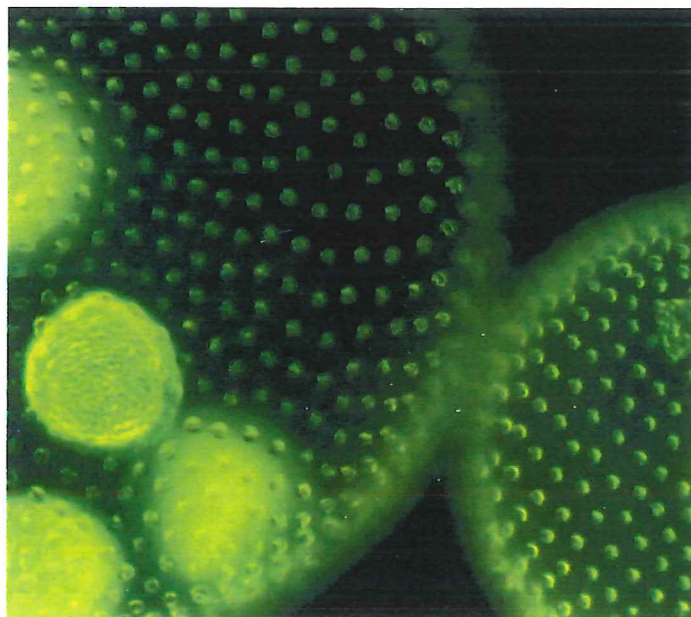


Ljósraektunarkerfi fyrir framleiðslu lífmassa úr
smápörungum með aðstoð ljósdíóðulýsingar

Lokaskýrsla
(08. febrúar 2010)
Nr. 56-2009



Ljósæktunarkerfi fyrir framleiðslu lífmassa úr smáþörungum með aðstoð ljósdíóðulýsingar

Lokaskýrsla
(08. febrúar 2010)

1. Ágrip

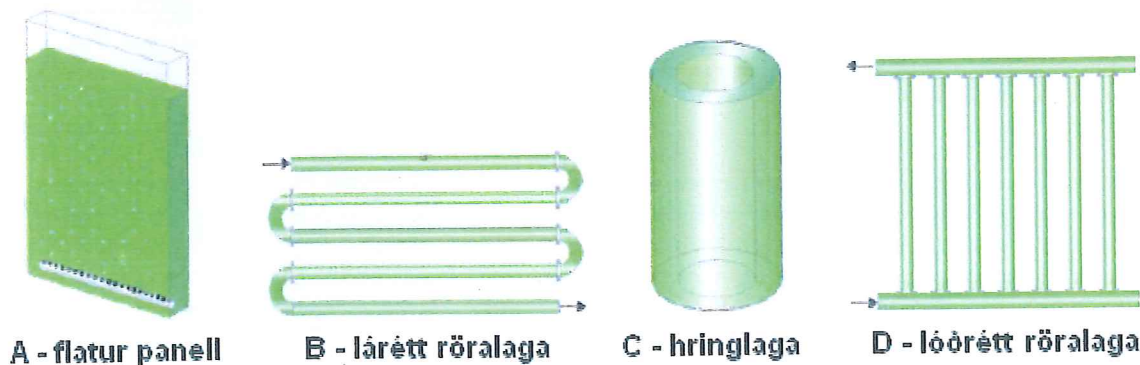
Verkefnið ljósæktunarkerfi fyrir framleiðslu lífmassa úr smáþörungum með aðstoð ljósdíóðulýsingar snýst um að hanna og smíða frumgerð ljósæktunarkerfis sem nýtir hagkvæma ljósdíóðulýsingu fyrir æktun smáþörunga í miklum þéttleika til framleiðslu á lífmassa í miklu magni. Markmiðið er að ljósæktunarkerfið verði hagkvæmt í rekstri og auðvelt að skala það upp í stórar framleiðslueiningar allt eftir þörfum. Ljósæktunarkerfið verður hægt að nýta við bindingu koldíoxíðs (CO_2) og framleiðslu á verðmætum afurðum úr smáþörungum.

Í þessari lokaskýrslu verður gerð grein fyrir verkefninu og niðurstöðum þess.

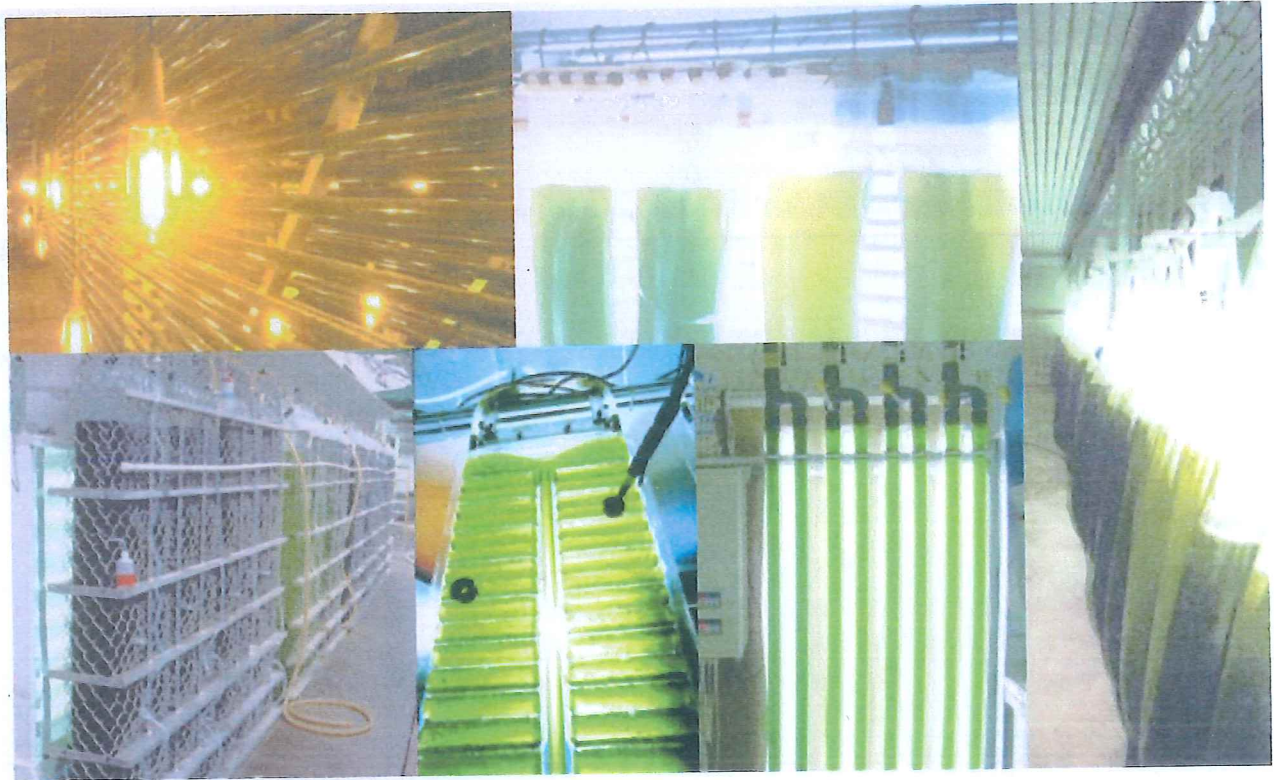
2. Markmið

Algengastu kerfin sem notuð eru við æktun smáþörunga í dag eru tjarnir, stórar sem smáar. Slíkar tjarnir nýta sólarljós og eru því staðsettar þar sem sólríkt er og ekki vindasamt. Það gefur auga leið að slíkar aðstæður eru ekki fyrir hendi hér á landi og því er ekki raunhæft að nota tjarnir við æktun smáþörunga á Íslandi. Á norðlægari slóðum og í tilraunastofum er venjan að nota ljósæktunarkerfi (photobioreactor) við æktun smáþörunga sem gefur líka betri raun, þ.e. meiri uppskeru en fæst með æktun smáþörunga í tjörnum [1, 2].

Á mynd 1 má sjá nokkur algeng ljósæktunarkerfi sem hægt er að nota við æktun á ýmsum gerðum smáþörunga. Fjölmargar aðrar útfærslur ljósæktunarkerfa eru til sem nýta bæði sólarljós og gervilyýsingu til að ná sem mestri ljóstíllífun og hröðum vexti smáþörunga. Algengast er að slík gervilyýsing sé fengin með flúrperum eða háþrýstum natríumlömpum (HPS-lömpum). Ókosturinn við gerfilyýsingu með slíkum ljósgjöfum er mikil orkuþörf þeirra, ljósnýtni er lítil, hitamyndun er mikil og skalanleiki er lítill. Sjá má nokkrar útfærslur af slíkum ljósæktunarkerfum á mynd 2. Glögggt má sjá hversu ljósnýtnin og skalanleikinn er lítill í þessum útfærslum ljósæktunarkerfa.



Mynd 1



Mynd 2

Til er annarskonar ljósgjafi sem yfirstígur þessi vandamál, þ.e. ljósdíóður. Ljósdíóður hafa mjög lága orkuþörf, geisla ekki frá sér hita eins og hefðbundnar perur og er auðvelt að skala í stóra klasa. Þá eru ljósdíóður búnar þeim eiginleikum að hægt er að kveikja og slökkva á þeim mjög hratt með straumpólsum sem nema hundruðum kíloríða [3]. Slíkur eiginleiki er ekki mögulegur með hefðbundnum ljósgjöfum en er eiginleiki sem er mjög mikilvægur þegar kemur að ræktun smápörunga. Rannsóknir hafa sýnt að auka má ljósdrægni í eldisvökva smápörunga með púlsuðu ljósi frá ljósdíóðum. Jafnvel við mikið ljósmagn frá púlsuðu díóðuljósi verða smápörungar ekki fyrir ljósheftun eins og við mikið ljósmagn frá stöðugri lýsingu. Púlsað díóðuljós getur þannig stuðlað að auknum frumupétteleika smápörunga og aukið ljóstíllífunarnýtnina [4]. Með púlsuðu díóðuljósi er því hægt að ná til fleiri smápörunga í eldisvökvanum og auka þannig ljóstíllífunarnýtni, vöxt og uppskeru þeirra.

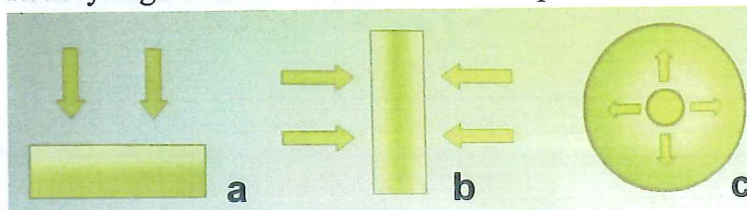
Markmið verkefnisins er að hanna og smíða frumgerð af skalanlegu ljósræktunarkerfi og gervilýsingu sem samanstendur af klasa ljósdíóða sem stjórnað er af straumstýribúnaði (VO2000) sem fyrirtækið hefur þróað. Straumstýribúnaðurinn hefur þann kost að geta stýrt miklu ljósmagni, “duty cycle” og tíðni ljóspúlsa frá ljósdíóðum sem er mikilvægur eiginleiki og jafnframt nauðsynlegur þáttur í því að geta hámarkað vöxt og uppskeru smápörunga.

3. Framvinda

Á grundvelli verkefnisins “þróun ljósbúnaðar fyrir ljós-lífviðtaka (photobioreactor)” sem styrkt var af Orkusjóði á síðasta ári var lögð inn umsókn til Einkaleyfastofu sem var síðan áframsend til rannsóknar á nýnæmi/einkaleyfishæfi hjá dönsku einkaleyfastofunni Patent- og Varemærkestyrelsen (PVS). Niðustaða rannsóknar PVS liggur nú fyrir þar sem stofnunin telur að uppfinningin sé

einkaleyfishæf og að einkaleyfi eigi að fást séu lagfæringar á tilteknum atriðum umsóknarinnar gerðar. Það er mat fyrirtækisins að lagfæringar á umsókninni séu smávægilegar og ætti einkaleyfi á grundvelli umsóknarinnar að vera auðsótt og er vinna við að lagfæra umsóknina langt komin.

Fyrirtækið hefur á undanförunum mánuðum kannað ýmsar mögulegar útfærslur á skalanlegu ljósræktunarkerfi sem byggir á gervilýsingu með ljósdíóðum. Mögulegar útfærslur á gerfilýsingu má sjá á mynd 3. Í útfærslu 3a er um að ræða lýsingu beint niður á flatan láréttan panel eða á lárétt rör. Í útfærslu 3b er um að ræða lýsingu beggja vegna við lóðréttan panel eða 360° lýsingu á lóðrétt rör. Í útfærslu 3c er um að ræða 360° innri lýsingu í miðju röri sem getur verið lóðrétt eða lárétt.



Mynd 3

Hefur fyrirtækið fundið leið til að tvinna saman hagkvæmt og skalanlegt ljósræktunarkerfi við klasa af ljósdíóðum sem stjórnað er af VO2000 straumstýribúnaðinum. Útfærslan sem varð fyrir valinu er hringlaga lóðrétt röralaga ljósræktunarkerfi (mynd 1c) með innri lýsingu eins og sést á mynd 3c. Eru vísbendingar um að slík útfærsla ein og sér geti mögulega aukið vöxt smápörunga um 100% [5]

Til að framleiðsla lífmassa úr smápörungum geti orðið sjálfbær er nauðsynlegt að ljósræktunarkerfið sem nota á til framleiðslunnar sé gert úr efni með eins lágt orkuinnihald og kostur er. Í þessu sambandi kannaði fyrirtækið nokkur gegnsæ efni sem algengt er að nota í rör ljósræktunarkerfa. Í þessari könnun urðu efnin gler, LDPE (Low Density Polyethylene Film) og plexigler (acrylic) fyrir valinu.

Orkuinnihald, líftími og efnispéttleiki fyrir efnin þrjú eru talin upp í töflu 1. Út frá þeim tölugildum sem koma þar fram er hægt að reikna raunverulegt líftímaviktað orkuinnihald efnanna, sem sést í dálknum lengst til hægri. [6]

Tafla 1. Eiginleikar efna sem mögulegt er að nýta í ljósræktunarkerfi og orkuinnihald þeirra.

Efni	Orku- innihald efnis (MJ.kg ⁻¹)	Líftími efnis (ár)	Efnis- péttleiki (kg.m ⁻³)	Æskileg veggþykkt (mm)	Orku- innihald á m ² (MJ.m ⁻²)	Líftímaviktað orkuinnihald (MJ.m ⁻² .ár ⁻¹)
Gler	25	20	2470	1.6	310	15.5
LDPE	78	3	920	0.18	40.5	13.5
Plexigler	131	20	1180	3.0	1456	72.8

Tafla 1 sýnir að plexiglerrör innifela hæsta orkuinnihald á flatarmál, meðan LDPE rör innifela það lægsta. M.t.t. væntanlegs líftíma efnanna má sjá að glerrör og LDPE rör deila með sér svipuðum líftímaviktuðu orkuinnihaldi, eða u.þ.b. 5 sinnum lægra en plexiglerrör. Sé tekið tillit til flutningskostnaðar og orkuþarfarar við flutning á slíkum rörum milli landa má sjá á veggþykktinni að LDPE er æskilegasta efnið í framleiðslu röra fyrir ljósræktunarkerfi. Það sem styður þetta enn fremur er að hægt er að fá flöt (lay-flat) LDPE rör frá framleiðendum sem þenjast út við notkun,

sem aukinheldur taka mun minna rúmmál í flutningi en glerrör. Efnið LDPE varð því fyrir valinu í frumgerð ljósræktunarkerfisins.

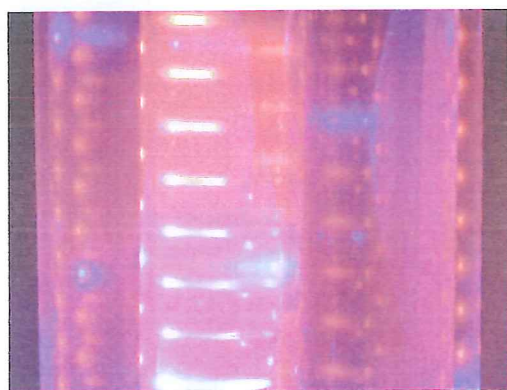
Fyrirtækið hefur lokið við þróun og prófanir á VO2000 straumstýribúnaðinum og framleitt nokkur eintök af búnaðinum til rannsókna. Þá hefur fyrirtækið einnig lokið við þróun og frumsmíði á vatnskældum LED ljósdíóðulömpum og spennigjöfum til rannsókna og prófana. Bæði VO2000 straumstýribúnaðurinn og spennugjafarnir hafa mjög háa nýtni eða yfir 90%.

4. Framkvæmd og niðurstöður

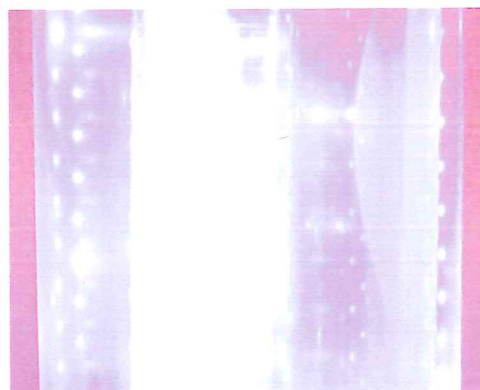
Kerfisuppsetning var með þeim hætti að lóðréttum LED ljósdíóðulampa var komið fyrir innan í lóðréttu ljósræktunarkerfi sem samanstóð af sex gegnsæjum vatnsfylltum slöngum (70mm í þvermál) úr LDPE efni sem mynduðu lokað sexhyrt rými fyrir ljósdíóðulampann, sjá myndir 4 og 5.

VO2000 straumstýribúnaður og tölva voru tengd saman yfir IP staðarnet með netskipti sem sá um úthlutun IP-talna eftir DHCP staðli. Tíðni ljóspúlsa og pulsvídd var ákvörðuð með því að stilla gildi í vefviðmóti tölvunnar, þ.e. 10.0kHz (100µs flash period) og “duty cycle” á 30% (30µs pulse width).

Rafstraumpúlzar fyrir LED ljósdíóðulampann voru ákvarðaðir með því að stilla gildi í vefviðmóti tölvunnar, þ.a. straumpúlzar per ljósdíóðu voru 100mA (mynd 4) og 2000mA (mynd 5) sem gaf ljósmagn $>5200 \mu\text{mol ljóseindir m}^{-2}\text{s}^{-1}$ sem var mælt með ljósmæli (LI-COR LI-250A). Þetta eru sambærilegar niðurstöður og fengust í verkefninu “þróun ljósbúnaðar fyrir ljós-lífviðtaka (photobioreactor)” sem styrkt var af Orkusjóði á síðasta ári.



Mynd 4



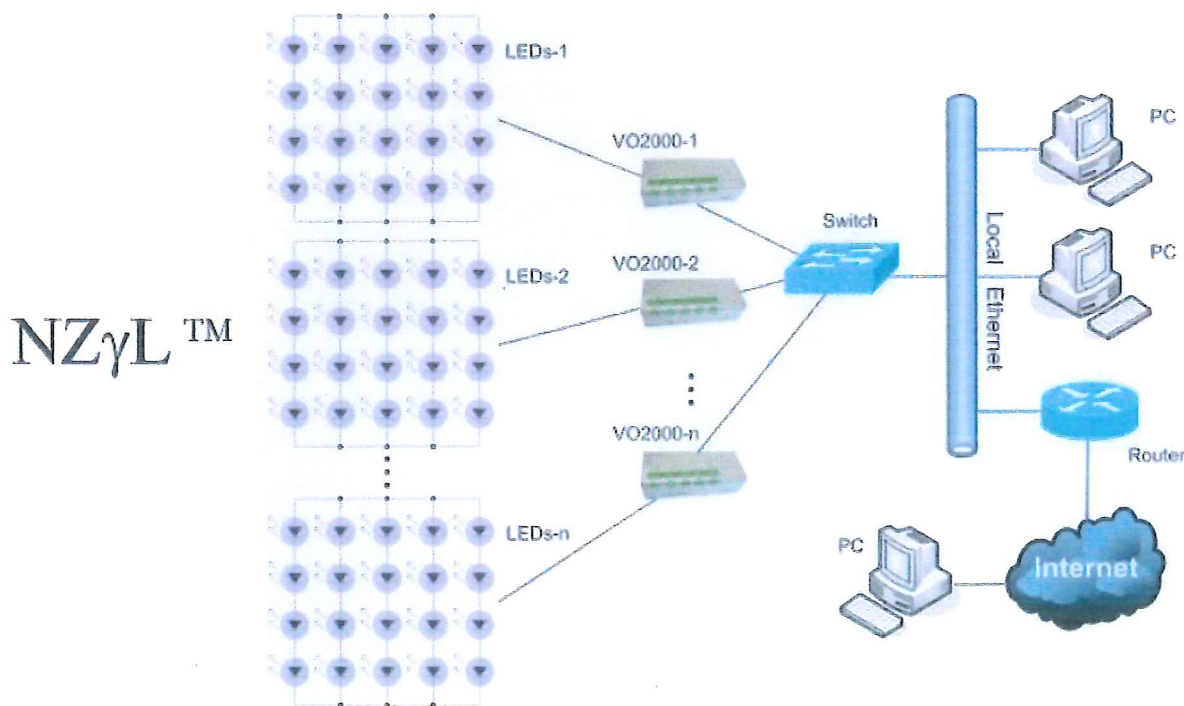
Mynd 5

Á mynd 5 má sjá að ljóstap er nær ekkert þar sem ljóseindirnar frá lampanum skella á innra yfirborði ljósræktunarkerfisins og smápörungar í eldisvatninu næst innra yfirborðinu í slöngunum geta nýtt sér ljósið í ljóstillífunarferli. Fyrirtækið kallar þessa nýju tækni NZyL eða “Near Zero γ -photon Loss” og er skráð sem vörumerki hjá Einkaleyfastofu.

Í þessari kerfisuppsetningu og prófunum var einungis notast við hreint og tært vatn í slöngunum án smápörunga, næringarefna eða koldíoxíðs (CO_2). Það var utan ramma þessa verkefnis að framkvæma ræktunartilraunir á smápörungum í ljósræktunarkerfi eins og þessu. Frekari þróun og prófanir á samsetningu, stærð og lögun LDPE slanganna er nauðsynleg áður en ræktunarprófanir

geta hafist, sérstaklega m.t.t. lengdar ljósgeisla (light path) innan í slöngunum sem er ráðandi þáttur í afkastagetu ljósræktunarkerfa.

Fyrirtækið telur raunhæft að með ljósræktunarkerfi eins og þessu ásamt fylgibúnaði sé mögulegt að auka afköst verulega í smápörungarækt, auk þess sem auðvelt verður að skala kerfið upp í stórar hagkvæmar framleiðslueiningar eins og meðfylgjandi mynd 6 sýnir.



Mynd 6

5. Heimildir

[1] Ugwu, C.U. et al. 2007. Photobioreactors for mass cultivation of algae. *Bioresource Technology*.

[2] Pulz O. 2001. Photobioreactors: production systems for phototropic microorganisms. *Appl Microbiol Biotechnol*.

[3] Gordon J.M. og Polle J.E.W. 2007. Ultrahigh bioproductivity from algae. *Appl Microbiol Biotechnol*.

[4] Park, K.H. og Lee, C.G. 2000. Optimization of Algal Photobioreactors Using Flashing Lights. *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 5, 186-190.

[5] Pulz, O. og Scheibenbogen, K. 1998. Photobioreactors: Design and Performance with respect to Light Energy Input. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, Vol. 59.

[6] Burgess G. Fernández-Velasco J.G. 2006. Materials, geometry, and net energy ratio of tubular photobioreactors for microalgal hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32 (2007) 1225-1234.