

Möguleikar í sjávarlíftækni á Íslandi

Febrúar
2002

Jóhann Örlygsson,
Rannsóknastofnun
fiskiðnaðarins
Akureyrarútibú

Unnið fyrir



Iðnaðar- og
viðskiptaráðuneytið



Atvinnuþróunarfélag
Eyjafjarðar bs.

Efnisyfirlit

1. Inngangur	2
2. Sjávarlíftækni - skilgreiningar	3
3. Hefðbundnar aukaafurðir úr sjávarfangi	3
4. Líftæknilegar aukaafurðir úr sjávarfangi	5
4.1. Grunnhráefni	6
4.2. Grófar afurðir	6
4.3. Fínefni	7
4.4. Notkun hágæða líftæknaafurða í hátækniönaði	9
5. Staðan á Íslandi í dag.	11
5.1. Framleiðsla astaxanthin með þörungum	11
5.2. Framleiðsla á ensínum, lyfjaefnum, snyrtivörum og bragðefnum úr sjávarfangi	11
5.3. Framleiðsla kítíns og kítosans úr rækjuskel	12
5.4. Hita- og kuldakærar örverur	12
5.5. Lýsi hf.	13
6. Notkun á sjávarlíftækni á öðrum sviðum	13
6.1. Lyf	14
6.2. Ensím	15
6.3. Lífvirk efni	16
6.4. Lífnemar - Biomonitors	16
6.5. Skordýra- og illgresiseyðar	17
6.6. Erfðabreyttar lífverur	18
6.7. Lífmassi til orkumyndunar	19
6.8. Lífhreinsun - Bioremediation	19
6.9. Lífefnavinnsla - Bioprocessing	20
6.10. Annað	21
7. Næstu skref	21
8. Lokaorð	23

1. Inngangur

Þessi skýrsla er skrifuð að frumkvæði iðnaðar- og viðskiptaráðuneytis, sem telur að sjávarlíftækni geti orðið einn af burðarásum atvinnuþróunarinnar á komandi árum. Atvinnuþróunarfélag Eyjafjarðar tók að sér að leiða vinnuna vegna áhuga þess á að byggja upp starfsemi á þessu sviði á Eyjafjarðarsvæðinu. Meginmarkmið verkefnisins var að draga saman þá þekkingu sem er til staðar og greina þau tækifæri sem liggja í líftæknilegri úrvinnslu aukaafurða úr sjávarfangi. Stofnað var til samráðshóps með hagsmunaaðilum til að verkefnið fengi réttan framgang og faglega breidd. Í samráðshópnum voru: Sveinn Þorgrímsson, iðnaðar- og viðskiptaráðuneytinu, Hólmar Svansson, Atvinnuþróunarfélagi Eyjafjarðar, Guðbrandur Sigurðsson og Arnheiður Eyþórsdóttir, Útgerðarfélagi Akureyrar, Hlynur Veigarsson, Samherja, Sigurjón Arason, Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins og Jóhann Örlygsson, Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins og Háskólanum á Akureyri.

Eftir lauslega greiningu ákvað samráðshópurinn að til að meta sóknarmöguleika í sjávarlíftækni væri best að deila verkinu upp í þrjá áfanga þar sem ákvörðun um nýjan áfanga byggðist á niðurstöðu þgess fyrri. Á grundvelli þessa var eftirfarandi áfangaskipting ákveðin: Fyrsti áfangi: Rannsóknargreining, þar sem gerð er úttekt á þeim rannsóknnum sem unnið er að um þessar mundir og meta hvar vænlegustu sóknarfæranna sé að leita. Annar áfangi: Mat á samkeppnisstöðu, þ.e. athugun á aðstæðum á Íslandi, m.a. hvort hér á landi séu einhverjar aðstæður sem gefa okkur samkeppnisforskot fram yfir aðra. Í þessu felst að meta þarf þekkingarstig og reynslu, hráefnisflæði og markaðsaðstæður svo eitthvað sé nefnt. Þriðji áfangi: Viðskiptaáætlun að því gefnu að niðurstöður fyrri áfanganna benda til að unnt sé að stofna og reka arðbært fyrirtæki um tiltekið verkefni.

Þessi skýrsla á fyrst og fremst að fullnægja fyrsta lið ofangreindra atriða, þ.e. taka saman þær rannsóknir sem verið er að gera á Íslandi í dag. Einnig verður gert stöðumat á þessu sviði á erlendri grundu og í framhaldi af því reynt að gera grein fyrir því hvar stærstu möguleikarnir eru.

Meginmarkmið þessarar skýrslu er tvíþætt. Í fyrsta lagi verður gerð greinargerð um hvað átt er við með afurðum sem vinna má úr aukahráefni úr sjávarfangi og gera greiningu á stöðu mála á Íslandi hvað þetta varðar. Athugað verður hvaða aðilar eru að vinna að þessum málum, bæði háskólar og opinberar stofnanir og síðan hvaða fyrirtæki eru að framleiða afurðir með sjávarlíftækniáferðum. Einnig verður gerð könnun á því hvaða möguleikar séu fyrir hendi á Íslandi hvað þetta varðar. Í öðru lagi verður gert grein fyrir því hvað er að gerast á alheimsvísu á þessu sviði. Hvaða afurðir eru menn að búa til í dag með hjálp sjávarlíftækninnar og hvernig er erfðatæknin notuð á þessu sviði?

Þar sem farið verður yfir mjög breitt svið verður aldrei hægt að komast yfir allt efnið sem verið er að vinna með í dag. Sérstaklega á þetta við um þá gríðarlega aukningu sem er að verða á rannsóknnum og á framleiðsluafurðum á hágæða líftæknivörum í heiminum. Því verður það yfirlit í þessari greinargerð aldrei fullgert heldur verður farið yfir þau svið sem til eru og tekin dæmi um hvert og eitt þeirra.

2. Sjávarlíftækni - skilgreiningar

Líftækni er skilgreind sem það fag þar sem frumur eða frumuhlutar eru notuð til þess að framkvæma efnahvörf til að framleiða efni sem við getum nýtt okkur. Eins og gefur að skilja þá er þessi skilgreining mjög víð. Líftækni á þó ekki við um hefðbundnar kynbætur nytjadýra eins og húsdýra eða laxfiska. Þar er verið að vinna með heilar lífverur. Hins vegar, ef t.d. laxfiskum er breytt erfðafræðilega með því að breyta genum á markvissan hátt til að auka vaxtarhraða, þá getur verið um líftækni að ræða. Dæmi um þetta eru tilraunir með skjaldkirtilhormón laxfiska, þar sem skjaldkirtilsgen er breytt með það að markmiði að fiskurinn vaxi hraðar. Ágætt dæmi um hefðbundna líftækni er framleiðsla insúlíns með hjálp baktería. Insúlín var fyrsta afurðin sem er framleidd í manningum og er nú framleidd af bakteríum. Núkleótíðröð insúlíngensins var raðgreind, genið framleitt með efnafræðilegum aðferðum og innlimað í bakteríuna *Escherichia coli* sem framleiðir afurðina. Insúlínið er síðan hreinsað frá bakteríunum og markaðsett.

Í líftækni eru notaðar aðferðir í erfðaverkfræði, sameindaerfðafræði, ónæmisfræði, frumulíffræði, gerjunartækni, auk ferla til þess að aðskilja og hreinsa efni.

Skilgreining á sjávarlíftækni er sú sama og á líftækni, nema að þá er átt við frumur eða frumuhluta sjávarlífvera en ekki landlífvera. Samkvæmt þessu eru t.d. ensím og bætiefni sem unnin eru úr fiskslógi líftæknilegar afurðir en hins vegar eru þurrkaðir fiskhausar og aðrar „hefðbundnar“ afurðir ekki líftæknilegar afurðir.

Sjávarlíftækni hefur fengið mikla athygli á síðustu 10-20 árum. Menn eru að átta sig á því að gífurlegir möguleikar eru fólgnir í efnum sem sjávarlífverur mynda og lífefnum sem eru í þessum lífverum. Mjög mikil aukning hefur verið í fjárframlögum til rannsókna á þessu sviði, sérstaklega í Japan og í Bandaríkjunum.

3. Hefðbundnar aukaafurðir úr sjávarfangi

Hefðbundnar aukaafurðir úr fiski samanstanda m.a. af roði, beinum, þunnildum, afskurði, hrygg, skeljum, lifur, hrognum, svilum, maga, þörmum, gallblöðru og sundmaga. Oftar en ekki er þessum efnum hent þegar verið er að vinna fisk á hefðbundinn máta. Stundum er einnig heilum fiskum hent þegar hann veiðist sem aukafiskur. Frá rækjuverksmiðjum kemur mikið af rækjuskel og slógi auk vatns sem myndast við þiðnun rækjublokka úr frystu hráefni.

Hingað til hefur aðallega verið litið á aukaafurðir úr sjávarfangi sem vandamál. Í besta falli var hægt að henda þeim frá borði eða, ef nauðsyn krefði, að koma með þær í land og selja ódýrt til fiskimjólsværksmiðja. Þá þótti gott ef þetta „aukaerfiði“ myndi dekkja kostnað og vinnu fyrir fyrirhöfnina. Í dag eru menn hins vegar að gera sér grein fyrir að aukaafurðir úr lífverum úr sjó geta verið hágæðavörur einar sér eða þá að það megi vinna hágæðavörur úr þeim. Nefna má hágæðaþrótein, mismunandi lýsistegundir, fitur, vítamín

og snefilefni. Einnig er greinilega margt ógert á þessu sviði hvað varðar rannsóknir til þess að finna ný efni eða til þess að auka verðmæti þeirra afurða sem þegar eru framleiddar.

Mikið af afurðum, sem unnar eru úr aukahráefni, eru notaðar í dýrafóður. Hér má fyrst og fremst nefna mjöliðnaðinn. Þó eru nú teikn á lofti um að hægt sé að vinna mun verðmætari afurðir úr margs konar aukaafurðum sem hægt væri að nota í matvæli fyrir manninn eða þá sem hráefni í lífefnafræðilega ferla til rannsókna.

Íslendingar hafa umgengist hafið sem ótakmarkaða auðlind. Aðaltakmarkið hefur oftar en ekki verið að veiða sem mest á sem minnstum tíma. Allir þekkja jú þá umræðu sem hefur verið í þjóðfélaginu varðandi brottkast smáfiska. Hins vegar hafa fáir kippt sér upp við brottkast aukahráefnis. Verðmæti aðalafurða hefur verið það mikið að menn hafa ekki kippt sér upp við að hirða eitthvað annað en þær.

Í þessari greinargerð verður lítið sem ekkert fjallað um hefðbundnar aukaafurðir úr sjávarfangi. Ástæðan fyrir því er einfaldlega sú að þessi þekking virðist nú þegar vera mjög mikil á Íslandi og mörg fyrirtæki nýta næstum allar þær aukaafurðir sem falla frá við vinnslu á aðalafurðum. Benda má á ráðstefnu sem haldin var í Noregi á vegum Stiftelsen Rubin s.l. haust, þar sem Íslendingar virtust standa mun framar en Norðmenn hvað þetta varðar.

<http://www.rubin.no>

Það sem hins vegar mætti betur fara á Íslandi virðist vera á sviði uppsjávarfiska, fitu og lýsis (sjávardýraolía) úr sjávarafurðum. Á þessu sviði virðist sem auka megi verðmæti aukaafurða verulega. Hlutfall bræðslufisks hérlandis er um 60 - 70% og einungis 5-10% af loðnuafnanum fer í manneldisvinnslu. Einnig hefur hluti síldar, sem fer í manneldisvinnslu, minnkað mjög á síðari árum. Bent hefur verið á ýmsa möguleika til þess að auka þetta hlutfall og má þar nefna þróun á vinnsluferli til þurrkunar á heilli loðnu og framleiðslu á fiskisósum, hágæða próteinum, kryddi og surimi. Við fiskimjölsvinnslu á uppsjávarfiskum fást tvær afurðir, þ.e. mjöl og lýsi, og eru þær fluttar út óunnar m.a. til framleiðslu á fiskifóðri. Hér virðast vera mjög miklir möguleikar á að auka verðmæti lýsis enda inniheldur það mikið af fjölmöttuðum fitusýrum. Miklar rannsóknir eru í gangi í dag þar sem lýsi er notað sem íblöndunarefni í heilsuvörur og lyf. Baldur Hjaltason, framkvæmdastjóri Lýsis hf. telur að auka megi verðmæti lýsisframleiðslu hér á landi um 7 milljarða króna á ári.

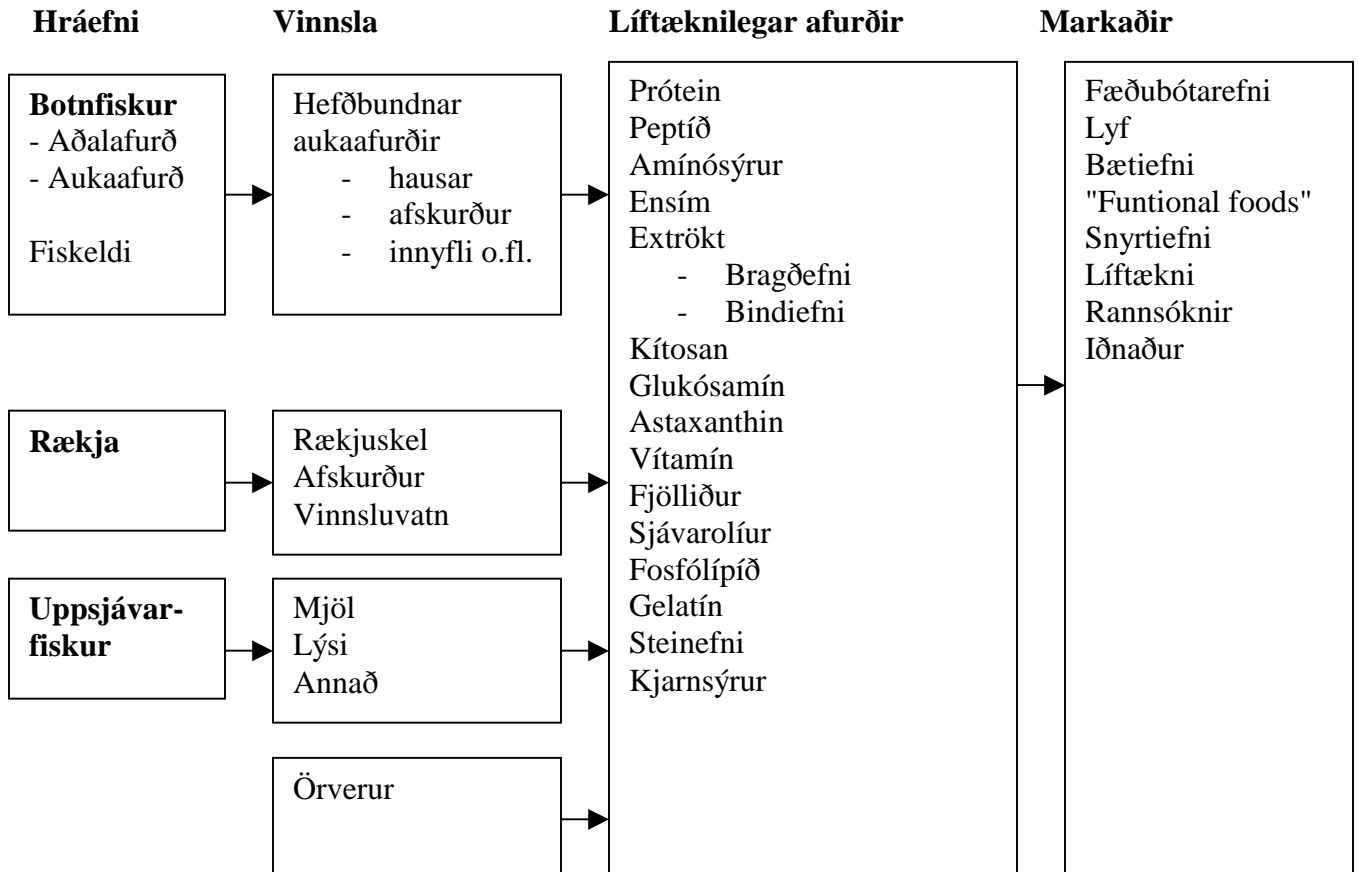
Nýlega (í september 2001) kom út skýrsla á vegum nefndar, skipaðar af sjávarútvegsráðherra, sem hafði það hlutverk að skoða framtíðarmöguleika fiskvinnslunnar ([http://www.stjr.is/interpro/sjavarutv/sjavarutv.nsf/Files/fiskvskyrsla/\\$file/fiskvskyrsla.pdf](http://www.stjr.is/interpro/sjavarutv/sjavarutv.nsf/Files/fiskvskyrsla/$file/fiskvskyrsla.pdf)). Í þessari skýrslu er rætt um flestar hefðbundnar aukaafurðir og því ekki nauðsynlegt að fjalla eins ytarlega um þær í þessum hluta skýrslunnar en ella. Einnig er fjallað um þetta ytarlega hjá Stiftelsen Rubin (<http://www.rubin.no>).

4. Líftæknilegar aukaafurðir úr sjávarfangi

Skipta má hráefninu, sem notað er til þess að búa til hágæða líftæknivörur úr sjávarfangi, í fjóra meginþætti eftir því hve mikið það er unnið. Í fyrsta flokkinn mætti setja þær aukaafurðir sem falla til við hefðbundna fiskvinnslu. Hér er um að ræða roð, bein, innyfli, hrogn, lifur, rækjuskel, vinnsluvatn o.s.frv. Oft eru þessi hráefni notuð beint í afurðavinnslu, t.d. þurrkaðir hausar, kavíar o.fl., en einnig er þessum afurðum oft hent. Hér er um að ræða hráefni sem hentar vel í framleiðslu á afurðum sem fara á þá markaði þar sem kaupgeta er ekki mikil. Þá er vandamálið söfnun á slíku hráefni í nægjanlegu miklu magni til þess að frekari vinnsla borgi sig fjárhagslega fyrir framleiðendur.

Annað skrefið er vinnsla á þessu aukahráefni í sjávarolíur, prótein, steinefni, kítosan og fleiri efni. Þessar afurðir eru oft mun verðmætari en áður nefndar afurðir. Frekari vinnsla á þessum vörum/hráefni gefa hins vegar af sér afurðir sem eru mun dýrari og sérhæfari. Þannig má t.d. framleiða (hreinsa) glúkósamín, bragðefni, bindiefni, lípíð, amínósýrur, gelatín, peptíð, ensím, vítamín og steinefni. Við vinnslu á þessum efnum þarf mikla tækniþekkingu, þróunarvinnu og mikið fjármagn. Fjórða og síðasta skrefið er síðan notkun þessara efna í margvíslegum hátækniðnaði eins og t.d. í lyfjaiðnaði, matvælavinnslu, rannsóknum, snyrtivöruíðnaði og sem bætiefni. Hér þarf einnig mikla tækniþekkingu, rannsóknar- og þróunarvinnu og fjármuni til þess að árangur náist.

Mynd 1 sýnir í grófum dráttum hvað þetta felur í sér.



Mynd 1. Flæði aukahráefnis í hágæða líftækniíðnaði. Einnig er sýnt hvernig örverur og vinnsla líftæknilegra afurða með hjálp þeirra passar inn í þetta skema.

Eins og sést á þessari mynd er langt skref að fara úr hefðbundnum aukaafurðum, eins og þurrkuðum þorskhausum, lýsi og mjöli, yfir í hágæðavörur sem eru notaðar í hátækniíðnaði, eins og markefni, líftækni og í lyfja- og snyrtivöruíðnaði.

4.1. Grunnhráefni.

Það hráefni, sem fellur til í dag og nota mætti til frekari líftæknivinnslu, er t.d. roð, bein, þunnildi, afskurður, hryggur, rækjuskel, lifur, hrogn, svil, magi, þarmar, gallblaðra og sundmagi. Oftar en ekki er þessum efnum hent þegar verið er að vinna fisk á hefðbundinn máta. Stundum er einnig heilum fiskum hent þegar hann veiðist sem aukafiskur. Frá rækjuverksmiðjum kemur mikið af rækjuskel og slógi auk vatns sem myndast við þiðnun frosinna rækjublokka (íðnaðarrækja).

4.2. Grófar afurðir

Í margs konar aukahráefni úr sjávarfangi er mikið af **próteinum**. Oftast eru þessi prótein bundin en þó er einnig mikið um prótein í vöðvavökva. Bundin prótein má leysa upp með hjálp ensíma og fá þannig peptíð sem eru stuttar amínósýrukeðjur. Margs konar peptíð má fá úr þeim próteinum sem um ræðir í fiskafurðum. Þessu má í rauninni stjórna með því að nota mismunandi prótein í upphafi og beita síðan mismunandi ensímum á þau. Auk þess skiptir miklu máli hve lengi ensímin eru látin verka, við hvaða sýrustig og hitastig efnahvörfin eiga sér stað o.fl.

Margvísleg **fituefni** eru unnin úr sjávarfangi í dag. Við hefðbundna lýsisvinnslu í fiskimjölverksmiðju fæst frekar hrá og verðlítill afurð miðað við þá framhaldsvinnslumöguleika sem koma til greina (nýrri aðferðir þar sem miklum hita er ekki beitt.) Grófar olíur úr uppsjávarfiskum eru mikið notaðar í dýra- og fiskifóður, í matvælaíðnaði eða til tæknilegra nota. Hráefnið sem er notað til þess að búa til fituefni getur bæði verið úr ferskum aukaafurðum og úr lifur fiska. Miklar rannsóknir eru á þessu sviði í dag og það skiptir miklu máli hve ferskt hráefnið er í upphafi, hvaða geymsluaðferðum er beitt og hvernig vinnsluferlið er sett upp (sýrustig, hitastig, aðskiljunartækni og fl.) Það síðastnefnda ræður miklu um hvernig til tekst.

Í sjávarfangi er einnig mikið af **steinefnum** sem má einangra og hreinsa. Sérstaklega hafa augu manna beinst að kalsíum úr sjávarfangi.

Rækjuskel inniheldur **kítín** sem er meginbyggingarhluti skelja í krabbadýrum og skordýrum. Til þess að ná kítíni úr rækjuskelinni þarf að hreinsa burt önnur efni úr henni eins og prótein, kalsíum og litarefni. Það sem eftir stendur er 95% hreint,

óvatnsleysanlegt kítín. Kítín er ekki glúkósafjölliða eins og beðmi (cellulósi) heldur fjölliða úr N-acetyl glúkósamín einingum.

Kítósan er afleiða af kítíni. Með því að afasetylera kítín fæst kítósan en þá eru amínóhóparnir orðnir berskjaldaðir fyrir jákvæðum hleðslum vatnsmólikúla við lágt sýrustig sem þýðir að það verður vatnsleysanlegt. Fjölliðan kítósan er því náttúruleg blanda af N-acetylglúkósamín og glúkósamín afleiðum. Hægt er að brjóta hana niður á náttúrulegan máta. Hinn frjálsi amínóhópur hefur marga eiginleika sem nota má til margvíslegra nota. Kítósan er í dag m.a. notað í iðnaði, landbúnaði og læknisvísindum.

4.3. Fínefni

Eins og áður segir má vinna **peptíð** úr próteinum. Virkni peptíða eru margvísleg. Nefna má að þau geta tekið upp járn úr meltingarvegi, þau eru aukaorka, örva virkni hvíttra blóðkorna, minnka blóðþrýsting og eru lystaukandi. Fyrirtækið Biotec ASA hefur framleitt peptíð sem notað er sem íblöndunarefni í grísafóður. Þetta peptíð örvar vöxt grísanna og eykur nýtingu fódursins auk þess sem það örvar ónæmiskerfi grísanna. Sum peptíðanna eru þekkt fyrir að verka gegn bakteríum, þ.e. eru bakteríuhamlandi.

<http://www.biotec.as/>

Verið er að rannsaka nýtanleika lífvirkra peptíða (bioactive peptides) sem fæðubótarefni fyrir manninn, í íþróttadrykki eða sem aukanæringu fyrir sjúklinga sem þurfa næringu í æð.

Ensím eru prótein með amínósýrur sem grunneiningar. Hlutverk ensíma í frumum er að framkvæma og hraða efnahvörfum. Talsvert er um ensím í fiskislógi sem hægt er að nýta í margvíslegum tilgangi. Í þörmum og maga fiska eru ensímin nauðsynleg fyrir þá til þess að brjóta niður fæðu. Biotec ASA framleiðir ensímin alkaline phosphatase úr rækjum, Uracil-DNA glycosylase úr þorski, lysozyme úr skeldýrum auk fjölmargra annarra ensíma úr þorski.

<http://www.biotec.as/>

Margvísleg ensím, sem eru notuð í iðnaði, matvælaframleiðslu, til rannsókna o.fl., eru til á markaði í dag. Hægt er að framleiða ensím úr fiskúrgangi með því að hreinsa hann. Einnig framleiða allar örverur ensím sem sum hver eru verðmæt. Á síðari árum hefur mikill áhugi verið á hitakærum ensímum, þ.e. ensímum sem bakteríur, sem vaxa við hitastig hærra en 55°C, framleiða. Þannig hafa menn fengið hitaþolin ensím til margvíslegra nota.

Rannsóknir á sjávarlífverum hafa leitt í ljós að gríðarlegir möguleikar eru í vinnslu ensíma úr lífverunum sjálfum og úr aukaafurðum sjávarfangs. Hér er oft um að ræða ensím sem eru með nýja möguleika og notkunargildi miðað við ensím sem eru unnin úr landlífverum. Þessi ensím eru virkari við lágt hitastig (kuldakær/kuldaþolin) og hægt er að nota þau við hitastig allt að 4°C. Annar kostur er að þessi ensím missa virkni sína við

tíltölulega lágt hitastig (herbergishiti). Einnig eru ensím frá sjávarlífverum af köldum hafsvæðum oft með aðra eiginleika hvað varðar sýrustigsvirkni og þolni og einnig hvað varðar bindigetu við hvarfefni og kröfur á kófaktoramiðað við hefðbundin dýraensím.

Notkunarsvið þessara ensíma er mjög breitt. Nefna má að fyrirtækið Biotec ASA í Noregi hefur framleitt fjölmörg ensím sem nota má í sameindafræðilegum rannsóknum, í matvælavinnslu og til lækninga (pharmaceutical). Nefna má alkaline phosphatasa úr rækjum sem er notað til erfðafræðilegra rannsókna, uracil-DNA glycosylasa úr þorski, einnig notað til erfðafræðilegra rannsókna og pepsin ensím úr þorski til þess að framleiða lífvirk peptíð og til framleiðslu á bindiefnum og á kavíar. Einnig hefur fyrirtækið hafið framleiðslu á lysozyme úr hörpuðisk (artic scallop) sem er notað til lyfjagerðar.

Úr próteinum má einnig vinna grunneiningar þeirra þ.e. **amínósýrur**. Glútamín amínósýran er ekki ein þeirra amínósýra sem er lífsnauðsynleg en hún skiptir engu að síður miklu máli í orkubúskap líkamans. Við stress eða þegar líkaminn þarf á mikilli orku að halda þurfum við mikið af þessari amínósýru. Glútamín er tekið upp mjög hratt í líkamanum og er því mjög gott sem aukaorka við áðurnefndar aðstæður. Miklar rannsóknir eru nú í gangi með þessa amínósýru, bæði í orkudrykki og fyrir sjúklinga. Aukaafurðir í fiski innihalda mjög mikið af amínósýrunni og eru því tilvaldar sem hráefni til vinnslu á henni.

Mikið af vatnsleysanlegum próteinum skolast burt með vinnsluvatninu við vinnslu á fiski. Auk próteinanna er einnig mikið af **snefilefnum** og **vítamínum**. Þessum efnum má safna upp með því að fella út efnin eða þurrka þau. Síðan er hægt að nota þau sem íblöndunarefni í matvæli. Nefna má sem dæmi að NOVO hefur þróað aðferð þar sem þessum efnum er blandað í fiskflök sem gefa þeim ákveðið bragð og ákveðna áferð auk aukinna vatnsbindihæfileika.

Gelatín er hlaupkennt, lyktarlaust og bragðlaust prótein sem verður til við hitun kollagenþráða m.a. úr sinum og beinum spendýra í vatni. Eins og önnur prótein, samanstendur gelatín af amínósýrum. Út frá næringarfræðilegu sjónarmiði er gelatín ekki hágæðaprótein eins og önnur dýraprótein, vegna þess að í það vantar lífsnauðsynlegu amínósýruna tryptófan.

Gelatín úr fiski hefur nokkuð aðra eiginleika en gelatín úr dýrum. Gelhæfileikarnir eru minni og það er lausara í sér. Því er notkunarsvið fiskgelatíns mun þrengra en gelatíns sem unnið er úr dýrum. Hins vegar hefur „kúariðufárið“ aukið umræðuna um fiskgelatín til muna. Einnig nota múslimar og gyðingar fiskgelatín í stað dýragelatíns. Benda má á að í Noregi koma á land um það bil 10-12.000 tonn af fiskroði sem myndu gefa u.þ.b. 1800 tonn af gelatíni. Í dag er kílóverð fyrir fiskgelatín um 600 kr.

Úr kítósan má vinna afleiðuna **glúkósamín**. Ef allir N-asetyl hóparnir (sjá áður um kítósan) sem eru til staðar í kítíni eru fjarlægðir fæst hreint glúkósamín. Þetta efni er vel þekkt í efnaskiptum í frumum okkar og annarra hryggdýra. Meðal annars er mikið af efninu í stoðvef, augum, slímhúð og við beinenda. Enda er efnið eitt best þekkt efnið í

dag á markaðinum sem er notað gegn bólgum. Einnig er m.a. hægt að nota glúkósamín (og kítósan) í megrunarlyf, snyrtiefni, rannsóknir o.fl.

Astaxanthin er notað í margvíslegar vörur í líftækniðnaðinum í dag og virðist sem að mikil eftirspurn verði á efninu í nánustu framtíð. Efnið er notað í fiskafóður og sem fæðubótarefni en miklar rannsóknir á virkni efnisins virðast benda til þess að notkunarvið þess sé mun breiðara og það megi nota í snyrti- og heilsuvöruframleiðslu og í lyfjaiðnaði. Astaxanthin er eitt sterkasta andoxunarefni sem þekkist og virðist vera mjög lofandi gegn margs konar sjúkdómum.

Nær allt astaxanthin sem notað er í dag er framleitt með efnafræðilegum aðferðum. Hins vegar er náttúrulegt astaxanthin ekki með nákvæmlega sömu efnaformúlu og það sem er efnafræðilega framleitt (cantaxantin). Náttúrulegt astaxanthin finnst m.a. í mörgum fuglategundum, jurtum og þörungum þar sem magn þess virðist vera einna mest. Meðal annars hefur fyrirtækið BioProcess hf. byrjað á rannsóknnum með rauðþörunginn *Haematococcus pluvialis* til framleiðslu á efninu (sjá 5.1.) Litarefnið er það sem litar laxfiska og rækju rauða og er því oft notað í fiskafóður til þess að fá rauðari afurð.

Tiltölulega stutt er síðan sýnt var fram á að hin **fjölómettaða fitusýra** docosahexaenoic sýra (**DHA**) í fiskmeti sé til margra hluta heilsubót. Hún er talin hafa mikilvægu hlutverki að gegna í uppbyggingu heila og miðtaugakerfis en auk þess finnst hún í miklu magni í augum og sæði. Brjóstamjólk og fiskifita inniheldur mikið magn af fjölómettuðu fitusýrunni DHA og þorskalýsi er ríkt af henni. Önnur fitusýra í lýsi er eicosapentaenoic sýra (**EPA**) en hún er talin veita vörn gegn kransæðasjúkdómum með því að draga úr hættunni á blóðstorknun og blóðtappamyndun. Einnig veitir hún vernd gegn æðakölkun. Allir þessir eiginleikar þessara fitusýra gera þær að heilsufæði (bætiefni og markfæði) og eru þær því vinsælar sem slíkar einar og sér eða sem íblöndunarefni í matvæli. Þetta á einnig við um fosfólípiða sem öfugt við aðrar sjávarolíur má blanda saman við þurrari matvæli. Fosfólípið má framleiða úr hrognum og svilum.

Einnig er hægt að nota olíur sem íblöndunarefni í margvíslegar gúmmívörur (bíldekk), ilmvötn, skinn og margt fleira. Hráefnið sem er notað til vinnslu á sjávarolíum getur verið ferskar aukaafurðir við fiskvinnslu, hrein lifur eða melta (ensilage).

Í þessum flokki efna má að lokum nefna útdregin efni (extrókt) sem vinna má úr fiskúrgangi. Úr þessum extróktum má vinna **bragðefni**, **litarefni** og **bindiefni** sem nota má m.a. í matvælaiðnaðinum.

4.4. Notkun hágæða líftæknaafurða í hátækniðnaði

Möguleikarnir á notkun þeirra efna sem nefnd hafa verið hér að ofan eru mjög víðtæk. Í dag eru þessi efni notuð í matvælaiðnaði, fóðuriðnaði, lyfjaiðnaði, í markfæði (functional foods) og snyrtivörur, í rannsóknnum, líftækni og sem bætiefni.

Í matvælaíðnaði eru til hefðbundnar afurðir eins og kaviár sem er búinn til úr þorskhrögnum. Margar afurðir eru einnig notaðar sem íblöndunarefni í matvæli. Nefna má kítósan sem notað hefur verið sem náttúruleg rotvörn í matvælum auk þess sem það er andoxunarefni. Gelatín úr fiski hefur verið notað í matvælum auk þess sem notkun á fjölómettuðum fitusýrum og bragðefnum er vel þekkt í matvælaíðnaðinum.

Í fóduríðnaðinum koma margar sjávarlíftækni afurðir til með að hafa mikið notkunargildi. Framleiðsla á fódri, hvort sem um er að ræða húsdýrafóður, eldisfóður eða fódur til gæludýra, hefur þá tilhneigingu að fódrið verður sérhæfðara. Með því að blanda ákveðnum efnum eins og steinefnum, ónæmisbætandi efnum (peptíðum) eða orkuríkum efnum í fódur má auka verðmæti þess umtalsvert. Sérstaklega virðist sem að möguleikar á að auka notkun efna sem koma úr aukaafurðum úr sjávarútvegi séu stórir í gæludýrafóðri.

Markfæði (functional food) er matvæli sem inniheldur efni sem auka heilsusamleg áhrif við neyslu þeirra. Þau bæta einnig markeiginleika þeirra. Gríðarleg aukning hefur verið í framleiðslu á markfæði á undanförunum árum. Sem dæmi um líftæknilegar afurðir úr sjávarfangi sem notaðar hafa verið í markfæði má nefna kalsíum, kítósan, fjölómettaðar fitusýrur, ensím, amínósýrur og peptíð.

Fæðubótarefni (food supplements) eru efni sem hafa skotið upp kollinum á síðari árum. Oftast er um að ræða efni sem svipar að mörgu leyti til markfæðunnar og oft eru sömu efnin notuð. Fæðubótarefnin eru þó yfirleitt tekin í einhvers konar töfluformi og eru vinsæl hjá íþróttafólki og fólki sem vill byggja upp og styrkja líkama sinn. Glúkósamín er vinsælt í fæðubótarefnum. Þó svo að þessi efni líkist að mörgu leyti markfæði þá er einn stór munur á þessu tvennu. Miklu strangari reglur hafa verið settar um leyfi fyrir markfæði miðað við fæðubótarefni. Þetta skiptir miklu máli hvað varðar markaðssetningu á slíkum vörum.

Hágæða líftækni afurðir úr sjávarfangi eru mjög áhugaverðar fyrir lyfjaiðnaðinn í dag. Ástæður þessa eru margar en nefna má að aukin þörf er á náttúrulegum efnum til þess að skipta út lyfjum sem eru efnafræðilega búin til. Einnig er aukinn þrýstingur á að búa til ódýrari lyf en lyf sem innihalda efni úr sjávarfangi þykja mjög umhverfisvæn. Lyfjaiðnaðurinn vinnur einna helst með kítósan, peptíð, gelatín, ensím og fjölómettaðar fitusýrur í framleiðslu sinni, auk þess sem mikill áhugi er á erfðaefni úr sjávarfangi.

Fyrirtæki í þróun og framleiðslu á snyrtivörum hafa leitað mjög til líftæknilegra efna úr sjávarfangi á síðari árum. Sérstaklega á þetta við margs konar húð- og hársnyrtivörur. Hrárefnin, sem þessi iðnaður notar, eru margvísleg t.d. kítósan, ensím, peptíð, fosfólípið og fjölómettaðar fitusýrur.

5. Staðan á Íslandi í dag.

Á síðari árum hafa verið stofnuð nokkur íslensk fyrirtæki sem sérhæfa sig í framleiðslu á hágæða vörum úr sjávarfangi eða sem nota líftæknilegar aðferðir við framleiðslu sína. Hér á eftir verður lauslega gerð grein fyrir þessum fyrirtækjum og þeim afurðum sem þau framleiða. Til viðmiðunar má í lok kaflans finna lista yfir norsk fyrirtæki (fylgiskjal) sem eru að vinna með svipaðar afurðir.

5.1. Framleiðsla astaxanthin með þörungum

Fyrirtækið Bio-Process hf. setti á laggirnar tilraunaverksmiðju í Höfnum í Reykjanesbæ í september 2001 með það að markmiði að framleiða astaxanthin úr smápörungum. Áætlað er að framleiðsla á astaxanthin geti hafist árið 2004. Fyrirtækið var stofnað árið 1996 í Danmörku en opnaði rannsóknarstofu hér á landi árið 1999. Sú tækni sem fyrirtækið ætlar að nota byggist á notkun rafmagns (rafljóss) og er framleiðslan mjög orkufrek. Danska fyrirtækið Novi A/S er stærsti hluthafinn í Bio-Process hf. en aðrir hluthafar eru m.a. Keflavíkurverktakar, Nýsköpunarsjóður, Kaupþing hf. og Bank of Scotland Trust Company Ltd.

Astaxanthin er eins og áður hefur komið fram notað í fiskifóður og sem fæðurbótarefni. Hægt er að framleiða astaxanthin bæði efnafræðilega og náttúrulega en þessi efni eru þó ekki nákvæmlega eins byggingarlega séð. Bio-Process ætlar að nota grænþörunginn *Haematococcus pluvialis* til framleiðslu efnisins.
<http://www.bioprocess.is/>

5.2 Framleiðsla á ensímum, lyfjaefnum, snyrtivörum og bragðefnum úr sjávarfangi

Hér á landi má segja að rannsóknir á ensímum úr þorski, eðli þeirra og eiginleikum hafi byrjað á áttunda áratugnum á Raunvísindastofnun Háskóla Íslands undir stjórn Dr. Jóns Braga Bjarnasonar. Öflug rannsóknarvinna í tvo áratugi, sem margir rannsakendur, opinberar stofnanir og rannsóknasjóðir hafa komið að, hefur nú getið af sér þrjú fyrirtæki á þessu sviði. Kríótín ensímblanda úr þorskslógi er afurð sem varð afsprengi þessara rannsókna en um er að ræða próteasa sem hægt er að nota í fiskvinnslu og matvælaíðnaði.

Árið 1996 var fyrirtækið Norður ehf. stofnað sem eignarhaldsfélag og þróunarfyrirtæki um þá tækni sem laut að notkun Kríótín ensímblöndunnar í matvælaíðnaði. Fyrirtækið vann á þessum tíma einnig að stóru rannsóknar- og þróunarverkefni á vettvangi ensímvinnslu til lyfjagerðar fyrir lyfja- og líftæknifyrirtækið Phairson Medical Ltd. í London. Uppfinning og einkaleyfi Jóns Braga á notkun Pensím ensíma úr þorskslógi til notkunar til lyfjagerðar og snyrtivöruframleiðslu leiddi til þess að fyrirtækinu var skipt í tvö fyrirtæki árið 1999. Norður ehf. varð að eignarhaldsfélagi og þróunarfyrirtæki um notkun Kríótíns í matvælaíðnaði og Ensímtækni ehf. var stofnað til þess að stunda

rannsóknir og þróun á notkun ensíma til lyfjagerðar og í snyrtivörur. Ensímtækni ehf. framleiðir nú m.a. PENZIM húðáburð sem inniheldur djúpvirk, hreinsuð ensím og er notaður sem húðáburður fyrir einstaklinga með ýmis húð- og liðvandamála, bólgur og vöðvaverki. Sala á PENZIM húðáburðinum til útlanda er hafin og samningar um rannsóknar- og þróunarsamstarf við erlend lyfjafyrirtæki um notkun Pensím ensímanna til lyfjagerðar eru á lokastigi.

Norðurís hf. var síðan stofnað í október 1999 af Norðri ehf., fyrirtæki í eigu vísindamanna og sérfræðinga, sem á undanförunum árum hefur unnið að rannsóknum á kuldavirkum ensímum og hvernig hægt er að nýta ensímin í iðnaði. Auk Norðurs ehf komu NSA, EFA og fleiri aðilar að stofnun Norðuríss hf. Starfsemi fyrirtækisins er á Höfn í Hornafirði en skrifstofa fyrirtækisins er í Reykjavík. Meðal líftæknilegra afurða sem fyrirtækið framleiðir eru bragðefni sem framleidd eru úr sjávarfangi með hjálp kuldavirkra ensíma. Norður ehf. er nú þátttakandi í stóru ES Craft verkefni, sem fjallar um notkun Kríótíns í ostagerð, smokkfiskvinnslu og leðuriðnaði.

www.northice.com

<http://www.penzim.is/>

5.3. Framleiðsla kítíns og kítosans úr rækjuskel

Genís ehf. er líftæknifyrirtæki sem framleiðir nokkrar sjávarlíftækniáfurðir. Nú á haustmánuðum keypti Genís þrotabú norska fyrirtækisins Primex sem starfaði á svipuðu sviði og Genís, þ.e. vinnslu á kítin- og kítosanefnum úr rækjuskel. Þessi efni eru m.a. notuð í lyfja- og snyrtivöruíðnaði. Markmiðið með kaupunum var fyrst og fremst að fá verðmæt markaðssambönd, vöruþróun og þekkt vörumerki. Velta hins sameinaða fyrirtækis mun verða rúmlega hálfur milljarður króna og er fyrirtækið líklega orðið einn stærsti framleiðandi kítín- og kítosanefna á vesturlöndum. Auk kítínafurða framleiðir Genís ensímmeðhöndluð fiskprótein úr ýmsum fiskúrgangi og selur þau sem bragðefni. Talsverð þróunarvinna á þessu sviði hefur farið fram hjá fyrirtækinu og er ársframléiðslan nú um 50 tonn af bragðefnaufu. Aðrar próteinafurðir sem byggja á vinnslu aukaafurða frá fiskiðnaði eru í þróun hjá þróunardeild fyrirtækisins. Öll framleiðsla fyrirtækisins fer fram á Siglufirði, þróunarstarfið fer fram í Reykjavík en markaðsstarf fer nú fram í Noregi.

<http://www.genis.is/>

5.4. Hita- og kuldakærar örverur

Prokaria ehf. var stofnað árið 2000. Þetta fyrirtæki sérhæfir sig fyrst og fremst í rannsóknum á hita- og kuldakærum örverum. Upphaf þessara rannsókna má rekja til rannsókna Dr. Jakobs K. Kristjánssonar, forstjóra fyrirtækisins, en hann starfaði áður sem dósent við líffræðiskor HÍ og sem forstöðumaður líftæknideildar Iðntæknistofnunar, og Dr. Guðna Alfredssonar, prófessors við líffræðiskor HÍ, sem hefur einbeitt sér að rannsóknum á kuldakærum bakteríum.

Hjá þessu fyrirtæki eru nú stundaðar rannsóknir sem falla undir sjávarlíftækni, bæði með hitakærar örverur, sem hafa verið einangraðar úr neðansjávarhverum, og kuldakærar örverur, einöngruðum úr sjávarlífverum og úr sjó. Megináhersla rannsókna er að finna áhugaverð gen sem gætu leitt til framleiðslu á verðmætum, sjávarlíftæknilegum afurðum í framtíðinni.

<http://www.prokaria.com/>

5.5. Lýsi hf.

Lýsi hf. var stofnað árið 1938. Meðal framleiðsluafurða fyrirtækisins má nefna þorska- og ufsalýsi, margvíslegar lýsisperlur, m.a. omega-3 fitusýrur, hákarlalýsisperlur og lúðulýsisperlur, auk vítamína og steinefna.

<http://www.lysi.is/>

6. Notkun á sjávarlíftækni á öðrum sviðum

Aukin þekking okkar á erfðafræði sjávarlífvera mun gefa okkur mikilvægar upplýsingar um flokkun þeirra, þróun, sjúkdóma, samlífi, vistfræðilega aðlögun og lífeðlisfræði. Þessar upplýsingar munu síðan auka skilning okkar og gera okkur hæfari til þess að stjórna flóknum vistkerfum. Einnig mun aukin þekking okkar á einfaldari lífverum eins og bakteríum, þörungum og hryggleysingjum auka skilning okkar á starfsemi flóknari dýra eins og spendýra.

Innlimun utanaðkomandi erfðaefnis í lífverur, sem leiðir til ófrjórna fjöllitna kynblendinga, hefur tekist í nokkrum tilfellum hjá sjávarlífverum. Í nokkrum tilfellum hafa tilraunir gefist það vel að hægt var að nota afbrigðin strax í fiskeldi. Einnig má nota slíkar tilraunir til þess að stjórna og auka magn villtra stofna. Sem dæmi má nefna að það má merkja villta stofna erfðafræðilega frá kynbættum stofnum. Genarannsóknir sýna að hjá sumum fisk- og skelfiskstofnum eru til nokkrir undirstofnar sem oft hafa mismunandi eiginleika til þess að aðlagast umhverfisáreiti. Þegar um slíkt er að ræða er alltaf möguleiki fyrir hendi að nota erfðaverkfræði til þess að auka lífslíkur og framleiðni hjá stofnum.

Nýlega hefur verið sýnt fram á að sjávarveirur sýkja margar svíflífverur og bakteríur og er talið að þær skipti verulegu máli hvað varðar heildarvistkerfi svífsins. Hugsanlega mætti nota þessar veirur til þess að koma utanaðkomandi erfðaefni í sjávarþörungum. Hingað til hefur verið mjög erfitt að flytja gen í sjávarþörungum sem er miður vegna hinna miklu tækifæra til framleiðslu á margvíslegum efnum sem þeir hafa yfir að ráða.

Í þessari skýrslu hefur hingað til nær eingöngu verið fjallað um notkun á sjávarlíftækni með tilliti til aukaefna úr sjávarfangi. Ástæða þess er sú að þessi grein sjávarlíftækninnar stendur okkur næst hvað varðar möguleika á hráefni til þess að vinna verðmætar hágæða líftækni afurðir. Hins vegar eru mörg önnur svið innan sjávarlíftækninnar sem eru í örri

framþróun. Miklar rannsóknir eru gerðar í læknisfræði, erfðafræði og margs konar iðnaðar á þessu sviði. Það ber að athuga að þrátt fyrir að hér að neðan séu mörg dæmi tekin um notkun á sjávarlíftækni á öðrum sviðum þá er og verður slíkur listi aldrei tæmandi. Dæmin hér að neðan eru tekin til þess að sýna fram á að mjög miklar rannsóknir fara fram á þessu sviði í dag en eru ekki ætluð að vera tæmandi fyrir allt sviðið.

6.1. Lyf

Mörg efni/lyf, mismunandi virk gegn mörgum sjúkdómum, hafa nú þegar verið einöngruð úr sjávarlífverum og rannsökuð. Það sem virðist aðallega há þessum rannsóknum er að það vantar staðlaðar aðferðir við að athuga virkni þessara efna. Einnig virðist það vera takmarkandi að erfitt er að framleiða efnið í miklu magni. Fleiri rannsóknir þarf til þess að kanna t.d. hvort þessi efni séu framleidd í náttúrunni á vissum árstíðum eða hvort þau séu framleidd á ákveðnu tímabili í lífsferli viðkomandi lífveru. Mörg þessara efna eru einnig mjög stór og það þarf flókna lífefnafræðilega vinnsluferla til þess að hreinsa þau. Einnig gerir þetta það af verkum að erfitt getur verið að klóna öll viðeigandi gen frá þessum lífverum.

6.1.1. Dæmi um rannsóknir á lyfjum

Nokkur efni sem koma við sögu í efnaskiptum sjávarlífvera hafa komið að notum til þess að vinna á *Plasmodium falciparum* sem er frumdýrið sem veldur malaríu. Þau efni sem um ræðir eru byggingarlega allt öðruvísi en þau efni sem notuð eru í dag. Einnig hafa sum efni komið að notum við að ráða niðurlögum krabbameinsfruma í spendýrum. Efni úr lindýrinu *Elysia rufescens* hefur verið einangrað og virðist geta ráðist á krabbamein í lungum og í meltingarfærum spendýra. Þetta efni, depsipeptide, finnst í mjög lágum styrk í lindýrinu og í þörungum (*Bryopsis*) sem það lifir á. Frekari vinnu á sviði erfðafræðinnar þarf til þess að framleiða efnið í nægjanlegu magni til þess að hægt verði að athuga virkni þess betur. Pseudopterosin er bólgueiðandi náttúruafurð sem er úr diterpene glycoside, unnið úr sjávarplöntum og hryggleysingjum og hefur náð mikilli sölu í dag sem snyrtiefni og lyf. Nokkur fyrirtæki hafa síðar farið í að einangra önnur efni úr sjávarlífverum sem hugsanlega geta verkað gegn margvíslegum krabbameinum s.s. Pharmagen, PharmaMar, Zelnova, Xylazel og Promax, öll með aðsetur á Spáni.

<http://www.zeltia.com/>

http://www.globaldialog.com/~jrjce/algae_page/bryopsis.htm

<http://www.mms.gov/eppd/biotech/compounds.htm>

Komið hefur í ljós að rauðþörungur framleiða mörg áhugaverð efni eins og t.d. efni sem minnka bólgueiðandi áhrifum ákveðinna mannahormóna, og efni sem eru eitruð gegn ákveðnum plöntum og dýrum (notkun í landbúnaði og eldi). Dæmi um efni í þessu sambandi eru taxol og prostaglandínið oxylipin sem hefur verið framleitt á tilraunaskala í frumuræktun í stað þess að nota heilar rauðþörungaplöntur. Þetta líkan gæti virkað í iðnaðarframleiðslu á þessu efni og öðrum efnum úr þörungum. Skilningur okkar á þeim

lífefnaferlum sem um ræðir við framleiðslu á þessum efnum hefur leitt af sér að um er að ræða nýja möguleika á lyfjaframleiðslu, lyf sem eru byggingarlega allt öðruvísi en þau lyf sem til eru í dag.

<http://pharmacy.orst.edu/research/proteau.htm>

<http://www.seagrantnews.org/news/>

Lyf sem mjög líklega er hægt að nota gegn hvítblæði er framleitt af mosadýrinu *Bugula neritina*. Uppi er tilgáta um það að baktería sem lifi samlífi með mosadýrinu sé í rauninni framleiðandinn af þessu efni til varnar sníkjudýrum gegn dýrinu. Tilraunir til þess að sanna þetta eru í gangi og reynt er að rækta bakteríuna upp í miklu magni til þess að fá nægjanlegt magn af lyfinu til þess að geta rannsakað þetta til hlítar.

<http://www.stanford.edu/dept/news/report/news/april12/oceanmeds-45.html>

<http://www.newswise.com/articles/2001/10/BRYOZOAN.UCD.html>

Manolide er lyf sem er framleitt af svampdýri. Þetta efni hefur gefið af sér meira en 300 afleiður sem verið er að vinna með í dag, flest sem bólgueyðandi lyf.

<http://64.37.92.122/ndigest/backissues/septoct00/pain.html>

6.2. Ensím

Mörg ensím sem eru unnin úr sjávarlífverum hafa ákveðna æskilega eiginleika. Þau eru flest mjög þolin gegn salti og hafa virkni við lágt hitastig. Utanfrumu próteasar hafa verið notaðir í þvottaefnum og kollagenasar í margs konar iðnaði. Haloperoxidasar eru framleiddir af nokkrum þörungum (notað í efnaiðnaði) og einnig superoxide dismutase sem er notað í gríðarlegu magni í heilbrigðisgeiranum, matvælaíðnaðinum og einnig í snyrtivörur. Ensím úr örverum sem lifa og vaxa við hitastig nálægt 100°C eru mjög vinsæl í rannsóknum og iðnaði. Nefna má DNA-polymerasa, ligasa og endonucleasa en það eru allt ensím sem eru mikið notuð í erfðarannsóknum.

6.2.1. Dæmi um ensím

Rannsóknir á bakteríum einöngruðum úr neðansjávarhverum hafa leitt í ljós að margar þeirra hafa sérhæf ensím sem nota má í margs konar iðnaði. Sem dæmi má nefna α -galactosidase sem klýfur (hydrolyses) melibiose oligomerur en þær eru m.a. meginuppistaðan í soja- og baunaplöntum. Notkun slíkra ensíma takmarkar því það magn af soja sem fer í dýrafóður en sum dýr eins og svín og kjúklingar geta ekki brotið þessi efni niður. Þetta ensím var einangrað úr bakteríunni *Thermotoga neapolitana*. Ensím hafa einnig verið einangruð úr fornbakteríum (Archaea.) Meðal ensíma sem menn hafa mikinn áhuga á eru DNA fjölliðunarensímið (DNA polymerase) en þetta ensím er mikið notað í rannsóknum í erfðaverkfræði og líftækni. Verið er að nota erfðafræðilegar aðferðir til þess að greina nýjar tegundir innan ættkvíslarinnar *Thermococcales*. Grunnrannsóknir á þessum bakteríum hvað varðar hita- og þrýstingsþol ensíma kemur til með að leiða til mikilla möguleika í þessum geira og aukinnar þekkingar á þolni próteina við mjög hátt hitastig.

<http://www.prokaria.is/>

<http://www.ifremer.fr/anglais/actual/presse/medias57.htm>
<http://www.wsg.washington.edu/research/newtech.html>

Áhugi manna hefur einnig beinst að kuldaþolnum einsímum úr bakteríum frá köldum hafsvæðum eins og áður hefur verið nefnt. Nokkur kuldaþolin ensím eru nú þegar notuð í iðnaði í dag.

<http://www.uni-greifswald.de/~imb/enzy.html>

<http://www.chem.uit.no/KJEMI/briefsummary.html>

6.3. Lífvirk efni

Nýlegar rannsóknir hafa sýnt fram á að sjávarlífverur hafa lífefnaferla sem geta gefið af sér ný lífefni. Dæmi um þetta eru líffræðilega niðurbriðanlegar fjölliður og steingerðar afleiður sem eru gríðarlega litlar (á nanometer skala.) Þessi efni má nota í lækisfræði, í rafeindafræði, sem kápu efni til varnar umhverfi o.fl. Nokkur efni geta einnig unnið gegn slím- eða froðumyndun sem er oft til vandræða í matvælaíðnaði. Í dag eru efnin, sem notuð eru til varnar þessu, oftast ekki óæskileg og jafnvel eitruð (t.d. kopar).

6.3.1. Dæmi um lífvirk efni

Notkun ljóstíllífandi baktería (Cyanobacteria) til vinnslu á náttúrulegum efnum hefur aukist á síðari árum. Sérstaklega hafa „secondary metabolites” í þessum bakteríum fengið mikla athygli og hvernig framleiðsla þeirra er stjórnað (erfðafræðilega). Þessar bakteríur eru því notaðar í dag sem mólélíkön fyrir það hvernig framleiða megi afurðir á iðnaðarskala. Oft er það takmarkandi hjá sjávarlífverum hve lítið er framleitt af líffræðilega virkum efnum. Því hefur sú leið stundum verið farin að framleiða efnin efnafræðilega til þess að kanna virkni þeirra í stærri skala. Þetta hefur t.d. verið gert við prostaglandin sem upphaflega voru einangruð úr sjávarlífverum og hafa við tilraunir virkað vel gegn leghálskrabbameini.

http://es.epa.gov/ncercqa_abstracts/grants/97/algae/paul.html

<http://www.micro.unsw.edu.au/brett.html>

6.4. Lífnemar - Biomonitoring

Hægt er að búa til líffræðilega virka nema og líffræðilega virk sjúkdómsgreiningarefni fyrir lækisvísindin og landbúnað með hjálp sjávarlífvera. Frægasti neminn er líklega lífefnaljóminn (bioluminescence) sem gefur frá sér ljós við ákveðin skilyrði. Einnig eru komnir á markaðinn „genapreifarar” (genetic markers) sem greina sjúkdómsvaldandi bakteríur.

6.4.1. Dæmi um lífnema

Fjölliðunarefnahvarfið (PCR) hefur verið notað til þess að greina sjúkdómvaldandi bakteríur í matvælum. Erfðaefni ákveðins hluta (núkleótíðraðar) sýkilsins er þá fjölfaldað og þ.a.l. er hægt að aðgreina það frá bakteríum sömu tegunda sem ekki eru sjúkdómvaldandi. Nú er hægt að greina *Salmonella*, *Vibrio vulnificus* og *V. parahemolyticus* í skelfiski með einu og sama prófinu. Einnig hafa verið þróaðar aðferðir til þess að skjótgreina bakteríur með hjálp mótetna. Þetta hefur nú verið gert fyrir margar sjúkdómvaldandi bakteríur, þar með taldar bakteríur sem eru í sjávarfangi. Einstofna mótetnaþróf eru einnig notuð til þess að greina á milli svipaðra fiskitegunda en þetta er stundum vandamál á mörkuðum þar sem reynt er að selja vöru sem stendur fyrir eitthvað annað en hún er. Þessi próf eru vel þekkt fyrir aðgreiningu á milli mismunandi vöðva í kjöti og er ELISA-tæknin notuð.

PCR tæknin hefur einnig verið notuð í grunnrannsóknir í sjávarlíffræði. Rannsakendur við „State University of New York at Buffalo” hafa t.d. notað þessa tækni til þess að greina á milli fimm tegunda af kóraldýrum en nær enginn útlitsmunur er á þessum lífverum.

<http://www.buffalo.edu/news/fast-execute.cgi/article-page.html>

Önnur tækni í heimi erfðafræðinnar kallast RT-PCR sem stendur fyrir „reverse transcriptase polymerase chain reaction.” Þessa tækni má nota til þess að fjölfalda erfðaefni með hjálp „öfugs umritunarensíms.” Þetta hefur verið notað til þess að skjótgreina sjávarveirur í hópi birna- og iridoveira en margar þessara veira valda sjúkdómum í eldi sjávarlífvera. Þessi aðferð er mjög fljótleg. Einnig hefur verið þróuð aðferð til þess að greina iridoveirur sem valda alvarlegum sjúkdómum í styrjueldi.

http://www.seagrantnews.org/news/19990120cpbrief_health/fuhrman.html

Lífefnaljómun er nokkuð algeng hjá sjávarlífverum. Oftast lýsir hún sér þannig að lífverurnar gefa frá sér ljós við ákveðin skilyrði, oft við oxun á lífrænum efnum í viðurvist ensímsins luciferasa. Fjölmargar sjávarlífverur hafa þennan eiginleika (fiskar, þörungar, bakteríur) en sameiginlegt hjá þeim er að þær hafa lux genið. Þetta gen hefur mest verið rannsakað í bakteríum af ættkvíslum *Vibrio* and *Photobacterium*. Notagildi þessa hæfileika er mikið en með einfaldri aðferð má t.d. mæla ATP í vökva (mikið notað til að meta frumufjölda í mjólkuriðnaði) og efnarestir í matvælaíðnaði.

<http://www.bio.cmu.edu/courses/03441/TermPapers/97TermPapers/lux/>

6.5. Skordýra- og illgresiseyðar

Náttúrulegir skordýra- og illgresiseyðar frá sjávarlífverum geta komið í stað efnafræðilega tilbúinna efna á markaðinum í dag.

6.5.1. Dæmi um skordýra- og illgresiseyða

Cyanobakteríur hafa verið erfðabreyttar þannig að lux geninu hefur verið skotið inn í erfðamengi þeirra. Þetta veldur því að frumurnar lýsast upp í viðurvist efnisins dodecanol en í viðurvist illgresisefna sem verka á ljóstíllífunarkerfi bakteríanna minnkar þessi lýsing. Þannig má finna út hve mikið er af slíkum illgresisefnum í jarðvegi, jarðvegsvatni eða í öðrum sýnum úr umhverfi.

<http://www.nal.usda.gov/bic/bio21/aqua.html>

PadamTM var einangrað úr sjávarormum (bait worm) en þetta eiturefni hefur lengi verið þekkt meðal japanskra sjómanna. Þetta skordýraeitur verkar gegn lirfum sem skemma hrísgrjónaplöntuna. Sjávarþörungur og svampar eru einnig þekktir fyrir að framleiða efni sem eykur spírun vissra plantna. Nokkrir svampar eru einnig þekktir fyrir að framleiða terpena en það eru arómatísk efni sem eru mikið notuð sem leysiefni og í ilmvötn.

<http://www.nal.usda.gov/bic/bio21/aqua.html>

6.6. Erfðabreyttar lífverur

6.6.1. Dæmi um erfðabreyttar lífverur

Fyrsta dæmið um notkun á erfðaverkfræði til þess að breyta sjávarlífveru var þegar veiruvektor var notaður til þess að breyta genasamsetningu skelfisks (dwarf surfclam.) Markmiðið með rannsóknunum er að finna verkfæri sem hægt er að nota til að vinna gegn sjúkdómum sem herja í eldi á ostrum, skelfiski og sæsniglum. Við Háskólann í Minnesota hafa vísindamenn einnig þróað tækni til þess að stjórna genasýnd utanaðkomandi gena sem hefur verið komið í fiska.

Búið er að klóna gen úr krabbategund (blue crabs) sem afritar fyrir hormóni sem hindrar hamskipti krabbans (molt-inhibiting hormone; MIH.) Markmiðið var nota þetta hormón til þess að fá afbrigði af krabbanum sem er alltaf með mjúka skel þannig að hægt sé að borða þá án þess að taka hana af fyrst. Einnig væri þá hægt að tryggja stöðugt hráefni allan ársins hring.

<http://www.seagrantnews.org/news/mscrab.html>

Búið er að erfðabreyta afbrigði af kyrrahafsostrum þannig að þær eru þrílitna. Yfirleitt er efnið cytochalasin B notað til þess að koma á þrílitnun en þrílitna ostrur eiga ekki afkvæmi og eru því feitar allt sumarið. Hins vegar er einnig hægt að búa til fjórlitna ostrur og para þeim saman við tvílitna ostrur og fá þannig fram þrílitna blendinga. Með þessu móti verða allar ostrurnar þrílitna en með því að nota cytochalasin B verða einungis 46% þeirra þrílitna.

<http://www.nal.usda.gov/bic/bio21/aqua.html>

Vísindamenn við University of Delaware hafa stundað rannsóknir á saltþoli sjávar- og landplantna til þess að þróa plöntur sem hægt er að láta vaxa á ströndum eða á söltu landi.

Með frumuræktun hefur þeim tekist, með hjálp erfðafræðinnar, að velja saltkær afbrigði af nytjaplöntum eins korn- og grænmetisplöntum. Einnig hafa þeir með erfðafræðilegum aðferðum skotið genum úr kuldakærum plöntum í aðrar plöntur sem þá er hægt að rækta á mun kaldari svæðum en ella.

<http://www.ocean.udel.edu/backdoor/webtraining/level1/facultystaff/faculty/connie/hbc.htm>

Við Flórída-háskólann (University of Florida) hafa vísindamenn búið til ný afbrigði af sjávarhöfrum sem eru mun harðgerðari en náttúrulegir sjávarhafrar. Þessum plöntum hefur verið plantað á skemmdar, óræktanlegar strendur víða í Bandaríkjunum. Auk þess hefur sveppum verið smitað í rætur þessara planta sem veldur því að þær þola betur vatnsskort og nýta sér betur ólífræn næringarefni.

<http://www.napa.ufl.edu/digest/old/1998-99/sea oats.htm>

<http://www.napa.ufl.edu/99news/sea oats.htm>

6.7. Lífmassi til orkumyndunar

Um 40% af frumframleiðslu jarðarinnar á sér stað í hafinu. Í hafinu er meira en 50 sinnum meira af koltvísýringi en í andrúmsloftinu og áætlað er að frumframleiðendur hafsins bindi um 35 gígatonn af koltvísýringi í lífmassa á hverju ári. Þarna er því um að ræða orku sem ekki er virkjuð að neinu marki í dag. Ástæða þess er einfaldlega sú að mun ódýrara er að nota hefðbundnar landbúnaðarafurðir til þess að framleiða lífmassa. Einnig á lífmassi undir högg að sækja gagnvart öðrum orkuuppsprettum eins og kolum og olíu. Rannsóknir í þessum geira hafa einkum beinst að þremur markmiðum. Í fyrsta lagi að rannsaka þrívíddarbyggingu ensímsins ribulose biphosphate carboxylase/oxygenase en þetta ensím virðist ekki vera mjög virkt miðað við náttúrulega byggingu. Í öðru lagi að breyta uppbyggingu lífmassans þannig að auðveldara verði að nýta hann og í þriðja lagi að breyta lífmassa í etanól eða önnur form af orku.

<http://www.nal.usda.gov/bic/bio21/aqua.html>

6.8. Lífhreinsun - Bioremediation

Lífhreinsun (bioremediation) er það þegar líftæknilegar aðferðir eru notaðar til þess að hreinsa jarðveg, sjó eða aðra staði sem hafa mengast. Miklir notkunarmöguleikar virðast vera á þessu sviði á mörgum hafsvæðum og í sjávardýraeldi. Dæmi um mengun er t.d. olíumengun í höfnum eða við olíuborþalla, flutningur eitrefna frá landsvæðum um árósa til strandsvæða, eyðing skolps, eyðing á efnem sem safnast í botn skipa, eyðing á vinnsluvatni við niðurbrot efna, endurvinnsla steinefna t.d. mangans og við stjórnun á sjávardýraeldi og úrgangi við vinnslu sjávarafurða.

6.8.1. Dæmi um lífhreinsun

Einn möguleiki til þess að hreinsa jarðveg sem er mengaður af þungamálum er að koma fyrir plöntum með aukna hæfileika til þess að aðgreina málmana frá jarðveginum. Plöntur og dýr framleiða á náttúrulegan máta metallothioneins en það eru prótein sem geta bundist við málma. Einfrumu-þörungur og cyanobakteríur hafa verið rannsökuð með tilliti til þessara hæfileika. Genið fyrir metallothioneins úr spendýrum hefur verið klónað í cyanobakteríuna *Synechococcus* sem hefur leitt til aukins þols hennar gegn þungamálum og aukinna bindieiginleika. Metallothionein genið úr kjúklingum hefur verið klónað í grænþörunginn *Chlamydomonas reinhardtii* sem hefur leitt til þess að hann getur vaxið mjög þétt á svæðum sem eru menguð af kadmíum. Annar möguleiki á þessu sviði er að rannsaka bakteríur sem geta fellt út málma.

http://www.engg.ksu.edu/HSRC/JHSR/v2_no1.pdf

<http://www.biosci.ohio-state.edu/~rsayre/BIOREM.HTM>

Mörg efni úr iðnaði eins og PCB-efni, PAH-efni og creosote eru hættuleg spilliefni. Til eru bakteríur sem geta hreinsað upp þessi efni (brotið niður). Einnig er hægt að erfðabreyta þessum bakteríum þannig að þær verði hæfari til þess að gera þetta. Meðal annars hafa þessar bakteríur verið notaðar til þess að hreinsa upp olú í Alaska og í Persaflóa. Nýlegar rannsóknir hafa beinst að því að hreinsa við, sem hefur verið í sjó, auk burðarstólpa í sjó. Þær eru þá notaðar til þess að hreinsa creosote, kopar, króm, arsenik og önnur hættuleg efni sem leiðir til þess að endurnota má viðinn ef með þarf.

<http://www.epa.gov/glnpo/arcs/EPA-600-991-001/EPA-600-991-001.html>

http://bib.gbf.de/ergebnisbericht/1998/englisch/section_b/b-timmis.html

<http://www.offshore-environment.com/oil.html>

Rannsóknir hafa sýnt fram á að sumar bakteríur geta brotið niður olú allt að fimm sinnum hraðar en ella ef þær eru í viðurvist ákveðinna frumdýra (einfrumunga). Ekki er enn vitað með vissu hver ástæðan fyrir þessu er.

6.9. Lífefnavinnsla - Bioprocessing

Framleiðsla á efnum sem hafa notkunargildi í líf- og læknisfræði krefst flókinna lífefnafræðilegra ferla. Það þarf grunnskilning á lífverunum sem slíkum, einangrun þeirra og síðan framleiðslu á þeim efnum sem skipta máli. Einangrun og hreinsun efnanna í stöðuga afurð er síðan lokastigið. Miklar framfarir hafa verið á síðari árum með notkun sjávarbaktería og sveppa til þess að framleiða efni sem hafa aðra eiginleika en bakteríur og sveppir sem lifa á landi.

6.9.1. Dæmi um lífefnavinnslu

Við vinnslu á meinhaddi (fiskur af ætt síldar) hefur komið í ljós að í vinnsluvatninu má einangra yfirborðsvirkt prótein sem er öflugt bindiefni og bleytiefni og því gott til notkunar í lágum styrk. Próteinið er virkt á svæðum milli olú og vatns og safnast ekki

upp á yfirborði fitu og lofts. Einnig er það umhverfisvænt (niðurbjótanlegt) og er því mjög hagkvæmt fyrir olíuiðnaðinn og annan þungaiðnað.

Aðalpróteinið í skel ostruskelja hefur verið notað til þess að framleiða nýjan flokk niðurbjótanlegra fjölliða sem hafa mikið notkunargildi í iðnaði. Fyrirtækið Specialchem er að markaðsvæða þessar fjölliður og telur að markaðurinn geti orðið meira en 10 milljarðar kr. Meira en 70 einkaleyfi hafa verið gefin í þessum geira. Aðrar athyglisverðar fjölliður eru t.d. náttúrulegur „frostlögur“ sem unninn er úr flyðru en hann er peptíð sem er líffræðilega niðurbjótanlegur og gæti nýst við að affrysta flugvélar, vegi og landbúnaðarvörur.

<http://www.specialchem.com/index.asp>

6.10. Annað

Vísindamenn hafa byrjað að nota líftæknina til þess að fylgjast með breytingum á stofnstærð þorsks, ýsu og flundru við strendur Bandaríkjanna. Vísindamennirnir starfa við National Marine Fisheries Service in Woods Hole, Massachusetts og við Universities of Maine and New Hampshire. Notaðar eru PCR aðferðir og DNA „fingerprinting“ aðferð. Markmiðið er að finna út erfðabreytileikann á milli sömu tegunda og sjá hvernig þeir blandast. Frekari upplýsingar er að finna á eftirfarandi vefslóðum:

<http://www.flmnh.ufl.edu/fish/InNews/SalmonMaine.htm>

<http://www.nefsc.nmfs.gov/>

7. Næstu skref

Í þessari skýrslu hefur verið farið yfir skilgreiningar á sjávarlíftækni og hvaða aukahráefni það eru sem mögulegt er að framleiða úr afurðir. Auk þess hefur verið gerð úttekt á því hvað er að gerast í sjávarlíftækni í heiminum í dag.

Almennt má segja að athygli manna hafi verið að beinast að þeim möguleikum sem eru í sjávarlíftækni. Mikið fjármagn hefur verið sett í rannsóknir á þessu sviði bæði í Bandaríkjunum og í Japan. Á síðari árum hafa Norðmenn einnig beint athyglinni að sjávarlíftækni, sérstaklega hvað varðar finefnavinnslu úr aukahráefni sem fellur til við hefðbundna fiskvinnslu. Á Íslandi stöndum talsvert að baki Norðmönnum hvað þetta varðar þó svo að við séum framar þeim hvað varðar vinnslu á lággæða afurðum úr aukahráefni. Þó eru til nokkur fyrirtæki hér á landi sem eru í rannsóknar- og þróunarvinnu í sjávarlíftækni. Flest þessara fyrirtækja hafa orðið til vegna áratuga langra rannsókna á bragðefnum og ensímum (Norðurís, Ensímtækni, Prokaria, Genís), framkvæmdar af vísindamönnum við Háskóla Íslands og við opinberar stofnanir. Þessi fyrirtæki hafa seinna meir orðið að hlutafélögum með fjármagni frá m.a. Nýsköpunarsjóði atvinnulífsins.

Tengsl hafa verið á milli sjávarútvegsfyrirtækja, opinberra stofnana og háskóla hvað varðar rannsóknir á sjávarlíftækni en þau mega vera mun meiri. Samt sem áður eru nú mörg stærstu sjávarútvegsfyrirtæki landsins farin að velta fyrir sér þeim möguleikum sem felast í sjávarlíftækni. Sum þeirra hafa farið þá leið að hefja framleiðslu á afurðum sem eru vel þekktar. Sem dæmi um þetta má nefna framleiðslu á kítósan hjá Genís á Siglufirði (Samherja/Þormóði Ramma) og gelatín athuganir hjá ÚA á Akureyri. Einnig hefur Haraldur Böðvarsson hf. á Akranesi verið að athuga möguleika á surimi-framleiðslu úr loðnu.

Í þessari skýrslu var megin markmiðið að gera rannsóknargreiningu á viðfangsefninu, þ.e. fara í gegnum þær rannsóknir og þróunarvinnu sem verið er að gera, hvaða aðila er um að ræða og hugsanlega athuga hvar vænlegustu sóknarfærin séu. Næsta skrefið er síðan mátun, þ.e. athugun á því hvernig við gætum nýtt okkur þær aðstæður sem við höfum fram yfir aðra. Hér þarf að gera athugun á þekkingu, hráefnisflæði, mörkuðum o.s.frv. Í þriðja lagi er nauðsynlegt að gera viðskiptaáætlun til þess að auðveldara væri að fá fjárfesta í slík verkefni.

Í framhaldi af þessari skýrslu er því nauðsynlegt að afla aukinnar þekkingar um **hráefnisflæðið** á aukaafurðum á Íslandi í dag. Magntölur eru yfirleitt ekki vandamálið í þessu sambandi heldur hvernig hægt sé að koma aukahráefni, sem fellur frá við hefðbundnar fiskveiðar/vinnslu, í framleiðslu á líftæknilegum afurðum með einsleitum eiginleikum. Hér koma upp vandamál í sambandi við það sem fellur til á frystitogurum, geymslu á aukahráefni í ísfisktogurum, flæði hráefnis í landi o.fl. Einnig er nauðsynlegt að meta **tæknilega- og þekkingarlega getu okkar** til þess að stíga næstu skref, þ.e. að fara í framleiðslu á sjávarlíftæknaafurðum. Hér þarf að gera úttekt á þeirri tækniþekkingu sem er til staðar, hvernig má auka hana og hvernig auka má fjármagn í þessum geira. Í þriðja lagi er síðan mikilvægt að gera **markaðskönnun** á þeim líftæknilegu afurðum sem framleiddar eru úr aukahráefni úr sjávarfangi í dag. Þó svo að aukin alþjóðleg eftirspurn virðist vera á náttúrulegum afurðum úr sjávarlífverum þá er nauðsynlegt að greina þessa þörf til þess að sjá hvar sóknarfærin eru hvað mest.

Lykillinn að því að auka rannsóknir í sjávarlíftækni felst í mörgum þáttum eins og t.d. hráefni, fjármagn, þekkingu, markaðstengingu og stjórnun.

Hráefnið þarf að taka fyrir sérstaklega eins og áður hefur verið nefnt. Þá þarf m.a. að huga að ferskleika, aðföngum o.fl.

Fjármagn: Til þess að auka fjármagn í rannsóknum, þróun og framleiðslu á sjávarlíftæknaafurðum þurfa allir sem koma að málinu (opinberar stofnanir, einkaaðilar, iðnaðurinn, stjórnvöld) að safna kröftum til þess að koma sameiginlega að málinu. Hugsanlegt er að stofna sjóð þar sem hægt verður að sækja um fjármagn fyrir þá sem hafa áhuga á rannsóknum á þessu sviði. Hugsanlega ættu stjórnvöld að koma hér að málinu og gæti t.d. hluti af auðlindagjaldi, ef af verður, runnið í þennan sjóð.

Markaðstenging: Mikilvægt er að gera greiningu á þeim líftæknilegu afurðum sem eru framleiddar eða munu verða framleiddar í framtíðinni m.t.t. markaðs fyrir þessar vörur.

Þekking: Athuga þarf hvernig þekkingarleg staða er á þessu sviði á landinu í dag. Benda má á að við sjávarútvegsdeild Háskólans á Akureyri eru nú uppi hugmyndir um að stofna

nýja deild, auðlindadeild. Hugmyndin er sú að líftækibraut hafi aðsetur innan þeirrar deildar.

Stjórnun: Æskilegt væri að til yrði einhvers konar stofnun sem myndi sjá um að sameina þá aðila sem gætu komið að málinu. Í Noregi hefur þetta gerst með stofnun „Stiftelsen Rubin” og virðist það hafa haft mjög jákvæð áhrif.

8. Lokaorð

Í stuttu máli þá er staðan á Íslandi sú að þónokkur fyrirtæki eru farin að huga að og eru að framleiða líftækniafurðir úr aukahráefni úr sjávarfangi. Bæði er um að ræða aðila sem eru frá fiskiðnaðinum sjálfum og svo aðila sem koma upphaflega úr akademísku umhverfi. Augljóslega hefur mesta rannsóknar- og þróunarvinnan verið hjá síðarnefndu aðilunum. Afrakstur þessara aðila hefur leitt til verðmætra hágæða líftækniafurða sem er afrakstur margra ára eða áratuga vinnu. Framleiðsla verðminni afurða er ekki háð eins mikillar rannsóknar- og þróunarvinnu, heldur er frekar um að ræða yfirfærslu á þekkingu. Hér virðist vanta tengsl á milli iðnaðarins, opinberra stofnana og háskóla. Menn verða því að hafa í huga að til þess að rannsóknir á sviði sjávarlíftækni skili arðsemi fyrir þjóðarbúið þá verður að setja fram langtímamarkmið - ekki hugsa til stutts tíma.