

ENERGLIK

**WP 3.3 Ontvochtigen met tegenstroom
warmtewisselaar (PCH) – UGENT**

MEI 2025

Hugo Monteyne, UGent

Filip Bronchart, UGent



Disclaimer:

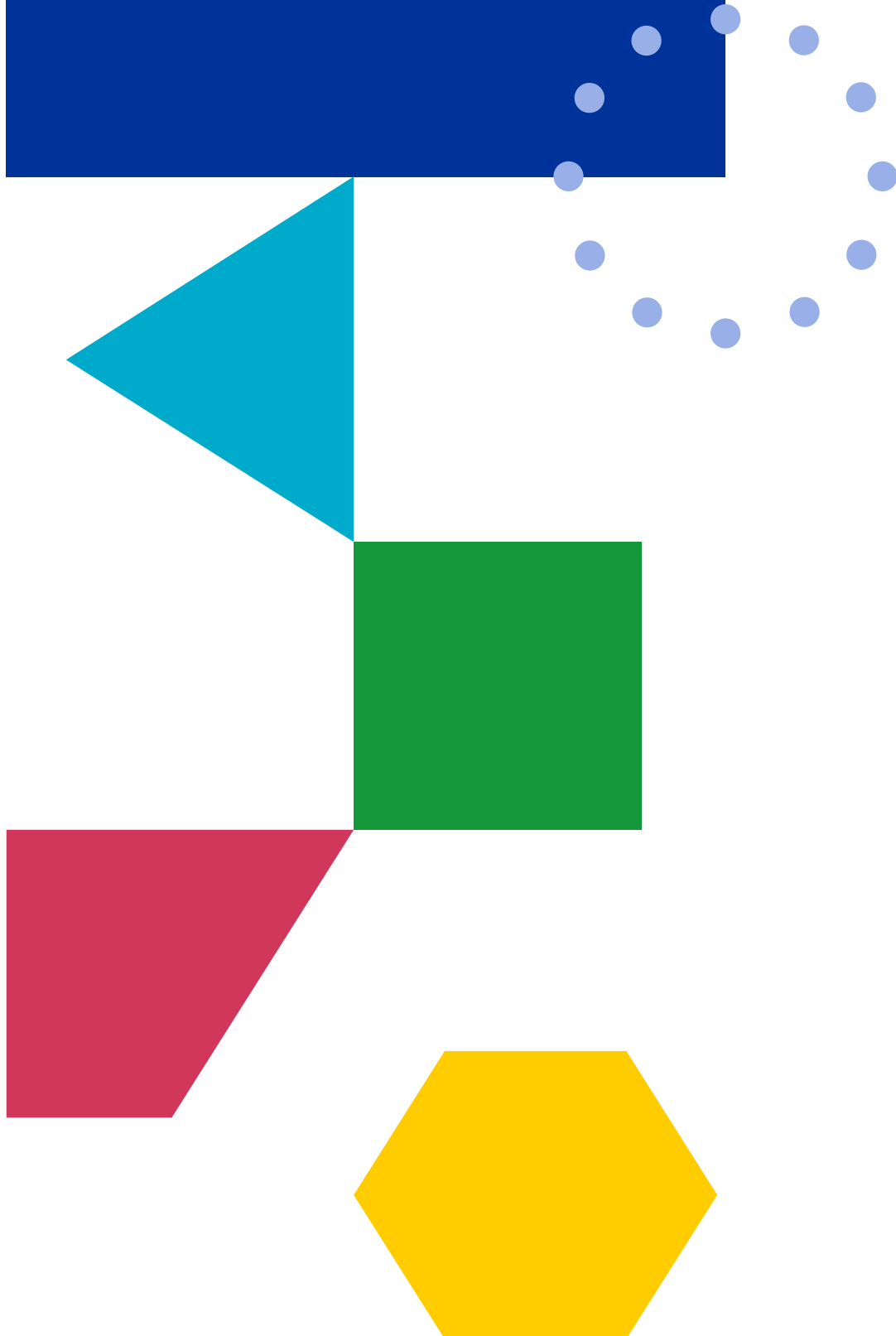
**Hoog
mikken voor
de lage landen!**

grensregio.eu

Inhoud

1. Inleiding.....	3
2. COP	5
2.1.1Inleiding.....	6
2.1.2Gebruikte symbolen	6
2.1.3Prestatiecoëfficiënten voor warmtepompen en compressoren	6
2.1.4Basisdefinitie van ontvochtigingsefficiëntie.....	7
2.1.5Het vergelijken tussen $COP_{D_{th}}$ en $COP_{D_{el,ad}}$	9
2.1.6Enkele praktische waarden	10
3. Warmtewisselaar	12
3.1 Opstelling	13
3.2 Meetmethode	14
4. Bepaling $COP_{D_{th}}$	17
4.1 Nodige metingen	18
5. Vergelijking ontvochtigingssystemen	19
5.1 Inleiding.....	20
5.2 Verwachte resultaten	20

1. Inleiding



De glastuinbouw wordt gekenmerkt door een verdampend gewas. Hierdoor stijgt de relatieve luchtvochtigheid (RV) van de serrelucht. Een hoge RV geeft aanleiding tot schimmelziektes bij de planten waardoor ontvochtiging nodig is. Ontvochtiging gebeurt in de meeste commerciële serres door ventilatie. Hierbij wordt energierijke, warme, vochtige lucht vervangen door energiearme, koude, drogere lucht. Dit energieverlies wordt gecompenseerd door verwarming. Deze techniek is verantwoordelijk voor 10 tot 50% van de jaarlijkse energievraag van een serre. Het voorzien van een efficiënte luchtontvochtiging in de kas is dan ook een spilfactor tot een klimaat neutrale glastuinbouw.

In deze Activiteit worden drie verschillende efficiëntere ontvochtigingstechnieken ontworpen en/of gebouwd en/of doorgemeten en onderling vergeleken.

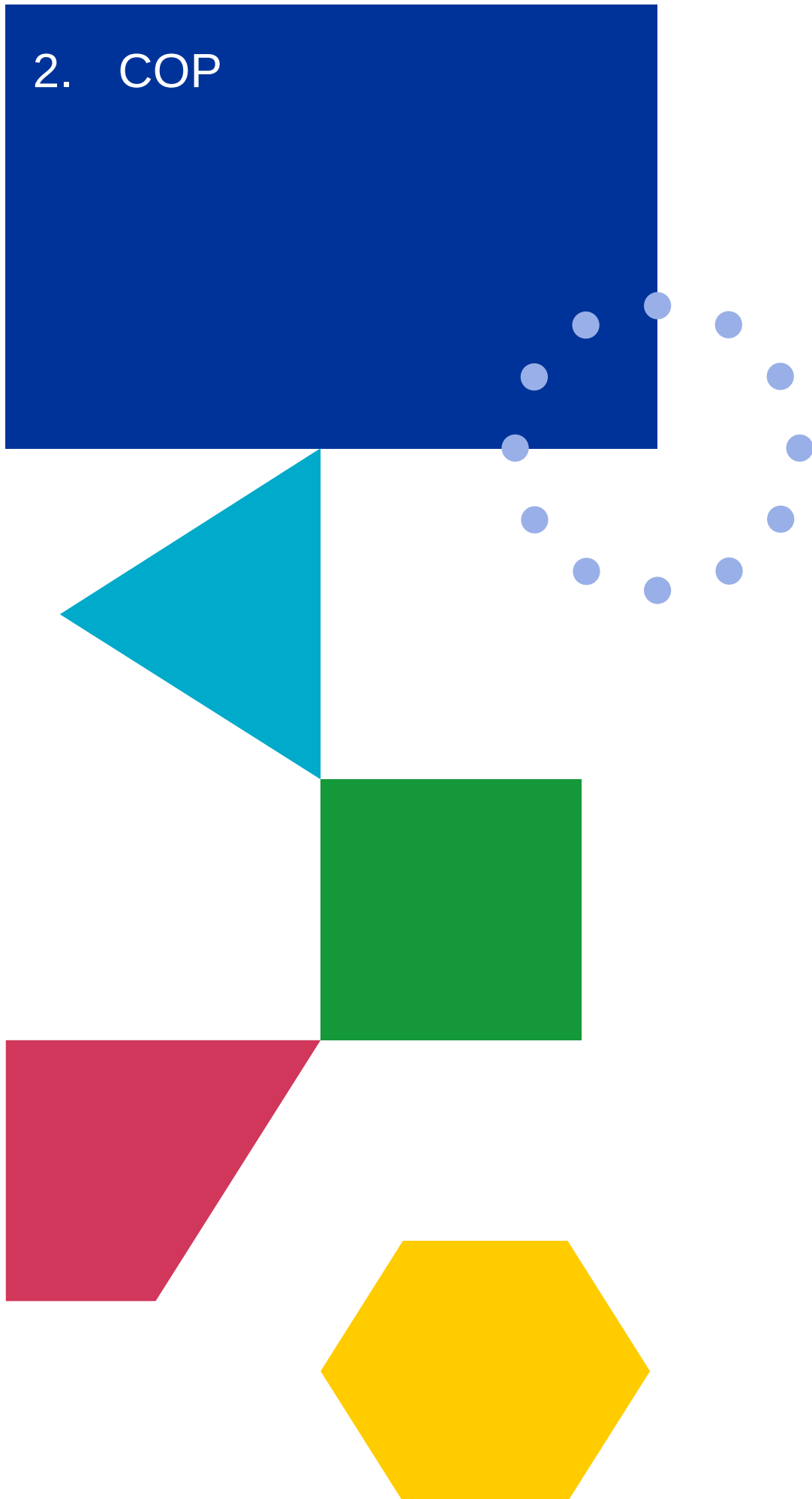
Het eerste systeem is een ontvochtigingssysteem met tegenstroomwarmtewisselaar. In dit systeem warmt de uitgaande lucht de ingaande lucht op en wordt een groot deel van de voelbare warmte gerecupereerd. De maximale ontvochtigingsperformantie (COPD = coefficient of performance for dehumidification) is 1. Deze techniek is geïnstalleerd op PCH en in dit project wordt de performantie nagemeten. Indien hieruit blijkt dat de performantie onvoldoende is door technische tekorten, zullen aanpassingen uitgevoerd worden.

Het tweede systeem is een warmtepompontvochtigingssysteem. Dit systeem koelt de lucht, ontvochtigt deze en warmt de lucht op tot kastemperatuur waarna deze lucht via slurven onder de goot wordt ingeblazen (max COPD = 3). Bijkomend slaat het systeem ook warmte op die dan toegepast wordt in de serre of die bijvoorbeeld ingezet wordt voor het creëren van dag/nacht temperatuurvariaties in de serre. Een energie efficiënte warmtepomp ontvochtiger werd ontworpen door UGent. Uiteindelijk besliste het bestuur een vereenvoudigd systeem te laten bouwen door Maurice Kassenbouw. Het vereenvoudigd ontwerp zal toegepast worden in een belichte en onbelichte komkommerteelt op Botany.

Tenslotte is er het dampwarmtepompsysteem. Dit systeem zet rechtstreeks in de serre de vochtige lucht om in warmere drogere lucht op een zeer efficiënte manier (max COPD = 10) en bestaat uit een warmtemassawisselaar en een verdamper. Dit systeem is specifiek ontworpen gericht op toepassing in de glastuinbouw gedurende enkele voorgaande en lopende projecten. De dampwarmtepomp wordt er doorgemeten en gekarakteriseerd door UGent.



2. COP



2.1.1 Inleiding

In zowel de wetenschappelijke literatuur als in de vakliteratuur worden verschillende prestatiecoëfficiënten voor ontvochtiging gehanteerd. De belangrijkste zijn:

- SEC (Specific Electric Energy Consumption) [kWh/m³, kWh/kg]: de hoeveelheid benodigde elektrische energie per onttrokken hoeveelheid water.
- SMER (Specific Moisture Extraction Rate) [kg/kWh]: de hoeveelheid onttrokken water per kWh energie.
- COPD (Coefficient of Performance Dehumidification) [kWh/kWh]: de hoeveelheid onttrokken latente warmte per eenheid energie.

Bij SEC is direct duidelijk of het gaat om elektrische energie, warmte of primaire energie. Voor SMER en COPD moet echter worden gespecificeerd of de noemer is gebaseerd op elektrische energie, warmte of primaire energie.

2.1.2 Gebruikte symbolen

hoofdsymbolen

E	Electrische energie (J)
Q	Voelbare warmte (J)
H	Enthalpie(J)
U	Energie (J)

Subscript

wp	Warmtepomp
wpo	Warmtepomp ontvochtiger
s	Voelbare warmte (J)
l	Latente warmte (J)
comp	Compressor
th	Thermisch
verd	Verdamper
cond	Condensor

2.1.3 Prestatiecoëfficiënten voor warmtepompen en compressoren

De term COP_{wp} is vooral gekend bij het gebruik van elektrische warmtepompen voor de verwarming van gebouwen. De algemene definitie van COP (Coefficient of Performance) voor elektrische verwarming warmtepompen is:

$$COP_{wp} = \frac{Q_{cond,wp}}{E_{wp}} \quad [1]$$

Met

- $Q_{cond,wp}$ de geleverde voelbare warmte aan het systeem (J)
- E_{wp} de energie input via elektriciteit aan de warmtepomp (J)

Hierbij wordt de verhouding gegeven tussen de geleverde voelbare warmte aan het verwarmingssysteem $Q_{cond,wp}$ en de elektrische input E_{wp} . De elektrisch energie van de warmtepomp bevat zowel de elektrische energie van de compressor en de elektrische energie van de ventilatoren en de pompen.

Bij een warmtepompontvochtiger kan op dezelfde wijze een prestatiecoëfficiënt van de warmteproductie weergegeven worden. De geleverde warmte van de warmtepompontvochtiger is de som van de onttrokken latente warmte die omgezet is in voelbare warmte, de onttrokken voelbare warmte en de elektrische input die eveneens in voelbare warmte wordt omgezet. Hierbij is de bron en het afgiftepunt wel dezelfde ruimte, namelijk de te ontvochtigen ruimte.



$$COP_{wpo} = \frac{|Q_l| + |Q_{s2}| + Q_{E,wpo}}{E_{wpo}} \quad [2]$$

Met

- Q_l de onttrokken latente warmte aan de bron door de warmtepomp ontvochtiger (J)
- Q_{s2} de onttrokken voelbare warmte aan de bron door de warmtepomp ontvochtiger (J)
- $Q_{E,wpo}$ de in voelbare warmte omgezette elektriciteit (J)
- E_{wpo} de gebruikte elektrische energie (J)

Deze COP_{wpo} voor verwarming is niet gelijk aan de COPD voor ontvochtiging die hierna wordt besproken.

Er wordt in deze tekst een onderscheid gemaakt tussen de COP_{wp} van een warmtepompinstallatie die gebruikt wordt voor de verwarming van de kas waarbij de bron niet gelijk is aan het afgiftepunt (kan een lucht/lucht warmtepomp, lucht/water warmtepomp, geothermische warmtepomp, ... zijn) en de COP_{wpo} van de warmtepomp ontvochtiger waar de bron gelijk is aan het afgiftepunt. Gezien de brontemperatuur in een kas doorgaans beduidend hoger is dan de temperatuur van een externe bron zal COP_{wpo} meestal significant hoger zijn dan COP_{wp} .

COP waarden worden eveneens opgegeven voor de compressor, een component van een elektrische warmtepomp. Voor de compressor van een warmtepomp of koelsysteem worden de volgende COP definities gehanteerd.

Prestatiecoëfficiënt voor koeling, eveneens EER (Energy efficiency ratio) genoemd:

$$COP_{comp,koeling} = \frac{Q_{verd}}{E_{comp}} \quad [3]$$

Met:

Q_{verd} het volledig koelvermogen onttrokken aan de verdamper
 E_{comp} het opgenomen elektrisch vermogen van de compressor.

Prestatiecoëfficiënt voor verwarming :

$$COP_{comp,verwarming} = \frac{Q_{cond}}{E_{comp}} \quad [4]$$

Met

Q_{cond} het verwarmingsvermogen afgegeven aan de condensor
 E_{comp} het opgenomen elektrisch vermogen van de compressor.

Elk van deze prestatiecoëfficiënten hebben hun specifieke toepassing en zijn verschillend van elkaar. Zo is de COP van een compressor bij verwarming niet gelijk aan de COP van een warmtepomp waarin die compressor gebruikt is.

2.1.4 Basisdefinitie van ontvochtigings efficiëntie

2.1.4.1 COPD_{th}

COPD_{th}: De thermische COP van het ontvochtigingsproces=



onttrokken latente energie uit de kaslucht Q_l (Benodigde hoeveelheid voelbare warmte $Q_{s,input}$ om de energie-inhoud van de kaslucht constant te houden, ter compensatie van de latente energieafvoer Q_l en eventueel verloren voelbare warmte Q_s) [kWh/kWh]

$$COPD_{th} = \frac{|Q_l|}{Q_{s,input}} \quad [5]$$

Met

- $|Q_l|$ de afname van latente warmte in de kaslucht (J)
- $Q_{s,input}$ Benodigde hoeveelheid voelbare warmte om de energie-inhoud van de kaslucht constant te houden, ter compensatie van de latente energieafvoer Q_l en eventueel verloren voelbare warmte Q_s .

Bij een kas waar het ontvochtigen via stoken en ventileren wordt uitgevoerd gaat er warme vochtige lucht naar buiten en komt er koude droge lucht binnen. De afgevoerde latente warmte ($Q_{l,vent}$) bij stoken en ventileren is het dampverschil tussen de kaslucht en de buitenlucht per kg droge lucht. De afgevoerde latente warmte ($Q_{l,kasdek}$) bij condensatie op het kasdek is de verdampingswarmte van het gevormde condensaat. De totale afgevoerde latente warmte Q_l is de som van $Q_{l,vent}$ en $Q_{l,kasdek}$. De noemer omvat de nodige voelbare warmte om alles terug op peil te brengen zodanig dat de energieinhoud van de lucht constant blijft.

$$Q_{s,input} = -(Q_l + Q_{s1}) \quad [6]$$

Met

- Q_l compensatie van de afname van latente warmte in de kaslucht (J)
- Q_s compensatie van de afname van voelbare warmte in de kaslucht (J)

$Q_{s,input}$ is een hoeveelheid geleverde voelbare warmte aan het systeem en is onafhankelijk van het warmteproductiesysteem.

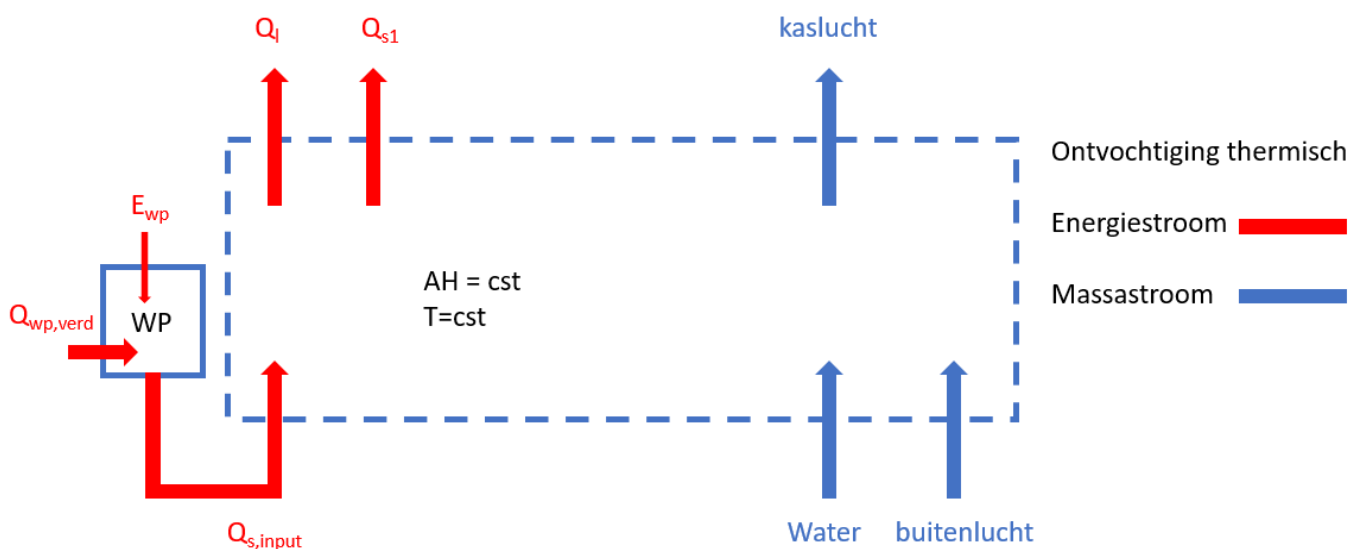


Fig. 1 Energiestromen en massastromen van een ontvochtigingsproces

2.1.4.2 $COPD_{el,ad}$



$COP_{el,ad}$:

De elektrische COP van een adiatisch ontvochtigingsproces = onttrokken latente warmte / input elektrische energie [kWh/kWh].

Adiabatisch betekend hierbij dat het systeem geen warmteuitwisseling heeft met de omgeving. De energiehoud van de kaslucht zal licht stijgen door de toegevoegde elektrische energie. (Zie Fig. 2)

$$COP_{el,ad} = \frac{|Q_l|}{E_{wpo}} \quad [7]$$

Met

- E_{wpo} de elektrische energie input van de warmtepomp ontvochtiger

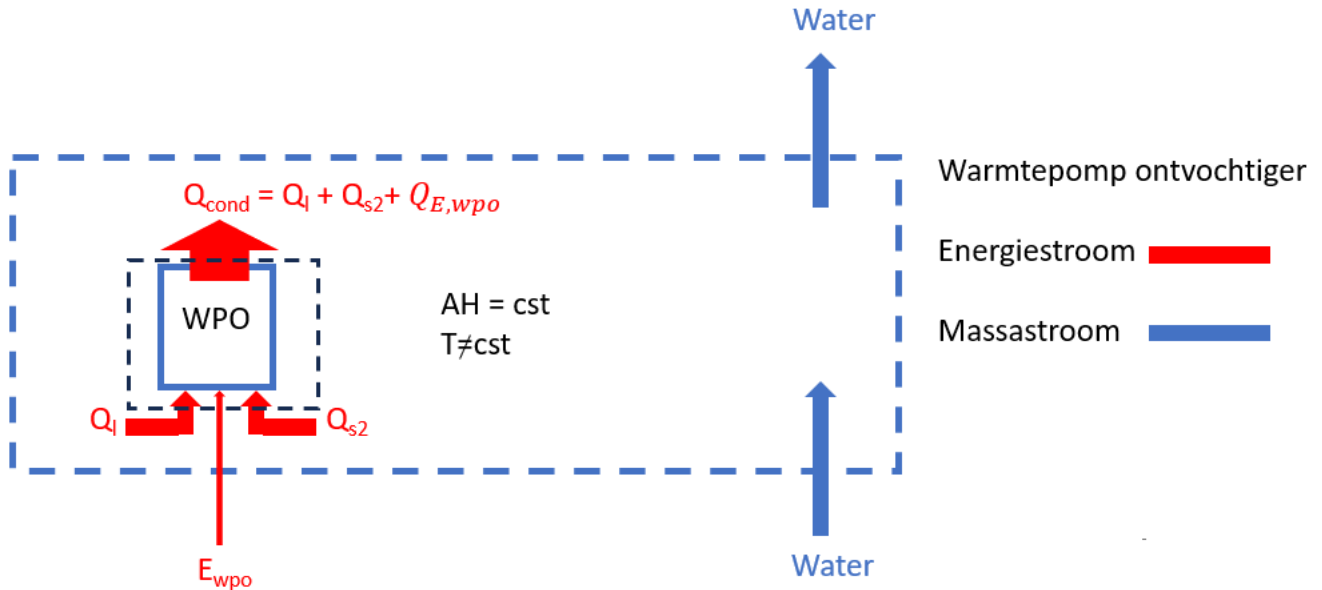


Fig. 2 Energiestromen en massastromen bij een warmtepomp ontvochtiger

2.1.5 Het vergelijken tussen COP_{th} en $COP_{el,ad}$

Een COP_{th} en een $COP_{el,ad}$ kunnen niet direct met elkaar worden vergeleken. COP_{th} gebruikt laagwaardige warmte als energieinput en $COP_{el,ad}$ gebruikt een meer hoogwaardige energieinput, namelijk elektriciteit. Bovendien verschillen beide definities nog in het feit dat de energiehoud van het proces volume bij COP_{th} idem is gebleven terwijl bij $COP_{el,ad}$ deze licht gestegen is door de toevoer van $Q_{E,wpo}$, de omzetting naar voelbare warmte van de elektriciteit E_{wpo} .

Om beide waarden toch te kunnen vergelijken wordt een bijkomende COPD gedefinieerd, de $COP_{el,U_{lucht}=cte}$, waarbij de energiehoud van de lucht (U_{lucht}) constant blijft.

$$COP_{el,U_{lucht}=cte} = \frac{|Q_l|}{E_{U_{lucht}=cte}} \quad [8]$$

Met

- $E_{U_{lucht}=cte}$ de benodigde elektrische energie om enkel de benodigde voelbare warmte te produceren ter compensatie van de afgevoerde latente en voelbare warmte waarbij de energiehoud van het proces volume bij COP_{th} idem is gebleven



Het omrekenen van $COPD_{th}$ tot $COPD_{el,U_{lucht}=cte}$ gebeurt met de volgende vergelijking waarbij de ingebrachte warmte omgerekend wordt tot elektriciteit met het warmtepompcoëfficiënt van het systeem die instaat voor de warmteproductie. Bij een externe warmtepomp waarbij de bron niet gelijk is aan het procesvolume is het warmtepompcoëfficiënt COP_{wp} (index A) Bij een warmtepomp ontvochtiger (de bron is gelijk aan het afgiftepunt) gebeurt dit met een warmtepompcoëfficiënt COP_{wpo} (index B).

$$COPD_{el,U_{lucht}=cte,A} = \frac{|Q_l|}{Q_{s,input}/COP_{wp}} = COPD_{th,A} COP_{wp} \quad [9]$$

$$COPD_{el,U_{lucht}=cte,B} = \frac{|Q_l|}{Q_{s,input}/COP_{wpo}} = COPD_{th,B} COP_{wpo} \quad [10]$$

Met

- Subscript A slaat op de case waarbij de bron van de warmtepomp niet gelijk is aan het afgiftepunt
- Subscript B slaat op de case waarbij de bron van de warmtepomp gelijk is aan het afgiftepunt

Bij het omrekenen van de $COPD_{el,ad}$ van een warmtepomp ontvochtiger tot $COPD_{el,U_{lucht}=cte}$ moet de extra warmte-inbreng van $Q_{E,wpo}$ verrekend worden. De totale warmte output van de warmtepomp ontvochtiger aan de condensator is $|Q_l| + |Q_{s2}| + Q_{E,wpo}$ waarvoor E_{wpo} elektrische energie benodigd is.

Om $Q_{E,wpo}$ voelbare warmte te produceren heeft de warmtepomp ontvochtiger een elektriciteitsgebruik van $\frac{Q_{E,wpo}}{COP_{wpo}}$.

Het elektriciteitsgebruik voor de ontvochtiging voor een constante energie-inhoud van de lucht bedraagt $(E_{wpo} - \frac{Q_{E,wpo}}{COP_{wpo}})$.

$Q_{E,wpo}$ is gelijk aan E_{wpo} voelbare warmte.

Voor een warmtepomp ontvochtiger wordt $COPD_{el,U_{lucht}=cte}$:

$$COPD_{el,U_{lucht}=cte,B} = \frac{|Q_{l,out}|}{E_{wpo} - \frac{E_{wpo}}{COP_{wpo}}} = COPD_{el,ad,B} \frac{1}{1 - \frac{1}{COP_{wpo}}} \quad [11]$$

Op basis van deze vergelijking [11] en vorige vergelijkingen [9] en [10] kunnen dus case A en case B vergeleken worden met de term $COPD_{el,U_a=cte}$

Beide kunnen omgerekend worden door het rechtstreeks omzetten tussen $COPD_{el,ad}$ tot $COPD_{th}$. Dit gebeurt door het gelijkstellen van vorige 2 vergelijkingen en resulteert in:

$$COPD_{th,wpo} = COPD_{el,ad} \frac{1}{COP_{wpo}-1} \quad [12]$$

De hierboven vermelde COP definities zijn steeds de rendementen voor een specifiek werkpunt.

Deze definities kunnen aangewend worden om seizoensrendementen te berekenen zodat systemen op jaarbasis met elkaar kunnen vergeleken worden.

2.1.6 Enkele praktische waarden

Om een beter beeld te geven van de verschillende COP-waarden, volgen hieronder enkele berekende waarden voor één bestudeerde warmtepompontvochtiger:

$COP_{comp,koeling}$ 6,51

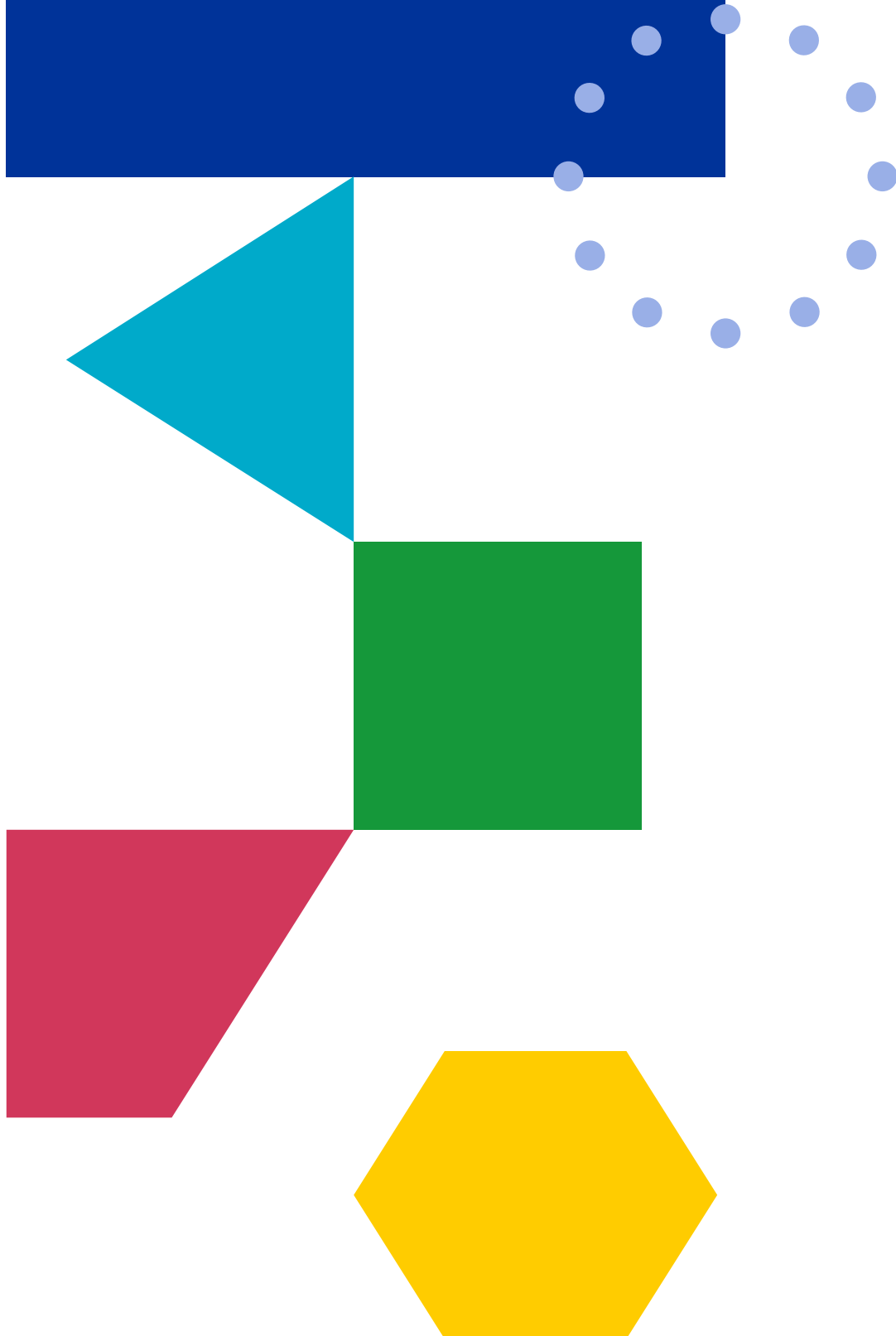


$COP_{comp,verwarming}$	7,51
COP_{wpo}	6,08
SEC	0,24 kWh el /kg = 863 kJ/kg
SMER	6,65 kg/kWh el
$COP_{el,ad}$	4,17
$COP_{el,E_{tucht}=cte}$	5

Het is essentieel om bij interpretatie van COP-waarden te weten welke coëfficiënt wordt gehanteerd, zodat correcte vergelijkingen kunnen worden gemaakt.



3. Warmtewisselaar



3.1 Opstelling

Het ontvochtigingssysteem met een tegenstroom platenwarmtewisselaar is opgesteld in Hoogstraten (Fig. 3). De unit staat naast de kas. De vochtige lucht wordt bovenaan de kas centraal aangezogen. In een reeks parallel geschakelde tegenstroom warmtewisselaars (Fig. 5) geeft de vochtige kaslucht warmte af via de warmtewisselaar aan de binnen gevoerde koude buitenlucht. De verse lucht wordt hierdoor opgewarmd tot ongeveer 1 à 2°C lager dan de uittredende kaslucht. De intredende lucht wordt via een ondergronds kanaal naar de kas gebracht en wordt via luchtslangen onder de teeltgoot gelijkmatig verdeeld.(Fig. 4)



Fig. 3 Opstelling ventilatieunit



Fig. 4 Invoer verse lucht via luchtkanaal





Fig. 5 Parallel geschakelde warmtewisselaars

3.2 Meetmethode

Het ontvochtigingssysteem met de tegenstroomwarmtewisselaars is voorzien van temperatuur meetelementen voor de buitenlucht, de retourlucht uit de kas en de toevoerlucht naar de kas. De klimaatcomputer van de kas meet de relatieve vochtigheid van de kaslucht en de buitenlucht. Met deze meetwaarden kan de warmteoverdracht van de kaslucht naar de binnen gevoerde buitenlucht per eenheid luchttoevoer berekend worden. Om de ontvochtigingscapaciteit van het toestel te bepalen is dan enkel nog het luchtdebiet nodig.

Het luchtdebiet kan gemeten worden in het aanzuigkanaal die de kaslucht naar het toestel brengt. Een eerste meting zal uitgevoerd worden in het luchtkanaal met een pitotbuis, een verificatiemeting zal uitgevoerd worden met een anemometer aan het aanzuigrooster. Deze metingen zullen uitgevoerd worden voor verschillende debieten.

De metingen werden uitgesteld naar een latere datum toen bleek dat de installatie volledig vervuild was. Het toestel is niet voorzien van filters. Het plaatsen van een filter op de aanzuig vermijdt sterke vervuiling van de warmtewisselaars. Zowel de filters (indien deze geplaatst worden) als de warmtewisselaars dienen regelmatig gereinigd te worden. Vervuiling van de warmtewisselaars vermindert het debiet en vermindert de warmteoverdracht wat resulteert in een daling van de ontvochtigingscapaciteit en een daling van het rendement. Gezien de kas nog steeds de traditionele manier van ontvochtigen kan toepassen, namelijk kieren en ventileren, kan de vochtbeheersing nog steeds uitgevoerd worden maar dan wel met een hoger energiegebruik.





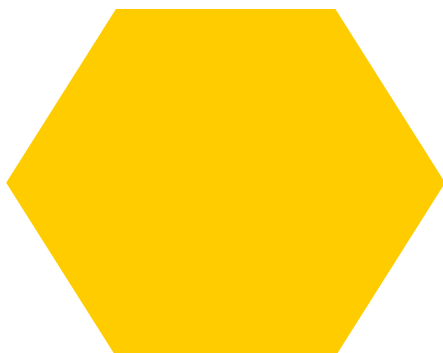
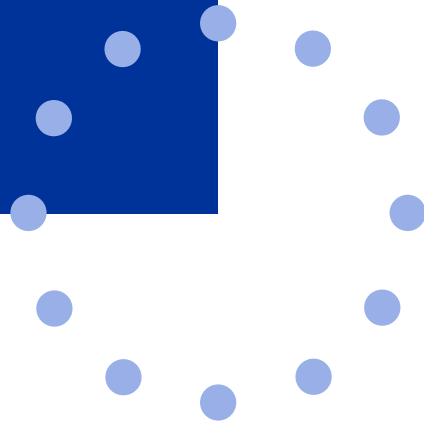
Fig. 6 Vervuild aanzuigrooster



Fig. 7 Vervuilde aanzuig warmtewisselaars



4. Bepaling COPD_{th}



4.1 Nodige metingen

Om de COPD van het luchtbehandelingssysteem met platenwarmtewisselaar te kunnen bepalen volgens formule [5] dient de temperatuur en de relatieve vochtigheid gemeten te worden van de ingaande en uitgaande luchtconditie van de twee luchtstromen, alsook het bijhorende luchtdebiet van de twee luchtstromen.

Deze temperaturen en relatieve vochtigheidswaarden werden wel gemeten maar niet opgeslagen. Vanaf 17/03/25 zal deze data eveneens bijgehouden worden door PCH zodat eind 2025 berekeningen kunnen gemaakt worden voor zowel zomer als winterseizoen.

De installatie werd gereinigd in maart 2025. Bij een enkele onderhoudsbeurt per jaar zal de situatie in september een gemiddelde vervuiling hebben. De luchtdebietmetingen worden gepland voor september 2025.

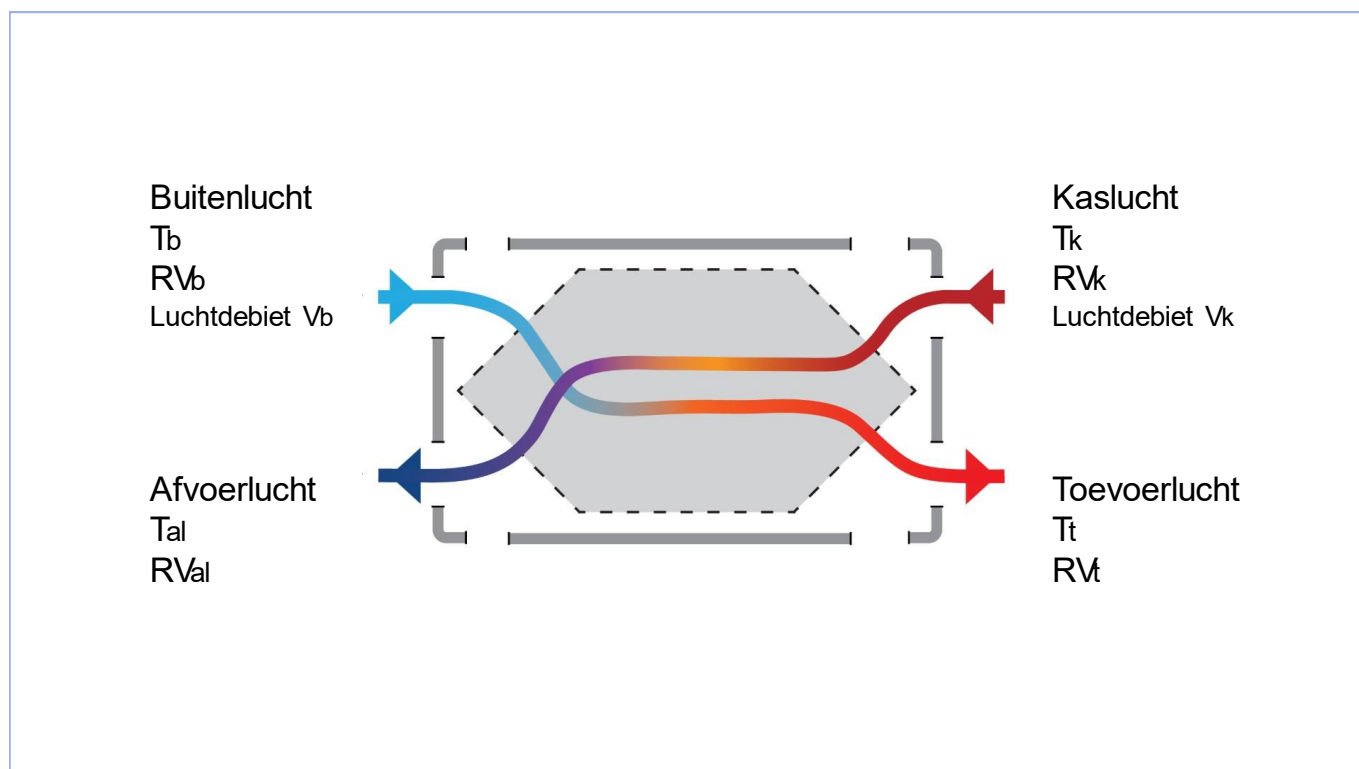
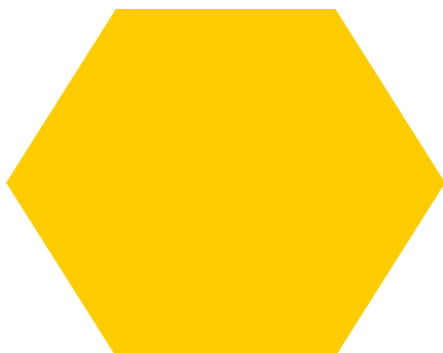
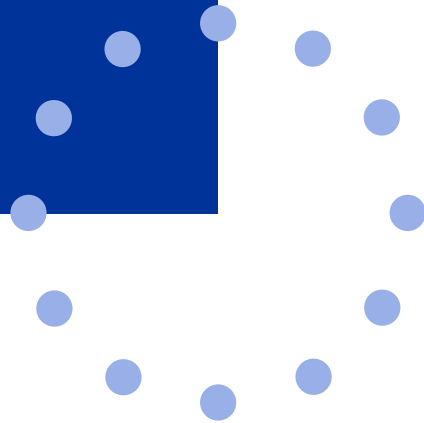


Fig. 8 Nodige metingen van het luchtbehandelingssysteem met platenwarmtewisselaar

5. Vergelijking ontvochtigingssystemen



5.1 Inleiding

Eén van de doelstellingen van het Energlik project is het beoordelen van de drie verschillende ontvochtigingssystemen. Technische uitdagingen hebben gemaakt dat de up-to-date versie van elke technologie niet beschikbaar is. Het systeem met de tegenstroom platenwarmtewisselaar (PCH) was zeer sterk vervuild door gebrek aan onderhoud. De installatie werd zo goed mogelijk gereinigd maar het is niet mogelijk zonder destructief onderzoek te bepalen in welke mate de platenwarmtewisselaars inwendig verontreinigd zijn. De uiteindelijk gemeten COPD zal richtinggevend zijn maar de COPD van een optimaal onderhouden systeem zal iets beter scoren. De door UGent ontworpen energie efficiënte warmtepomp ontvochtiger werd niet geconstrueerd. Het bestuur besliste om een vereenvoudigde versie te construeren en deze te testen bij Botany. De resultaten weerspiegelen niet de mogelijkheden van deze technologie. Het derde systeem, de dampwarmtepomp, is een prototype en kampt nog steeds met technische uitdagingen waardoor nog steeds geen resultaten beschikbaar zijn voor het regenereren van een zoutoplossing.

5.2 Verwachte resultaten

COPD waarden van een systeem zijn steeds unieke waarden voor een specifieke toepassing. Verander de teelt, de installatie, het merk of zelfs enkel model en het eindresultaat kan reeds sterk wijzigen. Bij warmtepomp ontvochtigers zitten de best scorende toestellen met een ontvochtiging van meer dan 4kg water per kWh elektriciteitsgebruik. De minst goed scorende apparaten zitten onder de 2kg/kWh. Daarbij komt nog dat gedurende het Energlik project nieuwe inzichten werden bekomen omtrent de energie efficiëntie van het ontvochtigen via schermen (schermen met specifieke damptransport eigenschappen).

In het Energlik project wordt er reeds naar vier technologieën gekeken voor ontvochtiging: platenwarmtewisselaar, warmtepomp ontvochtiger, dampwarmtepomp en schermen met specifieke damptransport eigenschappen. Voor elk systeem wordt in het Energlik project metingen uitgevoerd om de technologie te karakteriseren. Om deze verschillende technieken met elkaar te kunnen vergelijken heeft UGent reeds de COPD als algemene vergelijkingsparameter uitvoerig besproken. Zelfs de COPD is niet een alles omvattende parameter gezien deze bij een bepaalde kas conditie en buitenlucht conditie geldt. Het is de doelstelling om naar het einde van het Energlik project de bekomen metingen bij de diverse systemen van de proefcentra te kaderen ten opzichte van de apparaten beschikbaar op de markt en te kaderen naar de technische mogelijkheden van de huidige techniek.



Met de steun van:



Interreg
Vlaanderen-Nederland



Gefinancierd door
de Europese Unie

Energlik



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Ministerie van Economische Zaken



**Provincie
Antwerpen**



provincie limburg



provincie
Oost-Vlaanderen

Partners:



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Maastricht University

