

Teeltproef I van WP 5 “Ontwikkeling klimaatneutrale glastuinbouw”

Testen van een marktbeschikbaar energy balancing dagschermsysteem in een paprikateelt te Proefcentrum Hoogstraten

Proefperiode: December 2018 – September 2019

Proef uitgevoerd door: *ILVO, PCH, PSKW, UGent, MKB.*

In samenwerking met Oerlemans Packaging N.V. en Ludvig Svensson



Titel	Testen van een marktbeschikbaar energy balancing dagscherm systeem in een paprikateelt
Proefperiode	December 2018 – September 2019
Contactgegevens	Proefcentrum Hoogstraten (teelt) Marlies Huysmans Marlies.Huysmans@proefcentrum.be ILVO Luis Corbalá Robles Luis.CorbalaRobles@ilvo.vlaanderen.be
Project	Dit onderzoek vond plaats binnen het Interreg project GLITCH. GLITCH zet in op de ontwikkeling van innovatieve energie-efficiënte en klimaatneutrale teelttechnieken en -systemen in de glastuinbouw. Deze teeltproef maakt onderdeel uit van de ontwikkeling van klimaatneutrale teelttechnieken en -systemen. https://glitch-innovatie.eu/
Steunvermelding	Dit onderzoek wordt enerzijds mogelijk gemaakt met de steun van het Interreg V programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Anderzijds wordt het project ondersteund vanuit het Agentschap Innoveren en Ondernemen (VLAIO), de Provincie Antwerpen, Het Vlaams Kabinet Omgeving, Natuur en Landbouw, de provincie Limburg (NL) en het Nederlands Ministerie van Economische zaken.

Errata	Correctie
<p>April/2020</p> <p>Bladzijde 11 komt het totale jaarverbruik op 20 m³/m² aardgas voor de referentie-afdeling en 11 m³/m² voor de GLITCH-afdeling</p> <p>Bladzijde 15 Bij aardgas met calorische waarde van 36.4 MJ/m³ is het energieverbruik respectievelijk 14,5 en 24,8 m³.</p>	<p>Oktober/2020</p> <p>Bladzijde 11 komt het totale jaarverbruik op 23,1 m³ a.e./m² aardgas equivalent voor de referentie-afdeling en 12,7 m³ a.e./m² voor de GLITCH-afdeling</p> <p>Bladzijde 15 Bij aardgas met calorische waarde van 31.5 MJ/m³ is het energieverbruik respectievelijk 16,2 en 27,2 m³ a.e. (aardgas equivalent).</p>

Afkortingen

PE	Polyethylene
PVDF	Polyvinylidene fluoride
EB	Energie balancerende
PCH	Proefcentrum Hoogstraten
PSKW	Proefstation voor de Groenteteelt
MKB	Maurice Kassenbouw
ILVO	Instituut voor Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek
AC	Anti-condens
PAR	Photosynthetically active radiation
RV	Relatieve vochtigheid

Samenvatting / Abstract

Op Proefcentrum Hoogstraten (PCH, België) werd in 2019 een eerste teeltproef uitgevoerd. Het belangrijkste doel was om verwarming te minimaliseren door gebruik te maken van een energiebalancerende (EB) dagschermsysteem bestaande uit schermen die verkrijgbaar zijn op de markt. Het EB-dagschermsysteem bestond uit 3 dagschermen: 2 PE-AC-folies en 1 Luxous 1147FR-scherm (Figuur 1). Eén van de PE-AC-folies werd op het hoogste dradenbed in de serre gehangen en kon onafhankelijk worden gestuurd. De andere PE-AC-folie en het Luxous-scherm werden op hetzelfde treksysteem geïnstalleerd en werden daardoor altijd samen gestuurd – in de rest van de tekst aangegeven als 'onderste duo'. Verder had de GLITCH afdeling op PCH een XLS18-nachtscherm en een luchtbehandelingsunit (LBU) met een warmtewisselaar om de afdeling te ontvochtigen.

Een aparte afdeling werd gebruikt als referentie. Hier hingen twee onafhankelijk gestuurde SLS10-schermen. De besparingen op warmte input werden berekend in vergelijking met deze referentie, waarbij de klimaatregeling werd uitgevoerd volgens de huidige standaard in praktijkbedrijven. In beide afdelingen werd het rode paprika ras Ids geteeld in een V-systeem van 3 stengels per plant. Er werd geplant op 4/12/2018, de EB dagschermen werden geïnstalleerd op 18/12/2018, en de proef was afgelopen op 17/09/2019.

Omdat er tussen 4/12 en 17/12 nog geen schermen hingen in de GLITCH-afdeling, werd er voor deze periode een schatting gemaakt van het energieverbruik alsof de schermen wel aanwezig waren. Ook voor de periode tussen 03/03 en 19/03 werd een schatting gemaakt van het energieverbruik omdat voor deze periode geen energiegegevens beschikbaar waren. Wanneer we deze schattingen mee in rekening brengen bij het totale energieverbruik in beide afdeling, komt het totale jaarverbruik op 728 MJ/m² voor de referentie-afdeling en 400 MJ/m² voor de GLITCH-afdeling, wat neerkomt op een energiebesparing van 45%. Deze besparingen zijn behaald zonder productieverlies. Toch werden er kleinere vruchten geoogst in de GLITCH afdeling, wat resulteerde in een 6% lagere omzet in vergelijking met de referentieafdeling. De afvoer van vocht in de GLITCH afdeling was in de maand juli onvoldoende, wat resulteerde in een hoog percentage binnenrot (20%). Dankzij een aangepaste sturing kon dit de rest van het seizoen vermeden worden.

Hoewel de energiebesparing aanzienlijk was, moeten we meer inzicht krijgen in alle factoren die van invloed zijn op deze besparingen. Dit zal ons verder in staat stellen om elke dag van het groeiseizoen energie te besparen, wat niet het geval was tijdens deze eerste proef. Eén van de belangrijkste factoren die van invloed zijn op energiebesparing is de relatieve vochtigheid, aangezien PE-AC-schermen alleen een goede isolatie bieden met een condenslaagje. In het vervolg van dit project zal onderzocht worden welke materialen een hoge lichttransmissie hebben in combinatie met een beter isolatievermogen (zelfs zonder condenslaag).

Inhoudstafel

Afkortingen.....	3
Samenvatting / Abstract.....	4
Inhoudstafel	5
Inleiding	6
Proefopzet	8
Proefbeschrijving	8
Teeltgegevens	10
Beoordelingen.....	10
Resultaten en bespreking	11
Energie	11
Teelt.....	16
Conclusies	18
Referenties	18
Bijlage A. Netto vs bruto verwarming	19

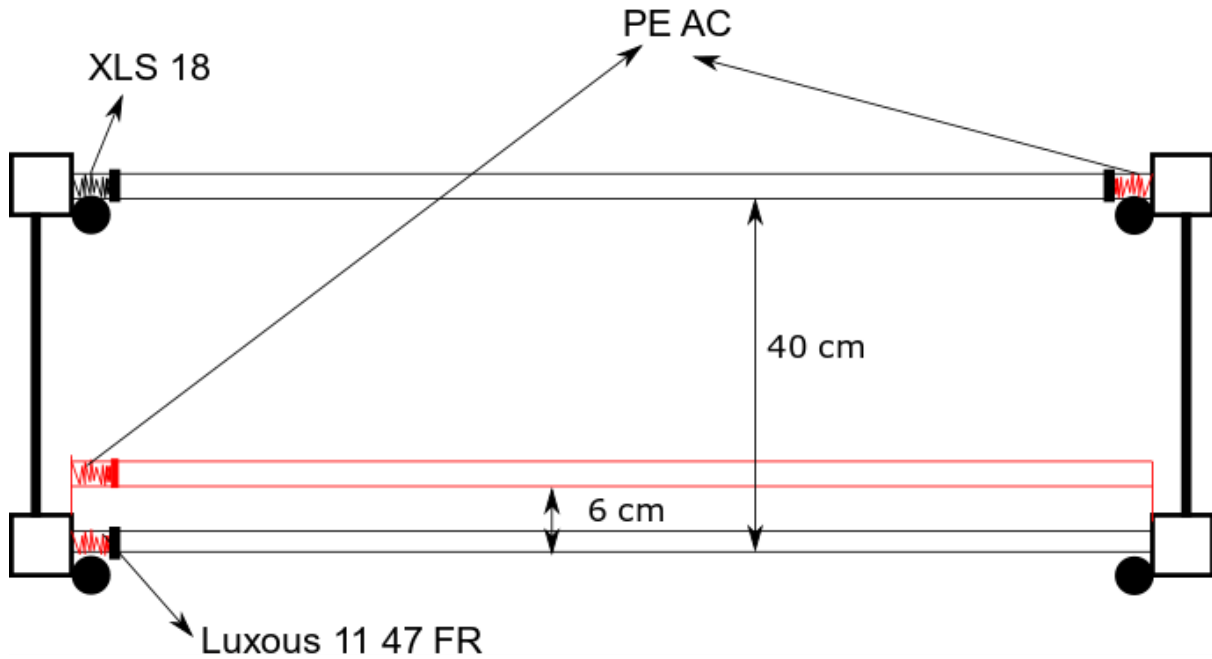
Inleiding

De Belgische landbouwsector gebruikte 29,4 PJ primaire energie in 2017 (1 PJ = 277778 MWh), wat neerkomt op bijna 2% van het totale primaire energieverbruik dat jaar (emis, 2018). De glastuinbouw was verantwoordelijk voor 14 PJ (48%) van dit primaire energieverbruik – i.e. 19,4 PJ uit fossiele brandstoffen, 0,3 PJ uit biomassa verminderd met 5,7 PJ als elektriciteitsproducent (WKK). De ontwikkeling van klimaatneutrale(re) kassystemen is een onmisbare stap om de doelstelling van de Europese Unie te behalen voor de sector tegen 2030: reductie van 40% van de broeikasgasemissies.

Daarbij is isolatie de beste technologie om tot een klimaatneutrale kas te komen (Bronchart, 2013). Dergelijke isolatie kan worden toegepast in serres met energiebalancerende (EB) schermen. EB betekent dat de energie die de serre binnenkomt via straling gelijk is aan het energieverlies naar buiten toe, waardoor de verwarmingsbehoefte wordt geminimaliseerd. Voor de dagsituatie moet het EB scherm een hoge zonlichttransmissie en een hoge absorptie van warmtestraling hebben. Voor de nachtsituatie is zonlichttransmissie niet belangrijk, maar is een hoge reflectie van warmtestraling gewenst.

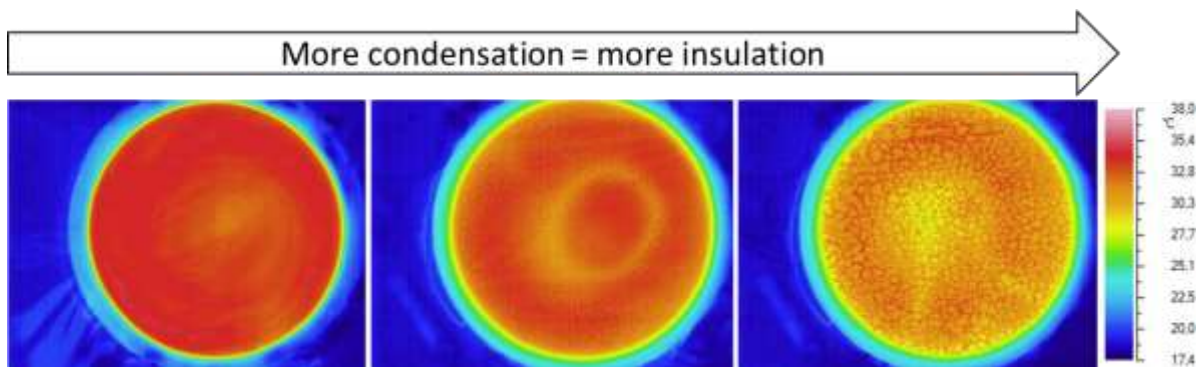
In deze proef richten we ons op EB schermen voor de dagsituatie. Een voorbeeld van zo'n scherm is de Luxous 1147FR, een 100% polyester geweven scherm. Dit scherm heeft een hoge absorptie van infraroodstraling (75%), terwijl het een redelijk hemisferische zonlichttransmissie (75%) heeft. Een andere optie is PVDF-folie, die 64% van de inkomende warmtestraling absorbeert en 88% van het zonlicht doorlaat, maar deze folie is momenteel niet in de handel verkrijgbaar. Nog een andere optie is PE-folie, dat wel veel gebruikt wordt in de sector. Deze plastic folie absorbeert niet veel infraroodstraling (36%), maar heeft wel een goede zonlichttransmissie (81%). Van de bovengenoemde schermen zijn alleen de Luxous 1147FR en de PE-folie commercieel beschikbaar.

In deze proef werd een EB dagschermsysteem (Figuur 1) geïmplementeerd in een serre op PCH. Door het gebruik van commercieel beschikbare schermen zijn de resultaten direct toepasbaar voor telers. Het systeem bestond uit twee PE-AC folies, één Luxous 1147FR doek en één XLS18 nachtscherm. De XLS 18 werd alleen 's nachts gebruikt, terwijl het bovenste PE-AC-scherm alleen overdag werd gebruikt. Het onderste duo (Luxous 1147FR + PE-AC) beweegt altijd samen en werd zowel overdag als 's nachts gebruikt. Ter vergelijking met gangbare praktijken werd een tweede compartiment gebruikt met twee onafhankelijk aangestuurde SLS10-dagschermen.

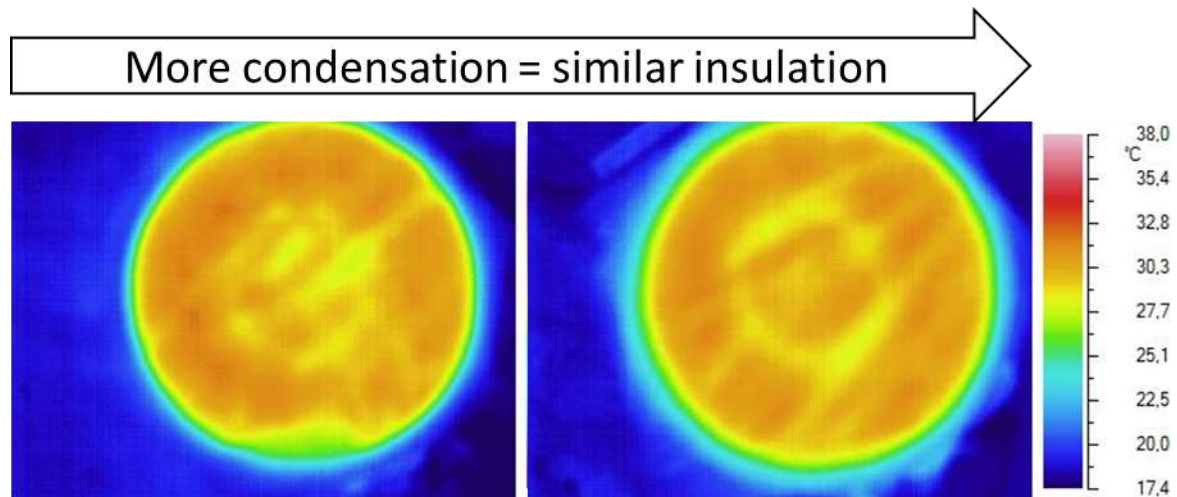


Figuur 1. EB dagschermsysteem; PCH 2018-2019 paprikateelt.

PE absorbeert niet veel infraroodstraling. Dit kan verbeteren door een condenslaag op de folie. Water helpt de hoeveelheid geabsorbeerde infraroodstraling te verhogen - waardoor de isolatie van het scherm verbetert (Figuur 2). Hoewel een condenslaag altijd kan helpen om de isolatie te verbeteren, is het effect niet zo merkbaar op schermen die al een hoge infraroodabsorptie hebben, zoals PVDF (Figuur 3).



Figuur 2. Infraroodbeelden van een PE-AC-folie die warm water bedekt. Bij de koudere (meer gele) beelden kan minder infraroodstraling van het warme water de camera bereiken (betere isolatie). Dit is te zien zodra er condensatie op het scherm aanwezig is - afbeelding uiterst rechts.



Figuur 3. Infraroodbeelden van een PVDF-film over warm water. Hoewel condensatie de isolatie verbetert, is het duidelijk dat het materiaal zelf een hoge infraroodabsorptie heeft.

Deze proef had volgende doelen:

- Energiebesparing te maximaliseren met behulp van marktklare EB schermen
- Behoud van productie en vruchtkwaliteit.
- Ervaring opdoen met de vorming van de condenslaag op de folie door een optimale RV na te streven die laag genoeg is om binnenrot te voorkomen

Proefopzet

Proefbeschrijving

Voor de proef werden op PCH twee verschillende dagschermen geïmplementeerd: PE-AC folie en Luxous 1147FR doek (Figuur 1). De belangrijkste kenmerken van deze schermen zijn samengevat in onderstaande Tabel 1. PVDF is in de tabel opgenomen, ook al is het niet marktbeschikbaar.

Tabel 1. Kenmerken van dagschermen - relatieve waarden weergegeven.

Materiaal	Zonlicht (PAR) transmissie		Warmtestralingseigenschappen		
	Droog	Nat	Absorptie	Transmissie	Reflectiviteit
1147FR	0,75	--	0,75	0,17	0,08
PE-AC	0,81	0,83	0,36	0,63	0,01
PVDF	0,88	--	0,64	0,27	0,09

De zaden werden gezaaid op 18/okt/2018 bij BPK, de planten werden op 4/dec/2018 in de serre bij PCH geplaatst en het schermstelsel werd op 18/dec/ 2018 geïnstalleerd. De test duurde tot 18/sep/2019. De serrecompartimenten worden beschreven in Tabel 2.

Tabel 2. beschrijving van de verschillende serrecompartimenten.

	Referentie	GLITCH
Oppervlakte	459 m ² (19 m x 24,1 m)	490 m ² (20,3 m x 24,1m)
Glazen dak	niet-difffuus	difffuus – low haze 20% ±10
Luchtbehandelingsunit met kruisstroom warmtewisselaar (ontvochtiging)	---	Aanwezig
Schermsysteem	2 onafhankelijk SLS10 schermen	Onderste dagscherm duo: Luxous 1147FR PE-AC folie bovenste dagscherm: PE-AC folie nachtscherm: XLS 18

De sturing werd aangepast volgens de volgende metingen:

- Buiten: zonnestraling, temperatuur, relatieve vochtigheid
- Binnen: PAR, relatieve vochtigheid, temperatuur, schermpositie, raampositie.

Om energiebesparingen te kunnen volgen, werden volgende parameters ook gemeten:

- Verwarmingsverbruik, elektriciteitsverbruik (luchtbehandelingsunit), temperatuur van omringende afdelingen, warmtestroom tussen afdelingen.

Teeltgegevens

Samenvatting:

- Ras: Ids
- Teeltsysteem: V-systeem 3 stengels per plant
- Zaidatum: 18/10/2018
- Plantdatum: 4/12/2018
- Stengeldichtheid: 7,1 st/m²
- Eerste oogst: 2/04/2019
- Laatste oogst: 18/09/2019

Beoordelingen

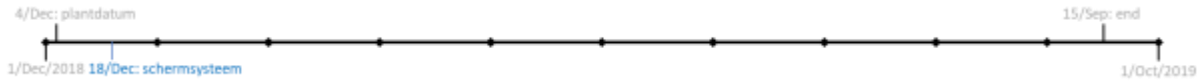
- Vruchten
 - Vruchtgewicht
 - Aantal kg/m²
 - Omzet (verkoop)
 - Plantgroei
 - Binnenrot
 - Brandvlekken
- Energie
 - Referentie:
 - Verwarming afdeling
 - GLITCH:
 - Verwarming afdeling en LBU
 - LBU elektriciteitsverbruik
 - Besparingen

Resultaten en bespreking

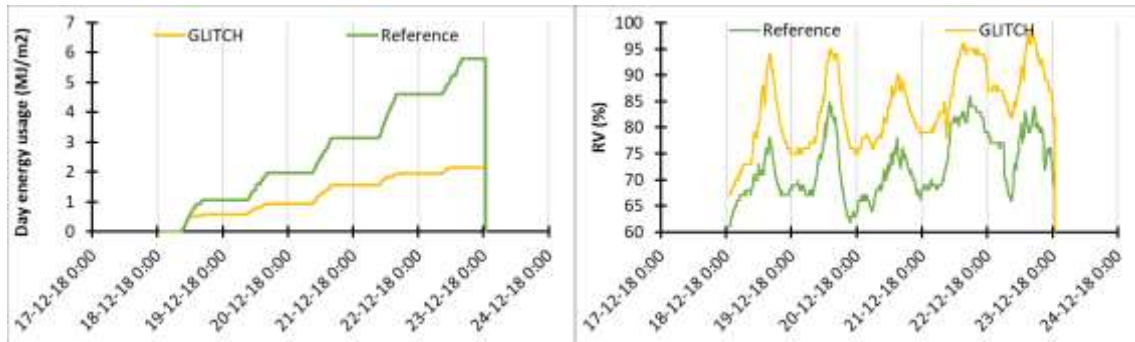
Energie

Het hieronder vermelde energieverbruik is het netto energieverbruik van elk compartiment, d.w.z. de warmte-overdracht over de zijwanden werd verwijderd van de totale warmtevraag (bruto). De berekening van dit netto energieverbruik wordt verder toegelicht in Bijlage A.

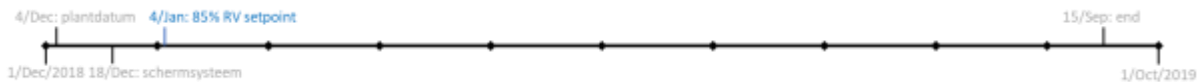
Omdat er tussen 4/12 en 17/12 nog geen schermen hingen in de GLITCH-afdeling, werd er voor deze periode een schatting gemaakt van het energieverbruik alsof de schermen wel aanwezig waren. Ook voor de periode tussen 03/03 en 19/03 werd een schatting gemaakt van het energieverbruik omdat voor deze periode geen energiegegevens beschikbaar waren. Wanneer we deze schattingen mee in rekening brengen bij het totale energieverbruik in beide afdeling, komt het totale jaarverbruik op 23,1 m³ a.e./m² aardgas equivalent voor de referentie-afdeling en 12,7 m³ a.e./m² voor de GLITCH-afdeling, wat neerkomt op een energiebesparing van 45%. Om energiebesparing in meer detail te analyseren, is het noodzakelijk om verschillende tijdsperiodes afzonderlijk te evalueren.



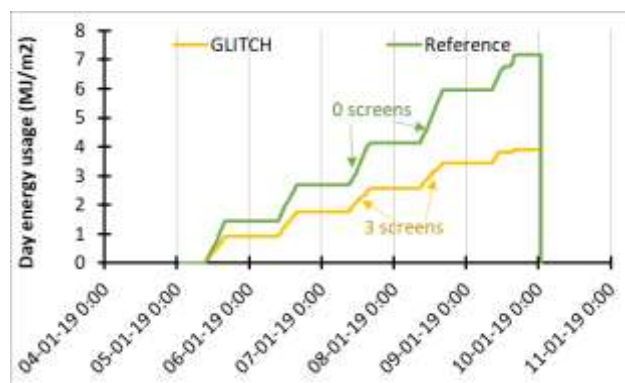
Direct nadat de schermen waren geplaatst (18/Dec/2018), bedroeg de energiebesparing overdag ongeveer 63%. Tijdens deze periode werd de relatieve vochtigheid niet gecontroleerd en had de GLITCH-afdeling een significant hogere relatieve vochtigheid (Figuur 4). Tijdens deze periode, waarin het GLITCH-compartiment de 3 dagschermen gebruikte en het referentiecompartiment slechts 1 SLS10, werd een besparing van 50% behaald.



Figuur 4. Energieverbruik en relatieve vochtigheid gedurende de eerste 5 dagen met het EB-schermstelsysteem in de GLITCH-afdeling – overdag werd 63% energiebesparing behaald.

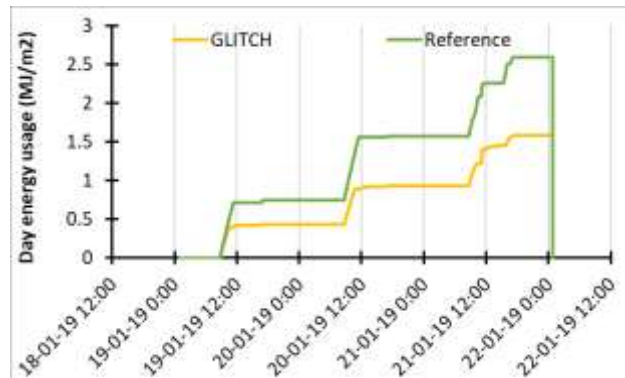


Op 4/januari/2019 werd de setpoint voor RV in de GLITCH-afdeling ingesteld op 85%. De energiebesparing daalde daardoor naar 30-40%. Besparingen zoals in de voorgaande periode werden alleen behaald wanneer in de GLITCH-afdeling de 3 dagschermen werden gebruikt en het referentiecompartiment er geen gebruikte (Figuur 5).



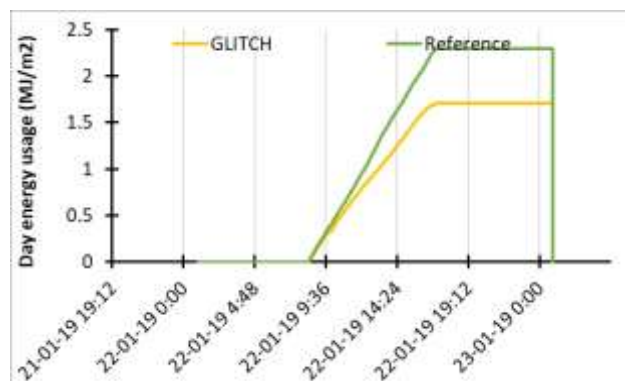
Figuur 5. Het energieverbruik nadat de RV in de GLITCH-afdeling werd verlaagd naar 85%.

Van 19 tot en met 21 januari waren 3 zonnige dagen. Tijdens deze dagen werd er 1 PE-AC-folie gebruikt in de GLITCH-afdeling en werd er geen scherm gebruikt in de referentie afdeling. Tijdens deze dagen werd ongeveer 40% energiebesparingen behaald (figuur 6).

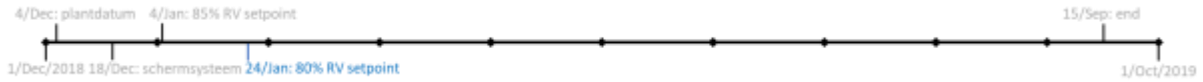


Figuur 6. Verschil in energieverbruik bij gebruik van 1 PE-AC folie in de GLITCH-afdeling en geen schermen in de referentie-afdeling.

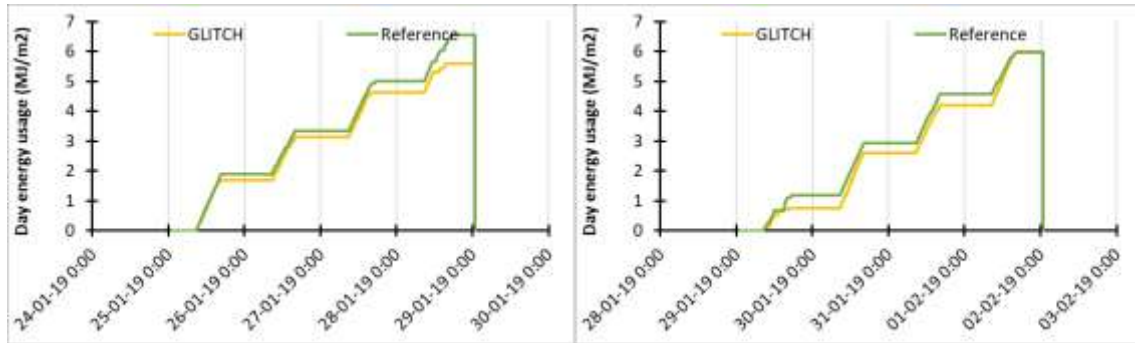
De instellingen die op 4 januari werden aangenomen, maakten energiebesparing minder duidelijk. Op dagen waar de 3 schermen van de GLITCH-afdeling werden gebruikt en slechts 1 scherm in de referentie-afdeling, daalde de energiebesparing soms tot 26% (Figuur 7).



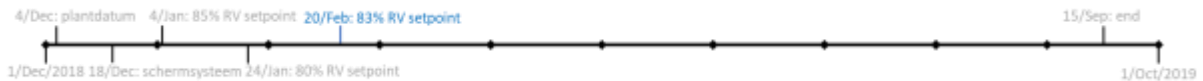
Figuur 7. Een RV van 85% in de GLITCH afdeling op het moment dat één scherm werd gebruikt in de referentie-afdeling leidde tot beperkte energiebesparing



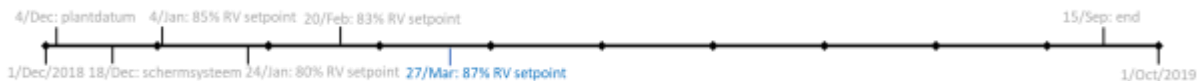
Door de streefwaarde voor RV te verlagen naar 80% op 24 januari, zijn de energiebesparingen nog verder verlaagd. Over het algemeen werden geen energiebesparingen behaald en soms gebruikte het GLITCH-compartiment zelfs meer energie dan het referentiecompartiment.



Figuur 8. Door de RV in te stellen op maximaal 80% in de GLITCH-afdeling, werd er geen energie bespaard.



Het verhogen van de RV naar 83% op 20 februari had geen invloed op de energiebesparing in vergelijking met de vorige instellingen.

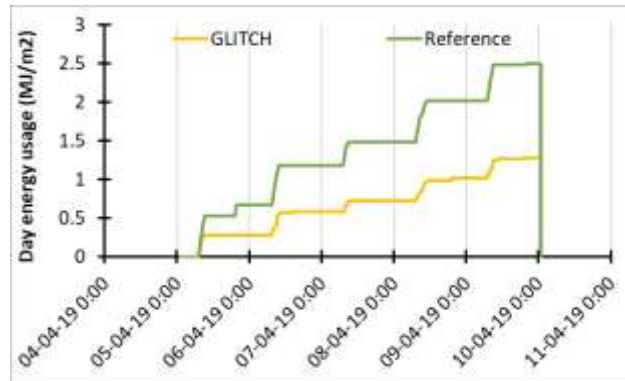


Op 27 maart werd de instelling voor RV verder verhoogd tot 87%. Dit had geen groot effect op energiebesparing. Door het warmere en zonnigere weer werden de schermen overdag nauwelijks gebruikt.



Op 4 april werd besloten om de instelling voor RV aanzienlijk te verhogen (93%), en 's ochtends 3 uur tijd te geven om op te lopen tot 97%. Hierdoor zou er 's ochtends meer condensatie kunnen ontstaan, vooral als de schermen gebruikt werden. Met deze

veranderingen realiseerden we opnieuw energiebesparingen in de GLITCH-afdeling (ongeveer 50%). Deze instellingen bleven tot het einde van de oogstperiode ongeveer hetzelfde.

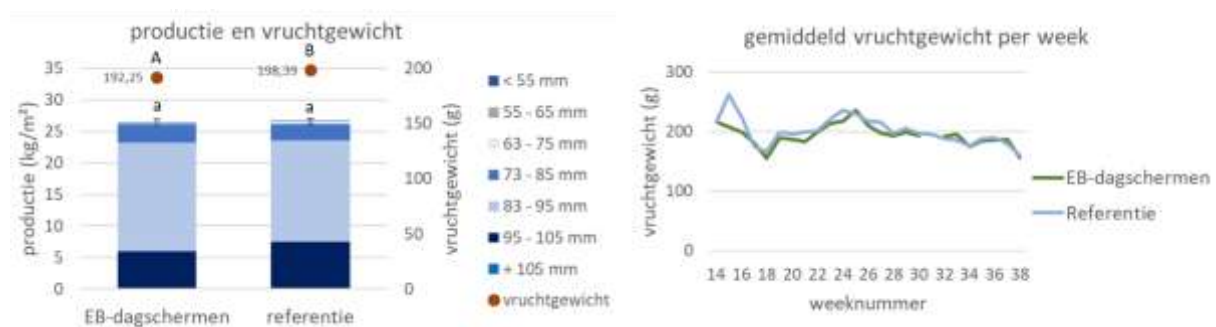


Figuur 9. Hogere luchtvochtigheidswaarden in de vroege ochtend hebben geholpen om opnieuw besparingen te behalen (ongeveer 50%).

Het volledige groeiseizoen liep van 4 december 2018 tot half september 2019. Gedurende deze periode werd ongeveer 400 MJ/m² gebruikt in de GLITCH-afdeling en 728 MJ/m² in de referentie afdeling. Als het seizoen tot eind oktober had geduurd, zou het energieverbruik respectievelijk 510 en 858 MJ zijn geweest (berekend op basis van het energieverbruik in andere periodes). Bij aardgas met calorische waarde van 31,5 MJ/m³ is het energieverbruik respectievelijk 16,2 en 27,2 m³ a.e. (aardgas equivalent).

Teelt

In beide afdelingen werd ook de productie, plantengroei en kwaliteit van de vruchten opgevolgd. De totale productie was in beide afdelingen bijna gelijk (26,43 kg/m² in de GLITCH afdeling en 26,6 kg/m² in de Referentie, Figuur 10). Wel zien we in de GLITCH afdeling dat het productieverloop een meer cyclisch patroon vertoont met grotere pieken en dalen t.o.v. de referentie (Figuur 10). Bovendien waren de vruchten uit de GLITCH afdeling significant kleiner dan de vruchten uit de referentie (192,25 g vs 198,39 g, Figuur) waardoor er na verkoop 6% minder omzet werd behaald met de vruchten uit de GLITCH afdeling t.o.v. de referentie. Ook de plantengroei werd maandelijks opgevolgd. Uit de metingen blijkt dat de planten in de GLITCH afdeling gemiddeld 24 cm groter waren dan de planten uit de referentieafdeling (Figuur). Dit verschil is statistisch significant. De snellere groei in de GLITCH afdeling was het hele teeltseizoen aanwezig. Tot slot werd ook de kwaliteit van de vruchten beoordeeld. Zo werden zowel brandvlekken als binnenrot op geregelde tijdstippen opgevolgd. Brandvlekken werden tijdens een korte periode in het voorjaar waargenomen. De schermsturing werd nadien aangepast zodat het onderste duo (met Luxous doek) voor 90% dicht ging en de bovenste PE-AC folie slechts voor 10%. Na deze aanpassing werden bijna geen vruchten met brandvlekken meer waargenomen in de GLITCH afdeling. Voor het bepalen van binnenrot werden 3x per jaar de vruchten opzij gezet en opengesneden na 1 week bewaring. Tijdens de hete zomermaanden werden heel veel vruchten met binnenrot waargenomen in de GLITCH afdeling, terwijl er bijna geen binnenrot werd gevonden in de vruchten uit de referentieafdeling. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door te hoge buitentemperaturen, waardoor de LBU het overtollige vocht niet meer kon afvoeren en binnenrot kon ontstaan. De instellingen werden dan terug aangepast (de setpoint voor RV werd een beetje verlaagd). Tijdens de rest van de zomer werden geen hoge niveaus van binnenrot meer waargenomen.



Figuur 10. Paprikaproductie.

In het begin van het teeltseizoen waren, op donkere dagen, zowel het onderste duo als de bovenste PE-AC folie gesloten. 's Ochtends werd in het onderste duo een kiertje getrokken van 3% om vocht tot op de bovenste PE-AC folie te krijgen. Op momenten dat de zon een beetje scheen (>70 W) ging het onderste duo open. Enkel op een heel zonnige winterse dag (>400 W) ging ook de bovenste PE-AC folie open. Vanaf begin april werden deze instellingen omgekeerd, en ging eerste het bovenste scherm open en pas bij hogere instralingen (>200 W) ook het onderste duo. Omdat er niet altijd condensvorming was op het bovenste scherm droeg dit soms niet bij tot de isolerende capaciteit van het EB schermstelsel en werd er toch meer licht weg geschermd. Door de instellingen om te draaien, werd er op zonnige dagen dus meer licht beschikbaar voor de plant. Vanaf begin mei werd er ook geschermd tegen te hoge instraling om brandvlekken op de vruchten te voorkomen. De eerste weken werd het onderste duo voor ongeveer 70% dicht getrokken en de bovenste PE-AC folie voor ongeveer 30% (volgens de klassieke manier). Zo creëer je een schoorsteeneffect voor de luchtcirculatie. Na enkele weken bleek dat op deze manier niet genoeg licht werd weg geschermd (er werden nog veel brandvlekken waargenomen) en werd beslist om de instellingen aan te passen. De rest van het teeltseizoen werd het onderste duo 90% dichtgetrokken en het bovenste scherm 10%. Zo werd het schoorsteeneffect behouden, maar werd meer licht weggeschermd dankzij het Luxous doek.

Ook de instellingen voor de temperatuur en luchtvochtigheid werden doorheen het teeltseizoen geëvalueerd en bijgestuurd indien nodig. In beide afdelingen was in het voorjaar een koude voornacht (tot 13°C) nodig om de planten te laten zetten. Door de diffuse plastic aan de zijwanden, die nodig is voor extra isolatie, kregen de planten in beide afdelingen minder licht en hadden ze het moeilijk om te zetten. Nadat het eerste zetsel aan de plant hing (ongeveer half maart) werd in beide afdelingen de temperatuur tijdens de voornacht opgetrokken tot 17°C. In afdeling 19 werd de temperatuur van de voornacht vanaf mei opgetrokken tot 19°C. Nadien liepen de instellingen in beide afdelingen redelijk gelijk. De nachttemperatuur in de GLITCH afdeling lag tijdens de zomer iets hoger dan in Referentie (19°C tov 18°C). De RV in de GLITCH afdeling werd in het begin van het teeltseizoen iets lager gehouden (tussen de 80% en 87%). Vanaf april werd de RV ingesteld op 92-93%. Bij te hoge RV werd de LBU ingeschakeld om te ontvochtigen.

Conclusies

- Energiebesparing is mogelijk zonder in te boeten aan vruchtkwaliteit, plantengroei of productie
- Als het warmer wordt buiten, is controle van de luchtvochtigheid met de LBU niet haalbaar en moet ontvochtigd worden via ventilatie.
- Nieuwe dagschermen die ook kunnen isoleren zonder condensatielaag zijn nodig.

Door de vervroegde teeltwissel dit jaar, konden de proeven slechts opgevolgd worden tot half september. Hierna werden geen data verzameld voor energie en productie. Het valt te verwachten dat tijdens de koudere herfstmaanden opnieuw meer energie bespaard kan worden. Dit zal moeten blijken uit de proef van volgend jaar.

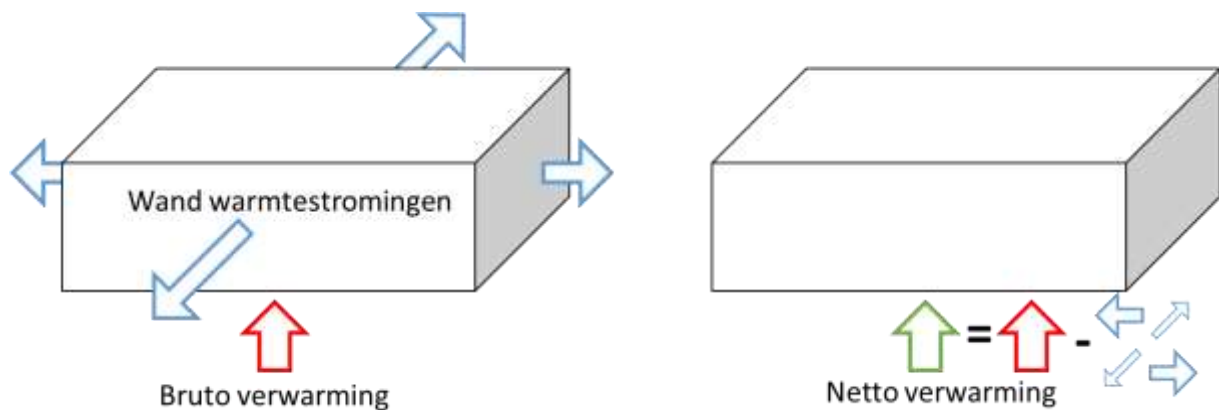
Referenties

Bronchart, F., De Paepe, M., Dewulf, J., Schrevens, E., & Demeyer, P. (2013). Thermodynamics of greenhouse systems for the northern latitudes: analysis evaluation and prospects for primary energy saving. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 119, 121–133.

emis. (2018). Rapporten Energiebalans Vlaanderen. Retrieved from <https://emis.vito.be/nl/rapporten-energiebalans-vlaanderen>

Bijlage A. Netto vs bruto verwarming

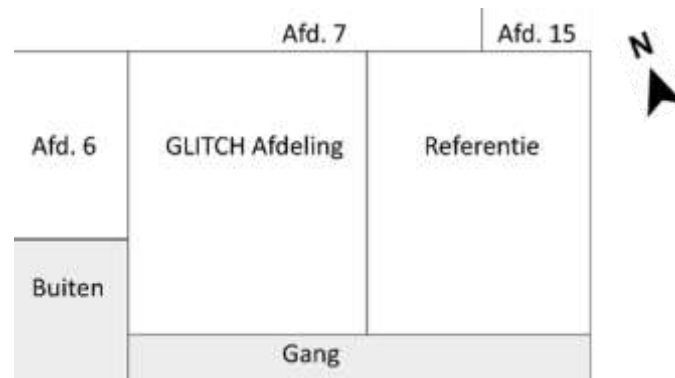
In commerciële serres is het grondoppervlak veel groter dan het muuroppervlak – energieverliezen naar buiten treden voornamelijk op via het dak. Bij de compartimenten die voor de GLITCH-proef werden gebruikt, is het grondoppervlak (490 m²) kleiner dan de wandoppervlakte (622 m²) - en is er dus meer warmteverlies langs de zijwanden dan in een commerciële serre. Om de warmtevereisten in het GLITCH- en Referentiecompartiment van onze proef te kunnen vergelijken met commerciële serres, moeten we deze randeffecten uit de resultaten verwijderen. Dit is de vertaling van bruto verwarming naar netto verwarming (Figuur A1)



Figuur A1. Bruto tot netto verwarmingsvereisten.

Figuur A2 situeert de GLITCH en referentie afdeling t.o.v. van hun omgeving. A2. De netto verwarmingsvereisten in de GLITCH afdeling zijn daarom:

$$Q_{GLITCH_{netto}} = Q_{GLITCH_{bruto}} - Q_{G \rightarrow Ref} - Q_{G \rightarrow Afd.7} - Q_{G \rightarrow Afd.6} - Q_{G \rightarrow Buiten} - Q_{G \rightarrow Gang}$$



Figuur A2. Situering van de GLITCH- en referentiecompartiment op het PCH.

Voor de berekeningen van de warmtedoorgang tussen de verschillende afdelingen :

$$Q_{G \rightarrow i} = U_i * A_{wall_i} * (T_G - T_i)$$

Waar i ofwel een aangrenzend compartiment, de gang of de buitenkant is.

Hierbij werden volgende U waarden gebruikt:

- Tussen gang en de afdeling: $U_{corridor} = 1.2863 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Deze waarde is lager omdat een folie voorzien is om de warmteoverdracht te verminderen.
- Tussen 2 compartimenten: $U_{Afd} = 3 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$,
- Tussen afdeling en buiten: $U_{buiten} = 2.5 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Ook hier is een folie voorzien maar de overdracht naar buiten is groter door buitenwind en lagere stralingstemperaturen.

Deze coëfficiënten zijn gebaseerd op warmteoverdracht berekeningen waarbij viewing factors gebruikt werden.

De temperaturen in elk van de aangrenzende compartimenten en buiten werden gemeten door een priva meetbox verbonden met de klimaatcomputer. Er staat echter geen priva meetbox in de gang, daar werd de temperatuur gemeten, maar tijdens zonnige momenten leverde dit geen betrouwbare metingen op. Daarom is voor de gang een temperatuurprofiel geïmplementeerd.

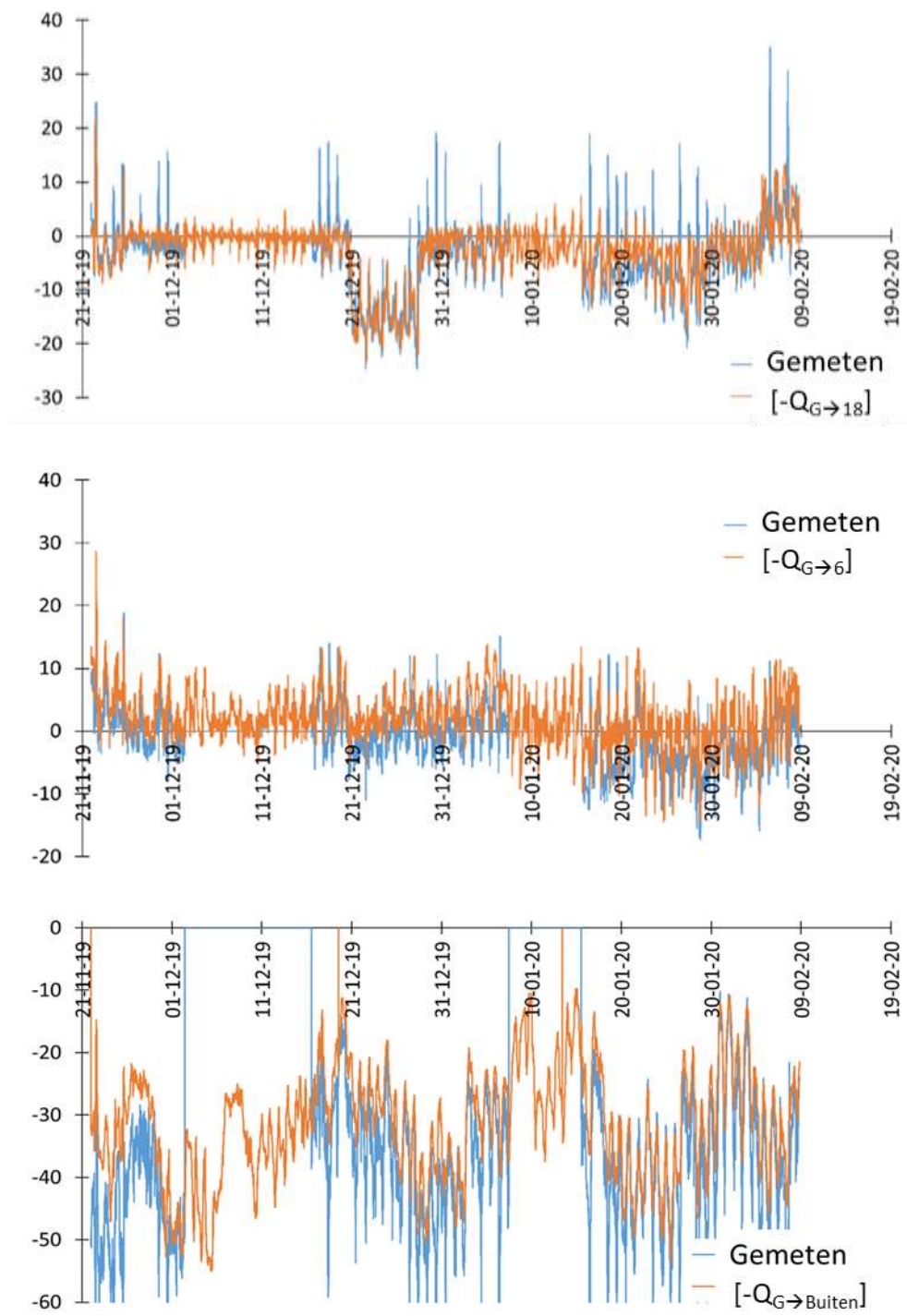
Om de juistheid van deze berekening van de netto warmte te beoordelen, werd de warmtestroom door compartimenten experimenteel gemeten m.b.v. warmtedoorgangssensoren van hukseflux. Deze sensoren van hukseflux werden aangepast zodat deze toegepast kunnen worden voor het meten van de warmtedoorgang door glas (Figuur A3)



Figuur A3. Aangepaste hukseflux sensoren.

De vergelijking van sensormetingen en de voorspellingen met behulp van de bovengenoemde waarden wordt getoond in Figuur A4. Er werd geconcludeerd dat de berekende waarden en de gemeten waarden vergelijkbaar genoeg zijn voor de evaluatie van het netto energieverbruik

in de afdelingen. Daarom werd de warmteflux tussen compartimenten berekend met de hierboven vermelde U-waarden en het temperatuurverschil tussen afdelingen.



Figuur A3. Vergelijking van sensormetingen en de berekende voorspelling