



## **Sláturúrgangur í nýju ljósi**

Samanburður á fjórum förgunar- og nýtingarleiðum



Sigrún Guðmundsdóttir



**Líf- og umhverfisvísindadeild  
Háskóli Íslands  
2011**



**Sláturúrgangur í nýju ljósi**  
**Samanburður á fjórum förgunar- og nýtingarleiðum**

Sigrún Guðmundsdóttir

30 eininga ritgerð sem er hluti af  
*Magister Scientiarum* gráðu í umhverfis- og auðlindafræði

Leiðbeinendur  
Jón Guðmundsson LbhÍ  
Þóroddur Sveinsson LbhÍ  
Brynhildur Davíðsdóttir HÍ

Prófdómari  
Fanney Frisbæk

Líf- og umhverfisvísindadeild  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
Reykjavík, september 2011

Sláturúrgangur í nýju ljósi. Samanburður á fjórum förgunar- og nýtingarleiðum  
30 eininga ritgerð sem er hluti af *Magister Scientiarum* gráðu í umhverfis- og  
auðlindafræði

Höfundarréttur © 2011 Sigrún Guðmundsdóttir  
Öll réttindi áskilin

Líf- og umhverfisvísindadeild  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
Askja, Sturlugötu 7  
107 Reykjavík

Sími: 525 4000

Skráningarupplýsingar:  
Sigrún Guðmundsdóttir, 2011, *Sláturúrgangur í nýju ljósi, Samanburður á fjórum  
förgunar- og nýtingarleiðum*, meistararitgerð, Líf- og umhverfisvísindadeild, Háskóli  
Íslands, 108 bls.

Prentun: Háskólaprent ehf.  
Reykjavík, september 2011

Hér með lýsi ég því yfir að ritgerð þessi er samin af mér og að hún hefur hvorki að hluta né  
í heild verið lögð fram áður til hærri prófgráðu.

# Útdráttur

Sláturúrgangur hefur áratugum saman einfaldlega verið urðaður hér á landi, þótt ríkur sé bæði af orku og næringarefnum. Hvorttveggja getur valdið umhverfisálagi, til dæmis myndast orkuríkt metangas við loftfirrt niðurbrot lífræns úrgangs í urðunarhaug, en það er jafnframt öflug gróðurhúsalofttegund. Meðal næringarefna í sláturúrgangi eru fosfór, kalíum og köfnunarefni. Með markvissum aðgerðum má vinna hluta orkunnar og næringarefnanna úr sláturúrganginum og draga úr umhverfisáhrifum förgunar hans. Í þessu verkefni eru fjórar nýtingar- og förgunarleiðir bornar saman: Urðun, með og án gassöfnunar (Urðun I og Urðun 0), jarðgerð og gasgerð. Orkuflæði, hráefnaflæði og umhverfisáhrif (gróðurhúsaáhrif) þessara mismunandi leiða eru greind með kerfisgreiningaraðferðum. Miðað við gefnar forsendur eru helstu niðurstöður að í gasgerðarstöð má vinna 4.120 MJ orku á formi metans úr hverju tonni sláturúrgangs en 3.483MJ/t sláturúrgang úr urðunarhaug (fræðilegt mat). Hvorki urðun án gassöfnunar né jarðgerð gefa nýtanlega orku. Áætlað vinnanlegt magn næringarefna í tonni sláturúrgangs eru 3kg fosfór, 2kg kalíum og 14kg köfnunarefni. Þessi næringarefni glatast í báðum urðunarferlum en reiknað er með að fosfór og kalíum skili sér að fullu í gasgerð og jarðgerð. 70% köfnunarefnis skila sér innan fárra ára úr gasgerðarafurð, en 40% úr jarðgerðarafurð. Einn umhverfisálagspáttur, losun gróðurhúsalofttegunda, var metinn í verkefninu. Hlýnunarmáttur gasgerðar reyndist 13kg CO<sub>2</sub>íg/t sláturúrgangs, jarðgerðar 113kg CO<sub>2</sub>íg/t sláturúrgangs en hlýnunarmáttur urðunar 0 var 3.093kg CO<sub>2</sub>íg/t sláturúrgangs og urðunar I 741kg CO<sub>2</sub>íg/t sláturúrgangs. Fyllri mynd af vægi afurðanna m.t.t. sjálfbærni fékkst með samanburði við hefðbundna orku- og næringarefnagjafa. Hlýnunarmáttur bensíns er 72g CO<sub>2</sub>íg/MJ (fólksbíl), á móti aðeins 0,9g CO<sub>2</sub>íg /MJ (fólksbíl) í tilfelli metans unnu úr lífrænum úrgangi. Þá krefst framleiðsla og flutningur tilbúins áburðar með sama NPK-innihald og 1 tonn sláturúrgangs svipaðrar orku (797MJ) og sem nemur heildarorkuþörf við meðhöndlun 1 tonns sláturúrgangs í gasgerðarstöð (813,4MJ) miðað við gefnar forsendur.

# Abstract

In Iceland, animal byproduct has been dumped in landfills for decades, in spite of being rich of energy and nutrients such as phosphorus, potassium and nitrogen. Anaerobic digestion of biowaste produces methane, a high-energy gas and a powerful greenhouse-gas. In badly managed landfills, the gas and nutrients can have a considerable, negative environmental impact. Using other methods, part of the animal byproducts' energy and nutrients can be „harvested,“ reducing the environmental impact of its disposal proportionally. In this paper, four methods of treating animal byproduct are analyzed and compared, applying a combination of lifecycle-analysis, material-flow-analysis and energy-flow-analysis. The methods are: Landfill, with and without collecting methane (landfill I and landfill 0); composting, and gas-plant. The main findings are as follows: In a gas-plant, 4.120 MJ's worth of methane can be harvested from 1t of animal byproduct, compared to 2.681 MJ's from a methane-collecting landfill. Composting and landfill without methane-harvesting produce no usable energy. Each ton of animal byproduct contains approximately 3kg of phosphorus, 2kg of potassium and 14kg of nitrogen. In landfills, all this is lost. Composting and a gas-plant fully preserve phosphorus and potassium, and partly nitrogen (composting 40%, gas plant 70%). One environmental impact factor, i.e. greenhouse gas emissions, is assessed in this paper, The global warming potential of the gasplant turns out to be 13kgCO<sub>2</sub>eq./ton animal byproduct (a.b.), vs. 113,0kg CO<sub>2</sub>eq. /ton a.b. for composting, 3.093kg CO<sub>2</sub>eq. /t a.b. for landfill 0 and 741kg CO<sub>2</sub>eq. /ton a.b. for landfill I. In the context of sustainability, the value of these products is underlined by comparison with common, commercial forms of energy and fertilizer. The carbon dioxide-equivalents (CO<sub>2</sub>eq.) of gasoline are 72g/MJ (family car) compared to only 0,9g/MJ for methane harvested from biowaste. Furthermore, the production and transport of commercial fertilizer with an NPK-content equalling that of a ton of animal byproduct demands more energy (797MJ) than the total energy needed for the entire processing of said ton in a gas plant (813,4MJ).

*Fyrir náttúruna,  
er hluti hennar - ekkert án hennar.  
Enginn án hennar.*





# Formáli

Þetta verkefni er liður í verkefninu Nýting á lífrænum úrgangi (NÁL) sem er samvinnuverkefni Landbúnaðarháskóla Íslands, Sorpu b.s., Metans h.f. og verkfræðistofunnar Mannvits, að auki hafa ýmsir fleiri aðilar komið að einstökum þáttum verkefnisins. Verkefnið hefur verið styrkt af Umhverfis- og orkusjóði Orkuveitu Reykjavíkur og Orkusjóði Iðnaðarráðuneytisins.

Markmið NÁL er:

"... að skoða sem flestar hliðar á nýtingu lífræns úrgangs og leggja mat á ávinning og kostnað hvort heldur hann er umhverfislegur, orkulegur eða fjárhagslegur. Einnig að leita leiða til að auka þann ávinning og draga úr slíkum kostnaði..." (lbhi.is/metan, 2011).

Verkefnið sem hér er gerð grein fyrir beinist að því að meta ávinning af nýtingu lífræns úrgangs frá landbúnaði, nánar tiltekið sláturúrgangs, til metangasframleiðslu. Nýting sláturúrgangsins sem hráefni í gasgerðarstöð er borin saman við þrjár aðrar nýtingar- og/eða förgunaraðferðir. Auk þess að skoða beislun orku úr úrganginum er nýting næringarefna úrgangsins greind, og gróðurhúsaáhrif meðhöndlunaraðferðanna fjögurra metin.

Ástæða þess að hér er fjallað um sláturúrgang sérstaklega er sú, að hann hefur áratugum saman verið urðaður víða um landið, en ekki verður séð að urðun sé heppilegur farvegur þessa úrgangsflokks. Sláturúrgangur er orku- og næringarefnaríkur og hann ber því að nýta eins og frekast er unnt. Þar sem jarðefnaeldsneyti og ýmsar aðrar mikilvægar auðlindir ganga á endanum til þurrðar, og það jafnvel fyrr en síðar, er mikilvægt að nýta til fulls þær auðlindir sem við höfum aðgang að. Eins skiptir það höfuðmáli að draga úr umhverfisálagi hvers konar.

Ofangreindum aðilum, auk vinnuveitanda míns, Umhverfisstofnun, þakka ég m.a. fjárhagslegan stuðning. Að lokum þakka ég aðstandendum mínum, dóttur minni Eddu Karólínu Ævarsdóttur fyrir myndirnar, eiginmanninum Ævari Erni Jósepssyni fyrir aðstoð við að gera textann læsilegan, foreldrum mínum fyrir hjálp með gögn, leiðréttingar og ýmsan annan stuðning og Birnu Sigrúnu Hallsdóttur fyrir fagleg ráð. Jóni Guðmundssyni þakka ég fyrir jákvæðni, hvatningu og góðar tillögur, Þóroddi Sveinssyni fyrir sinn þátt og Brynhildi Davíðsdóttur fyrir gagnlegar leiðbeiningar



# Efnisyfirlit

Tölur .....	11
Myndir .....	13
Skammstafanir.....	15
<b>1 Inngangur .....</b>	<b>17</b>
1.1 Leiðarvísir .....	20
<b>2 Aðferðafræði.....</b>	<b>23</b>
2.1 MFA og orkugreining.....	24
2.2 Lífsferilsgreiningar .....	25
<b>3 Nytja- og umhverfisgreining: Slátur-úrgangur .....</b>	<b>31</b>
3.1 Markmið, umfang og aðferðafræði .....	31
3.2 Aðgerðareining.....	32
3.3 Ferlar,kerfi, kerfisstækkun og kerfismörk.....	32
3.4 Álagsmat.....	36
3.5 Heimildanotkun og gögn.....	37
<b>4 Bókhald verkefnis .....</b>	<b>39</b>
4.1 Helstu þættir og aðstæður .....	39
4.2 Sláturúrgangur .....	39
4.3 Orkan .....	41
4.3.1 Orkugjafar og notkun þeirra.....	42
4.3.2 Orkunotkun .....	43
4.4 Umhverfisálag vegna orkunotkunar .....	45
4.5 Gasgerð.....	46
4.5.1 Næringarefni .....	47
4.5.2 Orka.....	48
4.5.3 Umhverfisálag.....	51
4.6 Jarðgerð .....	52
4.6.1 Næringarefni .....	55
4.6.2 Orka.....	56
4.6.3 Umhverfisálag.....	58
4.7 Urðun.....	60
4.7.1 Næringarefni .....	64
4.7.2 Orka.....	64
4.7.3 Umhverfisálag.....	68
<b>5 Niðurstöður.....</b>	<b>71</b>
5.1 Skil næringarefna .....	71
5.2 Orkubúskapur .....	72
5.3 Álagsmat.....	74
5.4 Samantekt niðurstaðna .....	76

<b>6 Umræða um óvissu .....</b>	<b>79</b>
<b>7 Umræður og ályktanir .....</b>	<b>81</b>
<b>8 Heimildaskrá.....</b>	<b>87</b>
<b>9 Viðauki I.....</b>	<b>97</b>
<b>Viðauki II.....</b>	<b>101</b>
<b>10 Viðauki III.....</b>	<b>103</b>
<b>11 Viðauki IV .....</b>	<b>107</b>

# Töflur

Tafla 3-1 Hlýnunarmáttur nokkurra lofitegunda á þyngdareiningu (m.v. 100 ár) .....	37
Tafla 4-1 Efnainnihald á hvert tonn sláturúrgangs, árlegt heildarmagn og metanmyndun .....	40
Tafla 4-2. Magn næringarefna í sláturúrgangi .....	40
Tafla 4-3. Metanafrakstur nokkurra hráefna (gróf samantekt) <sup>a</sup> .....	41
Tafla 4-4. Orkugjafar og PE-stuðlar þeirra .....	42
Tafla 4-5. Orkugjafar fyrir flutninga og meðhöndlun sláturúrgangs.....	43
Tafla 4-6 Orkunotkun við framleiðslu N, P og K áburðar .....	44
Tafla 4-7 Staðsetning ferilþátta, helstu vegalengdir og orkunotkun. ....	44
Tafla 4-8 Orkunotkun við áburðarflutninga frá Rotterdam til Eyjafjarðar .....	44
Tafla 4-9 Útblástur gróðurhúsalofttegunda við eldsneytisnotkuna flutningabíla og vinnuvél.....	45
Tafla 4-10 GHL-losun á orkueiningu raforku <sup>a,b</sup> .....	45
Tafla 4-11 Losun GHL vegna orkunotkunar við framleiðslu tilbúins áburðar <sup>a</sup> .....	46
Tafla 4-12 Næringarefni í sláturúrgangi og hrati gasgerðarstöðvar (alls) .....	48
Tafla 4-13 Orkunotkun við flutninga sláturúrgangs .....	49
Tafla 4-14 Orkunotkun í gasgerðarstöð .....	50
Tafla 4-15 Niðurbrot og metanafrakstur af hverju tonni sláturúrgangs.....	50
Tafla 4-16 Áætlað l.þe.-magn og metanframleiðsla gasgerðar á ári.....	51
Tafla 4-17 Árleg losun GHL vegna sláturúrgangsflutninga, háð eldsneyti .....	51
Tafla 4-18 Hlýnunarmáttur gasgerðarferils.....	51
Tafla 4-19 Helstu magntölur jarðgerðarferils á ársgrundvelli. ....	54
Tafla 4-20 Innbyrðis hlutföll köfnunarefnissambanda sem losna á gasformi í jarðgerð .....	55
Tafla 4-21 NPK- innihald sláturúrgangs og moltu alls <sup>a,b</sup> .....	55
Tafla 4-22. Orkunotkun við flutninga á sláturúrgangi og stoðefni frá Húsavík og Akureyri. ....	57
Tafla 4-23 Orkunotkun í jarðgerð .....	57
Tafla 4-24 Orkunotkun við framleiðslu og flutninga á tilbúnum köfnunarefnisáburði .....	57
Tafla 4-25 Orkunotkun í jarðgerðarkerfi .....	58
Tafla 4-26 Losun kolefnis og hlýnunarmáttur metans.....	58
Tafla 4-27 Losun köfnunarefnis í andrúmsloft og hlýnunarmáttur hláturgass .....	59
Tafla 4-28 Hlýnunarmáttur jarðgerðarferils.....	59
Tafla 4-29 Hlýnunarmáttur jarðgerðarkerfis (jarðgerð + uppbótarferlar).....	59

<i>Tafla 4-30 Magn og tegundir tilbúins áburðar fyrir urðun 0 og urðun I.....</i>	<i>64</i>
<i>Tafla 4-31 Orkunotkun við urðun 0.....</i>	<i>65</i>
<i>Tafla 4-32 Orkunotkun við urðun I.....</i>	<i>66</i>
<i>Tafla 4-33. Orkunotkun við framleiðslu og flutninga tilbúins áburðar .....</i>	<i>66</i>
<i>Tafla 4-34 Orkunotkun við framleiðslu og flutninga uppbótareldsneytis .....</i>	<i>66</i>
<i>Tafla 4-35 Orkunotkun í urðunarkerfum.....</i>	<i>66</i>
<i>Tafla 4-36 Kolefnislosun á gasformi og söfnun hauggass, urðunarferill I.....</i>	<i>67</i>
<i>Tafla 4-37 Metanmyndun og afrakstur, urðunarferill I .....</i>	<i>67</i>
<i>Tafla 4-38 Losun GHL í urðunarferlum 0 og I alls.....</i>	<i>69</i>
<i>Tafla 5-1 Samanburður meðhöndlunarferla, orkunotkun og -framleiðsla .....</i>	<i>72</i>
<i>Tafla 5-2 Orkupörf í vinnsluferlum .....</i>	<i>73</i>
<i>Tafla 5-3 Samanburður á heildarorkuflæði kerfanna (GJ).....</i>	<i>73</i>
<i>Tafla 5-4 Samanburður á hlýnunarmætti kerfa.....</i>	<i>75</i>
<i>Tafla 5-5 Samanburður á GHL-losun eldsneytisafurða.....</i>	<i>76</i>

# Myndir

Mynd 2-1 Myndræn lýsing á viðfangsefnum MSA.....	23
Mynd 2-2 Meginþættir LCA.....	27
Mynd 2-3 Ójafngild og jafngild kerfi. Aðferð kerfisstækkunar. ....	28
Mynd 3-1 Athafnasvæði verkefnis, Eyjafjörður og Skjálíandi.....	32
Mynd 3-2 Kerfi verkefnisins fyrir stækkun (kassarnir tákna kerfin, örvarnar geyma afurðirnar).....	33
Mynd 3-3 Jafngild kerfi verkefnisins. ....	33
Mynd 3-4 Skematísk mynd af kerfum verkefnisins, ferlum þeirra og kerfismörkum, þ.e. gas- og jarðgerðarkerfis, urðun 0 og urðun I.....	34
Mynd 3-5 Orkugjafar í meðhöndlunarferlum.....	35
Mynd 4-1 Gasgerðarferill.....	46
Mynd 4-2 Gasgerðarkerfi.....	47
Mynd 4-3 Orkugjafar og notkun þeirra í gasgerðarferli.....	48
Mynd 4-4 Múgajarðgerð með loftunarbúnaði.....	52
Mynd 4-5 Tromlujarðgerð.....	53
Mynd 4-6 Ferill jarðgerðar.....	53
Mynd 4-7 Jarðgerðarkerfi.....	54
Mynd 4-8 Skipting næringarefna úr jarðgerð og uppbót N áburðar.....	56
Mynd 4-9 Orkugjafar og notkun þeirra í jarðgerðarferli. ....	56
Mynd 4-10 Urðunarstaður með gas- og sigvatnssöfnun. ....	60
Mynd 4-11: Skematísk mynd af dæmigerðum íslenskum urðunarstað.....	60
Mynd 4-12 Skematísk mynd af urðun 0 og I.....	62
Mynd 4-13 Urðunarkerfi 0.....	63
Mynd 4-14 Urðunarkerfi I.....	63
Mynd 4-15 Orkugjafar og notkun þeirra í urðunarferlum. ....	65
Mynd 4-16 Samanburður á orkunotkun í urðunarkerfum (GJ/ár).....	67
Mynd 4-17 Losun kolefnis (gasfasi) í urðun 0 og urðun I.....	68
Mynd 4-18 Hlýnunarmáttur urðunarkerfa 0 og I.....	69
Mynd 5-1 Nýtanleg næringarefni úr ferlum og tilbúinn áburður (uppbótarferlar). ....	71
Mynd 5-2 Samanburður á orkunotkun og orkuframleiðslu ferla (GJ).....	72
Mynd 5-3 Heildarorka kerfa, (GJ). ....	74
Mynd 5-4 Samanburður á hlýnunarmætti kerfa.....	75
Mynd 5-5 Samanburður á hlýnunarmætti eldsneytisafurða.....	76





# Skammstafanir

CO<sub>2</sub> íg.: koldíoxíð-ígildi

EDIP: Environmental Development of Industrial Products

E<sub>inn</sub> : Energy; orkunotkun í ferli

E<sub>út</sub> -framleiðsla/beislun orku í ferli

fo: *fororka*,

GHL: gróðurhúsalofttegundir

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change

ISO: International Standard Organization

lþe. : lífrænt þurrefni

LCA: Life cycle assessment: Lífsferilsgreining eða vistferilsgreining

MFA, sænska: materialflödesanalys, (e:material flow analysis): hráefnaflæðisgreiningar

MSA, sænska: miljösystemanalys (e. environmental system analysis): kerfisgreining umhverfis- og auðlindaþátta.

Nm<sup>3</sup> - rúmmál gass við 1.013 bör og 0°C

Næringarefni: N:köfnunarefni, P:fosfór ;K: kalíum

ORWARE Organic Waste Research

PEF: Primary Energy Factor: Frumorkustuðull

RED: Renewable Energy Directive, 2009. Tilskipun Evrópubandalagsins um endurnýjanlega orku

SETAC: The Society of Environmental Toxicology and Chemistry



# 1 Inngangur

Orðið „úrgangur“ felur í sér að um efni sé að ræða sem ekki geri gagn eða sé fánýtt og þurfi að farga. Í kjölfar vaxandi umhverfisvandamála og þverrandi auðlinda hefur hugmyndafræði sjálfbærrar þróunar vaxið ásmegin og krafan um ábyrgðarfulla, góða nýtingu auðlinda orðið æ ríkari. Því hafa ýmis efni sem löngum voru skilgreind sem „úrgangur“ nú öðlast annan sess, sem nýtanleg og þar með verðmæt efni – *hráefni*. Með endurnýtingu þeirra er um leið dregið úr soun auðlinda. Þetta á einnig við um lífrænan úrgang, sem oft er vandmeðfarinn en getur innihaldið talsverða nýtanlega orku og næringarefni. Þetta gildir einmitt um sláturúrgang, sem hér er tekinn og skoðaður sem dæmi um hvernig nýta megi auðlindir betur og þar með draga úr soun. Til að skýra sem best um hvað er að ræða er gerður samanburður á hefðbundinni meðhöndlun sláturúrgangs (förgun með urðun) og hins vegar nýrri aðferðum sem mögulega falla betur að hugmyndafræði sjálfbærrar þróunar.

Hér á landi hefur nýting sláturúrgangs um langt skeið verið fremur lítil og honum að langmestu leyti fargað með urðun, enda ódýr leið og tiltölulega einföld í framkvæmd eins og að henni hefur verið staðið til skamms tíma. Í skýrslu Landbúnaðarráðuneytis frá árinu 2004 um eyðingu dýraleifa (Landbúnaðarráðuneytið, 2004) kemur fram, að til falli um 16 þúsund tonn af sláturúrgangi á ári. Þar má einnig lesa um dæmi þess að áratugagamall sláturúrgangur hafi verið grafinn upp og reynst lítið rotnaður. Niðurbrot urðaðs sláturúrgangs hér á landi er að öðru leyti lítt þekkt, enda ekki verið rannsakað svo heitið geti og þ.a.l. ekki útséð um hver umhverfisáhrif urðunar hans eru til lengri tíma lítið.

Samkvæmt nógildandi reglugerð um urðun úrgangs (nr.738/2003) er markmið hennar m.a. „... að stuðla að því að urðun úrgangs valdi sem minnstum óæskilegum áhrifum á umhverfið ...“ og „... að úrgangur nái jafnvægi við umhverfi sitt á sem skemmstum tíma ...“ Hvað hér er átt við með „jafnvægi“ er ekki skilgreint nánar, en nærtækast er að ætla að átt sé við að úrgangsefnin hafi náð jafnvægisástandi, þ.e. að niðurbroti lífniðurbriótanlegs úrgangs sé (að mestu leyti) lokið, efnin orðin stöðug og hætt að menga út frá sér, en rekstaraðila er skylt að vakta losun mengunarefna frá staðnum uns dregið hefur verulega úr henni. Þótt kveðið sé á um að þetta eigi að gerast „á sem skemmstum tíma“ má lesa út úr reglugerðinni að reiknað sé með umtalsverðu umhverfisálagi vegna urðaðs úrgangs í 30 ár að jafnaði. Þannig er þess krafist í 17. grein urðunarreglugerðar að rekstaráðili beri ábyrgð á almennum urðunarstað (þar sem m.a. er urðaður lífrænn úrgangur) í um þrjú áratugi eftir að urðun á staðnum er hætt. Hve hratt sláturúrgangur brotnar niður er hins vegar háð mörgum þáttum. Við mjög hagstæðar aðstæður getur hann brotnað niður að mestu á nokkrum mánuðum, en það á ekki við um urðunaraðstæður. Hve langan tíma niðurbrotið tekur er ekki þekkt, en eins og áður nefnd dæmi um uppgrafinn, áratugagamlan en lítt niðurbrotinn sláturúrgang sýna, gæti það hæglega varað lengur en 30 ár. Hér má nefna að norrænir sérfræðingar telja að niðurbrot lífræns urðaðs úrgangs taki um 50 ár á norðlægum slóðum, helst vegna lágs hitastigs (Harstad K., 2003). Með ákveðinni meðhöndlun fyrir urðun, t.d hökkun og hitun, má gera ráð fyrir að niðurbrot gangi greiðar en ella. Hökkun og hitun er ekki lögbundin fyrir urðun, en reglugerð nr. 820/2007 um meðferð og nýtingu á slátur- og dýraleifum kveður á um slíka formeðhöndlun ef nýta á úrganginn í t.d. jarðgerð eða kjötmjólsvinnslu.

Ef úrgangurinn brotnar niður á annað borð myndast og losnar metangas, sem er öflug gróðurhúsalofttegund. Samkvæmt urðunarreglugerðinni er rekstraraðilum urðunarstaða skylt að safna hauggasi. Þrátt fyrir að þetta ákvæði hafi gengið í gildi í júlí 2009 er hauggasi enn hvergi safnað nema á urðunarstað Sorpu, sorpsamlags höfuðborgarsvæðisins, á Álfsnesi. Aðrir urðunarstaðir fengu undanþágu fram til júlí 2011, með ákveðnum skilyrðum þó (Guðmundur B. Ingvarsson, 2010).

Stefnt hefur verið að því að hætta allri urðun á sláturúrgangi. Í skýrslu Umhverfissráðuneytis, *Velferð til framtíðar, sjálfbær þróun í íslensku samfélagi* segir:

„Óheimilt verður að urða sláturúrgang frá og með 1. janúar 2009 og annan lífrænan úrgang eigi síðar en árið 2015. Leitað verður leiða til að endurvinnna þennan úrgang eða farga honum með öruggum hætti.“

Skýrslan var gefin út árið 2006 en ekki hefur orðið af þessum áætlunum enn. Því er mikilvægt að sem gleggstar upplýsingar liggi fyrir um aðra úrkosti varðandi endurvinnslu og förgun sláturúrgangs.

Endurvinnsla sláturúrgangs hefur reyndar aukist nokkuð síðasta áratuginn eða svo. Hluti hans fer í gæludýra- og loðdýraeldi og kjötmjölsmiðja hefur verið rekin með hléum frá árinu 1999. Hléin má sjálfsagt rekja til þess að kjötmjöl seldist lítið sem ekkert á tímabili (2002-3), sem væntanlega voru eftirköst af kúariðuaföllum í Mið-Evrópu. Ef rétt er staðið að endurvinnslu sláturúrgangs ætti nýting hans þó að vera jafnörugg og nýting annarra kjötafurða úr sláturhúsum. Auk kjötmjölsvinnslu hafa einn eða tveir aðilar jarðgert sláturúrgang á síðustu árum (Landbúnaðarráðuneyti, 2004, flokkun.is, 2009, Fenúr-fréttir, 2008).

Í stuttu máli má segja að meginmarkmið þessa verkefnis sé að bera saman fjórar mismunandi nýtingar- og/eða förgunaraðferðir sláturúrgangs m.t.t. orkunýtingar, endurheimtar næringarefna og gróðurhúsaáhrifa. Við valið á meðhöndlunaraðferðunum var tekið mið af því að aðferðin væri almennt viðurkennd og algeng, eða gæfi af sér eldsneyti eða næringarefni og í einu tilfelli hvort tveggja.

Aðferðirnar eru:

1. *urðun* 0- algeng meðhöndlun sláturúrgangs, án gassöfnunar eða næringarefnaendurvinnslu (samanburðaraðferð, engar afurðir).
2. *urðun* I- Gæðastýrð urðun með gassöfnun úr urðunarhaug. Næringarefni eru ekki nýtt (metangasafurð).
3. *jarðgerð* -nýleg meðhöndlunaraðferð á sláturúrgangi hér á landi. Úrgangur brotnar niður við loftaðar aðstæður. Samfara því myndast varmi og afurð jarðgerðar er næringarrík molta. Engin eldsneytisframleiðsla.
4. *gasgerð* - með stýrðu loftfirrðu niðurbroti er metangas unnið úr lífrænum úrgangi. Að lokinni gasgerð verður eftir næringarrík lausn (hér eftir kallað hrat) sem nýta má sem áburð í ræktun.

Með því að bera þessar aðferðir saman fást vísbendingar um hve vel eða illa þær koma út m.t.t. nytja og áhrifa á umhverfi. Aðferðafræðileg nálgun við samanburðinn verður á

grunni kerfisgreininga, þar sem litið er á hvert meðhöndlunarferli sláturúrgangs sem sérstakt, afmarkað kerfi, og áhrif þess á umhverfi skoðuð.

Af þessum aðferðum er gasgerð nýlunda hér á landi en strax í upphafi ráðagerða um þetta verkefni var áhugi fyrir að kanna heppileika gasgerðarstöðvar í landbúnaði, þar sem mikið fellur til af lífrænum úrgangi af ýmsu tagi. Þar á meðal er mykja, sem er að mörgu leyti gott gerjunarefni (hefur stuðpúðavirkni o.fl.). Þurrefna- og orkuinnihald mykjunnar er hins vegar í lægri kantinum, og því er hún iðulega blönduð orkuríkari efni við í gerjun (Jarvis Á., Schnürer A., 2009; Eder B., Schulz H., 2007). Eder B., Schulz H., 2007). Sláturúrgangur er að mörgu leyti heppilegur til þess arna. Hann fellur líka til við landbúnað, hann er orkumikill, næringarefnarík og nokkuð einfalt að halda efnasamsetningu hans stöðugri, sem er mikilvægt til að tryggja stöðugt niðurbrot úrgangsins. Þá er lítil hætt á óviðbúnum mengunarefnum í honum (öfugt við t.d. heimilissorp), en mengunarefni geta haft mjög truflandi áhrif á gerjun. Sláturúrgangur er einmitt talsvert notaður í gasvinnslu í Svíþjóð. Árið 2007 voru 227 lífgasvinnslur starfræktar í Svíþjóð, þar af 60 urðunarstaðir og 18 miðlægar virkjanir þar sem sláturúrgangur er meginhræfnið, eða 65% á móti 35% af margskonar hræfni öðru (Jarvis Á., og Schnürer A., 2009). Hrat sem fellur til við gasgerð úr þessari blöndu er næringarríkt og má nota sem áburð í landbúnaði og viðhalda þannig landhringrás næringarefna.

Árið 2009 starfræktu þýskir bændur yfir fjögur þúsund gasgerðarstöðvar. Helstu hræfni eru mykja, ýmis landbúnaðarúrgangur og orkupleitur á borð við maís, sykurrófur og repju (biogas.org, 2010). Talsverð reynsla er því af gasgerð í landbúnaði erlendis þótt hún sé óþekkt hér enn sem komið er. Hröð fjölgun gasgerðarstöðva í þýskum landbúnaði skýrist líklega helst af því að þýsk yfirvöld tryggja bændum svo gott verð fyrir orkuna að hagur þeirra vænkast við þennan rekstur svo um munar (biogas.org, 2010, Kozak M., 2009).

Sláturúrgangur virðist kannski ekki sérlega nærtækt hræfni til eldsneytisvinnslu við fyrstu sýn. Þó eru sláturdýr einmitt helst ræktuð til manneldis vegna orkuinnihalds þeirra, þótt dýrmæt byggingar- og næringarefni á borð við amínósýrur og fosfór, vítamín og járn séu einnig mikilvæg. Eitt og annað umfram kjötið er líka nýtt til ýmissa hluta, s.s. húðir, horn, ull o.s.frv., en hér eru sem sagt kannaðar nýtingarleiðir fyrir allt það sem af gengur og flokkast sem réttur og sléttur sláturúrgangur. Skoðuð verður efnasamsetning hans, orkuinnihald og magn ákveðinna næringarefna.

Þegar næringarefni eru endurheimt úr úrgangi og skilað til frumframleiðenda á landbúnaðarlandi er stuðlað að viðhaldi hringrásarinnar. Í þessu verkefni einkorðast athyglin við kalíum, fosfór og köfnunarefni. Þetta eru mikilvæg næringarefni í allri ræktun, en misaðgengileg. Einna mikilvægast er að endurvinnna fosfór, sem mikið er notaður til áburðar í landbúnaði. Hann er lífsnauðsynlegur öllum plöntum og dýrum, unninn úr jarðlögum og bergi, en auðvinnanlegur fosfór er takmörkuð auðlind (Holleman A.F., Wiberg E., 1960, Tidåker P., 2003). Hér má nefna að Svíar hafa sett sér markmið um 60% endurvinnslu á fosfór úr skólpi árið 2015 og skal nota helming endurunnins fosfórs í akuryrkju (miljomal.se, 2011). Í þessu sambandi er jafnframt vert að hafa í huga að fosfór á það sameiginlegt með orkugjöfum eins og jarðolíu að vera óendurnýjanleg auðlind, en öfugt við jarðolíu, þá er ekki hægt að nota nein önnur efni í hans stað. Skynsamlegast hlýtur því að vera að viðhalda hringrás fosfórs á landi í stað þess að kyrrsetja hann til lengri eða skemmri tíma með því að urða hann, eða dæla í aðra geyma (fosfór kjötafurða lendir í skólperfinu (eftir stutta viðvöl í meltingarkerfi okkar mannanna) og fer að

endingu út í sjó). Því eru möguleikar á endurvinnslu fosfórs (P) í sláturúrgangi kannaðir, sem og kalíums (K) og köfnunarefnis (N).

Á Íslandi eru miklar endurnýjanlegar orkuuppsprettur (a.m.k. miðað við stærð þjóðarinnar). Um fimmtungur allrar orkunotkunar hérlendis er þó í formi innflutts jarðefnaeldsneytis, sem m.t.t. sjálfbærni er fremur neikvætt og því fyllsta ástæða til að draga úr ef þess er nokkur kostur.

Samkvæmt Miller (2004) skila innan við 20% þeirrar orku sem notuð er í Bandaríkjunum sér í vinnu eða öðrum notum (useful energy). Um 40% tapast óhjákvæmilega á „eðlilegan hátt“ (unavoidable energy waste) en ríflega annað eins, allt að 43%, er *nýtanlegt* en tapast engu að síður alls ónýtt til umhverfisins. Þennan hluta mætti og ætti að nýta.

Til að koma í veg fyrir orkusóun hefur Evrópusambandið sett sér markmið og aðgerðaráætlun sem kveða á um að auka skuli skilvirkni orkunotkunar um 20% fram til ársins 2020 (managenergy.net, 2011). Aðgerðir sambandsins snúa að aukinni skilvirkni í samgöngum, betri orkunýtingu ýmiss tækjabúnaðar og í rekstri mannvirkja (m.a. húsnæðis) en einnig við orkuframleiðslu. Ýmsar leiðir eru farnar til að ná þessu markmiði, m.a. eru styrkir veittir til þróunar skilvirkari tækja og hvers kyns búnaðar sem þarfnast orku, sett eru fram viðmið um góða orkunýtingu o.s.frv. Skilvirkni hverskonar orkunotkunar er ávalt mikilvæg, ekki síst við framleiðslu endurnýjanlegra orkugjafa, og því verður skilvirkni eldsneytisframleiðslu úr sláturúrgangi einnig könnuð í verkefninu.

Að síðustu er athyglinni beint að álagi á umhverfi. Á síðari tímum hafa menn uppgötvað og fundið fyrir ýmsum leiðum fylgifiskum orkunotkunar, s.s. súru regni og vaxandi gróðurhúsaáhrifum (hnattræn hlýnun). Loftslagsbreytingarnar og allt sem þeim fylgir ógna jafnvægi lífkerfa jarðarinnar og vega þar með að undirstöðum samfélags manna, náttúrunni. Ætlunin er að kanna líkleg gróðurhúsaáhrif vegna mismunandi meðhöndlunar sláturúrgangs og þeirrar orkunotkunar sem fylgir henni.

Rannsóknarspurningar verkefnisins eru því:

- ❖ Hve mikil orka (í formi eldsneytis) og næringarefni (N, P, K) fást úr einu tonni af sláturúrgangi með þeim förgunar- og nýtingaraðferðum sem hér eru greindar?
- ❖ Hversu orkufrekar og skilvirkar eru hinar ólíku aðferðir m.t.t. framleiðslu á orku?
- ❖ Hvert er heildarflæði orku og næringarefna í hverju kerfi?
- ❖ Hver er hlýnunarmáttur kerfanna og eldsneytisafurða þeirra (í koldíoxíðígildum)?

## 1.1 Leiðarvísir

Hér að framan hafa helstu þættir þessa verkefnis verið reifaðir. Í öðrum kafla eru aðferðafræði og lykilhugtök rakin en í þeim þriðja er beitingu aðferðafræðinnar á viðfangsefni verkefnisins lýst og markmið og umfang verkefnisins skilgreind. Hinum fjórum mismunandi meðhöndlunaraðferðum sláturúrgangs sem hér eru greindar og bornar saman er síðan lýst nánar, þær skilgreindar og afmarkaðar sem *kerfi* (sjá kafla 2) og útlistaðar í þaula í kafla 4, en í þeim kafla er *bókhald verkefnis*. Þar er talið fram og fært til

bókar magn, tegundir og samsetning hráefnis, öll orkunotkun og orkuframleiðsla í hverju kerfi fyrir sig sem og umhverfisálag. Í fyrri hluta kaflans er orku- og næringarefnainnihald sláturúrgangs áætlað, en þetta tvennt er það sem greiningin beinist að öðru fremur. Þá er farið yfir ýmis atriði sem varða orku, s.s. orkugjafa, orkunotkun og orkuframleiðslu hinna ólíku kerfa, og í þriðja lagi fjallað um umhverfisálag, þ.e. gróðurhúsaáhrif vegna orkunotkunar. Í seinni hluta 4. kafla er síðan farið í saumana á þessum sömu þáttum í hverju kerfi fyrir sig. Ávallt er fjallað um efnisþættina þrjá í þessari sömu röð; fyrst hráefnið og nýtingu þess, þá orkuþáttinn og að síðustu umhverfisálag. Til einföldunar má segja að frá og með 4. kafla sé röð þeirra þátta sem til skoðunar eru alltaf sú sama:

- ❖ Efni
- ❖ Orka
- ❖ Álag

Þetta á einnig við um 5. kafla eins og nöfn undirkafla hans bera með sér, en í þeim eru þessir þættir gerðir upp. Í kafla 5.1 er gerð grein fyrir endurheimt og nýtingarmöguleikum næringarefna, kafla 5.2 geymir niðurstöður orkugreiningar og í kafla 5.3 er uppgjör á losun gróðurhúsalofttegunda. Í 6. kafla er næmnigreining og að síðustu, í kafla 7, eru niðurstöður teknar saman og ræddar. Í viðaukum má síðan finna útreikninga og kennistærðir verkefnisins.

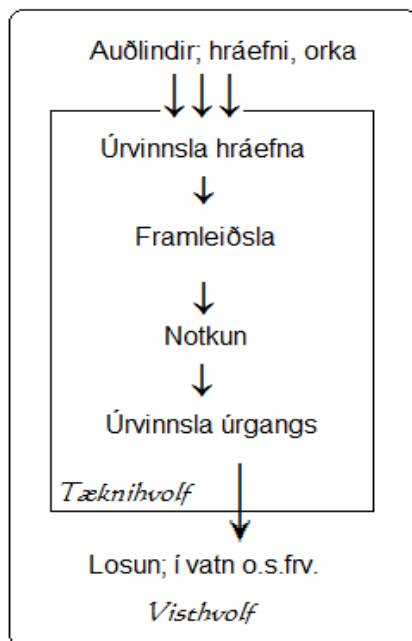




## 2 Aðferðafræði

Þær aðferðir sem hér verður beitt eiga rætur sínar í kerfisgreiningu (e. system analysis), nánar tiltekið í því sem á sænsku kallast „miljösystemanalys“, hér eftir skammstafað MSA, (e. environmental system analysis, Jönsson J., 2005, Erlandsson Á., 2007). MSA mætti kalla kerfisgreiningu umhverfis- og auðlindaþátta, og er í raun safnheiti yfir fjölmargar matsaðferðir sem nýtast m.a. við samanburð á auðlindanýtingu og umhverfisáhrifum mismunandi leiða í samspili náttúru og samfélags manna (m.a. tæknilegum þáttum þess). Hugtakið „kerfi“ er hér notað um samsafn meira og minna tengdra þátta sem hafa áhrif hver á annan, en „greining“ stendur fyrir aðferðafræði, þar sem kerfi er lýst og það metið á hlutlægan og skipulegan hátt (Jönsson, J., 2005). Hægt er að sjá alheiminn sem eitt allsherjar kerfi, en markmið kerfisgreiningar (MSA) er einatt *að meta áhrif tiltekins ferils á umhverfi sitt*. Því er ákveðinn (lítill) hluti alheimsins afmarkaður (með kerfismörkum), og áhrif þess sem gerist innan hans á umhverfið utan hans metin.

MSA er þannig í raun ekki sértæk aðferðafræði, heldur nokkuð viðamikild samsafn aðferða sem allar byggja á grunni kerfisgreiningar. Svokölluð lífsferilsgreining (e. Life Cycle Assessment, hér eftir skst. LCA), er væntanlega einna þekktust þessara aðferða, en hér má einnig nefna vistsporsgreiningu (ecological footprint), orku- og hráefnaflæðisgreiningar (e. Energy-; Material Flow Analysis, MFA), og kostnaðar-ábatagreiningu (e. Cost-Benefit Analysis). Í þessu verkefni er aðallega stuðst við MFA, orkugreiningu og LCA. Eins og nöfnin benda til eru viðfangsefni þeirra mismunandi. Aðaláhersla LCA er á umhverfisálag, en í orkugreiningu og MFA er kastljósinu beint að auðlindanýtingu.



**Mynd 2-1 Myndræn lýsing á viðfangsefnum MSA**

*Tæknihvolfið er svið mannsins (mannert svið), tækni, búnaður, o.s.frv. sem unnið hefur verið úr visthvolfi. Visthvolfi umlykur tæknihvolfi, það er umhverfið, lífverur, vistkerfi o.s.frv. Þaðan koma hráefnin og þangað eru þau efni sem þykja óæskileg í tæknihvolfi losuð.*

Lykilatriði allra kerfisgreininga er afmörkun kerfisins, svokölluð *kerfismörk* (e. system boundary). Draga þarf skýr mörk milli kerfisins og umhverfisins, og skilgreina helstu þætti

innan kerfis. Hinir ýmsu hlutar þess eru mismikilvægir m.t.t. þeirra svara sem leitað er, t.a.m. hvort greiningin beinist fremur að umhverfisálagi eða auðlindabáttum.

Magn gagna er oft mikið í MSA en gæðin mismunandi. Nauðsynlegt er að velja gögn af kostgæfni og í samræmi við aðstæður (tíma, verkfæri, mannafla o.s.frv.) greinandans hverju sinni. Forgangsráða þarf gögnum á grundvelli mikilvægis m.t.t. markmiða greiningar, gæða þeirra, aðgengileika o.s.frv. Gagnagrunnar og önnur töl eru mikilvægur þáttur í þeirri vinnu.

Á mynd 2-1. má sjá meginþætti MSA (Lagerberg C., 2001, Jönsson, J., o.fl., 2003, Sterr Th., 2003). Viðfangsefninu er skipt upp í tvö meginhvolv (e. sphere); tæknihvolv og visthvolv, og ferillinn sem til skoðunar er samanstendur af "skrefum" í lífsferli viðfangs, yfirleitt vöru eða þjónustu, frá vöggju til grafar.

## 2.1 MFA og orkugreining

MFA stendur fyrir Material Flow Analysis sem þýða má sem hráefnaflæðisgreiningu. Brunner og Rechberger (2004) skilgreina MFA sem svo:

"... systematic accounting of the flows and stocks of materials within a system defined in space and time. It connects the sources, the pathways, and the intermediate and final sinks of material. Because of the law of conservation of matter, the results of an MFA can be controlled by a simple material balance, comparing all inputs, stocks, and outputs of a process."

Með öðrum, íslenskum orðum, þá er MFA kerfisbundið bókhald yfir birgðir og streymi efna innan kerfis á ákveðnum tíma og rúmi. MFA tengir uppsprettur, farvegi, millistig og endastöðvar (sinks) efna. Með hliðsjón af lögmálinu um varðveislu massa er með einföldu uppgjöri hægt að bera saman allt innflæði, birgðir og útflæði efnis í ákveðnum ferli eða kerfi.

Á sama hátt má fá mynd af orkuflæði og -uppgjöri (e. energy balance). Áhugi á orkugreiningu óx samfara oliukreppunni um 1970, m.a. á skilvirkni orkuframleiðslu, þ.e. hlutfallinu milli framleiddrar orku og orkunotkunar við öflun hennar. Í landbúnaði vaknaði áhugi á að meta skilvirkni landnýtingar og orkunotkunar í matvælaframleiðslu o.fl. (Börjesson P., 1994), og áhugi á beislun orku úr lífrænum úrgangi hefur einnig aukist.

Orka er talin fram í mismunandi einingum háð orkuformi og tækni, en til að meta og bera saman orkubúskap og skilvirkni ólíkra kerfa er nauðsynlegt að grípa til samnefnara af einhverju tagi. Hér er stuðst við *frumorku-konseptið*, en frumorka (e. primary energy) er skilgreind sem nýtanleg orka eða notorka (e. useful energy) plús öll sú orka sem eyddist eða notuð var við að framleiða og koma notorkunni til skila, á hvaða formi sem er (van Dijk, D., 2008, Johansson N., 2008). Orkuna sem þarf til að framleiða notorkuna má kalla *fororku*, (skst. fo.; s. *indirekt energiinsats*, Berglund M., Börjeson P., 2003e). Öll orka er umreiknuð yfir í sömu orkueiningu (MJ), því aðeins með samræmdri notkun mælieininga verða mismunandi orkuform samanburðarhæf.

Undir fororku flokkast m.a. sú orka sem:

- ❖ þarf til að framleiða notorkuna (rafmagn, jarðefnaeldsneyti, jarðhitaorku) og koma henni á notkunarstað

- ❖ þarf til að framleiða vinnuvélar og farartæki
- ❖ glatast við umbreytingu af einu orkuformi yfir á annað (t.d. vatnsafl>rafmagn) og flytja það um langan veg

Með því að deila notorku vinnsluferils upp í frumorku fæst svokallaður frumorkustuðull, eða Primary Energy Factor, hér eftir skammstafaður PEF eða PE-stuðull. *PE-stuðullinn segir til um, hve mikla orku þarf til að framleiða eina einingu nýtanlegrar orku.* Þannig þýðir PE-stuðull 1,2 að 1,2 Joule þarf til að framleiða 1Joule af notorku. Því lægri sem PE-stuðull er, þeim mun hagkvæmari er orkukosturinn. PE-stuðullinn getur verið afar gagnleg kennistærð ef hann er byggður á réttum forsendum, að því leyti að hann einfaldar orkuútreikninga verulega. Þannig má t.d. reikna heildarorkunotkun sérhvers orkuframleiðsluferils ef notorka og réttir eða viðeigandi PE-stuðlar eru þekktir. Þannig mætti reikna út heildarorkunotkun í ákveðnu ferli:

$$\text{Heildarorkunotkun } E_{\text{total}} = (\text{orkugjafi}_1 * \text{PEF}_1) + (\text{orkugjafi}_2 * \text{PEF}_2) + (\text{orkugjafi}_3 * \text{PEF}_3) + \dots (\text{orkugjafi}_n * \text{PEF}_n)$$

Í orkugreiningu Berglund og Börjesson frá árinu 2003 eru þrír PE-stuðlar díselolíu tilgreindir, 1,06, 1,10 eða 1,20 úr mismunandi greiningum (Berglund M., Börjesson P., 2003e). Allir þrír stuðlarnir geta verið réttir, þar sem hver og einn þeirra byggir á breytilegum forsendum. Til dæmis getur orkunotkun við vinnslu olíuafurða úr mismunandi olíulindum verið mismikil og vegalengd til notkunarstaðar olíuafurðar mislangur. Til fróðleiks og samanburðar má geta þess að PE-stuðull rafmagnsframleiðslu fyrir hið sameiginlega skandinavíska raforkunet er 1,18 fyrir rafmagn úr vatnsaflsvirkjunum, 2,74 vegna rafmagns úr kolaorkuveri (coal condensing plant) og 2,9 fyrir kjarnorku (Johansson, N., 2008). Innan EB eru PE-stuðlar hinna ýmsu orkugjafa reiknaðir út í hverju landi fyrir sig (van Dijk, D., 2008).

Skilvirkni er einnig gagnleg kennistærð í orkuútreikingum og -samanburði hvers konar. Orkugjafar *nýtast* misvel og ræðst það m.a. af tækni (búnaði, vélum o.s.frv.), stjórnun þeirra og aðstæðum. Til að finna út skilvirkni orkuframleiðslu er öll orka sem notuð er (frumorka) til hennar talin fram og vegin á móti framleiddri orku. Sem fyrr er orkan ávallt gefin upp í sömu orkueiningu, Joule-um. Þannig verða vinnsluferlar auðveldlega samanburðarhæfir og heildaryfirlit fæst yfir alla orkuþætti, óháð orkugjafa:

$$\text{Skilvirkni (efficiency)} = E_{\text{út}}/E_{\text{inn}}$$

$E_{\text{út}}$  er framleidd orka í vinnsluferli;  $E_{\text{inn}}$  er öll orkunotkun í vinnsluferli (líka fororka).

Öfugt við PE-stuðulinn þá gildir það hér að því hærri sem útkoman er úr dæminu, þeim mun betra; hærri tala þýðir skilvirkara orkuframleiðslukerfi.

## 2.2 Lífsferilsgreiningar

Mannkyninu fjölgar með degi hverjum og umsvif þess vaxa að sama skapi með tilheyrandi álagi á umhverfið. Ýmsar aðferðir hafa verið þróaðar til að kortleggja og greina þetta álag, þar á meðal LCA, en með LCA eru áhrif vöru eða þjónustu á umhverfið metin. Eins má gera samanburð á fleiri en einni sambærilegri vöru (þ.e. mismunandi vörum með sama hlutverk) með sömu viðmið að leiðarljósi. Áhersla er lögð á að skoða alla þætti lífsferils

vöru allt frá hráefnisöflun til förgunar, "frá vöggu til grafar" eins og sagt er, og er megináhersla lögð á að finna og greina þá hluta ferilsins sem mestum áhrifum valda. Frá tæknilegu sjónarhorni má segja að með LCA sé útbúið einfaldað líkan af margslungnu kerfi. Þessi einföldun hefur ýmsa kosti, en jafnframt þann galla að ekki er hægt að endurspeglja alla umhverfisþætti.

LCA-aðferðafræðin er notuð á margvíslegan máta, t.d. í stefnumótun, áætlanagerð, vöruþróun, ýmsum rannsóknum og markaðssetningu. Afar misjafnt er hve ítarlega er farið í hlutina, efni og aðstæður stjórna því að miklu leyti. Þannig má ímynda sér að stjórnvald sem mótar almenna stefnu í stórum málaflökki kalli eftir grófri heildarsýn á sjálfbærni viðkomandi stefnu, byggðri á upplýsingum um fáa en þungvæga lykilþætti, á meðan fyrirtæki í hátækniiðnaði, svo dæmi sé tekið, krefst nákvæmra mælinga og ítarlegra gagna um fjölmarga þætti á ýmsum sviðum við vöruþróun sína.

Alþjóðlegu staðlasamtökin (ISO) hafa útbúið staðal fyrir LCA (ISO 14040-44:2006), en aðferðafræðin er enn í þróun og er beitt á fleiri sviðum en ISO-staðallinn nær yfir. Fjölmargir aðilar hafa komið að þróun LCA. Framlag félags umhverfisefnafræðinga, The Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), hafði mikil áhrif á þróun og samræmingu LCA, en fyrsta útgáfa þeirra á samræmdum leiðbeiningum um notkun LCA leit dagsins ljós árið 1993 (SETAC,1993). Margir aðrir hafa komið að þróun LCA síðan, og fjölmörg leiðbeiningarit litið dagsins ljós. Hér má nefna leiðbeiningar Norrænu ráðherranefndarinnar, „Nordic guidelines on life-cycle assessment“ (Lindfors L.G. o.fl., 1995) og endurskoðaða útgáfu Guinée og félaga með leiðbeiningum um notkun ISO staðlanna frá árinu 2001 (Guinée J.B., 2001). Einnig gaf danska Umhverfisstofnunin út ráðleggingar og samantekt um notkun og samráð um LCA í Danmörku (Hansen E., 2007) og svona mætti áfram telja. Ýmis lífsferilslíkön og gagnagrunnar hafa verið þróuð og eru talsvert notuð, einna vinsælast er SimaPro (Hansen E., 2007), en hér má líka nefna GaBi, byggt á dönsku LCA-aðferðafræðinni „Environmental Development of Industrial Products“ (skst.EDIP; Hansen E., 2007).

Myndin hér að neðan sýnir helstu skref LCA, þ.e. mótun markmiða og ákvörðun umfangs (e. Goal and Scope definition), bókhaldsgreiningu (e. Inventory analysis) og álagsmat (e. impact assessment) og síðan mat eða túlkun á þessum þáttum. Eins og ráða má af örvunum er gert ráð fyrir að hvert skref hafi áhrif á framvindu annarra þátta.

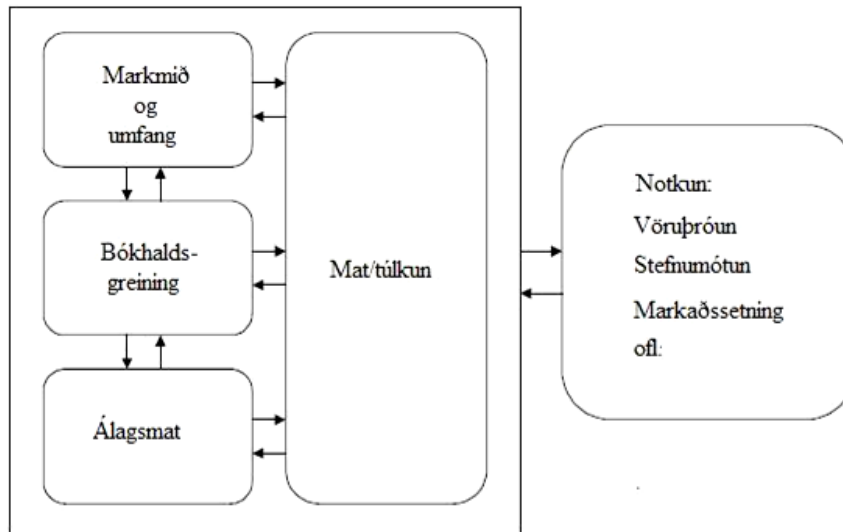
## Markmið og umfang

Eins og yfirskriftin gefur til kynna eru hér lagðar línur fyrir greininguna, markmið hennar ákvörðuð og helstu þættir skilgreindir: Aðgerðareining (e. functional unit), afmörkun kerfis (kerfismörk, kerfisstækkun (e. extension) eða kerfisminnkun (e. subtraction)). Viðfangsefnum greiningarinnar er lýst, sem og ferlum viðkomandi kerfa í tíma og rúmi og umfangi megind- og/eða eigindlegra þátta greiningarinnar. Að síðustu eru matsviðmið (e. assessment criteria) skilgreind.

## Aðgerðareining

Óhætt er að segja að hin svokallaða aðgerðareining (e. functional unit) sé burðarás lífsferilsgreiningar. Kerfum eru ætluð einhver verkan, einhver not eða „funksjón“, og með LCA eru þau not sem hafa má af kerfinu metin, sem og áhrif þess m.t.t. umhverfis og auðlinda. Við samanburð á notum ólíkra kerfa gegnir aðgerðareiningin hlutverki samnefnarans, og því mikilvægt að hún sé skýrt skilgreind mælieining. Þannig er aðgerðareiningin grunneining og viðmið allra grunnútreikninga í LCA. Dæmi um

aðgerðareiningu í matvælaframleiðslu, nánar tiltekið framleiðslu á hveiti, gæti verið 1kg af hveiti, þ.e. aðgerðin sem kerfið gengur út á er að rækta hveiti, og aðgerðareiningin því eitt kg af hveiti. Ef hins vegar ætlunin er að bera saman allt sem gera þarf og allt sem vinnst við mismunandi landnotkun má segja að aðgerðin sé nýting lands, og þá gæti einn hektari verið heppileg aðgerðareining (Tidåker P., 2003).



Mynd 2-2 Meginþættir LCA  
(Rósa Guðmundsdóttir 2009, ISO, 2006 a og b)

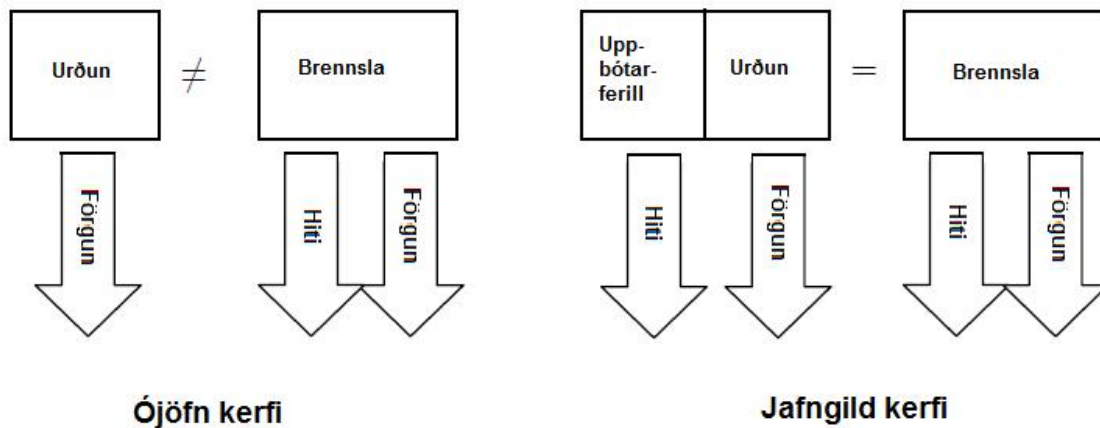
## Kerfismörk og kerfisstækkun

Með *kerfismörkum* er umfang kerfis og mæri þess við mismunandi svið eða þætti skilgreind, ákveðið hvað skal mæla, rannsaka, reikna og hvað ekki. Þegar greind eru fleiri en eitt kerfi og borin saman (samanburðar-LCA) verður að gæta þess að þau séu jafngild, þ.e. að kerfismörkin séu þau sömu í öllum tilvikum og að þau skili sömu notum og/eða afurðum, til að sanngjarn samanburður á umhverfisáhrifum þeirra sé mögulegur. Skilgreining aðgerðareiningar er mikilvægur liður í því ferli, en í framhaldinu eru not og afurðir hinna ólíku kerfa (sem þó deila sömu aðgerðareiningunni) borin saman og kerfin á endanum jöfnuð ef með þarf, svo lokasamanburður geti farið fram. Þetta er ýmist gert með *frádrætti* eða *kerfisstækkun*.

Frádráttur er notaður ef borin eru saman tvö eða fleiri kerfi, sem hafa sömu aðgerðareiningu þar sem eitt kerfið skilar slíkri einingu með fleiri notum en hin kerfin, en auðveldlega má skilja að framleiðslu grunneiningarinnar og aukantanna. Segjum að bera skuli saman tvö framleiðslukerfi þar sem aðgerðareiningin er „hurð sem lokar dyrum.“ Bæði kerfi, 1 og 2, skila slíkum hurðum, en hurðirnar úr kerfi 2 hafa þá aukagetu að hægt er að læsa þeim, þær eru með lás, sem hurðirnar úr kerfi 1 hafa ekki. Framleiðsla og ísetning lásanna er algjörlega aðskilið ferli frá framleiðslu hurðanna sjálfra og því auðvelt að draga það frá heildarferlinu og fá þannig sanngjarnan samanburð á áhrifum framleiðslu aðgerðareiningarinnar einnar, þ.e. hurðarinnar.

Ekki er alltaf mögulegt að aðskilja einstaka þætti í vinnsluferli og þar með greina orkuþörf og/eða umhverfisáhrif hvers um sig. Tökum dæmi um tvö kerfi þar sem aðgerðareiningin er „förgun 50 tonna af timburúrgangi“. Í kerfi A er timbrið einfaldlega urðað, og förgunin því eina

„afurðin“. Í kerfi B er því brennt og hitinn sem myndast við brennsluna beislaður til upphitunar. Hitinn og nýting hans flokkast því sem afurð eða nýttar af brennslukerfinu umfram grunnafurðina förgun. Hins vegar er engin leið að aðskilja brennslu og förgun, þetta eru eitt og sama ferlið sem skilar báðum afurðum. Til að gera þessi tvö kerfi, A og B, jafngild dugar því ekki að grípa til frádráttar frá kerfinu sem meiri afurðum skilar, heldur þarf að beita kerfisstækkun. Hún felst í því að bæta uppbótarferli við afkastamína kerfið, þannig að það skili samsvarandi afurðum og/eða notum og hitt (sjá mynd 2 – 3 hér að neðan).



Mynd 2-3 Ójafngild og jafngild kerfi. Aðferð kerfisstækkunar.

Við samanburð þessara kerfa telst framsetning á borð við „Kerfi A gefur af sér förgun en kerfi B förgun og orku í formi hita“ vera ófullnægjandi í LCA, því hér kemur einungis fram hvað vantar upp á í kerfi A. Til að fá skýra mynd af þeim mun sem raunverulega er á kerfunum tveimur, einkum og sér í lagi af umhverfisáhrifum þeirra, þarf hins vegar einnig að draga fram og sýna hvað þarf til að vega hann upp, þannig að bæði kerfi gefi jafn mikið af sér, verði *jafngild*, og hvaða áhrif það hefur.

M.ö.o., það er ekki nóg með að kerfi A gefi ekki af sér hita, heldur er möguleikinn til að framleiða hitann látinn ónýttur. Það þýðir að sækja þarf samsvarandi orku til upphitunar eitthvert annað, í *uppbótarferil*, t.d. í formi rafmagns eða jarðolíu. Þegar það hefur verið gert er fyrst hægt að gera sanngjarnan samanburð á heildarorkubúskap og -umhverfisálagi kerfanna tveggja.

## Bókhaldsgreining

Í bókhaldi er gefin greinargóð og nákvæm lýsing á öllum kerfisþáttum, þ.e. hráefna- og orkunotkun, afurðum o.s.frv. í hverju kerfi fyrir sig. Magnbundnar upplýsingar eru skráðar og gerð grein fyrir gögnum, útreikningum og næmni (e. sensitivity analysis).

## Álagsmat

Markmið álagsgreiningar er að greina og meta á kerfisbundinn hátt umhverfisálag af völdum þeirra þátta sem safnað var í LCA-bókhaldinu. Álag kerfanna er gjarna metið m.t.t. áhrifa þeirra á eftirtalda þætti:

- ❖ Gróðurhúsaáhrif/Hnattræn hlýnun (Global warming)
- ❖ Ósoneyðing í heiðhvolfi (Depletion of stratospheric ozone)

- ❖ Súrnun regnvatns (Acidification)
- ❖ Ofauðgun (Eutrophication)
- ❖ Eiturvistfræðileg áhrif (Eco-toxicological impacts)
- ❖ Landnotkun (Land Use)
- ❖ (Tidåker P., 2003, Lindfors L.G. o.fl., 1995, Hansen E., 2007)

### Túlkun og niðurstöður

Að síðustu eru niðurstöður bókhalds og álagsgreiningar teknar saman, túlkaðar og metnar. Mikilvægt er að hafa í huga að auðvelt er að greina sum umhverfisáhrif magnbundið en önnur ekki. Áhrifin geta verið af æði margvísleglegum toga, erfitt getur reynst að henda reiður á einhverjum þeirra og jafnvel ómögulegt að meta þau magnbundið og þá gripið til eigindlegra matsviðmiða. (Pré Consultants, 2007, Rósa Guðmundsdóttir, 2009).





## 3 Nytja- og umhverfisgreining: Slátur-úrgangur

Hér á eftir fer lýsing á markmiðum og umfangi verkefnisins og útlístan á því hvernig aðferðafræðinni sem lýst er í 2. kafla er beitt.

### 3.1 Markmið, umfang og aðferðafræði

Sem fyrr segir er markmið þessa verkefnis samanburður á fjórum mismunandi nýtingar- og/eða förgunaraðferðum sláturúrgangs m.t.t. orkunýtingar, endurheimtar næringarefna og gróðurhúsaáhrifa vegna orkunotkunar. Meðhöndlunaraðferðin ræður því að hve miklu leyti efni og orka úrgangsins nýtist. Þær aðferðir sem urðu fyrir valinu eru ýmist almennt notaðar hér á landi (urðun og jarðgerð) eða taldar líklegar til að skila meiri ávinningi m.t.t. sjálfbærrar þróunar (gasgerð). Aðferðirnar eiga það allar sameiginlegt að með meðhöndlun úrgangsins "eyðist" hann að lokum, þ.e. úrganginum er endanlega fyrirkomíð; fargað.

Meginviðfangsefni þessa verkefnis er að leita svara við eftirfarandi spurningum:

- ❖ Hve mikil orka (í formi eldsneytis) og næringarefni (N, P, K) fást úr einu tonni af sláturúrgangi með þeim förgunar- og nýtingaraðferðum sem hér eru greindar?
- ❖ Hversu orkufrekar og skilvirkar eru hinar ólíku aðferðir m.t.t. framleiðslu á orku?
- ❖ Hvert er heildarflæði orku og næringarefna í hverju kerfi?
- ❖ Hver er hlýnunarmáttur kerfanna og eldsneytisafurða þeirra (í koldíoxíðígildum)?

Þau *not* sem hafa má af kerfunum fjórum eru mismikil. Til að meta heildaráhrif þeirra, bæði not og umhverfisálag er uppbótarferlum bætt við í afkastaminni kerfin þrjú, þ.e. kerfin eru stækkuð til að gera þau jafngild afkastamesta kerfinu (sjá nánar kafla 2.2 og 3.3 og myndir 3-2 og 3-3).

Þær þrjár útfærslur MSA sem kynntar voru til sögunnar í kafla 2 eru allar byggðar á grunni kerfisgreiningar og innihalda allar bókhald auðlindaþátta þ.e. efna og orku, en í LCA er einnig fært bókhald umhverfisálagþátta. Í þessu verkefni er meginlínunum LCA hvað röð og innihald snertir fylgt (sjá mynd 2.2) þ.e. markmið og umfang verkefnisins

eru skilgreind, þá fer fram bókhaldsgreining og að síðustu mat og túlkun niðurstaðna. Þar sem markmið verkefnisins snúast ekki eingöngu um umhverfisálag eru ákveðnar nytjar eða afurðir sláturúrgangs og mismunandi meðhöndlunar hans hinsvegar líka kortlagðar, þ.e. endurheimt orku og næringarefna. Til að svör fáist við spurningunum hér að ofan eru því

einstakir þættir úr efna- MFA og orkuflæðigreiningu (MFA og EFA) fléttaðir inn í lífsferilsgreininguna (LCA). Þannig er t.a.m. frumorkukonseptið og skilvirkniaðferð orkugreiningar EFA fléttað inn í greininguna, og flæði orku og ákveðinna orkugjafa fylgt í gegnum kerfin allt frá uppsprettum þeirra þar til sláturúrganginum hefur verið eytt, afurðir eru tilbúnar (þar sem við á) og álagsefni hafa verið losuð.

Vonast er til þess að verkefnið geti gagnast við ákvarðanatöku um nýtingu á lífrænum úrgangi, einkum og sér í lagi sláturúrgangi, og útfærslur þar á. Öfugt við það sem ætla mætti af síðustu spurningunni hér að ofan, þá er nýting hins framleidda eldsneytis utan kerfismarka. Engu að síður er gerð gróf grein fyrir líklegum umhverfisáhrifum vegna notkunar hins framleidda metans annars vegar og sambærilegs magns af jarðefnaeldsneyti hins vegar (sem eldsneyti á fólksbíla). Þetta er gert til að draga upp mynd af helstu kostum og göllum þessa ólíka eldsneytis og fá þannig sterkari vísbendingar um hvernig hinir ólíku förgunarkostir falla að hugmyndafræði sjálfbærrar þróunar.

## 3.2 Aðgerðareining

Meðhöndlunaraðferðirnar eru ólíkar og skila mismiklum afurðum. Þær eiga þó eina grundvallaraðgerð – afurð, ef svo má að orði komast – sameiginlega, þ.e. förgun eða eyðingu sláturúrgangs. Aðgerðareining verkefnisins er því eitt tonn af sláturúrgangi.

## 3.3 Ferlar, kerfi, kerfisstækkun og kerfismörk

Meðhöndlunarferlarnir fjórir, urðun 0, urðun 1, jarðgerð og gasgerð, hefjast allir við hlið sláturhúss, annars vegar á Akureyri og hins vegar Húsavík. Þaðan er sláturúrgangurinn, samtals 3.500 tonn árlega (sjá nánar kafla 4.1), fluttur á meðhöndlunarstað sem er um 10 km sunnan Akureyrar (sjá mynd 3-1).

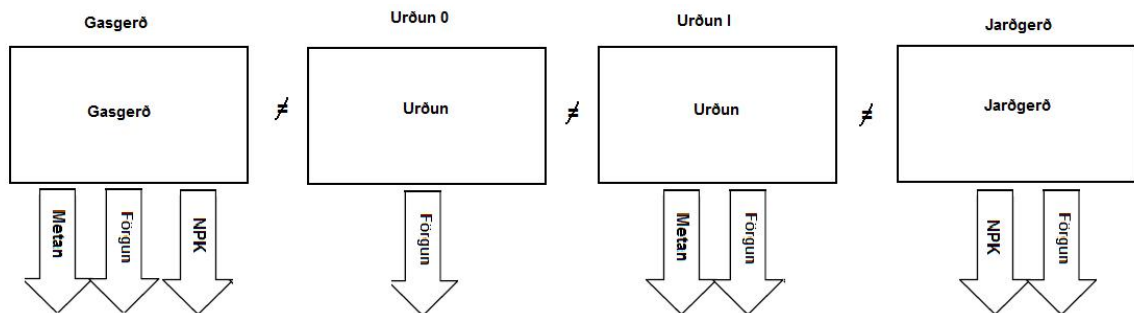


*Mynd 3-1 Athafnasvæði verkefnis, Eyjafjörður og Skjálfandi  
Sláturúrgangur er sóttur til Húsavíkur (100km) og Akureyrar (10km) og fluttur á meðhöndlunarstað í Eyjafjarðarsveit.*

Ferlunum lýkur síðan með tilbúnum afurðum (þegar við á) á meðhöndlunarstað. Jafnframt hefur sláturúrgangi verið eytt. Í gasgerðarferli er sláturúrgangur gerjaður og lokaafurðir eru metan (CH<sub>4</sub>), og næringarefnalausn (gerjunarhrat) sem inniheldur m.a. köfnunarefni (N), fosfór (P) og kalíum (K). Afurð *jarðgerðar*, molta, inniheldur fyrrnefnd næringarefni, þó talsvert minna af köfnunarefni en hrat frá gasgerð (sjá nánar kafla 4.7.1 um næringarefni í jarðgerð). Ekkert eldsneyti verður til í jarðgerðinni en í urðun I myndast hauggas sem er safnað og safnast svipað magn metans og í gasgerð. Í urðun 0 er hvorki safnað hauggasi né eru næringarefni endurheimt. Nánari lýsingar á ferlunum eru í seinni köflum.

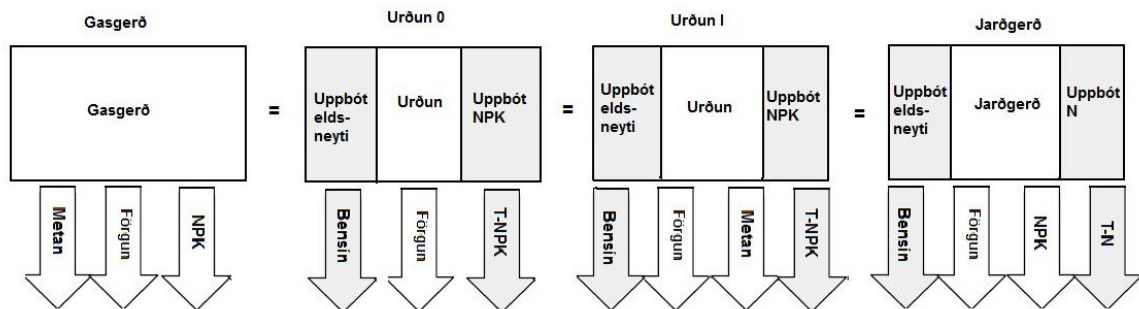
### Kerfisstækkun

Eins og rakið hefur verið og sjá má á mynd 3-2 gefa meðhöndlunarferlarnir/kerfi verkefnisins ekki sömu afurðir og eru því ekki jafngild.



Mynd 3-2 Kerfi verkefnisins fyrir stækkun (kassarnir tákna kerfin, örvarnar geyma afurðirnar)

Afurðir og not gasgerðar eru þrenns konar, þótt ferillinn sé aðeins einn, urðun I og jarðgerð gefur tvennt af sér en urðun 0 aðeins eitt. Eins og rakið var í kafla 2 er gripið til kerfisstækkunar þegar og ef ekki er hægt að skipta kerfisþáttum niður á hinar mismunandi afurðir eða not kerfis með skýrum og afgerandi hætti, en það er einmitt raunin með gasgerðina, þar sem bæði metan og næringarríkt hrat myndast um leið og úrganginum er fargað. Í mynd 3-3 má sjá kerfisstækkunir þessa verkefnis:



Mynd 3-3 Jafngild kerfi verkefnisins.

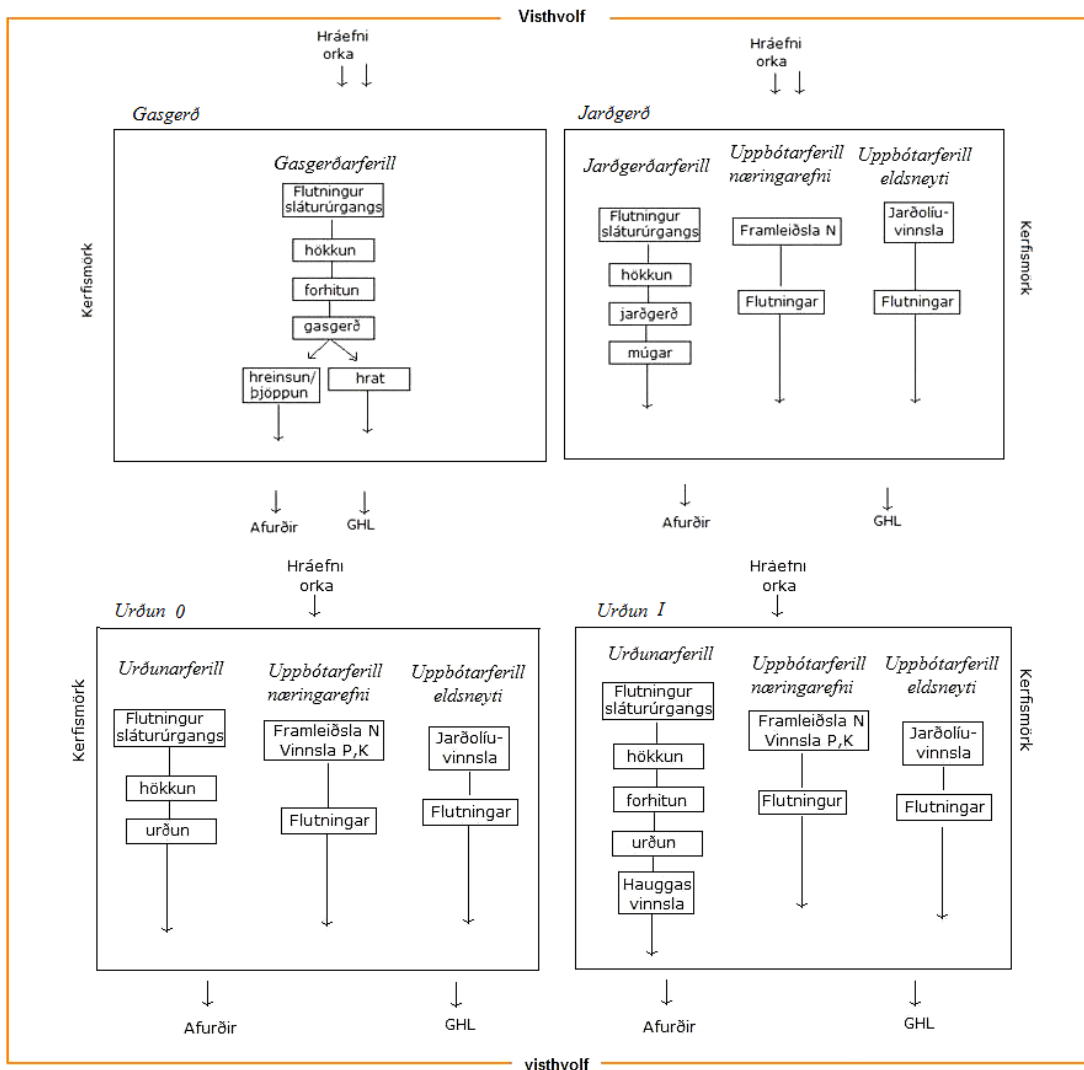
Á myndinni hafa kerfi verið stækkuð með viðeigandi uppbótarferlum og eru þau því jafngild.

Afurðir þeirra eru förgun, eldsneyti og næringarefni NPK.

Örvar: Afurðir; T-N: Tilbúinn N-áburður; T-NPK: Tilbúinn NPK-áburður; Skyggðir fletir:

Uppbótarferlar og -afurðir

Til að jafna afurðaframlag kerfanna eru sóttar uppbætur úr öðrum, utanaðkomandi framleiðsluferlum þar sem þess er þörf. Slíkir framleiðsluferlar eru hér eftir kallaðir uppbótarferlar. Á mynd 3-4 má sjá öll kerfi verkefnisins:



Mynd 3-4 Skematísk mynd af kerfum verkefnisins, ferlum þeirra og kerfismörkum, þ.e. gas- og jarðgerðarkerfis, urðun 0 og urðun I.

Til að vega upp eldsneytis- og/eða næringarefnaafurðir gasgerðarinnar eru uppbætur í formi tilbúins áburðar og innflutts jarðefnaeldsneytis sóttar þar sem við á. Þótt metan sé framleitt í urðun I er það minna en gerist í afkastamesta ferlinu, gasgerðinni, sem kallar á uppbótarferil á formi bensíns sem því munar. N-innihald moltunnar sem framleidd er í jarðgerð er einnig minna en í hratinu frá gasgerðinni og því þarf að sækja tilbúinn N-áburð (T-N) til uppbótar. Eftir stækkun samanstanda urðunarkerfí 0 og I og jarðgerð sem sagt af alls þremur ferlum hvert: Meðhöndlunarferli sláturúrgangsins og tveimur uppbótarferlum, þ.e. fyrir næringarefna- og eldsneytisframleiðslu. Í afkastamesta kerfinu, gasgerðinni, sem öll hin miðast við, er hins vegar aðeins einn ferill sem gefur af sér allar þrjár afurðir; förgun, eldsneyti (metangas) og næringarefnið NPK (hrat).

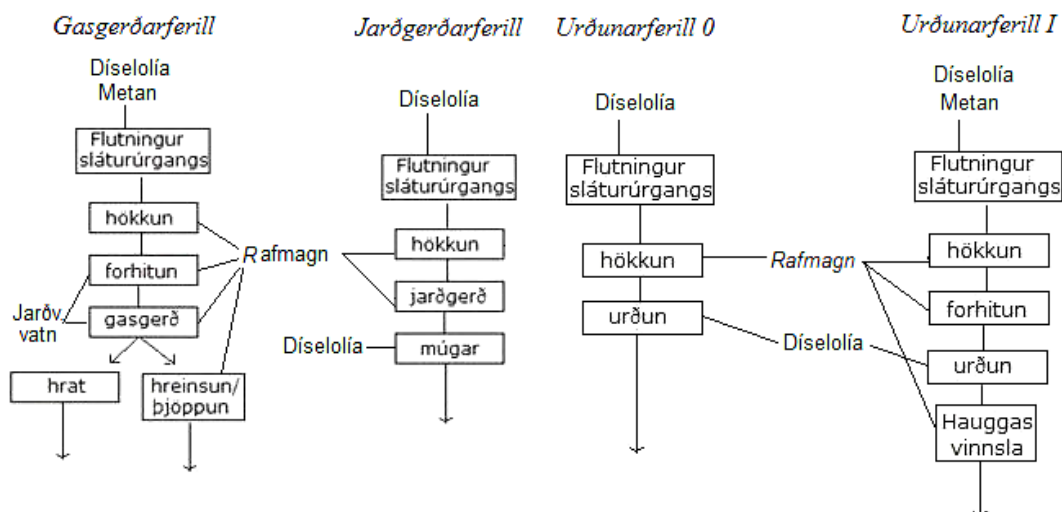
## Kerfismörk

Einfaldaða mynd af kerfum og kerfismörkum verkefnisins má sjá hér að ofan (mynd 3-4). Eins og fyrir hefur verið vikið að er vettvangur verkefnisins við Eyjafjörð og Skjálfanda. Miðað er við staðsetningu byggðar og sláturhúsa á svæðinu, heitt vatn er fyrir hendi á

staðnum, og rafmagn er fengið úr íslenska dreifikerfinu. Að öðru leyti eru gefnar forsendur almennar og ekki bundnar viðkomandi svæði.

Fjöldmörg mikilvæg næringarefni eru í sláturúgangi umfram köfnunarefni (N), fosfór (P) og kalíum (K). Þessi þrjú eru þó yfirleitt mikilvægust í allri ræktun og því aðeins horft til þeirra í verkefninu. Næringarefnin losna úr læðingi við niðurbrot sláturúgangsins, hluti þeirra verður aðgengilegur plöntum strax ef þeim er komið í dreifingu en annað losnar hægt og rólega. Þetta á sérstaklega við um köfnunarefni í moltu og hrati, en meginhluti þess losnar á nokkrum árum. Hér er gerð grein fyrir þeim hluta næringarefnanna sem líklegt er að verði aðgengilegur plöntum innan fárra ára. Ekki er lagt mat á umhverfisáhrif af notkun þeirra, né heldur á umhverfisáhrif vegna hráefna í framleiðslu tilbúins áburðar. Þar vegur þyngst hláturgasslosun við framleiðslu köfnunarefnis en hægt er að draga verulega úr henni með hreinsibúnaði (Börjesson P., o.fl., 2010).

Öll orkunotkun við framleiðslu afurða er færð til bókar, þ.á.m. orkunotkun við öflun þeirrar orku sem notuð er í kerfum verkefnisins, þ.e. öll fororka (sjá kafla 2.1 um orkugreiningu). Þannig er orkan sem fer í og tapast við flutning þess rafmagns sem notað er, allt frá vatnsaflsvirkjun til rafmagnsinntaksins á meðhöndlunarstað, færð til bókar. Á mynd 3-5 má sjá notkun orkugjafa í meðhöndlunarferlunum. Þar sem umtalsverð orka fer í framleiðslu og viðhald farartækja sem notuð eru í kerfunum er hún reiknuð með, sjá nánar hér um í kafla 4.3.1, umfjöllun um díselolíu (Berglund M., Börjesson P., 2003e). Orkunotkun vegna framleiðslu annars búnaðar, bygginga og niðurrifs þeirra, er hins vegar ekki haldið til haga, enda metin hlutfallslega afar lítil. Til dæmis er orkunotkun við byggingu gasgerðarstöðvar aðeins talin nema 0,6% af samanlagðri rekstrarorku téðrar gasgerðarstöðvar (Berglund M., Börjesson P., 2003e). Nánar er fjallað um notkun orku í kafla 4.3. Hráefni (önnur en orkumiðlar) sem reiknað er með eru sláturúgangurinn sjálfur, stoðefni í jarðgerð og uppbotarefni, þ.e. hráefni í tilbúinn áburð þar sem þess gerist þörf. Hráefni á borð við byggingarefni gasgerðar, jarðgerðarbúnaðar o.fl., málma og plast í farartækjum o.s.frv. eru aftur á móti utan kerfismarka. Það sama á við um samgöngumannvirki og notkun á köldu vatni.



Mynd 3-5 Orkugjafar í meðhöndlunarferlum

Lagt er mat á losun gróðurhúsalofttegunda við meðhöndlun sláturúgangsins og vegna allrar orkunotkunar (frá orkulind) við framleiðslu uppbotarafurða þar sem við á. Öll önnur losun fellur utan kerfismarka.

Tidáker (2003) bendir á að afmörkun milli tækni- og visthvólfs í landbúnaðarkerfum sé oft ekki einhlít. Sem dæmi nefnir hún kornræktarjarðveg sem er bæði hluti tæknihvólfs og náttúru. Þar sem afmörkun kerfa er nauðsynleg í LCA skilgreinir hún efstu 20 cm ræktarjarðvegs (þann hluta sem er plægður) innan tæknihvólfs og þar með kerfismarku. Sláturúrgangur er landbúnaðarafurð en "landbúnaðarhluti" lífsferils sláturdýra, þ.e. eldi þeirra, rekstur sláturhússins og meginafurðir þess (kjöt til manneldis) falla utan kerfismarku verkefnisins, sem lýtur aðeins að úrganginum sjálfum, úrvinnslu hans og afrakstri.

*Heildarlífsferill* sláturúrgangs hefst því við hlið sláturhússins (vagga) og lýkur með förgun og/eða nýtingu afurða úr honum og uppbótarefnum (gröf). Í þessu verkefni er aðeins hluti lífsferilsins greindur, eða frá "vöggu að hliði" (e. cradle to gate), sem þýðir að síðasta skrefið, notkun afurðanna (*gate to grave*) fellur utan kerfismarku.

Í rúmi afmarkast meðhöndlunarferlar af ytri veggjum sláturhúsanna og meðhöndlunarstaðnum sjálfum. Afmörkun kerfanna í tíma er ekki alveg jafn einföld og afgerandi. Yfirleitt miða framleiðslukerfi að því að ná hámarksárangri á sem stystum tíma með sem minnstum tilkostnaði. Þannig er t.d. tími upphitaðrar gerjunar í gasgerð takmarkaður við dvínandi gasafrakstur af hráefni (niðurbrotshraði hráefnis minnkar eftir því sem gengur á það), fremur en að eltst sé við að hráefni sé fullgerjað. Auðvelt er að skilgreina gasgerð og jarðgerð sem framleiðslukerfi og ákvarða að tímaspönn þessara ferla sé 8 mánuðir í gasgerð og 12 í jarðgerð (sjá nánar kafla 4.5 og 4.6). Í tilfelli urðunar er þetta ekki alveg jafn klippt og skorið. Niðurbrotstími urðaðs sláturúrgangs á Íslandi liggur ekki fyrir, en eins og komið var inn á í inngangi getur hann spannað marga áratugi. Því er sá einn kostur nauðugur að gefa sér forsendur á grundvelli þeirra mögru gagna sem fyrir liggja. Hægt er að hafa áhrif á niðurbrotstímann með ýmsum hætti og hér er gert ráð fyrir góðri formeðhöndlun úrgangsins (hökkun og hitun) í urðun I, og að hún dugi til að tryggja fullt niðurbrot á 20 árum. Í urðun 0 (algengustu förgunaraðferð sláturúrgangs hérlendis til skamms tíma) er aftur á móti gert ráð fyrir lágmarksmeðhöndlun (hökkun eingöngu), og að það taki úrganginn 40 ár að brotna niður í framhaldinu (sjá nánar kafla 4.7). Tímamörk niðurbrots sláturúrgangsins eru því styst í gasgerðarkerfi eða 8 mánuðir, en tímamörk urðunar 0 eru lengst eða 40 ár.

Uppbótarferlar hvers kerfis um sig eru ekki raktir í smáatriðum, heldur aðeins gerð grein fyrir hráefnum og orkunotkun samfara framleiðslu og flutningum á uppbótarafurðum þeirra.

### 3.4 Álagsmat

Umhverfisálag af þeim aðferðum og uppbótarferlum sem hér eru til umfjöllunar er margvíslegt. T.d. veldur framleiðsla og notkun áburðar (jafnt tilbúins áburðar sem áburðar unnum úr sláturúrgangi) umhverfisálagi. Þannig er ofauðgun víða fylgífiskur mikillar áburðarnotkunar. Hér á landi hefur ofauðgun vegna notkunar áburðar ekki látið á sér kræla að ráði (Friðrik Pálmason o.fl., 1989). Aðeins einn álagsflokkur (e. impact category) er skoðaður magnbundið í verkefninu, þ.e. losun gróðurhúsalofttegunda (skst. GHL), er leiðir til hnattrænnar hlýnunar.

Nokkrar lofttegundir hafa varmaáhrif í lofthjúp jarðar í samverkun við geisla sólar. Algengustu gastegundir lofthjúpsins, nitur ( $N_2$ ) og súrefni ( $O_2$ ), sem samanlagt mynda 99% andrúmsloftsins hafa ekki varmaáhrif en það hafa hins vegar koldíoxíð ( $CO_2$ ), hláturgas ( $N_2O$ ) og metan ( $CH_4$ ), sem og ýmsar lofttegundir sem innihalda flúor (F). Varmaáhrif, eða svokallaður *hlýnunarmáttur* (e. Global Warming Potential) lofttegundanna eru mismikil og er koldíoxíð notað sem viðmið,

þar sem  $\text{CO}_2=1$  (IPCC, 2006). Þar sem losun af mannavöldum er veruleg vex styrkur koldíoxíðs og fleiri gróðurhúsalofttegunda stöðugt í lofthjúpnnum, og virðist meðalhitastig á jörðinni fara hækkandi með að hluta til ófyrirsjáanlegum afleiðingum í náttúrunni (Halldór Björnsson o.fl. 2008; Hassol J. S., 2004). Tafla 3-11 sýnir margfeldisstuðla þeirra gróðurhúsalofttegunda sem skoðaðar eru í verkefninu.

Tafla 3-1 Hlýnunarmáttur nokkurra lofttegunda á þyngdareiningu (m.v. 100 ár)

Efnasamband	$\text{CO}_2$ ígildi <sup>a</sup> ; I	$\text{CO}_2$ ígildi <sup>b</sup> ; II
$\text{CO}_2$	1	1
$\text{CH}_4$	23	21
$\text{N}_2\text{O}$	296	310
$\text{SF}_6$		23.900

<sup>a</sup> DIRECTIVE 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources, <sup>b</sup> IPCC, 2006

Þeir stuðlar sem stuðst er við í verkefninu eru í miðjudálki (I), fengnir úr tilskipun Evrópubandalagsins um endurnýjanlega orkugjafa (Renewable Energy Directive, 2009). Um er að ræða viðmiðunargildi fyrir málaflökkinn. Að auki er notast við stuðul úr leiðbeiningarviðmiðum IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006) fyrir  $\text{SF}_6$  (brennisteinshexaflúoríð) í dálki II.  $\text{SF}_6$  er notað sem einangrunargas í háspennubúnaði raforkuvera, og er því talið fram sem hluti álags vegna raforkunotkunar.

Koldíoxíð sem myndast við niðurbrot lífmassa, s.s. lífræns úrgangs og gróðurs sem sökkt er í uppistöðulón vatnsaflsvirkjana, er í LCA ekki innifalið í bókhaldi yfir losun gróðurhúsalofttegunda (Finnveden G., 2000).

Í stuttu máli eru álagsefni er losna við meðhöndlun sláturúrgangsins og við orkunotkun á tilteknum sviðum flokkuð (e. classification), skilgreind nánar (e. characterisation) og heildaráhrif (gróðurhúsaáhrif) kerfa borin saman, en samkvæmt ISO 14044 eru viðkomandi skref nauðsynleg í LCA (Pré consultants, 2007).

### 3.5 Heimildanotkun og gögn

Heimildir og hinar ýmsu kennistærðir greiningarinnar eru sóttar víða að. Tiltæk meginleg gögn eru notuð en ekki er um að ræða sértæk gögn af völdum vettvangi, þ.e. kennistærðir eru meðaltalsgögn eða reiknuð viðmið, yfirleitt erlendis frá. Mikilvægt er að hafa í huga að öll uppgefin orkunotkun við meðhöndlun hvers tonns sláturúrgangs er miðuð við heildarmeðhöndlun hans í viðkomandi ferli. Því er hvorki mögulegt né nauðsynlegt að sundurgreina einstaka þætti meðhöndlunarferlanna meira en hér er gert. Öll erlend gögn eru frá Evrópu, mest frá Norðurlöndunum. Hér er vert að minnast á að lítið er til af íslenskum rannsóknum sem styðjast má við í kerfisgreiningum. Til að mynda hefur skilvirkni mismunandi nýtingarleiða jarðvarma lítið verið könnuð. Ef öðru er ekki til að dreifa er stuðst við einfaldar, reiknaðar nálganir eða reynt að "réttu af" mismun milli erlendra gagna og aðstæðna á Íslandi, t.d. má gera ráð fyrir að orkuþörf við upphitun gasgerðarstöðvar sé eitthvað meiri hér á landi en í Skandinavíu og Danmörku vegna kaldara loftslags.

Þau MFA/LCA-tól sem mest er stuðst við í þessu verkefni eru annarsvegar Biowaste-tólið og hinsvegar ORWARE. Biowaste-tólið er aðallega byggt á EDIP-aðferðafræðinni en það var þróað sem stuðningsverkfæri við ákvarðanatöku um söfnun og meðhöndlun á föstum, lífrænum úrgangi sveitarfélaga (la Cour Jansen J. o.fl., 2007). ORWARE (Organic Waste Research) er hermilíkan (e. simulation model) og gagnagrunnur þar sem MFA og LCA er fléttað saman. Hægt er að herma ýmsar úrgangsmeðhöndlunaraðferðir í líkaninu, t.a.m. urðun, jarðgerð og gerjun lífræns úrgangs. Jafnframt er þar gerð grein fyrir uppgjöri sömu næringarefna og í þessu verkefni (Dalemo M. o.fl. 1997, Eriksson O. o.fl., 2002, Sonesson, U., 1998).

Aðferðir og kennistærðir orkugreiningarhluta verkefnisins eru helst sóttar í rannsóknir og greiningar Börjessons og félaga, í deild umhverfis- og orkukerfa, Tækniháskólanum í Lundi (Börjesson P., 1994, Berglund M., Börjesson P., 2003e, Börjesson P. o.fl. 2010).



## 4 Bókhald verkefnis

### 4.1 Helstu þættir og aðstæður

Vettvangur verkefnisins er á norðurlandi eystra. Sláturúrgangur (hráefni) berst frá þremur sláturhúsum, eitt er staðsett við Húsavík, en hin á Akureyri. Með grófri nálgun út frá aðgengilegum gögnum um magn sláturúrgangs á Íslandi árið 2002 (Landbúnaðar-ráðuneytið, 2004) og fjölda sláturlamba haustið 2008 var áætlað að frá Húsavík bærust 1.500 tonn og frá Akureyri 2.000 tonn árlega. Á Húsavík er slátrað sauðfé, en á Akureyri er í meira mæli slátrað stórgripum (nautgripir, hestar) og svinum (Sigmundur Ófeiggsson, 2008). Gert er ráð fyrir að sama vegalengd sé frá báðum sláturhúsunum á Akureyri að meðhöndlunarstað, og að staðsetning hans sé í öllum tilfellum sú sama, þ.e. á dæmigerðu landbúnaðarsvæði um 10 km suður af Akureyri en 100 km frá Húsavík. Jarðhitavatn fæst á svæðinu (borhola í tveggja km. fjarlægð) og rafmagn að sjálfsgöðu. Hér er mikilvægt að vekja athygli á að sú nálgun sem hér er framkvæmd er afar gróf og byggist ekki á raungögnum af svæðinu. Ekki fengust upplýsingar um samsetningu sláturúrgangs eða önnur mæligögn sem nauðsynleg eru til að meta nýtingu sláturúrgangs af svæðinu af einhverri nákvæmni. Það hindraði þó ekki framgang verkefnisins þar sem um fræðilega samannburðarrannsókn á áhrifum mismunandi meðferðar sláturúrgangs er að ræða en ekki reynslurannsókn.

### 4.2 Sláturúrgangur

Sláturúrgangur samanstendur af innyflum og innihaldi þeirra, beinum, fitu, húð og líffærum á borð við lungu og heila o.s.frv. og öðru því sem annaðhvort er ekki hæft til manneldis, eða ekki er áhugi fyrir að nýta af einhverjum ástæðum.

Smitvarnir eru afar mikilvægar í allri meðferð sláturdýra, dýraleifa og sláturúrgangs. Meðferð og nýting á slátur- og dýraleifum er fyrirskrifuð í reglugerð nr. 820/2007, þar sem sláturúrgangur og dýraleifar eru flokkuð í þrjá áhættuflokka út frá sóttvarnarsjónarmiðum. Fyrsti flokkur ber mesta áhættu, en í hann falla m.a. hauskúpa, augu, heili, mæna ofl. úr sauð- og geitfé eldra en 12 mánaða, áhættuvefur svokallaður, en úrgangur í þeim flokki skal brenna ef mögulegt er. Í samræmi við ofanefnda reglugerð er hér gert ráð fyrir að allur áhættuvefur sé flokkaður frá og fari í annan farveg. Í fyrsta áhættuflokki eru einnig riðusmituð dýr eða hlutar slíkra dýra, hræ af sjálfdaudu sauðfé, geitfé og nautgripum, þar með talin dauðfædd dýr og fóstur slíkra dýra o.fl. Í öðrum flokki eru dýr sem felld eru vegna smitsjúkdóma, innihald innyfla o.fl. Aðeins sláturúrgangur í 3. og hættuminnsta áhættuflokki berst á meðhöndlunarstað, þ.a.m. eru bein, kjöt, fita og ýmis líffæri m.a. innyfli dýra sem felld eru í sláturhúsi (heilbrigð dýr). Í reglugerðinni er jafnframt kveðið á um hvernig meðhöndla beri sláturúrgang sem á að nýta, en úrgangur í 3. áhættuflokki skal hakka í 12 mm bita og halda í 70°C hita í eina klukkustund áður en frekar er unnið með hann (formeðhöndlun).

#### Efna- og orkuinnihald sláturúrgangs

Gögn um efnasamsetningu sláturúrgangs á Íslandi liggja ekki fyrir og er efnasamsetningin því áætluð út frá aðgengilegum heimildum erlendis frá (Edström M. o.fl., 2003, Berglund M., og Börjesson P., 2003e, Lindberg A., 1995, Edström M., 1995) og ofanefndri

reglugerð (nr. 820/2007). Heimildir um kolvetnisinnihald sláturúrgangs vantaði en þar sem megnið af innihaldi innyfla er ekki til staðar (skv. reglugerð 820/2007) er gert ráð fyrir að það sé lítið. Áætlað magn hvers efnaflokks í einu tonni sláturúrgangs má sjá í töflu 4.1. Þurrefni er álitid vera um 25%, en þar af er aska 2% (ólífræn efni). Lífrænt þurrefni (lþe.) er því um 23%. Það skiptist í prótein (um 54,4% þurrefnis eða 12,5% af heildarmagni úrgangs), fitu (43,4% eða 10% af heild) og kolvetni (2,2% eða 0,5% af heild) sjá einnig viðauka I.1. Rétt er að ítreka að hér er um grófa nálgun að ræða. Samsetning sláturúrgangs ræðst m.a. af því hvaða hlutar sláturdýrsins eru nýttir til mannelis eða settir í aðra farvegi hverju sinni. Ef t.d. blóð og innihald innyfla er ekki talið til úrgangs hækkar þurrefnainnihald hans, en ef próteinhluti hans er minnkaður lækkar jafnframt köfnunarefnismagnið o.s.frv. Árferði getur einnig haft áhrif á magn og samsetningu sláturúrgangs, t.d. á fitumagn í úrgangi frá sauðfjárslátrun. Þá hefur löggjöf einnig áhrif hér á. Sem dæmi má nefna að í annarri breytingu á reglugerð nr. 820/2007 um sláturúrgang og dýraleifar (reglugerð 930/2008) var innihald innyfla fellt úr 2. áhættuflokki en í breytingu á reglugerðinni árið 2010 (reglugerð nr. 881/2010) var það aftur sett í þann áhættuflokk.

Tafla 4-1 Efnainnihald á hvert tonn sláturúrgangs, árlegt heildarmagn og metanmyndun

Efnaflokkur	kg/t	t samtals	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg efnaflokk <sup>a</sup>
Aska	20 <sup>b</sup>	70	
Lífrænt þurrefni	230 <sup>b</sup>	805	
þar af:			
prótein	125 <sup>c</sup>	437,5	0,53
fitu	100 <sup>c</sup>	350	1,0
kolvetni	5 <sup>c</sup>	17,5	0,38
vatn	750	2625	
samtals þurrefni+vatn	1.000	3.500	

<sup>a</sup> miðað við 100% niðurbrot (reiknað) viðkomandi efnaflokks, sjá nánar viðauka I.2, Berglund M., og Börjesson P., 2003e; <sup>b</sup> byggt á Edström M. o.fl., 2003, Lindberg A., 1995, Edström M., 1995; <sup>c</sup> byggt á Berglund M., og Börjesson P., 2003e., Edström M. o.fl., 2003, Lindberg A., 1995.

## Næringarefni

Þau næringarefni sem mest eru notuð til áburðar í jarðrækt eru köfnunarefni (N), fosfór (P), og kalíum (K). Öll þessi efni er að finna í sláturúrgangi. Tafla 4-2 sýnir ætlað magn hvers efnis fyrir sig í einu tonni sláturúrgangs, og heildarmagn á ári miðað við forsendur verkefnisins:

Tafla 4-2. Magn næringarefna í sláturúrgangi

Frumefni	kg/t sláturúrgangs	t alls
N	20 <sup>a</sup>	70,0
P	3 <sup>b</sup>	10,5
K	2 <sup>b</sup>	7,0

a Berglund M., og Börjesson P., 2003e, b Lindberg A., 1995

Magn köfnunarefnis var metið útfrá reiknuðu meðalgildi þess í próteini, sjá nánar viðhengi I.1. Þar má einnig sjá mat á kolefnisinnihaldi sláturúrgangsins, alls 512.8 tonn. Stuðst var

við tölur um magn fosförs og kalíum í sláturúrgangi úr skýrslu sænskrar fræðastofnunar í landbúnaði (Jordbrukstekniska Institutet, Lindberg A., 1995).

Í afurðum gasgerðar og jarðgerðar eru fosfór og kalíum á aðgengilegu formi fyrir plöntur. Köfnunarefni er einnig á plöntuadgengilegu formi í báðum tilfellum, en í töluvert meira mæli í afurð gasgerðar en jarðgerðar, þar sem köfnunarefnissamböndin sem myndast í jarðgerðarferlinu eru að hluta tregniðurbriótanleg. Við urðun (UI og U0) myndast engin næringarefni á nýtanlegu formi. Til samræmingar er því gripið til kerfisstækkunar, í þessu tilfelli með því að nota tilbúinn áburð sem uppbót.

## Beislun orkunnar

Sé sláturúrgangi fargað við loftaðar aðstæður (jarðgerð, súrefni til staðar) brjóta loftháðar örverur niður úrganginn. Ekkert metan myndast við þessar aðstæður, en talsverður varmi. Í loftfirrðu rými (urðun, gasgerð) brjóta loftfirrðar örverur úrganginn niður og nýta sér til viðurværis. Ein afurð loftfirrðs niðurbrots er metan (orkurík gastegund) sem nota má sem eldsneyti. Í gasgerð er metangasinu safnað og unnið úr því eldsneyti. Það er einnig gert í urðun I, en þar safnast þó nokkru minna af metani, og í jarðgerð og urðun 0 er engu metani safnað. Til samræmingar er því gripið til kerfisstækkunar, í þessu tilfelli með því að nota bensín sem uppbót.

Samsetning og lífrænt þurrefnainnihald úrgangsins ákvarða bæði orku- og næringarefnainnihald hans, t.d. er fita orkurikari en prótein (sjá metanmyndun mismunandi efnaflokka í töflu 4-1), en hún inniheldur hins vegar ekkert köfnunarefni. Nánar er fjallað um efnaflokka, næringarefni og gasmyndun í viðauka I-1 og I-2.

Tafla 4-3. Metanafrakstur nokkurra hráefna (gróf samantekt)<sup>a</sup>

Hráefni	Metanafrakstur Nm <sup>3</sup> /t lþe
Matarleifar	400-600
Húsdýraáburður svína, hænсна, eða nautgripa	100-300
Sláturúrgangur	700
Korn	300-400
Sykkurrófur	300-800
Gras	200-400

a Jarvis Á., Schnürer A., 2009

Hve hagstæður sláturúrgangur er miðað við önnur hráefni í lífgasvinnslu, má lesa úr töflu 4-3, sem byggir á samantekt mæliniðurstaðna (Jarvis Á., Schnürer A., 2009). Úr sláturúrgangi fást um 700 Nm<sup>3</sup> af metani/t lþe., en húsdýraskítur gefur t.d. aðeins 100 - 300 Nm<sup>3</sup> á hvert tonn þurrefnis, gróflega áætlað.

## 4.3 Orkan

Hér er fjallað um orku og notkun hennar í kerfunum fjórum. Þar sem mismikil orka vinnst úr hráefninu (sláturúrgangi) er sótt uppbótarorka í formi jarðefnaeldsneytis í þremur af kerfunum fjórum svo *orkuframlag* (e. *output*) allra kerfa verði hið sama (kerfisstækkun). Orkunotkun í uppbótarferlum er færð til bókar rétt eins og orkunotkun í meðhöndlunarferlum sláturúrgangs.

### 4.3.1 Orkugjafar og notkun þeirra

Öll kerfin fjögur þurfa utanaðkomandi orku, ýmist í formi rafmagns, jarðefnaeldsneytis, jarðvarma eða metans, þ.e. notorku, en til hennar telst m.a. eldsneyti á flutningabíla og vinnuvélar, orka til að hakka úrganginn og hita hann þar sem það á við, knýja jarðgerðarvél o.s.frv.

Eins og áður hefur verið fjallað um er PE-stuðull byggður á breytilegum forsendum. PE-stuðlar hafa ekki verið reiknaðir út á Íslandi. Notaðir eru PE-stuðlar þar sem talsverðar líkur eru á að þeir gætu verið nærri lagi eða gildi þeirra nálgað með einföldum útreikningum. Tafla 4-4 sýnir PE-stuðla þeirra orkugjafa sem notaðir eru í verkefninu.

Tafla 4-4. Orkugjafar og PE-stuðlar þeirra

Orkugjafi/búnaður	PEF	Heimild/byggt á
Rafmagn	1,36	Rósa Guðmundsdóttir, 2009
Jarðvarmavatn	1,15	Nálgun með útreikningum
Jarðolíuafurðir	1,10	Berglund M., Börjesson P., 2003e
Lífmetan <sup>a</sup> Svíþjóð	1,30	Berglund M., Börjesson P., 2003e

a unnið úr lífmassa

#### Rafmagn

Hluttur vatnsaflsvirkjana í heildarraforkuframleiðslu á Íslandi árið 2009 var um 73%, hin 27 prósentin voru framleidd í jarðvarmavirkjunum (Birna Hallsdóttir o.fl., 2009). Út frá greiningum Rósu Guðmundsdóttur (2009) og mati sérfræðinganeftdar Umhverfissráðuneytisins (Brynhildur Davíðsdóttir o.fl., 2009) á skilvirkni vatnsafls- og jarðvarmavirkjana reiknast PEF samanlagðrar raforkuframleiðslu á Íslandi vera 1,36 (nálgun, sjá viðauka I.3).

#### Jarðvarmavatn

Þar sem PE-stuðull fyrir beina jarðvarmanýtingu (upphitun/hitaveita) hefur ekki verið reiknaður út, var annað hvort að sleppa notkun jarðvarmavatns, eða, eins og úr varð, að styðjast við einfalt mat á orkugjafanum. Lághitavatn (<100°C) er víða fyrir hendi á Íslandi, ýmist beint úr jörðu eða sem aukaafurð í háhitavirkjunum, en lághitavatn er hentugur varmagjafi t.d. í gasgerð (viðstöðulaus hitun í 36-37°C). Jarðhiti er í nágrenni meðhöndlunarstaðar. Vatnið er 85-90 °C heitt þegar það fer inn á stofnlögn (Stefán Steindórsson, Norðurorku, 20. maí 2010), hér er reiknað með 87.5°C og varmatapi upp á 5,5° á leiðinni á meðhöndlunarstað, þótt eflaust megi draga úr því með fullkonnari einangrun. Við bætist orkunotkun við borun eftir vatninu og dælingu vatns (1,5% rafmagn) á notkunarstað, samtals 2% nýtanlegs varmagildis. Miðað við þessar forsendur er nýtanlegur varmi jarðvarmavatnsins 180 MJ á Nm<sup>3</sup> (varmalosun við hitafall úr 82° í 39°C) og PE-stuðullinn nokkuð hagstæður, eða 1,15, enda umbreyting á orkuformi ekki nauðsynleg. Útreikningar á PE-stuðli jarðvarmavatns eru í viðauka I.4.

#### Lífmetan

Íslenskur PE-stuðull fyrir lífmetan lá ekki heldur fyrir og var því sænskur stuðull notaður í útreikningum fyrir notkun þess í verkefninu sem eldsneyti. Lífmetan getur aldrei verið

100% CH<sub>4</sub>. Yfirleitt næst 97-99% hreinleiki með hreinsun (Johansson N., 2008). Til að auðvelda samanburð er hér hins vegar gert ráð fyrir að lífmetan sé 100% hreint.

## Díselolía

Fjallað var um PE-stuðul díselolíu í kafla 2.1. Miðað er við miðgildi Berglund og Börjesson þ.e. PEF= 1,10 (Berglund M., Börjesson P., 2003e).

Þar sem orkunotkun er talsverð við framleiðslu og viðhald flutninga- og vinnuvéla er gerð grein fyrir henni og er hún áætluð sem svarar 8% á hvert notað MJ díselolíu eða metans. (Berglund M., og Börjesson P., 2003e ). Brúttóorkunotkun flutningabíls (eldsneyti + fororka) sem eyðir 3,5L/km af díselolíu reiknast því vera, á hvern km:

$$36\text{MJ/L dísel} * 0,35\text{L/km} * 1,18 (\text{PEF}_{\text{dísel+framleiðslu\&viðhaldsorka}}) = 14,97\text{MJ/km}$$

Hér eftir hefur fororka ávallt verið reiknuð inn í uppgefnar orkustærðir, nema annað sé tilgreint sérstaklega. Miðað er við lægra brunagildi orkugjafa (e.: lower heating value).

### 4.3.2 Orkunotkun

Tafla 4-55 sýnir þá orkugjafa sem notaðir eru við meðhöndlun sláturúrgangs í þeim ferlum sem bornir eru saman í verkefninu. Díselolía er ávallt notuð við aðflutninga, en í mismiklum mæli. Í jarðgerð og urðun 0 er hún notuð eingöngu, enda ekki um neina eldsneytisframleiðslu (metan) í viðkomandi ferlum að ræða.

Tafla 4-5. Orkugjafar fyrir flutninga og meðhöndlun sláturúrgangs.

Ferill	Flutningur frá sláturhúsi í meðhöndlun	Meðhöndlun		
		hitaveitu-vatn	dísel-olía	rafmagn
Gasgerð	10% díselolía 90% gas	+	-	+
Jarðgerð <sup>a</sup>	díselolía 100%	-	+	+
Urðun				
0	100 % díselolía	-	+	-
I	10% díselolía/ 90%gas	-	+	+

a Stoðefni aðflutt auk sláturúrgangs

Rafmagn er notað í öllum ferlum nema urðunarleið 0 en hitaveituvatn aðeins í gasgerðarstöð. Hér er gert ráð fyrir rafmagni frá íslenska landsnetinu og upphitun gasgerðarstöðvar með hitaveitu, en lághita-jarðvarmavatn (<100°C) er heppilegt til upphitunar í gasgerð. Umbreyting orkuforms er óþörf en einhver orka tapast við borun eftir vatninu, dæling vatnsins til gasgerðarstöðvar krefst orku og einhver orka tapast á leiðinni. Jarðvarmavatn er fyrir hendi í Eyjafjarðarsveit, gert er ráð fyrir að meðhöndlunarstaður sláturúrgangsins sé tvo kílómetra frá borholunni.

Í jarðgerð og urðun 0 er eingöngu notuð orka (engin eldsneytisframleiðsla), en í gasgerð og urðun I myndast orkuríkt lífgas, sem nothæft er sem eldsneyti (lífmetan) eftir hreinsun. Gert er ráð fyrir að framleitt metaneldsneyti sé notað við flutninga sláturúrgangs í viðkomandi ferlum. Gengið er út frá því að metanknúnu flutningabílarnir þurfi díselolíu til ræsingar og noti

að jafnaði 90% metan og 10% díselolíu. Framleiðandi slíkra flutningabíla fullyrðir að nýting metans og díselolíu sé hin sama (Johansson N., 2008). Hér skal gerður sá fyrirvari að þótt munurinn sé eflaust lítill í háþrúðum bílum getur hann þó verið einhver, a.m.k. er umtalsverður munur í eldri bílum (Johansson M., Nilsson T., 2007, Berglund M., Börjesson P., 2003e).

### Framleiðsla á tilbúnum áburði

Samkvæmt Berglund og Börjesson (2003e) er orkunotkun við framleiðslu tilbúins áburðar (á meginlandi Evrópu) sem hér segir:

Tafla 4-6. Orkunotkun við framleiðslu N, P og K áburðar

Framleiðsla/vinnsla	Köfnunarefni(N)	Fosfór(P)	Kalíum(K)
MJ/kg	45	25	5

### Flutningar

Í verkefninu eru það aðeins aðflutningar sem falla innan kerfis, þ.e. flutningur á sláturúrgangi (öll kerfi), stoðefni (jarðgerð) og utanaðkomandi afurðum (uppbótar-afurðum í jarðgerð, urðun 0 og urðun 1) á meðhöndlunarstað.

### Sláturúrgangur og stoðefni

Tafla 4-77 gerir grein fyrir vegalengdum milli sláturhúsa, timburvinnslu (stoðefni) og meðhöndlunarstaðar, eldsneytiseyðslu flutningabíla, fjölda ferða og samanlagðan kílómetrafjölda yfir árið. Ávallt er gert ráð fyrir að notað sé farartæki með 14 tonna flutningsgetu sem eyðir tæpum 0,35 L/km af díselolíu eða samsvarandi af metani (13 MJ/km; án fororku).

Tafla 4-7. Staðsetning ferilþátta, helstu vegalengdir og orkunotkun.

Sláturhús	km að meðhöndlunarstað	Flutningabíll, hleðsla 14t. Eyðsla í L díselolíu/aðra leið	Samtals ferðir/ár	Samtals km/ár (fram og til baka)
Húsavík	100	35	108	21.600
Akureyri	10	3,5	143	2.860

### Flutningur á tilbúnum áburði

Í urðunarferlum og jarðgerð er reiknað með að flytja þurfi áburð með skipi frá Rotterdam til Reykjavíkur og þaðan með flutningabíl í Eyjafjörð.

Tafla 4-8 Orkunotkun við áburðarflutninga frá Rotterdam til Eyjafjarðar

Flutningsleið og farartæki	MJ/t tilbúinn áburður
Fraktskip; 2000-8000 rúmlestir <sup>a</sup> ; farmhlutfall 60% Rotterdam-Reykjavík (2045 km)	610,0
Flutningabíll, frakt 14t <sup>a</sup> ; farmhlutfall 100% Reykjavík-Akureyri-Reykjavík <sup>b</sup> (390km*2)	828,4

<sup>a</sup> www.ntm.a.se, 2010 <sup>b</sup> bíllinn fer fullhlaðinn í Eyjafjörð en tómur til baka

## 4.4 Umhverfisálag vegna orkunotkunar

Losun gróðurhúsalofttegunda vegna orkunotkunar má í öllum kerfum rekja að mestu leyti til brennslu jarðefnaeldsneytis við flutninga og áburðarframleiðslu. Í samanburðarferlum verkefnisins er notaður ýmis búnaður, vinnuvélar og flutningabílar. Val á orkugjafa, mengunarvarnarbúnaður véla og tækja og förgunaraðferðirnar sjálfar, allt hefur þetta sitt að segja um álagið sem viðkomandi kerfi veldur umhverfinu.

Sem fyrr segir er gert ráð fyrir sömu gerð flutningabíla við alla landflutninga, en ekki sama orkugjafa í öllum tilfellum. Tafla 4-9 sýnir útblástur gróðurhúsalofttegunda í CO<sub>2</sub> ígildum vegna orkunotkunar flutningabíla og vinnuvéla knúnum díselolíu annars vegar, og metani hins vegar. Vert er að minna á að hluti (21%) fororku flutningabíla sem ganga fyrir metani er til kominn vegna notkunar jarðefnaeldsneytis, þar sem notaðar eru jarðolíuafurðir við framleiðslu þeirra og viðhald (sjá nánar um díselolíu í kafla 4.3.1).

Tafla 4-9 Útblástur gróðurhúsalofttegunda við eldsneytisnotkuna flutningabíla og vinnuvéla

Flutningabíll, vinnuvél/eldsneyti	CO <sub>2</sub> ígildi g/MJ
Díselolía	74
Lífmetan	0,9

<sup>a</sup> RED, 2009

Upplýsingar um orkunotkun vinnuvéla í urðun og jarðgerðarstöð liggja fyrir (la Cour Jansen J., o.fl. 2007), en ekki samsvarandi útblástur gróðurhúsalofttegunda. Miðað er við að notuð sé díselolía á vinnuvélarnar og þær séu því á pari við vörubíla hvað útblástur varðar.

Losun gróðurhúsalofttegunda vegna rafmagnsframleiðslu héraðs skrifað að mestu leyti á jarðvarmahluta hennar, en aðrir þættir eru m.a. losun metans og hláturgass úr uppistöðulónum vatnsaflsvirkjana.

Tafla 4-10 GH<sub>L</sub>-losun á orkueiningu raforku, b

Hlutfall	Orkugjafi	CO <sub>2</sub> íg g/MJ
0,73	Vatnsafl	0,57
0,27	Jarðhitaafli	14,69
Samtals		3,7

aRósa Guðmundsdóttir, 2009; bBirna Hallsdóttir o.fl., 2009.

Ekki fundust upplýsingar um gróðurhúsaáhrif lághitavatns (<100°C). Hér er gert ráð fyrir losun GH<sub>L</sub> vegna varmavatnsnotkunar þar sem orka er notuð við öflun vatnsins, borun eftir því (díselolía, 0,5%/MJ vatns) og síðan dælingu þess (rafmagn, 1,5%/MJ vatns) eða um 0,4g CO<sub>2</sub> íg/MJ.

Orkunotkun við framleiðslu tilbúins köfnunarefnisáburðar er nær tvöfalt hærri en við vinnslu tilbúins fosfóráburðar, en koldíoxíðígildi á tonn eru samt svipuð í báðum tilfellum (tafla 4-11). Þetta skýrist helst af því að meginorkugjafi við fosfórvinnslu er olía en jarðgas við framleiðslu köfnunarefnisáburðar (Berglund M., Börjesson P., 2003m). Þess má geta að köfnunarefnisáburður var unninn með rafmagni hér á landi fyrir nokkrum árum og væri losun gróðurhúsalofttegunda við framleiðslu slíks áburðar mun lægri en hér er miðað við.

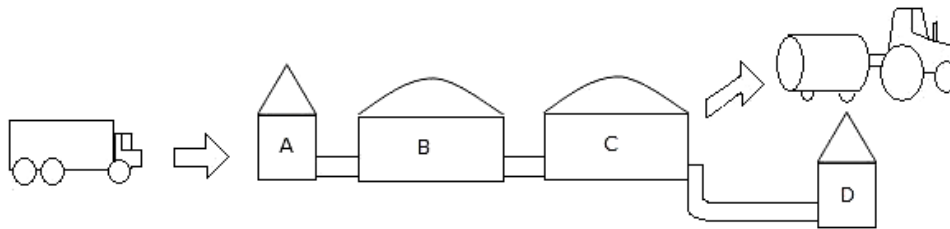
Tafla 4-11 Losun GHG vegna orkunotkunar við framleiðslu tilbúins áburðara

Áburðarefni	CO <sub>2</sub> íg. t/t áburðar
N	3,2
P	2,9
K	0,44

<sup>a</sup> byggt á Berglund M., Börjesson P., 2003m;

## 4.5 Gasgerð

Gert er ráð fyrir að gasgerðarstöðin sé rekin af bónda og bú hans staðsett í Eyjafjarðarsveit, 10 km inn af Akureyri. Hráefni stöðvarinnar eru sláturúrgangur, mykja, heyfyrningar og annar úrgangur sem fellur til á búinu. Ekki er gerð grein fyrir öðru lífrænu hráefni gasgerðarinnar en sláturúrgangi í þessu verkefni.



Mynd 4-1 Gasgerðarferill

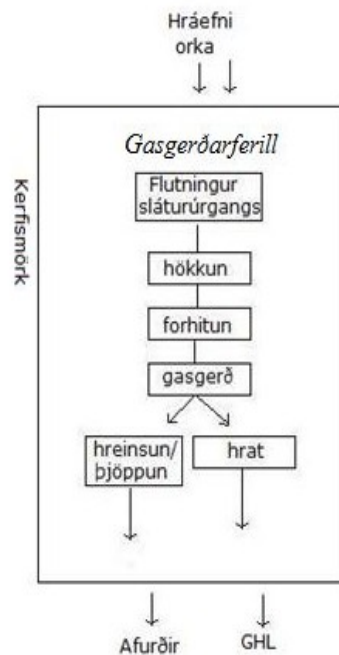
Sláturúrgangur er fluttur á meðhöndlunarstað og settur í formeðhöndlun (hökkun, hitun; A). Síðan fer hann í meltara (B) og þaðan (hrat) í geymsluþró (C). Gasi er safnað úr báðum tönkum og dælt yfir í hreinsi- og þjöppunarstöð (D). Bændur sækja næringarríkt hratið í geymsluþróna og dreifa á akra, en gasið er notað sem eldsneyti.

Að jafnaði berast á meðhöndlunarstað 4-5 14 tonna farmar af sláturúrgangi á viku (sjá nánar töflu 4-7 þar sem gerð er grein fyrir flutningum sláturúrgangs á ársgrundvelli). Gert er ráð fyrir gasgerðarstöð sem afkastar a.m.k. 100 t á viku til að mæta mögulegum sveiflum í hráefnisöflun.<sup>1</sup> Vélbúnaður gasgerðarinnar er knúinn með rafmagni og jarðhitavatn notað til upphitunar meltara. Jarðhitavatn nýtist að takmörkuðu leyti við forhitun, þar er notað rafmagn (sjá nánar töflu 4-14). Upphitun hefur mjög jákvæð áhrif á gerjun sláturúrgangs. Í gerjunartilraunum Mats Edström og féлага frá árinu 2003 kom í ljós að metanafrakstur fjórfaldaðist ef sláturúrgangur hafði áður verið hitaður í 70°C í eina klukkustund eftir hökkun, að öðrum aðstæðum óbreyttum. Slíkri forhitun er beitt hér. Auk þess að auðvelda niðurbrot er forhitun nauðsynleg ef nýta á næringarefni úrgangsins. Um flotgerjun er að ræða og er sláturúrgangurinn þynntur með vatni um 60% áður en hann fer í meltarann. Í meltaranum brjóta loftfirrðar örverur niður úrganginn (gerjun), en þar sem varmalosun er afar lítil þarf að hita meltarann upp með jarðvarmavatni. Í gasgerðarstöðinni er sístreymi hráefnis, (e. continuous flow digestion), þ.e. flæði gerjunarblöndu inn í meltara og úr honum er viðstöðulaust. Meðaltími hráefnis (viðstöðutími) í meltara er 25 dagar (Dalemo M. o.fl., 1997). Við niðurbrot þurrefnis gerjunarblöndu í meltara losnar gas. Afurðir niðurbrotsins

<sup>1</sup>Vel má ímynda sér að móttökuskemman þurfi að vera býsna stór og með aðstöðu til að geyma talsvert magn úrgangs í einhvern tíma áður en meðhöndlun getur hafist, t.d. í sláturtíð. Það er hins vegar verkfræðilegt útfærsluatriði, sjá nánar kafla 6.



sem sóst er eftir er annarsvegar metangas og hins vegar næringarefni. Við niðurbrotið losnar, auk metans, koldíoxíð (30-50%), ammoníak (<500ppm), brennisteinsvetni o.fl. gastegundir (Berglund M., Börjesson P., 2003e, Johansson N., 2008). Reiknað er með um 66% niðurbroti úrgangsins (sjá nánar töflu 4-15). Útgerjuðum vökva (gerjunarhrati) er síðan dælt yfir í lokaða geymsluþró, þar sem gasi er einnig safnað. Loks er lífgas stöðvarinnar hreinsað og þjappað og er þar með tilbúið til notkunar sem eldsneyti, en hratið borið á jarðyrkjuland, mismunandi mikið eftir árstíma. Má áætla að frá því sláturúrgangur berst á meðhöndlunarstað þar til hratið er nýtt í jarðyrkju líði um 2-8 mánuðir, en áburður hratsins stjórnast af þörfum jarðyrkjunnar. Mynd 4-2 sýnir kerfismynd af gasgerð svo auðvelt sé að glöggva sig á helstu kerfisþáttum hennar.



Mynd 4-2 Gasgerðarkerfi

Kerfismörk gasgerðar liggja annars vegar við vegg sláturhúsa á Akureyri og Húsavík og hins vegar á geymslusvæði tilbúinna afurða; metangass og næringarefnaríks hrats. Notkun afurðanna er utan kerfismarka. Þótt afurðir gasgerðar séu þrenns konar (förgun, metan og næringarefnaríkt hrat) er aðeins um einn framleiðsluferil að ræða.

#### 4.5.1 Næringarefni

Köfnunarefni er í próteinhluta úrgangsins og brotnar niður í samræmi við niðurbrot próteinsins. Ekki er gert ráð fyrir köfnunarefnistapi við vinnslu hráefnis eða í gerjun, heldur skilar það sér allt í hratið á endanum. Í hratinu er hluti köfnunarefnisins hins vegar á rokgjörnu formi og getur tapast við meðhöndlun þess og dreifingu. Dreifingartækni, hitastig o.fl. efna- og umhverfisþættir hafa áhrif á hve mikið köfnunarefnistapið úr hratinu er, en samkvæmt Berglund og Börjesson o.fl. getur það verið allt að 30%, að mestu ammoníak, en einnig hláturgas. Gera má ráð fyrir að hægt sé að hafa áhrif á þessa losun með temprun sýrustigs lausnarinnar, dreifingu við lágt hitastig og máske fleira (Vetter A., Arnold K., 2010, Eder B., Schulz H., 2007, Berglund M., Börjesson P., 2003e).

Umhverfisáhrif vegna næringarefna eru ekki metin magnbundið í þessu verkefni en gert er ráð fyrir tapi næringarefna eins og tafla 4-12 sýnir.

Tafla 4-12 Næringarefni í sláturúrgangi og hrati gasgerðarstöðvar (alls)

Næringarefni úr gasgerðarstöð	t/ár	Aðgengilegtplöntum, t	Tap%
N	70	48,7	30
P	10,5	10,5	0
K	7,0	7,0	0

Hluti köfnunarefnisins í hratinu er bundinn í lífrænum efnasamböndum (um 39% próteinsins nær ekki að brotna niður í gerjun). Þar af brotnar stór hluti niður innan skamms tíma í jarðvegi og nýtist plöntum í framhaldinu, en hluti þvæst út. Alls inniheldur sláturúrgangurinn um 70 tonn af köfnunarefni og miðað við 30% tap eru þá hátt í 49 tonn nýtanleg plöntum. Allur fosfór og kalíum varðveitist hins vegar og er nýtanlegt plöntum strax (Eder B., Schulz H., 2007, Berglund M., Börjesson P., 2003e).

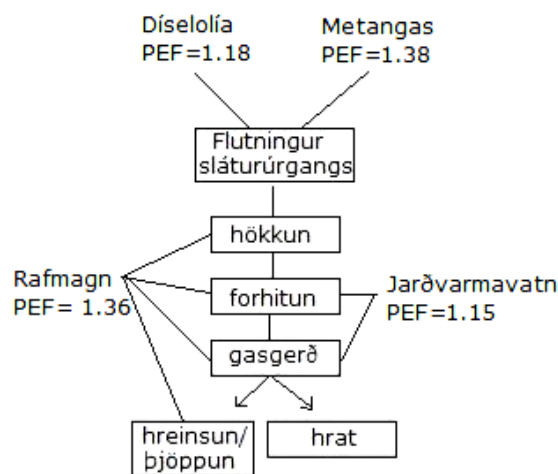
#### 4.5.2 Orka

Loftfirrðar örverur hafa "ekki mikið upp úr kraftinu", þ.e. til sjálfsþurfta ná þær aðeins litlu broti af þeirri orku sem losnar úr læðingi við niðurbrot úrgangs, mun minna en loftháðar örverur. Varmalosun er einnig lítil og er upphitun í gasgerðarstöð nauðsynleg svo ákjósanlegur niðurbrotshraði náist. Jafnframt losnar umtalsvert magn metans (í loftfasa) sem safnað er í stöðinni (Jarvis Á, Schnürer A., 2009).

#### Orkunotkun ( $E_{inn}$ )

Í gasgerð er notað metan og díselolía á flutningabíla, jarðvarmavatn til upphitunar úrgangs, og rafmagn (formedhöndlun úrgangs og rekstur stöðvar).

Til glöggvunar eru notaðir orkugjafar og PE-stuðlar þeirra, á hinum ýmsu stigum gasgerðar sýndir í mynd 4-3.



Mynd 4-3 Orkugjafar og notkun þeirra í gasgerðarferli.

Myndin gerir grein fyrir þeim orkugjöfum sem notaðir eru á hinum ýmsu stigum gasgerðarkerfis. PE-stuðlar viðkomandi orkugjafa eru einnig tilgreindir.

## Flutningar á hráefni

Í flutningum á sláturúrgangi til gasgerðarstöðvar er gert ráð fyrir að 90% eldsneytis sé metangas en 10% díselolía. Miðað er við 50% hleðslu (billinn er fullhlaðinn aðra leið en fer tómur til baka<sup>2</sup>). Fjallað er um flutningana, vegalengdir, fjölda ferða o.s.frv. í kafla 4.3.3 og töflu 4-7.

Tafla 4-13 Orkunotkun við flutninga sláturúrgangs

Sláturhús	Díselolía MJ/ár	Metan MJ/ár	Alls MJ/ár
Akureyri	4.248	42.800	
Húsavík	31.860	335.340	
Samtals	36.108	380.052	416.160

## Rekstur gasgerðar

Hitun gerjunarblöndunnar er orkufrekasti þáttur gasgerðarinnar, en halda þarf hitastigi blöndunnar stöðugu í 36-37°C. Formeðhöndlun sláturúrgangs, hökkun og forhitun (70°C, 1klst.), krefst einnig nokkurrar orku. Auk varmanotkunar þarf að knýja hrætur, dælur ofl. með rafmagni. Víða erlendis er hluti framleiðslunnar (gas) notað við reksturinn og er þá framleitt rafmagn og/eða varmi á staðnum. Hér er hins vegar gert ráð fyrir að unnið gas sé alfarið hreinsað og nýtt sem eldsneyti en rafmagn úr íslenska raforkunetinu og jarðvarmavatn eru orkugjafar stöðvarinnar.

Nokkur breidd er í varmanotkun gasgerðarstöðva (Berglund M., Börjesson P., 2003e), enda ræðst hún af margvíslegum þáttum eins og einangrun, varmanýtingu, loftslagi og veðráttu. Hvað varmanýtingu áhrærir er spurning hvort varmi er nýttur til hins ítrasta, t.d. er hægt að nota varma úr formeðhöndlunarskrefi til hitunar á nýinnkomnu hráefni. Við mat á varmaþörf var byggt á Berglund og Börjesson (2003e) og viðmiðunargildi úr norræna Biowaste-verkefninu (la Cour Jansen J. o.fl., 2007), þ.e. 120 MJ á tonn gerjunarblöndu. Loftslag hérlendis er kaldara en viðmiðið (norðurhluti Evrópu) og væntanlega vindasamara. Til mótvægis er því 10% bætt við varmanotkunina. Engin viðmiðunargildi fundust fyrir upphitun í formeðhöndlun. Berglund og Börjesson (2003e) tóku saman orkunotkunartölur fyrir á annan tug sænskra gasgerðarstöðva, en varmanotkuninni er ekki skipt upp í forhitun og hitun í meltara, enda vantaði upplýsingar um forhitunarskrefið. Þau gera ráð fyrir að megin varmanotkunin sé í meltara (gerjunarblöndu í meltara er haldið í 37°C hita árið um kring), en að forhitunin sé aðeins lítið brot af heildarvarmanotkun gasgerðar og sé því ekki talin fram sérstaklega. Sami háttur verður hafður á hér. Útreikningar varmavatnsnotkunar eru í viðauka II-2.

Að síðustu er orka (rafmagn) notuð við hreinsun og þjöppun gassins, en það krefst sem svarar um 5% af orkuinnihaldi þess (Berglund og Börjesson 2003e). Alls er heildarorkunotkun í gasgerðarstöð rúm 813 MJ á tonn sláturúrgangs. Tafla 4-14 sýnir alla orkunotkun gasgerðarstöðvar, frá flutningi sláturúrgangs til lokameðhöndlunar (hreinsunar og þjöppunar) gassins.

<sup>2</sup> Út frá umhverfissjónarmiði væri heppilegast að nýta ferðir frá gasgerðarstöð til baka í sláturhús. Hins vegar er ekki heppilegt m.t.t. sóttvarna að annað hráefni sé flutt í þeim gámum þ.e. um er að ræða úrgang sem ekki skal koma í snertingu við önnur hráefni án sóttvarnarmeðhöndlunar áður.

Tafla 4-14 Orkunotkun í gasgerðarstöð

Þáttur	MJ/t sláturúrgangs	alls MJ/ár
Flutningar	118,9	416.160
Hökkun	61,7	215.914
Hitun (forhitun + upphitun í meltara)	245,4	765.660
Rafdrifinn búnaður gasgerðarstöð	122,4	428.400
Hreinsun + þjöppun hrágass	280,2	980.579
Samtals	813,4	2.806.713

### Orkuframleiðsla ( $E_{út}$ )

Sláturúrgangur er ríkur af próteini og lípíðum. Niðurbrotshlutfall og orkuinnihald efnaflokka er mismikið. Í Orware-gagnagrunninum er gert ráð fyrir 61-73% niðurbroti mismunandi efnaflokka í volggerjun (36-37°C). Í töflu 4-15 er gerð grein fyrir myndun metans úr einu tonni af sláturúrgangi miðað við mismunandi efnaflokka.

Tafla 4-15 Niðurbrot og metanafrakstur af hverju tonni sláturúrgangs

Efna- flokkur	Magn í hráefni kg/t	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg lþe <sup>a</sup>	Hlutfall niðurbrots	Magn niðurbrotið kg/t sláturúrg.	∑Nm <sup>3</sup> / t sláturúrgangs
Prótein	125	0,53	0,61	76,3	40,4
Fita	100	1,0	0,73	73	73,0
kolvetni	5	0,38	0,70	3,5	1,3
samtals	230			152,8	114,7

a Metanmagnið miðast við 100% niðurbrot

Fita brotnar mest niður (73%) og gefur niðurbrot hennar einnig mesta orku, eða sem svarar 73 Nm<sup>3</sup> metans á hvert tonn sláturúrgangs. Próteinhlutinn gefur 40,4 Nm<sup>3</sup> og kolvetni 1,3 Nm<sup>3</sup>/t sláturúrgangs. Miðað við þessar forsendur gefur tonn af lþe. sláturúrgangs um 500 Nm<sup>3</sup> af metangasi (Berglund M., Börjesson P., 2003e). Eins og sjá má í töflu 4.3 hafa hins vegar um 700 Nm<sup>3</sup> metans náðst úr tonni af lífrænu þurrefni sláturúrgangs (mælt gildi). Erfitt er að fullyrða nokkuð um ástæðuna fyrir þessum mun, en skýringin leynist þó mögulega í mismunandi samsetningu úrgangsins annars vegar, og mismunandi niðurbrotshlutfalli hins vegar. Þá ber einnig að hafa í huga, að í tilfalli þessarar greiningar er stuðst við gróft viðmið, þar sem gert er ráð fyrir "meðalsamsetningu" efnaflokka og áætlað niðurbrot þeirra byggt á fræðilegri nálgun fremur en niðurstöðum rannsókna.

Miðað við gefnar forsendur gefur aðgerðareining verkefnisins, 1tonn af sláturúrgangi, tæpa 115 Nm<sup>3</sup> af metani (tafla 4-15). Hver rúmmetri metans inniheldur orku sem svarar 35,91MJ, sem þýðir þá **4.120,3MJ/t sláturúrgangs**.

Eins og fyrr var getið myndast einnig koldíoxíð í verulegu magni en ekki er gerð grein fyrir því hér að öðru leyti en því að aðskilja þarf koldíoxíð frá metani.

Í töflu 4-16 má sjá árlega metanframleiðslu gasgerðarstöðvarinnar miðað við gefnar forsendur. Af þeim 805 tonnum lífræns þurrefnis sem í gasgerðina fara brotna tæplega 535 tonn niður eða um 66%. Árleg metanframleiðsla úr 3.500 tonnum af sláturúrgangi eru því tæplega 402 þúsund

rúmmetrar (að lokinni hreinsun), eða um 14.420 GJ. Metantap í nýjum stöðvum með bestu tækni sem völ er á líkt og hér er ráð fyrir gert, er um 0,5% (Börjesson, o.fl.,2010).

Tafla 4-16 Áætlað l.þe.-magn og metanframleiðsla gasgerðar á ári

Hráefni/Afurð		Metan
Efni (l.þe.)	t alls	Nm <sup>3</sup> alls
prótein	267,0	141.444
Fita	255,5	255.500
kolvetni	12,25	4.655
Samtals	534,6	401.599

Þar sem um lágt hlutfall og aðeins gróft mat á metanframleiðslu er að ræða verður metantapinu sleppt í orkubókhalði, en umhverfisáhrif þess verða reifuð.

### 4.5.3 Umhverfisálag

Aðalafurð gasgerðarstöðva er metan, sem er ágætt eldsneyti en jafnframt öflug gróðurhúsalofttegund. Metan er notað sem eldsneyti (90%) í einu skrefi gasgerðarferils, þ.e. á bíla sem flytja sláturúrgang. Ekki hefur tekist að koma alfarið í veg fyrir leka metans við bruna í farartækjum, en hann fer minnkandi enda stöðugt unnið að umbótum á þessu sviði (miljofordon.se, 2010). Díselvélar eru í flutningabílunum og eru þeir ræstir á díselolíu (því er gert ráð fyrir að 10% orkunnar sé díselolía).

Tafla 4-17 Árleg losun GHL vegna sláturúrgangsflutninga, háð eldsneyti

Eldsneyti	CO <sub>2</sub> ígildi kg	Hlutfall
Metan 90%	1.952,6	0,42
Díselolía 10%	2.671,9	0,58
Samtals	4.624,6	1,00

Þó hluti díselolíunnar í flutningunum sé aðeins tíund þess eldsneytis sem notað er, reynist hlutfall CO<sub>2</sub>ígilda díseleldsneytisins af heild vera um 58% (tafla 4-17).

Tafla 4-1818 sýnir heildar-hlýnunarmátt gasgerðarferils. Þó metanleki í gasgerðarstöð nemi aðeins 0,5% af metanframleiðslunni (1.441,7 kg) veldur hann 78% gróðurhúsaáhrifa gasgerðarinnar. Flutningar á hráefni skila 7%, samanlögð orkunotkun við meðhöndlun hráefnis (rafmagn og varmavatn) gera um 7%, en GHL-losun við hreinsun og þjöppun (rafmagn) gassins 8%.

Tafla 4-18 Hlýnunarmáttur gasgerðarferils

Þáttur	CO <sub>2</sub> íg g/t sláturúrgangs	CO <sub>2</sub> íg t alls/ár
Flutningar	1.882	4,6
Formeðhöndlun+ upphitun í meltara	404,1	1,4
Búnaður gasgerð	449,2	1,6
Hreinsun+þjöppun	1.028	3,6
Metanleki	9.474	33,2

## 4.6 Jarðgerð

Jarðgerð er algeng og fremur ódýr leið til að farga lífrænum úrgangi og framleiða næringarríkan jarðveg (moltu) um leið.



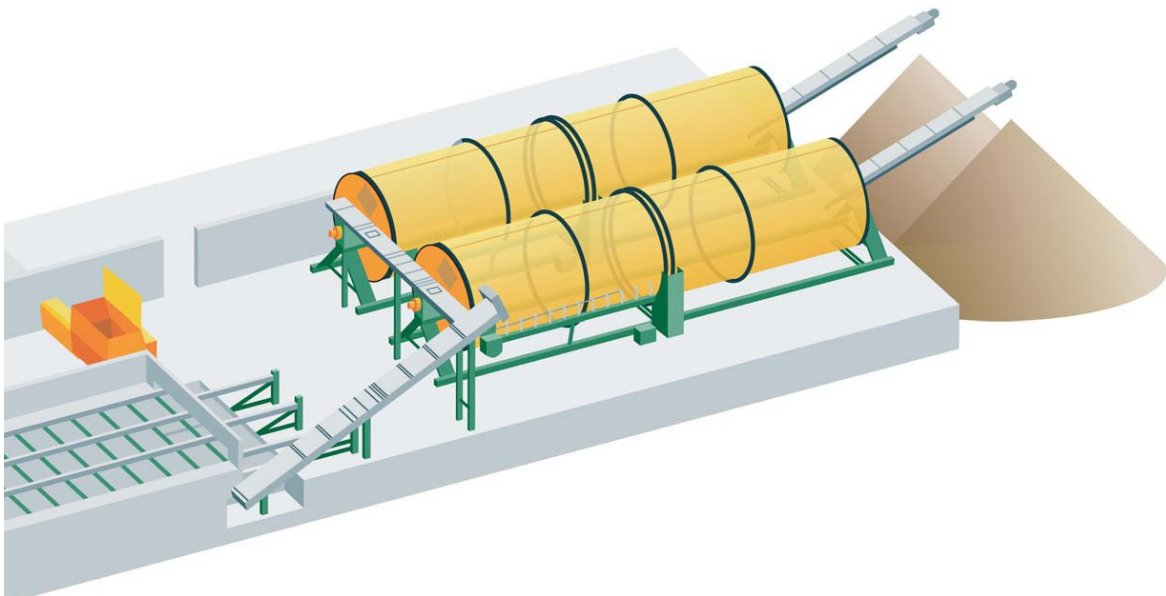
*Mynd 4-4 Múgajarðgerð með loftunarbúnaði  
Bodö Noregi (Naturvårdsverket, 2005)*

Múgajarðgerð er hvað einföldust jarðgerðaraðferða, en þá er úrgangsblöndunni hrúgað upp í haug eða múga. Loftun fæst með því að snúa múganum. Hægt er að tryggja nokkuð góða sóttvörn ef séð er til þess að allt efni múgans rati á einhverjum tímapunkti í miðju hans þar sem hitinn fer í 60-70°C að því gefnu að rakastig sé rétt og jarðgerðarefni nægilega orkuríkt (Haug, R. T., 1993). Loftun má líka ná fram með einföldum hætti með því að blása lofti í múgana, sjá má slíkt fyrirkomulag á mynd 4-2. Ekki þykir þó heppilegt að jarðgera sláturúrgang í múgum m.a. vegna þess að dýr geta þá átt greiðan aðgang að hráefninu. Jarðgerð sláturúrgangs kallar því á nokkurn tæknibúnað, þar sem krafa er gerð um mjög góðar sóttvarnir, heppilegt niðurbrotsferli og síun losunarefna. Jarðgerðin fer þess vegna fram í þar til gerðum tromlum (e. composting reactor).

Jarðgerð á sláturúrgangi hófst fyrir nokkrum árum á Akureyri (Glerárdal). Í fyrstu var jarðgert í múgum, en árið 2009 hófst rekstur nýrrar jarðgerðarstöðvar með tromlum á Þveráreyrum. Reiknað er með að þegar fullum afköstum sé náð verði 10.000 tonn af lífrænum úrgangi jarðgerð í stöðinni (molta.is, 2010).

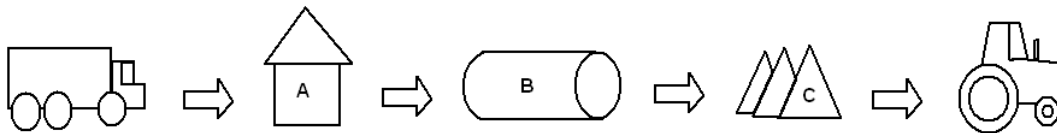
Stoðefni er nauðsynlegt í jarðgerð. Hér er gert ráð fyrir að það sé sag frá timburiðnaði á Akureyri. Þar sem sagið er ekki framleitt sérstaklega fyrir jarðgerðina heldur gengur af við timburvinnslu er ekki ástæða til að telja framleiðsluþætti þess með hér. Stoðefnið er nauðsynlegur hráefnishluti í jarðgerð, þ.e. ákveðin efnasamsetning jarðgerðarefnis er mikilvæg. Auk þess skapar það ákveðnar byggingarlegar forsendur. Það auðveldar loftun efnisins, minnkar samloðun, skapar loftfyllt holrými og eykur þar með yfirborðsfleti efniðviðarins sem aftur eykur aðgengi örvera að jarðgerðarefninu o.s.frv. Rétt rakastig jarðgerðarefnisins er einnig mikilvægt, þar sem niðurbrotsörverur geta ekki þrífist án vatns (Haug R. T.,1993).

Rétt eins og í gasgerð er ekki gerð greining á efnabáttum annarra hráefna en sláturúrgangs. Að jafnaði berast á meðhöndlunarstað 4-5 14 tonna færmur af sláturúrgangi á viku (sjá nánar töflu 4-7 þar sem gerð er grein fyrir flutningum sláturúrgangs á ársgrundvelli). Gert er ráð fyrir jarðgerðarstöð sem afkastar a.m.k. 100 t á viku til að mæta mögulegum sveiflum í hráefnisöflun.<sup>3</sup> Stoðefni (sag) berst að jafnaði einu sinni í viku (14m<sup>3</sup> í hvert skipti). Afurð nýkomna úr jarðgerðartromlu mætti kalla hrámoltu og er hún sett í múga og látin standa þar til niðurbroti telst lokið og moltan orðin stöðug og þ.a.l. hæf til notkunar í ræktun.



Mynd 4-5 Tromlujarðgerð

Frá vinstri: Móttaka úrgangs (hökkun lokið áður), -fluttur á færibandi í tromlur. Að 1-2 vikum liðnum í tromlunni hefur efnið færst fram (til hægri) og er safnað í haug (hrámolta) (preseco.eu, 2010).



Mynd 4-6 Ferill jarðgerðar

Í móttöku (A) er sláturúrgangur hakkaður og stoðefni blandað saman við hann.; þá er blandað færð yfir í jarðgerðartromlu (B) og loks er hrámolta látin þroskast í múgum (C). Að lokum er afurð tilbúin til dreifingar.

Heppileg samsetning jarðgerðarblöndu er oft ákvörðuð út frá hlutfalli kolefnis og köfnunarefnis, C:N, og skulu hlutföll þessara frumefna í jarðgerðarblöndunni vera á bilinu 15-30:1 (la Cour Jansen J. o.fl. 2007). Reiknað er með að stilla C:N hlutfallið í um 20:1 og er magn stoðefnis ákvarðað út frá því. C:N hlutfall sags er á bilinu 200 - 500:1 (Haug R. T., 1993) og er hér miðað við 200. C:N hlutfall sláturúrgangsins er hins vegar 7,4:1 (sjá útreikninga í viðauka III.2). Fyrir 3.500 tonn af sláturúrgangi lítur dæmið þá svona út:

<sup>3</sup> Vel má ímynda sér að koma þurfi upp aðstöðu til að geyma talsvert magn úrgangs í einhvern tíma áður en meðhöndlun getur hafist, t.d. í sláturtíð. Það er hins vegar verkfræðilegt útfærsluatriði, sjá nánar kafla 6

$$7,4 * 3.500 + 200X = 20 * (3500 + X)$$

$$25900 + 200X = 70000 + 20X$$

$$180X = 44100$$

$$X = 245 \text{ tonn sag}$$

Til að stilla C:N hlutfall í 20:1 þarf s.s. 245 tonn af sagi árlega. Eðlismassi sags er lár (0,35t/m<sup>3</sup>, Haug, R. T., 1993) og er um 700 m<sup>3</sup> að ræða.

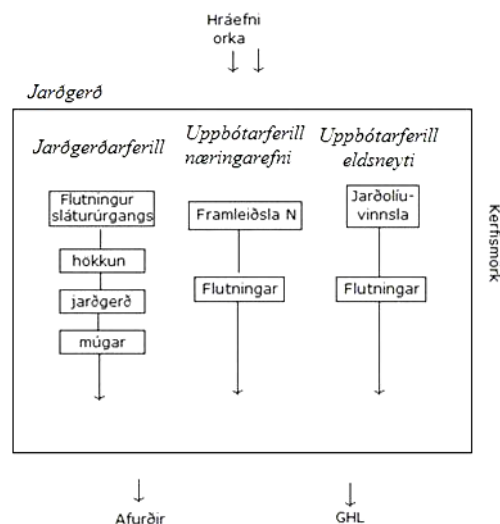
Tafla 4-19 Helstu magntölur jarðgerðarferils á ársgrundvelli.

hráefni	hráefni t	tilbúin molta t
sláturúrgangur	3.500	
stoðefni(sag)	245(700m <sup>3</sup> )	
samtals	3.745	1.200-1.300 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>ekki er gerð grein fyrir niðurbroti sags og því er gróft mat gefið upp fyrir tonnafjölda moltu

Miðað við gefnar forsendur (la Cour Jansen J. o.fl., 2007) rýmar og brotnar 44% efniviðarins niður (þ.e. 44% af l.þ.e.) og vatnsinnihald lækkar um 80% (uppgufun), þannig að moltan er mun léttari en hráefnið sem í jarðgerðina fór, eða um 1.200-1.300 tonn (tafla 4-19). Bent skal á að uppgæfið niðurbrotshlutfall miðast við samsetningu heimilisúrgangs. Ekki gafst tími til umfangsmikillar heimildaleitar eða nákvæmari greiningar á þessum þætti. Heimilisúrgangur inniheldur hærra hlutfall kolvetnis en sláturúrgangur, og hluti þar af er tregniðurbrjótanlegur. Því er ekki ólíklegt að l.þ.e. tilbúinnar moltu úr sláturúrgangi sé minna en að ofan greinir.

Að lokum er hér kerfismynd af jarðgerð svo auðvelt sé að glöggva sig á helstu kerfisþáttum hennar.



Mynd 4-7 Jarðgerðarkerfi

Kerfismörk jarðgerðar liggja annars vegar við vegg sláturhúsa á Akureyri og Húsavík og hins vegar á geymslusvæði tilbúinnar moltu á meðhöndlunarstað. Notkun moltunnar er utan kerfismarka. Þar sem engin eldsneytisframleiðsla á sér stað í jarðgerð og skil köfnunarefnis (N) eru töluvert minni en í afkastamesta ferlinu, gasgerð, er hér gripið til kerfisstækkunar í formi tveggja uppbotarferla, þ.e. innflutts jarðefnaeldsneytis í stað orkunnar sem fer forgörðum og tilbúins innflutts köfnunarefnisáburðar, svo kerfið skili sambærilegum notum og gasgerðin; sé jafngilt. Ferlar kerfisins eru því samtals þrjár. Þegar orku- og næringarefnastreymi beggja kerfa er þannig orðið jafnt er hægt að gera raunsannan samanburð á umhverfisáhrifum kerfanna tveggja.



## 4.6.1 Næringarefni

Við jarðgerð verður til næringarríkt vaxtarefni, molta. Molta nýtist ágætlega í jarðrækt en hér verður einblínt á mikilvægustu næringarefnin þrjú, N, P og K. Samkvæmt jöfnu Kirchmanns losna um 34% af köfnunarefni jarðgerðarblöndu í gasfasa ef hitastig í jarðgerðinni er á bilinu 60-70°C, en um helmingi minna, eða 17%, ef hitinn er á bilinu 50-60°C (la Cour Jansen J. o.fl., 2007). Hér er gert ráð fyrir stýringu á hitastigi og hitinn hafður á lægra bilinu enda er hiti yfir 50°C í lengri tíma nægileg sóttvörn (Winqvist W., Rylander M., 2006), en jarðgerðarefnið er 7 - 14 daga í tromlunni. Við niðurbrot í jarðgerð ummyndast stór hluti niðurbrotsefna í stöðug, lífræn efnasambönd, svokallaðan húmus (Haug R. T., 1993). Um 7% köfnunarefnisins eru á aðgengilegu formi fyrir plöntur í nýrri moltu en gert er ráð fyrir að um 40% köfnunarefnisins verði á nýtanlegu formi innan nokkurra ára. Afgangurinn nýtist seint eða alls ekki. Næringarefni fosfór (P) og kalíum (K) eru hins vegar að öllu leyti á aðgengilegu formi fyrir plöntur (Berglund M., Börjesson P., 2003e, Winqvist W., Rylander M., 2006).

Höfundar norræna Biowaste-verkefnisins (la Cour Jansen J. o.fl., 2007) gera ráð fyrir eftirfarandi skiptingu á köfnunarefnissamböndum sem losuð eru í jarðgerðartromlu:

Tafla 4-20 Innbyrðis hlutföll köfnunarefnissambanda sem losna á gasformi í jarðgerð

N-sambönd:	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	alls
% N	96	2	2	100

Gaslosun úr jarðgerðartromlunni fer gegnum síubúnað og næst að sía 95% af ammoníaki (NH<sub>3</sub>) frá, en hláturgas (N<sub>2</sub>O) og köfnunarefni (N<sub>2</sub>) losna hins vegar út í andrúmsloftið. Ammoníak hvarfast í síunni yfir í N<sub>2</sub> og gufar upp. Hér ber að nefna að niðurstöður rannsókna á köfnunarefnislosun úr jarðgerð eru ansi misvísandi, en viðmiðin sem hér er stuðst við eru byggð á mati norrænna sérfræðinga á þessu sviði (la Cour Jansen J., o.fl., 2007).

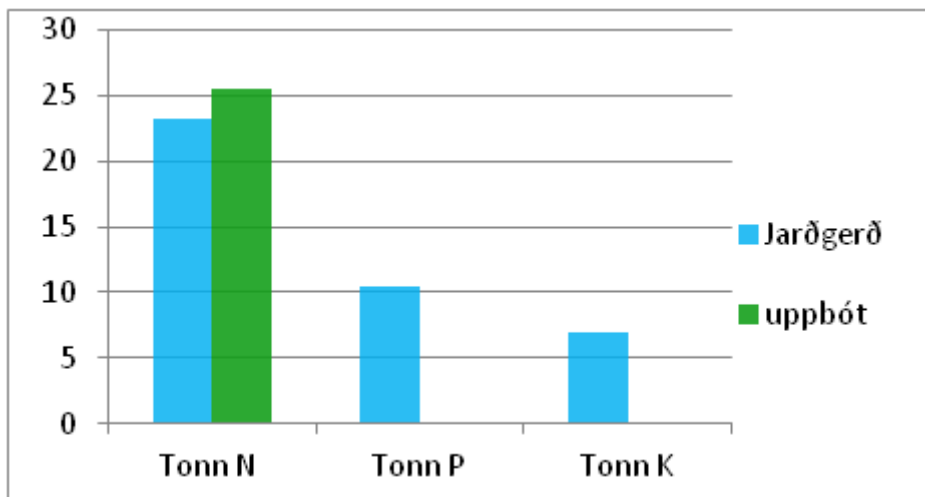
Tafla 4-21 NPK- innihald sláturúrgangs og moltu alls a,b.

Næringarefni	t/3500 tsláturúrgangs	Nýtanlegt plöntum t alls í moltu	Tap %
K	7,0	7,0	0
P	10,5	10,5	0
N	70,0	23,20	6

a Baký A., Eriksson O., 2003, b la Cour Jansen J., o.fl., 2007

Miðað við 17% rýrnun á köfnunarefni úr jarðgerðarefninu eru um 58 tonn köfnunarefnis í moltunni, en þar af eru 23,2 tonn á aðgengilegu formi fyrir plöntur innan fárra ára. Hér er mikilvægt að geta þess að uppgafið nýtingarhlutfall næringarefna á við um eldhúsúrgang, en gögn um köfnunarefnissambönd moltu úr sláturúrgangi lágu ekki fyrir. Hugsanlega er

Úr gasgerð er reiknað með um 48,7 tonnum af nýtanlegu köfnunarefni. Inn í jarðgerðarkerfið þarf því að bæta 25,5 tonnum af köfnunarefni í formi tilbúins áburðar (kerfisstækkun).



Mynd 4-8 Skipting næringarefna úr jarðgerð og uppbót N áburðar

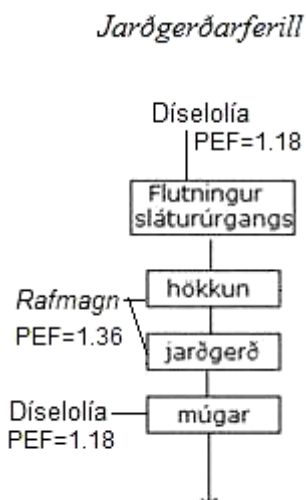
#### 4.6.2 Orka

Þar sem súrefni er til staðar í jarðgerðarferlinu losnar stærstur hluti orku sláturúrgangsins sem varmi. Sá varmi nýtist að hluta til sóttvarnar úrgangsins og hraðar niðurbroti hans. Örverum nýtist varminn til hraðara niðurbrots hráefnis, upp að vissu marki en hitastig yfir 50°C í lengri tíma eyðir stærstum hluta þeirra (Haug R. T., 1993, la Cour Jansen J., o.fl., 2007, Winqvist W., Rylander M., 2006).

#### Orkunotkun ( $E_{inn}$ )

Orkugjafar sem notaðir eru í jarðgerðarferli eru díselolía á flutningabíla og vinnuvélar, og rafmagn í formedhöndlun og jarðgerðarbúnaði.

Til glöggvunar eru notaðir orkugjafar og PE-stuðlar þeirra, á hinum ýmsu stigum jarðgerðar sýndir í mynd 4-9.



Mynd 4-9 Orkugjafar og notkun þeirra í jarðgerðarferli.

Myndin gerir grein fyrir þeim orkugjöfum sem notaðir eru á hinum ýmsu stigum gasgerðarkerfis. PE-stuðlar viðkomandi orkugjafa eru einnig tilgreindir.

## Flutningar á hráefni

Aðfangaflutningar í jarðgerðarferli eru þeir sömu og í gasgerð, að viðbættum flutningum á stoðefni.

Tafla 4-22. Orkunotkun við flutninga á sláturúrgangi og stoðefni frá Húsavík og Akureyri.

Sláturhús /Timburvinnsla	Alls km/ár	Alls MJ/ár díselolía (100%)
Húsavík	21.429	318.600
Akureyri	2.857	42.480
Akureyri/stoðefni	500 <sup>a</sup>	7.144
Samtals		368.521

a aðeins önnur leiðin, bakaleiðin er notuð til að flytja moltu og þá utan kerfismarka

Við jarðgerð þarf eldsneyti á vinnuvélar (um 2 lítra af díselolíu á tonn jarðgerðarblöndu) og rafmagn til að knýja jarðgerðartromlu o.fl. (5 kwh +fororka á tonn jarðgerðarblöndu (24,5MJ); la Cour Jansen J., o.fl., 2007). Orkunotkunina má sjá í samanteknu formi í töflu 4-23. Þar koma fram allir ferilþættir, viðkomandi orkugjafi og heildarorkunotkun á ári.

Tafla 4-23 Orkunotkun í jarðgerð

Ferilþáttur/orkugjafi	MJ/t sláturúrgangs	GJalls/ ár
Flutningar /díselolía	105,3	368,5
hökkun sláturúrgangs/rafmagn	61,7	215,95
vinnuvél/díselolía	85,0	297,2
jarðgerðarbúnaður/rafmagn	24,5	91,7
samtals	381,7	994,3

Orkunotkun við framleiðslu og flutning tilbúins áburðar og eldsneytis

Orkunotkun við framleiðslu á einu tonni köfnunarefnisáburðar er veruleg, eða 45,0 GJ (Berglund M., Börjesson P., 2003e) og því alls tæp 1.146 GJ fyrir framleiðslu

uppbótaráburðar. Áburðurinn sem notaður er (yara.is/vorur/efnainnihald, 2010), inniheldur 27% af köfnunarefni og vegur hann því 94,3 tonn alls. Áburðurinn er fenginn frá Rotterdam, upplýsingar um vegalengdir, farartæki o.fl. er í kafla 4.3.3, töflu 4-8. Gerð er grein fyrir orkunotkun vegna köfnunarefnisáburðar í töflu 4-24.

Tafla 4-24 Orkunotkun við framleiðslu og flutninga á tilbúnum köfnunarefnisáburði

	MJ alls	Alls tilbúinn áburður - tonn (27% N)
Framleiðsla N	1.145.700	94,3
Flutn. Rotterdam-Rvík	57.520	
Reykjavík-Eyjafjörður	78.111	
Samtals	1.281.332	

Orkunotkun við vinnslu eldsneytis, flutninga ofl. er 1.442,0 GJ á ári. Tafla 4-25 sýnir árlega orkunotkun jarðgerðarkerfis. Meirihluta hennar má rekja til uppbótarþátta, þ.e. eldsneytis (39%) og tilbúins áburðar (34%).

Tafla 4-25 Orkunotkun í jarðgerðarkerfi

Þáttur	MJ/t sláturúrg.	GJ/ár	%
Jarðgerð	381,7	994,3	27
Vegna framleiðslu uppbótar-eldsneytis	412,0	1.442,0	39
N-áburður; vinnsla, framleiðsla og flutningur	366,1	1.281,3	34
Samtals	1.159,8	2.723,4	100

### Orkuframleiðsla ( $E_{út}$ )

Varmi myndast við loftað niðurbrot í jarðgerðartromlunni. Ef rétt er að verki staðið dugar sá varmi til gerileyðingar (þ.e. fullnægjandi varmaformeðhöndlun), en hann er ekki nýttur að öðru leyti (ekkert eldsneyti verður til). Orkuinnihald uppbótareldsneytis ( $E_{út}$ , bensín)<sup>5</sup> er því alls 14.420 GJ.

### 4.6.3 Umhverfisálag

Eins og fram kom í kafla 4.6.1 er gert ráð fyrir að 17% köfnunarefnis losni í gasfasa, að mestu sem nitur ( $N_2$ ), en styrkur hláturgass ( $N_2O$ ) er um 2%. Hláturgas er öflug gróðurhúsalofttegund en ammoníak og nitur eru ekki GHG. Metan er talið myndast við jarðgerð, mismikið eftir því hve vel er staðið að loftun (la Cour Jansen J. o.fl., 2007), en stærstur hluti þess kolefnis sem gufar upp úr jarðgerðinni losnar sem koldíoxíð (lífmassakoldíoxíð og þ.a.l. ekki GHG). Hér er reiknað með nokkuð góðri stýringu loftunar og að metanmyndun sé 1% af losuðu kolefni (gaslosun).

Tafla 4-26 Losun kolefnis og hlýnunarmáttur metans

	kg/t sláturúrangs	kg alls/ár
Losað C	64,5	225.637
þar af $CH_4$	0,645	3.010
Oxað	0,322	1.505
$CO_2$ ígildi $CH_4$	9,9	34.610

Tafla 4-26 sýnir losað kolefni og þann hluta sem losnar í formi metans. Helmingur metans er hreinsað frá (oxað) en árleg losun metans í andrúmsloft er 1505 kg. Hlýnunarmáttur þess er hátt í 35 koldíoxíð-ígildistonn. Metanmyndunin er áætluð útfrá niðurbrotshlutfalli lþe. La Cour Jansen og félagar benda á að metanmyndun í jarðgerð hafi lítið verið rannsökuð og að viðmið þeirra um 1% af lþe sem brotnar niður sé þeirra besta ágiskun ("best guesses"). Þau vísa í rannsóknir Amlinger F. og Peyr S. þar sem metan sem hlutfall af niðurbrotinu lþe. úr jarðgerð garðúrgangs reyndist 0.1-0.9%, úr múgajarðgerð lífúrgangs (e. biowaste) 0.6-1.8%, og 1.6-2.8% í 800 lítra heimajarðgerðartunnu (la Cour Jansen o.fl., 2007). Þar sem ekki fundust nothæfar heimildir um jarðgerð sláturúrgangs er hér stuðst við ofanefnda heimild la Cour Jansens og félaga og minnt á að ekki er um áreiðanlega forsendu að ræða. Hins vegar má ljóst vera að

<sup>5</sup> eða 451 þúsund lítrar af bensíni

metanmyndun og losun ræðst af nokkrum þáttum (helst jarðgerðarefni og rakastigi) og að mikilvægt er að lágmarka loftfirrðar aðstæður í jarðgerðinni.

Auk metans skiptir hláturgasið (N<sub>2</sub>O) máli m.t.t. gróðurhúsaáhrifa, en gert er ráð fyrir að um 374 kg af því séu losuð á ári (tafla 4-27).

Tafla 4-27 Losun köfnunarefnis í andrúmsloft og hlýnunarmáttur hláturgass

N sambönd	kg/t sláturúrangs	t alls/ár
Losað N	3,4	11,9
losað N <sub>2</sub> O	0,1	0,4
oxað	0	0
CO <sub>2</sub> ígildi N <sub>2</sub> O	31,6	110,7

<sup>a</sup> la Cour Jansen J., o.fl., 2007

Losun GHG vegna flutninga og annara þátta jarðgerðarferils má síðan sjá í töflu 4-28. Losun hláturgass vegur þar þyngst, en í koldíoxíðígildum talið vegur hún hlutfallslega ríflega þrisvar sinnum þyngra en metanlosunin.

Tafla 4-28 Hlýnunarmáttur jarðgerðarferils

Jarðgerð	CO <sub>2</sub> íg kg/ár
Flutningar (alls)	27.271
Þar af: Sláturúrgangur frá Akureyri	3.144
sláturúrgangur frá Húsavík	23.576
stoðefni frá Akureyri	551
Hökkun sláturúrgangs	792
Jarðgerðarbúnaður	336,5
Vinnuvél	23.545
Metan losun	34.610
N <sub>2</sub> O losun	110.704
Alls	197.259

Á heildina litið nemur hláturgaslosunin ríflega fjórðungi losunar alls kerfisins (28%; sjá töflur 4-28 og 4-29), en aðrir jarðgerðarþættir 22%. Losun vegna flutninga, hökkunar og jarðgerðarbúnaðar er bundin við orkunotkun þessara þátta, en metan og hláturgas eru myndefni í jarðgerðinni. Afgangurinn kemur úr uppbótarferlum; 27% vegna eldsneytis (fororka) og tæplega 23% vegna orkunotkunar við framleiðslu og flutning tilbúins áburðar.

Tafla 4-29 Hlýnunarmáttur jarðgerðarkerfis (jarðgerð + uppbótarferlar)

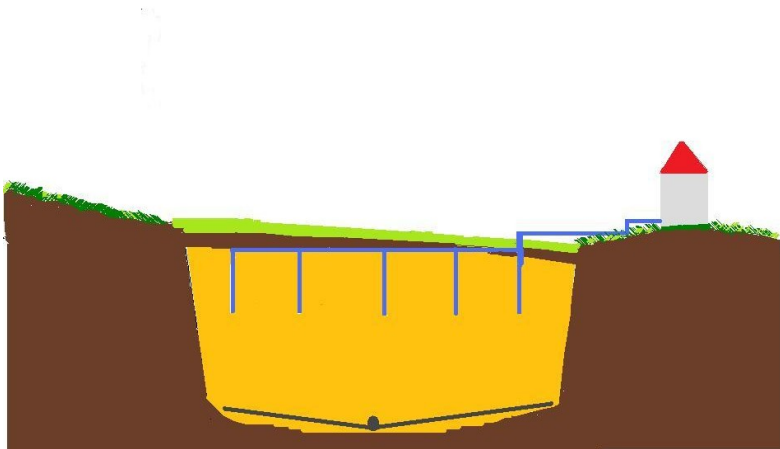
Samantekt	CO <sub>2</sub> íg. g/t sláturúrgangs	CO <sub>2</sub> íg. t/ár
Jarðgerð	56.356	197,3
v. tilbúins áburðar	26.145	91,5
v. eldsneytis	30.489	106,7
Alls	112.994	395,5

## 4.7 Urðun

Um langt árabíl hefur sláturúrgangur mestmegnis verið urðaður, en endurvinnsla hefur aukist verulega síðustu ár og þar með dregið verulega úr urðun bæði á Suður- og Norðurlandi (Fenúr-fréttir , 2008, flokkun.is 2010).

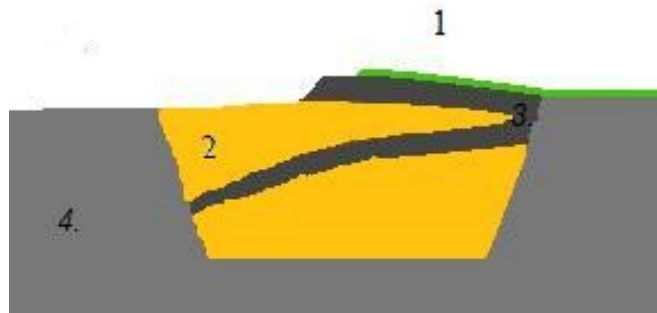
Að neðan eru myndir af mismunandi urðunarstöðum. Mynd 4-10 sýnir urðunarstað þar sem hauggasi og sigvatni er safnað. Urðað er í reinum, botnþétting er fyrir hendi og sigvatni safnað. Hreinsa má hauggasið (eins og í gasgerð) og nýta metanhluta þess sem eldsneyti.

Á Íslandi er aðeins einn urðunarstaður þar sem hauggasi er safnað, þ.e. á urðunarstað Sorpu bs. í Álfsnesi. Gassöfnun hófst þar árið 1996 (sorpa.is, 2010).



Mynd 4-10 Urðunarstaður með gas- og sigvatnssöfnun.  
Gassöfnun: bláar leiðslur, sigvatnssöfnun: gráar leiðslur

Fyrirkomulag urðunar er nokkuð mismunandi eftir aðstæðum, en flestir urðunarstaðir hér á landi eru í meginatriðum svipaðir þeim sem sjá má á mynd 4-11 (Kamsma R., 2003, eigin könnun).



Mynd 4-11: Skematísk mynd af dæmigerðum íslenskum urðunarstað  
1: Gróðurþekja. 2: Úrgangslag. 3: Þekjulaag. 4: Barmur urðunarreinar/undirlag.

Hylja þarf úrgang sem fluttur er á urðunarstað samdægurs, svo koma megi í veg fyrir fók og aðgengi meindýra og því skiptast gjarnan á lög af úrgangi og þekjuefni. Segja má að urðunarstaðurinn á mynd 4-10 sé dæmi um "framþróun" á urðun. Upp úr 1980 var víða erlendis byrjað að safna gasi til að draga úr sprengi- og eldhættu, síðar þótti einnig

mikilvægt að minnka umhverfisálag (Johansson N., o.fl., 2010). Botnþétting og sigvatnssöfnun gerir svo mengunarstjórnun á vökva frá staðnum mögulega. Hægt er að fella út næringarefni og ýmis mengunarefni með eðlis- og efnafræðilegum aðferðum. Örverur eru einnig nýttar í þessum tilgangi (Christensen K. o.fl., 1997, Baký A., Eriksson O., 2003). Á urðunarstöðum með "gamla laginu" (mynd 4-11) er hins vegar hvorki gassöfnun, botnþétting né sigvatnssöfnun.

Hér á landi hafa engar sérstakar ráðstafanir verið gerðar til að tryggja hratt niðurbrot urðaðs sláturúrgangs (úrgangur hvorki hakkaður né hitaður, sjá nánar umfjöllun í kafla 4.5). Kerfisbundnar rannsóknir hafa ekki farið fram á urðuðum sláturúrgangi, en Rob Kamsma kannaði hauggasmyndun árið 2003 á 14 íslenskum urðunarstöðum. Tekin voru sýni úr sláturúrgangi á tveimur þeirra. Af sex teknum sýnum reyndist rúmmálshlutfall metans hæst 9% (1 sýni), þá 4% (1 sýni) en undir einu prósentu í hinum sýnunum fjórum (Kamsma 2003). Þetta segir Kamsma afar litla metanmyndun. Áðurnefnd dæmi um áratugagamlan lítt niðurbrotinn sláturúrgang (sjá kafla 1) benda heldur ekki til þess að urðun sláturúrgangs eins og hún hefur verið stunduð hér á landi sé heppileg. Markmið urðunar er jú að úrgangur brotni niður og stöðgist (stabilization) í fyllingu tímans, þ.e. að efnavirkni og aðstæður í haugnum verði svipuð og í náttúrulegum jarðvegi, en ekkert liggur fyrir um hvernig þessu er háttað í raun á íslenskum urðunarstöðum. Kamsma setur fram þá spurningu hvort sláturúrgangurinn brotni niður yfir höfuð, og mælir með því að niðurbrot urðaðs sláturúrgangs á Íslandi verði rannsakað nánar. Tekið er undir þau tilmæli hér. Þá er mælt til þess í landsáætlun um úrgang (Umhverfisstofnun, 2004) að dregið verði úr urðun sláturúrgangs þar sem hún sé ekki ásættanleg út frá umhverfissjónarmiðum. Þess í stað skuli skoða aðrar leiðir, t.d. svokallaðar eyðingarverksmiðjur.

Samkvæmt reglugerð nr. 738/2003 um urðun úrgangs, átti að safna hauggasi á íslenskum urðunarstöðum frá og með 16. júlí 2009. Enn hefur ekki orðið af því nema í Álfsnesi. Allmargir urðunarstaðir fengu undanþágu frá söfnun fram í miðjan júlí 2011 með því skilyrði að myndun og söfnun hauggass yrði könnuð fram að því (Guðmundur B. Ingvarsson, 2010).

Hér á eftir fer greining á urðun án gassöfnunar (Urðun 0) og með gassöfnun (Urðun I).

## Urðun 0

Miðað er við að urðun sé framkvæmd eins og sjá má á mynd 4-11. Að jafnaði berast á meðhöndlunarstað 4-5 14 tonna farmar af sláturúrgangi á viku (sjá nánar töflu 4-7 þar sem gerð er grein fyrir flutningum sláturúrgangs á ársgrundvelli). Gert er ráð fyrir urðunarstað sem afkastar a.m.k. 100 t á viku til að mæta mögulegum sveiflum í hráefnisöflun.<sup>6</sup> Sláturúrgangurinn er hakkaður og síðan urðaður. Hvorki sigvatni né hauggasi er safnað. Niðurbrotsefni losna ýmist út í andrúmsloft eða síga í jarðveg, grunnvatn, næsta læk og/eða sjó. Hve lengi niðurbrotið varir er ekki þekkt en gera má ráð fyrir að það taki nokkra áratugi og verður hér reiknað með að það taki 40 ár. Næringarefni eru ekki nýtt.

## Urðun I

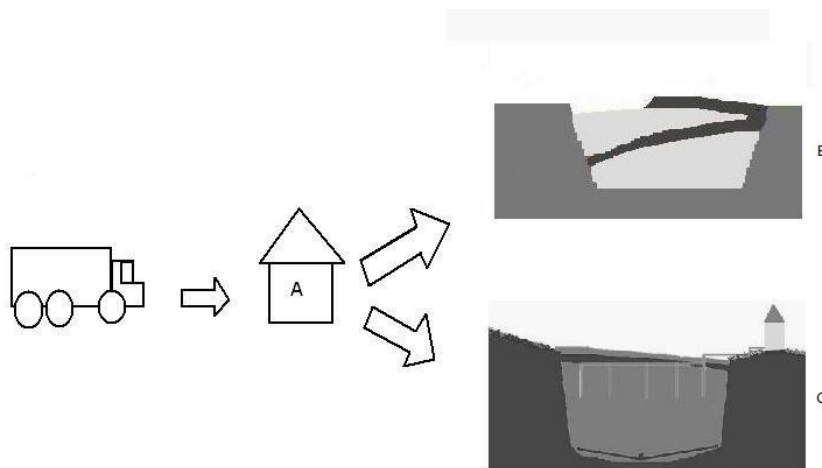
Að jafnaði berast á meðhöndlunarstað 4-5 14 tonna farmar af sláturúrgangi á viku (sjá nánar töflu 4-7 þar sem gerð er grein fyrir flutningum sláturúrgangs á ársgrundvelli). Gert

---

<sup>6</sup> Vel má ímynda sér að koma þurfi upp aðstöðu til að geyma talsvert magn úrgangs í einhvern tíma áður en hökkun getur hafist, t.d. í sláturtíð. Það er hins vegar verkfræðilegt útfærsluatriði, sjá nánar kafla 6

er ráð fyrir urðunarstað sem afkastar a.m.k. 100 t á viku til að mæta mögulegum sveiflum í hráefnisöflun. Allur úrgangurinn er hakkaður og hluti hans hitaður upp í 70°C<sup>7</sup>. Hitun sláturúrgangs fyrir urðun er ekki bundin í löggjöf, en ljóst er að hún hraðar niðurbroti hans í framhaldinu. Svo hár hiti eyðir hins vegar niðurbrotsörverum sem mynda hauggas, og því eru aðeins 60% úrgangsins hituð en afganginum, sem inniheldur slíkar örverur, blandað saman við hann í framhaldinu. Engin gögn liggja fyrir um orkuþörf fyrir slíka forhitun við urðunaraðstæður, og því er hér gerð afar gróf nálgun á varma- og orkunotkun vegna hennar (sjá nánar viðauka I.5).

Að þessu loknu er hann urðaður en bæði sigvatni og hauggasi er safnað og gasið hreinsað. Hve lengi niðurbrotið varir er ekki þekkt en reiknað verður með að þar sem úrgangurinn hefur verið formeðhöndlaður, bæði með hökkun og hitun, brotni hann nokkuð greiðlega niður og sé að mestu niðurbrotinn eftir 20 ár. Hvað gassöfnunarhlutfall áhrærir var upphaflega reiknað með viðmiði ORWARE og gert ráð fyrir að helmingi hauggassins væri safnað (Baky A., Eriksson O., 2003). Odelberg og Wiquist benda hins vegar á að viðmið ORWARE sé frá því um 1990, og telja að auðveldlega megi ná söfnunarhlutfallinu upp í 75% með bestu tækni sem fæst í dag (Odelberg C., Wiquist W., 2010). Hér verður því gert ráð fyrir 75% söfnunarhlutfalli. Hauggasið er síðan hreinsað, en miðað við niðurstöður Johansson o.fl. tapast 16-23% metansins við þá hreinsun, háð hreinsunaraðferð (Johansson N. ofl., 2010). Hér verður gert ráð fyrir 21% tapi í hreinsunarferli, en metanið sem tapast er brennt og veldur því ekki gróðurhúsaáhrifum. Sá hluti hauggassins sem ekki er safnað gufar út í andrúmsloft.



Mynd 4-12 Skematísk mynd af urðun 0 og I

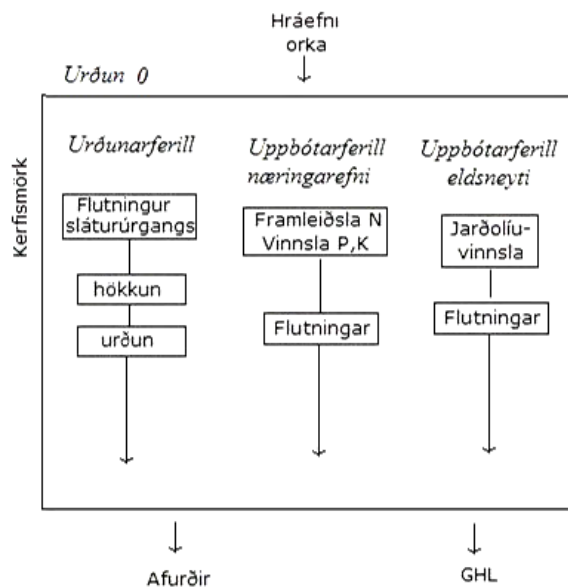
Í urðun 0 er úrgangurinn hakkaður (A) og urðaður (B) að loknum flutningum, en bæði hakkaður og hitaður (A) áður en hann er urðaður (C) í urðun I.

Frágangur á úrgangi er með þeim hætti að hann er hulinn oxandi þekjuefni og fylgst er með að þekjan haldist óskert. Af þeim hluta hauggassins sem ekki er safnað oxast 10% metansins yfir í koldíoxíð í jarðvegsþekju. Næringarefni eru ekki nýtt.

Að lokum eru hér kerfismyndir af urðun 0 og I svo auðvelt sé að glöggva sig á helstu kerfisþáttum þeirra.

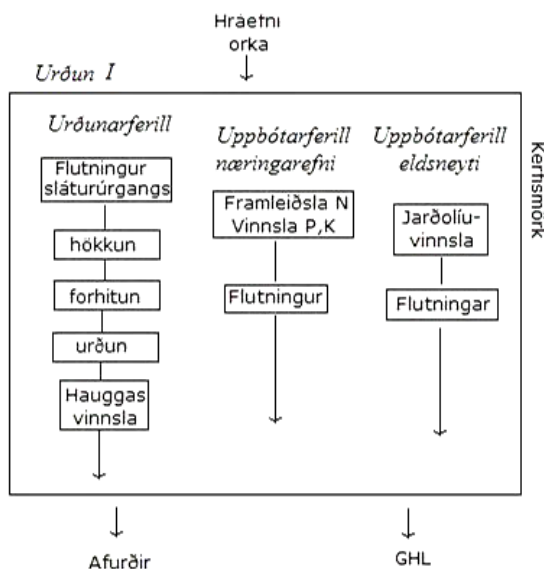
<sup>7</sup> Vel má ímynda sér að koma þurfi upp aðstöðu til að geyma talsvert magn úrgangs í einhvern tíma áður en meðhöndlun (hökkun og hitun) getur hafist, t.d. í sláturtíð. Það er hins vegar verkfræðilegt útfærsluatriði, sjá nánar kafla 6





Mynd 4-13 Urðunarkerfi 0

Kerfismörk urðunar 0 liggja annars vegar við vegg sláturhúsa á Akureyri og Húsavík og hins vegar á urðunarstaðnum sjálfum. Þar sem hvorki eldsneytis- né næringarefnaframleiðsla á sér stað í urðun 0 er hér gripið til kerfisstækkunar í formi tveggja uppbótarferla, þ.e. innflutts jarðefnaeldsneytis (bensíns) í stað orkunnar sem fer forgörðum og innflutts tilbúins áburðar í stað glataðra næringarefna, svo kerfið skili sambærilegum notum og gasgerðin; sé jafngilt. Ferlar kerfisins eru því samtals þrír. Þegar orku- og næringarefnastreymi beggja kerfa er þannig orðið jafnt er hægt að gera raunsannan samanburð á umhverfisáhrifum kerfanna tveggja.



Mynd 4-14 Urðunarkerfi I

Kerfismörk urðunar I liggja annars vegar við vegg sláturhúsa á Akureyri og Húsavík og hins vegar á urðunarstaðnum og geymslu á hreinsuðu og þjöppuðu metangasi. Notkun metansins er utan kerfismarkna. Þar sem engin næringarefni skila sér úr urðun I og eldsneytisframleiðslan er nokkru minni en í afkastamesta ferlinu, gasgerð, er hér gripið til kerfisstækkunar í formi tveggja uppbótarferla, þ.e. innflutts jarðefnaeldsneytis til að vega upp muninn sem er á metanframleiðslu kerfanna annars vegar, og innflutts, tilbúins áburðar í stað glataðra næringarefna hins vegar, svo kerfið skili sambærilegum notum og gasgerðin; sé jafngilt. Ferlar kerfisins eru því samtals þrír. Þegar orku- og næringarefnastreymi beggja kerfa er þannig orðið jafnt er hægt að gera raunsannan samanburð á umhverfisáhrifum kerfanna tveggja.

### 4.7.1 Næringarefni

Næringarefni sláturúrgangs tapast í urðun. Því eru uppbótarefni sótt, tilbúinn áburður fyrir næringarefnin, (N,P og K), bæði í urðun 0 og I. Gert er ráð fyrir köfnunarefnisáburði og tveimur áburðarblöndum (yara.is, 2010) frá Rotterdam.

Tafla 4-30 Magn og tegundir tilbúins áburðar fyrir urðun 0 og urðun I

Áburðartegund	t	Hlutföll N:P:K
Áburðarblanda NPK	106,1	24: 4: 6,6
Áburðarblanda NP	27,3	12: 23: 0
Áburður N 27	74,0	27: 0 : 0
Samtals	207,4	
þar af áburðarefni:	66,2	

Eins og sjá má í töflu 4-31, er stór hluti tilbúna áburðarins (68%) annað en næringarefnin sjálf, enda eru þau yfirleitt bundin í efnasamböndum. Sem dæmi er fosfór bundinn súrefni í tilbúnum áburði, þ.e. sem fosfat ( $P_2O_5$ ; P vegur 44% sameindar), en íblöndunarefni eru einnig til staðar. Alls vegur því aðfenginn, tilbúinn áburður rúmlega 207 tonn, bæði í urðun 0 og I.

### 4.7.2 Orka

Beislanleg orka úrgangsins ræðst af aðstæðum á meðan á niðurbroti hans stendur. Gert er ráð fyrir að 99% kolefnis losni í gasfasa, aðallega sem koldíoxíð og metan (Dalemo M., Sonesson U., Björklund A., o.fl., 1997, Odelberg C., Wiquist W., 2010). Nina Johansson o.fl. (2010) gera ráð fyrir koldíoxíði og metani í jöfnum hlutföllum (50/50), en metanstyrkur getur þó sveiflast á bilinu 35-65% eftir aðstæðum. Þessi hlutföll reiknast út frá meðaltölum, þar sem úrgangstegund er ekki sértæk. Niðurbrot úrgangs í urðunaraðstæðum er tímafrekt og mismikið á hverjum tíma. Eins og kom fram í kafla 4.2.1er metanafrakstur háður hráefninu sem gerjað er. Ekki er loku fyrir það skotið að eitthvað minna metangas myndist í urðun en í gasgerð, þar sem gasgerðarstöðvar eru hannaðar m.t.t. hámarksafraksturs, en gasmyndunarferlinu á urðunarstað er ekki stýrt og stærra hlutfall niðurbrots í urðunarhaug gæti verið loftað. Þar sem nauðsynlegt er að ákvarða þennan þátt en engin gögn liggja fyrir er hér miðað við að niðurbrot sláturúrgangs sé loftfirrt eingöngu.

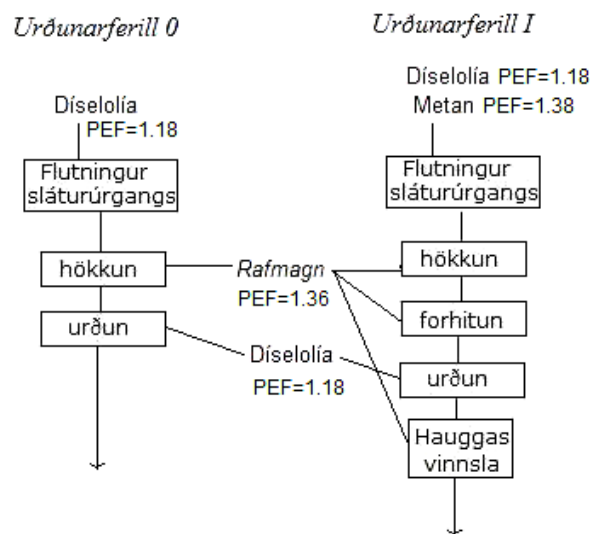
### Orkunotkun ( $E_{inn}$ )

Til glöggvunar eru notaðir orkugjafar og PE-stuðlar þeirra, á hinum ýmsu stigum urðunar sýndir í mynd 4-15.

Orkunotkun við flutninga sláturúrgangsins er mismunandi í urðunarferlunum tveimur, þar sem mismunandi eldsneyti er notað á flutningabílana og PE-stuðull metans (1,3) er hærri en fyrir díselolíu (1,1). Við flutninga í urðun 0 er eldsneytisnotkunin sú sama og í jarðgerðarferli að frádregnum stoðefnisflutningum (tafla 4-22). Í urðun I er eldsneytisnotkunin sú sama og í gasgerð (tafla 4-13).

Urðunarferill I er mun orkufrekari en urðun 0. Mestu munar um hreinsun og þjöppun haug-gassins, sem nemur 63% orkunotkunar ferilsins. Í urðun I bætist einnig við hitun í formeðhöndlun úrgangsins. Þrátt fyrir gagnaleit og fyrirspurnir fannst hvorki reiknað né mælt gildi fyrir orkunotkun upphitunar í formeðhöndlun. Eins og fjallað var um í kafla 4.5 er orkunotkun við

varmameðhöndlun háð mörgum þáttum sem ekki er mögulegt að skoða hér. Samkvæmt einfaldri nálgun er orkunotkun við hitunina 195MJ–á tonn sláturúrgangs, eða um 12% af heildarorkunotkun ferilsins. Gert er ráð fyrir að hluti úrgangsins (60%) sé hitaður í 70°C, því upphitun auðveldar niðurbrot (sjá kafla 4.5), en afganginum er blandað vel saman við að hitameðhöndlun lokinni. Þetta er ráðgert því mikilvægt hlýtur að vera að niðurbrotsörverur séu til staðar í urðunarhaug í nægilegu magni. Forsendur og útreikningar vegna forhitunar eru í viðauka I.5. Hreinsun hauggass er tæknilega flóknari, orkufrekari og óskilvirkari en hreinsun í gasgerð. Helsta ástæðan er hár styrkur köfnunarefnis í hauggasinu og álíka efnaeiginleikar þess og metans. Hreinsunin verður því ekki mjög áhrifarík, og metan (21%) tapast með köfnunarefninu sem skilið er frá. Ástæða þess að styrkur köfnunarefnis í hauggasi er hár er mikill sogþrýstingur úr haugnum, þannig að andrúmsloft (sem inniheldur N<sub>2</sub>) sogast í hauginn (Johansson N. o.fl., 2010).



Mynd 4-15 Orkugjafar og notkun þeirra í urðunarferlum.

Myndin gerir grein fyrir þeim orkugjöfum sem notaðir eru á hinum ýmsu stigum urðunar. PE-stuðlar viðkomandi orkugjafa eru einnig tilgreindir.

Töflur 4-31 og 4-32 sýna heildarnorkunotkun í ferlunum tveimur, tilgang hennar og form.

Tafla 4-31 Orkunotkun við urðun 0.

Urðun 0	Tilgangur	orkuform	MJ/t sláturúrgang	MJ alls/ár
Flutningabíll	flutningur	díselolía	103,2	361.080
hökkun	auðveldað niðubrot	rafmagn	61,7	215.914
Vinnuvél	vinnsla - urðun	díselolía	47,2	165.200
Samtals			212,1	742.194

Samkvæmt Johansson þarf sem svarar til 9% af orkuinnihaldi hauggassins til hreinsunar þess. Ekki kemur skýrt fram hvort þjöppun gassins er þar meðtalin. Nákvæmari gögn um hreinsun hauggass við þær urðunaraðstæður sem hér er reiknað með fundust ekki og er ólíklegt að þær séu fyrir hendi. Því var gert ráð fyrir að 9% af orkuinnihaldi hauggassins fari til hreinsunar þess og þjöppunar. Ekki er ólíklegt að áætluð orkunotkun sé fremur of- en vanáætluð. Gert er ráð fyrir að metan sem tapast í hreinsun sé brennt án orkunýtingar en metanstyrkur yfir 20% er nægilegur til þess að gasið brenni án auka-orkugjafa (Bjarni G. P. Hjarðar, 2011, Atli Geir Júlíusson, 2011).

Tafla 4-32 Orkunotkun við urðun I.

Urðun I	Tilgangur	orkuform	MJ/t sláturúrgangur	MJ alls/ár
Flutningabíll	flutningur	díselolía	118,9	416.160
hökkun	auðveldar niðurbrot	rafmagn	61,7	215.914
hitun (í 70°C) 60% sláturúrg.	auðveldar niðurbrot	hauggas	195,0	409.500
Vinnuvél	vinnsla - urðun	díselolía	47,2	165.200
Hreinsun og þjöppun	vinnsla hauggass	rafmagn	596,9	2.089.051
Samtals			1019,7	3.295.825

## Tilbúinn áburður

Þegar hefur verið gerð grein fyrir orkunotkun við framleiðslu á tilbúnum áburði (NPK), sjá töflu 4-6, og flutningi til Eyjafjarðar á hvert tonn, sjá töflu 4-8. Tafla 4-33 sýnir heildarorkunotkun vegna þessara þátta í urðun 0 og I.

Tafla 4-33. Orkunotkun við framleiðslu og flutninga tilbúins áburðar

Þáttur	Samtals GJ/ár
Framleiðsla N	2.192,4
Vinnsla P	262,5
Vinnsla K	35,0
Samtals framleiðsla	2.489,9
Flutningar	
Rotterdam-Reykjavík	126,5
Reykjavík-Eyjafjörður	171,8
Samtals framleiðsla og flutningar	2.788,2

## Uppbótareldsneyti

Orkunotkun vegna uppbótareldsneytis er sem hér segir:

Tafla 4-34 Orkunotkun við framleiðslu og flutninga uppbótareldsneytis

	Urðun 0	Urðun I
E-inn: (GJ)	1.442	94

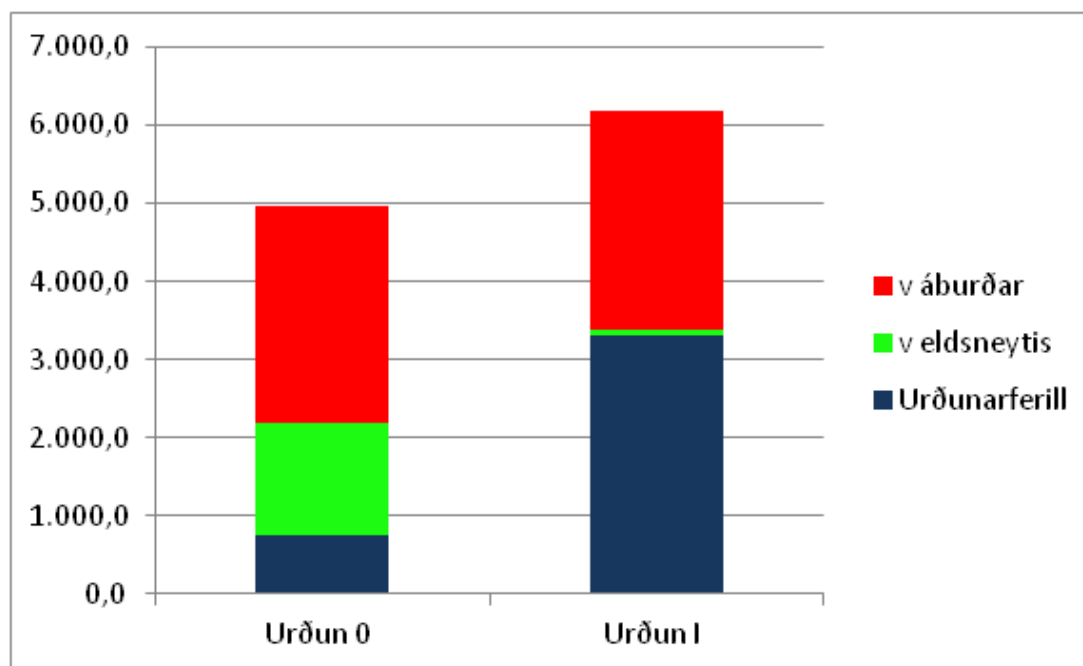
Að síðustu er hér tekin saman öll orkunotkun í urðunarkerfum.

Tafla 4-35 Orkunotkun í urðunarkerfum

Kerfi Þættir	Urðunarkerfi 0		Urðunarkerfi I	
	MJ/t sláturúrg.	MJ alls/ár	MJ/t sláturúrg.	MJ/ár
Urðunarferill	212,1	742.194	1019,7 <sup>a</sup>	3.295.825 <sup>b</sup>
V. framleiðslu uppbótareldsneytis	412,0	1.442.028	26,8	93.702
V. framleiðslu tilbúins áburðar	796,6	2.788.165	796,6	2.788.165
Samtals	1.420,7	4.972.387	1.843,1	6.177.692

<sup>a</sup>á við um sláturúrgang sem hlotið hefur hitameðhöndlun, MJ/t sláturúrgangs án hitameðhöldunar eru 824,7. <sup>b</sup>60% sláturúrgangsins er hitameðhöndlaður.

Vinnsla og flutningur tilbúins áburðar vegur talsvert í báðum urðunarkerfum en urðunarferillinn sjálfur er meira en fjórfalt orkufrekari í urðun I en í urðun 0. Á móti kemur að orkunotkun er mun minni vegna uppþótareldsneytis í urðun I. Á heildina litið er orkunotkun um 20% lægri í urðun 0 en urðun I.



Mynd 4-16 Samanburður á orkunotkun í urðunarkerfum (GJ/ár)

### Orkuframleiðsla(E<sub>út</sub>)

Hauggasi er einungis safnað í urðun I. Á mynd 4-17 má sjá ætlað flæði kolefnis. Samkvæmt leiðbeinandi viðmiðum IPCC (2006) er söfnunarhlutfall hauggass háð ýmsum þáttum og giska mismunandi eftir aðstæðum, eða á bilinu 10-85%. Sem fyrr segir telja Odelberg og Wiquist að með nútíma urðunartækni eigi að vera nokkuð auðvelt að safna 75% hauggassins (Odelberg C., Wiquist W., 2010) og er gengið út frá því hér.

Tafla 4-36 Kolefnislosun á gasformi og söfnun hauggass, urðunarferill I.

Niðurbrot á urðunarstað I	Þar af CH <sub>4</sub>	t CH <sub>4</sub> losuð í gasfasa alls	Söfnunarhlutfall	Safnað t alls
Kolefnisinnihald slátur-úrgangs C, 512,8 t alls	67%	455,0	75%	341,3

Miðað við gefnar forsendur myndast alls 455 tonn af metani í urðun I, þar af er 341 tonni safnað. Hvert tonn sláturúrgangs gefur hátt í 5 þúsund MJ, að hreinsunarskrefi frátöldu nást yfir 3.800 MJ á tonnið en miðað er við að 21% metans tapist í hreinsuninni

Tafla 4-37 Metanmyndun og afrakstur, urðunarferill I

	MJ/t sláturúrgangs	GJ alls
Hauggas	4.876,4	17.067
Lífmetan (eftir hreinsun)	3.852,4	13.483

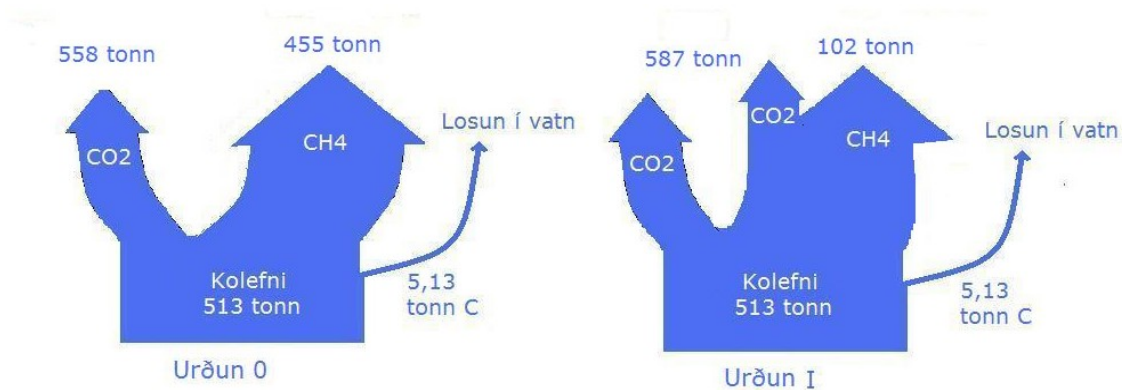
(Johansson N. o.fl., 2010). "Uppskeyra" urðunarinnar er nokkuð nálægt gasgerðinni sem miðað við gefnar forsendur er 14.420 GJ. Mismunurinn er bættur upp með innfluttu jarðefnaeldsneyti (bensín).

### 4.7.3 Umhverfisálag

Metan er eina GHG sem talin er fram hér. Raunar myndast hláturgas í urðunarhaug en í óverulegu magni (IPCC, 2006). Gerð jarðvegsþekju, þykkt hennar og viðhald geta haft áhrif á samsetningu losaðs hauggass í andrúmsloft. Samkvæmt viðmiði IPCC (2006) getur heppileg jarðvegsþekja, þ.e. ef innihaldsefni hennar eru rétt (t.d. molta), hún er vel loftuð og henni er vel við haldið (þannig að ekki myndast sprungur eða glufur þar sem hauggasið sleppur óhindrað í gegn), hindrað losun metangass að einhverju marki, þ.e. metan er þá oxað í jarðvegsþekjunni (IPCC, 2006).

Urðun 0: Gengið er út frá viðmiði IPCC um urðunarstaði með litla gæðastjórnun, þar sem ekki er hugað að réttri gerð þekjulags o.s.frv. og því ekki gert ráð fyrir oxun metans í urðunarhaug. Hauggasi er ekki safnað og fer því allt út í andrúmsloft.

Urðun I: 25% hauggassins er ekki safnað. Gert er ráð fyrir viðmiði IPCC (2006) um vel hannaðan urðunarstað undir gæðastjórn (well managed SWDS), en þá má gera ráð fyrir að 10% metans oxist yfir í koldíoxíð.



Mynd 4-17 Losun kolefnis (gasfasi) í urðun 0 og urðun I.

Kolefni sláturúrangsins losnar með tímanum úr læðingi, að mestu sem metan og koldíoxíð. Ekki er gerð grein fyrir metani sem nýtt er í urðun I.

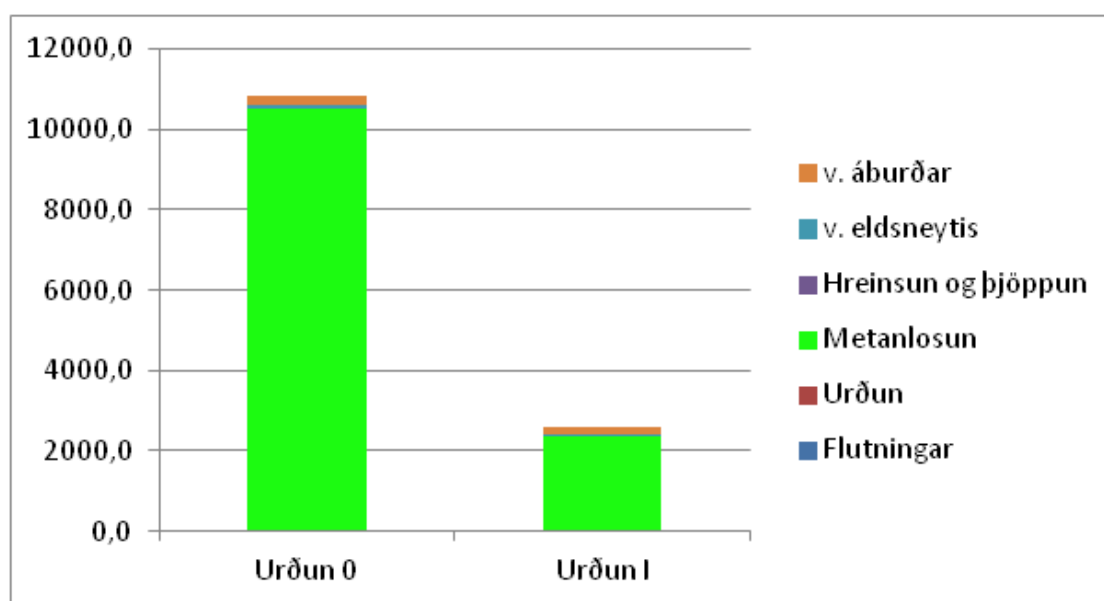
Gerð var grein fyrir söfnun metangass í kafla 4.7.2, en á mynd 4-17 hér að ofan eru magntölur kolefnis sem losnar í gasfasa, fyrir utan metangasið sem er hreinsað og síðan nýtt eða brennt (sá hluti sem tapast við hreinsun). Í urðun 0 losna um 455 t af metani í andrúmsloft, en um 102 t í urðun I, þ.e. eftir að oxað metan (í jarðvegsþekju) hefur verið dregið frá. Eins og fyrr hefur verið nefnt hefur söfnunarhlutfall verið aukið á urðunarstöðum. Samfara aukinni söfnun hefur styrkur köfnunarefnis aukist í hauggasi (köfnunarefni andrúmslofts sogast í hauginn og er tekið upp í söfnuninni), og metantap við hreinsun er nokkuð (21% metans hauggassins). Þar sem það er brennt veldur það ekki gróðurhúsaáhrifum. Með aukaorkugjafa (hauggasi) væri vísast hægt að nýta þetta metangas, t.d. við forhitun sláturúrangs, en ekki verður fjallað um það hér.

Kalíum (K) og fosfór (P) losnar einnig í vatn en næringarefni geta valdið ofauðgun í vatni. Ekki er þó gerð úttekt á því hér.

Tafla 4-38 Losun GHL í urðunarferlum 0 og I alls

	Urðun 0 CO <sub>2</sub> ígildi t	Urðun I CO <sub>2</sub> ígildi t
Flutningar	26,7	4,6
Urðunarframkvæmd	13,0 <sup>a</sup>	13,4 <sup>b</sup>
Metanlosun úr urðunarhaug	10.466	2.355
Hreinsun og þjöppun	0	1,9
Vegna eldsneytis	106,7	6,9
Vegna áburðar	211,5	211,5
Samtals	10.824	2.593

<sup>a</sup>Hökkun, og urðun/vinnuvél <sup>b</sup>Hökkun, hitun 60% sláturúrg. og vinnuvél



Mynd 4-18 Hlýnunarmáttur urðunarkerfa 0 og I

Í töflu 4-38 og á mynd 4-18 má sjá samantekt á hlýnunarmætti urðunarkerfanna. Metanlosun úr urðunarhaugi er stærsti þósturinn í báðum kerfum (yfir 90% af heildarlosun). Samt er metanlosun í urðun I aðeins tæpur fjórðungur af metanlosun í urðun 0. Næststærsti þósturinn í urðunarferlinum sjálfum (urðun 0) eru flutningar sláturúrgangs (100% díselolía), en koldíoxíðígildi þeirra eru meira en fimmfalt hærri en í urðun I (90% metan, 10% díselolía) og því greinilegur umhverfislegur ávinningur af notkun metans sem eldsneytis. Hvað uppbótarferla varðar munar mest um GHL losun vegna uppbótareldsneytis sem er meira en tífalt hærri í urðun 0 en urðun I.





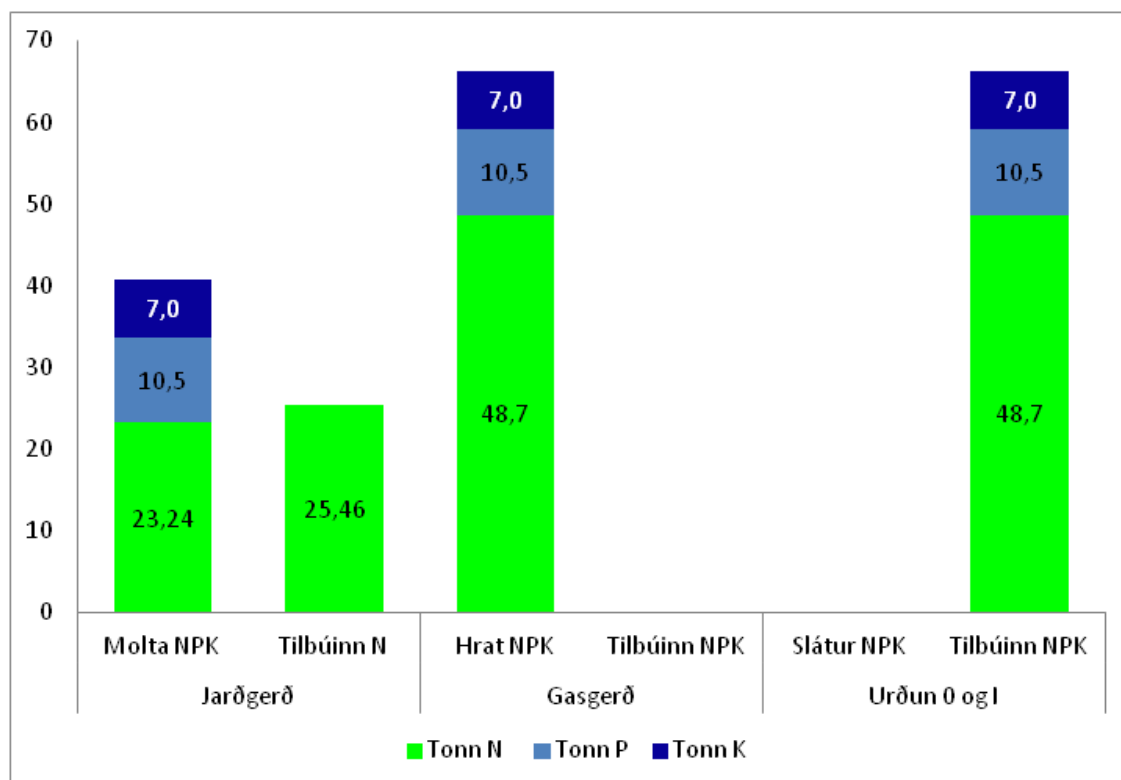
## 5 Niðurstöður

Í kafla 3.1, Markmið og umfang, voru fjórar meginspurningar þessa verkefnis settar fram. Í þessum kafla verður farið skipulega og ítarlega í gegnum þær niðurstöður sem fengust út úr leitinni að svörum við þeim spurningum, lið fyrir lið, og þær loks settar fram í stuttri samantekt í kafla 5.4.

### 5.1 Skil næringarefna

Hringrás næringarefna í náttúrunni er einn af grunnþáttum viðgangs hennar. Hringrás næringarefna er oft rýr í landbúnaði, og þau jafnvel sótt langt að. Með tilliti til sjálfbærni er mikilvægt að fullnýta hráefni og stuðla að hringrás næringarefna eins og kostur er. Því er hér reynt að meta hversu stór hluti næringarefna sláturúrgangsins sé endurheimtanlegur og geti nýst í jarðyrkju.

Næringaefnamagn sem fæst úr gasgerð er meira en í öðrum ferlum. Áætlað er að nýtanlegt köfnunarefni sé 48,7 tonn (70% af köfnunarefnisinnihaldi sláturúrgangs), 10,5 tonn af fosfór (100%) og 7,0 tonn af kalíum (100%). Í jarðgerð má einnig reikna með að fosfór (P) og kalíum (K) skili sér að fullu en mun minna, eða 40% köfnunarefnisins (N). Endurheimt næringarefna fer ekki fram í urðunarkerfum og er því tilbúinn áburður sóttur í þeirra stað.



Mynd 5-1 Nýtanleg næringarefni úr ferlum og tilbúinn áburður (uppbótarferlar).

Við skoðun á heildarflæði næringarefna um kerfin kemur í ljós að flæði fosfórs og kalíum er tvöfalt meira í urðunarkerfum en í jarð- og gasgerð, þar sem jafnmikið af næringarefnum

er sótt útfyrir kerfin og slátuúrgangurinn inniheldur. Munurinn er nokkru minni hvað köfnunarefni snertir. Í gasgerð næst ekki að koma 30% köfnunarefnisins á nýtanlegt form (21,3 t), og 60% þess í jarðgerð (42,6 t). Heildarflæði köfnunarefnis um gasgerð eru 70t, jarðgerð 95,5 t og urðunarkerfi 118,7 t.

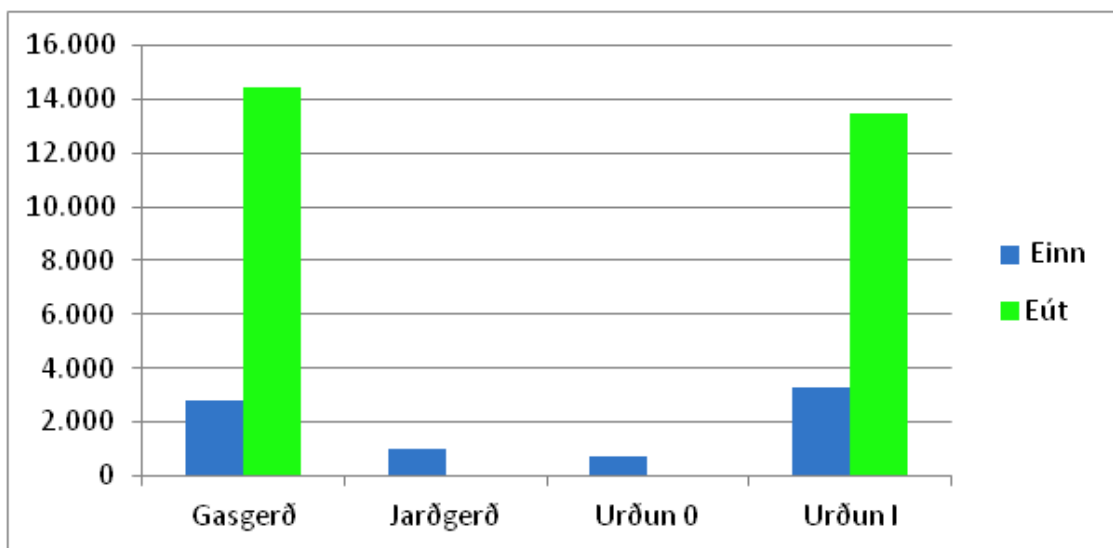
## 5.2 Orkubúskapur

Af meðhöndlunarferlunum fjórum næst að beisla mesta orku í gasgerð. Gasgerðarferillinn er jafnframt talsvert orkufrekur, en orkuþörfin er minnst í urðun 0. Sá ferill skilar hins vegar engum afurðum. Orkufrekasti ferillinn er urðun I, yfirgnæfandi stærsti pósturinn er meðhöndlun hauggassins. Þar sem gögn eru ónákvæm og af skornum skammti um nokkra mikilvæga orkuþætti urðunar I ber að taka þeim með fyrirvara.

Tafla 5-1 Samanburður meðhöndlunarferla, orkunotkun og -framleiðsla

Meðhöndlunarferlar	GJ $E_{inn}$ (orkunotkun)	GJ $E_{út}$ (orkuframleiðsla)
Gasgerð	2.807	14.420
Jarðgerð	994	0
Urðun 0	742	0
Urðun I	3.296	13.483

Tölulegur samanburður á orkunotkun og orkuframleiðslu ferlanna er gefinn í töflu 5-1 og myndrænn samanburður á mynd 5-2.



Mynd 5-2 Samanburður á orkunotkun og orkuframleiðslu ferla (GJ)

### Orkunotkun ( $E_{inn}$ )

Orkuþörf samanburðarferlanna er ansi ólík, en hún helst að nokkru í hendur við orkuframleiðsluna. Urðun 0 er sá kostur sem notar minnsta orku og fær því stuðulinn 1 hér að neðan. Gasgerð er nærri fjórfalt orkufrekari, en Urðun I 4,4 sinnum orkufrekari.

Tafla 5-2 Orkuþörf í vinnsluferlum

Ferill	Gasgerð	Jarðgerð	Urðun 0	Urðun 1
Stuðull	3,8	1,3	1,0	4,4

### Orkuframleiðsla ( $E_{út}$ )

Urðun 0 og jarðgerð skila ekki eldsneytisafurð. Urðun I skilar 9% minna eldsneyti en gasgerðin. Árlega framleitt metaneldsneyti í gasgerðarstöð, samtals 14.420GJ, dugar á 382 fólksbíla, miðað við  $7\text{Nm}^3/100\text{km}$  eyðslu og 15 þúsund km akstur á ári. Samtals framleitt metaneldsneyti í urðun I er 13.483 GJ og dugar því á 375 fólksbíla m.v. sömu forsendur.

Orkulosun úr sláturúrgangi (til umhverfis) í jarðgerð skilar þó *notum*, þ.e. varmalosun úr úrganginum sóttver hann og hefur jákvæð áhrif á nýtingareiginleika hans. Engu að síður má segja að orku sláturúrgangs sé að meira eða minna leyti sóað, sérstaklega í urðun 0 og jarðgerð, og sækja þarf orku annað til uppbótar. Hægt væri að vinna stærra hluta orku sláturúrgangsins í gasgerð með lengri gerjunartíma. Lengri gerjunartími kallar þó á meiri orkunotkun og hún verður hlutfallslega hærra en þegar gerjunartími er miðaður við háan niðurbrotshraða hráefnis (Eder, B. og Schulz, H., 2007).

### Heildarorkuflæði kerfanna

Á mynd 5-3 má sjá sundurliðað heildarorkuflæði kerfanna, orku notaða í meðhöndlunarferlum, afurð þeirra (metan), óbeislaða orku eða orkuframlög í uppbótarferlum. Í jarðgerð nýtist hluti orku sláturúrgangsins í meðhöndlunarferli til sóttvarnar en er hér talinn til óbeislaðrar orku (ætti að teljast til orkunotkunar). Hins vegar er heildarniðurstaða orkuflæðis sú sama. Töluleg samantekt er í töflu 5-3.

Tafla 5-3 Samanburður á heildarorkuflæði kerfanna (GJ).

	Meðh.-ferill	Metan	Óbeisluðorka	Uppbót eldsneyti	Uppbót tilb. áburður	Samtals
Gasgerð	2.807	14.420	6.712	0	0	23.914
Jarðgerð	994	0	21.132	15.862	1.281	39.270
Urðun 0	731	0	21.132	15.862	2.788	40.513
Urðun 1	3.296	13.483	7.649	1.031	2.788	28.247

Þegar öll kurl koma til grafar fer mest orka um urðunarkerfi 0 (40.513 GJ) eða nær helmingi meira en fer um gasgerðarkerfið (23.914 GJ). Stærstu orkuþóstarir eru uppbótareldsneyti og óbeisluð orka úr sláturúrgangi. Í heild er jarðgerðarkerfið nálægt jafn orkufrekt (39.270 GJ) og urðun 0, enda engin eldsneytisvinnsla í ferlinum og orkunotkun vegna uppbótarnæringarefna jarðgerðar er hlutfallslega mikil (orkunotkun við framleiðslu tilbúins köfnunarefnisáburðar er töluvert meiri en fyrir fosfór og kalíum).

### Orkuskilvirkni vinnsluferla

Í tveimur af fjórum meðhöndlunarferlum er unnið eldsneyti úr sláturúrganginum. Forvitnilegt er að bera saman skilvirkni þeirra.

Gasgerð: Heildarorkunotkun ( $E_{inn}$ ) í gasgerðarferli var tæplega 2.807GJ (sjá að ofan töflu 5-3), en eldsneytisframleiðslan ( $E_{út}$ ) var 14.420 GJ.

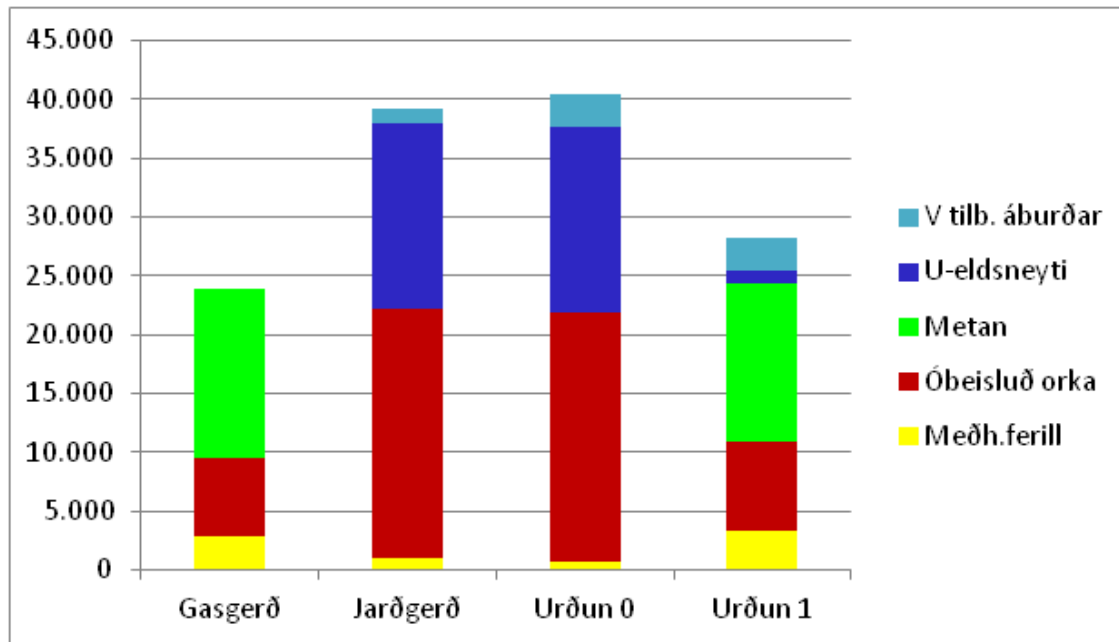
Skilvirkni gasgerðarferils er því:

$$14.420\text{GJ}/2.807\text{GJ} = 5,1 \text{ en PEF er: } 14.420 \text{ GJ}+2.807\text{GJ}/14.420 \text{ GJ}=1,19$$

Urðun I: Heildarorkunotkun ( $E_{inn}$ ) í urðun I var 3.296 GJ (sjá að ofan töflu 5-3), en eldsneytisframleiðslan ( $E_{út}$ ) var 13.483GJ.

Skilvirkni urðunarferils I er því:

$$13.483 \text{ GJ}/3.296\text{GJ} = 4,1 \text{ en PEF er: } 13.483 \text{ GJ}+3.296 \text{ GJ} /13.483=1,24$$



Mynd 5-3 Heildarorka kerfa,(GJ).

## Orka og næringarefni

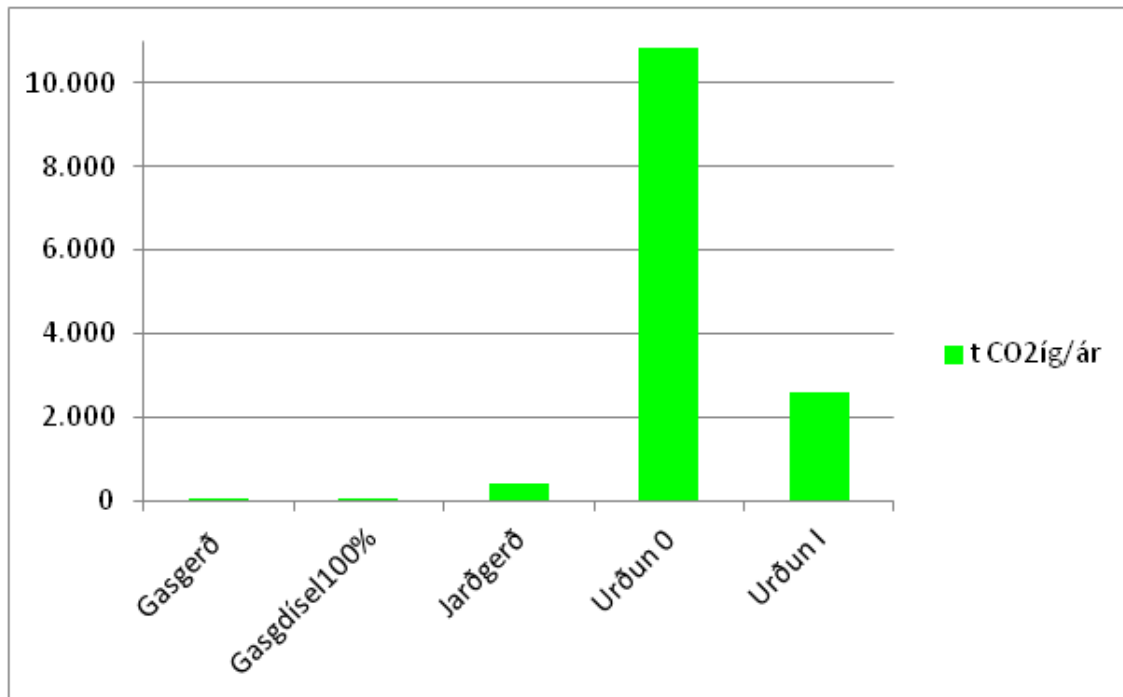
Athyglisvert er hve orkuþörf við framleiðslu og flutning tilbúins áburðar er mikil í urðunarkerfunum (tafla 5-3), eða um 2.788 GJ. Þetta er nálægt heildarorkunotkun gasgerðarkerfisins eins og það leggur sig (2.807 GJ). Í útreikningum hér að framan er öll orkunotkun gasgerðar felld á eldsneytisframleiðsluna. Ef orkunotkun kerfisins yrði hins vegar felld til jafns á báðar afurðir þess, gas og næringarefni (e.: allocation) yrði orkuskilvirkni gasgerðarferilsins tvöfalt hærri, eða hartnær 10,3. Orkunotkun vegna næringarefnaframleiðslu væri engu að síður u.þ.b. helmingi minni pr. tonn í gasgerðarkerfi en við framleiðslu uppbótarefna í urðunarkerfunum.

## 5.3 Álagsmat

Þá er komið að samanburði á hlýnunarmætti kerfanna. Eins og sjá má á mynd 5-4 er losun GHG mest í Urðunarkerfi 0. Meginhluti GHG losunar urðunarkerfa er tilkominn vegna losunar metans úr urðunarhaug.

Í verkefninu er gert ráð fyrir tveimur eldsneytisgjöfum við flutninga hráefnis, díselolíu og metani, en díselolía hefur ríflega 74 sinnum meiri hlýnunarmátt en metan. Metan er afurð

tveggja af fjórum vinnsluferlum og er nýtt sem eldsneyti í þeim. Til fróðleiks er í töflu 5-4 og mynd 5-4 gerð grein fyrir hverju það breytir ef díselolía er notuð við flutninga í stað metans í gasgerðarferli. Á heildina litið verður losun GHG helmingi (ríflega 22 tonnum) meiri þegar díselolía er notuð eingöngu við flutninga í gasgerðarferli en þegar metan er notað að mestu. Gasgerð, hvort sem notast er við díselolíu eða metan við flutninga, er langt neðan annarra kerfa hvað hlýnunarmátt snertir.



Mynd 5-4 Samanburður á hlýnunarmætti kerfa

Tafla 5-4 Samanburður á hlýnunarmætti kerfa

Ferill	CO2igildi kg/t sláturúrgangs	CO2igildi t alls
Gasgerð 100%dísel	18,9	66,1
Gasgerð/metan+dísel	13,2	44,4
Jarðgerð	113	395,5
Urðun 0	3.093	10.824
Urðun I	741	2.593

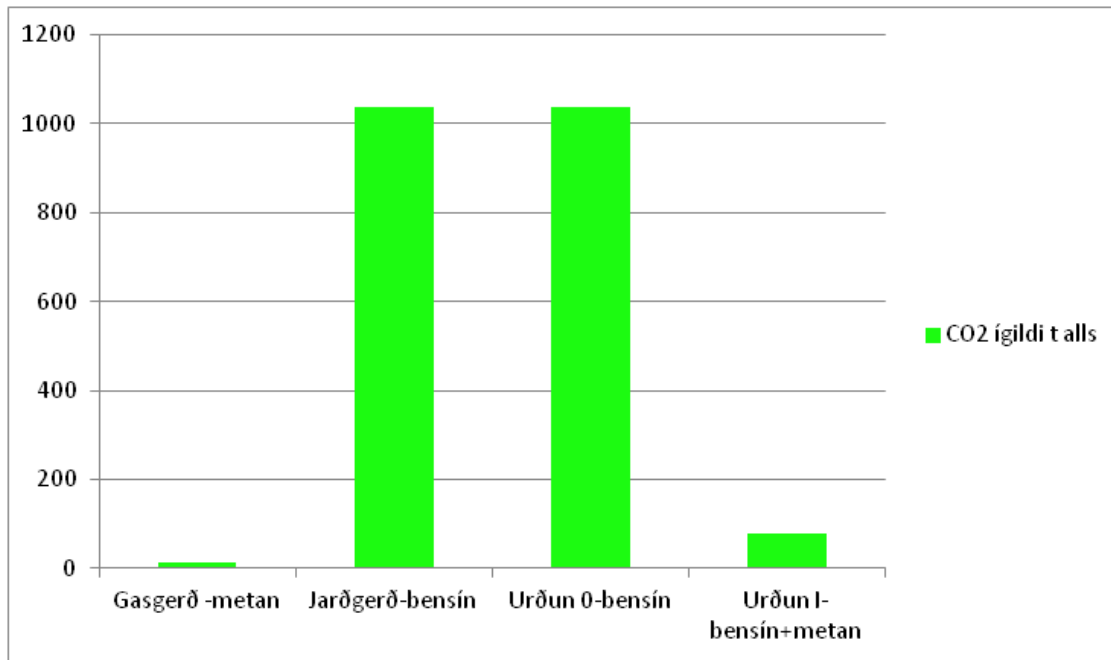
## Afurðir

Þó orkuafurðir séu ekki innan kerfismarka, verður hér gerð grein fyrir koldíoxíðígildum framleiddra eldsneytisgjafa svo hægt sé að bera líklegt umhverfisálag þeirra saman við álag af völdum jarðefnaeldsneytis (ekki tekið tillit til fororku o.s.frv.). Miðað er við að orkuafurðir kerfanna séu notaðar á fólksbíla; annars vegar bensínbíla (74g CO<sub>2</sub> íg/kg CO<sub>2</sub> íg.) og hins vegar á bíla sem ganga fyrir metani (0,9g CO<sub>2</sub> íg/MJ, RED, 2009). Koldíoxíðígildi orkuafurðanna eru talin fram í töflu 5-5.

Tafla 5-5 Samanburður á GHG-losun eldsneytisafurða

Eldsneytisafurð	CO2 ígildi t alls
Gasgerð -metan	13,0
Jarðgerð-bensín	1038,3
Urðun 0-bensín	1038,3
Urðun I-bensín+metan	79,6

Munurinn er enn meira sláandi kominn í stöplarit.



Mynd 5-5 Samanburður á hlýnunarmætti eldsneytisafurða

Eins og nærri má geta koma þau kerfi mun betur út, sem framleiða metan. Þannig er GHG-losun margfalt minni í urðun I en í urðun 0 og jarðgerð, og í gasgerðinni nemur losun GHG innan við 1,5% losunar úr metanlausu kerfunum tveimur.

## 5.4 Samantekt niðurstaðna

Rannsókarspurningar verkefnisins voru fjórar. Hér að neðan eru þær rifjaðar upp og þeim svarað.

1. Hve mikil orka (í forni eldsneytis) og næringarefni (NPK) fást úr einu tonni af sláturúrgangi með þeim förgunar- og nýtingaraðferðum sem hér eru greind?

Úr gasgerð fæst orka sem nemur 4.120 MJ á hvert tonn sláturúrgangs, en 3.852 MJ á tonnið úr urðun I. Engin nýtanleg eldsneytisorka fæst úr jarðgerð og urðun 0. Alls fást 19kg næringarefna á tonn sláturúrgangs úr gasgerð (N=14kg, P=3kg, K=2kg), úr jarðgerð fást 13kg (N=8kg, P=3kg, K=2kg), en úr urðunarferlum fást engin nýtanleg næringarefni.

2. Hversu orkufrekar og skilvirkar eru hinar ólíku aðferðir m.t.t. framleiðslu á orku?

Framleiðsla lífmetans í gasgerð er nokkuð orkufrek eða 813 MJ á tonn sláturúrgangs, mest er þó orkunotkunin í urðun I eða 1.843MJ en minnst í urðun 0 eða 212 MJ á tonnið. Orkunotkun í jarðgerð er 382 MJ á tonn sláturúrgangs. Skilvirkni gasgerðar er hins vegar 5,1 og skilvirkni urðunar I er 4,1. Tæpast er hægt að tala um orkuskilvirkni í hinum kerfunum tveimur, þar sem eldsneytisframleiðsla er ekki til staðar í þeim.

3. Hvert er heildarflæði orku og næringarefna í hverju kerfi?

Að teknu tilliti til óbeislaðrar orku sláturúrgangs flæðir mest orka um urðunarkerfi 0, eða um 40.513 GJ. Þar af er óbeisluð orka 21.132 GJ, þá 15.862 GJ úr orkuuppbótarferli (bensín) og 2.788 GJ vegna tilbúins áburðar. Næst mest flæðir af orku í gegnum jarðgerðarkerfið, 39.270 GJ. Stærstu orkupóstarnir eru þeir sömu og jafnstórir og í urðun 0. Heildarorka urðunar I eru 28.247 GJ þar af er óbeisluð orka 7.649 GJ en metanframleiðsla 13.483 GJ. Minnst er heildarorkuflæði gasgerðar, 23.914 GJ. Þar af eru stærstu orkupóstarnir metanafrakstur 14.420 GJ en óbeisluð orka 6.712GJ.

Áætlað er að 3.500 t sláturúrgangs innihaldi 70 t N, 10,5t P og 7,0 t K. Miðað er við að öll kerfin skili á plöntuadgengilegu formi á við gasgerð þ.e. 48,7 t af N(70%), 10,5 t af P og 7,0 t af K. Næringarefni eru ekki endurheimt í urðunarkerfum og er því sótt uppbót á formi tilbúins áburðar. Samtals er því næringarefnaflæði um urðunarkerfin 118,7 t N, 21,0 t P og 14,0 t K, í jarðgerð er flæði P og K það sama og í gasgerð en flæði N er 95,5 t.

4. Hver er hlýnunarmáttur kerfanna og eldsneytisafurða þeirra?

Hlýnunarmáttur gasgerðar eru 13.2kg CO<sub>2</sub>ígildi á tonn sláturúrgangs og 44,4 tonn CO<sub>2</sub>ígildi samtals. Hlýnunarmáttur jarðgerðar eru 113,0 kg CO<sub>2</sub>ígildi á tonn sláturúrgangs og 395,5 tonn CO<sub>2</sub>ígildi samtals. Hlýnunarmáttur urðunar 0 er 3.093 kg á tonn sláturúrgangs og 10.824 tonn CO<sub>2</sub>ígildi samtals. Hlýnunarmáttur urðunar I eru 741 kg CO<sub>2</sub>ígildi á tonn sláturúrgangs og 2.593 tonn CO<sub>2</sub>ígildi samtals.

Hlýnunarmáttur framleidds orkugjafa jarðgerðar og urðunar 0 (100% uppbótareldsneyti, bensín) eru 1038,3 tonn CO<sub>2</sub>ígildi samtals. Hlýnunarmáttur orkugjafa urðunar I eru 79,6 tonn CO<sub>2</sub>ígildi samtals (bæði framleitt metan og uppbótarbensín).

Hlýnunarmáttur framleidds orkugjafa gasgerðar, metans, eru 13 tonn CO<sub>2</sub>ígildi samtals.





## 6 Umræða um óvissu

Líkt og ítrekað hefur verið bent á, þá er hér ekki um reynslurannsókn að ræða enda raungögn iðulega ekki fyrir hendi eða sótt í erlendar heimildir, þannig að meðaltöl og fræðileg nálgun á ýmsum kennistærðum skipa óhjákvæmilega stóran sess í þessum samanburði á fjórum mismunandi meðhöndlunarstöðvum sem ekki eru heldur til í raunheimum. Stærsti, einstaki óvissuþátturinn felst því einfaldlega í skorti á raungögnum.

Hér að neðan verður síðan farið lauslega yfir helstu strikin sem raunveruleikinn gæti sett í þennan fræðilega reikning.

Gera má ráð fyrir að flutningsfjarlægð, gerð hráefnis og stjórnun á losun gróðurhúsalofttegunda í úrgangsméðhöndlunarferlunum vegi þungt m.t.t. umhverfisáhrifa kerfanna og hagkvæmni orkuframleiðslunnar.

Her á landi hefur fjölmörgum sláturhúsum verið lokað á undanförunum árum, og engin leið að treysta því að þau sláturhús sem hér er reiknað með sem hráefnisbirgjum starfi áfram í óbreyttri mynd. Lokun eins þeirra eða fleiri hefði því í för með sér töluvert lengri aðflutninga, t.d. frá Kópaskeri eða Sauðárkróki, þar sem næstu, stóru sláturhús er að finna. Samkvæmt Berglund og Börjesson (2003e) má flytja sláturúrgang til orkuvinnslu (gasgerð) um allt að 700 km veg án þess að orkuuppgjörið verði neikvætt. Það má því heita afar ólíklegt að flutningsþátturinn hafi afgerandi neikvæð áhrif hér á landi.

Eins og tafla 4-15 sýnir, skiptir samsetning sláturúrgangsins einnig verulegu máli. Fítan er orkuríkasti hluti sláturúrgangs, en hana má eflaust nýta til ýmissa annarra hluta (t.d. í lífdísel). Ef gert er ráð fyrir að úrgangurinn væri fítusneyddur að mestu leyti (90%) eftir hitun úrgangsins (nú eða sérlega lélegu árferði og þ.a.l. horuðum dílkum) má reikna með að hlutfall metans í lífgasi (eða hauggasi) minnki. Þetta hefði í för með sér að skilvirkni orkuframleiðslu úr sláturúrgangi (fítusnauðum) í gasvirkjun mundi minnka um tæplega 26%, úr 5,1 niður í 3,8, en í urðun I úr 4,1 í 3,0. Ekki verður gerð tilraun til að skilgreina ásættanlega skilvirkni, en miðað við nýtingu jarðvarmaraforku hlýtur hún að teljast nokkuð góð bæði í gasgerð og urðun I, því samkvæmt samantekt Rósu Guðmundsdóttur skilar aðeins 5-20% frumorku jarðvarmans sér til notenda (Rósa Guðmundsdóttir, 2009). Við brottnám fítu gæti hins vegar verið að vissar mótvægisáðgerðir væru nauðsynlegar, því próteinhlutfall (lágt C:N hlutfall) úrgangsins hækkar en hár styrkur köfnunarefnis getur haft hamlandi áhrif á loftfirrt niðurbrot, sjá nánari umfjöllun í næsta kafla, Umræður og ályktanir.

Að þeim forsendum gefnum sem hér hefur verið gengið út frá er umhverfislegur ávinningur gas- og jarðgerðar mun meiri en urðunar. En skoðum aðeins muninn á gas- og jarðgerð. Miðað við forsendur verkefnisins er losun GHG minni í gas- en jarðgerð. Eins og fjallað var um í kafla 4.6.3 um umhverfisálag jarðgerðar eru mælingar á losun GHG úr jarðgerð af skornum skammti. Lítum fyrst á GHG losun úr gasgerðinni. Stærsti þáttur hennar er tap metans. Í verkefninu er reiknað með 0,5% metanleka, sem er minnsti mögulegi leki miðað við bestu fáanlegu tækni. Í eldri stöðvum er metanlekinn yfirleitt meiri, eða í kringum 2% (Berglund M., Börjesson P., 2003e). Við 2,5% metantap úr gasgerðinni verða CO<sub>2</sub> ígildi gasgerðar hærri en jarðgerðar eða 166t á móti 145t. Stærsti partur áætlaðra CO<sub>2</sub> ígilda

jarðgerðar er hláturgaslosun. Ef hún eykst eða ef loftun moltuefnisins er léleg, eykst metanlosun einnig og hækka CO<sub>2</sub> ígildi jarðgerðar þá að sama skapi.

Þar sem rannsóknir á þessum losunarefnum í jarðgerð eru af skornum skammti er hinsvegar einnig mögulegt að hláturgaslosunin sé minni en hér hefur verið talið fram. Eins og kom fram í umfjöllun um jarðgerðina (kafla 4.6) er með ákveðnum aðgerðum hægt að draga úr myndun GHG við jarðgerð. Gera má ráð fyrir að rannsóknir á jarðgerð verði eflaðar og að við þróun jarðgerðartækninnar verði losun GHG lágmörkuð, þar sem jarðgerð er mikið stunduð víða um heim.

Hvað gasgerðarstöðvar varðar er greinilegt að metanleki er mikilvægur óvissuþáttur m.t.t. gróðurhúsaáhrifa og auðvitað skiptir verulegu máli að hefta losun gróðurhúsalofttegunda í báðum ferlum. Þó það sé utan kerfismarka skal þess getið að losun metans og hláturgass úr hrati gasgerðar getur orðið veruleg við dreifingu þess.

Að lokum er vert að ræða stuttlega grófleika/nákvæmnistig þessarar rannsóknar. Allar kennistærðir eru miðaðar við tonn sláturúrgangs, og ekki tekið tillit til mögulegs breytileika í meðhöndlun hans fyrir utan meðhöndlunaraðferðirnar sjálfar. Þannig er ekki mögulegt að taka tillit til ýmissa breyta eins og árstíðasveiflna og birgðahalds. T.d. fer öll slátrun sauðfjár fram á haustmánuðum og ef gefa ætti raunsanna mynd af gas- og jarðgerð þyrfti að gera ráð fyrir uppsöfnun og geymslu þessa úrgangs (má t.d. leggja í súr, sjá Norén A., ofl. 2011) þar til hægt er að meðhöndla hann.

## 7 Umræður og ályktanir

Af öllu framangreindu má ljóst vera að það er eftir nokkru að slægjast þar sem sláturúrgangur er annars vegar. Af þeim fjórum leiðum sem hér voru skoðaðar gefur gasgerðin mestar afurðir, enda um sérhæfða framleiðsluáferð að ræða.

Heimsmarkaðsverð á jarðefnaeldsneyti hefur hækkað verulega á undanförunum árum og fátt bendir til þess að sú þróun snúist við í bráð eða lengd (Ingvi M. Pálsson o.fl., 2008; www.iea.org, 2011). Þetta bætir samkeppnisstöðu bænda og annarra lífgasframleiðenda, en þó tæpast svo mikið að mikil aukning verði í lífgasvinnslu hérlendis án stuðnings yfirvalda, því stofnkostnaður er hár (biogas.org, 2010, Kozak, M., 2009). Aukin innlend framleiðsla eldsneytis ætti að vera þjóðhagslega hagkvæm, og jafnvel enn hagkvæmari nú á tímum gjaldeyrishafta en ella. Um leið og við verðum minna háð innfluttu eldsneyti dregur úr gjaldeyriseyðslu, störf myndast, umhverfisálag af völdum umferðar minnkar og svona má lengi áfram telja (Björn H. Halldórsson o.fl., 2006). Þegar horft er til hugmyndafræði sjálfbærrar þróunar blasa kostir gasgerðarinnar við, því með henni er dregið úr notkun óendurnýjanlegra auðlinda (bæði orku og næringarefna) um leið og nýting endurnýjanlegra auðlinda er aukin. Margt bendir því til þess að gasgerðarstöðvar geti verið hagstæðar hér á landi til lengri tíma litið.

Í verkefninu var miðað við að framleitt metan væri notað sem bifreiða- og vinnuvélaeldsneyti en ekki til rafmagns- og varmaframleiðslu eins og tíðkast víða erlendis. Hér á landi eru rafmagns- og (jarð)varmagjafir til staðar sem teljast býsna hagstæðir, hvort sem horft er til orkuviðmiða eða umhverfisálags. Annars staðar, þar sem sömu orkutegundir eru t.d. fengnar úr kolaverum, horfir dæmið öðruvísi við. Hér er þó vert að nefna að þegar lífgas er notað til rafmagns- og varmaframleiðslu er sáralítil hreinsun á gasinu nauðsynleg (Eder B., Schulz H., 2007), en hreinsunin kostar helst aukinn tækjabúnað og orku.

Metan hefur marga góða eiginleika sem eldsneyti. Hægt er að nota það á lítið breytt farartæki og eins má drýgja það með jarðgasi. Framleiðsla á fljótandi metangasi, sem væri þá hægt að nota á lítt breytt, venjuleg farartæki er einnig möguleg. Metanið tekur umtalsvert minna pláss í fljótandi formi, sem er óneitanlega kostur, en á móti kemur að slík framleiðsla er nokkuð orkufrek (Johansson, N., 2008).

Hvað gróðurhúsaáhrif snertir þá er afar mikilvægt að metan sé ekki losað í andrúmsloft og því brýnt að lágmarka metantap við alla meðhöndlun lífræns úrgangs, hvort sem er í landbúnaði eða við förgun og/eða nýtingu. Hér er áhugavert að skoða niðurstöður Börjessons og félaga (2010) sem reikna með að metanleki úr sænskum gasgerðarstöðvum þurfi að vera meiri en 15-30% (háð orkuinnihaldi hráefnis) til þess að bensín verði hagstæðara eldsneyti en lífmetan m.t.t. gróðurhúsaáhrifa. Samkvæmt miljøfordon.se, vefgátt um visthæf farartæki sem haldið er úti af sænsku sveitarfélögunum Stokkhólmi, Gautaborg og Málmey, eru hnattrænir umhverfisálagsþættir<sup>8</sup> vegna notkunar lífmetanbíla á bilinu 50-90% minni en hefðbundinna bensínbíla, háð lífgasframleiðsluleiðum og

---

<sup>8</sup> ath, álagspættir eru ekki tilgreindir nákvæmlega.

bíltegund. Staðbundin umhverfisáhrif eins og svifryksmengun og losun köfnunarefnisoxíða eru líka mun minni úr lífgasbílum en bensínbílum (www.miljofordon.se 2010), en samkvæmt Börjesson o.fl. (2010) er svifryksmengun um fjórfalt meiri af bensínbílum (2mg/MJ) en metanknúnum bílum (0,5mg/MJ).

Hér er mikilvægt að minna á að þessi greining nær ekki yfir heildarlífsferil sláturúrgangsins. Losun GHG við og eftir dreifingu hrats og tilbúins áburðar getur verið nokkur og spurning hvaða áhrif hún hefði á samanburð milli kerfanna. Þennan þátt og fleiri þarf að kanna og bæta við greininguna til að fá fullkomnari mynd af nýtingu og heildarumhverfisáhrifum kerfanna.

Verulegur óstöðugleiki hefur ríkt varðandi möguleika til nýtingar sláturúrgangs hér á landi hin síðari ár, af ýmsum ástæðum. Þar má nefna sölutregðu og ótta við sláturafurðir í kjölfar kúariðufaraldurs um síðustu aldamót og breytingar á löggjöf, en löggjöf um sláturúrgang og dýraleifar hefur margsinis verið breytt hin síðari ár, bæði hér á landi og innan Evrópubandalagsins. Ekki eru til reglur um notkun hrats úr gasgerð hér á landi en gera má ráð fyrir að þær yrðu svipaðar og reglur um notkun kjötmjöls og moltu. Samkvæmt reglugerð 820/2007, með áorðnum breytingum (tekur gildi 1.11. 2011), má ekki nota land sem molta og kjötmjöl hefur verið borið á til ræktunar matvæla, né heldur til fôðuröflunar eða beitar, fyrr en 10 árum eftir áburðargjöfina. Með tilliti til sóttvarnakrafna og sjálfbærrar nýtingar næringarefna geta þessar reglur vart talist skynsamlegar. Samkvæmt Sigríði Kristjánsdóttur deildarstjóra á deild Hollustuverndar á Umhverfisstofnun er ólíklegt annað en að löggjöf um nýtingarmöguleika áburðarefna úr sláturúrgangi verði rýmkuð á ný (Sigríður Kristjánsdóttir, 2011).

Mikilvægt er að skýr rammi (stefnumótun og löggjöf) verði mótaður um nýtingu sláturúrgangs sem fyrst, svo hagsmunaaðilar geti með nokkurri vissu um stöðugt starfsumhverfi lagt út í vinnslu hans og nýtingu.

Eins og rætt hefur verið um eru upplýsingar og rannsóknir á urðuðum sláturúrgangi af skornum skammti en dæmi sýna að áratugagamall úrgangur hefur lítið sem ekkert brotnað niður. Fjölmargir þættir geta haft neikvæð áhrif á niðurbrotið. Til dæmis gæti óhagstætt C/N hlutfall sláturúrgangs átt hlut að máli en við lágt C/N hlutfall myndast m.a. ammoníak sem hefur hamlandi áhrif á metanmyndandi örverur (Jarvis Á., Schnürer A., 2009). Hægt væri að hækka C/N hlutfallið með íblöndun kolefnisríkra efna (þó ekki sem innihalda tréni, þar sem loftfirrðar örverur ná ekki að brjóta það niður). Þannig mætti hækka C:N hlutfallið í ákjósanlegt stig. Dæmi um aðra þætti sem skipta máli eru hitastig, aðgengi örvera, tegundir/samsetning örveruflóru og rakastig (Jarvis Á., Schnürer A., 2009).

Í nýrri skýrslu um vinnslu hauggass til notkunar sem ökutækjaeldsneyti kemur m.a. fram að áætlanir um niðurbrot og gasmyndun á urðunarstöðum hafi oft ekki gengið eftir (Johansson o.fl.,2010). Þó komast skýrsluhöfundar að þeirri niðurstöðu að við kjöraðstæður, þar sem nóg er af orkuríku hráefni í réttum hlutföllum og tækni og frágangur eins og best verður á kosið geti eldsneytisvinnsla úr hauggasi mögulega staðið undir sér, orðið hagkvæm. Gert er ráð fyrir að gasvinnsla fari fram í 30-50 ár enn, en urðun lífræns úrgangs var bönnuð árið 2005 í Svíþjóð (Johansson o.fl. 2010). Ekki er ástæða til að ætla annað en að þetta geti einnig átt við hér á landi, ef vel er að verki staðið.

Hér var gert ráð fyrir 75% heildar-hauggassöfnun í urðun I, en samkvæmt IPCC viðmiðunum (2006) er söfnun allt að 85% möguleg. Urðun er að mörgu leyti fremur

einföld aðgerð og með aukinni hauggassöfnun (og öðrum mengunarvörnum) vænkast staða urðunar m.t.t. sjálfbærni nokkuð. Þá er ekki loku fyrir það skotið að með sértækum aðgerðum væri einhver endurheimt næringarefna möguleg í urðun, en það er efni í aðra rannsókn. Þar sem slík endurheimt er ekki möguleg í dag og losun GHJ mun meiri en í gas- og jarðgerð hlýtur hún hins vegar að teljast slök meðhöndlunarleið m.t.t. sjálfbærni.

Hvað sláturúrganginn varðar sérstaklega, þá hefur hann og dýraleifar almennt verið urðaður á ótal stöðum um land allt, sem vekur upp spurningar um smitvarnir, niðurbrotstíma, mengunarhættu o.s.frv. Einnig vakna áleitnar spurningar um hversu heppileg ráðstöfunarleið urðun er þar sem riðusmituð hræ eru annars vegar, en fellt riðufé er nær alltaf urðað. Mikilvægt er að þessi ráðstöfunarleið verði rannsökuð og áhætta sem henni fylgir metin. Hér sakar ekki heldur að geta þess að fornleifafræðingar hafa lýst yfir áhyggjum, þar sem sjúk dýr hafi áður fyrr verið husluð á landbúnaðarsvæðum (smit milli dýra) og við eða nálægt mannabústöðum, en miltisbrands-dvalargró eru lífvænleg í a.m.k. tugi ára (visir.is, 2004, Prescott L. M. o.fl., 1993).

Af framansögðu og ýmsum skoðuðum heimildum má ráða að í heildina tekið hlýtur urðun lífræns úrgangs að teljast fremur óáreiðanleg aðferð, og á henni ýmsir vankantar sem geta leitt til umtalsverðs umhverfisálags, eins og fjallað hefur verið um í verkefninu. Þessi vandkvæði hafa leitt til þess að stórlega hefur dregið úr urðun á lífrænum úrgangi (þ.m.t. sláturúrgangi) og hefur urðun hans jafnvel verið bönnuð, t.d. í Svíþjóð, Noregi og Þýskalandi. Í löggjöf Evrópubandalagsins eru gerðar kröfur um stigminnkandi urðun á lífrænum úrgangi (tilskipun EB nr. 31/1999 um urðun úrgangs) á komandi árum. Ísland hlítir reglum bandalagsins hvað þetta snertir og þarf því að draga úr urðun lífræns úrgangs (sjá reglugerð nr. 738/2003 um urðun úrgangs). Líklega er ekki spurning hvort heldur aðeins hvenær verði með öllu hætt að urða lífrænan úrgang af ýmsu tagi<sup>9</sup> og því óhætt að álykta að ekki sé veðjandi á þann hest hvað framtíðarförgun sláturúrgangs snertir.

Í þessu verkefni kemur ágæti jarðgerðar og moltu lítið við sögu. Þó er molta áreiðanlega mikilvæg einmitt á Íslandi, þá helst vegna þess að lífmassaframleiðsla hér er með minna móti, minni en þar sem loftslag er hlýrra og gróðurhula meiri og frjósamari. Vert væri að leggja mat á þessa þætti, því frjósamur jarðvegur er mikið dýrmæti. Hann er undirstaða allrar ræktunar og þar með matvælaframleiðslu. Vel unnin molta inniheldur ýmis næringarefni og er rík af húmusefnum sem bera vel bæði raka og næringarefni. Í litlum sveitarfélögum og strjálbýlum sveitum þar sem bændur eru fáir og bú þeirra jafnvel í smærri kantinum er ólíklegt að upp safnist nægilegt magn af lífrænum úrgangi til að hægt sé að reka gasgerð með hagkvæmum hætti. Við slíkar aðstæður getur jarðgerð lífræns úrgangs verið heppilegur valkostur, enda hægt að starfrækja hana á mjög hagkvæman máta, hvort sem er m.t.t. orku, búnaðar eða fjármagns. Auk fyrrnefndra þátta er væntanlega mikilvægt að rannsaka vægi moltu m.t.t. íslensks jarðvegs, en hann er frábrugðinn jarðvegi í þeim löndum sem tilheyra fræðasamfélagi okkar og jafnvel sérstakur á heimsvísu (Ólafur Arnalds, Hlynur Óskarsson, 2009).

Hvað næringarefnin varðar þá kom það höfundu á óvart hve orkufrek framleiðsla tilbúins áburðar er, sérstaklega framleiðsla köfnunarefnisáburðar. Endurheimt næringarefna er því enn hagstæðari en búist var við þegar lagt var upp í þessa vegferð. Tilbúinn köfnunarefnisáburður var framleiddur hér á landi um árabíl. Eins og þegar hefur verið

---

<sup>9</sup> að neyðartilfellum undanskildum

vikið að var framleiðsluaðferðin sem hér var notuð hagstæð m.t.t. gróðurhúsaáhrifa. Áhersla á endurheimt næringarefna (eins og t.d. í Svíþjóð) hefur verið lítil hér á landi, en með hækkandi verði á tilbúnum áburði og aukinni/vaxandi kröfum um sjálfbæra þróun hlýtur sá tími að renna upp að raunverulegur ávinningur af endurheimt tilfallandi næringarefna verði metinn og heildstæð stefna mótuð um varðveislu þeirra, byggð á niðurstöðum þess mats. Lóð á sjálfbærnivogarskálina gæti einnig verið að hefja hér aftur framleiðslu á tilbúnum köfnunarefnisáburði en að sjálfsögðu þyrfti heildstætt mat á kostum þess og göllum að liggja til grundvallar.

Óvissa og ónákvæmni eru ávallt fylgifyskar rannsókna og greininga. Þeim er ætlað að endurspeglu einhvern raunveruleika, en hve vel sú speglun tekst, veltur helst á aðferðum og hversu góð gögn liggja til grundvallar. Allt of fáar innlendar heimildir, rannsóknir og önnur gögn eru til um viðföng þessarar greiningar, færri en gert var ráð fyrir við skipulagningu verkefnisins. Þannig var t.d. gert ráð fyrir að upplýsingar um fororku og skilvirkni jarðvarmavatsnýtingar væru fyrir hendi, en sú var ekki raunin. Eins eykst ónákvæmni og óvissa þegar nota þarf mismunandi heimildir úr ýmsum áttum og viðmiðunargildi sömu breytu geta verið mismunandi án þess að nokkur auðséd ástæða liggja að baki. Þá er hluti notaðra gagna vel þekktur og hefur verið notaður í LCA lengi eins og úr ORWARE gagnagrunninum, önnur eru nýrri og byggð á tilraunagögnum, eins og einu aðgengilegu gögnin um söfnun hauggass og hreinsun þess, og í nokkrum tilfellum var ekki annað mögulegt en að beita útreikningum og ágiskunum byggðum á tiltækum heimildum. Þetta verða vissulega að teljast annmarkar á þeirri greiningu sem hér hefur verið gerð á mismunandi förgunar- og nýtingarleiðum sláturúrgangs, en einhversstaðar verður að byrja.

Hér eru kynnt einföld greiningartól sem auðvelda áætlanagerð þar sem lífrænn úrgangur er annars vegar. Með notkun viðmiðunargilda (t.d. PEF) er mögulegt að meta með einföldum hætti helstu orkustærðir við meðhöndlun og nýtingu lífræns úrgangs. Þá er rétt að nefna að aðferðafræðin byggir talsvert á huglægu mati, meginforsendur eru valdar m.t.t. gildis þeirra fyrir sjálfbæra þróun og greiningin samanstendur af ótal skrefum sem að hluta til byggja á óhlutbundnu mati og/eða ályktunum rannsakandans. Því er mikilvægt að greina skilmerkilega frá þeim forsendum sem að baki liggja svo auðvelt sé að rekja mögulegar villur. Þegar betri gögn fást má síðan endurreikna viðkomandi þætti og fá fyllri og áreiðanlegri niðurstöður.

En þótt þær niðurstöður sem hér er komist að kunni að vera fremur ónákvæmar og grófar, þá ættu þær engu að síður að nýtast sem sterkar vísbendingar um kosti og galla hinna ólíku leiða, og óhætt að draga af þeim nokkrar ályktanir.

Í fyrsta lagi má álykta sem svo, að í sláturúrgangi búi heilmikið af bæði orku og dýrmætum næringarefnum, sem ekki er nægilega vel haldið til haga í dag.

Í beinu framhaldi af því má álykta að það hljóti að vera eftirsóknarvert að nýta þá orku og þau næringarefni sláturúrgangsins betur en gert er í dag.

Og í þriðja lagi, í ljósi alls þess sem hér hefur verið reifað, að þegar horft er til þessara tilteknu atriða, þ.e. endurheimtar eða nýtingar þeirrar orku og þeirra næringarefna sem sláturúrgangurinn býr yfir, þá er gasgerðin til muna skilvirkust þeirra fjögurra leiða, sem hér hafa verið bornar saman, og því rökrétt að leggja sérstaka áherslu á frekari rannsóknir á þeirri förgunarleið.

Að síðustu nokkur orð um nytsamlegar rannsóknir á þessu sviði.

Gagnlegt væri að fá betri mynd af magni, samsetningu, förgun, og nýtingarmöguleikum sláturúrgangs og lífræns úrgangs yfir höfuð. Ef stuðla á að sannanlega sjálfbærri þróun á sviði orku- og næringarefnabúskapar hér á landi og efla og bæta nýtingu hráefna sem til falla í landbúnaði og jafnvel í matvælaframleiðslu í sem víðustum skilningi, er nauðsynlegt að gera grunnrannsóknir á þessum sviðum sem síðan er hægt að byggja áreiðanlega stefnumótun á. Meðal rannsóknarefna sem gætu þjónað þessum tilgangi má nefna eftirfarandi:

- ❖ Lífrænn úrgangur á Íslandi – hversu mikið fellur til af honum í dag, og hvaða leiðir er best að fara til að nýta sem best orku- og næringarefni hans?
- ❖ Fýsileiki, afkastageta, umhverfisáhrif og kostir og gallar annarra förgunar- og nýtingarmöguleika en hér hafa verið skoðaðar, s.s. brennslu og kjötmjólsgerðar. Hér er vert að hafa í huga að m.t.t. sóttvarna er brennsla á riðusmituðum dýraleifum eina örugga leiðin til að eyða riðusmiti og með brennslu er jú a.m.k. orkunýting möguleg.
- ❖ Afar gagnleg rannsókn, sem óneitanlega hefði verið gott að geta leitað í við gerð þessa verkefnis, er rannsókn á magni og samsetningu sláturúrgangs frá sláturhúsum landsins.
- ❖ Rannsókn á niðurbrotshraða sláturúrgangs við mismunandi urðunaraðstæður til að hægt sé að átta sig betur á, hvenær urðunarstaðir landsins verða orðnir óvirkir og/eða hættulausir. Þetta mætti jafnvel tengja rannsóknnum á þekktum urðunarstöðum riðusmitaðs úrgangs.
- ❖ Loks má nefna rannsókn á hagkvæmni jarðgerðar úr lífrænum úrgangi í smærri og dreifðari landbúnaðarhéruðum, þar sem ólíklegt má telja að gasgerð væri vænlegur kostur. Sem hluta þessarar rannsóknar eða jafnvel enn frekar sem sérstaka, sjálfstæða rannsókn má hugsa sér verkefni þar sem kannað er mikilvægi og/eða gagnsemi húmus- og næringarríkrar moltu við jarðyrkju á landi, hvers einkennandi jarðvegur er svokölluð eldfjallajörð, eins og raunin er á Íslandi.





## 8 Heimildaskrá

Atli Geir Júlíusson, 2011. *Hauggasrannsóknir á urðunarstöðum á Íslandi*. Umhverfis- og byggingarverkfræðideild. Verkfræði- og náttúruvísindasvið Háskóla Íslands, Reykjavík af: [http://www.samband.is/media/urgangsmal/Hauggasverkefni\\_AtliGeirJulusson\\_Lokaskyrsla\\_24\\_5\\_11.pdf](http://www.samband.is/media/urgangsmal/Hauggasverkefni_AtliGeirJulusson_Lokaskyrsla_24_5_11.pdf)

Baky A., Eriksson O., 2003. *Systems Analysis of Organic Waste Management in Denmark*. Environmental Project No. 822 2003. Miljøprojekt Danish EPA af: <http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2003/87-7972-740-9/html/kap05.htm>

Berglund, M., Börjesson, P. 2003e; *Energianalys av biogassystem*. Report nr 44. Lunds Tekniska Hogskola.Institutionen for teknik och samhalle. Avdelningen for miljö- och energisystem. Lundi, Svíþjóð.

Berglund M., Börjesson P., 2003m; *Miljöanalys av biogassystem*. Rapport nr 45, Avdelningen för miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola. Lundi, Svíþjóð.

Birna Sigrún Hallsdóttir, Kristín Harðardóttir, Jón Guðmundsson, Arnór Snorrason, 2009. *National Inventory Report – Iceland*. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. UST-2009:07, May 2009. Environmental Agency of Iceland

Björn. H. Halldórsson, Guðmundur Ólafsson, Gunnar Herbertsson, Teitur Gunnarsson, 2006. *Framleiðsla metans – innlend orka, aukin tækifæri*, Orkuþing 2006 - bls.94 - 105 af: <http://www.samorka.is/Apps/WebObjects/SW.woa/1/swdocument/1616/Orku%C3%BEingsb%C3%B3kin.pdf?wosid=false>

Brunner P. H., Rechberger H., 2004. *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. Lewis Publishers, New York 2004

Brynhildur Davíðsdóttir, Ágústa Loftsdóttir, Birna Hallsdóttir, Bryndís Skúladóttir, Daði Már Kristófersson, Guðbergur Rúnarsson, Hreinn Haraldsson, Pétur Reimarsson, Stefán Einarsson, Þorsteinn Ingi Sigfússon, 2009. *Möguleikar til að draga úr nettóúttstreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi*, Skýrsla sérfræðinganeftdar, Umhverfissráðuneytið.

Börjesson P., 1994. *Energianalys av biobränsleproduktion i svenskt jord- och skogsbruk*. Rapport 17, Miljö och energisystem, Lunds Universitet, Lund.

Börjesson P., Tufvesson L., Lantz M., 2010. *Livscykelanalys av svenska biodrivmedel* Inst i tut ionen för teknik och samhälle, *Avdelningen för miljö- och energisystem*. Lunds tekniska högskola. Lundi, Svíþjóð

Christenssen K., Cossu R., Stegmann R, 1997. *Landfilling of waste; Leachate*. Published by E&FN Spon and imprint of Chapman & Man, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN, Bretland

Dalemo M., Sonesson U., Björklund A., et al., 1997. *ORWARE - A simulation model for organic waste handling systems*. Part 1. Resources, Conservation and Recycling 21:17-37.

Dalemo M., 1996. *The modelling of an anaerobic digestion plant and a sewage plant in the Orware simulation model*. Report 213. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Engineering. Sweden af: [http://pub.epsilon.slu.se/3834/1/dalemo\\_m\\_091216.pdf](http://pub.epsilon.slu.se/3834/1/dalemo_m_091216.pdf)

DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC

Eder B., Schulz H., 2007. *Biogas Praxis, Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit* Ökobuch Verlag Staufen Þýskaland. ISBN 978-3-936896-13-8. 4. endurbætt útgáfa (1. 1996).

Edström M., 1996. *Biogas och växtnäring kretslopp stad - land rötningsförsök med organiskt avfall i Uppsala*. JTI Rapport nr. 2, Jordbrukstekniska Institutet Uppsala Svíþjóð. ISSN 0346 7597 af: [http://www.jti.se/uploads/jti/JTI\\_RapportRKA2.pdf](http://www.jti.se/uploads/jti/JTI_RapportRKA2.pdf)

Edström M., Nordberg Å., Thyselius L. 2003. *Anaerobic treatment of animal by-products from slaughterhouses in laboratory- and pilot scale*. Applied Biochemistry and Biotechnology, p. 127-138, Volume 109, no 1-3, April-June 2003. Humana Press, Totowa NJ, USA.

Eriksson O. B., Frostell A., Björklund G., Assefa J. O., Sundqvist J., Granath M., Carlsson, A., Baky and Thyselius L., 2002. "ORWARE - a simulation tool for waste management." Resources Conservation and Recycling 36(4): 287-307.

Erlandsson Å., 2007. *Environmental assessment of wastewater system in transition areas – Case study in Värmdö municipality*. Examensarbete 2007:2. Department of Biometry and Engineering. SLU Uppsala 2007 Svíþjóð af: <http://ex-epsilon.slu.se:8080/archive/00001567/>

Fenúr fréttir, 2008. *Nýting sláturúrgangs*. Fagráð um endurnýtingu og úrgangs. Gufunesi Reykjavík af: [http://www.fenur.is/bindata/documents/FENUR\\_frettir\\_april2008\\_netid\\_00258.pdf](http://www.fenur.is/bindata/documents/FENUR_frettir_april2008_netid_00258.pdf)

Finnveden G., Johansson J., Lind P., Moberg Å., 2000. *Life Cycle Assessments of Energy from Solid Waste*. Forskningsgruppen för Miljöstrategiska Studier, August 2000 af: <http://www.imamu.edu.sa/topics/IT/IT%206/Life%20Cycle%20Assessments%20of%20Energy%20from%20Solid%20Waste.pdf>

Friðrik Pálmason, Gunnar S. Jónsson, Magnús Óskarsson og Þorsteinn Guðmundsson, 1989. *Landbúnaðurinn og umhverfið*. Ráðunautafundur 1989, RALA.

Halldór Björnsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Anna K. Danielsdóttir, Árni Snorrason, Bjarni D. Sigurðsson, Einar Sveinbjörnsson, Gísli Viggósson, Jóhann Sigurjónsson, Snorri Baldursson, Sólveig Þorvaldsdóttir og Trausti Jónsson, 2008. *Hnattrænar loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi – Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar*. Umhverfissráðuneytið.

Hansen E., 2007. *State of LCA in Denmark 2003. Introduction to the danish LCA methodology and consensus project*. Environmental Project No. 1205, 2007 Danish EPA & COWI A/S

Harstad K., 2006. *Handling and assessment of leachates from municipal solid waste landfills in the Nordic countries*. TemaNord 2006:594. Nordic Council of Ministers, Copenhagen 2006 af <http://www.norden.org/is/utgafa/utgefid-efni/2006-594>

Hassol, S. J. o.fl., 2004. *Impacts of a warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment, ACIA*; Cambridge University Press, Cambridge, 2004

Haug R. T., 1993. *The practical handbook of compost engineering*. Boca Raton: Lewis Publishers London, Tokyo - Bandaríkin

Holleman A.F., Wiberg E., 1960. *Lehrbuch der anorganischen Chemie*. 47-56. Auflage. Walter De Gruyter & Co. Berlin 1960

Ingvi Már Pálsson o.fl., 2008. *Heildarstefnumótun um skattlagningu ökutækja og eldsneytis*, skýrsla starfshóps á vegum fjármálaráðherra, fjármálaráðuneytið 2008.

International Organization for Standardization (ISO) 2006a. *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. ISO 14040:2006 International Organization for standardization, Geneva, Switzerland.

International Organization for Standardization (ISO) 2006b. *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*. ISO 14044:2006 International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland

IPCC, 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5, Waste* [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_3\\_Ch3\\_SWDS.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_3_Ch3_SWDS.pdf) og <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html> Skoðað sept.2010

Jarvis Å., Schnürer A., 2009. *Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar*. Rapport U2009:03. Avfall Sverige og SGC., 2009, Uppsala, Svíþjóð af <http://www.sgc.se/display.asp?ID=1266&Typ=Rapport&Menu=Rapporter>

Johansson N., 2008. *Production of liquid biogas, LBG, with cryogenic and conventional upgrading technology- Description of systems and evaluations of energy balances*. Examensarbete 2008. Institutionen för Teknik och Samhälle Miljö- och Energisystem. Lunds Tekniska Högskola, Lundi Svíþjóð af: <http://www.bioga.smitt.se/sites/default/files/imagearchive/PDF/Production-of-liquid-biogas.pdf>

Johansson N., Benjaminsson J., Karlsvärd J., 2010. *Deponigas som fordonsbränsle*. Rapport SGC 214. Svenskt Gastekniskt Center af: <http://www.sgc.se/dokument/SGC214.pdf>

Jónas Ketilsson, Ingimar G. Haraldsson, 2010. *Jarðhitanoftkun til raforkuvinnslu og beinna nota til ársins 2009* OS-2010/02 ; Orkustofnun.

Jönsson J., 2005; *FÖRBRÄNNING ELLER BIOLOGISK BEHANDLING? - en miljösystemanalys av olika behandlingsmetoder för det lättnedbrytbara organiska avfallet i Gästrikeregionen*; Examensarbete, Institutionen för teknik och byggd miljö, Högskolan i Gävle och Linköpings universitet 2005, Svíþjóð af: [http://www.biogasmitt.se/sites/default/files/imagearchive/PDF/Foerbraenning-eller-biologisk-behandling\\_examensarbete.pdf](http://www.biogasmitt.se/sites/default/files/imagearchive/PDF/Foerbraenning-eller-biologisk-behandling_examensarbete.pdf)

Kamsma R.P.M., 2003. *Landfill Gas Formation in Iceland A study on Landfill Gas Formation in landfills in Iceland, in relation to the implementation of the Landfill Directive into the national law*. University of Den Bosch, the Netherlands C.A. Meyles B.Sc. Environment and Food Agency of Iceland, Reykjavik

la Cour Jansen J., Davidsson Á., Jönsson H., Höjlund Christensen T., Kirkeby T. J., Lund Hansen T., 2007. *Biowaste; Decision support tool for collection and treatment of source-sorted organic municipal solid waste*. TemaNord 2007:602; Kaupmannahöfn Danmörku , jafnframt excel skjal: Biowaste2007602, af <http://www.norden.org/da/search?SearchableText=biowaste>

Lagerberg, C., 2001. *Metoder att mäta uthållighet – som man ropar får man svar*. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademienstidskrift 140 (12), 55-59.

Landbúnaðarráðuneytið, 2004. *Skýrsla Landbúnaðarráðuneytisins um eyðingu dýraleifa* (2004)

Lindberg A., 1995. *Länsvis omhändertagande av slakteriavfall och kadaver för utvinning av energi och växtnäring*. JTI-rapport Kretslopp & Avfall nr. 1. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Uppsala. ISSN 0346 7597 af [http://www.jti.se/uploads/jti/JTI\\_RapportRKA1.pdf](http://www.jti.se/uploads/jti/JTI_RapportRKA1.pdf)

Lindfors L. G., Christiansen K., Hoffman L., Virtanen Y., Juntilla V., Hanssen O.J., Ronning A., Ekvall T. & Finnveden G. 1995. *Nordic guidelines on life-cycle assessment*. Nord 1995:20. Nordic Council of Ministers.

Miller G. T., 2004. *Environmental Science*, 9.edition, Wadsworth Publishing Belmont California.

Naturvårdsverket, 2005. *Biogasanläggningar med potential - Utvärdering av LIP-finansierade system för rötning och kompostering*, bilaga 1c, Stockholm Svíþjóð. [http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5476-7Bilaga1\\_a1b1c.pdf](http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5476-7Bilaga1_a1b1c.pdf)

Norén A., Edström M., Nordberg U., Palm O., Ringmar A., 2008. *Lokal behandling av slakteriavfall från småskalig slakt*. JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Kretslopp & Avfall 43 Uppsala

Odelberg C., Wiquist W., 2010. *Användning av LCA för utveckling av avfallsdeponering*, RAPPORT D2010:02, Avfall Sverige, Malmö. <http://www.avfallsverige.se/rapporter/projekt/deponeringsatsningen/d-201002/>

Ólafur Arnalds og Hlynur Óskarsson, 2009. *Íslenskt jarðvegskort*, Náttúrufræðingurinn 78 (3–4), bls. 107–121, 2009. Tímarit hins íslenska náttúrufræðifélags

Prescott L.M., Harley J. P., Klein D.A., 1993. *Microbiology, Second Edition*. WCB, Wm.C. Brown Publishers, Dubuque, Iowa, Melbourne Australia, Oxford England

PRÉconsultants ., 2007. *Introduction to LCA with SimaPro 7*; [www.pre.nl](http://www.pre.nl).

Reglugerð 820/2007 um meðferð og nýtingu á slátur- og dýraleifum. Stjórnartíðindi, B deild, birt 14.9.2007. Reglugerðina, breytingar á henni nr. 930/2008, nr. 881/2010 ofl. má finna á vef Matvælastofnunar sjá: <http://www.mast.is/logogreglur/aukaafurdirdyra>

Reglugerð nr. 738/2003 um urðun úrgangs, Stjórnartíðindi, B deild, birt 10.10.2003

Rósa Guðmundsdóttir, 2009. *Well to Wheel Analysis of Future Hydrogen Pathway in Iceland*. Lokaverkefni HÍ, Reykjavík

Sonesson U., 1996. *Modelling of the compost and transport process in the ORWARE simulation model*. Rapport 214, Inst. för lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala. Svíþjóð.

Sonesson U., 1998. *Systems Analysis of Waste Management – The ORWARE Model, Transport and Compost Sub-Models*. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria 130, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. Paper V

Sterr Th., Liesegang D.G. (útg.), 2003; *Industrielle Stoffkreislaufwirtschaft im Regionalen Kontext. Betriebswirtschaftlich-ökologische und geographische Betrachtungen in Theorie und Praxis*. Springer-Verlag - Berlin Heidelberg.

Tidåker P., 2003. *Life Cycle Assessment of Grain Production Using Source-Separated Human Urine and Mineral Fertiliser*. Rapport 251 Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala 2003 Department of Agricultural Engineering ISSN 00283-0086 ISRN SLU-LT-R-251-SE af: <http://pub.epsilon.slu.se/3812/>

Umhverfisstofnun, 2006. *Velferð til framtíðar sjálfbær þróun í íslensku samfélagi. Áherslur 2006-2009*. Umhverfisstofnun.

Umhverfisstofnun, 2008. *Hnattrænar loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi. Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar*. Umhverfisstofnun.

Umhverfisstofnun, 2004. *Landsáætlun um meðhöndlun úrgangs 2004 - 2016* (National waste treatment plan 2004 - 2016). Environment Agency of Iceland: 46.

van Dijk, D. 2008. *Numerical indicator for the energy performance based on primary energy use and CO2 emissions. Procedures according to CEN standard EN 15603*. EPBD Building Platforms P 150, 18.12.2008 af [www.buildingsplatform.eu](http://www.buildingsplatform.eu)

Vetter A., Arnold K., 2010, *Klima und Umwelteffekte von Biomethan: Anlagentechnik und Substratauswahl*. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal, Þýskaland af: [http://www.wupperinst.org/uploads/tx\\_wibeitrag/WP182.pdf](http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/WP182.pdf)

Winqvist W., Rylander M., 2006; *Biological Waste Treatment in Norway and Sweden: What works well and what can be improved?*

A synthesis of the nine projects in BUS. TemaNord 2006:551 Nordic Council of Ministers, Copenhagen af: <http://www.norden.org/is/utgafa/utgefid-efni/2006-551>

## **Netsíður**

<http://landbunadur.is/landbunadur/wglbh.nsf/key2/hhjn7t2jkb.html>; [www.lbhi.is/metan](http://www.lbhi.is/metan)  
skoðað 1.2.2011

[www.biogas.org](http://www.biogas.org); Fachverband Biogas e.V, skoðað 30.5.2010

[www.energiboken.nu/2009](http://www.energiboken.nu/2009), skoðað 5.4.2010

[www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d\\_295.html](http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html), skoðað 15.8.2011

[www.flokkun.is](http://www.flokkun.is), skoðað 30.5.2010

[www.fenur.is](http://www.fenur.is), Fenúr-fréttir skoðað 30.5.2010

[www.iea.org](http://www.iea.org), [omrpublic.iea.org](http://omrpublic.iea.org), skoðað 15.5.2011

[www.managenergy.net/resources/871](http://www.managenergy.net/resources/871), sótt 20.7.2011

[www.miljofordon.se](http://www.miljofordon.se), skoðað 20.7.2010

[www.miljomal.se/15-God-bebyggd-miljo/Delmal/Avfall-2005-2015](http://www.miljomal.se/15-God-bebyggd-miljo/Delmal/Avfall-2005-2015), skoðað 29.4.2011

[www.molta.is](http://www.molta.is), skoðað 10.7.2010 og 19.7.2010

[www.ntm.a.se](http://www.ntm.a.se), sótt 26.5.2010, nú: <http://www.ntmcalc.se/index.html>; Gagnagrunnur um umhverfisáhrif flutninga

[www.preseco.eu](http://www.preseco.eu), skoðað 17.11.2010

[www.sorpa.is](http://www.sorpa.is), skoðað 8.8.2010

[www.ust.is](http://www.ust.is) -skoðað þann 15.12.2010

[www.visir.is/article/2004412020348](http://www.visir.is/article/2004412020348) : *Gruna miltisbrand í álagablettum*, skoðað 14.6. 2011

[www.yara.is/vorur/efnainnihald](http://www.yara.is/vorur/efnainnihald), skoðað 23.4.2010 og 3. 5.2010

## Bein samskipti -viðtöl

Bjarni G.P.Hjarðar, Sorpu bs. símtal 25.8.2011.

Guðmundur B. Ingvarsson, Umhverfisstofnun, viðtal 22. janúar 2010.

Sigmundur Ófeigsson, Norðlenska matborðið ehf., símtal 10. september 2008.

Sigríður Kristjánsdóttir, Umhverfisstofnun, viðtal 24.8.2011.

Stefán Steindórsson, Norðurorku, símtal 20. maí 2010.

## Heimildir og gögn sem stuðst er við en ekki vitnað til beint

Aðalbjörg Birna Guttormsdóttir, 2009. *Life Cycle Assessment on Icelandic cod product based on two different fishing methods*. Environmental impacts from fisheries. Verkfræðideild Háskóla Íslands, Reykjavík.

Finnveden G., Moberg Å., Johansson J., 2001. *Metoder för förenklade, kvalitativa livscykelanalyser av produkter och materiel*; Totalförsvarets forskningsinstitut - FOI FOI-R--0032--SE Underlagsrapport. Avdelningen för Försvarsanalys Stokkhólmi

Guinée J.B., 2001. Handbook on life cycle assessment – Operational

Guide to the ISO Standards. Int J LCA **6**, 255. Kluwer Academic Publishers, Netherlands

Halla Jónsdóttir, Þórhildur Kristjánsdóttir 2007. *Life cycle analysis of Nesjavellir geothermal power plant*. Orkuveita Reykjavíkur, Reykjavík Island

Harpa Birgisdóttir, Ragnheiður Ólafsdóttir, 2008. *Umhverfisskýrsla raforkuvinnslu Landsvirkjunar 2007*. Landsvirkjun

Harpa Birgisdóttir, Ragnheiður Ólafsdóttir, 2009. *Umhverfisskýrsla Landsvirkjunar 2008*. LV-2009/064 Reykjavík

Helga J. Bjarnadóttir, Guðmundur B. Friðriksson, Tommy Johnsen, Helge Sletsen 2002. *Guidelines for the use of LCA in the waste management sector*. Nordtest report TR 517 Espoo Finnlandi

Johansson M., Nilsson T., 2007. *Transporter i gårdsbaserade biogassystem – Framtagning av beräkningsprogram för kostnader och emissioner. Examensarbete. Institutionen för teknik och samhälle. Lunds Tekniska Högskola af: [http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer\\_internt/pdf-filer/Transporter\\_i\\_gardsbaserade\\_biogassystem\\_-\\_2007-02-05.pdf](http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer_internt/pdf-filer/Transporter_i_gardsbaserade_biogassystem_-_2007-02-05.pdf)*

Jónas Ketilsson, Axel Björnsson, Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, Bjarni Pálsson

Grímur Björnsson, Guðni Axelsson, Kristján Sæmundsson, 2010. *Eðli jarðhitans og sjálfbær nýting hans; Álitserð faghóps um sjálfbæra nýtingu jarðhita*. OS-2010 05, Orkustofnun

Reglugerð Evrópuþingsins og ráðsins (EB) nr. 1774/2002 frá 3. október 2002 um heilbrigðisreglur um aukaafurðir úr dýrum sem ekki eru ætlaðar til manneldis. EES-viðbætur við Stjórnartíðindi Evrópusambandsins Nr. 19/51. Ákvörðun sameiginlegu EES-nefndarinnar nr. 135/2007 frá 26. október 2007

Salminen E., 2002. *Finnish Expert Report on Best Available Techniques in Slaughterhouses and Installations for the Disposal or Recycling of Animal Carcasses and Animal Waste*, Finish Environment Institute, 539. Helsinki 2002.

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC): Guidelines for Life-Cycle Assessment, A "Code of Practice"; SETAC Workshop in Sesimbra 31.03.-03.04.1993, Brüssel, 1993

Sonesson U., 2000. *Modelling of waste collection – a general approach to calculate fuelconsumption and time*. Waste Management & Research 18 (2): 115-123 af <http://wmr.sagepub.com/content/18/2/115.full.pdf+html>

SOU 2000:52. *Framtidens miljö – allas vårt ansvar*. Miljödepartementet. Slutbetänkande från Miljömålskommittén. Stockholm. Sweden. <http://www.sweden.gov.se/sb/d/108/a/2632>

Spångberg J., Hansson P.A., Tidåker P., Jönsson H., 2010. *ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF USING MEAT MEAL AS FERTILIZER - A SWEDISH CASE STUDY*

Department of Energy and technology, SLU Uppsala, Ulls väg 30A, 75651 Uppsala, [http://www.ramiran.net/ramiran2010/docs/Ramiran2010\\_0316\\_final.pdf](http://www.ramiran.net/ramiran2010/docs/Ramiran2010_0316_final.pdf)

Wesnæs M., Wenzel H., Petersen B.M., 2009. *Life cycle assessment of slurry management technologies*. Environmental project no. 1298, 2009. Danish Ministry of the Environment, Environmental Protection Agency. [Online] <http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2009/978-87-92548-20-7/pdf/978-87-92548-21-4.pdf>. Sótt 19.2.2011

Wesnæs M., Hamelin L., Wenzel H., Petersen B.M., 2010. *Life Cycle Assessment of Biogas from Separated slurry*. Environmental project no. 1298, 2009. Danish Ministry of the Environment, Environmental Protection Agency. [Online]<http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2010/978-87-92668-03-5/pdf/978-87-92668-04-2.pdf>. Sótt 15.2.2011

## **Heimildir og gögn sem stuðst er við en ekki vitnað til beint**

Aðalbjörg Birna Guttormsdóttir, 2009. *Life Cycle Assessment on Icelandic cod product based on two different fishing methods*. Environmental impacts from fisheries. Verkfræðideild Háskóla Íslands, Reykjavík.

Finnveden G., Moberg Å., Johansson J., 2001. *Metoder för förenklade, kvalitativa livscykelanalyser av produkter och materiel*; Totalförsvarets forskningsinstitut - FOI FOI-R--0032--SE Underlagsrapport. Avdelningen för Försvarsanalys Stokkhólmi

Guinée J.B., 2001. Handbook on life cycle assessment – Operational

Guide to the ISO Standards. Int J LCA **6**, 255. Kluwer Academic Publishers, Netherlands

Halla Jónsdóttir, Þórhildur Kristjánsdóttir 2007. *Life cycle analysis of Nesjavellir geothermal power plant*. Orkuveita Reykjavíkur, Reykjavík Ísland

Harpa Birgisdóttir, Ragnheiður Ólafsdóttir, 2008. *Umhverfisskýrsla raforkuvinnslu Landsvirkjunar 2007*. Landsvirkjun

Harpa Birgisdóttir, Ragnheiður Ólafsdóttir, 2009. *Umhverfisskýrsla Landsvirkjunar 2008*. LV-2009/064 Reykjavík

Helga J. Bjarnadóttir, Guðmundur B. Friðriksson, Tommy Johnsen, Helge Sletsen 2002. *Guidelines for the use of LCA in the waste management sector*. Nordtest report TR 517 Espoo Finnlandi

Johansson M., Nilsson T., 2007. *Transporter i gårdsbaserade biogassystem – Framtagning av beräkningsprogram för kostnader och emissioner*. Examensarbete. Institutionen för teknik och samhälle. Lunds Tekniska Högskola af:



[http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer\\_internt/pdf-filer/Transporter\\_i\\_gardsbaserade\\_biogassystem\\_-\\_2007-02-05.pdf](http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer_internt/pdf-filer/Transporter_i_gardsbaserade_biogassystem_-_2007-02-05.pdf)

Jónas Ketilsson, Axel Björnsson, Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, Bjarni Pálsson Grímur Björnsson, Guðni Axelsson, Kristján Sæmundsson, 2010. *Eðli jarðhitans og sjálfbær nýting hans; Álitsgerð faghóps um sjálfbæra nýtingu jarðhita*. OS-2010 05, Orkustofnun

Reglugerð Evrópuþingsins og ráðsins (EB) nr. 1774/2002 frá 3. október 2002 um heilbrigðisreglur um aukaafurðir úr dýrum sem ekki eru ætlaðar til manneldis. EES-viðbætur við Stjórnartíðindi Evrópusambandsins Nr. 19/51. Ákvörðun sameiginlegu EES-nefndarinnar nr. 135/2007 frá 26. október 2007

Salminen E., 2002. *Finnish Expert Report on Best Available Techniques in Slaughterhouses and Installations for the Disposal or Recycling of Animal Carcasses and Animal Waste*, Finish Environment Institute, 539. Helsinki 2002.

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC): Guidelines for Life-Cycle Assessment, A "Code of Practice"; SETAC Workshop in Sesimbra 31.03.-

03.04.1993, Brüssel, 1993

Sonesson U., 2000. *Modelling of waste collection – a general approach to calculate fuel consumption and time*. Waste Management & Research 18 (2): 115-123 af <http://wmr.sagepub.com/content/18/2/115.full.pdf+html>

SOU 2000:52. *Framtidens miljö – allas vårt ansvar*. Miljödepartementet. Slutbetänkande från Miljömålskommittén. Stockholm. Sweden. <http://www.sweden.gov.se/sb/d/108/a/2632>

Spångberg J., Hansson P.A., Tidåker P., Jönsson H., 2010. *ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF USING MEAT MEAL AS FERTILIZER - A SWEDISH CASE STUDY* Department of Energy and technology, SLU Uppsala, Ulls väg 30A, 75651 Uppsala, [http://www.ramiran.net/ramiran2010/docs/Ramiran2010\\_0316\\_final.pdf](http://www.ramiran.net/ramiran2010/docs/Ramiran2010_0316_final.pdf)

Wesnæs M., Wenzel H., Petersen B.M., 2009. *Life cycle assessment of slurry management technologies*. Environmental project no. 1298, 2009. Danish Ministry of the Environment, Environmental Protection Agency. [Online] <http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2009/978-87-92548-20-7/pdf/978-87-92548-21-4.pdf>. Sótt 19.2.2011

Wesnæs M., Hamelin L., Wenzel H., Petersen B.M., 2010. *Life Cycle Assessment of Biogas from Separated slurry*. Environmental project no. 1298, 2009. Danish Ministry of the Environment, Environmental Protection Agency. [Online] <http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2010/978-87-92668-03-5/pdf/978-87-92668-04-2.pdf>. Sótt 15.2.2011



# Viðauki I

1.

Tafla I.1.1 Nýtanleg næringarefni og meðalsams. efnaflokkar

P og K innihald sláturúrangs; P er 1% af þe. og K er 0,6% af þe., þ.a.l. er:

Efni	kg/t slú	alls t
P	3	10,5
K	2	7,0
N	14	48,7

Lindberg A, 1995, Edström M., 1995(P,K) og Berglund M., Börjesson P., 2003e (N)

Meðalsamsetning efnaflokkar;

Prótín:  $C_{16}H_{24}O_5N_6$ ; fíta:  $C_{50}H_{90}O_6$ ; kolvetni:  $C_6H_{12}O_6$

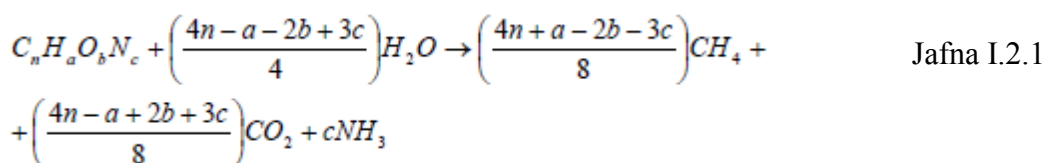
Efnaflokkur	fj.C/mól	fj.N/mól	fj.O/mól	fj.H/mól	mól vikt	hlutfall C/mól	hlutfall N/mól
prótín	16	4	5	24	352	0,55	0,16
fíta	50	0	6	90	786	0,76	0
kolvetni	6	0	6	12	180	0,40	0

Berglund M., Börjesson P., 2003e

Frumefni	g/mól	Efnaflokkur	Tonn alls þe	C tonn alls
C	12	Prótín	437,5	238,6
N	14	Fíta	350	267,2
O	16	kolvetni	17,5	7,0
H	1	Samtals	805	512,8

## 2. Lífgasmyndun, áætluð út frá meðalsamsetningu efnaflokkar.

Hægt er að áætla gasmyndun úr lífrænum efnivið út frá efnasamsetningu hans (loftfírrt niðurbrot) með jöfnu 2.1 (Berglund M., Börjesson P., 2003e). Eftir því sem hlutfall súrefnis hækkar í viðkomandi efnaflokki (meðalsamsetning) dregur úr gasmyndun. Því gefur fíta af sér meira af metani en kolvetni. Viðmiðunarsamsetningu efnaflokkar má sjá í töflu 2-1. Auk metans, myndast koldíoxíð og ammóníak við loftfírrt niðurbrot.



Tafla I.2.1 Reiknuð gasmyndun út frá meðalsamsetningu efnaflokkanna

Efnaflokkur	Meðal-samsetning	Metan		Koldíoxíð		Ammoníak	
		(m <sup>3</sup> /kg VS)	Hlutfall (vol-%)	(m <sup>3</sup> /kg VS)	Hlutfall (vol-%)	(m <sup>3</sup> /kg VS)	Hlutfall (vol-%)
Kolvetni	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	0,38	50	0,38	50	-	-
Fita	C <sub>50</sub> H <sub>90</sub> O <sub>6</sub>	1,00	70	0,44	30	-	-
Prótein	C <sub>16</sub> H <sub>24</sub> O <sub>5</sub> N <sub>4</sub>	0,53	41	0,50	39	0,25	20

Tafla I.2.2. Efnaflokkar og gasmyndun á hvert tonn sláturúrgangs

Hráefnið	Niðurbrot		Metan			Koldíoxíð		Ammoníak		
	kg lþe/t	hlutfall	kg lþe/t slú	Nm <sup>3</sup> /kg lþe	Vol %	∑Nm <sup>3</sup> /t sl.ú.	Nm <sup>3</sup> /kg lþe	Vol %	Nm <sup>3</sup> /kg lþe	Vol %
prótein	125,0	0,61	76,25	0,53	41	40,41	0,5	39	0,25	20
Fita	100,0	0,73	73,0	1	70	73	0,44	30		
kolvetni	5,0	0,70	3,5	0,38	50	1,33	0,38	50		
samtals	230		152,8			114,74				

Berglund M., og Börjesson P., 2003e

### 3. Íslensk raforka - útreikningar á PEF

Þar sem PE-stuðull íslenska raforkunetsins hefur ekki verið fundinn út er hér gerð afar gróf og einföld áætlun á stærðargráðu hans. Aðallega er stuðst við greiningu Rósu Guðmundsdóttur (2009). Frumorkunýtni jarðvarma er lág, en í fyrsta skrefi, jarðvarmavatn -> raforka er nýtnin aðeins 8-17%. Hér er miðað við að jarðvarmavatnið sé eingöngu nýtt í rafmagnsframleiðslu, því ekki fannst mat á frumorkunýtni með beinni varmanýtingu vatnsins að auki (t.d. húshitun). Í skýrslu sérfræðinganeftdar um möguleika til að draga úr útstreymi gróðurhúsalofttegunda (2009) segir að skilvirkni jarðvarmapáttarins sé 10-13%. Í skýrslu Orkustofnunar (Jónas Ketilsson, Ingimar G. Haraldsson, 2010) kemur fram að frumorkunýtni flestra jarðvarmavirkjana sé 10-15%. Hér er varkárni viðhöfð og miðað við lægri vikmörkin við útreikninga á PE-stuðli, þá 8-10%. Frumorkunýtni fallorku er hins vegar 90,5% (Rósa Guðmundsdóttir 2009), sjá nánar útreikninga hér að neðan.

### Tafla I.3.1 Útreikningar á PE-stuðli vatnsaflsrafmagns

Nýtni <sup>a</sup>	Frumorka	skref 1	skref 2	skref 3	Skref 1: Fall/varma-orka ->raforka			Skref 2 og 3-> flutningur og dreifing (transmission +distribution)	
vatnsafl	100	90,5	97,5	95,8					
jarðvarmaafll	100	8-10	97,5	95,8					
							Hlutfall vatnsafls	73%	
							Hlutfall varmaaflls	27%	
Jarðvarmi 8%	skref 1	hlutfall	skref 2	hlutfall	skref 3	hlutfall	PEF		
vatnsafl	90,5	0,6607							
jarðvarmi	8	0,0216							
		0,6823	0,975	0,6652	0,958	0,63726		<b>1,363</b>	
Jarðvarmi 10%	skref 1	Hlutfall	samtals	skref 2	hlutfall	skref 3	hlutfall	PEF	
vatnsafl	90,5	66,065	0,6607						
jarðvarmi	10	2,7	0,027						
		68,765	0,6877	0,975	0,6705	0,958	0,6423	<b>1,358</b>	

#### 4. Jarðvarmavatnsnotkun í gasgerðarstöð

Komið á stofnlögn er reiknað með að vatnið sé 87,5°C, á meðhöndlunarstað er reiknað með að það sé að meðaltali 82°C og orkutap því 5-6<sup>o</sup>10. Að auki er gert ráð fyrir orkunotkun við borun eftir vatninu og dælingu vatns (1,5%,rafmagn) á notkunarstað, samtals 2% nýtanlegs varmagildis. Miðað við gefnar forsendur er nýtanlegur varmi jarðvarmavatnsins 180 MJ á Nm<sup>3</sup> og PEF því 1.15 (varmalosun við hitafall úr 82° í 39°C).

<sup>10</sup> Með góðri einangrun er vísast hægt að minnka varmatapið nokkuð

Tafla I.4.1 Forsendur og útreikningar PE-stuðuls jarðvarmavatns

		fororkutap MJ/m <sup>3</sup>	orkunotkun MJ/m <sup>3</sup>
°C/stofnlögn	87,5		
°C/gasv. <sub>inn</sub>	82,0	23,0	
C° gasv. <sub>út</sub>	39,0		3,6
°C/gasv. <sub>inn</sub> - C° gasv. <sub>út</sub> ; hitatap + E <sub>inn</sub>	43,0		26,6
MJ/m <sup>3</sup>	179,9		
m <sup>3</sup> /t sláturúrg	0,94		
m <sup>3</sup> alls/ár	3.302,3		
Alls MJ/ár	594.132		
PEF	<b>1,15</b>		

## 5. Forhitun í urðun I

Við komu á meðhöndlunarstað er reiknað með að hitastig sláturúrgangs sé að meðaltali 20°C. Til upphitunar er notað hauggas. Til hitunar á einu tonni sláturúrgangs upp í 70°C þarf um 195 MJ/t og alls 409.500 MJ á ári.

Tafla I.5.1 Orkunotkun í forhitun sláturúrgangs

Forhitun sláturúrgangs	
hitabil °C	50
Eðlisvarmi sláturúrgangs	3.0 <sup>a</sup>
Orkunotkun MJ/t	150
MJ/t+PEF	195
MJ alls/ár	409.500 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> gróf áætlun útfrá: [http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d\\_295.html](http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html)

<sup>b</sup> á við hitun á 60% sláturúrgangsins eða 2100 tonn

# Viðauki II

1.

Tafla II.1.1 Gasgerð - Helstu kennistærðir

Gasgerð	heimild/byggt á <sub>(þegar við á)</sub>			
<b>Þáttur</b>				
Sláturúrgangur	t	3500		
Niðurbrotshlutfall prótein;kolv;fita	0,61	0,7	0,73	Orware
Hökkun(rafmagn)	kWh/t	12,6		la Cour Jansen
Rafmagnsnotkun(búnaður);PEF	kWh/t;	25	1,36	la Cour Jansen
Jarðvarmavatnsnotkun;PEF	MJ/t;	132	1,15	áætlað ; áætlað
Hitastig í gasgerð	°C	37		
Lífrænt þurræfni gerjunarblöndu	%	<18		
Þe sláturúrgangur	%	23		Edström 2003
Hreinsun og þjöppun/Nm <sup>3</sup> metan	%;MJ/Nm <sup>3</sup>	5	1,8	Börjesson 2003
<b>Næringarefni í hrati</b>				
Nýtanlegt; köfnunarefni N alls	t;%	48,7	70	nokkrir/áætlað
Nýtanlegur; fosfór P alls	t;%	10	100	Lindberg 1995
Nýtanlegt; kalíum K alls	t;%	7,5	100	Lindberg 1995
<b>Metantap úr gasgerð (hreinsun meðtalin)</b>				
hlutfall CH <sub>4</sub>	%	0,5		Börjesson 2010
<b>Flutningar</b>				
Flutningsgeta bíls, Eyðsla	t;l/km	14	0,35	Börjess2003e,NTMcalc
	PEF	1,08		Börjesson 2003e
Fjarlægð Akureyri; magn alls	km;t	10	2000	
Fjarlægð Húsavík; magn alls	km;t	100	1500	
<b>Orkugjafar og einingar</b>				
Metan; PEF	MJ/Nm <sup>3</sup>	35,907	1,3	RED;Börjess.2003e
	kg/Nm <sup>3</sup>	0,718		la Cour Jansen
	MJ/kg	50,0		RED

Díselolía; PEF	MJ/L;	36,0	1,1	RED;Börjess.2003e
Bensín	MJ/L	32,0		"
vatn/ $\Delta 1^\circ\text{C}; \Delta 43^\circ$	MJ/m <sup>3</sup>	4,184	180	;áætlað
kwh	MJ/kwh	3,6		

#### Umhverfisáhrif

Stuðlar;g CO<sub>2</sub>ig/MJ

---

flutningabíll - díselolía	gCO <sub>2</sub> igildi	74,0		Börjesson 2010
flutningabíll - metan	gCO <sub>2</sub> igildi	0,9		Börjesson 2010
fólksbíll - bensín	gCO <sub>2</sub> igildi	72,0		Börjesson 2010
fólksbíll - metan	gCO <sub>2</sub> igildi	0,9		Börjesson 2010
rafmagn	gCO <sub>2</sub> igildi	3,7		Birna Hallsd,2009
jarðvarmavatn	gCO <sub>2</sub> igildi	0,4		áætlað
GHG stuðull	CO <sub>2</sub>	1,0		RED
GHG stuðull	N <sub>2</sub> O	298		RED
GHG stuðull	CH <sub>4</sub>	23		RED



# Viðauki III

1.

Tafla III.1.1 JARÐGERÐ - helstu kennistærðir

Jarðgerðarblanda(hrámolta)		Molta		heimild/byggt á
		Inn	út	
Sláturúrgangur	Eining			
Alls	tonn	3.500		
þar af þurrefni	%	25		
	tonn	875	468,3	la Cour Jansen
vatn	tonn	2.625	525,0	la Cour Jansen
lífrænt þurrefni	%	23		
	tonn	805	450,8	la Cour Jansen
Sag	tonn	245	196	Haug,1993 o.fl.
Samtals		3.745	1.189,3	
Lykilefni		sláturúrg.	molta-slú.hluti	
C	tonn	513	287	Börjess.2003e/la Cour J
N	tonn	70	58,1	Börjess.2003e/la Cour J
P	tonn	10,5	10,5	Börjess.2003e/la Cour J
K	tonn	7	7	Börjess.2003e/la Cour J
Næringarefni moltu				
pl.aðgengilegt N, Nalls	%	40	48,7	Orware,Börjess.ofl
P í moltu	%	100		Lindström 1995
K í moltu	%	100		Lindström 1995
Jarðgerð				
Vinnuvél(dísel)	l/tonn	2		la Cour Jansen
Jarðgerðartromla;PEF rafm	kWh/t	5	1,36	la Cour Jansen; Rósa Guðmundsd.2009
Ntap (köfnunarefni)	%	17		"
Niðurbrotshlutfall	%af lþe	44		"
Þurre.innih. moltu	%	62		"

hakkari	kwh/t	12,60		la Cour Jansen
---------	-------	-------	--	----------------

#### Flutningar

Flutningsgeta bíll, Eyðsla	t; L/km	14	0,35	Börjess,NTMcalc
PEF		1,08		Börjesson 2003e
Fjarlægð Akureyri; magn	km;t	10	2.000	
Fjarlægð Húsavík; magn	km;t	100	1.500	
Skipaflutn. Rotterd.-Rvík	MJ/t	610		NTMcalc

#### Stoðefni

##### C/N hlutfall:

Stoðefni/sag		200		Haug,1993
Sláturúrgangur		7,4		
óska C:N jarðg.blöndu		20		Haug,1993
Rúmmálstuðull sags	m <sup>3</sup> /t	2,86		Haug,1993

##### Staðgengilsþáttur nær.efni

Framleiðsla N	MJ/t	45.000		Börjesson 2003
Skipaflutningar(2045km)	MJ/t	610		NTMcalc
Vöruflutningar Rvík-Akure.	km	390		

##### Staðgengilsþáttur eldsneyti

Bensín alls;PEF viðbót	GJ;	14.420	1,1	;Börjesson
------------------------	-----	--------	-----	------------

##### Orkugjafar og einingar

díselolía ; PEF	MJ/L	36	1,10	RED,Börjesson 2003e
metan ;PEF	MJ/Nm <sup>3</sup>	35,9	1,3	"; Börjesson 2003e
	MJ/kg	50,01		"
bensín	MJ/L	32		"
Kwh	MJ/kwh	3,6		

##### Losun gróðurhúsalofttegunda úr jarðgerð

CH <sub>4</sub> - hlutfall C	%	1		la Cour Jansen
þar af losað	%	50		"
N <sub>2</sub> O hlutfall af N tapi	%	2		"

Stuðlar;g CO<sub>2</sub>íg/MJ eða t NPK

flutningar - díselolía	gCO <sub>2</sub> ígildi	74,0	Börjesson 2010
fólksbíll bensín	gCO <sub>2</sub> ígildi	72,0	Börjesson 2010
rafmagn	gCO <sub>2</sub> ígildi	3,7	Birna Hallsd,2009
N <sub>2</sub> O	GHGstuðull	296	RED
CH <sub>4</sub>	GHGstuðull	23	RED
Framleiðsla t N	kgCO <sub>2</sub> íg.	3.200	Börjesson 2010

2.

Tafla III.2.1 Útreikningar á C/N hlutfalli sláturúrgangs:

Efnaflokkur	tonn alls	hlutfall C/mól	tonn C	hlutfall N/mól	tonn N	C/N stuðull
prótín	437,5	0,55	238,6	0,16	69,6	
fiti	350	0,76	267,2			
kolvetni	17,5	0,40	7,0			
Samtals			512,8		69,6	<b>7,4</b>



# Viðauki IV

## 1. URÐUN - Helstu kennistærðir

				Heimild/byggt á (þegar við á)
Sláturúrgangur	t	3.500		
Þar af þurrefni	t;%	875	25	Lindberg1995,Edström2003
Niðurbrotstími U0; UI	ár	20	40	áætlað
C-niðurbrotið - gas	%	99		Orware
þar af ca. CO2;CH4	%;%	33	67	áætlað
Hlutfall C - í sigvatn	%	1		Orware
Hökkun	kwh/t	12,6		Orware
Vinnuvél	MJ/t	40		Orware

### Urðun 0

Losun CO2; oxun í þekju(úr CH4)	%;%CH4	100	0	IPCC 2006
Losun CH4; - umbr. í þekju í CO2	%;%	100	0	IPCC 2006
Flutningseldsneyti Dísel; Metan	%;%	100	0	

### Urðun I

Forhitun 70°C ; hitameðh. t slá.úrg.	MJ/t	150,0	2100	áætlað
Safnað hauggas	%	75		Odelberg 2010
Flutningar Dísel; Metan	%;%	10	90	
CH4 oxað í þekju	%	10		IPCC 2006
Metantap í hreinsun	% CH4	21		Johansson 2010
Orka hreinsun/orkuinnih. hauggass	%	9		Johansson 2010

### Flutningar

Flutningsgeta bíll, Eyðsla	t; L/km	14	0,35	Börjessone,NTMcalc
Bíll, orkunotk framl.+viðhald	PEF	1,08		Börjesson 2003e
Fjarlægð Akureyri; magn alls	km;t	10	2.000	
Fjarlægð Húsavík; magn alls	km;t	100	1.500	
Fjarlægð Rvík-Akureyri	km	390		

Fjarlægð Rotterdam -Rvík km 2.045

Uppbótarferlar 0 og I - Næringarefni

Köfnunarefni N; framleiðsla	t;MJ/t	48,72	45.000	mat;Börjesson 2003e
Fosfór P	t;MJ/t	10,5	25.000	mat;Börjesson 2003e
Kalíum K	t;MJ/t	7	5.000	mat;Börjesson 2003e

Orkugjafar, viðmið og einingar

díselolía ; PEF	MJ/L	36	1,10	RED;Börjesson 2003e
metan ;PEF	MJ/Nm3	35,91	1,3	";Börjesson 2003e
	MJ/kg	50,01		"
bensín	MJ/L	32	1,1	"; "
Kwh;PEF	MJ/kwh;	3,6	1,36	" ;
Orkuviðmið - ársframleiðsla	GJ	14.420		

Umhverfísáhrif

Stuðlar;g CO2íg/MJ eða t NPK

GHL stuðull	CH4	23		RED
GHL stuðull	N20	298		RED
flutningar - díselolía	gCO2ígildi	74,0		Börjesson 2010
flutningar - metan	gCO2ígildi	0,9		Börjesson 2010
fólksbíll bensín	gCO2ígildi	72,0		Börjesson 2010
fólksbíll metan	gCO2ígildi	0,9		Börjesson 2010
rafmagn	gCO2ígildi	3,7		Birna Hallsd,2009
Framleiðsla t N	kgCO2ígildi	3.200		Börjesson 2010
Framleiðsla t P	kgCO2ígildi	2.900		Börjesson 2010
Framleiðsla t K	kgCO2ígildi	440		Börjesson 2010

