

Energiestromen bij watergekoelde leds

Proefperiode: belichtingsseizoen 2019 – 2020

Uitgevoerd door:

Proefstation voor de Groenteteelt en Thomas More



Titel	Energiestromen bij watergekoelde leds
Proefperiode	De teelt liep van 16 oktober 2019 tot 27 maart 2020
Contactgegevens	Gegevens proef: Thibault De Moor (thibault.de.moor@proefstation.be) Proefstation voor de Groenteteelt Duffelsesteenweg 101, 2860 Sint-Katelijne-Waver (België) Gegevens energetische berekeningen en dimensioneringstool: Bert De Schutter (Bert.deschutter@thomasmore.be) Kenniscentrum Energie, Thomas More Kleinhoefstraat 4, 2440 Geel (België)
Project	Dit onderzoek vond plaats binnen het project GLITCH. GLITCH zet in op de ontwikkeling van innovatieve energie-efficiënte en klimaatneutrale teelttechnieken en -systemen in de glastuinbouw. 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.



Samenvatting / Abstract

Dit rapport geeft een samenvatting van de onderzoeken die binnen het project Glitch uitgevoerd zijn omtrent het gebruik van laagwaardige warmte afkomstig van watergekoelde leds. Dit onderzoek kan in twee delen opgesplitst worden.

- Bij het Proefstation voor de Groenteteelt (PSKW) werd een proef uitgevoerd waarbij sla geteeld op een mobielegotensysteem (MGS) werd belicht met watergekoelde leds. Deze teelt werd vergeleken met een slateelt op een MGS onder luchtgekoelde leds. Hierbij werd de teelt beoordeeld door PSKW en het energieverbruik opgevolgd door Thomas More.
- Thomas More heeft een online rekentool ontwikkeld waarmee inzicht wordt gegeven in de dimensionering van de combinatie van de watergekoelde leds en het afgiftesysteem van de laagwaardige warmte afkomstig van deze leds.

Gedetailleerde informatie omtrent de resultaten van de proef en inzichten bekomen door gebruik van de dimensioneringstool worden in dit rapport beschreven. Samenvattend kan gesteld worden dat de laagwaardige warmte, afkomstig van de watergekoelde leds, gebruikt kan worden om een bestaande ondernet aan te vullen, maar niet om het volledig te voeden. Tijdens de proef bleek ook dat het oogstgewicht van de sla significant hoger lag in de afdeling met de luchtgekoelde leds in vergelijking met de watergekoelde leds. Vermoed wordt echter dat dit het resultaat is van een gemiddeld hogere temperatuur in de afdeling met luchtgekoelde leds gecombineerd met een hogere zoninstraling in deze afdeling en dus niet door een verschil tussen water en luchtgekoelde leds.



Inhoudstafel

1	Algemene inleiding.....	5
2	Proef ter vergelijking van watergekoelde en luchtgekoelde leds	5
2.1	Proefopzet.....	5
2.1.1	Proefbeschrijving	5
2.2	Beoordelingen.....	6
2.2.1	Gewas beoordelingen.....	6
2.2.2	Klimaatmetingen.....	6
2.3	Resultaten en bespreking.....	7
2.3.1	Plantontwikkeling.....	7
2.3.2	Klimaat en energie.....	7
3	Dimensionering van het afgiftesysteem bij het gebruik van watergekoelde leds.....	10
3.1	Aanbevelingen	10
3.2	Rekentool	13





1 Algemene inleiding

Voor de teelt van slasoorten op hydrocultuur wordt bij nieuwbouwprojecten steeds vaker gekozen voor led-belichting in plaats van het traditionele HPS-licht (SON-T). Er zijn heel veel verschillende type led-lampen beschikbaar. Wat het spectrum betreft kunnen we, dankzij het vele onderzoek van voorbije jaren, een redelijk goed advies formuleren voor een vast spectrum. Alleen voor kropsla blijft de vraag bestaan of verrood al dan niet moet worden toegediend. Naast de verschillen in spectrum, is er ook verschil in efficiëntie van de armaturen en in de manier waarop de leds in de armaturen gekoeld worden. De leds kunnen gekoeld worden door een luchtstroming, zowel actief met een ventilator als passief, of actief met water. Het actief koelen van de lampen met water heeft twee voordelen. Ten eerste kan door het koelen van de lampen de levensduur van de leds worden verhoogd. Ten tweede kan de warmte geproduceerd door de leds verplaatst worden naar een plek in de serre waar ze nuttig kan zijn. Voor sla geproduceerd op een mobielegotensysteem (MGS) is dat via een laagtemperatuurnet, kortweg LT-net, dat onder de goten wordt geïnstalleerd. We spreken ook van een ondernernet.

In het kader van het Glitch-project hebben we in de winter van 2019-2020 een proef opgezet. Op het Proefstation voor de Groenteteelt (PSKW) werd daartoe, in een serre met mobiele goten, een afdeling ingericht met watergekoelde leds en een andere afdeling met luchtgekoelde leds. Thomas More installeerde de sensoren en analyseerde het energieverbruik per afdeling. Daarnaast ontwikkelde men ook een rekentool om een aanbeveling te kunnen doen naar een goede dimensionering van het afgiftesysteem.

2 Proef ter vergelijking van watergekoelde en luchtgekoelde leds

2.1 Proefopzet

2.1.1 Proefbeschrijving

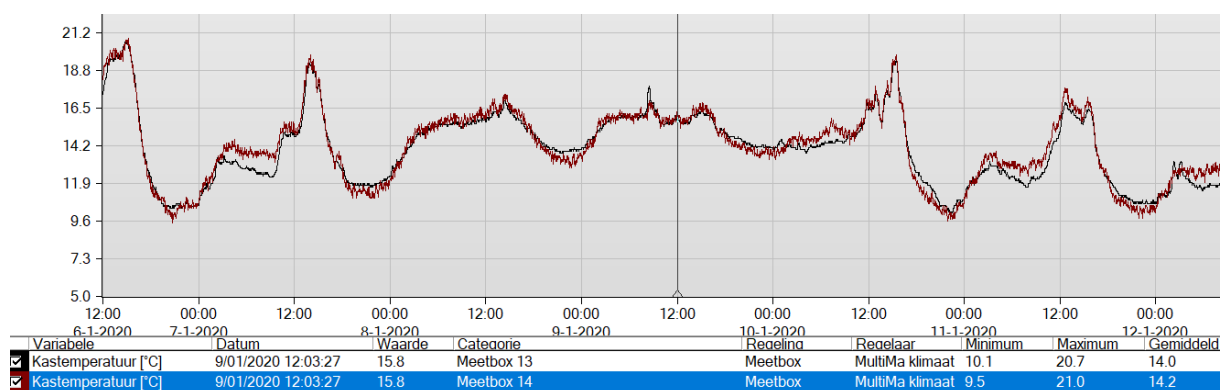
Om een goede vergelijking mogelijk te maken tussen het effect van watergekoelde en luchtgekoelde leds op zowel het energieverbruik als de teelt, werden twee afdelingen met een MGS-systeem uitgerust met assimilatiebelichting met vergelijkbare specificaties op vlak van lichtintensiteit en spectrum. In de ene afdeling werden watergekoelde leds geïnstalleerd (Oreon, Oreon Grow Light 2.1 MB/W). In de andere afdeling werden luchtgekoelde leds geïnstalleerd (Signify, Philips Toplight DR B LB NAM Green Power LED).

In beide afdelingen is het bovennet, bovenaan in de serre, de belangrijkste verwarmingsbron. In de afdeling met watergekoelde leds worden de leds gekoeld door water en wordt het opgewarmde water naar het net onder de goten getransporteerd. En via dat ondernernet wordt de warmte terug afgegeven. In de afdeling met luchtgekoelde leds wordt de warmte van de leds afgegeven ter hoogte van de leds en is er een ondernernet met laagwaardige warmte afkomstig van het verwarmingssysteem, namelijk de wkk. De temperatuur van dit ondernernet is regelbaar. In de afdeling met de watergekoelde leds wordt het ondernernet alleen warm als de



lampen branden en is de temperatuur dus niet regelbaar. Het debiet van de pomp is regelbaar. De watergekoelde leds in onze proef –twaalf armaturen op een oppervlakte van 200 m²– kunnen samen een verwarmend vermogen afgeven tot 3,3 kW in het ondernet. Als de lampen branden en het ondernet te weinig warmte kan afgeven in de serre, zal de temperatuur van het water stijgen. Van zodra de watertemperatuur te hoog wordt, zullen de lampen automatisch uitschakelen om de elektronica in de lampen te beschermen. In beide afdelingen werd de hele winter multicolorsla geteeld. We hebben gestreefd naar een gelijk klimaat in beide afdelingen. De grafiek van de klimaatcomputer toont dat de temperatuur relatief gelijk was, maar soms toch iets hoger in de afdeling met luchtgekoelde leds (Figuur 1). In de belichtingsperiode van 1 uur 's nachts tot zonsopgang –de zogenaamde nanacht– kan de temperatuur in de afdeling met watergekoelde leds lager zijn. Dit komt doordat de temperatuur van het ondernet bij de watergekoelde leds niet regelbaar is. Deze is mede afhankelijk van omgevingsfactoren. Bij de luchtgekoelde leds wordt de temperatuur van het net gecontroleerd.

De belichting is gestart op 17/10/2020 en liep tot 27/03/2020.



Figuur 1: Temperatuursverloop van de afdeling met luchtgekoelde leds (rode lijn) en de afdeling met watergekoelde leds (zwarte lijn)

2.2 Beoordelingen

2.2.1 Gewas beoordelingen

Tijdens dit onderzoek hebben we 14 oogsten beoordeeld tussen 03/01/2020 en 26/03/2020.

We hebben telkens het gewicht beoordeeld van de volledige krop en van de verschillende rassen individueel.

2.2.2 Klimaatmetingen

Om een vergelijking te maken tussen het warmte gebruik in een serre met watergekoelde- of luchtgekoelde leds werden in beide afdeling de verwarmingssystemen gemonitord gedurende de periode oktober 2019 tot en met maart 2020. Hiervoor werden 2 systemen gebruikt:

- Monitoring van de warmte-input via het bovennet: De warmte is in beide afdelingen afkomstig van de centrale installatie. Het debiet, de aanvoertemperatuur en de



retourtemperatuur van dit bovennet werden opgevolgd met behulp van de klimaatcomputer. Hieruit kan het energieverbruik van de installatie berekend worden.

- Monitoring van de warmte-input via het ondernet: Om de warmte te monitoren in het ondernet werd in beide afdelingen een ultrasoon debietmeter geïnstalleerd. Deze werd aangevuld met twee thermokoppels, om op die manier de aanvoer- en retourtemperatuur van het ondernet te kunnen meten. Het verschil tussen beide ondernetten bestaat uit de manier waarop de warmte afgegeven wordt in de afdeling:
 - In afdeling 13 (watergekoelde led) wordt het ondernet enkel gevoed met warmte uit de leds. Qua warmteafgifte van het ondernet is er geen regelstrategie aanwezig, de warmte uit de leds wordt direct afgegeven aan het ondernet. De pomp die het water van de watergekoelde lampen naar het ondernet brengt, hebben we achtereenvolgens bij twee verschillende debieten getest, namelijk 0,9 m³ per uur en 0,75 m³ per uur.
 - In afdeling 14 (luchtgekoelde led) werd het ondernet gevoed door de centrale verwarmingsinstallatie. Deze kon wel aangestuurd worden vanuit de klimaatcomputer.

Het kasklimaat werd geregeld en gemonitord via de aanwezige klimaatcomputer.

2.3 Resultaten en bespreking

2.3.1 Plantontwikkeling

In de afdeling met luchtgekoelde leds waren de oogstgewichten significant hoger. We vermoeden dat de gewichtsverschillen een combinatie zijn van twee factoren. In de afdeling met luchtgekoelde leds werd meer energie gestoken en was de serre iets warmer. In de afdeling met watergekoelde leds was er meer schaduw, door de ligging van de afdeling, en dus minder zon, dat heeft zeker ook een invloed gehad.

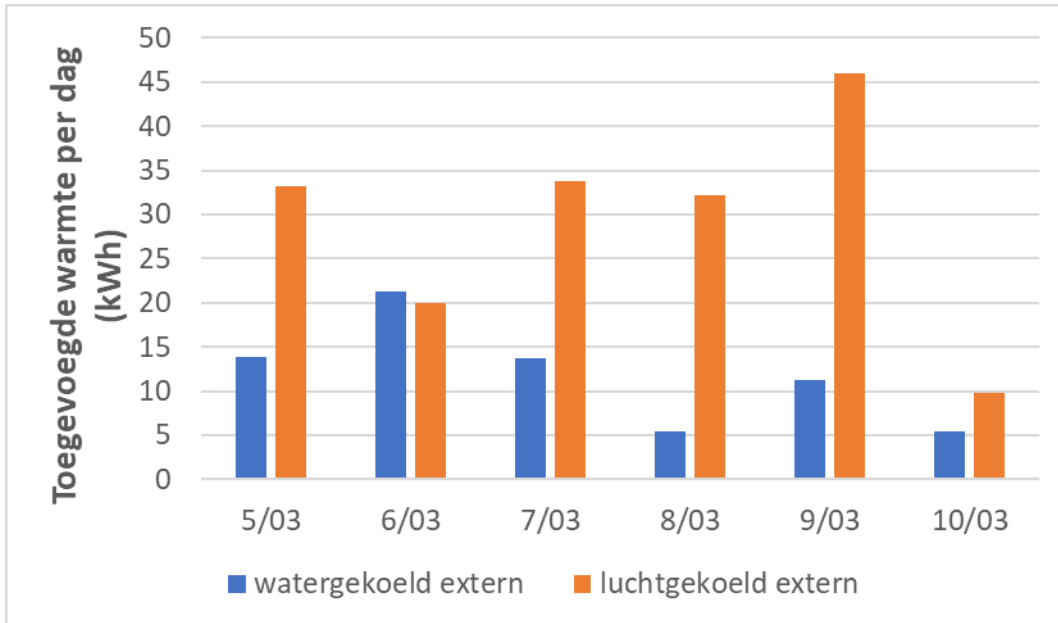
2.3.2 Klimaat en energie

De watergekoelde leds geven, afhankelijk van het elektrisch vermogen van de lamp, warmte af aan het water. Hierdoor stijgt de watertemperatuur. Hoeveel de temperatuur van het water stijgt, is daarnaast ook afhankelijk van het debiet. Een goed gekozen debiet is dan ook van belang bij de installatie van watergekoelde leds. Zoals verwacht is de temperatuurstijging van het water, na passage over de lampen, kleiner als het waterdebiet hoger is. Tegengesteld aan de verwachtingen bleek in deze proef de aanvoertemperatuur van het ondernet en de gemiddelde buistemperatuur bij een hoog debiet hoger dan bij een laag debiet. Waarschijnlijk heeft dit te maken met een verschillend kasklimaat tijdens de twee meetperiodes. Theoretisch gezien zal bij een té laag debiet de temperatuur te hard stijgen en zullen de lampen te weinig kunnen worden gekoeld. Maar als het debiet té hoog is, zal het verschil tussen de aanvoer- en retourtemperatuur in het ondernet dan weer heel klein zijn. Bovendien zal bij een hoog debiet het drukverlies in de leidingen stijgen en wordt er onnodig veel energie verbruikt door de circulatiepomp.



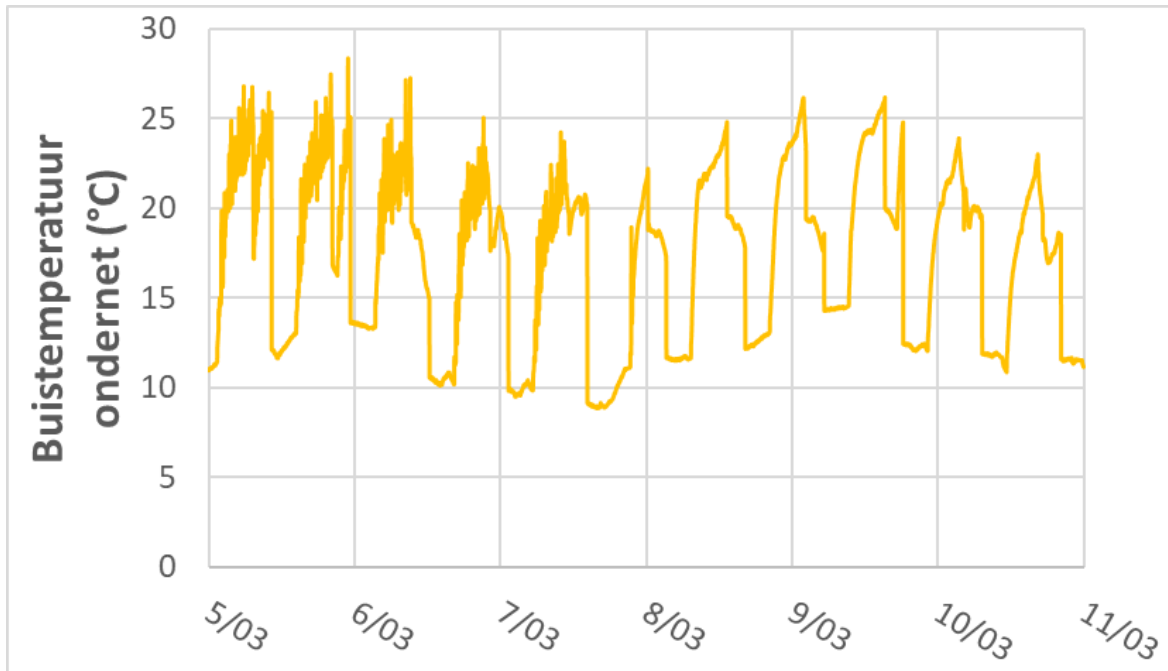


Door het grote debiet en het zeer kleine temperatuur verschil, is de nauwkeurigheid van de metingen op het ondernet echter niet optimaal. Uit de bruikbare data kunnen we afleiden dat er in de watergekoelde afdeling aanzienlijk minder "externe" warmte gebruikt werd (Figuur 2). In de klimaatmeting zien we dan wel dat deze besparing niet volledig verklaard kan worden door de warmterecuperatie uit de watergekoelde leds, maar dat ook de kasttemperatuur in deze afdeling lager lag waardoor er minder warmte nodig was.



Figuur 2: Overzicht van extern toegevoerde warmte aan de afdeling met watergekoelde en luchtgekoelde leds

Behalve de energie zijn ook de temperaturen in het systeem van belang om in te schatten of de gerecupereerde warmte nuttig gebruikt kan worden. In onderstaande grafiek zien we dat de gemeten temperaturen vrij laag zijn (figuur 3). Deze kunnen verhoogd worden door het debiet te verlagen.



Figuur 3: Gemeten buistemperatuur van het ondernet bij gebruik van de watergekoelde led

Uit deze resultaten blijkt dat tijdens de koude momenten in de meetperiode het vermogen van het ondernet gevoed door de watergekoelde leds onvoldoende was om aan de warmtevraag te voldoen. Het ondernet gevoed door de verwarmingsinstallatie kon de warmtevraag beter invullen. Dit maakt duidelijk dat de waterkoeling van de leds een ondernet gevoed door een verwarmingsinstallatie wel kan aanvullen, maar niet kan vervangen.





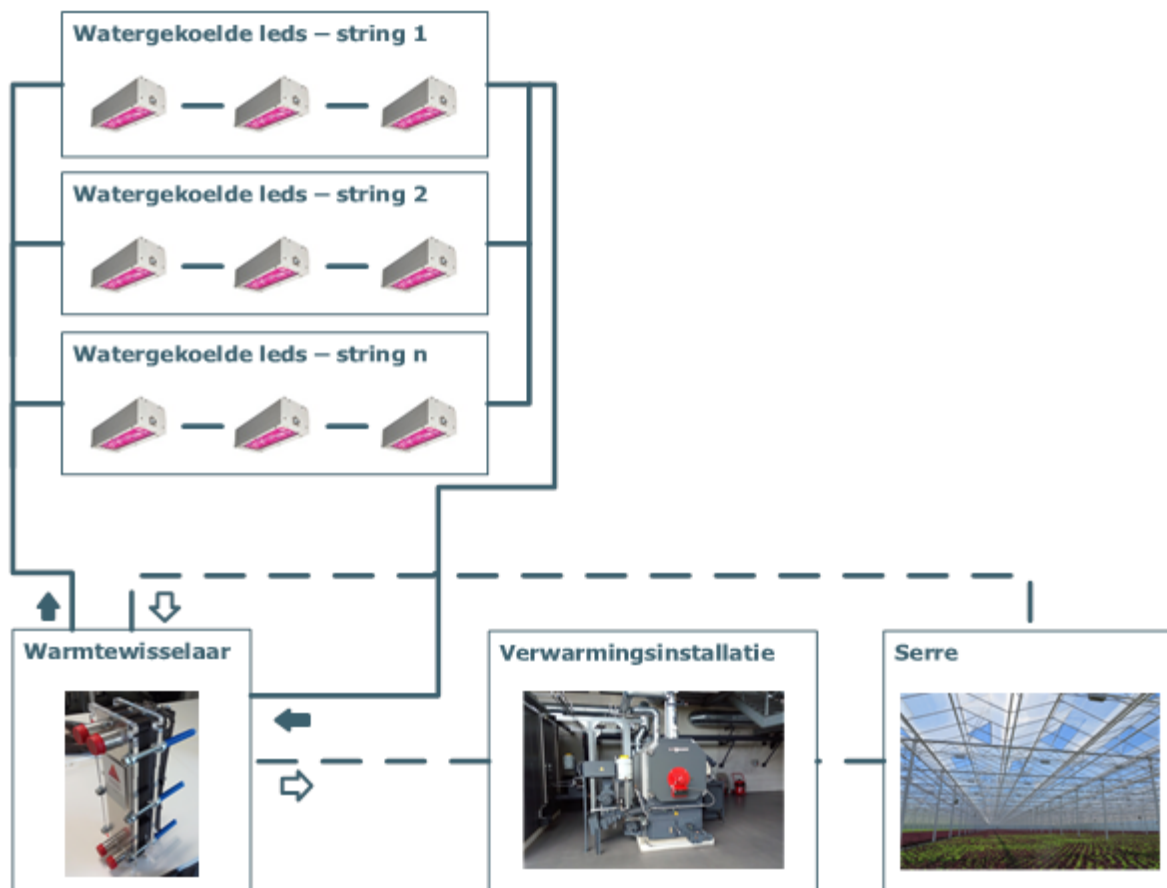
3 Dimensionering van het afgiftesysteem bij het gebruik van watergekoelde leds

Hierboven werd reeds aangehaald dat waterkoeling van de leds een ondernet gevoed door een verwarmingsinstallatie kan aanvullen, maar niet kan vervangen. Ook werd aangehaald dat een juist afgesteld debiet belangrijk is voor een goede warmteafgifte en om oververhitting van de leds te voorkomen. Een goede dimensionering van het afgiftesysteem is echter essentieel. In onderstaande tekst worden een aantal aanbevelingen gedaan wanneer men dit systeem in de praktijk wil toepassen. Ook werd, om meer inzicht te krijgen in de dimensionering van een dergelijk systeem, door Thomas More een dimensioneringstool ontwikkeld die teruggevonden kan worden via volgende webpagina: <https://kce.thomasmore.be/benutting-van-laagwaardige-warmte.html>.

3.1 Aanbevelingen

In de uitgevoerde proef werd de waterkoeling van de leds rechtstreeks aangesloten op het ondernet. Omdat de temperaturen en het debiet in een dergelijke opstelling moeilijk te regelen zijn, raden we aan om een warmtewisselaar te gebruiken. Zo krijgen we namelijk twee gescheiden circuits: het LT-net (lage temperatuur warmtenet) en het circuit met de watergekoelde leds (Figuur 1). Het is aan te raden om het circuit van de leds op de retour van het LT-net aan te sluiten. De temperatuur in dit circuit mag namelijk niet te hoog worden ter bescherming van de leds. Een verwarmingsinstallatie kan vervolgens de temperatuur van het LT-net verder verhogen tot de gewenste temperatuur. In de praktijk zal deze verwarmingsinstallatie meestal bestaan uit de rookgascondensor van de ketel of van de wkk. Belangrijk hierbij is dat er in deze opstelling minder warmte gerecupereerd kan worden uit de rookgassen, omdat de leds al warmte toevoegen aan het circuit.

Een goede inschatting maken van het thermisch vermogen van de watergekoelde leds is nodig om een idee te krijgen van het benodigd vermogen uit de rookgascondensor of de ketel om je serre op temperatuur te brengen. In het ledcircuit is de geïnstalleerde lichtsterkte een bepalende factor. De watertemperatuur in het ledcircuit is hier van ondergeschikt belang. In het LT-net zijn de gewenste buistemperatuur en eigenschappen specifiek aan het LT-net van belang. Hierbij denken we dan bijvoorbeeld aan het materiaal van de buizen of de afstand tussen de buizen. Als voorbeeld wordt in Tabel 1 het benodigde bijstookvermogen weergegeven bij een belichtingsinstallatie van $75 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ watergekoelde leds. Het vermogen wordt berekend voor verschillende gewenste buistemperaturen en dit voor verschillende buisafstanden.



Figuur 4: Overzicht van de twee gescheiden circuits voor gebruik van warmte van watergekoelde leds

Tabel 1 – Benodigd bijstookvermogen (W/m^2) in functie van het geïnstalleerde LT-net en de gewenste buistemperatuur. De berekeningen zijn geldig bij een geïnstalleerd ledvermogen van $75 \mu mol/m^2.s$ en PE-buizen met een diameter van 40 mm.

		Benodigd bijstookvermogen (W/m^2)						
<i>Gewenste buistemperatuur</i>		25 °C	27,5 °C	30 °C	32,5 °C	35 °C	37,5 °C	40 °C
<i>Afstand tussen twee buizen</i>	2 m	0	0	0	2	4	7	10
	1,5 m	0	1	4	7	10	14	17
	1 m	3	8	12	17	22	27	33
	0,75 m	9	15	21	27	34	41	48
	0,5 m	20	29	38	47	58	68	79
	0,25 m	53	70	89	108	128	149	171

In tegenstelling tot bij een ketel kan het thermisch vermogen van een lamp niet worden geregeld. Om toch een zekere controle te hebben over de temperaturen die worden bereikt, is een goede kennis van het debiet in het ledcircuit onontbeerlijk. De leds worden verdeeld over een aantal 'strings' in het circuit. In elke string staan de lampen in serie. De verschillende



strings staan op hun beurt in parallel (best aangesloten volgens het Tichelmann-principe). Het plaatsen van alle lampen in serie heeft als grote nadeel dat je pompen met een groot vermogen nodig hebt, wat zeer veel energie vraagt. Dit groot pompvermogen is nodig om het drukverlies op te vangen, dat groot zou worden in de lampen en in de leidingen wanneer ze allemaal in serie worden geplaatst. Daarom kies je best voor strings in parallel. Het aantal lampen dat per string kan worden geïnstalleerd, is vooral afhankelijk van het maximale toegelaten debiet, de maximale watertemperatuur aan de ingang van de lamp en van de buistemperatuur in het ondernet. Door Oreon (een producent van watergekoelde leds) wordt aangeraden de installatie zo op te stellen dat het debiet ongeveer 1,21 m³ per uur per string bedraagt en de maximale watertemperatuur aan de ingang van de lamp niet hoger is dan 45°C.

Tabel 2: Maximaal aantal lampen per string om de temperatuur in het ledcircuit niet hoger dan 45°C te laten worden.

		Maximaal aantal lampen per string						
		25 °C	27,5 °C	30 °C	32,5 °C	35 °C	37,5 °C	40 °C
<i>Gewenste buistemperatuur</i>								
<i>Maximum debiet per string (m³/u)</i>	1,2	123	110	97	83	69	53	36
	1,25	129	115	101	87	71	55	37
	1,3	134	120	105	90	74	57	39
	1,35	139	124	109	94	77	60	40
	1,4	144	129	113	97	80	62	42
	1,45	149	133	118	101	83	64	43
	1,5	154	138	122	104	86	66	45
	1,55	160	143	126	107	89	68	46
	1,6	165	147	130	111	92	71	48

Naast het aantal lampen per string is het zeer belangrijk om ook het totaal debiet in het afgiftecircuit te kennen. Zo kan je het gewenste temperatuurverschil over het ondernet en bijgevolg het vermogen hiervan inschatten. Het temperatuurregime in het ledcircuit bepaalt het debiet, daarom moet dit goed vastgelegd zijn. De aanvoertemperatuur wordt vastgelegd bij het ontwerp, en mag zoals reeds aangehaald niet boven 45°C komen. De retourtemperatuur wordt bepaald door de buistemperatuur van het LT-net en de keuze van de warmtewisselaar. Als deze op een goede manier gedimensioneerd is, kan het totaal debiet in functie van de maximale temperatuur in het ledcircuit en de gewenste buistemperatuur worden berekend. Als het debiet groter wordt zal er meer pompenergie nodig zijn. Als het totaal debiet te klein wordt, zal de eindtemperatuur in het ledcircuit boven de 45°C komen, met mogelijke schade aan de lampen tot gevolg.





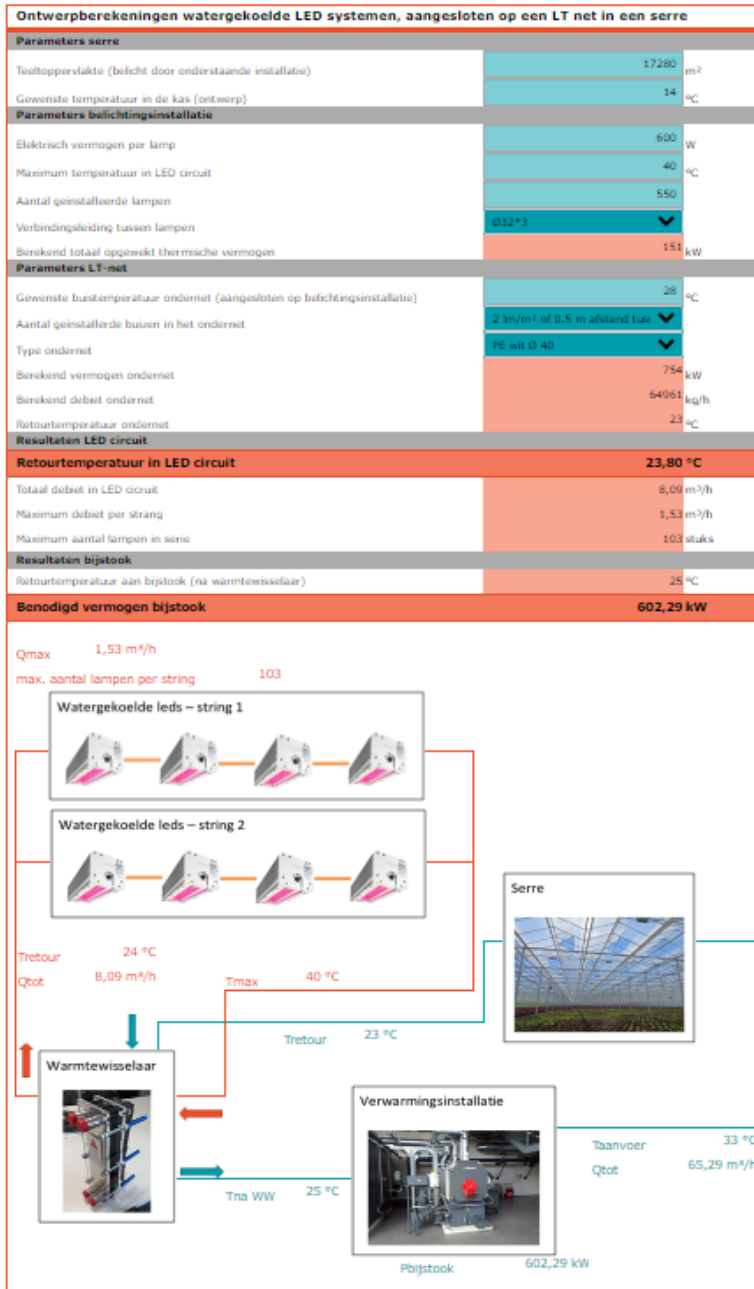
Tabel 3 – Totaal debiet in ledcircuit (m^3/u) in functie van de maximale temperatuur van het ledcircuit en de gewenste buistemperatuur.

		Totaal debiet ledcircuit (m^3/u)						
<i>Gewenste buistemperatuur</i>		<i>25 °C</i>	<i>27,5 °C</i>	<i>30 °C</i>	<i>32,5 °C</i>	<i>35 °C</i>	<i>37,5 °C</i>	<i>40 °C</i>
<i>maximale temperatuur led circuit</i>	<i>35 °C</i>	10	13	21	52			
	<i>37,5 °C</i>	8	10	13	20	50		
	<i>40 °C</i>	7	8	10	13	19	45	
	<i>42,5 °C</i>	6	7	8	10	12	18	42
	<i>45 °C</i>	5	6	7	8	10	12	18

3.2 Rekentool

We kunnen dus besluiten dat een goede dimensionering van een systeem van essentieel belang is wanneer laagwaardige warmte van watergekoelde leds wordt gebruikt. Daarom is door Thomas More een rekentool ontwikkeld die helpt om een idee te krijgen van de verschillende parameters die in dit artikel worden aangehaald. Bovenstaande resultaten zijn hier dan ook allemaal mee berekend. Een screenshot van deze tool kan je in onderstaande figuur terugvinden (figuur 5). De tool zelf kan je terugvinden op volgende webpagina: <https://kce.thomasmore.be/benutting-van-laagwaardige-warmte.html>.





Figuur 5: screenshot van de ontwikkelde tool