

Biologische teelt wordt gekenmerkt door kleinere oppervlaktes, wat vaak impliceert dat investeren in een warmtekrachtkoppeling niet rendabel is. Daarom werd enkele jaren geleden in de bio-afdeling van het PCG geïnvesteerd in een gasabsorptiewarmtepomp gecombineerd met boorgat-energieopslag (BEO). Sinds begin 2012 lopen er energiemetingen waarbij het energieverbruik in de biologische serres en het rendement van de warmtepompen en het BEO-veld worden opgevolgd. Nu is het tijd voor de eerste meetresultaten.

In de bio-afdeling van het Provinciaal Proefcentrum voor de Groenteteelt in Kruishoutem (PCG) werd in 2012 het energieverbruik voor bio-tomaat en bio-paprika opgevolgd in twee afdelingen van 400 m². Deze afdelingen zijn voorzien van calorimeters op de buisrail, op de groeibuis en op de luchtbehandelingskast voor het opvolgen van het energieverbruik. De luchtbehandelingskast of LBK kan met de koude en warmte geproduceerd door de warmtepompen de serre ontvochtigen en verwarmen. In beide afdelingen wordt een dubbel beweegbaar scherm gebruikt: een bovenscherm met aluminiumstrips type PH 66 FP (63% energiebesparing en 65% lichtscherming) en een onderscherm type Phorimitex Super (45% energiebesparing en 15% lichtscherming), beide van fabrikant Bonar.

In de afdeling met tomaten werden drie verschillende soorten opgenomen: kleine types tomaat (24 rassen), Coeur de Boeuf (6 rassen) en trostomaat (1 ras). Bij de paprika's waren dat twee soorten: zoete puntpaprika's (8 rassen) en blokpaprika's (10 rassen en 5 onderstammen). Er zijn productiegegevens beschikbaar, maar gezien de grote verscheidenheid aan soorten en rassen bij zowel paprika als tomaat in één afdeling is het moeilijk om deze te vergelijken met serres waarin slechts één type is opgenomen. Algemeen kunnen we wel stellen dat er bij tomaat, ondanks de hoge relatieve vochtigheid (RV) van 80 tot 85% overdag en 85 tot 90% 's nacht, een relatief lage ziektedruk heerste. Alleen zagen we op het einde van de teelt wat valse meeldauw bij sommige rassen door een paar opeenvolgende dagen met een te lage nachttemperatuur. Bij Coeur de Boeuf waren drie van de zes rassen gevoeliger voor een te hoge RV in de maanden april en mei. Bij de zoete puntpaprika's zagen we in het begin van het teeltseizoen bij de eerste zetting behoorlijk wat neusrot ten gevolge van vocht- en temperatuurschokken.

Voor de tomatenteelt, van 20/1/2012 tot 27/11/2012, werd er een dagtemperatuur van 18°C en een nachttemperatuur van 17°C aangehouden. Later op het seizoen werd de nachttemperatuur verlaagd naar 16°C en werd er naar 19°C gestreefd op de middag. Bij paprika, van 27/1/2012 tot 27/11/2012, was dit 19°C overdag en 18°C 's nacht. Later op het seizoen werd in deze teelt naar 20°C gestreefd op de middag.

Wat de RV betreft werd er gestreefd naar 80% bij tomaat, maar dit was in realiteit eerder 80-85% overdag en 85-90% 's nachts en 's ochtends. Vooral in de ochtend, bij het opkomen van de zon en het openen van de schermen, waren er soms problemen met een te hoge RV. Bij paprika lag de RV ongeveer tussen 80 en 85%. Het hoge vochtgehalte is voor een groot deel te wijten aan de grondteelt, welke steeds in zijn geheel beregend wordt ten behoeve van het bodemleven.

Energiemetingen

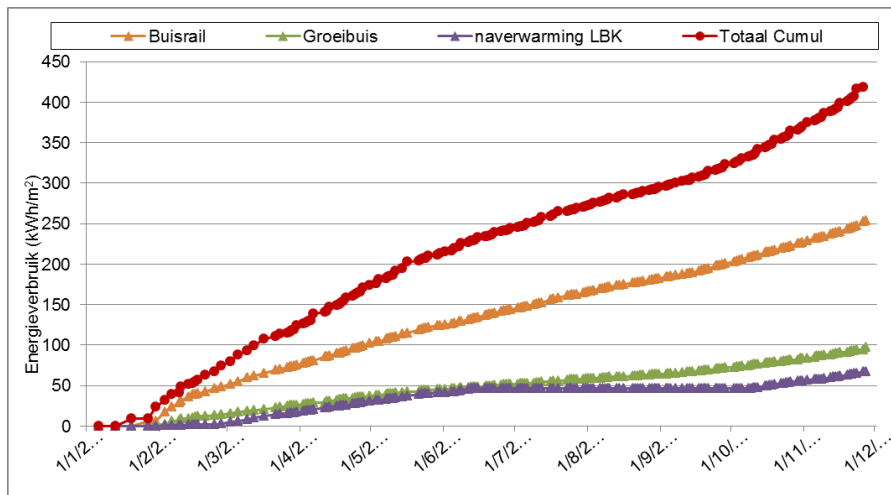
Het totale energieverbruik voor tomaat komt uit op 418 kWh/m², voor paprika op 353 kWh/m². In Figuren 1 en 2 vind je het cumulatieve warmteverbruik voor het hele jaar, van respectievelijk tomaat en paprika. Tabel 1 toont een overzicht van het eindverbruik en het uiteindelijke primaire warmte- en gasverbruik.

Op de grafieken kan het energieverbruik opgedeeld worden in drie verschillende periodes met een hogere warmtevraag in het begin en op het einde van het teeltseizoen en een lagere warmtevraag in het midden van het teeltseizoen. Dat is ook te zien aan de lichte knik in de rode lijn van het totale energieverbruik. Dit heeft vooral te maken met de naverwarming van de koude onvochtigde lucht in de luchtbehandelingskast. De naverwarming wordt immers alleen ingeschakeld in koudere periodes. Opmerkelijk is het vrij lineaire verloop van het verbruik van de buisrail- en de groeibuisverwarming gedurende het hele seizoen, ook in warmere periodes. Wellicht is dit deels te verklaren door het gebruik van een minimum buis van 30°C doorheen het hele seizoen en het lagere aantal zonnige dagen in de zomer van 2012. Ook opvallend is het hogere energieverbruik bij tomaat ten opzichte van paprika, waar paprika op 19°C wordt gestookt en tomaat op 18°C. Het hogere vochtgehalte en de langere teeltduur bij tomaat zijn hiervoor verantwoordelijk.

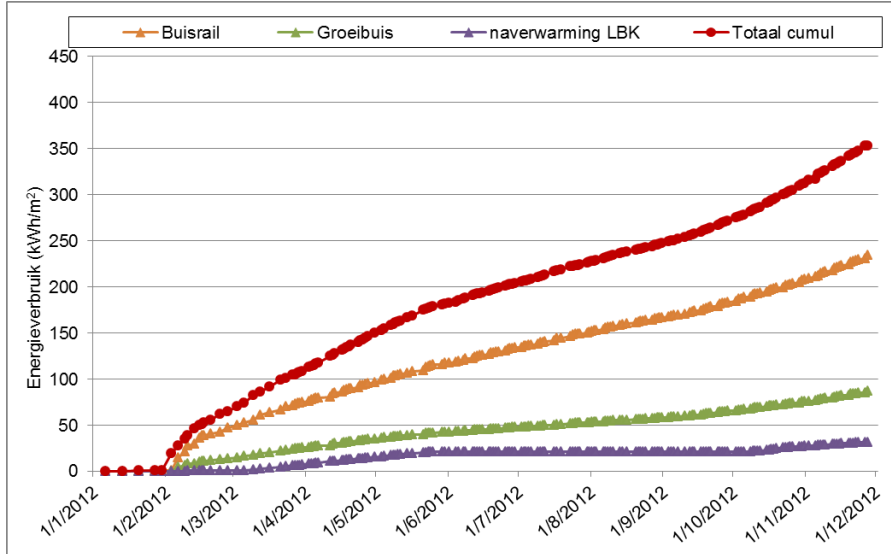
Tabel 1. - Overzicht energieverbruik in tomaat en paprika

Opp. 400 m ²	Tomaat (312 dagen)				Paprika (305 dagen)			
	Buisrail	Groeibuis	LBK	Totaal	Buisrail	Groeibuis	LBK	Totaal
Warmtevraag (kWh/m ²)	253,4	97,5	67,3	418,3	234,7	87,0	31,5	353,1
Gas (kWh/m ²)	189,6	72,9	50,4	297,2	175,6	65,1	23,5	250,9
Gas (m ³ /m ²)	16,4	6,3	4,4	25,8	15,2	5,6	2,0	21,8

Figuur 1. - Cumulatief energieverbruik tomaat



Figuur 2. - Cumulatief energieverbruik paprika



Het kost meer energie om vochtige lucht op te warmen dan drogere lucht, er moet meer gelucht worden en het verbruik van de LBK ligt ook hoger.

Voor het evalueren van de totale energiebesparing bij de twee teelten kunnen we alleen vergelijken met theoretische referentiesituaties, aangezien we op het PCG niet beschikken over afdelingen met referentiemetingen. De energiebesparing is tweeledig, zo blijkt uit Tabel 2: besparingen door de kasconstructie en klimaatsturing (besparing serre) en besparingen door het gebruik van warmtepompen en BEO-veld (besparing WP). Voor tomaat komen we uit op een totale besparing van 35,6% ten opzichte van een referentie van 461,2 kWh/m², opgedeeld in 9,3% besparing serre (= besparing warmtevraag) en 29% besparing door gebruik warmtepompen met een coëfficiënt of performance COP van 1,4 of 140%. Daarbij is de besparing van de serre relatief tegenover de referentie en zal deze in het geval van een zuinigere referentie negatief uitvallen. De besparing van de warmtepompen is afhankelijk van de COP. In ons geval weegt de besparing van de warmtepompen het zwaarste door in de totale besparing.

Klimaat in de serres

Om een (totaal)beeld te geven van het gerealiseerde klimaat in de serre geven we aan de hand van verschillende grafieken nog wat klimaatgegevens mee. Daarbij focussen we ons

op het klimaat bij tomaat, aangezien dit het moeilijkst was om te sturen door onder meer het hoge vochtgehalte.

Figuur 3 toont het wekelijks aantal geschermd uren bij tomaat. In totaal werd er 1.600 uur geschermd met het bovenscherm en 1.830 uur met het onderscherm. Figuur 4 toont de maximale en gemiddelde wekelijkse raamstand en de gemiddelde RV per dag. Van het begin van de teelt tot midden mei (week 19-20) werd er relatief gesloten geteeld. De gemiddelde RV ligt rond de 85% per dag, met soms waarden die eerder naar 90% gaan. Tot midden juni werd de ventilatietemperatuur overdag 1,5°C boven de verwarmingstemperatuur ingesteld; vanaf midden juni tot het einde van teelt slechts 1°C hoger. In de overgang van de koudere naar de warmere periode (april-mei) is er teveel gefocust op het gesloten telen, waarbij de RV-gehalten en temperaturen soms te hoog opliepen. Daarbij is het belangrijk op te merken dat het (semi-)gesloten telen geen doel op zich mag zijn. Men moet er wel naar streven om de serre zoveel mogelijk gesloten te houden, maar op een zeker moment, wanneer het gewas actief is en er voldoende instraling is, moet de serre toch geopend worden.

Algemeen kunnen we stellen dat het realiseren van het semi-gesloten telen in combinatie met warmtepompen en een BEO-veld een complexe aangelegenheid is. Zo moet er een evenwicht worden gevonden tussen enerzijds het klimaat in de serre, waarbij de plant een ideaal groeiklimaat vraagt, en anderzijds de energiebesparing.

Tabel 2. - Energiebesparing t.o.v. referentie. [Besparing serre: energie van warmtevraag teelt t.o.v. referentie; Besparing WP: gasverbruik warmtepomp met COP 1,4 t.o.v. warmtevraag teelt; Totale besparing: gasverbruik WP met COP 1,4 t.o.v. referentie.]

Opp. 400 m ²	Energie paprika per m ²		Energie tomaat per m ²	
	417,0 kWh (36,2 m ³)	345,9 kWh (30 m ³)	461,2 kWh (40 m ³)	403,5 kWh (35 m ³)
Referentie/m ²				
Warmtevraag teelt PCG	353,1 kWh	353,1 kWh	418,3 kWh	418,3 kWh
Besparing serre	15,30%	-2,10%	9,30%	-3,60%
WP met COP 1,4	250,8 kWh	250,8 kWh	297,1 kWh	297,1 kWh
Besparing WP	29,00%	29,00%	29,00%	29,00%
Totale besparing	39,80%	27,50%	35,60%	26,40%

Ook zijn er de beperkingen van het systeem en de verschillende parameters waarmee rekening moet worden gehouden, zoals de ingangs- en uitgangstemperaturen van de warmtepomp die ook de COP bepalen, lagere buistemperaturen, het beschikbare koel- of ontvochtigingsvermogen...

Warmtepompen en BEO-veld

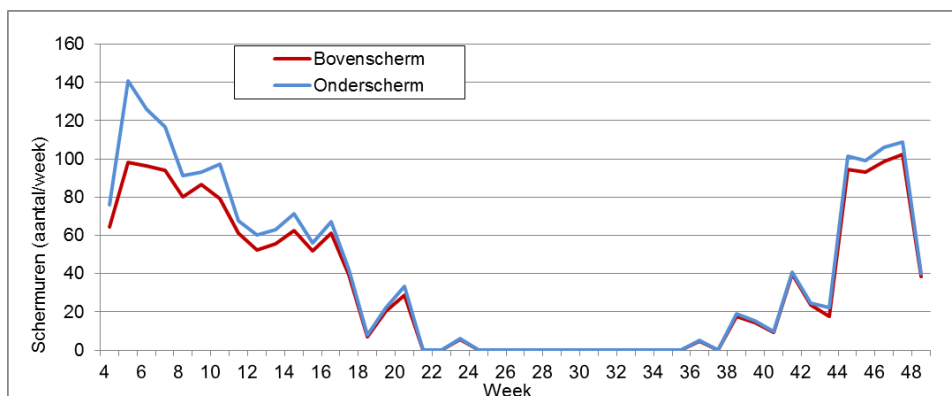
Bij de energiebesparing hebben we gesproken over de COP van de warmtepompen. Deze COP wordt over het algemeen bepaald door de ingangs- en uitgangstemperaturen van de warmtepomp. De opgemeten COP van de warmtepompen op het PCG is over het hele jaar gemiddeld gezien ongeveer 140%, met een maximum van 150% en een minimum van 124% (Figuur 5). De COP wordt bepaald door de geproduceerde warmte (warm water), die wordt opgemeten door de calorimeters aan de warmtepomp, te vergelijken met het gasverbruik. Daarvoor gebruiken wij de calorische bovenwaarde van het aardgas, in ons geval is dat ongeveer 11,52 kWh per m³ gas. Het theoretische rendement van gas-absorptiewarmtepompen wordt aangeduid met de term gas use efficiency (GUE) die bepaald wordt ten opzichte van de calorische onderwaarde van aardgas, in ons geval 10,41 kWh/m³ gas. De GUE varieert van 130 tot 170% voor onze warmtepompen. Als we onze gemeten COP omrekenen naar de calorische onderwaarde komen we een gemiddelde GUE van 155% uit met een maximum van 166%.

De grafiek toont het verloop van de COP over het hele jaar. Daarbij zien we dat de COP hoger is op dagen met een hoge

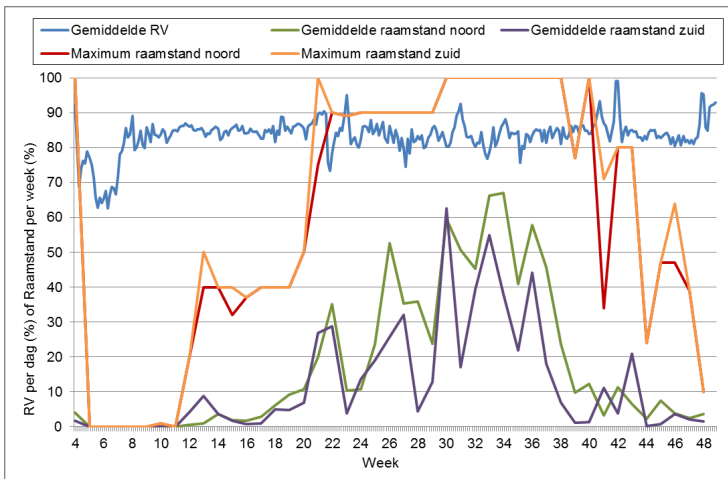
warmtevraag (vooral in de winterperiode) en lager is op dagen met een lagere warmtevraag (vooral in de zomerperiode). Op zich is dit opmerkelijk aangezien de ingangstemperaturen in de zomer hoger liggen dan in de winter. Wellicht is een hogere uitgangstemperatuur (rode lijn) hiervoor verantwoordelijk. Op de grafiek zie je op sommige tijdstippen een omgekeerd lineair verband tussen de COP en de uitgangstemperaturen van de warmtepomp. In de zomer, wanneer er weinig warmtevraag is, halen de warmtepompen gemakkelijk hun maximale ingestelde stooktemperatuur, wat ondanks de hogere ingangstemperaturen een lagere efficiëntie met zich meebrengt. In de winter is deze situatie net omgekeerd waardoor de COP over het algemeen hoger ligt. Een aangepaste sturing met lagere uitgangstemperaturen op warme dagen kan wellicht een positief effect hebben op de COP van de warmtepompen.

Op de grafiek is ook te zien dat de ingangstemperatuur van de warmtepomp (groene lijn) varieert tussen 5°C en 15°. Deze is in koudere periodes vrij onafhankelijk van de buitentemperatuur. Reden hiervoor is dat in deze periodes vooral omgevingswarmte wordt onttrokken uit de bodem via het BEO-veld en dat zorgt ook voor een relatief hoge COP, ondanks de lage buitentemperaturen. In warmere periodes wordt er vooral warmte onttrokken uit de serres via de LBK. In deze periodes volgt de ingangstemperatuur dan ook meer de buitentemperatuur. Over heel het seizoen werd ongeveer 30% van de laagwaardige omgevingswarmte onttrokken via het BEO-veld, vooral op de koudere tijdstippen in het begin en op het einde van het teeltseizoen. De andere 70% van de omgevingswarmte werd onttrokken uit de serres. Dat gebeurt in warmere periodes wanneer er veel instraling is: de overtollige warmte in de serres wordt dan via ontvochtiging (via de LBK) onttrokken uit de serre en naar de warmtepomp gestuurd.

Het BEO-veld wordt ook gebruikt om op lichtrijke en warme dagen de overtollige warmte in de grond te stockeren. In deze periode draait het verwarmingssysteem op CO₂-vraag en kan er nog steeds CO₂ geleverd worden als de warmtebuffer vol zit. Door de luchtbehandelingskasten wordt er warmte onttrokken uit de serres waarna deze door de warmtepompen wordt opgewaardeerd en gestockeerd in het BEO-veld.



Figuur 3. - Scherming bij tomaat per week



Figuur 4. - Ventilatie en relatief vochtgehalte bij tomaat (alle gegevens gemiddelde per week behalve gemiddelde RV: gemiddelde per dag)

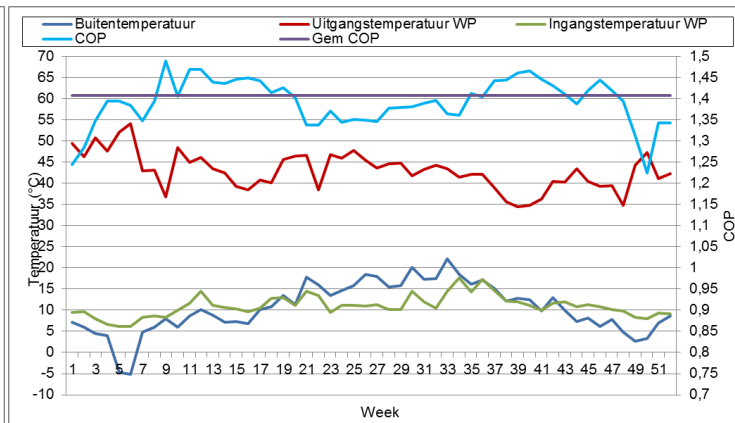
Afgelopen zomer is er tijdens de maanden juni, juli en augustus ongeveer 8 MWh aan warmte in de grond gestockeerd aan een gemiddelde temperatuur van ongeveer 18°C. Vanaf oktober werd deze warmte terug geoogst uit de grond aan een temperatuur van ongeveer 10°C. Deze temperatuur ligt veel lager dan in de zomer en dat heeft wellicht te maken met het feit dat er niet dagelijks of op continue basis warmte in de grond werd gestockeerd. Reden hiervoor was het lager aantal zonnige dagen afgelopen zomer en het feit dat er pas begin oktober warmte uit het BEO-veld werd onttrokken.

Een aangepaste sturing kan wellicht ook verbetering brengen aan het stockagerendement van het BEO-veld, waarbij er tijdens de zomermaanden meer continu warmte in het BEO-veld wordt gestockeerd.

Is dit systeem terugverdienbaar?

Dit systeem toont op het eerste zicht een mooie energiebesparing, maar de vraag die zich stelt is of het economisch terugverdienbaar is met een realistische terugverdientijd (TVT). Vóór de realisatie van het project werd er voor dit systeem een TVT (met VLIF-steun) berekend van ongeveer 8,5 jaar. Dit is voor een investering van 500.000 euro, met 30% VLIF-steun, voor een bedrijf van 2 ha met een besparing van 25% thermische energie, een verdubbeling van het elektriciteitsverbruik en een meerproductie van 5% door extra CO₂-dosering door het gebruik van het BEO-veld.

Het is duidelijk dat de terugverdientijd van dit systeem afhankelijk is van vele parameters, zoals de bedrijfsoppervlakte, het huidige energieverbruik, de investering in het BEO-veld... Zo zal de investering in een BEO-veld wellicht voor een grotere energiebesparing (door een hogere COP) en een hogere productie zorgen, maar aan de andere kant gaat daar ook een hogere investeringskost mee gepaard. Hierbij rekent men op ongeveer 4.000 euro per boorgat van 100 m diep.



Figuur 5. – COP-verloop warmtepomp (gegevens gemiddelde per week)

Het is nog is nog niet duidelijk wat het juiste aandeel is van het BEO-veld in de energiebesparing en of de energiebesparing ervan hoog genoeg is om de investeringskost van een BEO-veld te compenseren. Er kan eventueel voor gekozen worden om het BEO-veld te vervangen door een andere laagwaardige warmtebron, zoals de buitenlucht. Of misschien kan het BEO-veld ook gebruikt worden als rechtstreekse koudebron voor het ontvochtigen van de kaslucht.

De werkelijke TVT zal opnieuw worden berekend aan de hand van verschillende uitgangssituaties vertrekkende van de meetgegevens die voortkomen uit de lopende projecten.

Verder onderzoek

In het teeltseizoen 2013 zullen we focussen op het verder verlagen van het energieverbruik en zullen we de problemen aanpakken waarmee we vorig teeltseizoen geconfronteerd werden.

Het verder verlagen van het energieverbruik kunnen we opsplitsen in twee delen. Enerzijds kunnen we proberen om de COP van de warmtepompen te verhogen door naar een lagere uitgangstemperatuur en hogere ingangstemperaturen te streven en lagere buistemperaturen in de serres te gebruiken. Anderzijds kunnen we de warmtevraag in de serres verlagen door lagere instelpunten in te stellen, meer gesloten te gaan telen of temperatuurintegratie toe te passen. Verder zullen we bij tomaat ook plantsensoren gebruiken om een beter beeld te krijgen van hoe het gewas reageert op een klimaat met hogere temperaturen en hogere vochtgehalten. Ook de extra elektriciteit die wordt verbruikt door de bijkomende pompen voor het aansturen van de ontvochtiging en het BEO-veld, de luchtbehandelingskast en de ventilatoren zal worden gemeten.

We houden jullie dit jaar verder op de hoogte van de meetresultaten van het lopende teeltseizoen.

Onderzoek in het kader van project LNE en GreenGrowing. Met dank aan het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse overheid, de provincie Oost-Vlaanderen en Interreg IVG North Sea region.

Contactpersonen: Evert Eriksson (PCG)

TEL: 09 381 86 86

E-mail: evert.eriksson@proefcentrum-kruishoutem.be

