

Energieaspecten en besparingspotentieel CiC systeem

Projectnummer: 12323.06

DLV Plant

Postbus 6207

5960 AE Horst

Expeditiestraat 16 a

5961 PX Horst

T 077 398 75 00

F 077 398 66 82

E info@dlvplant.nl

www.dlvplant.nl

Gefinancierd door
Productschap Tuinbouw
Postbus 280
2700 AG Zoetermeer



Uitgevoerd door

DLV Plant / Cpoint
Expeditiestraat 16a
5961 PX Horst



Jan Gielen
December 2011

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding en doel	5
1.1 Doel van het project	5
1.2 Te verwachten resultaten	5
1.3 Achtergronden	5
2 Resultaten	7
2.1 Resultaten CiC-project	7
2.2 Inventarisatie sensoren en keuze meetsysteem	10
2.3 Analyse op Energie	13
2.4 Resultaten energie analyse	15
3 Conclusies en aanbevelingen	18
3.1 Conclusies	18
3.2 Aanbevelingen	18
4 Bijlagen	19
4.1 Bijlage 1: grafieken klimaatcondities	19
4.2 Bijlage 2: grafieken actuele energie klimaatunit	21
4.3 Bijlage 3: grafieken temp. / actuele energie bedkoeling/verw.	22
4.4 Bijlage 4: grafieken cumulatieve energie	23

Samenvatting

Het project 'Energieaspecten en besparingpotentieel CiC-systeem', goedgekeurd in 2009 onder PT-nummer 12323.06, had als doel om als parallel project de aspecten op het gebied van energie en energiebesparing in het nieuw ontwikkelde Compost in Controle (CiC)-systeem verder te onderzoeken. Thans is het project Compost in Controle, aangevraagd bij het Ministerie van EL&I op 1 juli 2011 afgerond en onlangs opgeleverd. In het CiC-project werd een nieuw teeltsysteem gerealiseerd welke het mogelijk maakte om de compost tijdens de teelt te beïnvloeden op gebied van temperatuur, water, lucht en RV. Sturing zou dan niet alleen via het macroklimaat geschieden, maar ook vanuit de compost zelf. De resultaten uit dat project waren dat bedverwarming/bedkoeling een positieve bijdrage kan leveren aan het bedrijfsrendement van een paddenstoelenteler: met een lager vulgewicht kan eenzelfde productie worden gerealiseerd van een betere kwaliteit. Dit, in een kortere periode, waardoor teeltvervroeging van 5-6 dagen mogelijk is. Het gecontroleerd watergeven en beluchten, leverde in dit systeem geen teelttechnische voordelen op. Verder bleek dat extra bijvoeden zinvol kan zijn, mits de composttemperatuur kan worden beïnvloed. Het innovatieproject heeft een bijdrage geleverd aan de ontwikkeling van een nieuw denken in de paddenstoelenteelt, wat het rendement van de sector kan verbeteren.

In het project 'Energieaspecten en besparingpotentieel CiC-systeem' zou uit analyse van de teelt- en energiegegevens moeten blijken dat bedverwarming/bedkoeling mogelijk ook een substantiële besparing van energie kan opleveren. Hiermee zou de sector hun doelstellingen op het gebied van energiebesparing, zoals is vastgelegd in het Convenant voor 2020, al voor een groot gedeelte kunnen realiseren. Bij de start van dit project is eerst gekeken welke sensoren en meettechnieken van belang zouden kunnen zijn. Daarna zijn een aantal teeltrondes gemonitord op energieaspecten van het CiC-systeem.

Uit het uitgevoerde onderzoek blijkt dat het systeem met bedkoeling de potentie heeft om tot hogere producties per ton compost te komen door een lager vulgewicht in combinatie met meer bijvoeding, en naar verwachting tevens een aanzienlijke energiebesparing. Uit analyse van de gegevens bleek dat het moeilijk was om harde uitspraken te doen op het gebied van energiebesparing. Dit wordt veroorzaakt vanwege het feit dat de proefopstelling van het CiC-systeem één enkele teeltlaag inhield, terwijl de referentie een meerlagen systeem betrof. Dit had niet alleen gevolgen voor de berekeningen per kg geoogst product, maar ook tijdens de teelt, omdat ook de proefopstelling 'gangbaar' werd geklimatiseerd. Het gevolg was dat er meer energie nodig was in de CiC-opstelling, dan theoretisch nodig had moeten zijn.

Uit de berekeningen bleek dat op celniveau de CiC proefcel minder koeling en meer verwarming nodig had, echter op kg niveau was er, in tegenstelling tot de verwachting, duidelijk meer koeling en meer verwarming nodig. Uit de praktijk blijkt dat wel degelijk minder koeling en verwarming mogelijk moet zijn. Dat dit niet uit de resultaten is gebleken, is nagenoeg zeker te wijten aan het grote verschil in teeltoppervlakte en composthoeveelheid. Hierdoor werd in de CiC proefcel per ton compost 5 maal zoveel lucht gecirculeerd dan in de referentiecel. Al deze lucht moet worden geklimatiseerd, waardoor de verwachte energiebesparing niet kon worden gerealiseerd. Als men puur naar de bedkoeling kijkt, dan wordt er hoofdzakelijk gekoeld. Cumulatief was dit 344 kWh per 40 m² ofwel 8,6 kWh per m² teeltoppervlakte (bij een vulgewicht van 65 kg/m² en 30 kg/ton bijgevoed). De bedverwarming werd nagenoeg niet ingezet. Aan het einde van de teelt zou dit bij wegzakkende composttemperaturen wel mogelijk zijn geweest indien de teler dit nodig zou hebben gevonden.

Om geen appels met peren te vergelijken wordt aanbevolen om praktijkproeven met volledig gevulde cellen uit te voeren, liefst in een meerlaagsysteem. Dit, zowel voor een pluk- als voor een snijbedrijf in een jaarrond energievergelijking van parallel gevulde cellen, waarvan er één met bedkoeling is uitgerust. Voor de energiemetingen dient men dan niet aan de luchtzijde te meten, maar primair op elke cel en op elk koel- en verwarmingsblok de in- en uitgaande temperaturen en waterflow te meten. Verder dient de bevochtiging op elke cel te worden gemeten, naast het energieverbruik van de ventilator op elke cel. Dit vergt een uitgebreidere meetinstallatie dan in de CiC proeven is gebruikt. Echter, omdat er dan aan de primaire zijde van de energieverbruikers wordt gemeten, zal men met een grote zekerheid de verschillen in energieverbruik onder praktijkomstandigheden in beeld kunnen brengen. Tevens kan hierbij dan de benodigde kennis voor de meest optimale teeltmethode en aanpassingen aan de klimatisering verder worden uitgekristalliseerd.

1 Inleiding en doel

1.1 Doel van het project

Dit project had tot doel om aspecten op het gebied van energie en energiebesparing in het nieuw ontwikkelde Compost in Controle (CiC)-systeem verder te onderzoeken. In het CiC systeem wordt de klimatisering niet alleen meer op macroklimaat geregeld, maar ook vanuit de compost zelf, het microklimaat. Belangrijk is dan om de juiste parameters te meten met de juiste apparatuur. Inventarisatie is daarom noodzakelijk naar meetapparatuur / sensoren, die momenteel in praktijksituaties worden toegepast en geschikt zijn voor de champignonenteelt, of die in andere sectoren voorhanden zijn. Voor een goede dataverzameling moet deze meetapparatuur koppelbaar zijn op de klimaatcomputer. Deze koppeling zal in overleg met de leverancier van zowel de klimaatcomputer als die van de sensoren moeten gebeuren. Alle macro- en microklimaatmetingen moeten in 1 bestand kunnen worden verzameld t.b.v. verdere analyse. Op basis van deze analyse kunnen gedurende de looptijd van het project verdere aanpassingen aan de installatie en aan de meetapparatuur worden toegepast. Uiteindelijk zal een verdere optimalisatie in het energieverbruik worden gerealiseerd, met een duidelijke onderbouwing van het CiC-systeem ten opzichte van de nu gangbare praktijk.

Dit project is gelijktijdig uitgevoerd met de uitvoering van het CiC-project, maar staat verder los van de projectuitvoering als in de doelstellingen. In dit project worden strikt gegevens opgeleverd om de energie-efficiency in een dergelijk nieuw teeltsysteem aan te tonen en te onderbouwen.

1.2 Te verwachten resultaten

Het uiteindelijke doel is dat er, parallel aan de ontwikkeling van het CiC systeem, ook de noodzakelijke en voor de praktijk geschikte micro- en macroklimaat metingen worden ontwikkeld. Dit in combinatie met de bijbehorende koppeling aan de klimaatcomputer en eventuele sturingsacties in de klimaatregeling. De energiebesparing van het rechtstreeks sturen op microklimaatniveau ten opzichte van de huidige indirecte sturing op microklimaatniveau, moet in beeld zijn gebracht. We verwachten met het CiC-systeem een aanzienlijke energiebesparing van tot wel 50 % te kunnen realiseren ten opzichte van de huidige praktijk, en daarmee ook de uitstoot van CO₂. Dit zou betekenen dat de sector de afspraken die gemaakt zijn in het kader van de MJAE, ruimschoots kan halen indien dit systeem succesvol wordt geïntroduceerd.

1.3 Achtergronden

De mogelijkheden om tot een significante vermindering van het energiegebruik in de champignonenteelt te komen, zijn met de huidige teeltwijze en indirecte klimatisering zeer beperkt. Omdat er sterk moet worden ontvochtigd, is er in alle gevallen een goed werkend koelsysteem nodig om de aangevoerde lucht tot minstens 9° C terug te koelen. Hiervoor moet het koelsysteem nog enkele graden lager kunnen. Dit betekent dat de laatste koelstap altijd door middel van mechanische koeling zal moeten worden gerealiseerd. Ook is er gezien de indirecte beluchting langs de bedden relatief veel lucht nodig om effectief te zijn. Al deze lucht zal moeten worden geklimatiseerd, wat veel energie kost. Momenteel kan het overschot aan laagwaardige warmte van een champignonenteeltbedrijf nog niet worden hergebruikt. Hoogwaardige verwarming blijft daarom altijd noodzakelijk, naast ook het doodstomen ter voorkoming van infecties op het bedrijf. Ook het doodstomen vergt veel energie. De mogelijkheden voor energiebesparing bij de huidige

teeltsystemen liggen dan ook op het vlak van: apparatuur met een beter rendement, combinaties van (deels DE) technieken, energierugwinning en optimalisering in de (klimaat)regeling hiervan. Indien we grote stappen in de energiebesparing tijdens de teelt van champignons willen realiseren, zoals het geval is in de glastuinbouw, zijn veranderingen in het huidige teeltsysteem noodzakelijk.

Het project Compost In Controle was opgezet als nieuw systeem om van binnenuit de teelt te sturen op alle facetten die hierbij van belang kunnen zijn zoals: water, lucht, voeding en klimaat. Een dergelijk teeltsysteem is bedoeld om het gehele groeiproces op microklimaatniveau te kunnen bijsturen. Het rechtstreeks sturen van het microklimaat zal het groeiproces direct gaan beïnvloeden. Dit betekent dat klimaatcondities kunnen worden aangehouden zoals deze nu op dekaarde en champignonniveau voorkomen. Dit houdt in dat een hogere luchttemperatuur, hogere RV, hogere CO₂ en minimale luchthoeveelheden kunnen worden gerealiseerd. Ten opzichte van de nu gangbare praktijk kan het CiC-systeem een aanzienlijke energiebesparing opleveren. Daarnaast zal het beluchten van de compost ook een groot energievoordeel kunnen opleveren bij het doodstomen.

Omdat de prioriteit van het CIC project in eerste instantie lag op het vlak van technische oplossingen om de compost intern te kunnen sturen op alle genoemde facetten, zijn de potentiële mogelijkheden tot energiebesparing niet als dusdanig in het CiC project opgenomen.

Thans is het project Compost in Controle, aangevraagd bij het Ministerie van ELI op 1 juli 2011 afgerond en onlangs opgeleverd. Een korte samenvatting van de uitkomsten wordt ook in deze rapportage beschreven. Daarnaast zal uiteraard uitgebreid worden ingegaan op de energiebesparende aspecten in dit nieuwe teeltsysteem.

2 Resultaten

2.1 Resultaten CiC-project

Gedurende de looptijd is de voortgang van het project door de deelnemers regelmatig besproken en vastgelegd in diverse rapportages. Het project werd gekenmerkt door voornamelijk technische onvolkomenheden en tegenvallers, de reden dat gekozen is om het project te verlengen met een tweetal nieuwe teelt rondes. Ondanks de tegenvallers zijn er toch een aantal veelbelovende ontwikkelingen gerealiseerd: er kan minder gevuld worden om eenzelfde productie te realiseren, in een kortere tijd met een betere kwaliteit. Een experiment uitgevoerd door PRI heeft deze teeltvoordelen bevestigd.

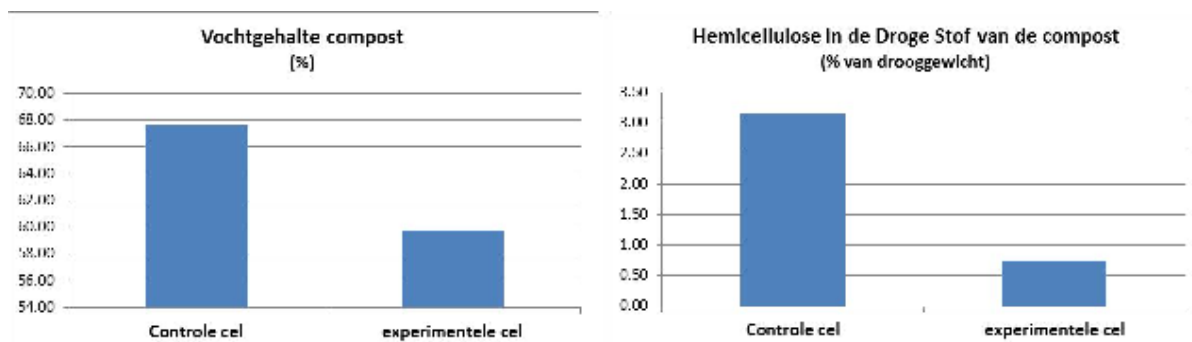
Met de aanleg van een geheel nieuw teeltsysteem, met daarin sturing van de afzonderlijke componenten temperatuur, CO₂ en vocht *in* de compost, waren de ambities dan ook zeer hoog. Al met al is het een complexe materie, waar veel zaken van elkaar afhangen. Uiteindelijk is het prototype wel gerealiseerd en ook de afzonderlijke componenten: bedverwarming/bedkoeling, beluchten, watergeven en voeding, zijn gedurende de projectduur gerealiseerd. Het monitoren van de verschillende componenten (het meten van de temperatuur, de CO₂, het bepalen van het gehalte aan vocht, het visueel volgen met camera's) hebben gedurende de looptijd nogal wat hoofdbrekens gekost.

Het onderdeel bedverwarming/koeling werkt naar behoren. Teelttechnisch is het voordeel dat met minder compost gevuld kan worden. Op het gebied van warmteoverdracht kan dit systeem nog worden verbeterd. Hieruit zal moeten blijken dat dit systeem ook voordelen biedt op het gebied van energiebesparing. Watergeven in de compost werkt ook, maar hier werden geen teelttechnische voordelen met dit systeem bereikt. Dit gaat ook op voor het aspect beluchten, ook hier geen teelttechnische voordelen. Wat niet wil zeggen dat deze componenten in de toekomst geen meerwaarde kunnen bieden, het systeem zal dan wel verder ontwikkeld moeten worden. Het bijvoeden gedurende de teelt heeft wel zeker effect, mits de composttemperatuur in de hand kan worden gehouden. Met bedverwarming/ bedkoeling is dit nu mogelijk.

Analyse van een topteelt in het CiC project

Van één van de experimentele teelten is na 2 vluchten een NIR analyse van de compost gemaakt. Dit is een teelt geweest met vulgewicht 65 kg compost/m² en 30 kg bijvoedmiddel per ton compost. Deze is vergeleken met een standaardteelt van 95 kg/m² vulgewicht en 15 kg bijvoedmiddel/ton compost. De composttemperatuur is voor een deel geregeld via de bedkoeling zodat door het extra bijvoeden de temperatuur niet uit de hand kon lopen. Er waren twee opvallende verschillen te zien tussen de experimentele en reguliere teelt.

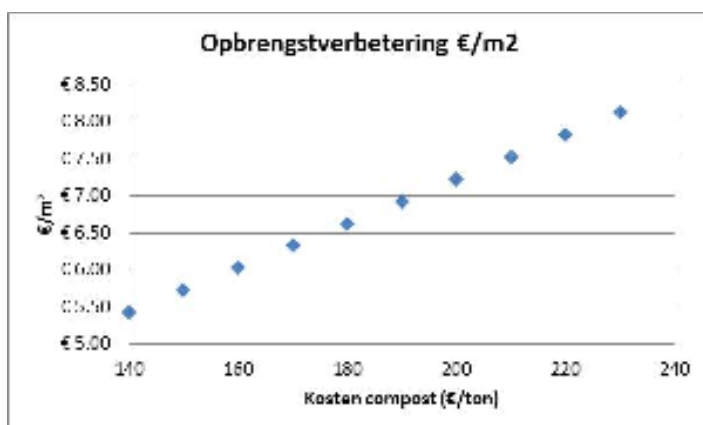
Hoewel geen afname in gewichten zijn gemeten en dus geen bepaling van de absolute hoeveelheid die is afgebroken was duidelijk dat het vochtgehalte van de experimentele compost veel lager was dan die van de reguliere teelt (59.7 t.o.v. 67.6%). In de droge stoffractie was de hoeveelheid hemicellulose in de experimentele teelt vrijwel uitgeput terwijl bij de reguliere teelt nog wel hemicellulose aanwezig was (fig. 1). De opbrengst van deze teelt lag met 500 kg/ton beduidend hoger dan de reguliere teelt.



Figuur 1. Compostanalyse na 2 vluchten van de experimentele CiC proef en een reguliere teelt laten zien dat bij extra bijvoeden en een lager vulgewicht er meer water uit de compost wordt gehaald en er meer hemicellulose wordt afgebroken. Dit suggereert dat extra bijvoeden tekorten in de compost opheffen waardoor ook andere componenten van de compost beter benut worden.

Het extra bijvoedmiddel heeft dus de opbrengst flink verhoogt. De verhoging komt niet allen door de voeding in het bijvoedmiddel maar ook de compost wordt verder uitgeput (hemicellulose neemt verder af en er wordt meer water uit de compost gehaald). Het bijvoedmiddel heeft dus een tekort aan één of meerdere voedingscomponenten op. Een gerichte aanpassing van de compostsamenstelling kan dus zeer positieve gevolgen hebben voor de opbrengst.

Dit project heeft duidelijk gemaakt dat het rendement per m² teeltoppervlak in het huidige systeem flink verbeterd kan worden. Door de vermindering in vulgewicht per m² en de opbrengstverhoging per ton compost stijgt het rendement per m² met ca. € 5.40 bij een gemiddelde prijs van doorgroeide compost van € 140 per ton. Hierbij is een vergelijk gemaakt met de gemiddelde opbrengst van Nederlandse teeltbedrijven. Bij een (te verwachten) stijging van de compostprijs zal het rendement alleen maar toenemen (figuur 2).



Figuur 2. Rendementsverbetering (€/m² teeltoppervlakte) van de CiC proef vergeleken met de productie van een gemiddeld bedrijf (CNC Opbrengstthermometer). Duidelijk is te zien dat het rendement groter wordt bij een stijgende prijs van de compost.

De projectuitvoerders en vooral het deelnemende plukbedrijf van Lieshout, hebben nogal veel extra tijd nodig gehad voor de realisatie van de resultaten. Zeker door technische onvolkomenheden was de motivatie soms minder, maar dit is inherent aan innovaties. Je moet ergens beginnen, waar je nog niet weet uit te komen.

Uit de resultaten van het project, kunnen we het volgende concluderen.

- Het CiC-systeem van bedverwarming/bedkoeling kan een positieve bijdrage kan leveren aan het bedrijfsrendement van een paddenstoelenteler: met een lager vulgewicht kan eenzelfde productie worden gerealiseerd van een betere kwaliteit.
- Dit, in een kortere periode, waardoor teeltvervroeging van 5-6 dagen.
- Uit analyse van de teeltgegevens zal waarschijnlijk blijken dat bedverwarming/bedkoeling een substantiële besparing van energie kan opleveren. Hiermee zou de sector hun doelstellingen op het gebied van energiebesparing, zoals is vastgelegd in het Convenant voor 2020, al voor een groot gedeelte kunnen realiseren.
- Het gecontroleerd watergeven en beluchten, leverde in dit systeem geen teelttechnische voordelen op.
- Extra bijvoeden is zinvol, mits de composttemperatuur kan worden beïnvloed.
- Het innovatieproject heeft een bijdrage geleverd aan de ontwikkeling van een nieuw denken in de paddenstoelenteelt, wat het rendement van de sector kan verbeteren.
- De verwachting is dat meerdere telers het systeem van bedkoeling in hun bedrijfsvoering zullen gaan toepassen.

2.2 Inventarisatie sensoren en keuze meetsysteem

Voorafgaande aan het project is onderzocht welke sensoren en meettechnieken van belang zouden kunnen zijn. Gelijktijdig met de bouw van het prototype zouden deze sensoren geïnstalleerd kunnen worden. Wat de energieaspecten van het CiC-systeem betreft, waren er tevens nog aanvullende metingen nodig.

In het CiC-systeem worden er op 2 plaatsen energie gebruikt: in de klimaatunit en in de bedkoeling c.q. verwarming. Om de verschillen met een traditionele teelt in beeld te krijgen is er behalve de proefcel ook een referentiecél nodig waaraan gemeten moet worden. De volgende extra energiemetingen zijn dan ook in het systeem voorzien:

- Cel 5: referentiecél, energiemetingen klimaatunit
- Cel 6: proefcel, energiemetingen klimaatunit en energiemetingen bedkoeling/verwarming

Energiemetingen klimaatunit (zie tekening figuur 3)

Het energieverbruik van een individuele klimaatunit kan op 2 manieren worden gemeten: aan de primaire zijde (leidingen, motoren) of aan de secundaire zijde (luchtzijdig). Het meten aan de primaire zijde vergt een uitgebreide meetinstallatie waarbij op elke leiding van de koeling en verwarming de temperaturen én de flow moeten worden gemeten. Daarnaast moet de bevochtigingstemperatuur en flow worden gemeten, en het energieverbruik van de ventilator via een kWh meter. Al deze metingen moeten ingelezen worden door een computer en bv. elke 15 minuten worden opgeslagen in een databestand. Omdat deze oplossing erg kostbaar is en niet met standaard voorzieningen kan worden gerealiseerd, is in dit project gekozen om luchtzijdig het energieverbruik in beeld te brengen door middel van luchttemperatuurmetingen op de klimaatunit. De volgende metingen zijn hiervoor op de klimaatunits van cel 5 en 6 geïnstalleerd:

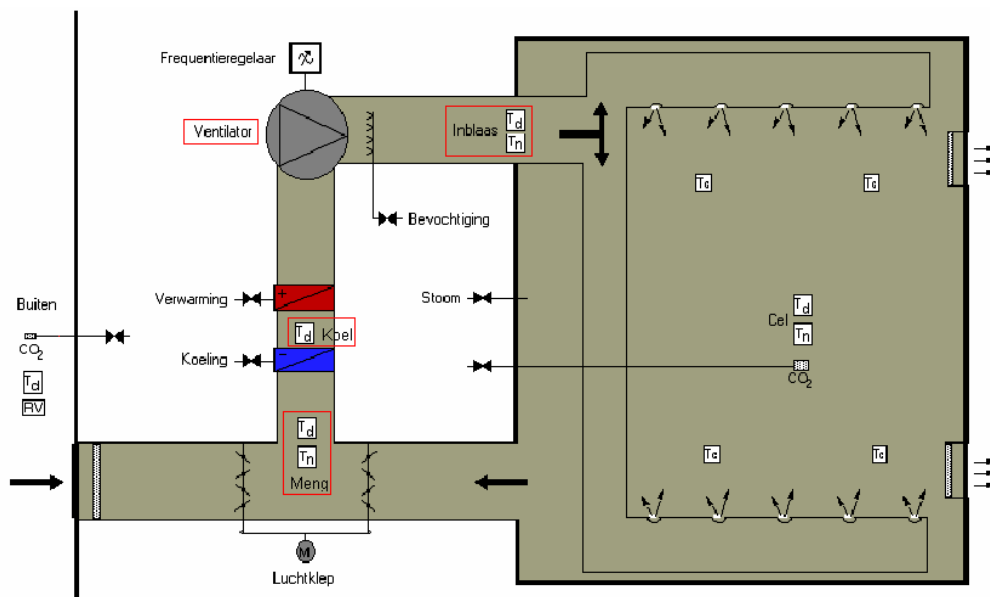
- Droge en natte voeler in de menglucht
- Droge voeler achter de koeling
- Droge en natte voeler in de inblaas

Daarnaast is er een meetrapport van de luchthoeveelheden bij diverse ventilatorstanden van beide cellen door Christiaens opgesteld. Op basis van het verschil in warmte-inhoud en luchthoeveelheid kan hiermee de luchtzijdige energie per component worden berekend.

Bepalen luchthoeveelheden

Voor het berekenen van de luchtzijdig benodigde energie van de klimaatunit in de CiC proefcel (cel 6) en in de naastgelegen referentiecél (cel 5), is door Christiaens een meetrapport van de luchthoeveelheden opgesteld. In de referentiecél (cel 5) werd t.b.v. het afventileren een 50 % restrictieplaat voor de recirculatie opening geplaatst. Na het afventileren werd deze verwijderd. In de CiC proefcel (cel 6) werd geen gebruik van een recirculatieplaat gemaakt. Alle deze 3 situaties zijn in het meetrapport meegenomen. Omdat middels extra metingen de menglucht conditie kon worden vastgesteld, was de verhouding van verse lucht en recirculatie niet meer van belang en kon worden volstaan met het meten van de luchthoeveelheden van de ventilator. Deze zijn in stappen van 10 % gemeten voor alle 3 bovengenoemde situaties.

Figuur 3. Luchtzijdig geregistreerde metingen: rood omkaderd.



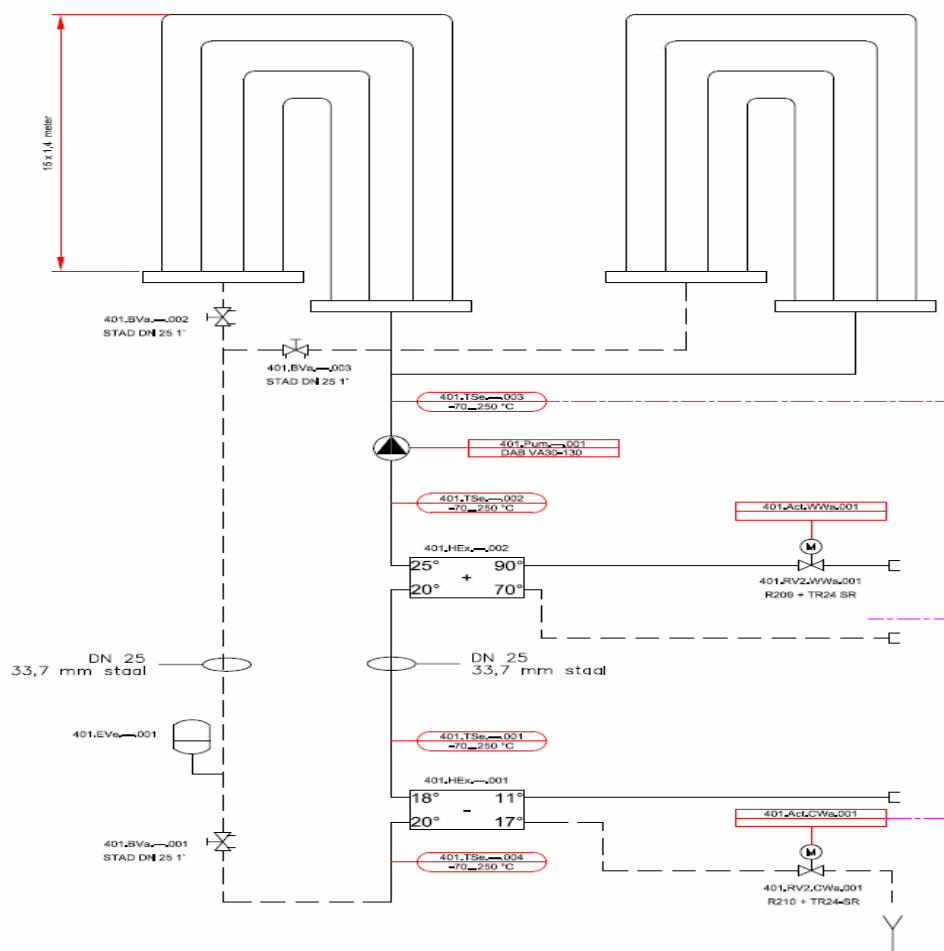
Interpolatie en omrekening naar kg/h

Voor de tussenliggende waarden is in Excel een interpolatie berekening uitgevoerd, zodat over het hele bereik van 0 – 100 % ventilatorstand de bijbehorende luchthoeveelheid in m³/h bekend was. Bij het berekenen van de luchtzijdig benodigde energie van de klimaatunit wordt gebruik gemaakt van de warmte- en vochtinhoud van de lucht, welke in het Mollier-diagram wordt aangegeven per kg lucht. Voor het omrekenen van de luchthoeveelheid in m³/h naar kg/h is gebruik gemaakt van de gemiddelde luchtdichtheid bij een veel gebruikt teeltklimaat van 18 °C en 85 % RV, bij een gemiddelde luchtdruk van 1013,25 mBar en op 0 meter hoogte. Deze luchtdichtheid bedraagt 1,19 kg/m³.

Energiemetingen bedkoeling/verwarming (zie figuur 4)

Om het energieverbruik van de bedkoeling/verwarming te kunnen berekenen zijn er watertemperatuurvoelers tussen de warmtewisselaars en in de aanvoer en retour van de bedkoeling/verwarming geplaatst. Daarnaast is door Christiaens de vaste flow over de bedkoeling/verwarming gemeten. Op basis van het verschil in warmte inhoud en de water flow kan hiermee het energieverbruik van de bedkoeling/verwarming worden berekend.

Figuur 4. Overzicht energiemetingen bedkoeling/verwarming



2.3 Analyse op Energie

In het CiC project zijn in totaal 11 teeltrondes gerealiseerd. Het doel van het CiC project was om een 3-tal zaken te testen: watergeven in de compost, beluchten van het bed en bedkoeling c. q. verwarming. Omdat in de eerste proeven diverse combinaties werden uitgetest, waren de resultaten hiervan niet geschikt voor energie analyse. Ook kwam het een enkele keer voor dat metingen niet goed functioneerden of dat de kousjes van de natte voeler vroegtijdig uitgedroogd waren. Tijdens de proeven werden geen significante voordelen geconstateerd voor wat betreft het watergeven in de compost en het beluchten van het bed. Hooguit zou bedbeluchting in een verfijndere toepassing nog interessant kunnen zijn voor beheersing van de “gas” uitwisseling in het bed. In de latere proeven is daarom specifiek alleen met de bedkoeling/verwarming gewerkt, waarbij de laatste proef (11) tevens de beste teeltresultaten gaf. Deze is dan ook gebruikt voor de verdere analyse van de energie aspecten.

Controle en verwerking meetgegevens

In volgorde wordt in de klimaatunit eerst de verse lucht en recirculatie lucht gemengd in de mengsectie. Hierna gaat de lucht door de koeling en vervolgens door de verwarming. Bij van Lieshout volgt hierna de stoombevochtiging en daarna de ventilator, waarna de lucht de cel ingeblazen wordt via het inblaaskanaal.

De luchtzijdige energie-metingen op de klimaatunits van cel 5 (referentie cel) en cel 6 (CiC cel) zijn elk voorzien van een droge en natte voeler in de menglucht een droge voeler na de koeling en een droge en natte voeler in de inblaas. De natte voeler is het meest gevoelig voor afwijkingen. Daarom wordt in alle gevallen gecontroleerd of de natte voeler gelijk of lager is dan de droge voeler. Indien dit niet het geval is, wordt de natte voeler 0,01 °C lager dan de droge voeler gezet om de Mollier berekeningen uit te kunnen voeren.

De menglucht meting is het meest betrouwbaar (geen directe invloed van koelen of verwarmen) en wordt daarom ook als uitgangspunt genomen. Op basis van de droge en (eventueel gecorrigeerde) natte menglucht voeler wordt de vochtinhoud, de warmte-inhoud en RV van de menglucht berekend. Vervolgens wordt op basis van de droge voeler na de koeling de verzadigingsvochtinhoud na de koeling berekend. De vochtinhoud na de koeling is dan de laagste waarde van: vochtinhoud van de menglucht (indien er niet of niet onder het dauwpunt wordt gekoeld) of verzadigingsvochtinhoud na de koeling (indien er onder het dauwpunt wordt gekoeld). De hierdoor bepaalde vochtinhoud na de koeling wordt samen met de droge voeler na de koeling gebruikt om de ontbrekende waarden (warmte inhoud, RV en natte voeler na de koeling) te berekenen. Op basis van de droge en (eventueel gecorrigeerde) natte inblaasvoeler wordt de vocht inhoud, warmte inhoud en RV van de inblaaslucht berekend.

Met het verschil in warmte inhoud van de menglucht en de lucht na de koeling wordt de luchtzijdig gerealiseerde koelenergie in kW berekend. Hierbij wordt ook de van de ventilatorstand (via een meetrapport en de gemiddelde luchtdichtheid) afgeleide luchthoeveelheid in kg/h gebruikt. Naast de actuele koelenergie van de gehele cel in kW, wordt ook de cumulatieve koelenergie in kWh berekend. Met het verschil in warmte-inhoud van de lucht na de koeling en de inblaaslucht wordt de luchtzijdig gerealiseerde verwarmingsenergie in kW berekend. Er wordt geen onderscheid gemaakt of deze verwarmingsenergie van de verwarming of (beperkte) stoombevochtiging afkomstig is. Daarnaast wordt ook de van de ventilatorstand (via een meetrapport en de gemiddelde luchtdichtheid) afgeleide luchthoeveelheid in kg/h gebruikt. Naast de actuele

verwarmingsenergie van de gehele cel in kW wordt ook de cumulatieve verwarmingsenergie in kWh berekend.

Daarnaast wordt bij cel 6 (CiC proefcel) nog de koel- en verwarmingsenergie berekend die gebruikt is voor de bedkoeling/verwarming. De installatie is voorzien van 4 watertemperatuurvoelers: retourwater c.q. voor de koeling wisselaar, na de koeling c.q. voor de verwarming wisselaar, na de verwarming wisselaar c.q. voor de pomp en na de pomp c.q. aanvoerwater. Door het temperatuurverschil over respectievelijk de koel- en verwarmingswisselaar te meten, kan met de soortelijke warmte van water en de (handmatig) gemeten vaste flow van de pomp in l/h de actuele koel- en verwarmingsenergie van de bedkoeling/verwarming in kW worden bepaald. Tevens worden ook de cumulatieve koel- en verwarmingsenergie van de bedkoeling/verwarming over de gehele teeltperiode in kWh berekend.

Ten slotte wordt een totale vergelijking gemaakt tussen de koel- en verwarmingsenergie van de klimaatunit van cel 5 (referentiecel) en de opgetelde koel- en verwarmingsenergie van de klimaatunit en de bedkoeling/verwarming van cel 6 (CiC proefcel). De actuele en cumulatieve koel- en verwarmingsenergie van cel 5 en cel 6 (incl. bedkoeling/verwarming) worden hierbij ter vergelijking teruggerekend per m² teeltoppervlakte, per ton compost en per kg champignons.

2.4 Resultaten energie analyse

In figuur 5 zijn de resultaten samengevat. In het linkerdeel zijn de resultaten van de CiC proefcel uitgesplitst over het energiegebruik van de klimaatunit en die van de bedkoeling/verwarming. In het rechterdeel zijn de resultaten van de referentie cel 5 en het totaal van de CiC proefcel samengevat. In de CiC proefcel was maar 40 m2 teeltoppervlakte met een vulgewicht van 65 kg/m2 (ofwel 2,6 ton) gevuld en in de referentiecél was er 200 m2 teeltoppervlakte met een vulgewicht van 85 kg/m2 (ofwel 17 ton) gevuld. Daarnaast was er in de CiC proefcel 30 kg/ton compost bijgevoed, en in de referentiecél was dit 18 kg/ton. De productie was in de CiC proefcel 29 kg/m2 ofwel 446 kg/ton en in de referentiecél was dit 28,5 kg/m2 ofwel 335 kg/ton. De productie in de CiC proefcel (met alleen de bedkoeling/verwarming in werking) was per ton compost dus duidelijk hoger (33 %) dan in de referentiecél. De energieresultaten zijn daarom niet alleen op celniveau, maar ook per m2 teeltoppervlakte, per ton compost en per kg champignons aangegeven.

Figuur 5. Samenvatting resultaten energie analyse

Resultaten CiC (proef 11)	Resultaten cel 6 (CiC) uitgesplitst		Samenvatting resultaten	
Celnummer	Cel 6 (CiC)		Cel 5 (ref)	Cel 6 (CiC)
Teeltoppervlakte	40		200	40 m2
Composthoeveelheid	2,6		17	2,6 ton
Vulgewicht per m2	65		85	65 kg/m2
Bijvoeding per ton	30		18	30 kg/ton
Productie kg/m2	29		28,5	29 kg/m2
Productie kg/ton	446		335	446 kg/ton
Thermische energiebehoefte	Klimaatunit	Bedkoeling/verwarming	Klimaatunit	Klimaatunit+Bedkoeling
Cum koelbehoefte per ton compost	412,7	132,3	126,9	545,0 kWh/ton
Cum koelbehoefte per m2	26,8	8,6	10,8	35,4 kWh/m2
Cum koelbehoefte per kg	925	297	379	1222 Wh/kg
Cum koelbehoefte per cel	1073	344	2158	1417 kWh/cel
Cum verwarmingsbehoefte per ton compost	723,8	0,0	62,1	723,8 kWh/ton
Cum verwarmingsbehoefte per m2	47,05	0,0	5,3	47,1 kWh/m2
Cum verwarmingsbehoefte per kg	1622	0	185	1622 Wh/kg
Cum verwarmingsbehoefte per cel	1882	0	1055	1882 kWh/cel

Opvallend is dat er in de CiC proefcel geen verwarming bij de bedkoeling/verwarming is gebruikt. Ondanks dat later in de teelt de composttemperatuur wat onderuit zakte, werd het door de teler waarschijnlijk niet als noodzakelijk gezien de bedverwarming bij te laten komen (het systeem wilde dit wel). Let op: de hele tabel en de onderstaande beschrijving gaat uit van luchtzijdige thermische energie!

Op celniveau was de cumulatieve koelbehoefte 1417 kWh voor de CiC proefcel en 2158 kWh voor de referentiecél. De cumulatieve verwarmingsbehoefte was 1882 kWh voor de CiC proefcel en 1055 kWh voor de referentiecél. Dus op celniveau had de CiC proefcel minder koeling en meer verwarming nodig. Dit sluit aan bij de redenering dat de bedkoeling/verwarming vooral in de ingroefase nodig zal zijn en kan de compost efficiënter op temperatuur worden gehouden, dus er zal minder koeling nodig zijn. Hierdoor kan de luchttemperatuur omhoog worden gebracht om een betere/snellere ingroei in de dekaarde te krijgen. Voor deze hogere luchttemperatuur is dan meer verwarming nodig. Omdat er hogere producties kunnen worden gehaald met bedkoeling/verwarming, zou dit per kg tot een lagere koel en verwarmingsbehoefte moeten leiden.

Op kg niveau zijn de resultaten echter compleet tegengesteld aan de verwachting. Per kg was de cumulatieve koelbehoefte 1222 Wh voor de CiC proefcel en 379 Wh voor de referentiecél. De cumulatieve verwarmingsbehoefte was 1622 kWh voor de CiC proefcel en 185 kWh voor de referentiecél. Dus op kg niveau had de CiC proefcel (in tegenstelling tot de verwachting) dus meer koeling en meer verwarming nodig. De resultaten zijn hierop nogmaals doorgerekend, echter met dezelfde uitkomst. Bij verdere analyse bleek niet de bedkoeling/verwarming, maar de klimaatunit voor de verhoudingsgewijs hoge energiebehoefte verantwoordelijk te zijn.

Nadere beschouwing kan verklaren waarom de resultaten tegengesteld waren aan de verwachtingen. De hoofdoorzaak ligt in de scheve vergelijking omdat in de CiC proefcel maar 40 m² (ofwel 20 %) was gevuld en maar 2,6 ton (ofwel 15,3 %) in vergelijking met de referentiecél. Dit heeft diverse consequenties gehad:

- Ondanks dat er in de CiC proefcel maar 40 m² (20 %) en 2,6 ton (15,3 %) was gevuld, lag de gebruikte ventilatorstand op 76,2 % van de referentiecél. Dit houdt in dat er per m² teeltoppervlakte 3,8 maal zoveel ventilator is gebruikt, en per ton compost is er 5 maal zoveel ventilator gebruikt. Omdat er in de CiC proefcel per ton compost 5 maal zoveel lucht is geklimatiseerd dan in de referentiecél, is er (ondanks dat er per m³ lucht minder energie nodig was) in totaal toch meer energie nodig geweest. Bij navraag bleek dat men deze ventilatorstanden noodzakelijk achtte om de lucht onderen in de cel te krijgen, omdat het luchtverdeelsysteem niet aangepast was op een 1-laags systeem (alleen de uitblaasrichting van de luchtzakken was horizontaal gedraaid).
- Globale cijfers uit de praktijk (Wankum) van een 1-laags systeem (met standaard vulgewichten en bijvoedhoeveelheden) en een aangepast luchtverdeelsysteem met “drukplafond” geven een elektraverbruik dat +/- 60 % lager is dan gemiddeld en een gasverbruik dat +/- 30 % lager is dan gemiddeld.
- De klimaatunit en kokers in de werkgang zijn niet geïsoleerd, wat met de beperkte vulling van de CiC proefcel meer invloed zal hebben dan bij de volledig gevulde referentie cel.
- Er zat geen isolatie onder de bedkoeling. Dit zal vooral in de ingroefase enige energievernietiging tot gevolg hebben gehad, omdat de bedkoeling staat te koelen om de compost onder controle te houden en de luchttemperatuur relatief warm wordt gehouden voor een snelle ingroei. In deze periode kan er ook condenswater neerslaan aan de onderzijde van de bedkoeling.
- Om de RV te handhaven werd er (alleen gedurende knopvorming en eventueel oogst) stoombevochtiging gebruikt. De CiC proefcel met 40 m² gevuld, heeft minder verdampend oppervlak gehad dan de referentiecél, waardoor er meer stoombevochtiging nodig was om de RV te handhaven. Dit komt terug in een hogere verwarmingsbehoefte. De warmte van de stoombevochtiging is hierbij als verwarming gezien.
- Daarnaast is het de vraag in hoeverre de energiebehoefte afhankelijk is van het op temperatuur houden van de cel (ongeacht de inhoud van de cel). Ter informatie de teelt was in februari/maart 2011.
- Andere invloeden die kunnen spelen: als de menglucht metingen afwijken door een slechte menging, kan er mogelijk meer de recirculatie lucht of de verse lucht worden gemeten. In het 1e geval wordt de berekende koelbehoefte groter en in het 2e geval wordt deze dan kleiner. Deze factor kan ook niet met zekerheid worden uitgesloten. Wat de verwarmingsbehoefte betreft kan de natte voeler van de inblaas voor afwijkingen zorgen. Als deze uitgedroogd is, wordt de berekende warmte-inhoud

ook hoger, wat leidt tot een hoger berekende verwarmingsbehoefte. Natuurlijk is waar mogelijk dit laatste gecontroleerd door de berekende vochtinhoud na de koeling te vergelijken met de berekende vochtinhoud van de inblaas op momenten waarbij nagenoeg zeker de bevochtiging niet in is gekomen.

In bijlage 4.1 t/m 4.4 zijn respectievelijk de grafieken weergegeven van de gebruikte klimaatcondities, het actuele energieverbruik van de klimaatunit, de temperaturen en het actuele energieverbruik van de bedkoeling/verwarming en de cumulatieve energiebehoefte. Let op: het betreft hier luchtzijdig gemeten thermische energie (cel 5: 200 m² en cel 6: CiC proefcel 40 m²).

3 Conclusies en aanbevelingen

3.1 Conclusies

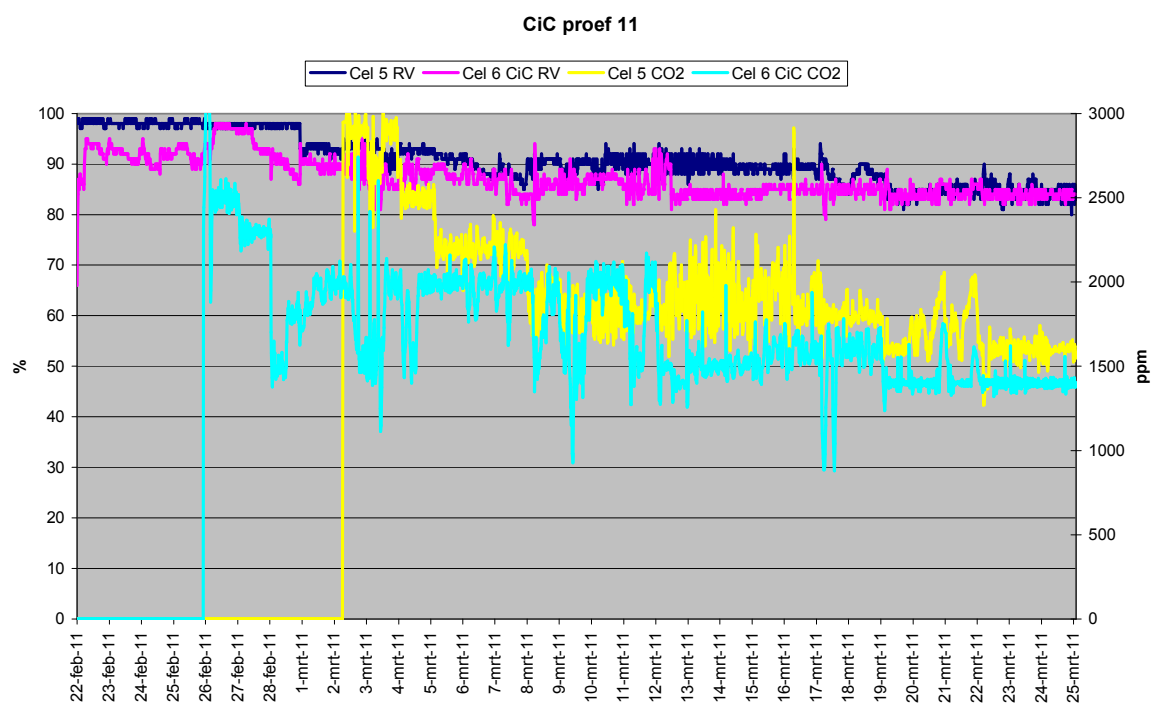
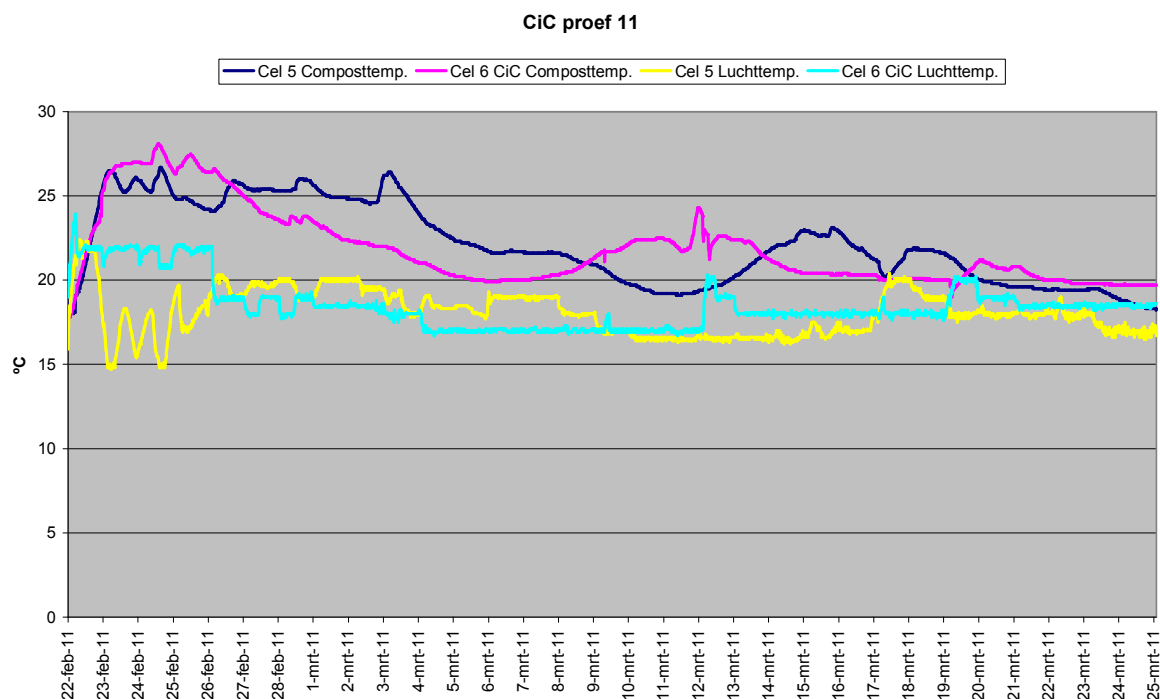
Binnen het CiC-systeem biedt bedkoeling/verwarming duidelijk kansen. Hierbij worden andere combinaties van vulgewicht en bijvoedmiddel mogelijk, waarbij de compost afzonderlijk via de bedkoeling/verwarming kan worden geregeld en de lucht via de gangbare klimaatunit. Het systeem dient echter nog verder doorontwikkeld te worden op het vlak van opbouw teeltkennis en klimaatsturing. Hierbij is het tevens van belang of men met een eenlaags- of meerlaagssysteem gaat werken. Dat een dergelijk systeem tot hogere producties per ton compost kan leiden is duidelijk uit dit project gebleken. Bij de kleinschalige CiC proef van 40 m² teeltoppervlakte in combinatie met luchtzijdige energiemetingen is echter ook gebleken dat hiermee geen goede vergelijking m.b.t. energie mogelijk is. Op celniveau had de CiC proefcel minder koeling en meer verwarming nodig en op kg niveau was er (in tegenstelling tot de verwachting) duidelijk meer koeling en meer verwarming nodig. Uit eerste praktijkinformatie blijkt dat wel degelijk minder koeling en verwarming mogelijk moet zijn. Dat dit niet uit de resultaten van het project naar voren kwam, is nagenoeg zeker te wijten aan het grote verschil in teeltoppervlakte en composthoeveelheid. Hierdoor werd in de CiC proefcel per ton compost 5 maal zoveel lucht gecirculeerd dan in de referentiegel. Al deze lucht moet worden geklimatiseerd, waardoor de verwachte energiebesparing niet kon worden gerealiseerd. Als men puur naar de bedkoeling kijkt, dan wordt er hoofdzakelijk gekoeld. Cumulatief was dit 344 kWh per 40 m² ofwel 8,6 kWh per m² teeltoppervlakte (bij een vulgewicht van 65 kg/m² en 30 kg/ton bijgevoed). De bedverwarming werd nagenoeg niet ingezet. Aan het einde van de teelt zou dit bij wegzakkende composttemperaturen wel mogelijk zijn geweest indien de teler dit nodig zou hebben gevonden.

3.2 Aanbevelingen

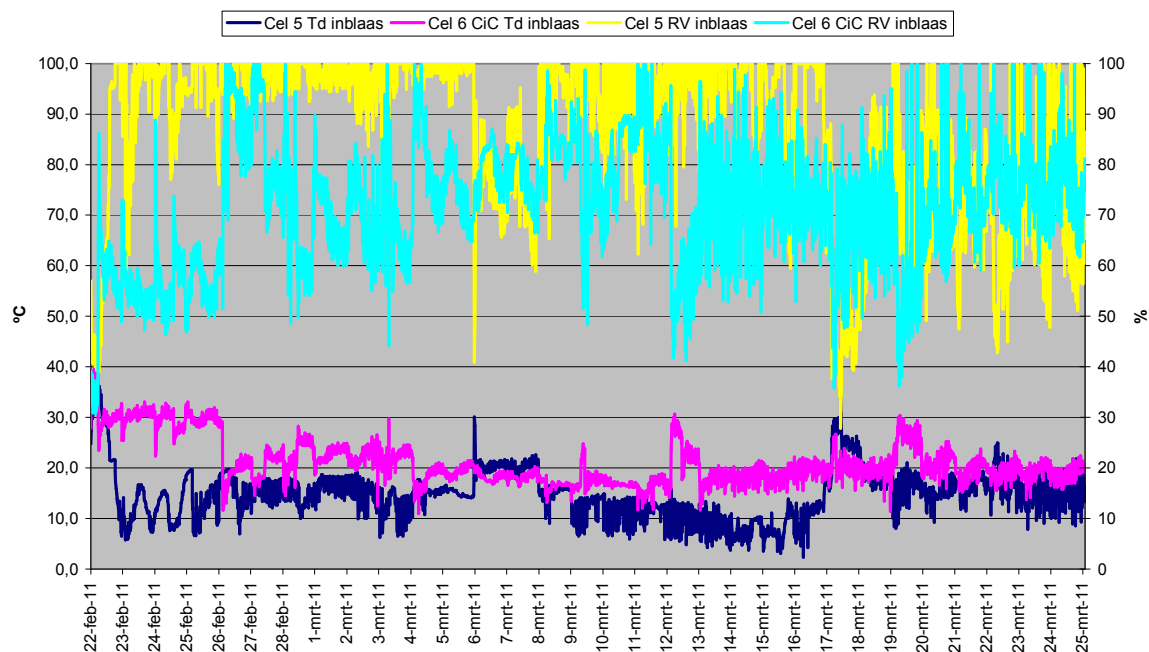
Uit het uitgevoerde onderzoek blijkt dat het systeem met bedkoeling de potentie heeft om tot hogere producties per ton compost te komen door een lager vulgewicht in combinatie met meer bijvoeding, en naar verwachting tevens een aanzienlijke energiebesparing. Om dit aan te tonen wordt kan aanbevolen om praktijkproeven met volledig gevulde cellen uit te voeren, liefst in een meerlaagssysteem. Dit om zowel voor een pluk- als voor een snijbedrijf een jaarrond energievergelijking te maken van parallel gevulde cellen, waarvan er één met het bedkoeling systeem is uitgerust. Voor de energiemetingen dient men dan niet aan de luchtzijde te meten, maar primair op elke cel en op elk koel- en verwarmingsblok de in- en uitgaande temperaturen en waterflow te meten. Verder moet ook de bevochtiging (flow) op elke cel te worden gemeten, naast en het energieverbruik van de ventilator op elke cel. Dit vergt een uitgebreidere meetinstallatie dan in de CiC proeven is gebruikt, maar omdat er dan aan de primaire zijde van de energieverbruikers wordt gemeten, zal men met een grote zekerheid de verschillen in energieverbruik onder praktijkomstandigheden in beeld kunnen brengen. Tevens kan hierbij dan de benodigde kennis voor de meest optimale teeltmethode en aanpassingen aan de klimatisering verder worden uitgekristalliseerd.

4 Bijlagen

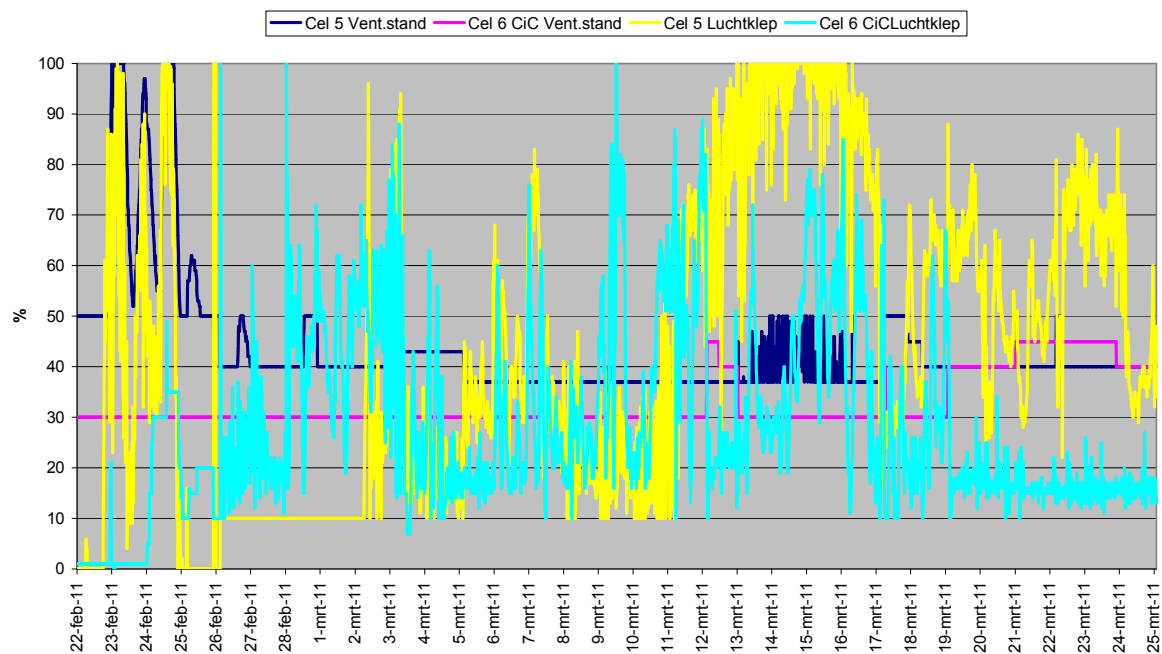
4.1 Bijlage 1: grafieken klimaatcondities



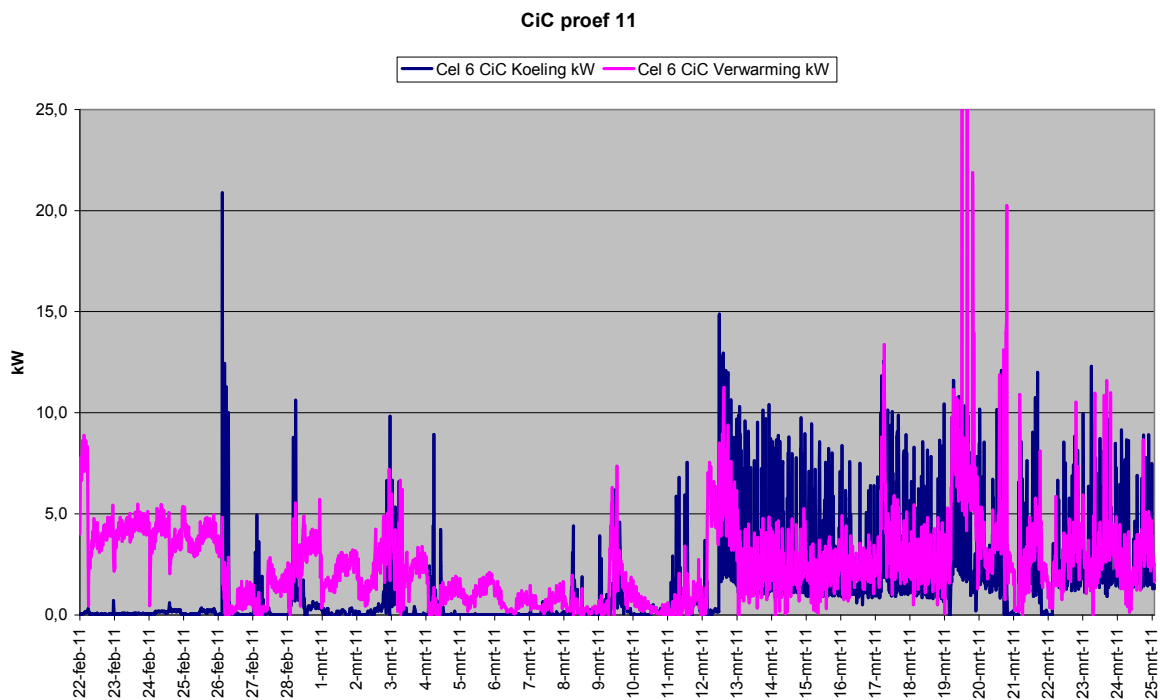
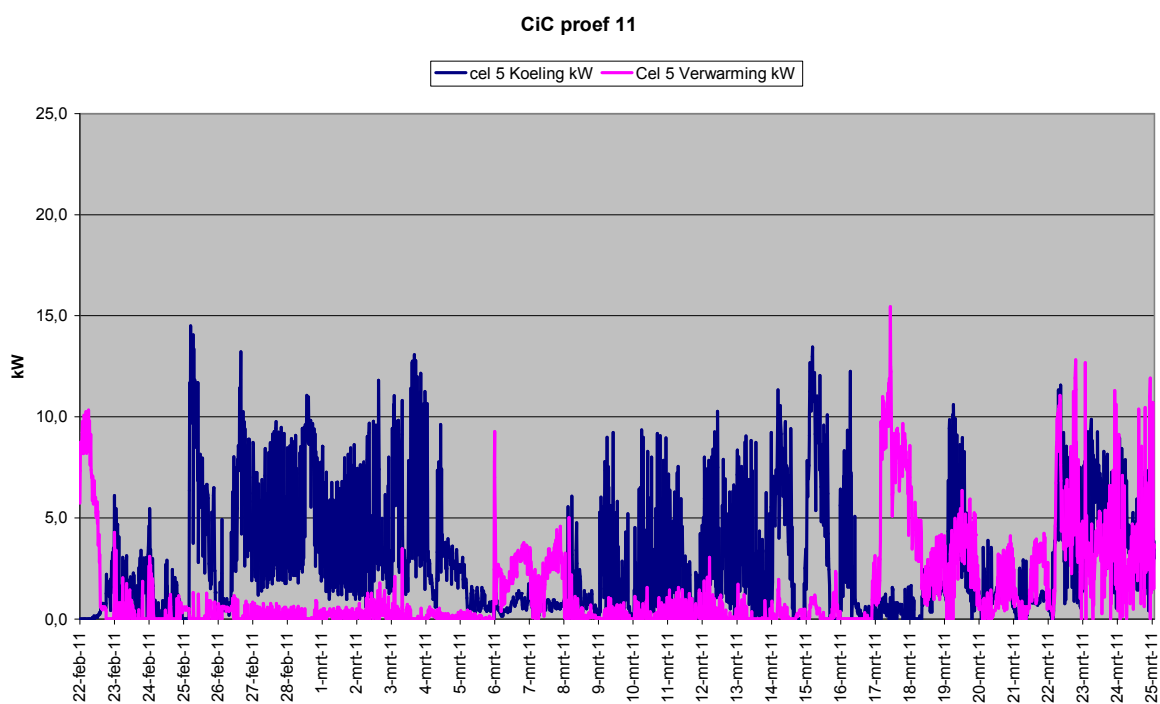
CiC proef 11



CiC proef 11

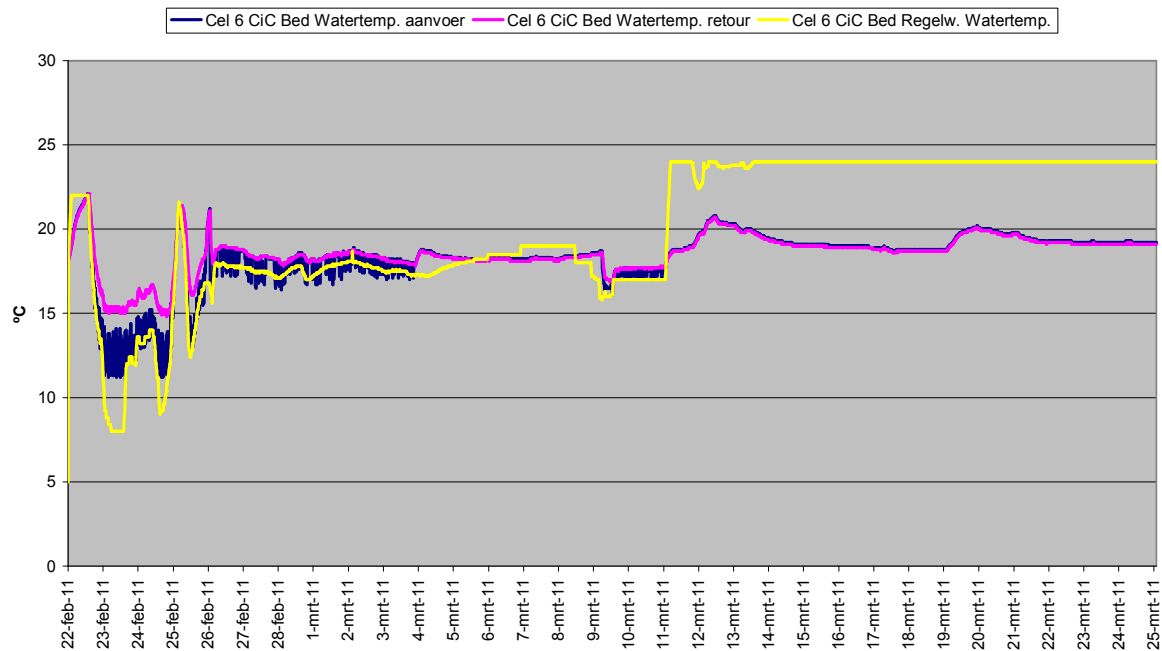


4.2 Bijlage 2: grafieken actuele energie klimaatunit

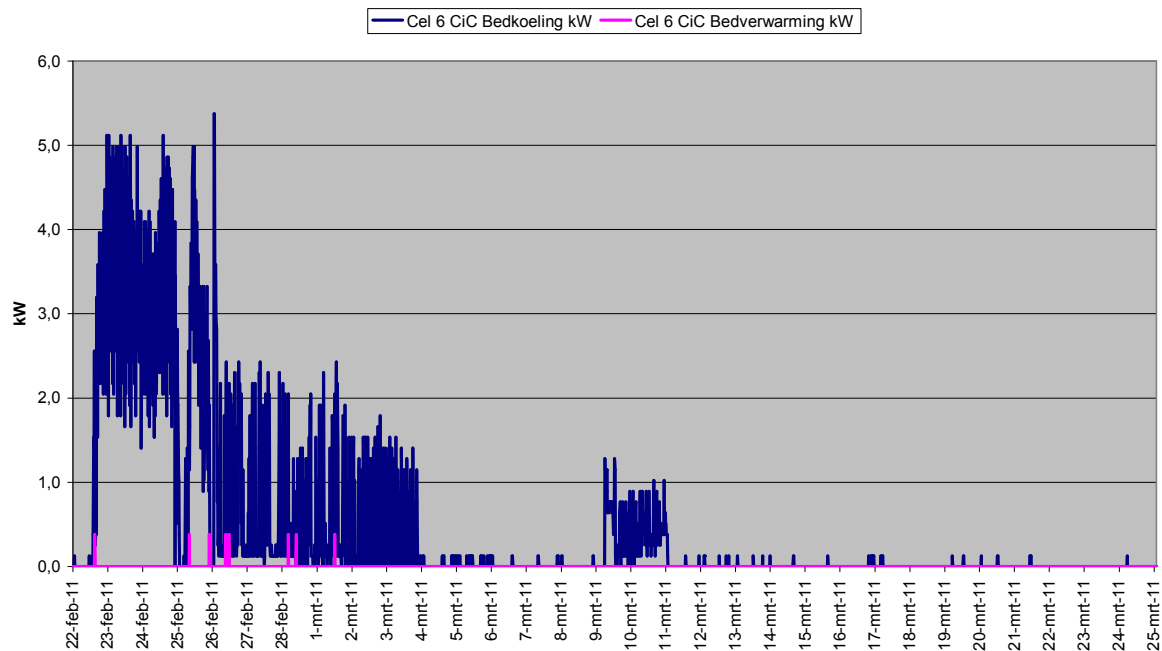


4.3 Bijlage 3: grafieken temp. / actuele energie bedkoeling/verw.

CiC proef 11

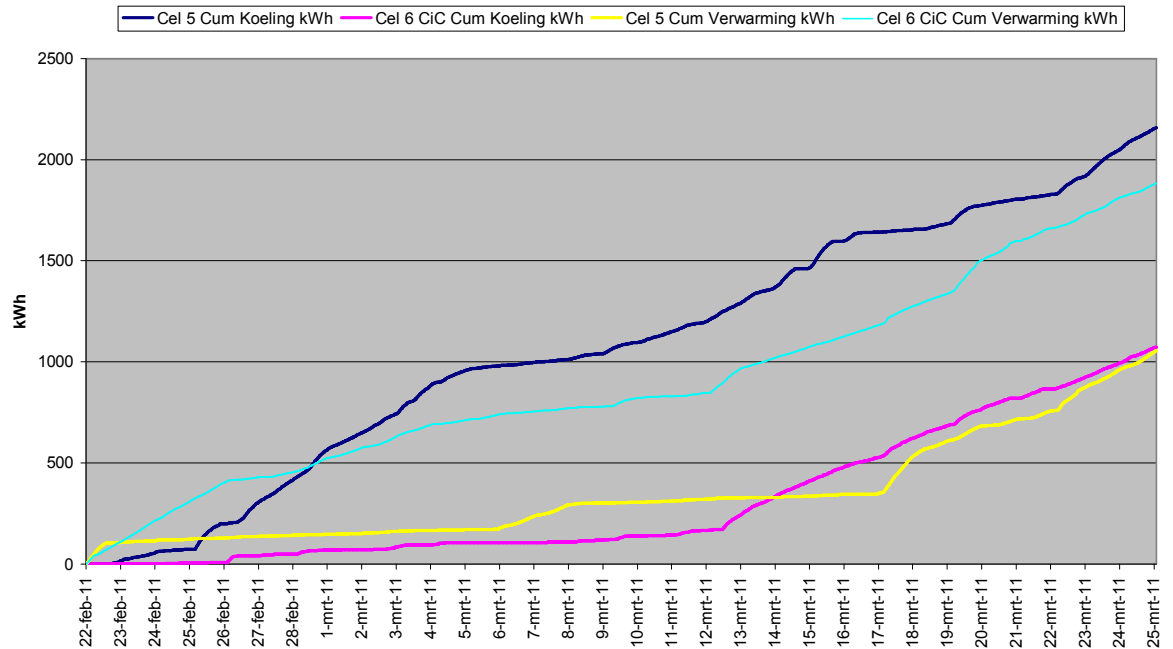


CiC proef 11

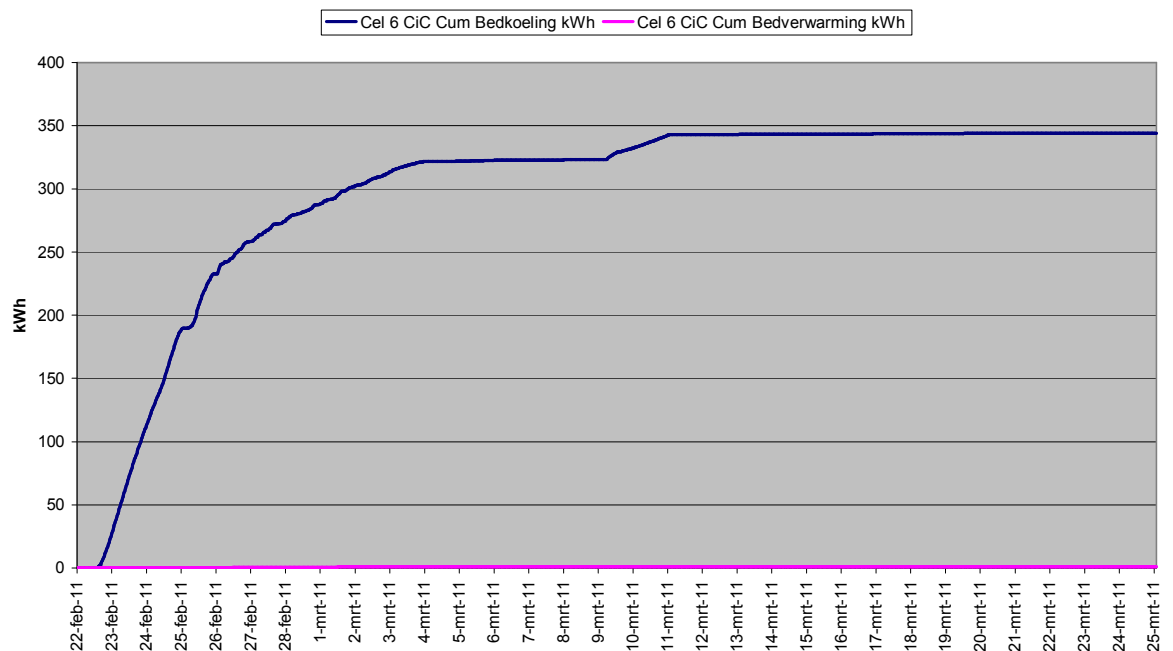


4.4 Bijlage 4: grafieken cumulatieve energie

CiC proef 11



CiC proef 11



CiC proef 11

