



MANNVIT

Tækjabúnaður og ferli til framleiðslu etanóls úr lignósellulósaríkum lífmassa – 1. þróunaráfangi

Lokaskýrsla vegna styrkveitinga úr Orkusjóði

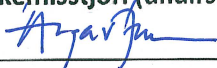

Styrkverkefni nr. 45-2009 og 28-2010

24. apríl 2012





TITILBLAÐ

Skýrsla nr: MV 2012-007	Útgáfunr.: 1	Útgáfudags.: 24.04.2012	Verknúmer: 7-620-216
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Tækjabúnaður og ferli til framleiðslu etanóls úr sellulósarkum lífmassa, 1. þróunaráfangi			Upplag: 38 Fjöldi síðna: 30
Höfundur/ar: Ásgeir Ívarsson		Verkefnisstjóri (undirskr.): AI  Yfirfarið (undirskr.): TG 	
Verkkaupi: Orkusjóður		Tengiliður verkkaupa: Jakob Björnsson	
Samstarfsaðilar: Háskólinn á Akureyri			
Útdráttur: Hannað hefur verið tilraunkerfi til framleiðslu 1,3 L/klst. af etanóli úr t.d. pappírsúrgangi, grasi, hálmi og hampi á rannsóknarstofu. Áætlað að slíkt kerfi kosti uppkomið um 146 milljónir kr. og um rekstur þess um 55 milljónir kr. á ári. Gerð er grein fyrir niðurstöðum frummats á kostnaði og hagkvæmni 1.000 tonn/ár tilraunaverksmiðju og 15.000 tonn/ár verksmiðju. Áætlaður fjárfestingarkostnaður er um 2,7 milljarðar kr. annars vegar og hins vegar um 15 milljarðar kr. Óvissa kostnaðarmats er á þessu stigi 40-49% og því ekki hægt að segja, með afgerandi hætti, til um hagkvæmni. Skýrt er frá markmiðum 2. og 3. þróunaráfanga verkefnisins.			
Efnisorð: eldsneyti, etanól, framleiðsla, hagkvæmnimat, kostnaðarmat, lífeldsneyti, lífetanól, tilraunakerfi, tilraunaverksmiðja, verksmiðja			

Dreifing:

 Opín öllum starfsmönnum
(Rafræn í bókasafni) Lokuð
(Engin dreifing nema með leyfi verkkaupa.)

Breytingasaga:

Útgáfunr	Dags.	Breyting	Höf.	Yfirfarið



MANNVIT

Grensásvegur 1
108 Reykjavík
Sími: 422 3000
Fax: 422 3001
@: mannvit@mannvit.is
www.mannvit.is

Mannvit hf.

Efnisyfirlit

1	Inngangur	1
1.1	Forsaga	1
1.2	Markmið	1
1.3	Þróunaráætlun og staða	2
2	Etanól úr lífmassa sem bifreiðaeldsneyti	4
2.1	Óhefðbundið eldsneyti	4
2.2	Endurnýjanlegt eldsneyti	4
2.3	Lífeldsneyti	5
2.4	Lífetanól	6
2.5	Stærð markaðar	7
3	Framleiðsluferli fyrir etanól úr lignósellulósaríkum lífmassa	9
3.1	Kerfis lýsing	9
3.1.1	<i>Framleiðsluprep</i>	9
3.1.2	<i>Massa- og varmajafnvægi</i>	10
3.2	Tilraunakerfi	12
3.2.1	<i>Tæknileg útfærsla</i>	12
3.2.2	<i>Fjárfestingarkostnaður</i>	13
3.2.3	<i>Rekstrarkostnaður</i>	14
3.3	Tilraunaverksmiðja	15
3.3.1	<i>Framleiðslugeta ásamt lífmassa- og orkupörf</i>	15
3.3.2	<i>Fjárfestingarkostnaður</i>	15
3.3.3	<i>Rekstrarkostnaður</i>	15
3.3.4	<i>Rekstrartekjur</i>	16
3.3.5	<i>Hagkvæmni</i>	17
3.4	Verksmiðja í fullri stærð	17
3.4.1	<i>Framleiðslugeta ásamt lífmassa- og orkupörf</i>	17
3.4.2	<i>Fjárfestingarkostnaður</i>	18
3.4.3	<i>Rekstrarkostnaður</i>	18
3.4.4	<i>Rekstrartekjur</i>	19
3.4.5	<i>Hagkvæmni</i>	20
4	Lífmassaver	21
5	Markmið og framtíðarsýn	22
5.1	Tilraunakerfi – 2. þróunaráfangi	22
5.2	Tilraunaverksmiðja (1 þús. tonn/ár) – 3. þróunaráfangi	22
5.3	Verksmiðja (15 þús. tonn/ár)	22
	Heimildaskrá	23

1 Inngangur

1.1 Forsaga

Verkefni þetta, *Tækjabúnaður og ferli til framleiðslu etanóls úr lignósellulósaríkum lífmassa, 1. þróunaráfangi*, sameinar tvö verkefni sem Mannviti var veittur styrkur til úr Orkusjóði árin 2009 og 2010. Þessi verkefni nefndust bæði *Tilraunaframleiðsla á eldsneyti* og eru samningar Mannvits og Orkusjóðs um styrkveitingarnar númer 45-2009 og 28-2010. Hið eldra er að öllu leyti hluti þessa nýja verkefnis, en eingöngu verkþáttur B í því yngra. Verkþáttur A í yngra verkefninu er nú sjálfstætt verkefni og nefnist *Tækniþróun í lífdísilframleiðslu*.

Eins og ítarlega var gerð grein fyrir í fylgiskjölum með styrkumsóknum tengist verkefnið þremur öðrum verkefnum sem Mannvit hefur unnið að. Í þeim hefur Háskólinn á Akureyri verið helsti samstarfsaðili Mannvits, auk þess sem samstarf hefur verið við inn- og erlendar rannsóknastofnanir og fyrirtæki. Umrædd verkefni eru *Lif-Etanól*, *Framleiðsla lífeldsneytis á Akureyri I & II* og *BioFuel Iceland*.

1.2 Markmið

Markmið verkefnisins er hönnun og þróun tækjabúnaðar til formeðhöndlunar lignósellulósariks lífmassa (s.s. pappírsúrgangs, grass, hálms og hamps) og framleiðslu etanóls auk vetnis og ýmissa verðmætra efnasambanda á tilraunastofu. Einnig eru kannaðir möguleikar á samþættingu framleiðslu metans við etanólframleiðsluna til að auka heimtur eldsneytis úr lífmassanum. Formeðhöndlunarkerfið verður hægt að nota við þróunar nýrra framleiðsluaðferða fyrir metan og jafnvel einnig vetni, bútanól og lífdísil.

Verkþættir og helstu markmið í þessum 1. þróunaráfanga verkefnisins voru:

■ Hönnun tilraunakerfis

Gert er ráð fyrir eftirfarandi þrepum í samfelldu (e. continuous) tilraunakerfi sem gefur rúman 1 L/klst. af etanóli¹:

- Formeðhöndlun:
 - § Samþætt hita- og sýrumeðhöndlun
 - § Ensímeðhöndlun
- Afeitrun:
 - § Fjarlæging efnasambanda sem myndast við formeðhöndlun og geta hindrað örverur í gerjunarþrepum.
- Gerjun hexósa (C₆-sykra) með sveppi og sífjarlægingu (flasseimingu) etanóls
- Gerjun pentósa (C₅-sykra) með hitakærum bakteríum og sífjarlægingu (flasseimingu) etanóls
- Eimingu og þurrkun

■ Mat á fjárfestingar- og rekstrarkostnaði tilraunakerfis

- Frummat á kostnaði og hagkvæmni tilraunaverksmiðju (1 þús. tonn/ár af etanóli) og verksmiðju í fullri stærð (15 þús. tonn/ár af etanóli)

¹ Um 3-4 kg af þurru lífmassa gefa 1 lítra af etanóli.

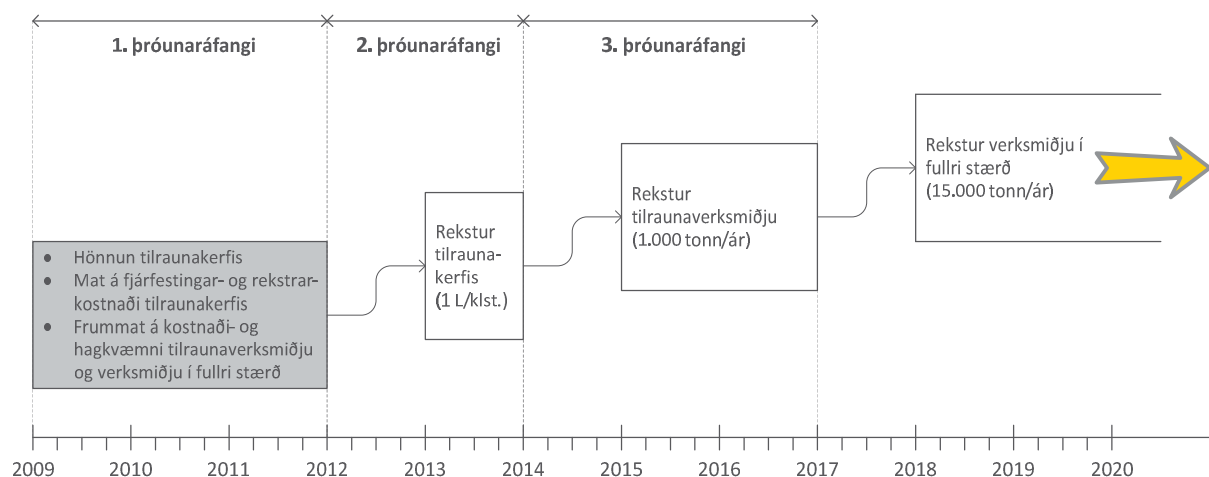
Til lengri tíma litið miðar verkefnið – og verkefnin því tengd – að framleiðslu etanóls og annars eldsneytis í lífmassaveri (e. biorefinery) úr ýmsum tegundum lífmassa, s.s. lífrænum úrgangi frá heimilum, matvælaíðnaði og landbúnaði ásamt ræktuðum plöntum og þörungum. Við eldsneytisframleiðsluna myndu falla til ýmsar aukaafurðir sem hægt væri að vinna frekar og nýta í iðnaði og landbúnaði.

1.3 Þróunaráætlun og staða

Verkefnið skiptist í fjóra meginhluta, þ.e.:

- **1. þróunaráfangi** (þessi hluti verkefnisins)
 - Hönnun tilraunakerfis
 - Mat á fjárfestingar- og rekstrarkostnaði tilraunakerfis
 - Frummat á kostnaði og hagkvæmni tilraunaverksmiðju og verksmiðju í fullri stærð
- **2. þróunaráfangi**
 - Uppsetning tilraunakerfis
 - Rekstur tilraunakerfis
 - Nákvæmara mat á kostnaði og hagkvæmni tilraunaverksmiðju og verksmiðju í fullri stærð
- **3. þróunaráfangi**
 - Hönnun tilraunaverksmiðju
 - Bygging tilraunaverksmiðju
 - Rekstur tilraunaverksmiðju
 - Fullbúið mat á kostnaði og hagkvæmni verksmiðju í fullri stærð

Tímaáætlun verkefnisins kemur fram á eftirfarandi mynd:



Mynd 1. Tímaáætlun verkefnisins og einstaka þróunaráfanga þess.

Þessi hluti verkefnisins (1. þróunaráfangi) hófst í byrjun árs 2009 og telst nú lokið.

Næsti hluti verkefnisins (2. þróunaráfangi) er uppsetning og rekstur tilraunakerfis sem nauðsynlegt er fyrir frekari þróunavinnu og ítarlegra mat á hagkvæmni. Sem dæmi um mikilvægar spurningar sem svara þarf eru hvort að hægt sé að formeðhöndla lífmassa án notkunar sýru og/eða ensíma og

hvort hægt sé að stjórna myndun hindrandi efnasambanda í formeðhöndlunarferlinu. Aðrar mikilvægar spurningar eru t.d. hvort hægt sé að einangra og aðgreina þessi efnasambönd á hagkvæman hátt þ.a. þau geti orðið verðmæt söluvara ásamt því hvort að hægt sé að auka þol baktería fyrir hvarfefnum og afurðum.

Gangi markmið með rekstri tilraunakerfis eftir verður ráðist í lokahluta verkefnisins (3. þróunaráfanga) sem felur í sér hönnun, byggingu og rekstur tilraunaverksmiðju. Tilraunaverksmiðjan mun framleiða allt að 1 þús. tonn af etanóli á ári og hefja starfsemi í byrjun árs 2015. Tilraunaverksmiðjan yrði rekin í tvö ár í þeim tilgangi að þróa framleiðsluferlið enn frekar og afla ýmissa rekstrarupplýsinga, en ekki síður til að sýna fram á að framleiðsla etanóls úr lignósellulósaríku hráefni sé möguleg hérlendis.

Staðfesti rekstur tilraunaverksmiðjunnar fyrri niðurstöður er stefnt að því að framleiðsla á a.m.k. 15 þús. tonnum af etanóli á ári geti hafist í byrjun árs 2018.

Framleiðslugeta tilraunakerfis, tilraunaverksmiðju og verksmiðju í fullri stærð koma fram í töflu 1 ásamt hlutfallslegri framleiðslugetu sem endurspeglar „uppskölun“ tilraunakerfisins.

Tafla 1: Framleiðslugeta tilraunakerfis, tilraunaverksmiðju og verksmiðju í fullri stærð ásamt hlutfallslegri framleiðslugetu („skala“).

Kerfi	Framleiðslugeta		Hlutfallsleg framleiðslugeta („skali“)	
	[tonn etanól/ár]	[L etanól/klst.]		
Tilraunakerfi		1,3	1	0,008
Tilraunaverksmiðja	1.000	158	122	1
Verksmiðja í fullri stærð	15.000	2.373	1.825	15

2 Etanól úr lífmassa sem bifreiðaeldsneyti

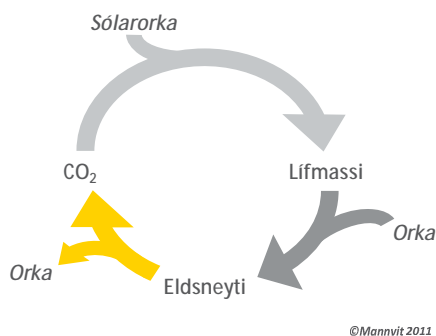
2.1 Óhefðbundið eldsneyti

Í tilfelli bifreiða er annað eldsneyti en jarðefnaeldsneytið bensín og dísilolía öllu jafna nefnt óhefðbundið eldsneyti (e. alternative fuel). Allt endurnýjanlegt eldsneyti (e. renewable fuel) – og þar með etanól unnið úr lífmassa – telst því óhefðbundið eldsneyti, en einnig jarðefnaeldsneyti eins og t.d. jarðgas. Í tilfelli bifreiða telst raforka einnig óhefðbundinn orkugjafi.

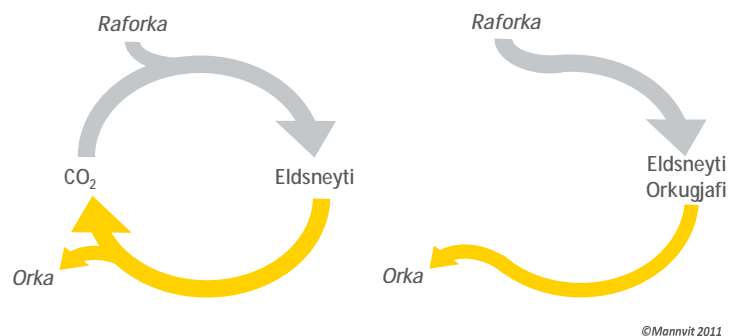
2.2 Endurnýjanlegt eldsneyti

Endurnýjanlegt eldsneyti er skilgreint sem eldsneyti unnið úr hráefni sem ekki gengur til þurrðar og skiptist í tvo meginflokka:

- **Lifeldsneyti** sem unnið er úr hvers konar lífmassa sem á uppruna sinn í náttúrunni hvort sem hann er ræktaður sérstaklega til eldsneytisframleiðslu eða ekki (t.d. sykurreyr, repjufræ eða lífrænn úrgangur hvers konar). Lifeldsneyti er oft auðkennt með forskeytinu „líf“. Slíkt eldsneyti, sem er vel þekkt, er (líf)etanól, lífdísill og (líf)metan.
- **Rafeldsneyti** er orkuberi fyrir endurnýjanlega raforku. Dæmi um slíkt eldsneyti er vetni úr rafgreiningu vatns og metanól eða DME (dímetýleter) framleitt með efnahvarfi rafgreiningarvetnis og koldíoxíðs (sk. kolefnisföngun).



Mynd 2. Lifeldsneyti: Einfölduð mynd af orkuflæði og hringrás kolefnis við framleiðslu og notkun.



Mynd 3. Rafeldsneyti: Vinstra megin er einfölduð mynd af orkuflæði og hringrás kolefnis við framleiðslu og notkun t.d. metanóls og DME. Hægra megin er einfölduð mynd af orkuflæði við rafgreiningu vetnis og notkun þess og á myndin einnig við hleðslu og notkun rafhlaða (eða rafgeyma).

Notkun endurnýjanlegs eldsneytis eykur ekki á loftslagsbreytingar af mannavöldum – að því gefnu að losun gróðurhúsalofttegunda við framleiðslu eldsneytisins sé minni en við framleiðslu og notkun samsvarandi jarðefnaeldsneytis.

Það endurnýjanlega eldsneyti sem einna lengst og langmest hefur verið notaðar í heiminum á bifreiðar eru fljótandi lífeldsneytistegundirnar etanól og lífdísill. Hérlandis hafa, hingað til, nær einu tegundirnar verið metan unnið úr hauggasi á urðunarstaðnum í Álfsnesi og innfluttur lífdísill. Á heimsvísu er áætlað að hlutfall endurnýjanlegs eldsneytis af heildareldsneytisnotkun á bifreiðar árið 2010 hafi verið um 3% (sjá nánar kafla 2.3). Sama ár var hlutfallið um 0,2% hér á landi; að langmestu leiti metan (Græna orkan, verkefnisstjórn um orkuskipti í samgöngum, 2011, bls. 16). Hérlandis er

unnið að ýmsum verkefnum sem miða að framleiðslu endurnýjanlegs eldsneytis, s.s. metans, lífdísils, metanóls og etanóls ásamt raforku.

Á vegum Evrópusambandsins hafa verið settar fram nokkrar vörður til framtíðar um orkuskipti og hefur Ísland undirgengist samþykktir þar að lútandi. Árið 2020 skal hlutfall endurnýjanlegra orkugjafa í samgöngum vera að lágmarki 10% af heildarorkunotkun og ber íslenskum stjórnvöldum að sýna fram á með hvaða hætti unnið verður að því markmiði héraendis og upplýsa reglulega um gang mála (Græna orkan, verkefnisstjórn um orkuskipti í samgöngum, 2011, bls. 44).

2.3 Lífeldsneyti

Lífeldsneyti er flokkað í „kynslóðir“, þ.e. í fyrstu, aðra og þriðju kynslóð, eftir framleiðslutækni og uppruna hráefnis:

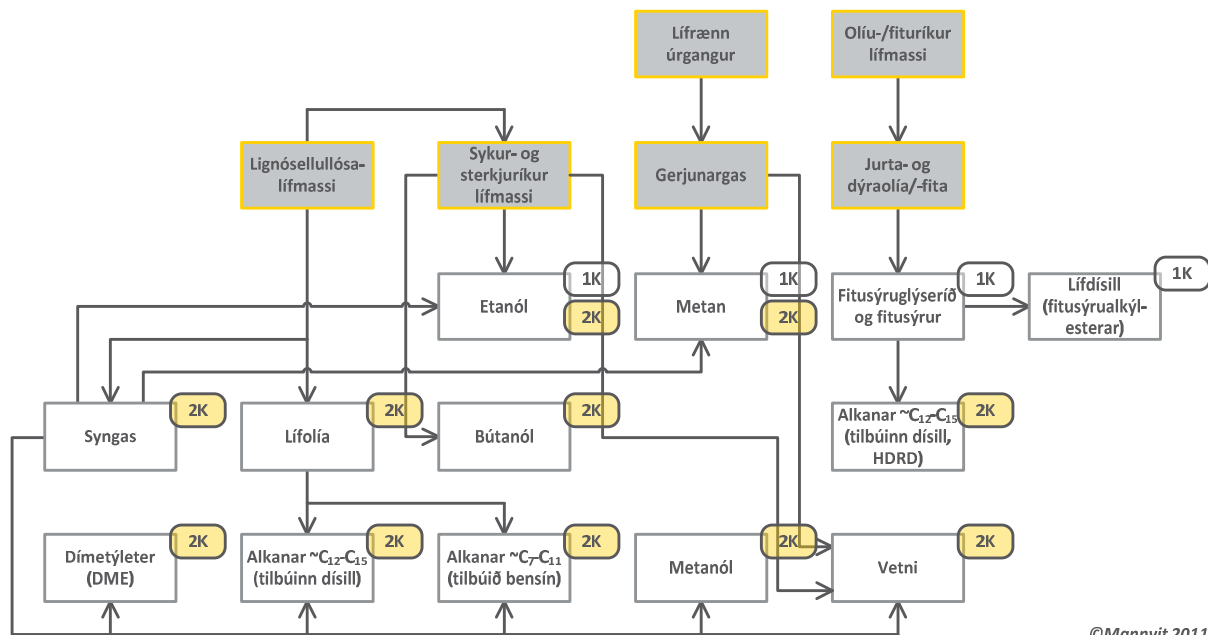
- *Fyrstu kynslóðar lífeldsneyti* er framleitt með vel þróaðri framleiðslutækni.
- *Annarrar kynslóðar lífeldsneyti* er framleitt með nýrri tækni eða framleiðslutækni er enn í þróun. Þróun framleiðslutækninnar hefur miðað að því að nýta hráefni sem ekki er notað til matvælaframleiðslu sem og að auka heimtur eldsneytis úr hráefninu. Almennt er framleiðsla annarrar kynslóðar lífeldsneytis töluvert kostnaðarsamari en framleiðsla lífeldsneytis af fyrstu kynslóð.
- *Þriðju kynslóðar lífeldsneyti* er „framtíðartækni“ þar sem eldsneytið væri framleitt með fyrstu eða annarrar kynslóðar framleiðslutækni, en hráefnið yrði unnið úr þörungum sem ræktaðir væru sérstaklega fyrir framleiðsluna og yrðu eldsneytisheimtur (e. fuel yield) margfaldar á flatareiningu miðað við notkun orkuplanta.

Framleiðsla á fyrstu kynslóðar lífeldsneyti er orðin vel þekkt, þó í nokkrum tilfellum hafi vaknað spurningar um orkulega hagkvæmni og siðferðislegt réttmætri slíkrar framleiðslu. Sumstaðar er ræktarland sem áður var nýtt til matvælaframleiðslu nú nýtt til ræktunar orkujurta eða skógarlandi hefur verið rutt. Meint áhrif lífeldsneytisframleiðslu á matvælaverð eru enn mjög umdeild, en þó er ljóst að í dag er einungis lítið brot framleiddra landbúnaðarafurða, s.s. hveitis og jurtaolíu, notað til hennar. Því þarf að skoða hvert einstaka tilfelli fyrir sig, en ljóst er að til þess að hægt sé að auka framleiðslu lífeldsneytis verulega þarf það að verða með annarrar – og jafnvel einnig þriðju – kynslóð lífeldsneytis (International Energy Agency (IEA), 2006, bls. 8-9).

Árið 2010 var fljótandi lífeldsneyti um 2,7% af því eldsneyti sem notað var á bifreiðar í heiminum (International Energy Agency (IEA), bls. 55) – einkum etanól og lífdísill. Sumstaðar var notkunin meiri, t.d. 4% í Bandaríkjunum og 3% í Evrópusambandinu sem og í Brasilíu þar sem hlutur etanóls unnu úr sykurreyr nam 41,5% af því eldsneyti sem notað var á létt ökutæki (REN21, 2011, bls. 31). Í Bandaríkjunum var framleitt mest af lífeldsneyti á heimsvísu árið 2010, á undan Brasilíu og Evrópusambandinu (REN21, 2011, bls. 31).

Árið 2010 nam notkun metans um 0,19% af heildareldsneytisnotkun á bifreiðar héraendis og notkun lífdísils var tæplega 0,04% (Græna orkan, verkefnisstjórn um orkuskipti í samgöngum, 2011, bls. 16). Síðan þá hefur notkun metans aukist töluvert, auk þess sem hafin er innlend framleiðsla á lífdíslu úr notaðri steikingarolíu og dýrafitu.

Ýmsir möguleikar, misfýsilegir þó, eru til framleiðslu lífeldsneytis á Íslandi og er gerð grein fyrir þeim helstu á mynd 4.



Mynd 4. Ýmsir möguleikar til framleiðslu endurnýjanlegs eldsneytis úr lífmassa (lífeldsneytis) á Íslandi. 1K táknar fyrstu kynslóðar lífeldsneyti og 2K táknar annarar kynslóðar lífeldsneyti.

2.4 Lífetanól

Gerjun sykur- eða sterkjuríks lífmassa er mjög vel þróuð tækni² og er etanól framleitt á þann hátt fyrstu kynslóðar lífetanól. Hefðbundið hráefni til framleiðslunnar eru einkum sykurreyr og maís (Wikipedia, 2012), en einnig – þó í mun minna mæli – t.d. sykkurófur og kornvörur. Í dag er mest framleitt af etanóli til eldsneytisnota í Bandaríkjunum og Brasilíu (kafla 2.3).

Til framleiðslu sk. sellulósætanóls (e. cellulosic ethanol), þ.e. annarrar kynslóðar lífetanóls, er notaður sellulósa- eða lignósellulósaríkur lífmassi eins og t.d. timbur, gras og ýmiskonar úrgangur. Það sem einkum hefur hamlað aukinni etanólnotkun er fyrst og fremst dráttur á þróun hagkvæmra framleiðsluaðferða fyrir annarrar kynslóðar lífetanól (Refuel) og á það í raun einnig við um aðrar alkóhóltegundir. Tilraunaverksmiðjur hafa t.d. verið settir upp til í Svíþjóð (SEKAB), en stórar verksmiðjur hafa ekki enn verið byggðar. Hvorki er framleitt lífetanól hérlandis eða í boði lífetanólblandað bensín til notkunar á hefðbundnar bensínbifreiðar.

Orkuþéttleiki etanóls er um 21,4 MJ/L, sem er lægra en fyrir bensín (32,80 MJ/L), en hærra en fyrir t.d. metanól (16,0 MJ/L). Etanól er hægt að nota sem súrefnisgjafa í bensín í stað metýltertbutýleters (MTBE) og leiðir til betri bruna og minni mengunar. Etanól er víða notað til íblöndunar í bensín, yfirleitt 5% eða 10% að rúmmáli (sk. E5 og E10) og í E25 og E85 sem innihalda 25% etanól og 75% bensín annars vegar og hins vegar 85% etanól og 15% bensín að rúmmáli.

Hérlandis má blanda etanóli allt að 5% að rúmmáli í bensín³ og ætla má að leyfileg mörk verða hækkuð innan fárra ára vegna markmiða Evrópusambandsins um aukna notkun endurnýjanlegs eldsneytis. Íblöndunarhlutfallið takmarkast af leyfilegu hámarks magni súrefnis í eldsneytisblöndunni og hámarks gufuþrýstingi. Flestar bensínbifreiðar, sem í notkun eru í Evrópu og framleiddar eru

² Aðferðin er í raun sú sama og við framleiðslu, þ.e. bruggun, áfengra drykkja.

³ Reglugerð um fljótandi eldsneyti nr. 560/2007.

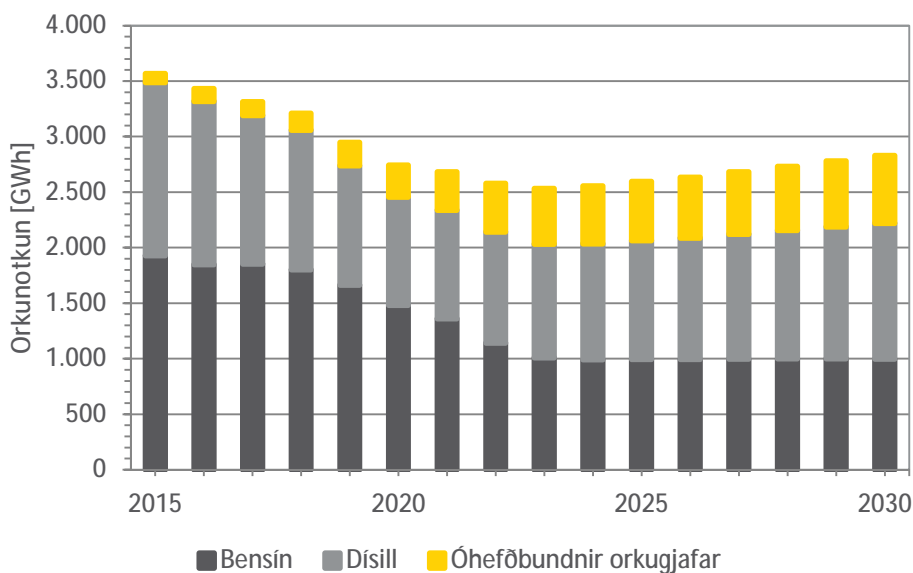
síðustu 12-14 ár, geta gengið fyrir a.m.k. E5 og virðist sama vera raunin hérlandis (Reynisdóttir & Ívarsson, 2008, bls. 4-6). Í Bandaríkjunum geta flest allar bensínbifreiðar gengið fyrir E10 auk þess sem margar gerðir geta gengið fyrir bensíni með hærra hlutfalli etanóls (Wikipedia, 2012). Notkun etanóls í hærra hlutfalli, s.s. E25 eða E85, krefst fjölorkubifreiða (e. flexi-fuel vehicles) og geta sumar gerðir þeirra gengið fyrir hreinu „röku“ etanóli (e. hydrous ethanol), E100⁴.

2.5 Stærð markaðar

Samkvæmt nügildandi eldsneytisspá Orkuspánefndar fyrir tímabilið 2008-2050 (sjá mynd 5), sem gerir ráð fyrir „afskiptalausri þróun“, mun orkunotkun bifreiða á Íslandi árið 2018 verða rúmar 3,2 TWh og mun skiptast á eftirfarandi hátt milli eldsneytistegunda (Orkuspánefnd, 2008):

- Bensín: 149 þús. tonn.
- Dísil: 131 þús. tonn.
- Óhefðbundnir orkugjafar (sem olíuígildi): 12 þús. tonn.

Því mun verksmiðja sem framleiða mun árlega 15 þús. tonn af etanóli⁵ geta annað um 3,5% af orkuþörf bifreiða, þegar áætlað er að hún hefji starfsemi, árið 2018 (sjá kafla 1.3).



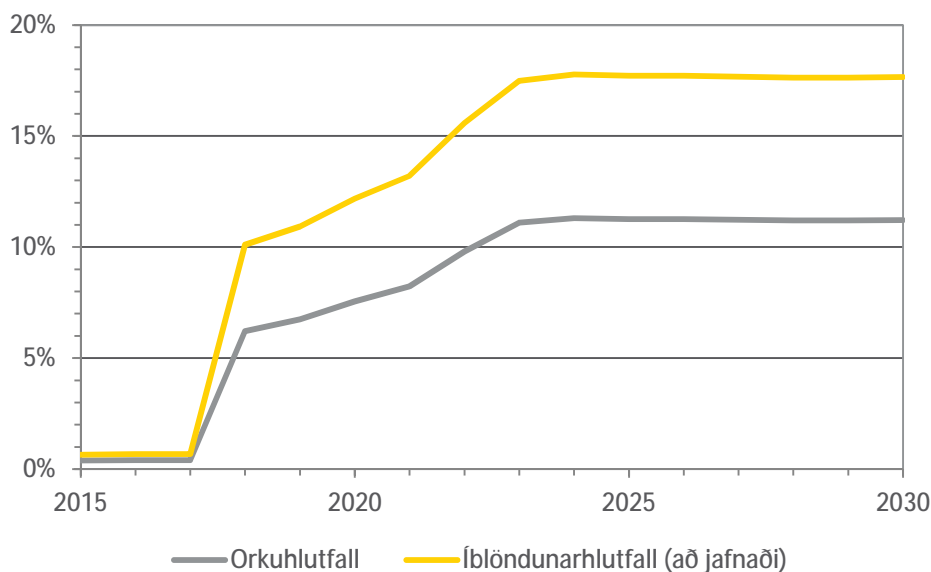
Mynd 5: Spá Orkuspánefndar um þróun eldsneytisnotkunar ökutækja á tímabilinu 2015-2030.

Samkvæmt eldsneytisspánni mun notkun jarðefnaeldsneytis á bifreiðar, einkum bensíns, minnka verulega á tímabilinu 2018-2030 vegna aukinnar notkunar óhefðbundinna orkugjafa sem þá mun rúmlega tvöfaldast (ekki er spáð fyrir um hvaða orkugjafa verði að ræða). Þannig gerir spáin ráð fyrir því að bensínnotkun ökutækja nemi 122 þús. tonnum árið 2020 (18% minna en árið 2018) og 83 þús. tonnum árið 2030 (45% minna en árið 2018).

Mynd 6 sýnir áætlað hlutfall framleidds etanóls af heildarorkunotkun bensínbifreiða sem og áætlað meðalrúmmálshlutfall etanóls í bensíni fyrir tímabilið 2015-2030. Gert er ráð fyrir að etanól sé eina íblöndunarefnið.

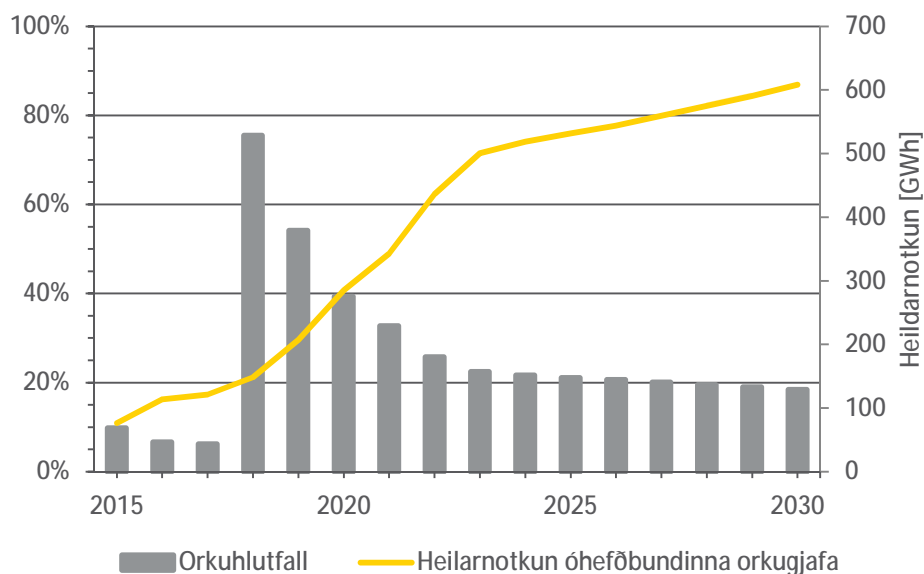
⁴ Einkum í Brasilíu, en þar inniheldur E100 að jafnaði um 5,7% vatn að rúmmáli (Wikipedia, 2012).

⁵ Orka sem fæst við bruna 15 þús. tonna af lifetanóli er um 112 GWh.



Mynd 6: Þróun orkuhlutfalls (þ.e. hlutfall orku sem fæst með árlegri notkun 1 þús. tonna af etanóli á árabílinu 2015-2017 og 15 þús. tonna af etanóli á árabílinu 2018-2030 af heildarorkunotkun ökutækja sem ganga fyrir bensíni) og rúmmálshlutfalls (hlutfall íblandaðs etanóls í bensín).

Mynd 7 sýnir hlutfall þeirrar orku, sem fengist úr framleiddu etanóli, af heildarorkunotkun bifreiða vegna notkunar óhefðbundinna orkugjafa á tímabilinu 2015-2030 samkvæmt eldsneytisspá. Myndin sýnir einnig spá um heildarnotkun óhefðbundinna orkugjafa á tímabilinu (sjá einnig mynd 5).



Mynd 7: Hlutfall notkunar etanóls af notkun óhefðbundinna orkugjafa sem eldsneyti á ökutæki á tímabilinu 2015-2030.

Sé gert ráð fyrir að etanól keppi eingöngu við aðra óhefðbundna orkugjafa, verður markaðurinn fyrir það stærri árið 2018 en nemur ársframleiðslu 15 þús. tonn/ár verksmiðju og mun vaxa jafnt og þétt eftir því árin líða. Fyrstu árin gæti markaðshlutdeild etanóls á þeim markaði orðið veruleg og töluverð samkeppni gæti þá ríkt komi ekki til þess, sem þó verður að teljast líklegt, að markaðshlutdeild óhefðbundinna orkugjafa aukist umfram spá Orkuspánefndar.

3 Framleiðsluferli fyrir etanól úr lignósellulósaríkum lífmassa

3.1 Kerfislýsing

3.1.1 Framleiðsluprep

Gert er ráð fyrir að framleiðsluferlið verði samfelld (*e. continuous*) og samanstandi af eftirfarandi meginþrepum sem sýnd eru á mynd 8 á næstu blaðsíðu:

■ *Formeðhöndlun*

- Hreinsun og tæting lignósellulósaríks lífmassa, s.s. grass, hálms, pappírs og pappa.
- Samþætt hita- og sýrumeðhöndlun vatnsblandaðs lífmassa þar sem hemisellulósa- og sellulósafjölliður eru brotnar niður í styttri fjölliður og einsykrur.
- Fjarlæging hrats með síun. Hratið er einkum lignín úr lífmassanum.
- Ensímmeðhöndlun (áður hlutleysing með basa) þar sem fjölliður eru brotnar niður í einsykrur með sellulösum.

■ *Afeitrun*

- Fjarlæging efnasambanda sem myndast við hita- og sýrumeðhöndlun og getað hindrað örverur í gerjunarþrepum með ásogi (*e. adsorption*). Þessi hindrandi efnasambönd eru m.a. fúrfúral, hýdroxýmetylfúrfúral (HMF), fenól og ediksýra.

■ *Gerjun hexósa og sífjarlæging etanóls*

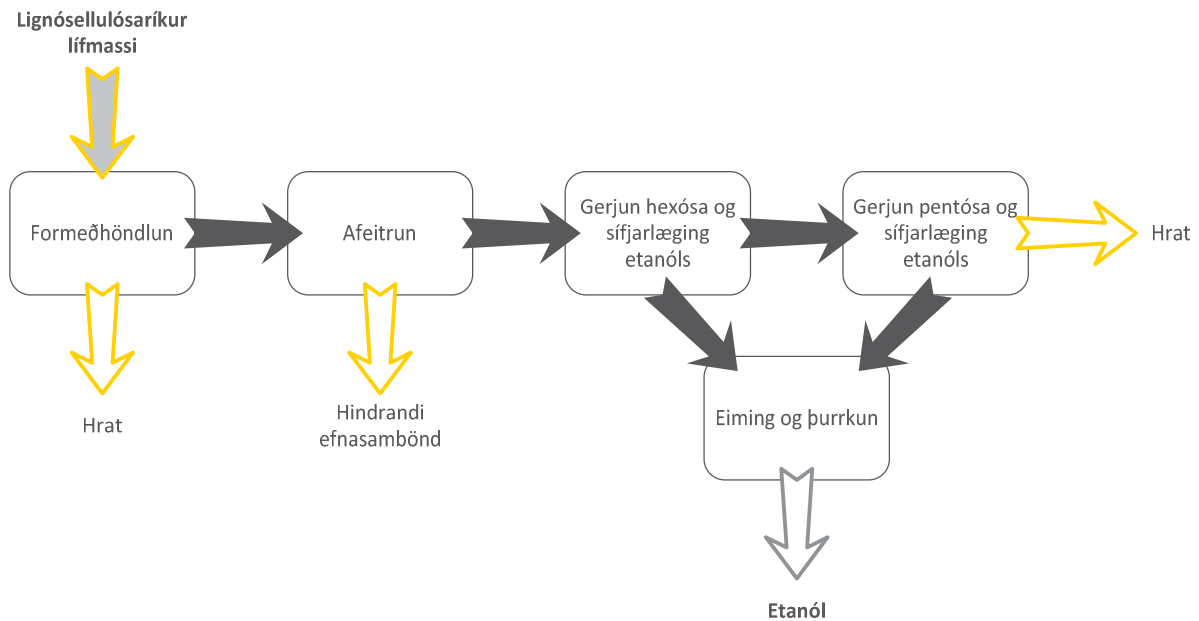
- Samþætt gerjun hexósa (C₆-sykra úr sellulósa og hemisellulósa) með sveppi og sífjarlæging etanóls með flasseimingu.
- Íbót næringarefna (ýmis ólífræn málmsölt, vítamín og steinefni) uppleystum í vatni.

■ *Gerjun pentósa og sífjarlæging etanóls*

- Samþætt gerjun pentósa (C₅-sykra úr hemisellulósa) með hitakærum bakteríum og sífjarlæging etanóls með flasseimingu.
- Íbót næringarefna (ýmis ólífræn málmsölt, vítamín og steinefni) uppleystum í vatni.
- Losun hrats úr kerfi; einkum örverur og ýmis uppleyst og niðurbrotin efni úr lífmassanum (ammóníak, steinefni o.fl.) ásamt næringarefnum sem ekki hafa verið tekin upp af örverum.

■ *Eiming og þurrkun*

- Eiming vatnsblandaðs etanóls frá sífjarlægingareiningum og þurrkun eimaðs etanóls með ásogi vatns.



©Mannvit 2011

Mynd 8: Meginþrep lífetanólframleiðslu úr lignósellulósaríku hráefni – einföld lýsing.

3.1.2 Massa- og varmajafnvægi

Í töflum 2 og 3 er áætluð notkun hráefna, vatns og orku (heits vatns sem varmagjafa og raforku) við framleiðsluna.

Tafla 2: Áætluð notkun hráefna, sem þurrefna, við framleiðslu etanóls. Neðra gildið (skáletrað) á við hráefni með algengu þurrefnishlutfalli (í sviga).

Hráefni	Notkun [kg/L etanól]
Lífmassi	2,9-3,0 4,8-5,3 (60%)
Brennisteinssýra	0,21-0,25 0,22-0,26 (95%)
Natríumhýdroxíð	0,036-0,044 0,12-0,15 (30%)
Ensim	0,027-0,054 0,090-0,18 (30%)
Næringarefni	0,074-0,090

Tafla 3: Áætluð notkun vatns og orku við framleiðslu etanóls.

Veitupjónusta	Notkun
Kalt vatn (5°C)	135-225 L/L etanól
Heitt vatn (kælt úr 70°C í 35°C)	50-84 L/L etanól
Raforka	2,6-3,2 kWh/L etanól

Áætluð orkuþörf framleiðsluferlisins, á því hönnunarstigi sem það er nú, er 1,1-1,6 MW fyrir hver þúsund tonn etanóls í ársframleiðslugetu (158 L/klst.) og skiptist hún í 0,65-1,1 MW í varmaafli og 0,42-0,51 MW í raforkuafli. Gert er ráð fyrir takmarkaðri varmaendurvinnslu (nýtingu spillivarma), en með nýtingu spillivarma innan hvers framleiðsluþreps mætti lækka orkuþörfina í 0,60 MW. Með fullri nýtingu spillivarma, þ.e. innan framleiðsluþrepa og á milli þeirra, mætti lækka orkuþörfina í 0,14 MW. Í töflu 4 kemur fram orkuþörf framleiðsluferlisins, fyrir hver þúsund tonn etanóls í ársframleiðslugetu (158 L/klst.), ásamt orkujafnvægi⁶.

Tafla 4: Áætluð orkuþörf og orkujafnvægi framleiðsluferlis með 1 þús. tonn etanól ársframleiðslugetu (158 L/klst.).

Fyrirkomulag varmaendurvinnslu	Orkuþörf [MW]	Orkujafnvægi
Núverandi hönnunarstig Takmörkuð nýting spillivarma	1,1-1,6	0,58-0,87 : 1
Nýting spillivarma innan framleiðsluþrepa	0,60	1,6 : 1
Full nýting spillivarma Innan og á milli framleiðsluþrepa	0,14	6,6 : 1

Útreikningar benda til að hægt sé að hækka orkujafnvægi framleiðsluferlisins, með varmaendurvinnslu, í a.m.k. 4:1.

Aukamyndefni í ferlinu eru hindrandi efnasambönd ásamt hrati. Áætlað magn aukamyndefna sem myndast við framleiðslu á 1 L af etanóli kemur fram í töflu 5.

Tafla 5: Áætluð myndun aukamyndefna, sem þurrefni, við framleiðslu etanóls. Í sviga (skáletrað) kemur fram áætlað þurrefnisinnihald.

Hráefni	Myndun [kg/L etanól]
Hindrandi efnasambönd	0,41-0,45 (7%, önnur efni 2%)
Hrat (lignín o.þ.h.) Eftir hita- og sýrumeðhöndlun	0,28-0,31 (30%)
Hrat Eftir gerjun pentósa	0,52-0,57 (17%)

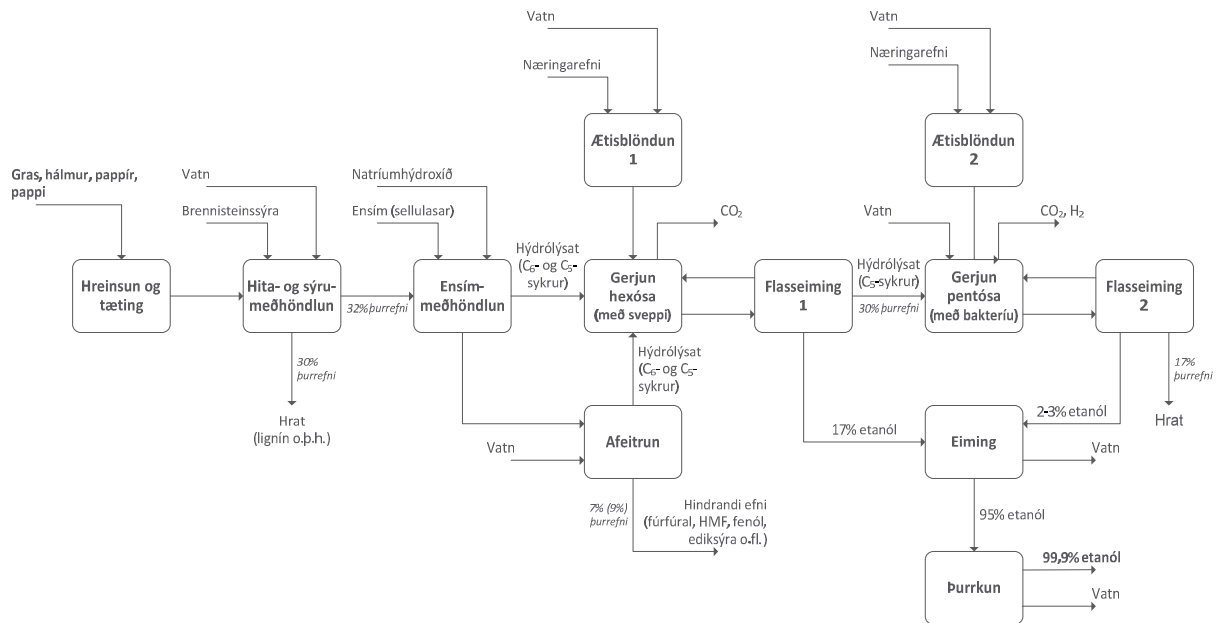
Ítarlegri upplýsingar um það sem fram kemur í þessum kafla eru í skjölum UR-400-004-7.620.216 og UR-800-001-7.620.216.

⁶ Orkujafnvægi (e. energy balance) framleiðsluferlisins táknar hlutfall orku sem bundin er í framleiddu etanóli og notaðri orku til framleiðslunnar. Miðað er við neðra brunagildi etanóls (21,3 MJ/L).

3.2 Tilraunakerfi

3.2.1 Tæknileg útfærsla

Mynd 9 lýsir uppbyggingu tilraunakerfisins sem hannað hefur verið. Kerfið mun verða rekið samfellt og geta framleitt um 1,3 L/klst. af etanóli.



Mynd 9: Þrep í tilraunakerfi. Hindrandi efni geta verið söluhæf efnavara og jafnvel mjög verðmæt séu þau aðgreind og hreinsuð. Hrat má nýta sem lífrænan áburð og jafnvel metangerja áður.

Ítarlegar kerfismyndir fyrir einstaka þrep tilraunakerfis er að finna í skjali *KM-400-001-7.620.216* og samsvarandi tækjalista í skjali *TL-400-001-7.620.216*. Massa- og varmajafnvægi fyrir tilraunakerfið er í skjali *UR-400-001-7.620.216* þar sem fram kemur flæði allra strauma og samsetning þeirra ásamt hitastigi, þrýstingi o.fl. upplýsingum.

Tilraunakerfið er hannað til að afla upplýsinga sem nauðsynlegar eru til að byggja hönnun tilraunaverksmiðju á. Meðal mikilvægra atriða sem rannsaka þarf í 2. þróunaráfanga verkefnisins eru:

- **Áhrif aðstæðna við hita- og sýrumeðhöndlun á myndun hindrandi efna**
 - Sé hægt að draga verulega úr myndun hindrandi efna verður ekki þörf fyrir *afeitrun*. Slíkt myndi lækka fjárfestingarkostnað.
 - Sé hægt að auka verulega myndun hindrandi efna kann framleiðsla þeirra ein og sér að vera áhugaverð, þar sem þau eru almennt mun verðmætari efni en etanól.
- **Sambættingu kerfisins við metangasframleiðslu með loftfirtri gerjun**
 - Mæla þarf metangasheimtur úr hrati frá *hita- og sýrumeðhöndlun* og *flasseimingu 2*. Sé hægt að nýta hrat á hagkvæman hátt til metangasframleiðslu má auka orkuheimtur heildarferlisins töluvert.
 - Áhugavert er að mæla metangasheimtur úr hýdrólýsati eftir *flasseimingu 1*. Þar sem að fjárfestingar- og rekstrarkostnaður við *flasseimingu 2* kann að vera hár, með þeirri tækni sem nú er tiltæk, kann að vera hagkvæmara að framleiða frekar metangas en etanól úr pentósa.

3.2.2 Fjárfestingarkostnaður

Sundurliðaður fjárfestingarkostnaður tilraunakerfis kemur fram í töflu 6. Heildarfjárfestingarkostnaður er áætlaður tæpar 146 milljónir kr. án vsk. Matið er í flokki (e. class) 2-3 skv. aðferðafræði AACE International. Gert er ráð fyrir að *hreinsun og tæting lífmassa* verði aðkeypt þjónusta.

Tafla 6: Áætlaður fjárfestingarkostnaður tilraunakerfis (gert er ráð fyrir að hreinsun og tæting lífmassa verði aðkeypt þjónusta). Fjárhæðir eru í þús. kr. og án vsk. á verðlagi og gengi þann 1.9.2011.

Prep	Tæki og efni	Vinna við uppsetningu	Hönnun og ráðgjöf	Samtals	Hlutfall	Óvissa	Flokkun AACE Int.
Hita- og sýrumeðhöndlun	7.750	1.470	5.770	14.990	10%	10-13%	2
Ensim-meðhöndlun	4.310	1.590	6.130	12.030	8%	10-13%	2
Ætisblöndun 1	610	370	650	1.630	1%	15-20%	3
Gerjun hexósa	2.370	940	3.340	6.650	5%	15-20%	3
Flasseiming 1	3.380	1.370	5.360	10.110	7%	15-20%	3
Ætisblöndun 2	370	340	470	1.180	1%	15-20%	3
Gerjun pentósa	2.690	1.110	3.700	7.500	5%	15-20%	3
Flasseiming 2	3.490	1.450	5.200	10.140	7%	15-20%	3
Eiming	10.370	3.200	18.380	31.950	22%	15-20%	3
Þurrkun	2.410	1.600	5.750	9.760	7%	15-20%	3
Afeitrun	4.810	2.390	8.240	15.440	11%	15-20%	3
Kælivatnskerfi	690	1.600	1.670	3.960	3%	15-20%	3
Vakúmkerfi	900	560	1.020	2.480	2%	15-20%	3
Hitakerfi	220	450	610	1.280	1%	15-20%	3
Sameiginlegt	180	80	550	810	1%	15-20%	3
Ófyrirséð	4.950 (10%)	3.270 (15%)	7.430 (10%)	15.650 (11%)	11%		
Samtals	49.500	21.790	74.270	145.560	100%	12-16%	2-3
Hlutfall	34%	15%	51%	100%			

Stærsti einstaki kostnaðarliðurinn er hönnun og ráðgjöf og er gert ráð fyrir að sú vinna verði aðkeypt á taxta Mannvits. Hönnun og ráðgjöf felur m.a. í sér gerð smíðateikninga, innkaup, eftirlit með uppsetningu ásamt gangsetningu og prófunum.

3.2.3 Rekstrarkostnaður

Sundurliðaður rekstrarkostnaður tilraunakerfis í eitt ár kemur fram í töflu 7 og er hann áætlaður rúmar 55 milljónir kr. án vsk.

Tafla 7: Áætlaður rekstrarkostnaður tilraunakerfis í eitt ár (rúmar 6 þús. klst.). Fjárhæðir eru í þús. kr. og án vsk. á verðlagi og gengi þann 1.9.2011.

Kostnaðarliður	Magn	Einingaverð	Kostnaður	Hlutfall
Lífmassi (60% þurrefnishlutfall)	40.908 kg	100 kr./kg	4.091.800 kr.	7,4%
Brennisteinssýra 95%	1.938 kg	130 kr./kg	251.907 kr.	0,5%
Natriumhýdroxíð 30%	1.072 kg	75 kr./kg	80.434 kr.	0,1%
Næringarefni (sem þurrefni)	661 kg	115 kr./kg	76.133 kr.	0,1%
Ensimblanda (30% virkt efni)	1.350 kg	1.500 kr./kg	2.024.946 kr.	3,7%
Raforka	129.897 kWh	9,0 kr./kWh	1.165.010 kr.	2,1%
Kalt vatn	2.986 m ³	20,0 kr./m ³	59.715 kr.	0,1%
Heitt vatn	333 m ³	100,0 kr./m ³	33.323 kr.	0,1%
Starfsmenn	2.392 klst.	11.000 kr./klst.	26.316.048 kr.	47,6%
Efnagreiningar	150 stk.	15.000 kr./stk.	2.250.000 kr.	4,1%
Húsaleiga („iðnaðarhúsnaði“)	50 m ²	1.000 kr./m ² ·mán.)	600.000 kr.	1,1%
Viðhald/breytingar (hlutfall af fjárfestingu)	5,0%		7.278.000 kr.	13,2%
Ófyrirséð			11.056.579 kr.	20,0%
Samtals			55.282.895 kr.	100,0%

Stærsti einstaki kostnaðarliðurinn er vinna starfsmanna og er umfang hennar áætlað rúmt 1,3 ársverk. Rekstur tilraunakerfisins krefst sértækrar menntunar á sviðum verk-, efna- og líffræði og yrði hann því í höndum a.m.k. tveggja reynslumikilla einstaklinga. Því er gert ráð fyrir að rekstraraðili tilraunakerfisins kaupi að þessa vinnu og er miðað við frekar hóflegan útsölutaxta ráðgjafa við mat á starfsmannakostnaði.

3.3 Tilraunaverksmiðja

3.3.1 Framleiðslugeta ásamt lífmassa- og orkupörf

Gert er ráð fyrir að tilraunaverksmiðjan geti framleitt 158 L/klst. af etanóli sem samsvara um 1 þús. tonnum á ári miðað við 8 þús. rekstrarstundir. Til framleiðslunnar þyrftu þá um 6,1-6,7 þús. tonn af lífmassa með 60% þurrefnishlutfalli, 64-106 þús. m³ af 70°C heitu vatni og 3,4-4,1 TWh af raforku. Varmaafli tilraunaverksmiðju væri því 0,78-0,96 MW og raforkuaflið 0,42-0,51 MW.

3.3.2 Fjárfestingarkostnaður

Sundurliðaður fjárfestingarkostnaður 1 þús. tonn/ár tilraunaverksmiðju kemur fram í töflu 8. Heildarfjárfestingarkostnaður er áætlaður 2,7 milljarðar kr. án vsk. Matið er í flokki 4 skv. aðferðafræði AACE International og er óvissa þess ±40%.

Tafla 8: Áætlaður fjárfestingarkostnaður 1 þús. tonn/ár tilraunaverksmiðju. Fjárhæðir eru í milljónum kr. og án vsk. á verðlagi og gengi þann 1.9.2011.

Kostnaðarliður	Kostnaður	Hlutfallslegur kostnaður	Óvissa (±)
Tækjabúnaður	640	23%	25%
Uppsetning tækjabúnaðar	517	19%	47%
Pípulagnir	224	8%	47%
Undirstöður (stál, steinsteypa)	190	7%	47%
Raflagnir	61	2%	47%
Stjórnubúnaður	88	3%	47%
Byggingar, forða- og afurðageymsla	306	11%	47%
Jarðvinna og undirbúningur svæðis	68	3%	47%
Vinna verktaka	279	10%	47%
Hagnaður verktaka og stjórnun	116	4%	47%
Ófyrirséð	230	8%	25%
Samtals	2.719	100%	40%

3.3.3 Rekstrarkostnaður

Sundurliðaður árlegur rekstrarkostnaður 1 þús. tonn/ár tilraunaverksmiðju kemur fram í töflu 9. Í heildina er árlegur rekstrarkostnaður metinn rúmar 294 milljónir kr. og er óvissa matsins ±23%.

Tafla 9: Áætlaður árlegur rekstrarkostnaður 1 þús. tonn/ár tilraunaverksmiðju. Fjárhæðir eru án vsk. á verðlagi og gengi þann 1.9.2011 (kk. = þús. kr.).

Kostnaðarliður	Magn	Einingaverð	Kostnaður (meðaltal)	Hlutfallslegur kostnaður	Óvissa (±)
Lifmassi (60% þurrefnishlutfall)	6.103-6.746 tonn	16-19 kkr./tonn	112.913 kkr.	39%	14%
Brennisteinssýra 95%	274-335 tonn	40-45 kkr./tonn	13.010 kkr.	5%	16%
Natriumhydroxíð 30%	152-168 tonn	25-30 kkr./tonn	4.421 kkr.	2%	14%
Næringarefni (sem þurrefni)	93-114 tonn	70-80 kkr./tonn	7.836 kkr.	3%	17%
Ensimblanda (30% virkt efni)	192-384 tonn	88-132 kkr./tonn	33.755 kkr.	12%	50%
Raforka	3.358-4.105 MWh	6,7-7,4 kkr./MWh	26.491 kkr.	9%	15%
Kalt vatn	168.775-281.292 m ³	0,014 kkr./m ³	3.150 kkr.	1%	25%
Heitt vatn	63.848-106.414 m ³	0,048-0,098 kkr./m ³	6.702 kkr.	2%	54%
Laun og launatengd gjöld			39.390 kkr.	14%	25%
Viðhald (hlutfall af fjárfestingu)	2,5%		16.797 kkr.	4%	43%
Ófyrirséð			29.385 kkr.	10%	23%
Samtals			293.851 kkr.	100%	23%

3.3.4 Rekstrartekjur

Sundurliðaðar árlegar rekstrartekjur 1 þús. tonn/ár tilraunaverksmiðju kemur fram í töflu 10. Í heildina eru árlegar rekstrartekjur metnar rúmar 166 milljónir kr. og er óvissa matsins ±13%.

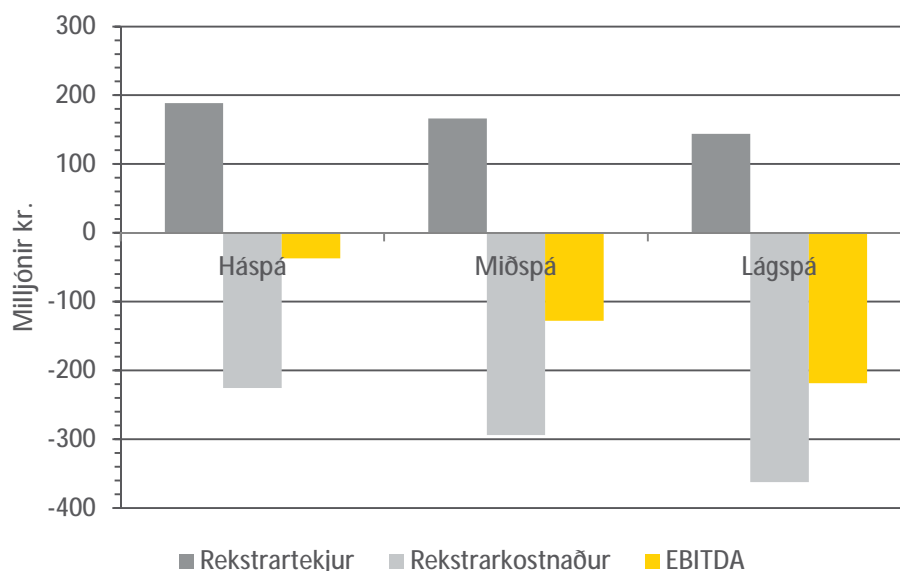
Tafla 10: Áætlaðar árlegar rekstrartekjur 1 þús. tonn/ár tilraunaverksmiðju. Fjárhæðir eru án vsk. á verðlagi og gengi þann 1.9.2011 (kk. = þús. kr.).

Tekjuliður	Magn	Einingaverð	Tekjur (meðaltal)	Hlutfallslegar tekjur	Óvissa (±)
Etanól	1.000 tonn	128-163 kkr./tonn	145.273 kkr.	87%	12%
Efnavara (sem þurrefni)	513-567 tonn	20-30 kkr./tonn	13.634 kkr.	8%	25%
Liffrænn áburður (sem þurrefni)	197-218 tonn	30-40 kkr./tonn	7.327 kkr.	4%	19%
Samtals			166.235 kkr.	100%	13%

Tekjur af sölu etanóls eru áætlaðar þ.a. gert er ráð fyrir að orkuígildi etanóls og bensíns muni kosta það sama í smásölu (þ.e. „af dælu“). Þá er miðað við að bensín muni kosta 238,5-291,5 kr./L með vsk. í smásölu og verður það að teljast varleg spá. Einnig er gert ráð fyrir að endurnýjanlegt eldsneyti verði áfram undanþegið vörugjöldum, en í dag leggst vörugjald á bensín⁷ að upphæð 23,86 kr./L auk sérstaks vörugjalds að upphæð 38,55 kr./L. Endurnýjanlegt eldsneyti er undanþegið kolefnisgjaldi sem í dag nemur 3,80 kr. á hvern seldan lítra bensíns⁸. Jafnframt er gert ráð fyrir að kostnaður við dreifingu sé að jafnaði 10 kr./L óháð eldsneytistegund og að framlegð smásöluaðilla sé um 20 kr./L í tilfalli bensíns. Spáin er því sú að etanól muni kosta 155,6-190,2 kr./L með vsk. í smásölu og tekjur etanólframleiðanda muni því nema um 101-143 kr./L eða um 128-163 kr./kg.

3.3.5 Hagkvæmni

Miðað við núverandi tækniútfærslu yrði rekstur tilraunaverksmiðju ekki hagkvæmur. Rekstrarkostnaður yrði alltaf hærri en rekstrartekjur, þ.e. árlega EBITDA yrði neikvæð um í minnsta lagi um 37 milljónir kr., en í mesta lagi um 218 milljónir kr. eins og fram kemur á mynd 10.



Mynd 10: Árleg niðurstaða af rekstri 1 þús. tonn/ár tilraunaverksmiðju.

3.4 Verksmiðja í fullri stærð

3.4.1 Framleiðslugeta ásamt lífmassa- og orkuþörf

Gert er ráð fyrir að verksmiðja í fullri stærð geti framleitt rúma 2,3 m³/klst. af etanóli sem samsvara um 15 þús. tonnum á ári miðað við 8 þús. rekstrarstundir. Til framleiðslunnar þyrftu þá um 92-101 þús. tonn af lífmassa með 60% þurrefnishlutfalli, 1,0-1,6 milljón m³ af 70°C heitu vatni og 50-62 TWh af raforku. Varmaafli verksmiðjunnar væri því 12-14 MW og raforkuaflið 6,3-7,7 MW.

⁷ Lög um vörugjald af ökutækjum, eldsneyti o.fl. nr. 29/1993 (með síðari breytingum/viðbótum).

⁸ Lög um umhverfis- og auðlindaskatta nr. 129/2009 (með síðari breytingum/viðbótum).



3.4.2 Fjárfestingarkostnaður

Sundurliðaður fjárfestingarkostnaður 15 þús. tonn/ár verksmiðju kemur fram í töflu 11. Heildarfjárfestingarkostnaður er áætlaður um 15 milljarðar kr. án vsk. Matið er í flokki 5 skv. aðferðafræði AACE International og er óvissa þess $\pm 49\%$.

Tafla 11: Áætlaður fjárfestingarkostnaður 15 þús. tonn/ár verksmiðju. Fjárhæðir eru í milljónum kr. og án vsk. á verðlagi og gengi þann 1.9.2011.

Kostnaðarliður	Kostnaður	Hlutfallslegur kostnaður	Óvissa (\pm)
Tækjabúnaður	3.454	23%	29%
Uppsetning tækjabúnaðar	2.894	19%	58%
Pípulagnir	1.257	8%	58%
Undirstöður (stál, steinsteypa)	1.066	7%	58%
Raflagnir	343	2%	58%
Stjórnubúnaður	495	3%	58%
Byggingar, forða- og afurðageymsla	1.714	11%	58%
Jarðvinna og undirbúningur svæðis	381	3%	58%
Vinna verktaka	1.561	10%	58%
Hagnaður verktaka og stjórnun	647	4%	58%
Ófyrirséð	1.243	8%	29%
Samtals	15.054	100%	49%

3.4.3 Rekstrarkostnaður

Sundurliðaður árlegur rekstrarkostnaður 15 þús. tonn/ár verksmiðju kemur fram í töflu 12. Í heildina er árlegur kostnaður metinn tæpir 2,8 milljarðar kr. og er óvissa matsins $\pm 37\%$.

Tafla 12: Áætlaður árlegur rekstrarkostnaður 1 þús. tonn/ár tilraunaverksmiðju. Fjárhæðir eru án vsk. á verðlagi og gengi þann 1.9.2011 (kkf. = þús. kr.).

Kostnaðarliður	Magn	Einingaverð	Kostnaður (meðaltal)	Hlutfallslegur kostnaður	Óvissa (±)
Lífmassi (60% þurrefnishlutfall)	91.551-101.188 tonn	6-9 kkr./tonn	730.000 kkr.	27%	25%
Brennisteinssýra 95%	4.108-5.021 tonn	35-40 kkr./tonn	172.324 kkr.	6%	17%
Natríumhýdroxíð 30%	2.274-2.526 tonn	20-25 kkr./tonn	54.319 kkr.	2%	16%
Næringarefni (sem þurrefni)	1.401-1.713 tonn	60-75 kkr./tonn	106.256 kkr.	4%	21%
Ensímblanda (30% virkt efni)	2.883-5.767 tonn	66-110 kkr./tonn	411.392 kkr.	15%	54%
Raforka	50.375-61.569 MWh	5,2-7,4 kkr./MWh	358.672 kkr.	13%	27%
Kalt vatn	2.531.625-4.219.375 m ³	0,014 kkr./m ³	47.257 kkr.	2%	25%
Heitt vatn	957.722-1.596.204 m ³	0,048-0,097 kkr./m ³	100.537 kkr.	4%	54%
Laun og launatengd gjöld			101.400 kkr.	4%	25%
Viðhald (hlutfall af fjárfestingu)	2,5%		413.432 kkr.	15%	63%
Ófyrirséð			277.288 kkr.	10%	37%
Samtals			2.772.878 kkr.	100%	37%

3.4.4 Rekstrartekjur

Sundurliðaðar árlegar rekstrartekjur 15 þús. tonn/ár verksmiðju kemur fram í töflu 13. Í heildina eru árlegar rekstrartekjur metnar tæpir 2,5 milljarðar kr. og er óvissa matsins ±13%. Forsendur mats á söluverði afurða er sama og fyrir tilraunaverksmiðju (sjá kafla 3.3.4).

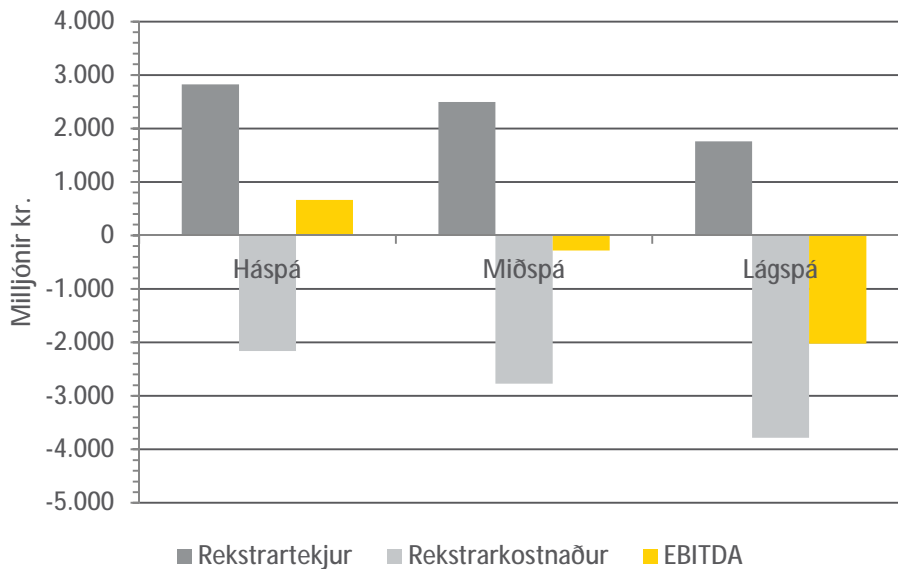
Tafla 13: Áætlaðar árlegar rekstrartekjur 15 þús. tonn/ár verksmiðju. Fjárhæðir eru án vsk. á verðlagi og gengi þann 1.9.2011 (kkf. = þús. kr.).

Tekjuliður	Magn	Einingaverð	Tekjur (meðaltal)	Hlutfallslegar tekjur	Óvissa (±)
Etanól	15.000 tonn	128-163 kkr./tonn	2.179.101 kkr.	87%	12%
Efnavara (sem þurrefni)	7.695-8.505 tonn	20-30 kkr./tonn	204.514 kkr.	8%	25%
Lífrænn áburður (sem þurrefni)	2.962-3.274 tonn	30-40 kkr./tonn	109.909 kkr.	4%	19%
Samtals			2.493.524 kkr.	100%	13%



3.4.5 Hagkvæmni

Miðað við núverandi tækniútfærslu er óljóst hvort rekstur 15 þús. tonn/ár verksmiðju sé hagkvæmur, enda þróunarferli framleiðsluaðferðarinnar enn skammt á veg komið og óvissa mikil. Niðurstöður, sem fram koma í köflum 3.4.3 og 3.4.4, benda til þess að miðað við núverandi tækniútfærslu geti EBITDA í besta falli orðið jákvæð um 666 milljónir kr. og í versta falli neikvæð um 2.025 milljónir kr. eins og fram kemur á mynd 11.



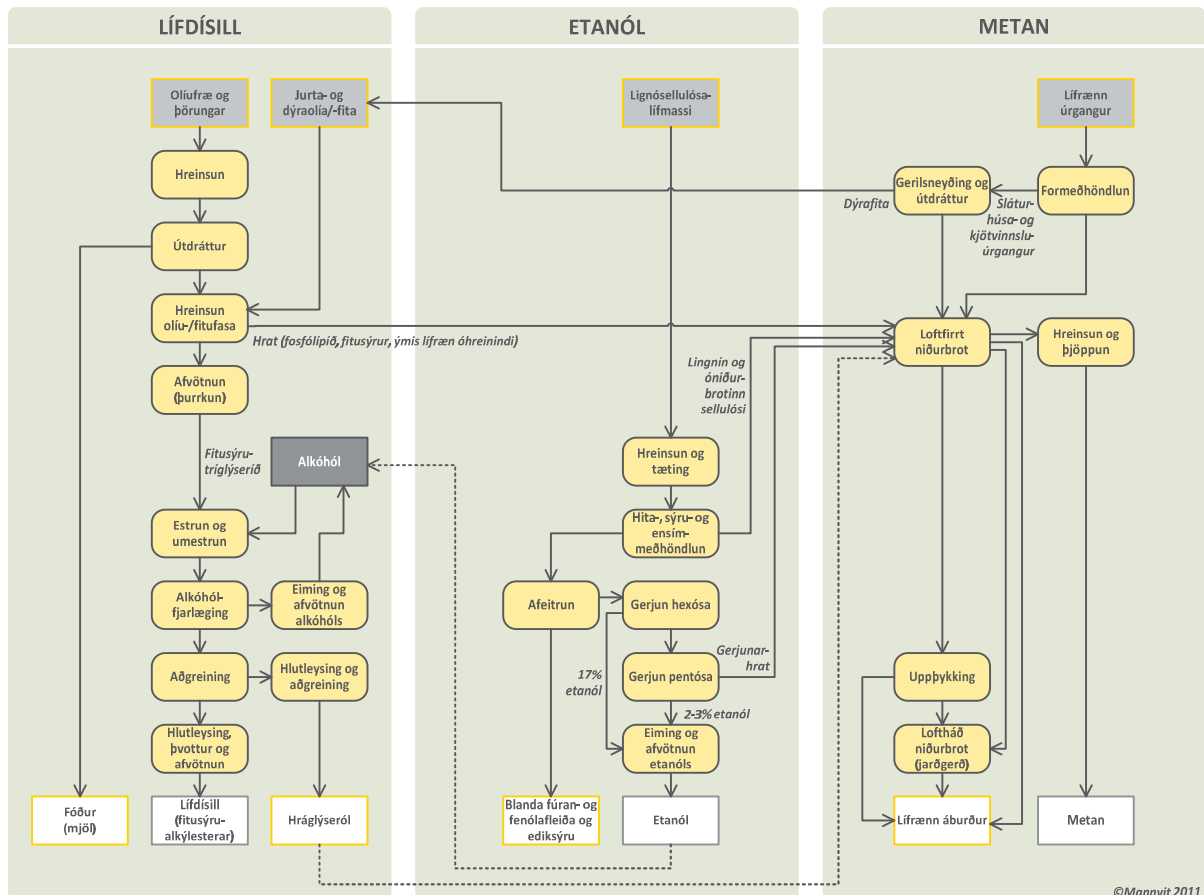
Mynd 11: Árleg niðurstaða af rekstri 15 þús. tonn/ár verksmiðju.

Á þessu stigi, þar sem óvissa er mjög mikil, er ekki ástæða til frekari greiningar á hagkvæmni. Líklega þarf þó árleg EBITDA þarf að vera töluvert hærra en háspá gerir ráð fyrir (sjá mynd 11) til að áætluð fjárfesting verði arðbær (sjá kafla 3.4.2).

Í kafla 5 er rætt um markmið þróunarvinnu í 2. og 3. áfanga til að auka mögulega arðsemi framleiðslunnar.

4 Lífmassaver

Mögulegt er að samþætta framleiðslu etanóls framleiðslu annarra tegunda lífildsneytis í sk. lífmassaveri (e. biorefinery), s.s. lífdísils og metans. Það væri gert með því að nýta etanól til lífdísilframleiðslu annars vegar og hins vegar óniðurbrotinn sellulósa og gerjunarhrat til metanframleiðu eins og fram kemur á mynd 12. Jafnframt mætti samþætta framleiðslu lífdísils og metans.



Mynd 12: Samþætting framleiðslu lífdísils, etanóls og metans í lífmassaveri.

Hráefni til framleiðslunnar væru ýmsar gerðir lífmassa, s.s. lífrænn úrgangur frá fyrirtækjum, landbúnaði og heimilum ásamt ræktuðum plöntum og þörungum. Aukaafurðirnar, sem falla myndu til við framleiðsluna, væri hægt að vinna frekar og nýta í iðnaði og landbúnaði.

Samþætting framleiðsluferla myndi stuðla að betri nýtingu lífmassans og meiri eldsneytisheimtum en væru þau rekin sem aðskildar einingar. Sem dæmi má nefna að metangerjun óniðurbrotins sellulósa og hrats frá 15 þús. tonn/ár etanólverksmiðju gæti gefið a.m.k. 250-500 þús. Nm³ árlega af metangasi⁹.

⁹ Orkuinnihald í 1 Nm³ af hreinu metangasi er jafn mikið og í 1,3 kg (1,7 L) af etanóli. Því jafngilda 250-500 þús. Nm³ af metangasi um 330-660 tonnum af etanóli, eða rúmum 2-4% af ársframleiðslu verksmiðjunnar.



5 Markmið og framtíðarsýn

5.1 Tilraunakerfi – 2. þróunaráfangi

Takist að fjármagna næsta hluta verkefnisins, 2. þróunaráfanga, verður tilraunakerfi sett upp. Rekstur tilraunakerfis er nauðsynlegur fyrir frekari þróunarvinnu og ítarlegra mat á hagkvæmni. Sem dæmi um mikilvægar spurningar sem svara þarf eru hvort að hægt sé að formeðhöndla lífmassa án notkunar sýru og/eða ensíma og hvort hægt sé að stýra myndun hindrandi efnasambanda í formeðhöndlunarferlinu. Aðrar mikilvægar spurningar eru t.d. hvort hægt sé að einangra og aðgreina þessi efnasambönd á hagkvæman hátt þ.a. þau geti orðið verðmæt söluvara ásamt því hvort að hægt sé að auka þol baktería fyrir hvarfefnum og afurðum.

5.2 Tilraunaverksmiðja (1 þús. tonn/ár) – 3. þróunaráfangi

Leiði rekstur tilraunakerfis til umbóta á framleiðsluferlinu þ.a. hagkvæmni þess verði ljós þarf að fjármagna hönnun og byggingu 1 þús. tonn/ár tilraunaverksmiðju ásamt rekstri hennar, frá ársbyrjun 2015, í tvö ár. Rekstur tilraunaverksmiðju mun leiða til umbóta á framleiðsluferli.

Þar sem að framleiðsla lífetanóls úr lignósellulósaríku hráefni er tiltölulega ný af nálinni er óþægðir akur á því sviði í flestum löndum heims. Hugsanlega yrði hægt að markaðssetja erlendis og selja þá þekkingu sem fengist með rekstri tilraunaverksmiðjunnar – sérstaklega samþættingu hennar við jarðvarmanýtingu.

5.3 Verksmiðja (15 þús. tonn/ár)

Staðfesti þær upplýsingar sem fást munu með rekstri tilraunaverksmiðjunnar hagkvæmni framleiðsluferlisins verður 15 þús. tonn/ár verksmiðja fjármögnuð og hæfist rekstur hennar í byrjun árs 2018. Nýtt verður jarðgufa eða spillivarmi frá jarðvarmavirkjunum eða iðnaði við framleiðsluna. Jafnframt verður framleiðslan „samþætt“ framleiðslu annarra tegunda lífelfsneytis, sé þess kostur, þ.a. verksmiðjan verði hluti lífmassavers.

Framleiðslan myndi draga úr notkun erlends jarðefnaeldsneytis og auka hagvöxt. Jafnframt myndi framleiðslan stuðla að bættu orkuöryggi. Síðast, en ekki síst, myndi notkun etanóls draga úr losun gróðurhúsalofttegunda í samanburði við notkun bensíns.

Heimildaskrá

Græna orkan, verkefnisstjórn um orkuskipti í samgöngum. (2011). *Orkuskipti í samgöngum - Stefnumótun, markmiðasetning og aðgerðaáætlun*. Reykjavík: Iðnaðarráðuneytið.

International Energy Agency (IEA). *op. cit. note 26*.

International Energy Agency (IEA). (2006). *World Energy Outlook 2006*. Paris: OECD/IEA.

Orkuspánefnd. (2008). *Eldsneytisspá 2008-2050*. Reykjavík: Orkustofnun.

Refuel. (án dags.). *Bioethanol*. Sótt 25. mars 2012 frá Refuel:
<http://www.refuel.eu/biofuels/bioethanol/>

REN21. (2011). *Renewables 2011 - Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat.

Reynisdóttir, D. B., & Ívarsson, Á. (2008). *Blöndun etanóls í bensín. Úttekt á notkunarmöguleikum og takmörkunum*. Akureyri: VGK-Hönnun.

SEKAB. (án dags.). *E-techprocessen*. Sótt 25. mars 2012 frá SEKAB:
<http://www.sekab.se/cellulosaetanol/e-techprocessen/>

Wikipedia. (25. mars 2012). *Biofuel*. Sótt 25. mars 2012 frá Wikipedia:
<http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Biofuel&oldid=483015753>

Wikipedia. (23. mars 2012). *Common ethanol fuel mixtures*. Sótt 26. mars 2012 frá Wikipedia:
http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Common_ethanol_fuel_mixtures&oldid=483575737

Wikipedia. (23. mars 2012). *Ethanol fuel by country*. Sótt 26. mars 2012 frá Wikipedia:
http://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol_fuel_by_country