

Þróun ljósbúnaðar fyrir ljós-lífviðtaka (photobioreactor)

Lokaskýrsla

(4.11.2008)

1. Ágrip

Verkefnið þróun ljósbúnaðar fyrir ljós-lífviðtaka (photo-bioreactor) snýst um að þróa og fullprófa frumgerð (prototype) af tölvustýrðum ljósbúnaði sem samanstendur af díóðuljósseiningum og straumstýribúnaði VO2000. Frumgerðin nýtist til rannsókna og framleiðslu á verðmætum afurðum úr smápörungum sem ræktaðir eru í þar til gerðum ljós-lífviðtaka (photobioreactor). Frumgerðin byggir á nýjstu ljósdíóðutækni þar sem bestu mögulegu ljósnýtni er beitt til að hámarka ljóstillífun og vöxt smápörunga. Straumstýribúnaðinn má nota með eða án sólarljóss og verður hægt að stjórna frá tölvu svo að hámarks framleiðsla fáið allt árið um kring.

Í þessari skýrslu verður gerð grein fyrir verkefninu og niðurstöðum þess. Í viðauka eru einnig frekari upplýsingar (Data Sheet) um straumstýribúnaðinn VO2000.

2. Markmið

Ljós-lífviðtakakerfi eru mikilvæg fyrir framleiðendur smápörunga sem ætlaðir eru til framleiðslu á verðmætum afurðum s.s. bætiefnum, litarefnum, vítamínum, lípíðum, fóðri o.fl. Þó eru flöskuhálsar til staðar sem hafa áhrif á framleiðni ljós-lífviðtaka, s.s takmörkuð ljósdrægni í eldisvökva og ljósheftunaráhrif sem smápörungar geta orðið fyrir við mikið ljósmagn frá stöðugri lýsingu.

Markmiðið með þessu verkefni var að þróa hagkvæman og endingargóðan ljósbúnað sem getur yfirstigið þessi vandamál og á sama tíma aukið verulega vöxt og uppskeru smápörunga í ljós-lífviðtakakerfum.

Rannsóknir hafa sýnt að smápörungar vaxa og dafna vel við einslitt rautt díóðuljós á bilinu 600-700nm. Einnig hefur verið sýnt fram á að ljósdíóður nýta litrófið mun betur en aðrir ljósgjafar þar sem hægt er að fella bylgjulengd ljósdíóða að upptökubylgjulengd blaðgrænu smápörunga. Þrátt fyrir hærri tilkostnað eru ljósdíóður í reynd hagkvæmari kostur en aðrir ljósgjafar þegar til lengri tíma er litið þar sem þær eru ekki eins orkufrekar og endast mun lengur [1][2]. Rannsóknir hafa sýnt að auka má ljósdægni í eldisvökva smápörunga með púlsuðu díóðuljósi og ná þannig til fleiri smápörunga í eldisvökvanum án þess að þeir verði fyrir ljósheftun. Púlsað díóðuljós eykur jafnframt frumþéttleika smápörunganna og ljóstillífunarnýtnina [3]. Þá hefur verið sýnt fram á með tilraunum að ljóseindir nýtast best ef ljósgjafinn er staðsettur innan í ljós-lífviðtakanum [4][5]. Færð hafa verið rök fyrir því að ljósdíóður muni gegna veigamiklu hlutverki í því viðfangsefni að auka frumþéttleika og ljóstillífunarnýtni við mikið ljósmagn svo framleiða megi mikið magn lífmassa á hagkvæman hátt, s.s. til framleiðslu á lífoldsneyti (biofuel) [6].

Með straumstýribúnaðinum verður hægt að stýra ljósmagni, lýsingartíma (púlsvídd) og tíðni ljóspúlsa frá díóðuljósseiningunum sem eru mikilvægur eiginleikar og jafnframt nauðsynlegir þættir í þeirri viðleitni að hámarka vöxt smápörunga í ljós-lífviðtakakerfum.

Margar gerðir smápörunga þrífast best við u.þ.b. 25°C hita. Stöðugur lágur umhverfishiti er einnig nauðsynlegur fyrir endingu ljósdíóða þar sem hann hefur bein áhrif á samskeytahita (junction temperature) þeirra. Við réttan umhverfishita og með réttri kælingu er hægt að halda samskeytahita ljósdíóða innan hættumarka jafnvel við hámarks rafstraum. Díóðuljóseiningarnar eru hannaðar þannig að hægt er að koma þeim fyrir í eldisvökva innan í rörlaga ljós-lífviðtaka. Með því móti vinnst tvennt, þ.e. ljóstap er lágmarkað og hægt er að halda samskeytahita ljósdíóðanna innan ásættanlegra marka með því að nýta stöðugt rennsli eldisvökvans sem kælingu. Hönnun díóðuljóseininganna innifelur lausnir sem koma í veg fyrir leka og tæringu sem og ráðstafanir til þess að fyrirbyggja að smápörungar festist við ljóseiningarnar. Þó er gert ráð fyrir að straumhraði eldisvökvans sé það mikill að smápörungar festist ekki innan á veggjum ljós-lífviðtakans eða við ljóseiningarnar. Sú aðferð að nýta rennsli eldisvökvans með þessum fyrirbyggjandi hætti er vel þekkt og er víða notuð í dag.

3. Framvinda

Í kjölfar ítarlegrar undirbúningsvinnu samdi Vistvæn Orka ehf við breskt fyrirtæki um framleiðslu á straumstýribúnaðinum VO2000. Fyrsta verkefnið var að semja tæknilýsingu (Architectural and Engineering Specifications) fyrir búnaðinn og var því verki lokið í maí 2008. Hönnunar- og verkfundir fóru fram símléiðis og á skrifstofu fyrirtækisins í Bretlandi. Framleiðsla á straumstýribúnaðinum hófst í júlí 2008 og lauk samsetningu og prófunum í september 2008. Prófanir á mismunandi lögum álkælinga, val íhluta og þéttiefna fyrir díóðuljóseiningarnar lauk í september 2008. Rafbrynjun (anodizing) á álkælingu, samsetning og prófanir á frumgerð díóðuljóseininganna lauk í október 2008. Kerfisprófanir á frumgerð straumstýribúnaðarins VO2000 og díóðuljóseininganna lauk einnig í október 2008.

Kerfisprófanir á frumgerð straumstýribúnaðarins og díóðuljóseininganna var þannig háttáð að straumstýribúnaðurinn og tölva voru tengd saman yfir IP staðarnet með netskipti sem sá um úthlutun IP-talna eftir DHCP staðli. Einni díóðuljóseiningu var komið fyrir í þar til gerðum 10 lítra ljós-lífviðtaka með vatnsfylltum rörum. Þess var gætt að vatnshitinn væri sem næst umhverfishitanum, u.þ.b. 25°C. Vatnsrennslinu í ljós-lífviðtakanum var haldið stöðugu með 20 l/mín. vatnsdælu til að líkja eftir raunverulegum aðstæðum og nýta vatnsrennslið sem kælingu fyrir díóðuljóseininguna. Díóðuljóseiningin og spennugjafi (Philips PM2812) voru síðan tengd við straumstýribúnaðinn og spennugjafinn stilltur út frá eftirfarandi jöfnu (spenna mæld með Philips PM2525 fjölsviðsmæli):

<supply voltage> = <variation of voltage rating> + <voltage rating of lights> + <voltage headroom>

Fjöldi mælinga á straum, spennu og ljósmagni voru framkvæmdar á díóðuljóseiningunni. Orkunotkun (W) straumstýribúnaðarins var reiknuð út og hún dregin frá samanlagðri heildarorkunotkun (W) straumstýribúnaðarins og díóðuljóseiningarinnar til að finna orkunotkun (W) hennar.

Nýtnin var fundin út frá eftirfarandi jöfnu:

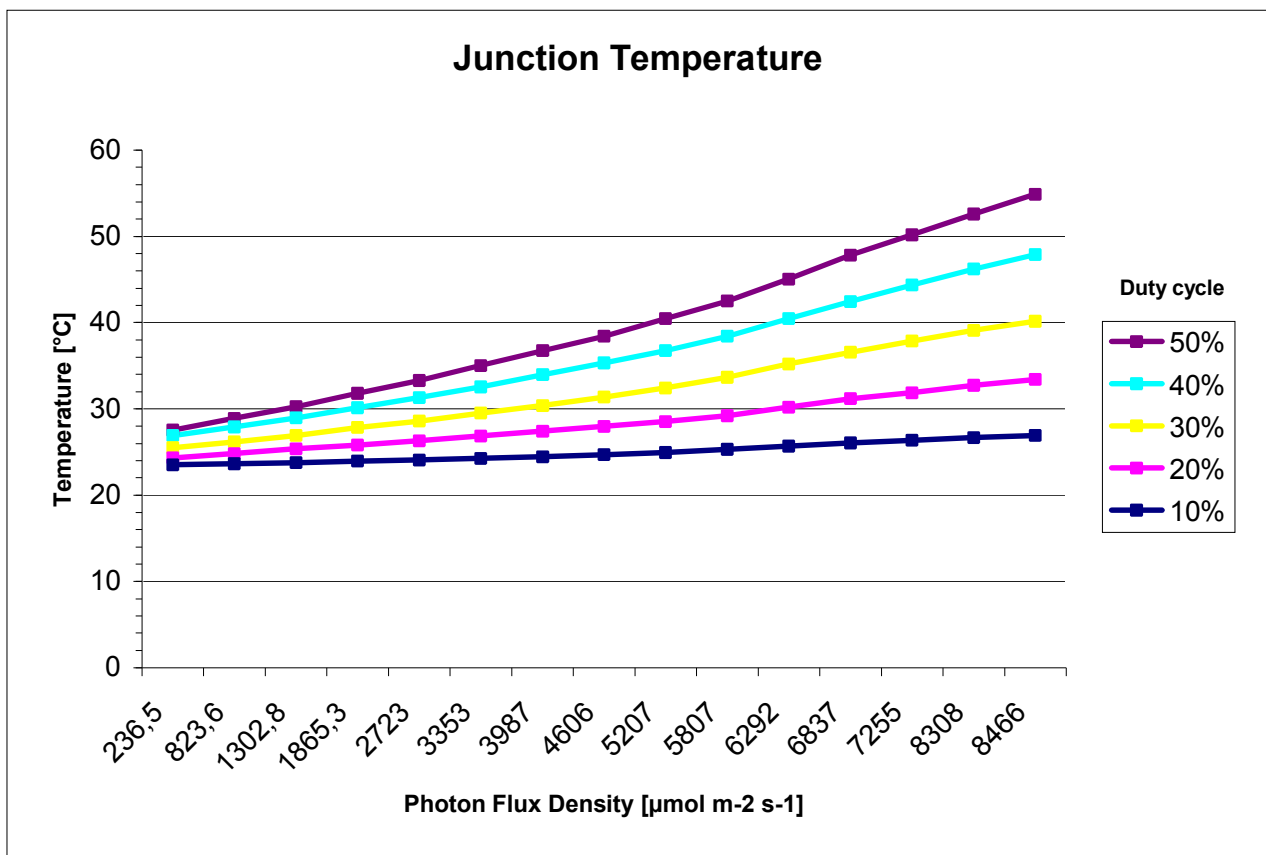
<Efficiency (%)> = 100 - (<variation of LED voltage rating> + <voltage headroom>) * 100 / <supply voltage>

Rafstraumurinn fyrir díóðuljóseininguna var ákvarðaður með því að stilla gildi í vefviðmóti tölvunnar, þ.e. 100mA til 1500mA, í 100mA þrepum (straumur mældur með Philips 2519 fjölsviðsmæli). Púlsvídd og tíðni ljóspúlsa var ákvörðuð með því að stilla gildi í vefviðmóti tölvunnar, þ.e. 20kHz og “duty cycle” á 10% til 50% (í 10% þrepum og staðfest með LeCroy 9400A sviðssjá). Ljós magn var mælt með ljósmæli (LI-COR LI-250A) og pinnahiti ljósdíóða og vatnshiti var mældur með stafrænum hitamæli (Volcraft K101). Með því að mæla pinnahita ljósdíóðanna var hægt að finna samskeytahita (junction temperature) þeirra, sem er sá þáttur sem einna helst ræður líftíma ljósdíóða.

4. Niðurstaða

Markmiðið með prófununum var að sýna fram á að hægt væri að framkalla straumpúlsa á hagkvæman hátt með straumstýribúnaðinum VO2000 og mikið ljósmagn með díóðuljóseiningunni (mælt í $\mu\text{mol ljóseindum m}^{-2}\text{s}^{-1}$) og á sama tíma viðhalda löngum endingartíma (>100.000 klst) ljósdíóðanna í díóðuljóseiningunni.

Niðurstöður mælinganna má sjá á línuriti (samskeytahiti sem fall af ljósmagni) hér fyrir neðan.



Eins og línuritið gefur til kynna þá er hægt að framkalla mikið ljósmagn (> 8000 $\mu\text{mol ljóseindir m}^{-2}\text{s}^{-1}$) með HB (High Brightness) ljósdíóðum sem þegar eru til á markaðnum í dag og á sama tíma viðhalda t.t. lágum samskeytahita ljósdíóðanna með þeirri kæliaðferð sem að framan greinir.

Að nýta vatnsrennsli í rörum ljós-lífviðtakans reyndist mjög áhrifarík aðferð við kælingu ljósdíóðanna og var hitaaukning af þeirra völdum ekki mælanleg.

Af niðurstöðunum að dæma er óhætt að stýra ljósdíóðunum (High Brightness) í díóðuljóseiningunni með straumpólsum við allt að 36% “duty cycle” ($T_j = 45^\circ\text{C}$) án þess að það komi niður á endingartíma ljósdíóðanna, sem er vel yfir 100.000 klst sbr. töflu framleiðanda hér neðar.

Séu mörkin sett við 36% “duty cycle” eða lægri, án tillits til hvaða tíðni er notuð, verður orkusparnaðurinn einnig umtalsverður sé miðað við orkunotkun fyrir stöðuga lýsingu.

Nýtni VO2000 straumstýribúnaðarins getur verið mjög mikil, en hún ákvarðast af aðfangaspennu (supply voltage), útgangsspennu (output voltage), mismun á framspennu díóðanna (V_f) og nauðsynlegri umframspennu (voltage headroom) til að veða upp spennufall í búnaðinum. Sem dæmi má nefna að ef framspenna (V_f) ljósdíóðanna í díóðuljóseiningum er öll hin sama þá verður aðfangaspennan (m.v. 24V útgangsspennu) að vera 24.5V – 25.0V (0.5V – 1.0V umframspenna), sem gefur nýtni á bilinu 96% – 98%. Ef mismunur á framspennu ljósdíóðanna er 3V, þá þarf aðfangaspennan að vera 27.5V – 28V, sem gefur aðeins 84% – 86% nýtni. Því er mikilvægt að velja réttar ljósdíóður (LED binning) hjá framleiðanda því þær hafa mikið að segja um nýtnina.

Relation between Junction Temperature and Life time

T_j ($^\circ\text{C}$)	Life (hours)	T_j ($^\circ\text{C}$)	Life (hours)
25	234,000	85	29,500
30	191,000	90	25,700
35	157,000	95	22,300
40	129,000	100	19,500
45	107,000	105	17,100
50	90,000	110	15,100
55	75,000	115	13,300
60	64,000	120	11,700
65	54,000	125	10,500
70	46,000	130	9,300
75	39,600	140	7,500
80	34,000	150	6,000

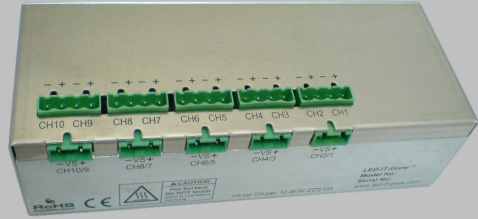
Efnahagslegir ávinningar og möguleikar í ræktun smápörunga í ljós-lífviðtakakerfum, sem nýta innlenda endurnýjanlega raforku, afgangsjarðhita og koldíoxíð í gasstreymi frá jarðhitavirkjunum til framleiðslu á ýmsum verðmætum afurðum, munu verða kannaðir til hlítar hér á landi á næstu árum og áratugum.

Eiginleikar ljósdíóða gera þær einkar hentugar í ljóstillífunarferli smápörunga þar sem hægt er að ákvarða með mikilli nákvæmni t.d. ljósmagn, lýsingartíma, bylgjulengd, hitastig og endingartíma þeirra. Að síðustu spara ljósdíóður umtalsverða raforku m.v. aðra hefðbundna ljósgjafa þar sem ljósnýtni þeirra er með því hæsta sem þekktist.

5. Heimildir

- [1] Matthijs, H.C.P., Balke, H., Hes, U.M.V. and Kroon, B.M.A. 1995. Application of Light-Emitting Diodes in Bioreactors: Flashing Light Effects and Energy Economy in Algal Culture (*Chlorella pyrenoidosa*). *Biotechnol. and Bioeng.* 50, 98-107.
- [2] Kommareddy, A. and Anderson, G. 2003. Study of Light as a parameter in the growth of algae in a Photo-Bio Reactor (PBR). ASAE. 034057.
- [3] Park, K.H. and Lee, C.G. 2000. Optimization of Algal Photobioreactors Using Flashing Lights. *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 5, 186-190.
- [4] Pulz, O. and Scheibenbogen K. 1998. Photobioreactors: Design and Performance with Respect to Light Energy Input. *Adv. in Biochemical Eng./Biotechnol.* 59, 123-152.
- [5] Lee, C.G. and Palsson, B.O. 1995. Light Emitting Diode-Based Algal Photobioreactor with External Gas Exchange. *Journal of Ferm. and Bioeng.* 79(3), 357-263.
- [6] Gordon, J.M. and Polle, J.E.W. 2007. Ultrahigh bioproductivity from algae. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 10.

VO2000 LED Lighting Controller for Microalgae Cultivation



The VO2000 LED Lighting Controller is a member of the **LED-IT-Grow™** family (Light Emitting Diodes and Information Technology to Grow biomass). The VO2000 LED controller is specially designed for artificial LED lighting applications for cultivation of microalgae in photobioreactors. The VO2000 provides flexible control of the quality of the LED light from intensity to pulse emission that is not possible by using conventional fluorescent lamps or high-pressure sodium lamps. Additionally, multiple VO2000 units can be supervised via Ethernet network using a PC in order to provide researchers with full capabilities and scalability.

Features

- Suitable for use with high efficacy HB-LED lighting systems.
- Built-in pulse generator. Pulsed LED light (up to 100kHz) increases the efficiency of photosynthesis.
- Support for different colors (wavelengths), i.e. 430nm, 680nm possible.
- Duty-cycle (up to 50%) ratio per color (wavelength) can be set.
- Energy conserved by color intensity control.
- Built-in EEPROM flash memory for storing status and error log information.
- Can be used 24hr/day or in combination with solar light.

Networking

- Multiple LED controller installation is possible and can be managed over Ethernet network (and WAN/Internet).
- Built-in web server for remote monitoring, configuration and diagnostics.
- TCP/IP Ethernet network connectivity provides scalability, flexibility and makes operation simple.
- Supports: TCP/IP, UDP, DNS, ICMP, ARP, DHCP, HTTP and Telnet protocols.

Specifications and standards

- Wide supply voltage range: 12VDC – 46.5VDC (50A max.)
- Up to 20A output current pulses per channel (duty cycle dependent).
- Frequency of pulses up to 100kHz.
- Duty cycle up to 50%.
- Operating ambient temperature: 0 – 55°C.
- Ambient storage temperature: -20 – 75°C
- Dimensions: 178mm x 50mm x 75mm.
- Weight 400g.
- 2002/95/EC, 2004/108/EC, EN61010-1, IEC 60707, CE.

Data Sheet

"I think realistically it will be algae that will be the jet fuel of the future"

Richard Branson
CEO
Virgin Group

LED-IT-Grow™ is a registered trademark of Vistvæn Orka ehf.
Vistvæn Orka ehf reserves the right to amend this data sheet without any notice
Vistvæn Orka ehf, P.O. Box 12028, 112 Reykjavik, Iceland. Tel: +354-553-6752, email: vorka@simnet.is

