relevante parameters geregistreerd en daaruit zijn uurgemiddelden berekend. De teruggewonnen warmte, de ventilatiekoeling en de teruggewonnen koude zijn geëvalueerd en worden gepresenteerd als functie van de buitenluchttemperatuur. Die uurgemiddelde waarden zijn bij elkaar opgeteld om te komen tot de jaarlijks teruggewonnen warmte, jaarlijkse ventilatiekoeling en jaarlijks teruggewonnen koude. De totalen zijn vergeleken met het elektriciteitsverbruik in de betreffende periode.

De gemiddelde jaarlijkse ventilatiehoeveelheid loopt uiteen van 95 tot 250 m³/h. De resultaten laten duidelijk zien dat terugwinning afhankelijk is van het debiet en van het verschil tussen buiten- en binnentemperatuur. De waarden voor jaarlijks teruggewonnen warmte liggen tussen 1850 en 4570 kWh. Bij ventilatiekoeling is de hoeveelheid koeling ten opzichte van de binnentemperatuur ook afhankelijk van debiet en verschil tussen buiten- en binnentemperatuur. Zonder verkoeling door een aardwarmtewisselaar, bedraagt de jaarlijkse ventilatiekoeling ten opzichte van de binnentemperatuur tussen 393 kWh en 657 kWh. Als verkoeling wél wordt gebruikt, neemt de jaarlijkse ventilatiekoeling toe naar 1480 kWh, omdat de periode voor ventilatiekoeling langer wordt. De hoeveelheid jaarlijks teruggewonnen koude ligt tussen 27 kWh en 61 kWh.

Het jaarlijks elektriciteitsverbruik van de ventilatoren is bepaald op basis van de gemeten waarden van het toerental van de ventilatoren en het luchtdebiet, en het gemiddelde ventilatorrendement van de betreffende ventilatoren in de units. Het energetisch voordeel kan worden uitgedrukt in SPF (*Seizoen Prestatie Factor*): de energiewinst (teruggewonnen warmte, ventilatiekoeling en teruggewonnen koude) gedeeld door het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren tijdens de betreffende periode. Tijdens de periode van warmteterugwinning, ligt de SPF tussen 16 en 23, met een positieve uitschieter van 47, in een project met een laag gemiddeld luchtdebiet. Tijdens het seizoen van ventilatiekoeling, ligt de SPF tussen 3.7 en 4.9, met een waarde van zelfs 9.8, in het project met het lage gemiddelde luchtdebiet. En in de periode van koudeterugwinning ligt de SPF tussen 2.0 en maximaal 4.5.

KERNWOORDEN

Woonhuisventilatie, warmteterugwinning, ventilatiekoeling, koudeterugwinning, monitoring

1 INLEIDING

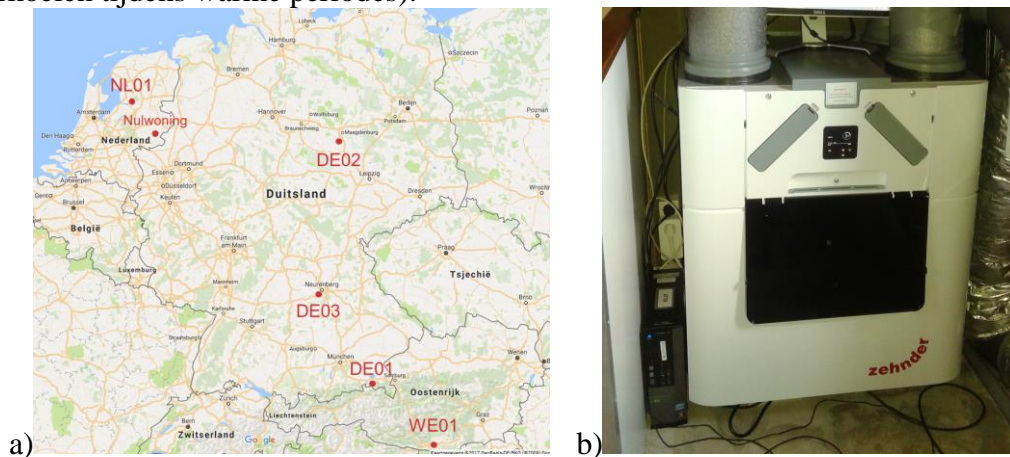
Balansventilatiesystemen voorzien woningen van verse lucht. Laboratoriumtesten zijn veelal slechts gericht op warmteterugwinning, maar gestandaardiseerde testen voor ventilatiekoeling ontbreken. Metingen in woningen over een langere periode (minimaal één jaar) worden aanzienlijk minder vaak beschreven.

Het toenemende gebruik van computers voor de opslag van enorme hoeveelheden data maakt het mogelijk veldstudies over een langere periode te analyseren. Het doel van deze studie is te berekenen hoeveel warmte en koude per jaar wordt teruggewonnen in praktijk-omstandigheden ten opzichte van het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren.

In tegenstelling tot warmte- en koudeterugwinning, wordt ventilatiekoeling vaak beschreven aan de hand van natuurlijke middelen omdat onder gunstige omstandigheden (dankzij wind- en schoorsteeneffect) de hoeveelheid ventilatie en koeling behoorlijk groot kan zijn. Hoeveel ventilatiekoeling door mechanische ventilatiesystemen in de woning wordt gebracht, is nog niet vaak berekend. Deze studie laat aan de hand van data zien in welke omstandigheden ventilatiekoeling wordt geleverd aan de woning en evalueert de jaarlijkse ventilatiekoeling ten opzichte van de verbruikte elektriciteit.

2 OPSTELLING MONITORING

Er lopen zes veldstudies die systemen voor balansventilatie monitoren in Nederland (met de naam NL01 en “Nulwoning”), Duitsland (DE01, DE02 en DE03) en Oostenrijk (WE01). Deze ventilatiesystemen zijn identiek qua constructie en regeling. Wel zijn er drie maten ventilatoren voor verschillende maximumdebieten. Drie systemen (NL01, DE02 en DE03) zijn uitgerust met een standaard warmtewisselaar, de overige systemen zijn uitgerust met een enthalpiewisselaar. Twee units (DE01 en “Nulwoning”) gebruiken een aardwarmtewisselaar voor de voorbehandeling van toegevoerde buitenlucht (voorverwarmen tijdens koude periodes en voorkoelen tijdens warme periodes).



Afbeelding 1: a) Geografische locaties van de veldstudies en b) Voorbeeld van een ventilatietoestel (NL01).

Van september 2016 tot augustus 2017 zijn diverse parameters gemonitord met een interval van 5 minuten. De geregistreerde data werden later geanalyseerd op basis van de uurgemiddelde waarden van de parameter. De temperatuur wordt gemeten via ingebouwde sensoren in de toevoerlucht (SUP), retourlucht (ETA) en buitenlucht (ODA). Bij de twee ventilatiesystemen met aardwarmtewisselaar wordt ook de “echte” buitenluchttemperatuur gemeten, dus vóórdat deze wordt voorbehandeld. Ook het toerental van beide ventilatoren (toevoer en retour) en het geleverde debiet zijn gemonitord. De buitentemperatuur loopt uiteen van $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ in de winter tot $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ in de zomer.

3 RESULTATEN EN ANALYSE

3.1 Functionele beschrijving balansventilatiesysteem

Het belangrijkste doel van balansventilatie is de woning te voorzien van voldoende verse lucht. In de koude maanden (hierna warmteterugwinperiode genoemd) wordt de warmte teruggewonnen uit de retourlucht en afgegeven aan de toevoerlucht, waardoor een aangename temperatuur van de toevoerlucht wordt bereikt die dicht bij die van de retourlucht ligt.

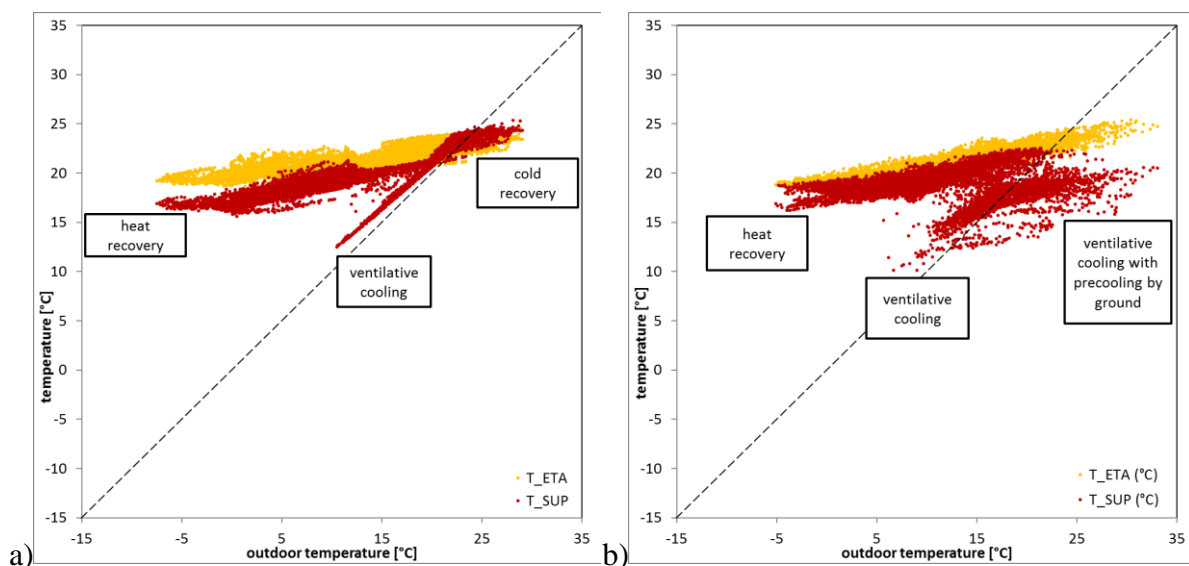
Tijdens de meer gematigde seizoenen wordt de warmteterugwinning automatisch vermindert of helemaal uitgeschakeld via een bypass-functie (dit wordt ventilatiekoeling genoemd). Zo daalt de toevoertemperatuur naar een aangenaam koel niveau. De bypass wordt alleen geactiveerd als aan ALLE onderstaande voorwaarden wordt voldaan:

- centrale verwarming in de woning is uitgeschakeld [geen energieverspilling],
- geen risico op te koude toevoerlucht [geen tocht en/of condensvorming op ongeïsoleerde toevoerkanalen],
- buitenlucht (mogelijk voorgekoeld) is koeler dan retourlucht [ventilatiekoeling mogelijk],
- retourlucht is warmer dan comfortabel [ventilatiekoeling vereist].

Tijdens het warme seizoen, als de buitenlucht warmer is dan de retourlucht, wordt koude teruggewonnen: de toevoerlucht wordt gekoeld door de retourlucht en zorgt voor aangenaam koele toevoerlucht (hierna genoemd koudeterugwinperiode).

Afbeelding 2a laat de uurgemiddelde temperatuur zien van de retour- en toevoerlucht voor het hele jaar in veldstudie DE03. In de warmte- en koudeterugwinperiode is de toevoertemperatuur bijna gelijk aan de retourtemperatuur en bij ventilatiekoeling ligt de toevoertemperatuur vlak bij de buitentemperatuur.

Afbeelding 2b toont de gemonitorde temperaturen voor het hele jaar in een project met aardwarmtewisselaar (“Nulwoning”). Ook de warmteterugwinperiode is waarneembaar, maar voorverwarming van de buitenlucht door de aarde levert nog meer rendement op en dus een toevoertemperatuur die nog dichter bij de retourtemperatuur ligt. Wanneer de buitentemperatuur lager is dan de retourtemperatuur, is er sprake van ventilatiekoeling, net als in afbeelding 2a. Het verschil met de situatie zonder aardwarmtewisselaar ontstaat als de buitenlucht door de bodem wordt voorgekoeld tot een temperatuur die lager is dan die van de retourlucht. In dit geval wordt de periode van ventilatiekoeling verlengd naar de gehele zomerperiode, met nog lagere toevoertemperaturen dan zonder aardwarmtewisselaar.



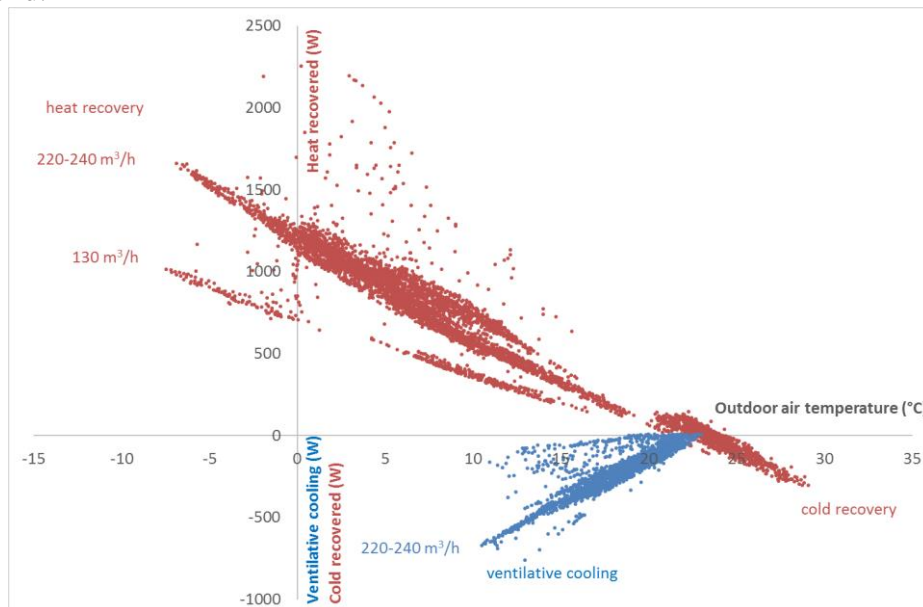
Afbeelding 2: Retourtemperatuur (geel) en toevoertemperatuur (rood) afhankelijk van buitentemperatuur voor veldtest DE03 (a) en veldtest “Nulwoning” (b).

3.2 Teruggewonnen warmte, ventilatiekoeling en teruggewonnen koude

Tijdens de warmteterugwinperiode wordt de toevoertemperatuur verhoogd, waarmee de verwarmingslast van de woning dus aanzienlijk omlaag wordt gebracht. De hierdoor vermeden verwarmingslast (teruggewonnen warmte) is berekend op basis van de vastgelegde gegevens met behulp van het buitenluchtdebiet en het verschil tussen de toevoertemperatuur en de buitenluchttemperatuur. De in dit seizoen teruggewonnen warmte in project DE03 wordt in afbeelding 3 weergegeven door de positieve waarden tijdens de koude maanden. De uurwaarden verschijnen als twee afzonderlijke lijnen die corresponderen met de door de bewoner veelgebruikte ventilatorstanden. Hoe lager de buitentemperatuur en hoe hoger het debiet, des te groter de besparing op de verwarmingslast.

Tijdens de periodes met ventilatiekoeling is de hoeveelheid koeling vanuit de buitenlucht berekend op basis van het debiet en het verschil tussen de toevoertemperatuur en de retourtemperatuur (negatieve waarden geven het koeffect weer). Afbeelding 3 maakt duidelijk dat de ventilatiekoeling rond de 700 W ligt bij een debiet van 220-240 m³/h en een buitentemperatuur van circa 10 °C. Als de buitentemperatuur stijgt, daalt de hoeveelheid ventilatiekoeling naar nul zodra de buitentemperatuur en retourtemperatuur gelijk zijn (hier ongeveer 22 °C).

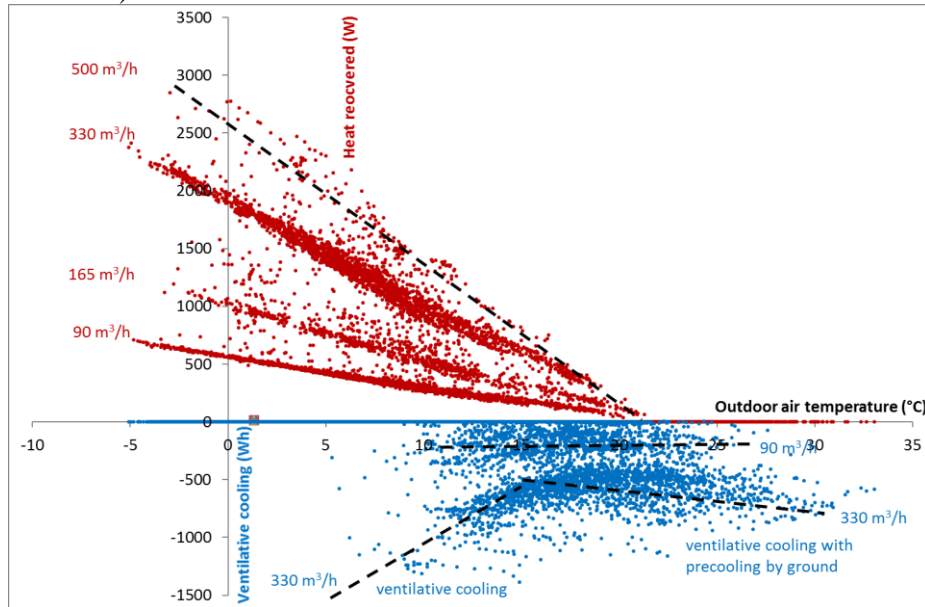
Tijdens de koudeterugwinperiode is de buitentemperatuur hoger dan de retourtemperatuur en kan dus geen ventilatiekoeling meer worden gebruikt. Desondanks zorgt de koudeterugwinning wel voor verlaging van de koellast van de woning. De hoeveelheid teruggewonnen koude is berekend op basis van het debiet en het verschil tussen de toevoertemperatuur en de buitentemperatuur (negatieve waarden geven het koeffect weer ten opzichte van de situatie zonder terugwinning). Bij een debiet van bijvoorbeeld 220-240 m³/h bedraagt de teruggewonnen koude maar liefst 300 W bij een buitentemperatuur van 29 °C. Let op: alleen het voelbare deel van de teruggewonnen koude is beoordeeld; het latente deel is in deze studie niet berekend.



Afbeelding 3: Teruggewonnen warmte (rode stippen boven de horizontale as), ventilatiekoeling (blauwe stippen) en teruggewonnen koude (rode stippen onder de horizontale as) voor veldtest DE03.

Voor het project met aardwarmtewisselaar (“Nulwoning”) in afbeelding 4 wordt de teruggewonnen warmte zichtbaar in vier lijnen die corresponderen met de ventilatorstanden afwezig, laag, midden en hoog. De aardwarmtewisselaar zorgt voor een goede voorcoeling van de toegevoerde buitenlucht. In dit geval is bij een buitentemperatuur lager dan 15 °C de

buitenlucht koeler dan de grond en wordt geen aardwarmte gebruikt. Dit wordt in afbeelding 4 weergegeven door de diagonale lijnen in de blauwe stippen. Is de buitentemperatuur boven de 15 °C, dan wordt wel voorgekoeld via de grond en dit betekent dat de gehele zomer gebruikt wordt gemaakt van ventilatiekoeling. Aangezien de temperatuur van zowel de retourlucht als de grond in hetzelfde tempo stijgt als die van de buitenlucht (zie afbeelding 2b), is de ventilatiekoeling met aardwarmtewisselaar tamelijk stabiel gedurende de zomer (hier: circa 700 W bij 330 m³/h).



Afbeelding 4: Teruggewonnen warmte (rode stippen) en ventilatiekoeling (blauwe stippen) als functie van de buitentemperatuur voor veldtest “Nulwoning”.

3.3 Prestatiefactoren per seizoen

In deze laatste paragraaf wordt het energetische voordeel van het balansventilatiesysteem vastgesteld. De energie die vereist is voor deze besparing is gelijk aan het elektriciteitsverbruik van de twee ventilatoren in de ventilatie-unit. Het elektriciteitsverbruik voor het project “Nulwoning” werd rechtstreeks geregistreerd. Voor de andere projecten werd het verbruik berekend op basis van het toerental van de ventilatoren, het luchtdebiet en het gemiddelde ventilatorrendement. Voor de ventilatoren uit de veldtesten is deze methode ontwikkeld aan de hand van uitgebreide laboratoriummetingen.

De totale druk p bij een bepaald toerental n wordt als volgt berekend:

$$p = p_{ref} * \left(\frac{n}{n_{ref}} \right)^2$$

referentiedruk $p_{ref} = 1040$ Pa bij een referentietoerental $n_{ref} = 4100$ rpm.

In het relevante werkgebied van de ventilatoren is het rendement η_{fan} ongeveer 50%. Het elektriciteitsverbruik P_{el} kan dan worden berekend met behulp van het luchtdebiet Φ_v :

$$P_{el} = (p * \phi_v) / \eta_{fan}$$

De uurwaarden voor de warmteterugwinning, de ventilatiekoeling en de koudeterugwinning zijn opgeteld naar totale jaarlijkse waarden voor respectievelijk teruggewonnen warmte, ventilatiekoeling en teruggewonnen koude. Voor het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren zijn ook totalen gemaakt per periode: warmteterugwinperiode, ventilatiekoeling periode en koudeterugwinperiode.

De jaarlijkse hoeveelheid teruggewonnen warmte ligt tussen 1850 kWh en 4570 kWh (zie tabel 1). Afhankelijk van het centrale verwarmingssysteem bespaart dit verwarmingskosten voor de woning. En bovendien wordt het maximaal vereiste verwarmingsvermogen teruggebracht. Een systeem met warmteterugwinning maakt dus een combinatie met een kleinere warmtepomp mogelijk. De Seizoen Prestatie Factor SPF in de warmteterugwinperiode (verhouding tussen teruggewonnen warmte en verbruikte elektriciteit) varieert van 16 tot 47. Deze waarde is het hoogst bij een laag luchtdebiet, omdat de verbruikte elektriciteit ongeveer kwadratisch varieert ten opzichte van het luchtdebiet, terwijl de teruggewonnen warmte lineair varieert met het luchtdebiet. De waarden geven aan dat warmteterugwinning een bijzonder effectieve manier is om tijdens de koudere periodes van het jaar de verwarmingskosten laag te houden.

De ventilatiekoeling door het mechanische ventilatiesysteem en de SPF in die periode (verhouding tussen ventilatiekoeling en verbruikte elektriciteit) worden ook weergegeven in tabel 1. Veldstudies NL01 en DE01 worden uitgesloten van verdere analyse vanwege technische problemen *in deze specifieke periode*, en de lagere waarden voor ventilatiekoeling die daarvan het resultaat zijn. De ventilatiekoeling is afhankelijk van het gemiddelde luchtdebiet en ook van het comfortniveau dat de bewoner heeft ingesteld, welke ook bepaalt hoe vaak ventilatiekoeling wordt gebruikt. In veldstudie “Nulwoning” is de ventilatiekoeling uitzonderlijk hoog, doordat in dit project een aardwarmtewisselaar wordt gebruikt. Vanwege het verkoelende effect van de bodem wordt daar de hele zomer lang ventilatiekoeling gebruikt. De SPF-waarden voor ventilatiekoeling liggen tussen 3.7 en 9.8. De hoogste waarde hoort bij het laagste ventilatiedebiet.

Tabel 1: Jaarlijkse waarden voor warmteterugwinning en ventilatiekoeling in zes veldstudies.

| | Gem. debiet [m ³ /h] | Verbruik ventilator [kWh el] | Bespaarde warmte [kWh th] | SPF WTW [-] | Verbruik ventilator [kWh el] | Ventilatie-koeling [kWh th] | SPF vent. koeling [-] |
|-----------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| NL01 (HRV) | 150 | 130 | 2824 | 22 | 45 | 126 | 2.8 |
| DE02 (HRV) | 160 | 150 | 3404 | 23 | 145 | 657 | 4.5 |
| DE03 (HRV) | 210 | 251 | 4117 | 16 | 133 | 497 | 3.7 |
| WE01 (ERV) | 95 | 39 | 1850 | 47 | 40 | 393 | 9.8 |
| DE01 (ERV) | 220 | 262 | 4449 | 17 | 184 | 695 | 3.8 |
| Nulwoning (ERV) | 250 | 290 | 4570 | 16 | 300 | 1480 | 4.9 |

Wanneer de buitenlucht warmer is dan de retourlucht, wordt de koude van de retourlucht overgebracht op de toevoerlucht. Dit geeft niet alleen een aangename temperatuur van de toevoerlucht, maar ook verlaging van de koellast. Veldstudies NL01 en DE01 worden opnieuw uitgesloten vanwege bovengenoemde redenen. Tabel 2 laat zien dat 27 kWh tot 61 kWh is teruggewonnen. Dit leidt tot een SPF-waarde in de koudeterugwinperiode (verhouding tussen teruggewonnen koude en verbruikte elektriciteit) die varieert van 2.0 tot 4.5. In veldstudie “Nulwoning” wordt geen koude teruggewonnen, omdat de voorgekoelde lucht altijd kouder is dan de retourlucht.

Tabel 2: Jaarlijkse waarden voor koudeterugwinning in zes veldstudies.

| | Verbruik ventilator [kWh el] | Bespaarde koeling [kWh th] | SPF KTW [-] |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------|
| NL01 (HRV) | 43 | 34 | 2.4 |
| DE02 (HRV) | 24 | 61 | 2.5 |
| DE03 (HRV) | 27 | 53 | 2.0 |
| WE01 (ERV) | 6 | 27 | 4.5 |
| DE01 (ERV) | 7 | 40 | 4.4 |
| Nulwoning (ERV) | 0 | 0 | - |

4 CONCLUSIES

Deze studie beschrijft een energieanalyse van een balansventilatiesysteem gedurende een jaar. Gemonitorde parameters uit zes veldstudies zijn gebruikt om de Seizoen Prestatie Factoren te berekenen.

De waarden voor de warmteterugwinperiode tonen aan dat het ventilatietoestel een grote hoeveelheid warmte terugwint. Dit resulteert in een aanzienlijk lagere verwarmingslast voor de woning. Vergeleken met waarden voor het rendement van verwarming door warmtepompen, bewijzen de SPF-waarden dat de inzet van warmteterugwinning energiebesparend werkt (voor het verlagen van de vereiste warmte) in combinatie met een warmtepomp (voor de productie van warmte). Als warmteterugwinning wordt toegepast, kan een aanzienlijk kleinere warmtepomp worden gebruikt.

De waarden voor de ventilatiekoeling wijzen op een effectieve manier van koeling met mechanische ventilatie. Als er gebruik wordt gemaakt van een aardwarmtewisselaar, wordt de periode waarin ventilatiekoeling wordt gebruikt, verlengd van alleen koele zomernachten naar de gehele zomerperiode.

Wanneer de buitenlucht warmer is dan de retourlucht, heeft natuurlijke ventilatie niet de voorkeur. Koudeterugwinning door een balansventilatiesysteem verlaagt de koellast van een woning en levert bovendien meer comfort op door een lagere toevoertemperatuur van de verse lucht.