

Bijlage 1 Overzicht werkzaamheden

De werkzaamheden zijn oorspronkelijk in 6 werkpakketen, verdeeld over twee fasen uitgevoerd:

- Fase 1
Werkpakket 1 - Systematische kwalitatieve beoordeling
Fase 1, bestaande uit werkpakket 1 is uitgevoerd, Tevens zijn onderdelen van werkpakket 2 (klankbordgroep) en werkpakket 4 (beschrijving technieken) uitgevoerd. De resultaten van fase 1 zijn afzonderlijk gerapporteerd.
- Fase 2
Fase 2 omvat de werkpakketten 2 t/m 6:
 - Werkpakket 2 -Bepalen toepassingskader en eisenpakket.
 - Werkpakket 3 - Opstellen model voor exploitatieberekeningen.
In dit werkpakket worden de CO₂ – en warmte en koudepatronen uit werkpakket 2 gecombineerd door een eenvoudig rekenmodel dat rekening houdt met tijds- en omgevingsaspecten rondom CO₂ en warmte en koudevraag en levering. Uitgangspunt is het karakteristieke teelttype geselecteerd in werkpakket 2. Het doel van dit rekenmodel is het kwantificeren van de behoefte aan koeling en ontvochtiging en deze financieel te kunnen waarderen.
 - Werkpakket 4 - Praktische inpassing ontvochtigingssystemen.
In dit werkpakket zal de praktische inpassing van de ontvochtigingssystemen worden beoordeeld.
 - Werkpakket 5 - Bepalen economische haalbaarheid.
Dit werkpakket is een combinatie van het bovenstaande werk rondom het toepassingskader, de kengetallen van de ontworpen technieken en het modelleerwerk en geeft inzicht in de haalbaarheid en toepassingsmogelijkheden van verschillende opties voor koeling en ontvochtiging in de glastuinbouw.
 - Werkpakket 6 – Rapportage.

De werkzaamheden in fase 2 zijn uitgevoerd conform het projectplan, met de volgende wijzigingen:

- Werkpakket 3 is gewijzigd, mede op verzoek van het ministerie van LNV en het Productschap Tuinbouw en vanwege nieuwe inzichten in de noodzakelijke modellering. Doordat de te ontwikkelen toepassing van ontvochtigingssystemen ingrijpt in de condities in de kas, is een integraal kasmodel nodig, dat zorgt voor een terugkoppeling naar effecten op de groei van het gewas, veranderingen in de verdamping en de energiehuishouding. De beschikbare modellen bij TNO en DLV voldoen niet aan dit criterium; KasPro van PRI wel. De modellering is door PRI uitgevoerd volgens specificaties van TNO.
- Werkpakket 4 is gecomprimeerd uitgevoerd, omdat delen daarvan al zijn uitgevoerd.

Bijlage 2 Systeembeschrijving voor modellering

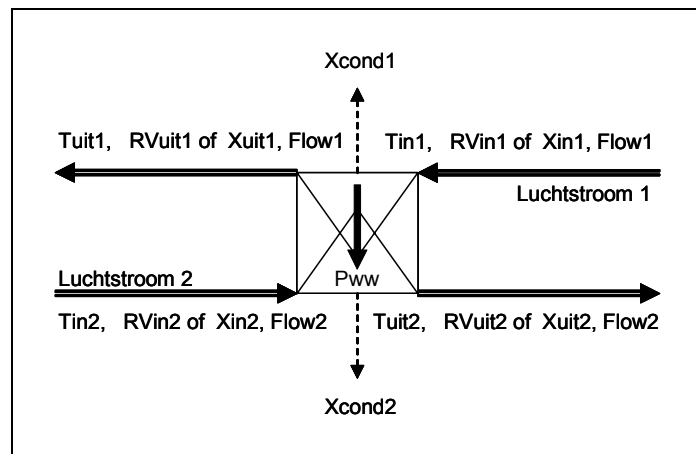
B.2.1 Vereiste componenten

Naast gangbare componenten voor verwarming en ventilatie zijn voor de te onderzoeken systemen de volgende installatiecomponenten vereist:

- Lucht-lucht warmtewisselaar (warmteterugwinunit)
- Lucht-lucht warmtepomp/koelmachine
- Adiabatise luchtkoeler (luchtbevochtiger)

Voor de modelvorming is de beschikbaarheid van de formules van het mollier-diagram van vochtige lucht in het model vereist.

Lucht-lucht warmtewisselaar (warmteterugwinunit)



Fysische effecten:

- Warmtewisseling tussen twee luchtstromen / richting met constant temperatuurrendement. De richting van de warmtestroom is afhankelijk van de heersende temperaturen.
- Ontvochtigen gekoelde luchtstroom als RV boven 100% komt.

Modelparameters:

- η_{wtw} constant temperatuur- / enthalpierendement [-]
 $q_{m,nom}$ nominaal massadebiet [kg/s]

Invoervariabelen:

- $T_{in1/2}$ Ingaande luchttemperatuur stroom 1 / 2 [°C]
 $RV_{in1/2}$ Relatieve vochtigheid ingaande stroom 1 / 2 [-] (optie)
 $X_{in1/2}$ Absolute vochtigheid ingaande stroom 1 / 2 [gr/kg] (uit $RV_{in1/2}$)
 $q_{m1/2}$ Massadebiet stroom 1 / 2 [kg/s]

Uitvoervariabelen:

Tuit1/2 Uitgaande luchttemperatuur stroom 1 / 2 [°C]
 RVuit1/2 Relatieve vochtigheid uitgaande stroom 1 / 2 [-]
 Xuit1/2 Absolute vochtigheid uitgaande stroom 1 / 2 [gr/kg]
 Xcond1/2 Gecondenseerd vocht stroom 1 / 2 [gr/kg]

Formules/berekeningswijze:

$$\Delta T = \eta_{wtw} * (T_{in1} - T_{in2})$$

$$P_{ww} = \Delta T * c_{pl} * q_{m1}$$

$$T_{uit1} = T_{in1} - \Delta T$$

$$T_{uit2} = T_{in2} + \Delta T$$

Als ($\Delta T > 0$) dan

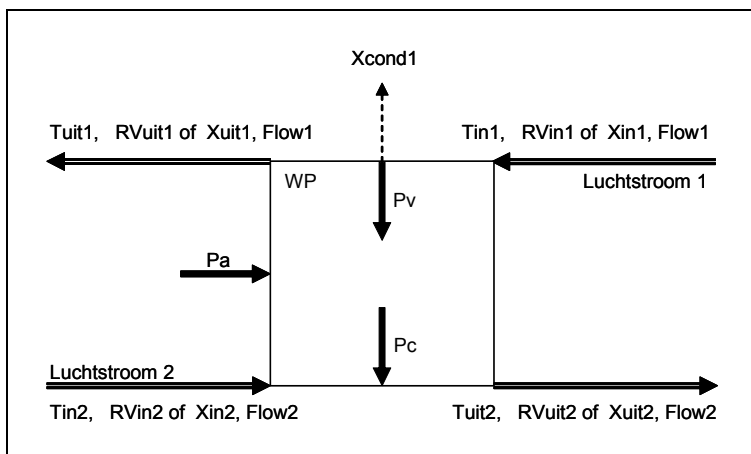
Als volgens het Mollier diagram de $RV_{uit1} > 100\%$, bereken dan de ontvochtiging X_{uit1} en X_{cond1} .

Anders

Als volgens het Mollier diagram de $RV_{uit2} > 100\%$, bereken dan de ontvochtiging H_{uit2} en X_{cond2} .

Einde als

Lucht-lucht warmtepomp/koelmachine



Fysische effecten:

- Warmtetransport van koude naar warme luchtstroom d.m.v. compressorwarmtepomp.
- Ontvochtigen gekoelde luchtstroom als RV boven 100% komt.

Modelparameters:

Pa Aandrijfvermogen [W]
 η_c constant carnotrendement [-]
 $q_{m,nom1/2}$ nominaal massadebiet stroom 1 / 2 [kg/s]

Invoervariabelen:

| | |
|---------|--|
| Tin1/2 | Ingaande luchttemperatuur stroom 1 / 2 [°C] |
| RVin1/2 | Relatieve vochtigheid ingaande stroom 1 / 2 [-] (optie) |
| Xin1/2 | Absolute vochtigheid ingaande stroom 1 / 2 [gr/kg] (uit RVin1/2) |
| qm1/2 | Massadebiet stroom 1 / 2 [kg/s] |

Uitvoervariabelen:

| | |
|----------|---|
| Tuit1/2 | Uitgaande luchttemperatuur stroom 1 / 2 [°C] |
| RVuit1/2 | Relatieve vochtigheid uitgaande stroom 1 / 2 [-] |
| Xuit1/2 | Absolute vochtigheid uitgaande stroom 1 / 2 [gr/kg] |
| Pv | Verdampervermogen [W] |
| Pc | Condensorvermogen [W] |
| COP | COP [-] |
| Xcond1 | Gecondenseerd vocht stroom 1 [gr/kg] |

Formules/berekeningswijze:

$$\text{COP} = \eta_c * (273.18 + \text{Tuit2}) / (\text{Tuit2} - \text{Tuit1})$$

$$\text{Pc} = \text{COP} * \text{Pa}$$

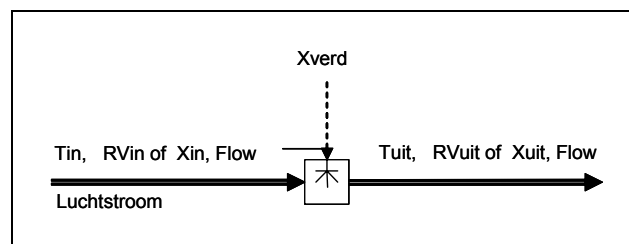
$$\text{Pv} = \text{Pc} - \text{Pa}$$

$$\text{Tuit1} = \text{Tin1} - \text{Pv} / (\text{cp1} * \text{qm1})$$

$$\text{Tuit2} = \text{Tin2} + \text{Pc} / (\text{cp1} * \text{qm2})$$

Als volgens het Mollier diagram de RVuit1 > 100%, bereken dan de ontvochtiging Xuit1 en Xcond1.

Iteratieve berekening vereist totdat convergentie optreedt.

Adiabatische luchtkoeler (luchtbevochtiger)**Fysische effecten:**

- Koeling luchtstroom door adiabatische bevochtiging.

Modelparameters

η_x constant rendement bevochtiger[-]

$q_{m,nom}$ nominaal massadebiet [kg/s]

Invoervariabelen:

| | |
|--------|---|
| Tin | Ingaande luchttemperatuur [°C] |
| RVin | Relatieve vochtigheid ingaande stroom [-] <i>of</i> |
| Xin | Absolute vochtigheid ingaande stroom [gr/kg] |
| qm | Massadebiet stroom [kg/s] |
| Status | Aan /.uit |

Uitvoervariabelen:

| | |
|-------|---|
| Tuit | Uitgaande luchttemperatuur [°C] |
| RVuit | Relatieve vochtigheid uitgaande stroom 1 / 2 [-] |
| Xverd | Verdamppt water [gr/kg] <i>of</i> |
| Xuit | Absolute vochtigheid uitgaande stroom 1 / 2 [gr/kg] |

Formules/berekeningswijze:

Als (Status=Aan) dan

Bepaal volgens het Mollier diagram de maximale luchtvochtigheid

Xuit,max.

$$Xuit = Xin + \eta_x * (Xuit,max - Xin)$$

Bepaal volgens het Mollier diagram de resulterende temperatuur Tuit.

$$Xverd = Xuit - Xmin$$

Anders

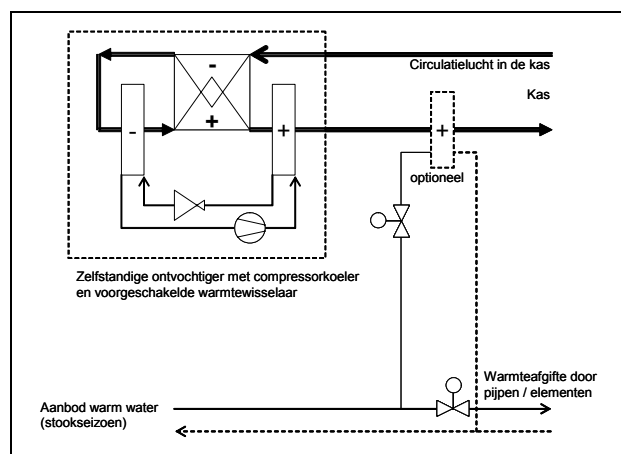
$$Xuit = Xin$$

$$Tuit = Tin$$

Einde als

B2.3 Systeemoverzicht

Uitkoelen van vocht met zelfstandig warmtepomp



Figuur 1 Uitkoelen van vocht met warmtepomp en voorgeschakelde warmtewisselaar

Modelvorming

Deze ontvochtiger bestaat uit twee componenten:

- Lucht-lucht warmtewisselaar
- Lucht-lucht warmtepomp/koelmachine

De ontvochtiger wordt aan/uit geregeld, waarbij zowel de koelmachine/wp als de circulatie worden geschakeld.

Regeling

| | |
|-----------------|---|
| Verwarming | Traditionele regeling |
| Koeling | Traditionele regeling van de ventilatie |
| Ontvochtiging | Aan/uit regelen ontvochtiger op basis ingestelde RV. Aanvullend ventilatie via gebruikelijke regeling. |
| CO ₂ | Traditionele regeling |

Implementatie

Het rendement wordt gelijk gehouden ongeacht of er condensatie is of niet. Dit houdt in dat de warmtestroom kan worden berekend met de kaslucht temperatuur en de temperatuur van de lucht nabij de verdamper. Aan de opwarmende zijde kan dan de uitgaande temperatuur worden berekend met:

$$T_{uit2} = (1-\eta) \cdot T_{verdamper} + \eta \cdot T_{kaslucht}$$

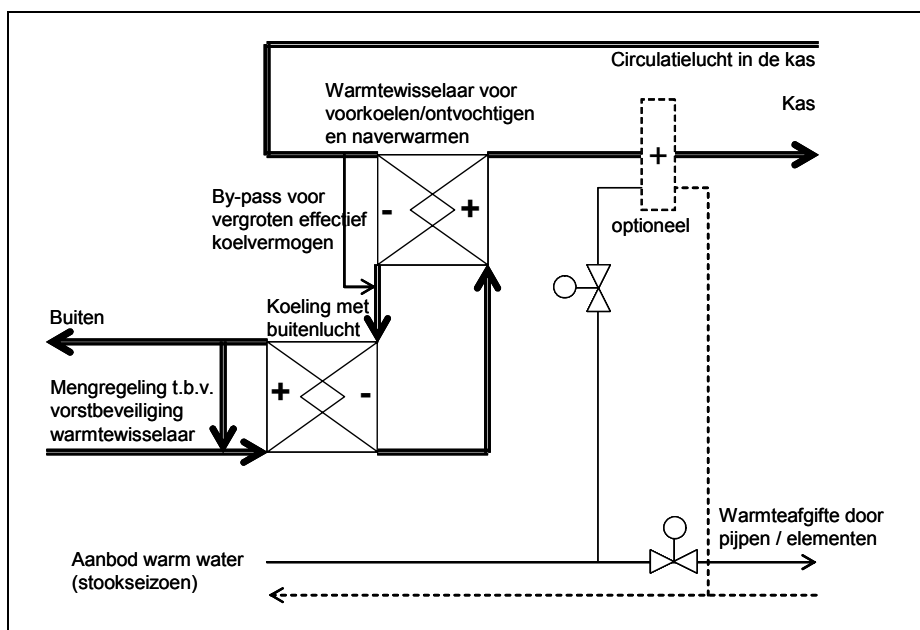
Aan de andere zijde moet rekening worden gehouden met de condensatie en zal de warmtestroom deels voelbaar deels latent zijn. De uitgaande temperatuur hier wordt:

$$T_{uit1} = T_{kaslucht} - (\eta * (T_{kaslucht} - T_{verdamper}) * c_{p,air} - dx * L_v) / 1280$$

waarbij dx de ontvochtiging is in kg/m^3 , deze wordt bepaald door de hoeveelheid vocht in de kaslucht en de verzadigingshoeveelheid van T_{uit1} . Dit gebeurt iteratief.

Bij een te hoge vochtigheid wordt eerst de ontvochtiger ingeschakeld. Als dan de RV te hoog blijft wordt het raam vrijgegeven en de ontvochtiger uitgeschakeld. De ontvochtiger wordt ook uitgeschakeld als het raam wordt geopend wegens te hoge temperaturen in de kas.

Uitkoelen van vocht met warmtewisselaar met buitenlucht



Figuur 2 Uitkoelen van vocht met warmtewisselaar met buitenlucht.

Modelvorming

Deze ontvochtiger bestaat uit twee componenten:

- Lucht-lucht warmtewisselaar als voorcoeler/naverwarmer circulatielucht
- Lucht-lucht warmtewisselaar circulatielucht/buitenlucht

De ontvochtiger wordt aan/uit geregeld, waarbij zowel de circulatie- als de buitenluchtventilator worden geschakeld.

De by-pass wordt aan/uit gestuurd. De by-pass wordt gemodelleerd als een schakeling tussen nominaal en 0% rendement van de warmtewisselaar als voorkoeler/naverwarmer circulatielucht

Regeling

Verwarming

Traditionele regeling

Koeling

Als koeling gewenst is wordt de by-pass over de eerste warmtewisselaar geopend (te modelleren door een rendement van 0% toe te passen).

Als dat onvoldoende is wordt de traditionele regeling van de ventilatie toegepast

Ontvochtiging

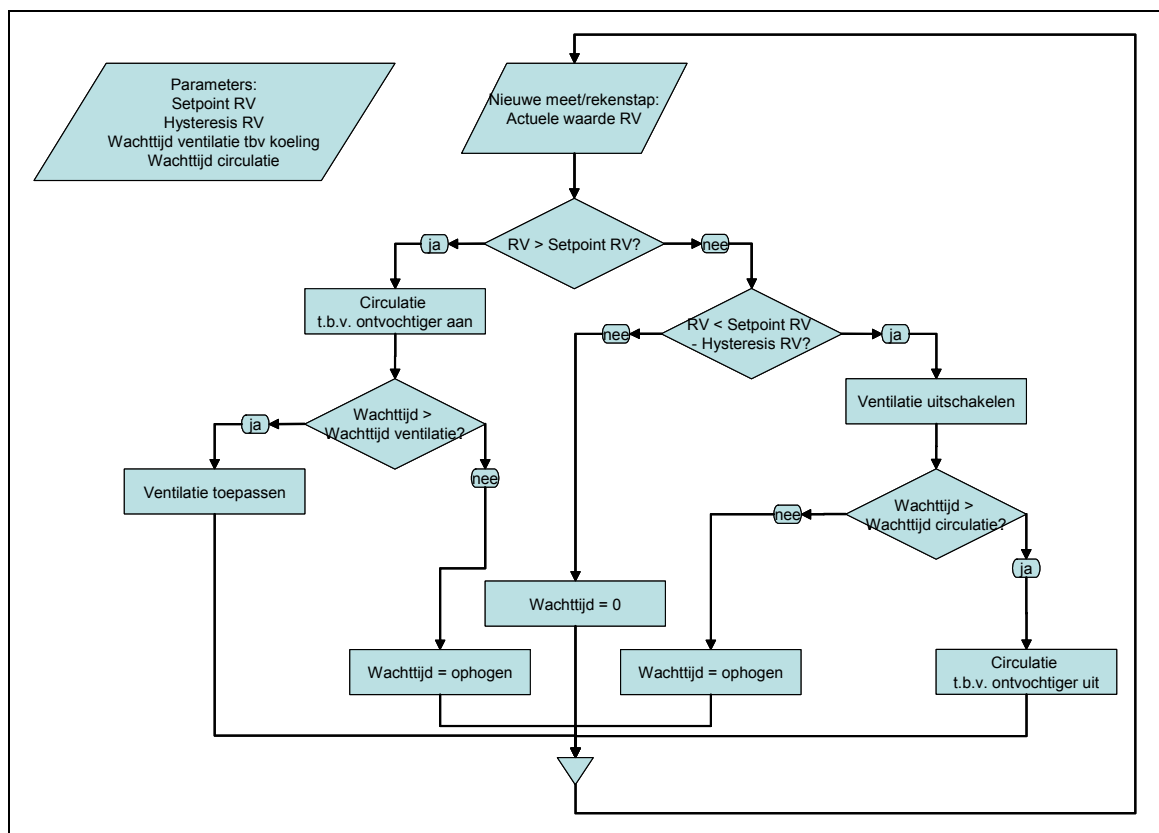
Aan/uit regelen ontvochtiger (circulatielucht) op basis ingestelde RV.

Aanvullend ventilatie via gebruikelijke regeling.

Om dichtvriezen van de tweede wtw te voorkomen wordt de buitenlucht zodanig gemengd dat de temperatuur boven 0°C ligt.

CO₂

Traditionele regeling



Figuur 3 Schakelschema ontvochtiging met warmtewisselaar en natuurlijke ventilatie

Omdat de bandbreedte voor RV-regeling beperkt is, is gekozen voor een regeling met één ingestelde RV-waarde plus hysteresis. Om toch een volgorderegeling van de verschillende ontvochtigers te krijgen wordt met wachttijden gewerkt, waardoor een gelijktijdig schakelen van alle ontvochtigers te voorkomen.

Implementatie

Hiervoor is het model van de ontvochtiger met warmtepomp aangepast.

Uitgangspunt is de uitgaande temperatuur van de 1^e warmtewisselaar (T_{ww1}).

Voor het berekenen van T_{verdamer} (setpoint WP stond op 4°C) volgt nu:

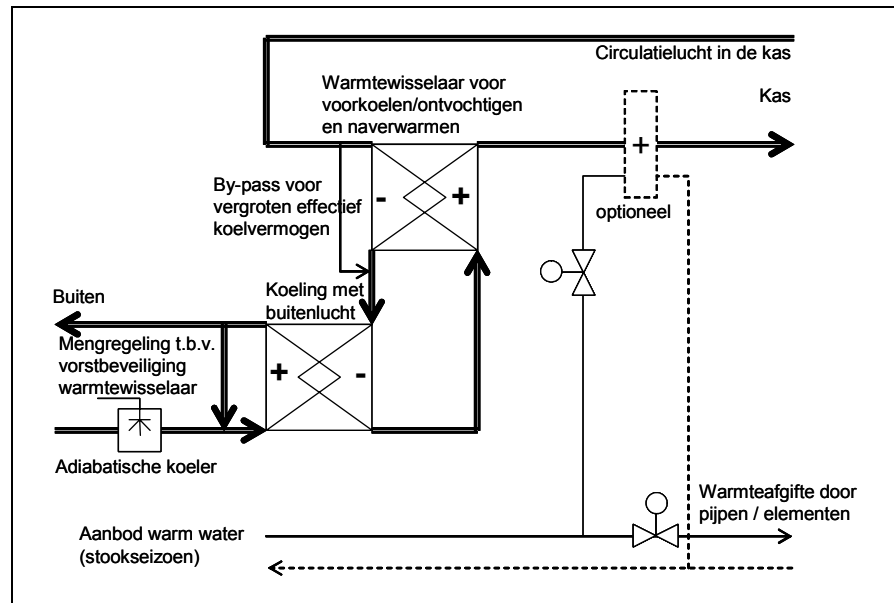
$$T_{\text{verdamer}} = 0.8 \cdot T_{\text{buiten}} + 0.2 \cdot T_{\text{ww1}}$$

Hierbij is een ww-rendement van 80% gebruikt.

Stijgt de verdampertemperatuur hier bovenuit dan wordt er vermogen aan de ‘verdamer’ (warmtewisselaar) onttrokken, zodanig dat de verdampertemperatuur op het setpoint uitkomt. Daar waar bij gebruik van de warmtepomp dit vermogen, inclusief het asvermogen naar de condensor werd gevoerd en dus in de kas terecht kwam, wordt dit nu gewoon weggegooid (c.q. naar buiten afgevoerd).

In tegenstelling tot de warmtepomp die aan/uit werd geregeld, wordt het hier benodigde vermogen wel netjes middels een PI-regelaar geregeld zodat de ‘verdamer’ netjes bij het per rekenstap berekende setpoint blijft.

Uitkoelen van vocht met warmtewisselaar met buitenlucht en adiabatise koeler



Figuur 4 Uitkoelen van vocht met warmtewisselaar met buitenlucht en adiabatise koeler.

Modelvorming

Deze ontvochtiger bestaat uit drie componenten:

- Lucht-lucht warmtewisselaar als voorkoeler/naverwarmer circulatielucht
- Lucht-lucht warmtewisselaar circulatielucht/buitenlucht
- Adiabatise koeler, voorgeschakeld in de toevoer van buitenlucht

De ontvochtiger wordt aan/uit geregeld, waarbij zowel de circulatie- als de buitenluchtventilator worden geschakeld.

De by-pass wordt aan/uit gestuurd. De by-pass wordt gemodelleerd als een schakeling tussen nominaal en 0% rendement van de warmtewisselaar als voorkoeler/naverwarmer circulatielucht

Regeling

Verwarming

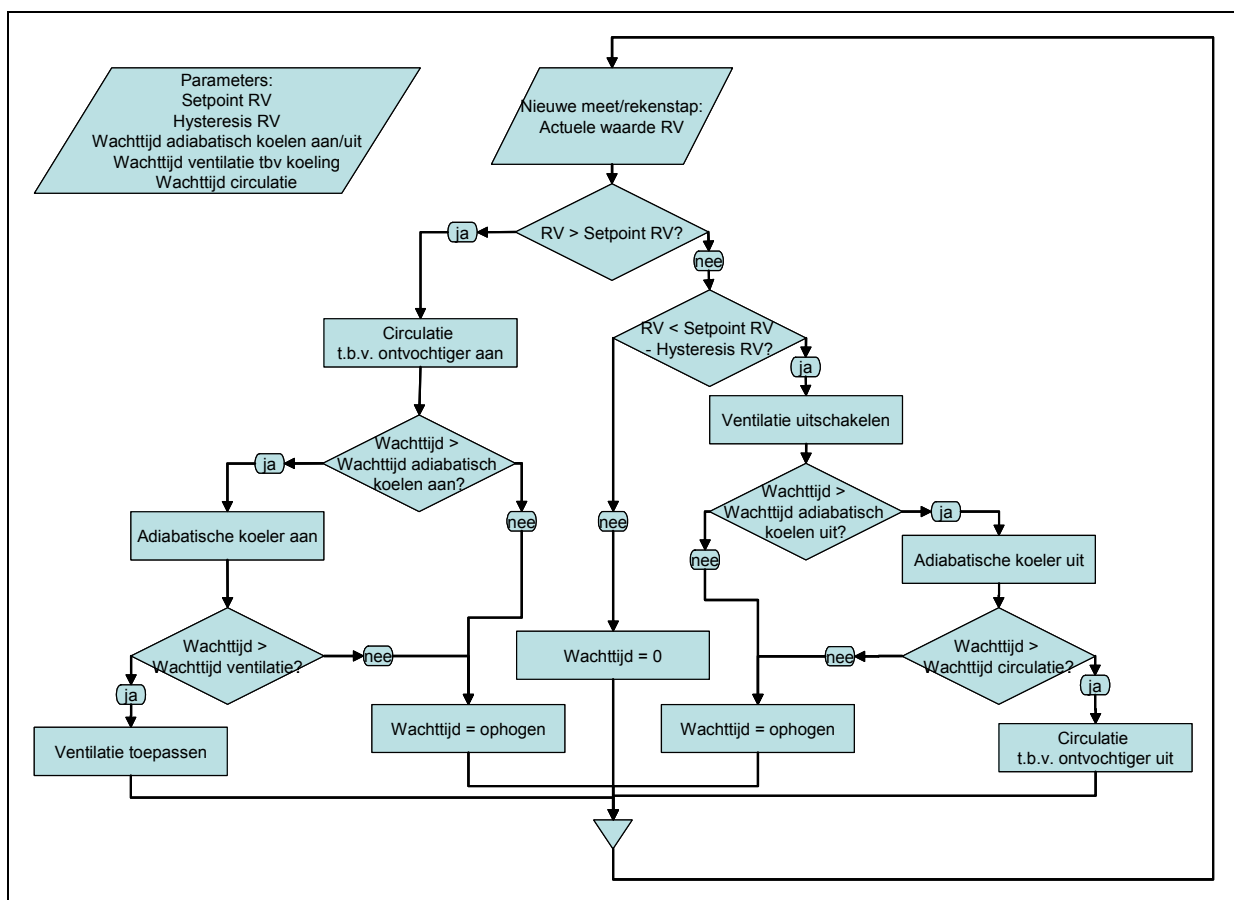
Traditionele regeling

Koeling

Als koeling gewenst is wordt de by-pass over de eerste warmtewisselaar geopend (te modelleren door een rendement van 0% toe te passen).

Als dat onvoldoende is wordt de traditionele regeling van de ventilatie toegepast

| | |
|-----------------|--|
| Ontvochtiging | Aan/uit regelen ontvochtiger (circulatielucht) op basis ingestelde RV. Aan/uit regelen adiabatische koeler op basis ingestelde RV (iets hogere schakelpunten – zie schakelschema). Aanvullend ventilatie via gebruikelijke regeling. Om dichtvriezen van de tweede wtw te voorkomen wordt de buitenlucht zodanig gemengd dat de temperatuur boven 0°C ligt. |
| CO ₂ | Traditionele regeling |



Figuur 5 Schakelschema ontvochtiging met warmtewisselaar, adiabatische koeling en natuurlijke ventilatie

Implementatie

Hiervoor wordt hetzelfde model gebruikt als voor de warmtewisselaar met buitenlucht, waarbij de buitenlucht eerst wordt verlaagd tot de natte-bol temperatuur.

Bijlage 3 Overzicht uitvoervariabelen KasPro

| | | |
|----|--------------------------|---|
| 1 | Tout | buitentemperatuur in °C |
| 2 | weather.RVout | buiten RV in % |
| 3 | TAir | de kasluchttemperatuur in °C |
| 4 | H2Oair.RV | buiten-RV in % |
| 5 | H2OAir | de luchtvochtigheid van de kaslucht in kg/m ³ |
| 6 | Ontv.Tww1 | de temperatuur van de lucht vanuit de kas nadat de voorgeschakelde warmtewisselaar is gepasseerd in °C |
| 7 | Tverdamper | temperatuur van de lucht die uit de verdamper komt in °C |
| 8 | Ontv.Tww2 | de temperatuur van de bij de verdamper ontvochtigde lucht nadat deze bij de voorgeschakelde warmtewisselaar is opgewarmd (maar voor de condensor) in °C |
| 9 | Tcondensor | temperatuur van de lucht die uit de condensor komt in °C |
| 10 | Ontv.debiet | het luchtdebiet door de ontvochtiger in m ³ /s/m ² |
| 11 | Ontv.P | het elektriciteitsverbruik (asvermogen) van de warmtepomp in W/m ² |
| 12 | Ontv.COPWP | de COP |
| 13 | PUitCondensor | Het vermogen dat de condensor aan de lucht toevoegt in W/m ² |
| 14 | Ontv.PWW | het vermogen dat in de voorgeschakelde warmtewisselaar wordt overgedragen in W/m ² |
| 15 | MvOntv | ontvochtigingsflux vanwege de ontvochtiger inclusief voorgeschakelde warmtewisselaar in kg/s/m ² |
| 16 | POntvAir | de netto voelbare warmte die tijdens ontvochtiging aan de kaslucht wordt toegevoegd in W/m ² |
| 17 | fvent | ventilatiedebiet met de buitenlucht (lek + raamopening) in m ³ /s/m ² Deze variabele heeft alleen een waarde >0 bij geopend scherm. |
| 18 | conwin. Windowopening | raam-opening in % |
| 19 | Gasverbruik | gasverbruik van de ketel m ³ /s/m ² |
| 20 | Ontv.XsatuVerd | De vochtinhoud van de lucht die uit de verdamper komt (per definitie op 100% RV bij de verdampertemperatuur gezet) in kg/m ³ |
| 21 | Ontv.Xww | De vochtinhoud van de lucht die uit de warmtewisselaar stroomt. (dit zal vaak hetzelfde zijn als de vochtinhoud van verzadigde lucht bij de temperatuur in kolom (6) van de output-file) in kg/m ³ |
| 22 | Setpoints.Spvent | Ventilatietemperatuur in °C |
| 23 | PConFlow | Vermogen van de ketel naar het ondernet in W/m ² |

| | | |
|----|-----------------------|--|
| 24 | PConTupp | Vermogen van de ketel naar het bovennet. Dit is exclusief het vermogen dat de condensor op het bovennet 'loost' in W/m^2 . |
| 25 | Weather.Iglob | Globale straling in W/m^2 |
| 26 | Convocht. Winvocht | raam-opening op vocht in % |
| 27 | MVtranspan | Verdamping door de teelt in $kg/s/m^2$ |

Bijlage 4 Jaartotalen simulaties KasPro

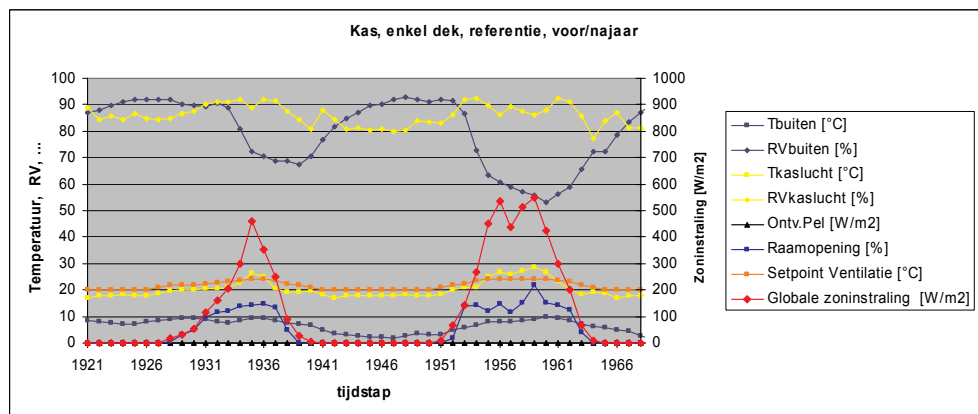
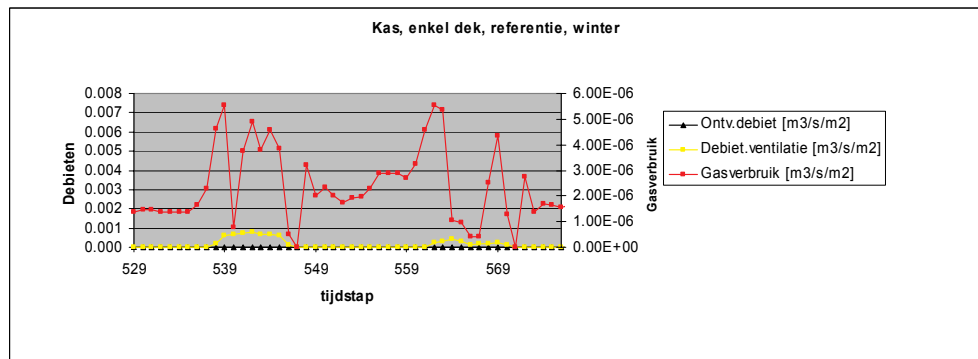
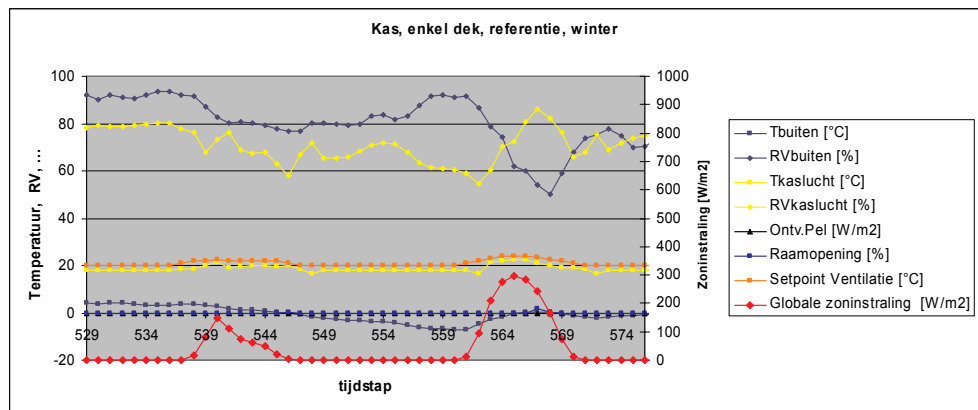
| Enkel dek | Ref | WP | WP | WW | WW | WW-A | WW-A |
|--|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | RV | 90% | 85% | 90% | 85% | 90% | 85% |
| Tkaslucht min | 4.7 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 |
| Tkaslucht max | 37.8 | 37.9 | 37.8 | 37.6 | 37.6 | 37.5 | 37.5 |
| Tkaslucht gem | 20.7 | 21.0 | 21.0 | 20.7 | 20.6 | 20.7 | 20.6 |
| RVkas min [%] | 40.7 | 40.7 | 40.8 | 40.8 | 40.7 | 40.8 | 40.8 |
| RVkas max [%] | 99.7 | 99.8 | 99.8 | 99.8 | 99.8 | 99.8 | 99.8 |
| RVkas gem [%] | 84.3 | 84.9 | 83.6 | 84.7 | 83.7 | 84.6 | 83.6 |
| Tkaslucht > 25 gr.C [%] | 18.7 | 20.7 | 20.7 | 19.2 | 18.3 | 19.1 | 18.1 |
| Tkaslucht > 30 gr.C [%] | 8.8 | 8.9 | 8.9 | 8.4 | 8.3 | 8.1 | 8.1 |
| Tkaslucht > 35 gr.C [%] | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.1 |
| RVkaslucht > 85 % [%] | 57.2 | 62.3 | 46.2 | 60.4 | 51.8 | 59.7 | 50.2 |
| RVkaslucht > 90 % [%] | 27.6 | 29.1 | 21.2 | 30.6 | 23.1 | 29.8 | 22.2 |
| RVkaslucht > 95 % [%] | 5.4 | 7.4 | 6.6 | 5.0 | 4.0 | 4.6 | 3.8 |
| Verdamping [kg/m ² /jr] | 693.6 | 676.8 | 696.0 | 687.6 | 708.5 | 692.2 | 713.3 |
| Ontvochtiging [kg/m ² /jr] | n.v.t. | 21.1 | 49.8 | 80.7 | 91.9 | 105.9 | 118.5 |
| Aandeel ontvochtiging van verdamping [%] | n.v.t. | 3.1 | 7.2 | 11.7 | 13.0 | 15.3 | 16.6 |
| Ontvochtiging door WW [kg/m ² /jr] | n.v.t. | 11.2 | 23.0 | 26.0 | 30.1 | 34.3 | 39.2 |
| Aandeel voorgeschakelde WW in ontvochtiging [%] | n.v.t. | 53.1 | 46.2 | 32.2 | 32.8 | 32.4 | 33.1 |
| Ventilatiehoeveelheid gem [m ³ /h/m ²] * | 4.8 | 3.7 | 3.8 | 3.7 | 4.2 | 3.6 | 4.1 |
| Raamopening gem [%] | 10.3 | 6.9 | 7.2 | 6.9 | 8.2 | 6.6 | 7.9 |
| Raam open [% uren] ** | 60.4 | 36.9 | 41.4 | 37.3 | 45.9 | 36.7 | 44.8 |
| Ketel aan [% uren] | 80.1 | 78.6 | 77.4 | 80.3 | 80.8 | 80.5 | 81.1 |
| Ontvochtiger aan [% uren] | n.v.t. | 28.4 | 43.9 | 50.6 | 64.3 | 50.2 | 64.1 |
| Raam open & ketel aan [% uren] | 48.7 | 33.5 | 37.2 | 34.6 | 40.4 | 34.1 | 40.0 |
| Raam open & ontvochtiger aan [% uren] | n.v.t. | 8.4 | 14.1 | 34.5 | 43.0 | 33.8 | 42.0 |
| Ketel aan & ontvochtiger aan [% uren] | n.v.t. | 18.6 | 27.2 | 44.1 | 53.8 | 44.1 | 53.9 |
| Raam open & ketel aan & ontvochtiger aan [% uren] | n.v.t. | 7.0 | 11.8 | 33.7 | 39.5 | 33.1 | 39.0 |
| Inzet ontvochtiger (debiet) [%] | n.v.t. | 8.3 | 17.2 | 38.5 | 51.5 | 37.7 | 50.4 |
| Pwp,gem [W/m ²] | n.v.t. | 0.66 | 1.38 | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. |
| Pcondensor,gem [W/m ²] | n.v.t. | 2.58 | 6.00 | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. |
| Pverdamp,gem [W/m ²] | n.v.t. | 1.92 | 4.62 | p.m. | p.m. | p.m. | p.m. |
| Pww,gem [W/m ²] | n.v.t. | 1.15 | 3.01 | 3.4 | 4.4 | 4.3 | 5.4 |
| COPgem [-] | n.v.t. | 3.89 | 4.35 | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. |
| Pontvochtiger, totaal [W/m ²] | n.v.t. | 3.06 | 7.63 | p.m. | p.m. | p.m. | p.m. |
| Pontvochtiger, voelbaar [W/m ²] | n.v.t. | 2.30 | 5.25 | -0.84 | -1.09 | -1.08 | -1.35 |
| Warmteafgifte verwarming (onder en boven) [MJ/m ² /jr] | 1028.0 | 853.7 | 823.0 | 926.4 | 1016.4 | 929.2 | 1019.5 |
| Gasverbruik verwarming [MJ/m ² /jr ow] | 1130.0 | 949.3 | 917.6 | 1022.7 | 1116.3 | 1025.2 | 1118.1 |
| Rendement opwekking verwarming [% ow] | 91.0 | 89.9 | 89.7 | 90.6 | 91.1 | 90.6 | 91.2 |
| Gasverbruik verwarming [m ³ gas/m ² /jr] | 35.7 | 30.0 | 29.0 | 32.3 | 35.3 | 32.4 | 35.3 |
| Elektrisch verbruik WP condensor [MJ/m ² /jr] | n.v.t. | 20.9 | 43.5 | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. |
| Gasverbruik equiv. tbv WP condensor [m ³ gas/m ² /jr] | n.v.t. | 1.5 | 3.2 | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. |
| Elektrisch verbruik ventilatoren [kWh/m ² /jr] | 0 | 0.7 | 1.5 | 6.7 | 9.0 | 6.6 | 8.8 |
| Gasverbruik equiv. tbv ventilatoren [m ³ gas/m ² /jr] | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 1.8 | 2.4 | 1.7 | 2.3 |
| Gasverbruik equiv. verwarming, WP, vent. [m ³ gas/m ² /jr] | 35.7 | 31.7 | 32.6 | 34.1 | 37.6 | 34.1 | 37.7 |
| Totaal elektrisch verbruik [kWh/m ² /jr] | 0.0 | 6.5 | 13.6 | 6.7 | 9.0 | 6.6 | 8.8 |
| Gasverbruik equiv. totaal t.o.v. referentie | 100 | 89 | 91 | 95 | 105 | 96 | 105 |

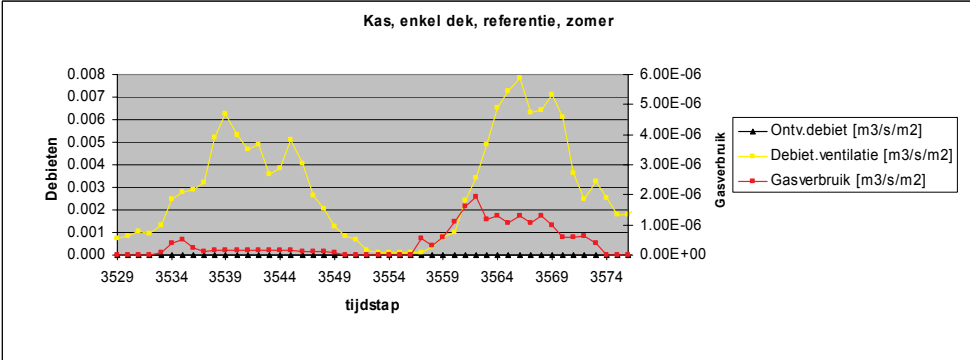
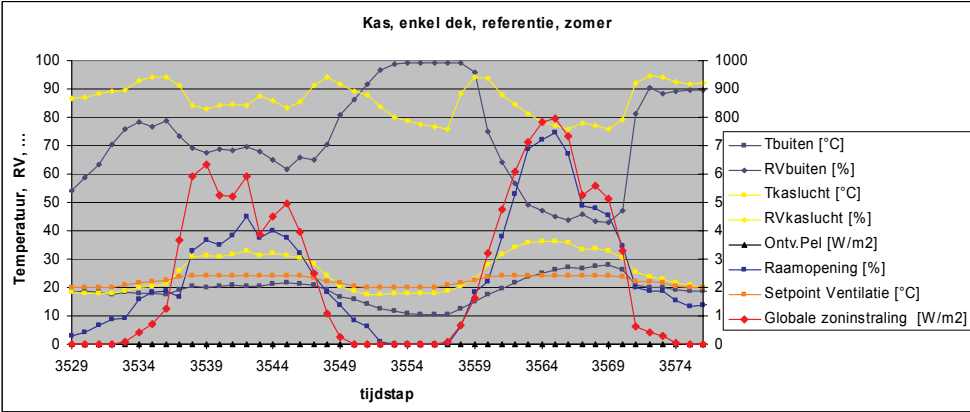
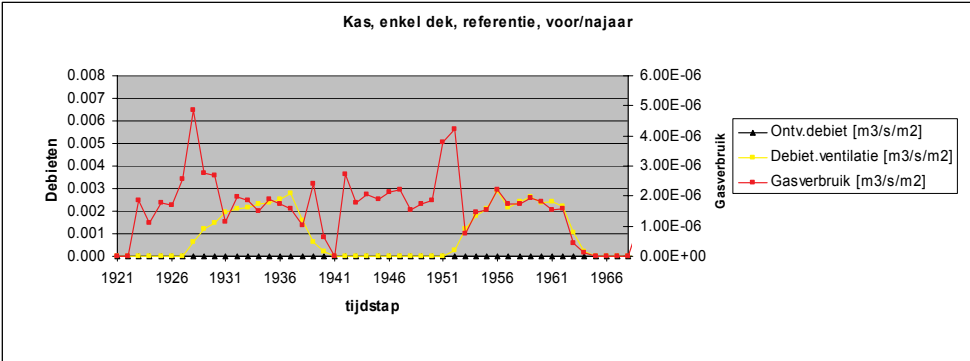
| dubbel dek | Ref | WP | WP | WW | WW | WW-A | WW-A |
|--|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | RV | 90% | 85% | 90% | 85% | 90% | 85% |
| Tkaslucht min | 6.0 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.3 |
| Tkaslucht max | 38.4 | 38.5 | 38.5 | 38.2 | 38.2 | 38.1 | 38.1 |
| Tkaslucht gem | 21.2 | 21.8 | 21.8 | 21.3 | 21.1 | 21.3 | 21.1 |
| RVkas min [%] | 45.8 | 45.8 | 45.9 | 45.8 | 45.8 | 45.8 | 45.8 |
| RVkas max [%] | 99.7 | 99.9 | 99.9 | 99.1 | 99.1 | 99.1 | 99.2 |
| RVkas gem [%] | 86.7 | 87.7 | 86.1 | 87.2 | 85.8 | 87.0 | 85.6 |
| Tkaslucht > 25 gr.C [%] | 21.7 | 24.1 | 24.0 | 22.1 | 20.9 | 21.9 | 20.7 |
| Tkaslucht > 30 gr.C [%] | 11.2 | 11.3 | 11.3 | 10.4 | 10.4 | 10.0 | 10.1 |
| Tkaslucht > 35 gr.C [%] | 2.3 | 2.3 | 2.3 | 2.1 | 2.1 | 1.9 | 1.9 |
| RVkaslucht > 85 % [%] | 70.1 | 74.9 | 57.4 | 72.9 | 63.9 | 72.2 | 62.2 |
| RVkaslucht > 90 % [%] | 34.5 | 41.0 | 29.3 | 40.2 | 26.3 | 38.8 | 25.2 |
| RVkaslucht > 95 % [%] | 8.7 | 13.7 | 12.4 | 6.8 | 5.0 | 6.0 | 4.6 |
| Verdamping [kg/m ² /jr] | 716.8 | 695.9 | 716.3 | 714.4 | 738.4 | 719.4 | 743.7 |
| Ontvochtiging [kg/m ² /jr] | n.v.t. | 27.5 | 57.7 | 112.7 | 124.4 | 140.0 | 153.7 |
| Aandeel ontvochtiging van verdamping [%] | n.v.t. | 4.0 | 8.1 | 15.8 | 16.8 | 19.5 | 20.7 |
| Ontvochtiging door WW [kg/m ² /jr] | n.v.t. | 13.7 | 25.3 | 35.1 | 37.9 | 44.3 | 48.0 |
| Aandeel voorgeschakelde WW in ontvochtiging [%] | n.v.t. | 49.8 | 43.8 | 31.1 | 30.5 | 31.6 | 31.2 |
| Ventilatiehoeveelheid gem [m ³ /h/m ²] * | 5.7 | 4.4 | 4.5 | 4.4 | 5.0 | 4.3 | 4.9 |
| Raamopening gem [%] | 13.3 | 9.1 | 9.3 | 8.9 | 10.6 | 8.6 | 10.2 |
| Raam open [% uren] ** | 74.2 | 47.0 | 51.4 | 45.5 | 57.1 | 44.6 | 55.6 |
| Ketel aan [% uren] | 76.7 | 73.1 | 72.2 | 76.1 | 77.1 | 76.1 | 77.3 |
| Ontvochtiger aan [% uren] | n.v.t. | 36.2 | 46.1 | 69.3 | 78.2 | 69.0 | 78.1 |
| Raam open & ketel aan [% uren] | 53.7 | 39.2 | 42.1 | 39.8 | 44.9 | 39.3 | 44.5 |
| Raam open & ontvochtiger aan [% uren] | n.v.t. | 9.7 | 15.8 | 43.1 | 54.6 | 42.1 | 53.1 |
| Ketel aan & ontvochtiger aan [% uren] | n.v.t. | 17.6 | 23.2 | 51.3 | 58.2 | 51.2 | 58.3 |
| Raam open & ketel aan & ontvochtiger aan [% uren] | n.v.t. | 6.6 | 10.9 | 39.1 | 44.2 | 38.5 | 43.7 |
| Inzet ontvochtiger (debiet) [%] | n.v.t. | 10.3 | 19.6 | 52.8 | 67.1 | 51.5 | 66.0 |
| Pwp,gem [W/m ²] | n.v.t. | 0.82 | 1.57 | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. |
| Pcondensor,gem [W/m ²] | n.v.t. | 3.34 | 6.94 | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. |
| Pverdamer,gem [W/m ²] | n.v.t. | 2.52 | 5.37 | p.m. | p.m. | p.m. | p.m. |
| Pww,gem [W/m ²] | n.v.t. | 1.54 | 3.56 | 4.7 | 5.9 | 5.8 | 7.1 |
| COPgem [-] | n.v.t. | 4.07 | 4.42 | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. |
| Pontvochtiger, totaal [W/m ²] | n.v.t. | 4.06 | 8.93 | p.m. | p.m. | p.m. | p.m. |
| Pontvochtiger, voelbaar [W/m ²] | n.v.t. | 2.96 | 6.05 | -1.18 | -1.47 | -1.44 | -1.77 |
| Warmteafgifte verwarming (onder en boven) [MJ/m ² /jr] | 701.1 | 466.2 | 440.7 | 577.4 | 692.5 | 579.9 | 695.1 |
| Gasverbruik verwarming [MJ/m ² /jr ow] | 815.6 | 601.6 | 588.4 | 697.3 | 804.5 | 693.8 | 806.4 |
| Rendement opwekking verwarming [% ow] | 86.0 | 77.5 | 74.9 | 82.8 | 86.1 | 83.6 | 86.2 |
| Gasverbruik verwarming [m ³ gas/m ² /jr] | 25.8 | 19.0 | 18.6 | 22.0 | 25.4 | 21.9 | 25.5 |
| Elektrisch verbruik WP condensor [MJ/m ² /jr] | n.v.t. | 25.9 | 49.5 | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. |
| Gasverbruik equiv. tbv WP condensor [m ³ gas/m ² /jr] | n.v.t. | 1.9 | 3.6 | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. | n.v.t. |
| Elektrisch verbruik ventilatoren [kWh/m ² /jr] | 0 | 0.9 | 1.7 | 9.3 | 11.8 | 9.0 | 11.6 |
| Gasverbruik equiv. tbv ventilatoren [m ³ gas/m ² /jr] | 0.0 | 0.2 | 0.5 | 2.4 | 3.1 | 2.4 | 3.0 |
| Gasverbruik equiv. verwarming, WP, vent. [m ³ gas/m ² /jr] | 25.8 | 21.1 | 22.7 | 24.5 | 28.5 | 24.3 | 28.5 |
| Totaal elektrisch verbruik [kWh/m ² /jr] | 0.0 | 8.1 | 15.5 | 9.3 | 11.8 | 9.0 | 11.6 |
| Gasverbruik equiv. totaal t.o.v. referentie | 72 | 59 | 63 | 69 | 80 | 68 | 80 |
| | 100 | 82 | 88 | 95 | 111 | 94 | 111 |

Bijlage 5 Resultaten simulaties KasPro

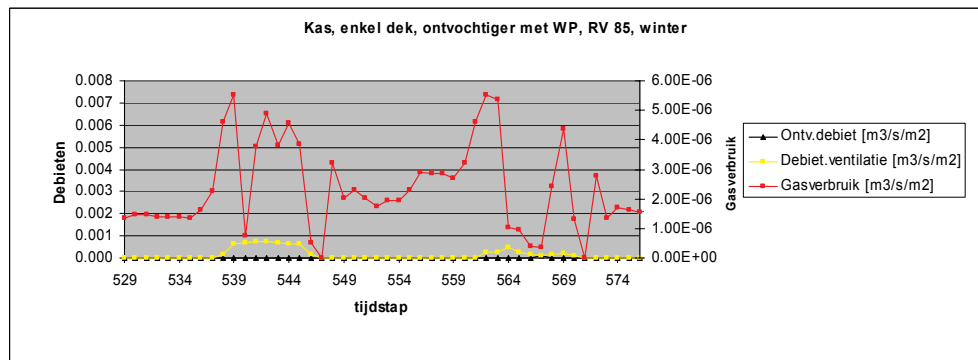
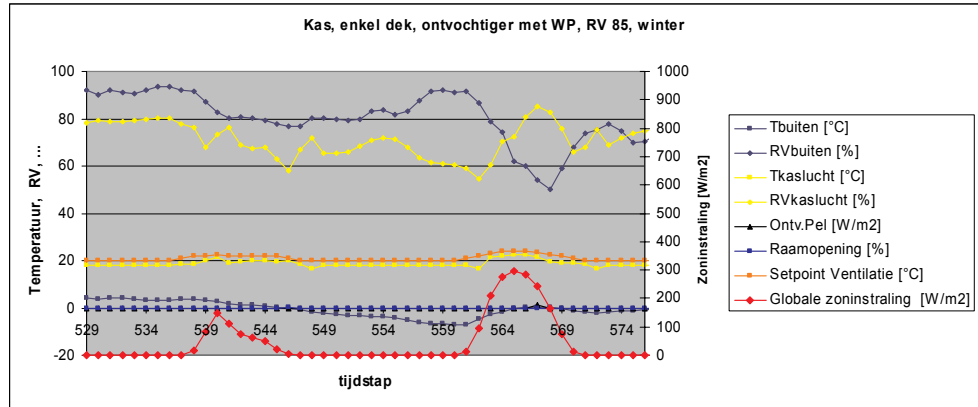
De hier getoonde resultaten geven het verloop van uurwaarden over perioden van 2 dagen voor de winter (dagnr 23, 24), voor/najaar (dagnr 81, 82) en zomer (dagnr 148, 149).

Kas met enkel dek. Referentie

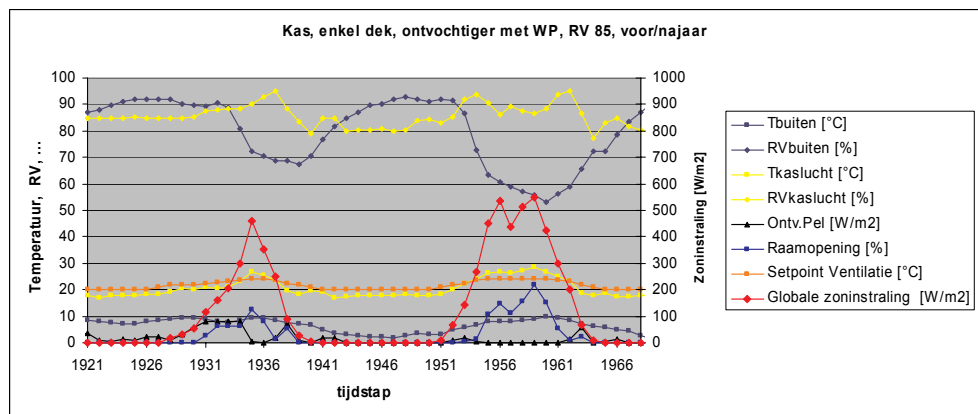


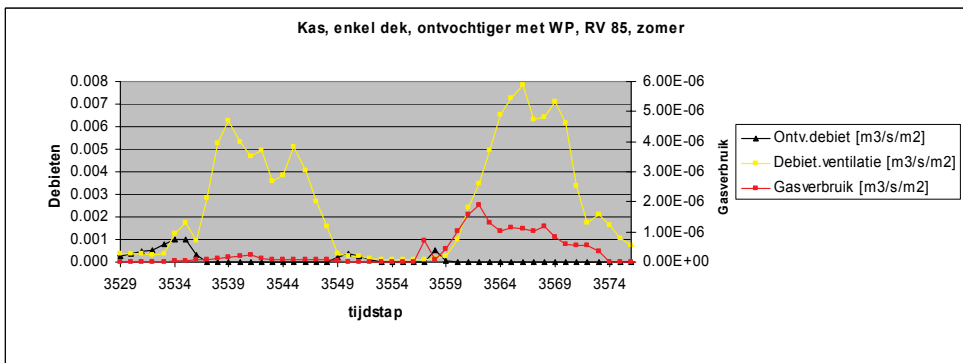
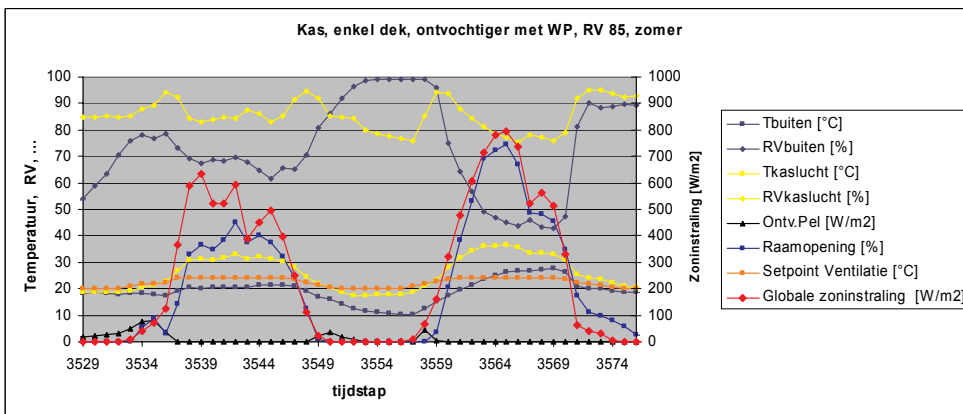
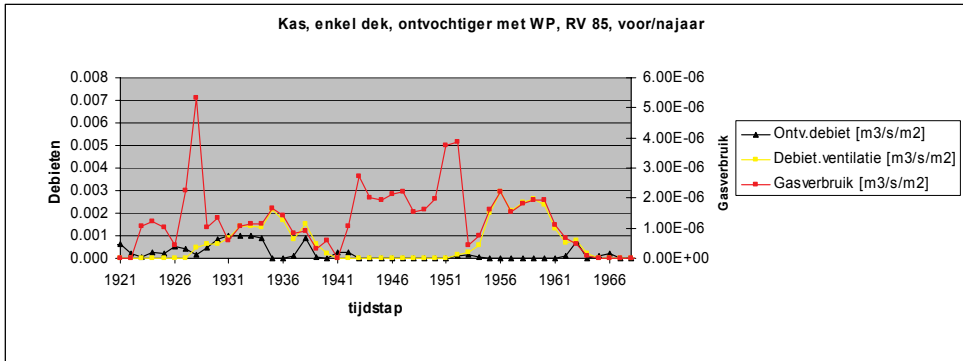


Kas met enkel dek. Ontvochtiger met warmtepomp, ingesteld op 85% RV

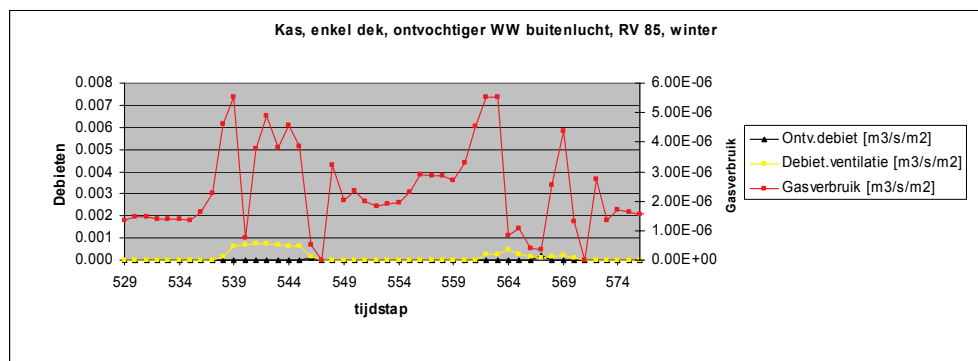
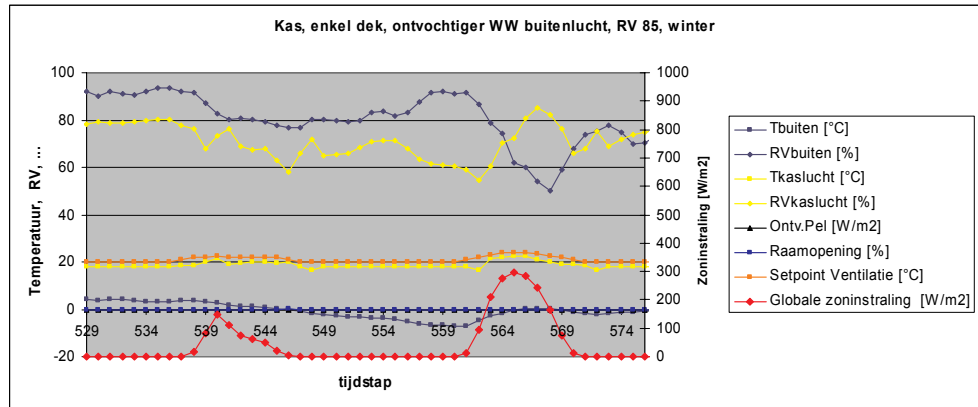


Gedurende beide dagen is de ontvochtiger uit omdat de RV onder 85% blijft.

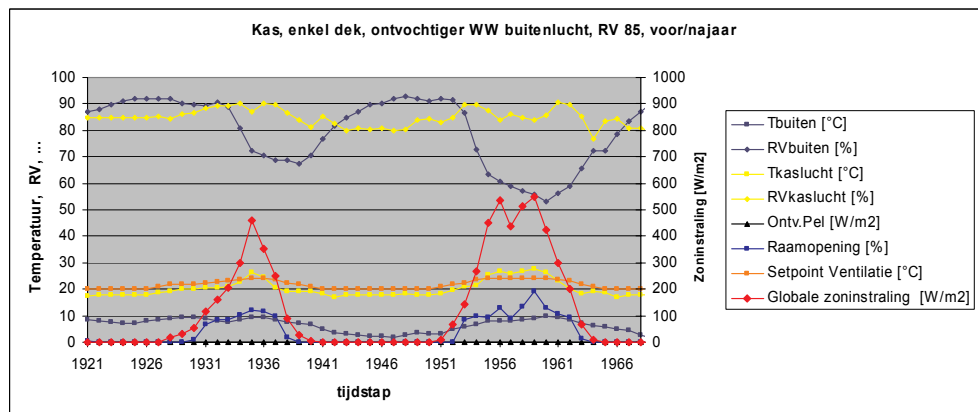


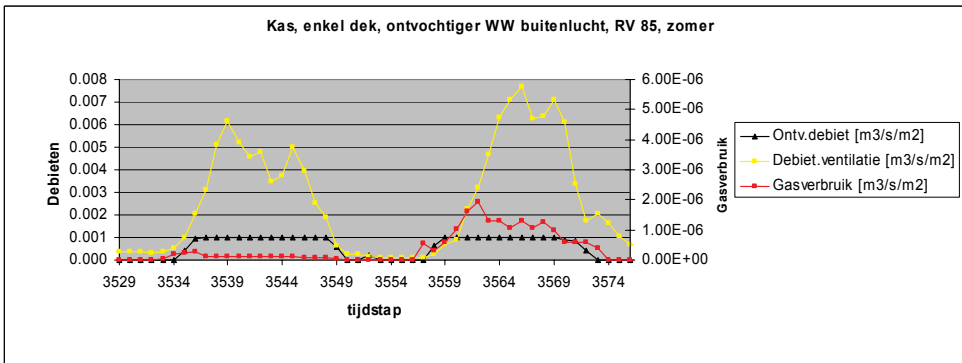
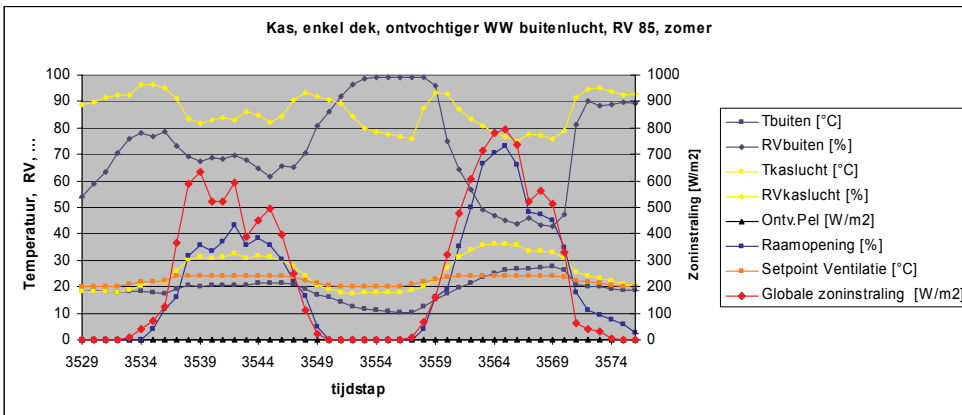
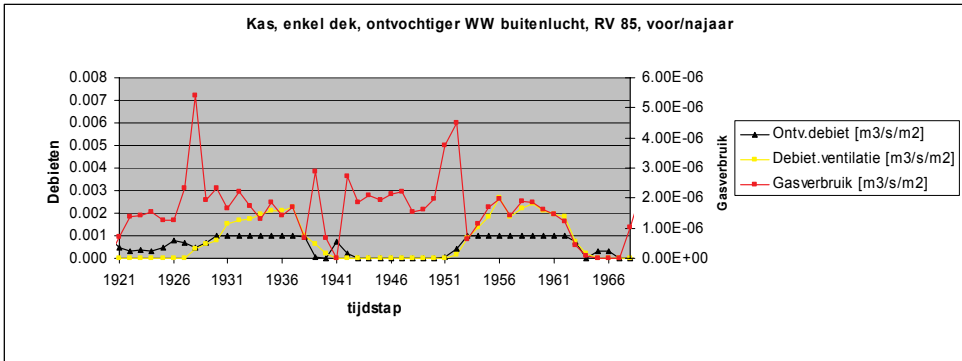


Kas met enkel dek. Ontvochtiger met warmtewisselaar met buitenlucht, ingesteld op 85% RV

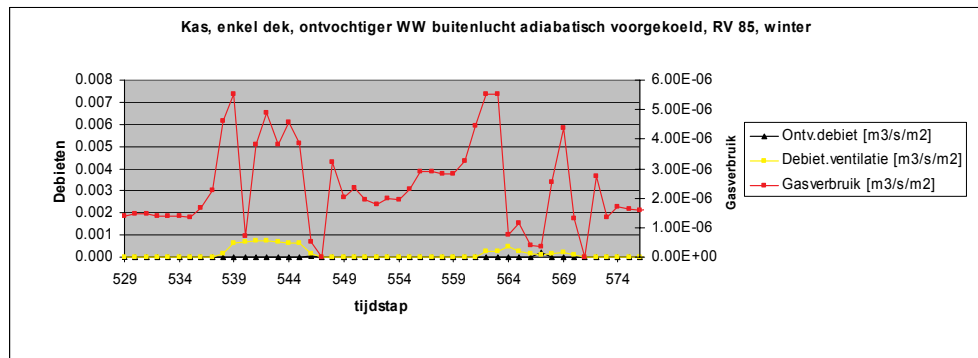
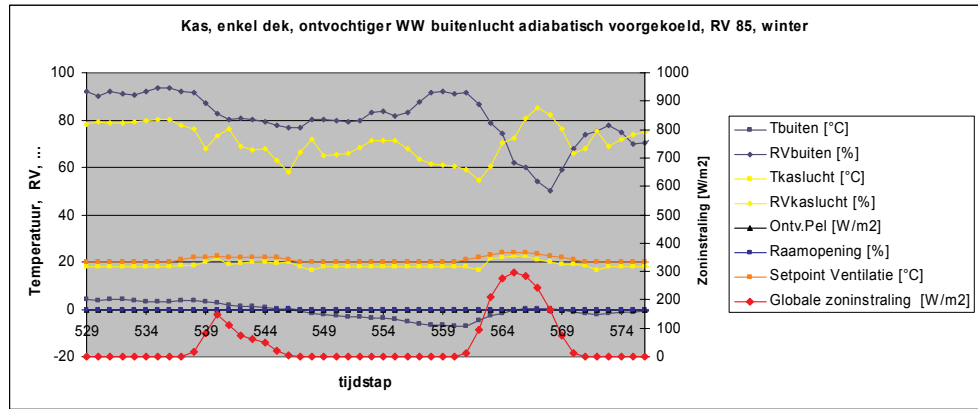


Gedurende beide dagen is de ontvochtiger uit omdat de RV onder 85% blijft.

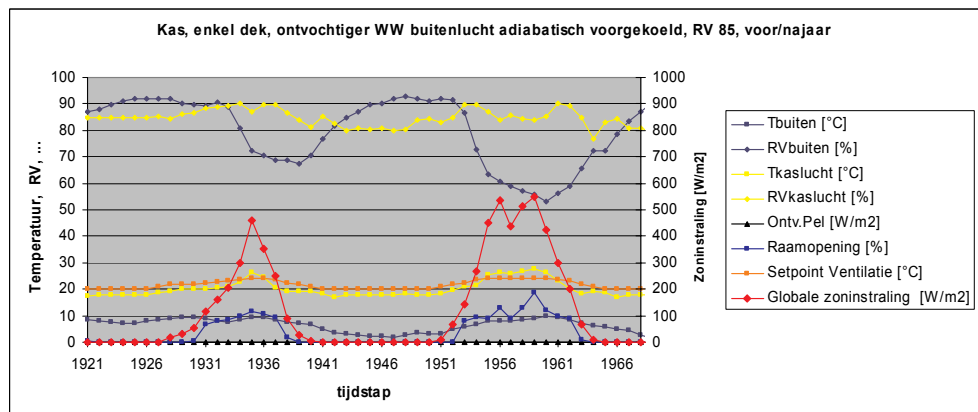


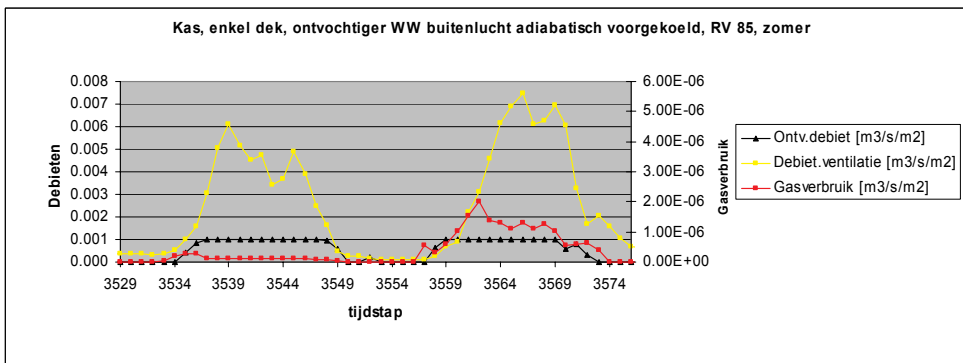
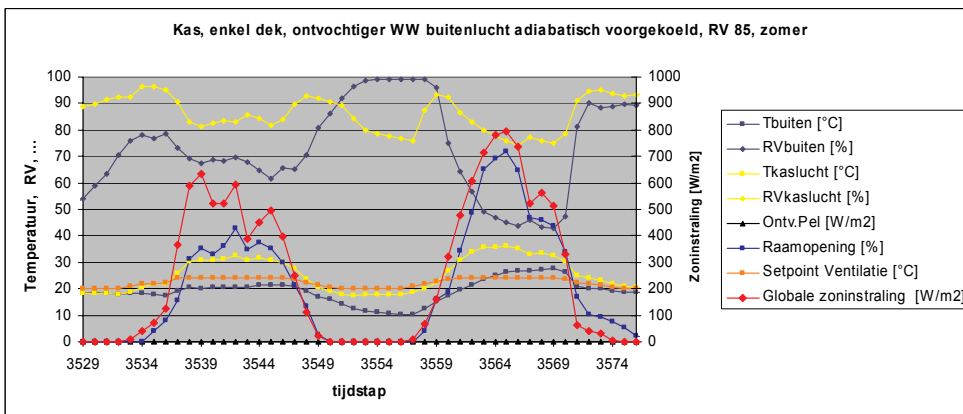
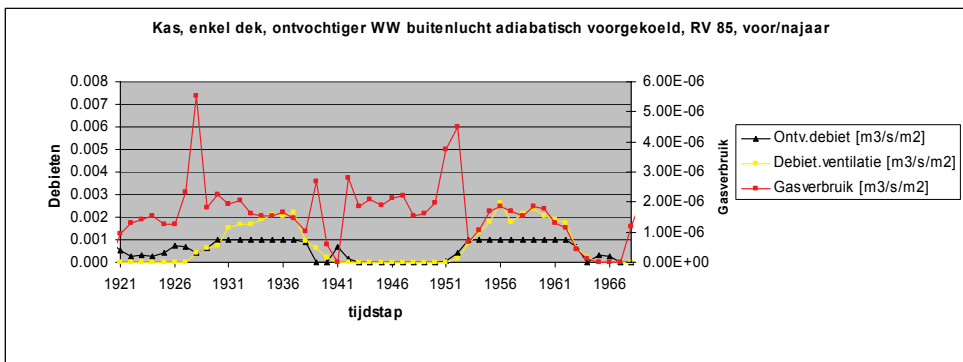


Kas met enkel dek. Ontvochtiger met warmtewisselaar met adiabatisch voorgekoelde buitenlucht, ingesteld op 85% RV

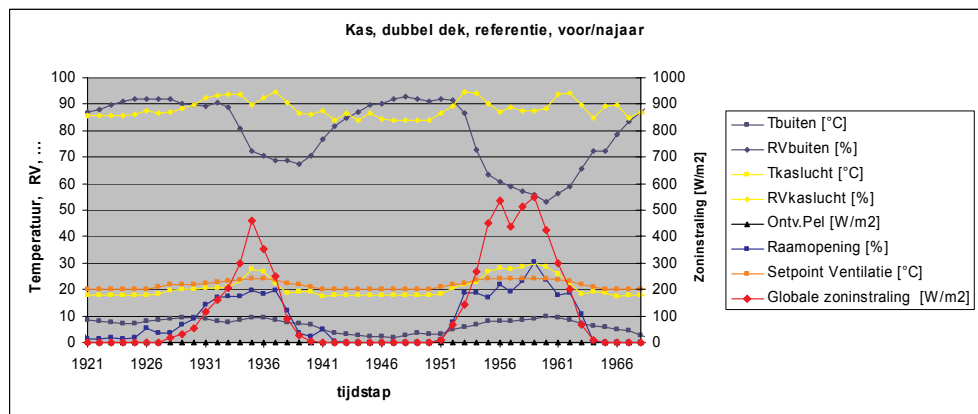
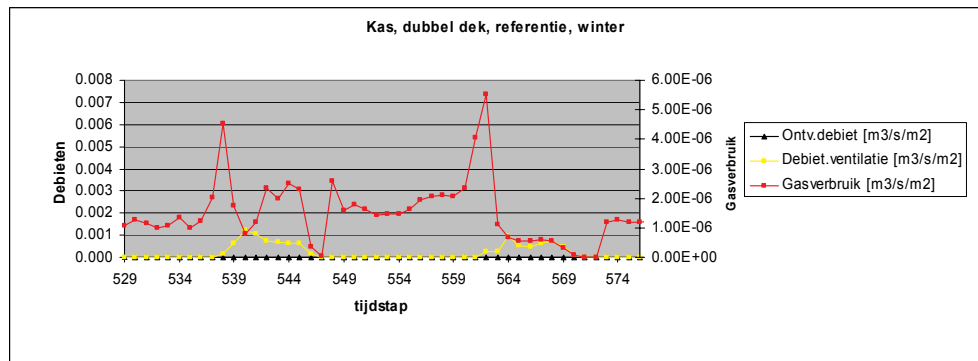
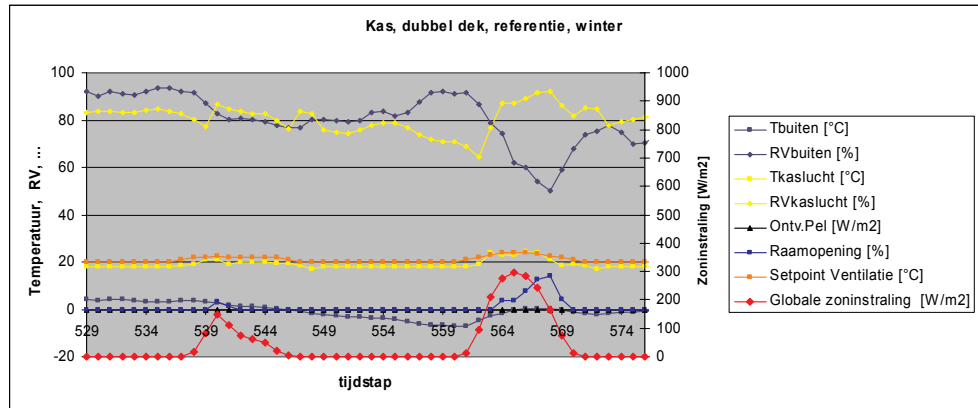


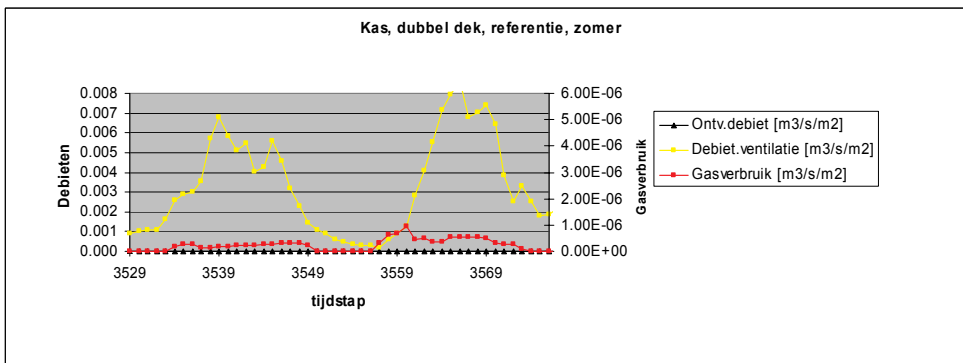
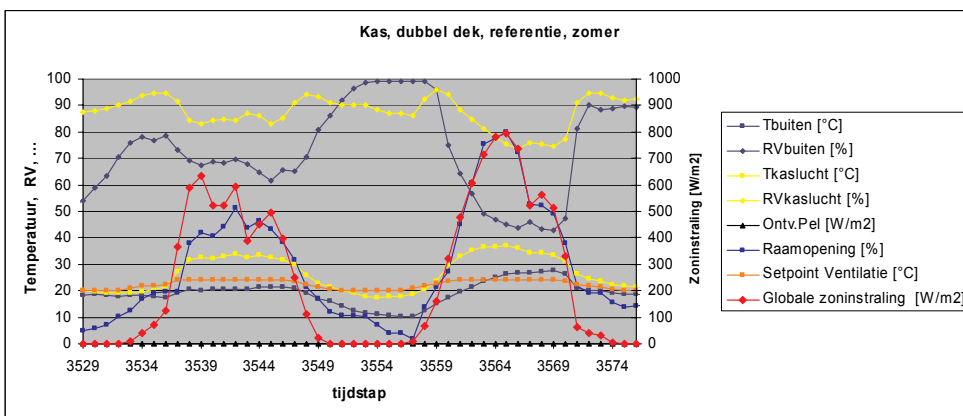
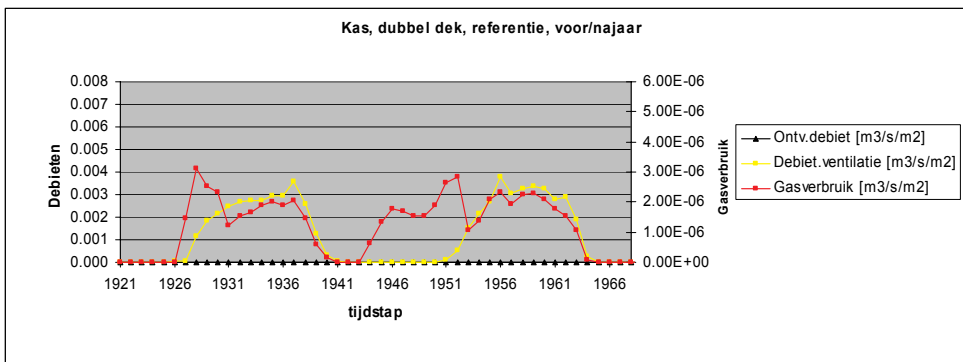
Gedurende beide dagen is de ontvochtiger uit omdat de RV onder 85% blijft.



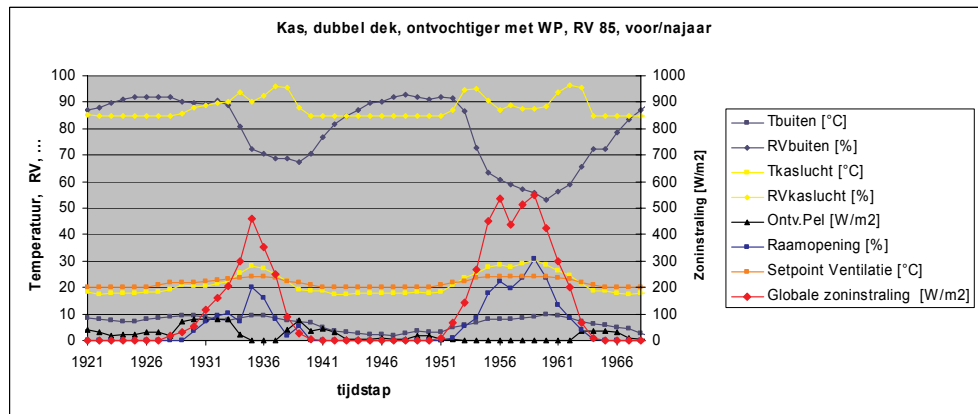
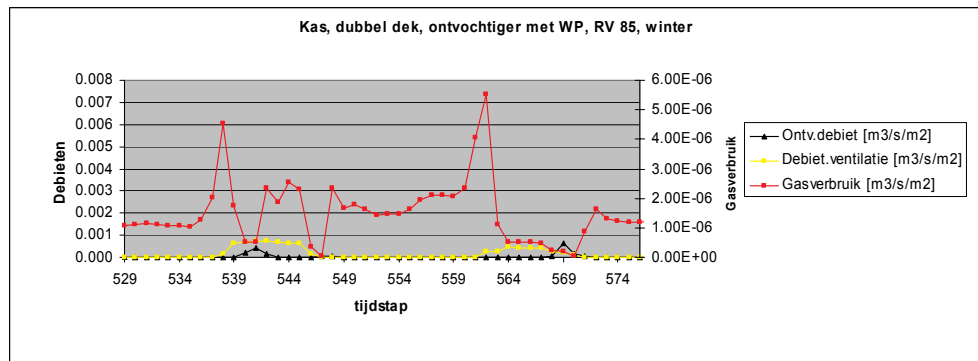
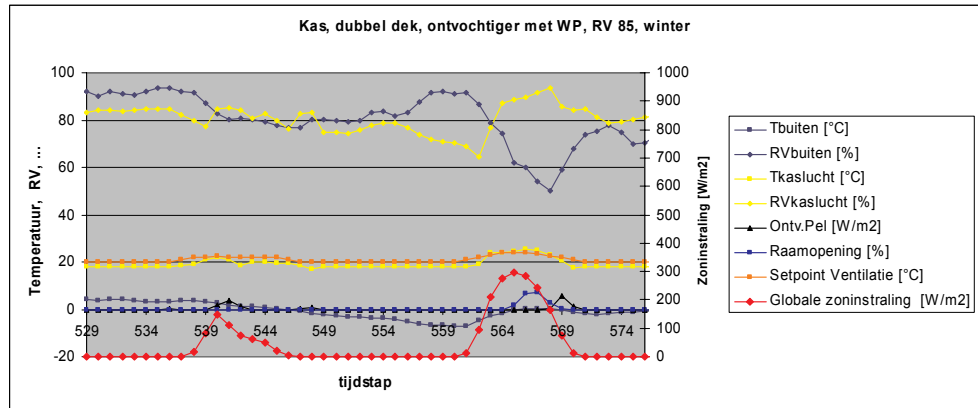


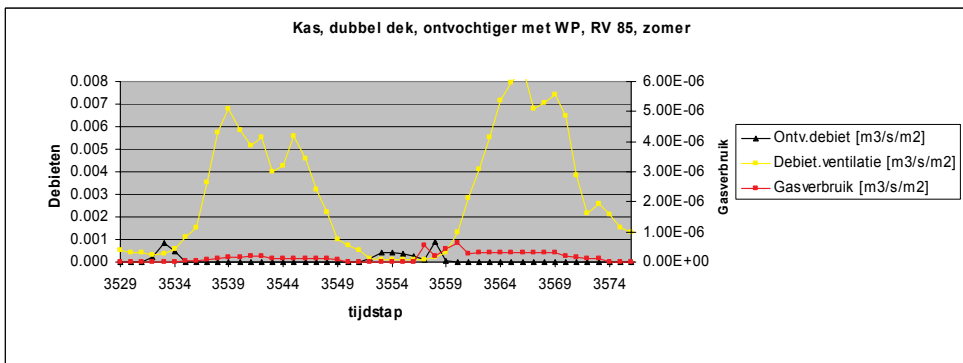
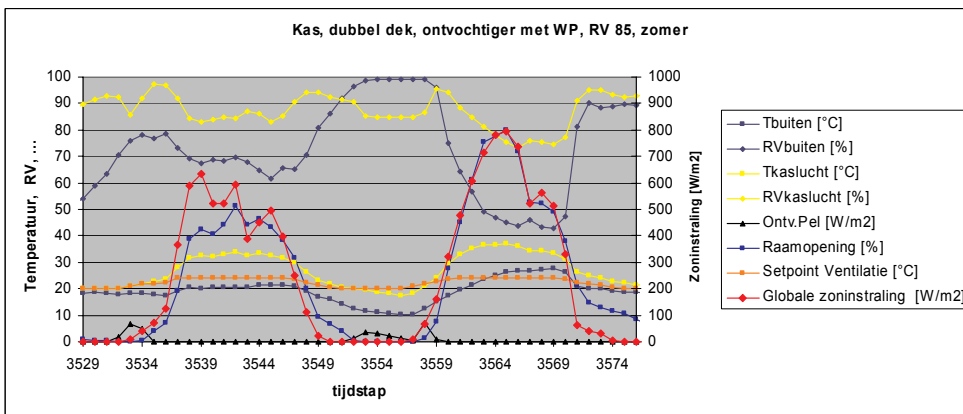
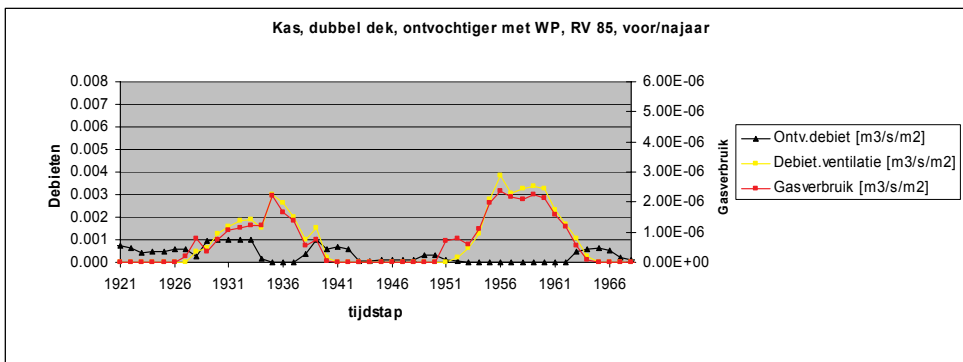
Kas met dubbel dek. Referentie



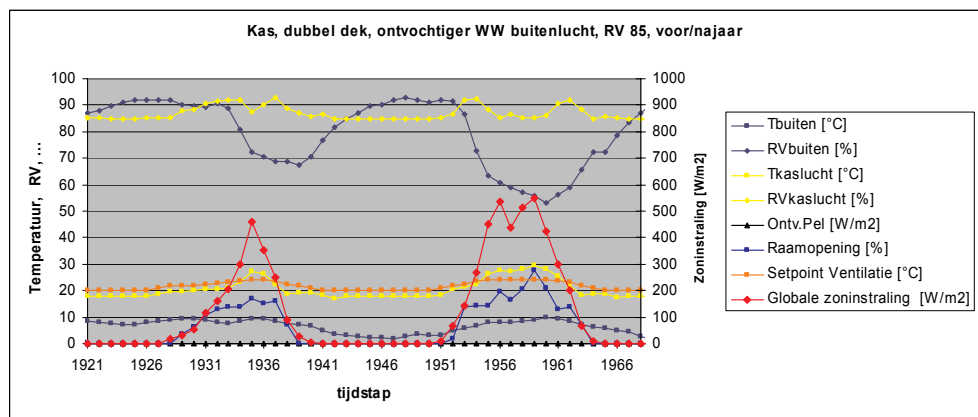
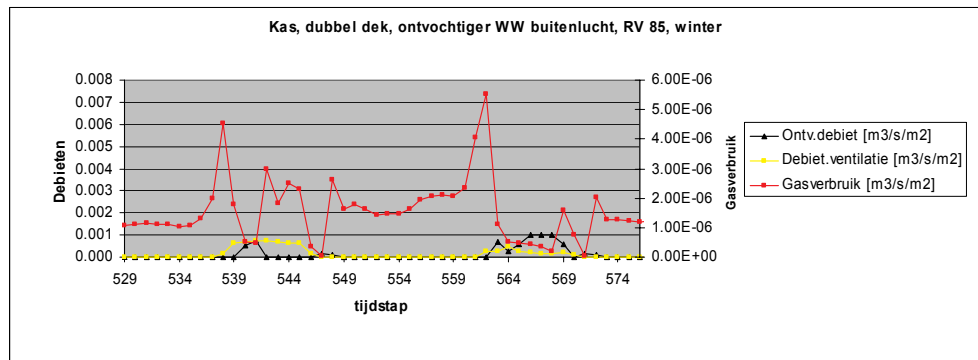
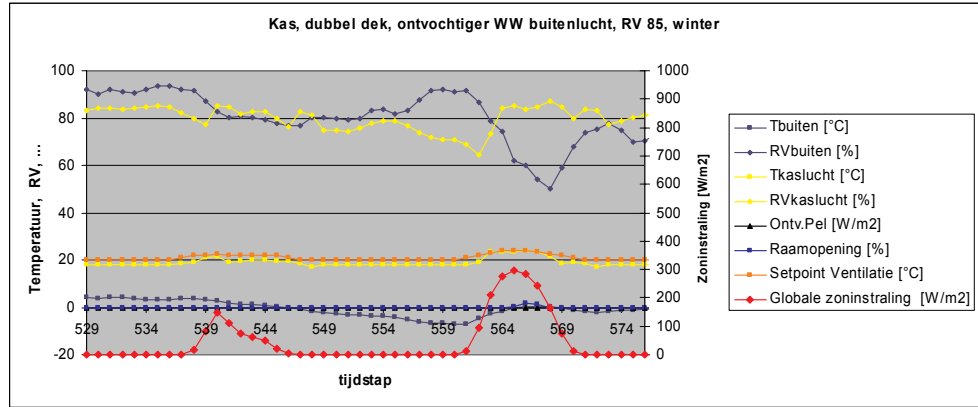


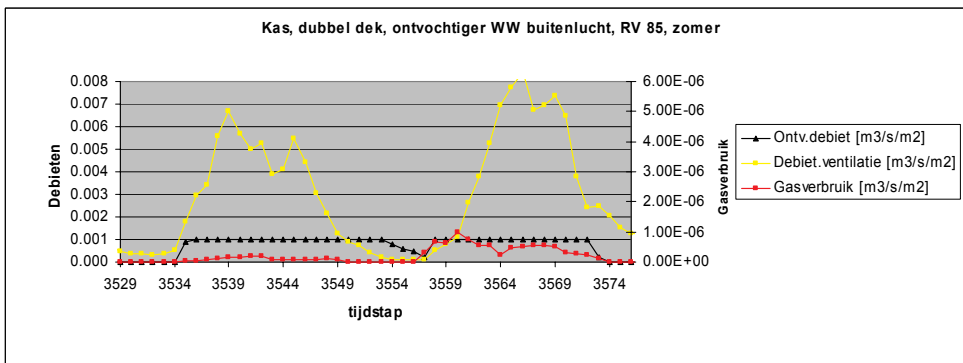
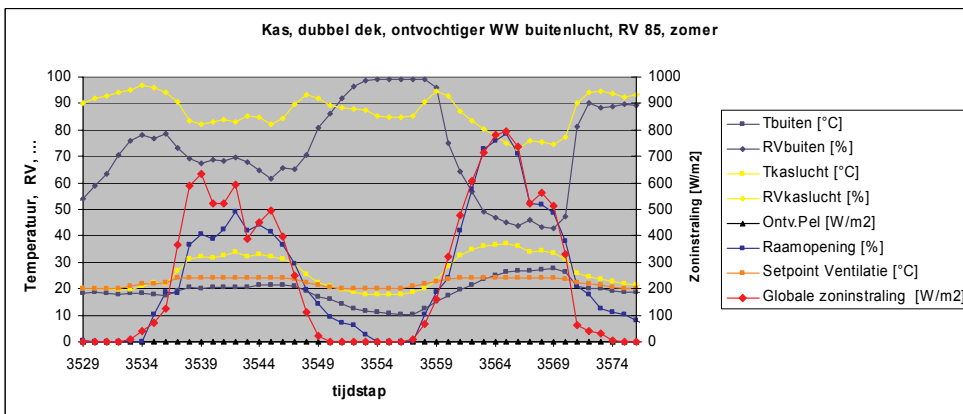
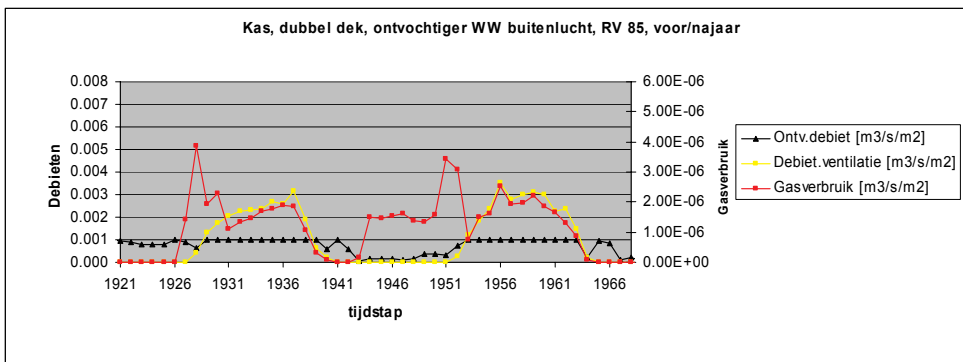
Kas met dubbel dek. Ontvochtiger met warmtepomp, ingesteld op 85% RV





Kas met dubbel dek. Ontvochtiger met warmtewisselaar met buitenlucht, ingesteld op 85% RV





Kas met dubbel dek. Ontvochtiger met warmtewisselaar met adiabatisch voorgekoelde buitenlucht, ingesteld op 85% RV

