



HÁSKÓLI ÍSLANDS

VERKFRÆÐI- OG NÁTTÚRUVÍSINDASVIÐ

UMHVERFIS- OG BYGGINGARVERKFRÆÐIDEILD



SAMBAND ÍSLENSKRA SVEITARFÉLAGA



47

## RANNSÓKNIR Á HAUGGASMYNDUN Í 10 URÐUNARSTÖÐUM

Atli Geir Júlíusson útskrifaðist frá Háskóla Íslands vorið 2011 með M.Sc. í umhverfisverkfræði. Hann starfar nú sem verkefnastjóri umhverfismála hjá Þróunarfélagi Keflavíkurflugvallar (Kadeco).



Helga Jóhanna Bjarnadóttir lauk B.Sc. prófi í efnafræði frá HÍ árið 1989 og meistaraþrófi í efna- og umhverfisverkfræði frá DTU í Danmörku árið 1992. Hún starfaði hjá löntæknistofnun 1992–2000 og síðan á Verkfræðistofunni Línuhönnun frá árinu 2000. Helga Jóhanna hefur verið markaðssviðsstjóri umhverfissviðs Verkfræðistofunnar EFLU frá árinu 2008. Hún hefur sinnt stundakennslu við HÍ, Endurmenntun HÍ, HR og HA, var prófdómari í umhverfisverkfræði HÍ 2002–2003 og hefur leiðbeint nemendum í meistaraverkefnum við umhverfis- og byggingarverkfræðideild HÍ og við umhverfis- og auðlindafræði HÍ. Hún hefur setið í stjórn FENÚR og verið formaður fagnefndar um úrgang hjá Nordic Innovation Center og Nordtest. Helga Jóhanna er nú í Úrskurðarnefnd skipulags- og byggingarmála.



Hrund Ólöf Andradóttir lauk lokaprófi í byggingarverkfræði frá Háskóla Íslands 1994. Hún stundaði framhaldsnám hjá Massachusetts Institute of Technology og lauk þaðan meistaragráðu í byggingar- og umhverfisverkfræði 1997 og doktorsprófi árið 2000. Hrund starfaði sem rekstrarráðgjafi hjá Mars & Co í New York 2001–2006 og hefur gegnt stöðu dósents í umhverfisverkfræði við Háskóla Íslands frá hausti 2006.



Jónas Eliásson lauk prófi í byggingarverkfræði frá DTH 1962 og Lic. techn. prófi frá sama skóla 1973. Hann var verkfræðingur hjá Vítamálaskrifstofunni 1964–1965, við Straumfræðistöð Raforkumálaskrifstofunnar 1965–1970 og lektor hjá DTH 1970–1974. Hann var skipaður prófessor í straumfræði, vatnafræði og skyldum greinum við byggingarverkfræðiskor Verkfræði- og raunvísindadeildar 1973 og starfar nú sem slíkur við umhverfis- og byggingarverkfræðiskor verkfræðideildar Háskóla Íslands.



Lúðvík E. Gústafsson útskrifaðist frá Freie Universität Berlin í Þýskalandi árið 1979 með diplom í jarðfræði, og sem doktor í jarðfræði frá sama háskóla árið 1992. Hann hefur kennt við ýmsa framhaldsskóla á árunum 1979 til 1991, unnið sem heilbrigðisfulltrúi við Heilbrigðiseftirlit Reykjavíkur frá árinu 1989 til 1993 og aftur frá árinu 2000 til 2008. Frá 1993 til 2000 starfaði Lúðvík sem sérfræðingur í úrgangsmálum fyrir Hollustuvernd ríkisins og starfar nú sem verkefnisstjóri og sérfræðingur í umhverfismálum og sjálfbærri þróun hjá Sambandi íslenskra sveitarfélaga.



## Útdráttur

Með gildistöku reglugerðar nr. 738/2003 um urðun úrgangs var urðunarstöðum á Íslandi sem taka á móti lífrænum úrgangi skylt að safna hauggasi eftir 16. júlí 2009. Hauggas samanstendur að stærstum hluta af gróðurhúsalofttegundunum koldíoxíð og metan, en metan er um 21 sinnum öflugri gróðurhúsalofttegund en koldíoxíð. Markmiðið með þessari rannsókn var að meta hauggasmyndun í tíu urðunarstöðum á Íslandi sem hafa fengið undanþágu á gassöfnunarákvæði reglugerðar nr. 738/2003. Urðunarstaðirnir þjónusta frá 500 til 20.000 íbúa og urða samtals 40 þúsund tonn af úrgangi á ári. Mælingar á samsetningu hauggass, framkvæmdar þrjú árið 2010, gefa til kynna að tæknilega sé mögulegt að safna hauggasinu sem myndast á sjö urðunarstöðum af tíu. Hermanir IPCC-líkansins sýna að möguleg metanmyndun í urðunarstöðum fyrir lítil bæjarfélög (1.500-20.000 íbúar) sé um 0.0032 m<sup>3</sup>/klst. á íbúa á ári. Einungis einn urðunarstaður í þessari rannsókn, þ.e. Akureyri, framleiðir nægilegt magn metans sem þarf til þess að safna því miðað við þýsk og finnsk söfnunarviðmið. Fyrir hina staðina er nauðsynlegt að skoða aðrar aðferðir við eyðingu metans, eins og t.d. oxun í yfirborðslagi.

## Abstract

With adoption of the regulation nr.738/2003 on landfilling of waste in Iceland, collection of landfill gas is mandatory in landfills receiving organic waste after the 16th of July 2009. Landfill gas is composed mostly of the greenhouse gases carbon dioxide and methane. Methane is 21 times more effective as a greenhouse gas than carbon dioxide. The main goal of this research is to estimate the methane formation of landfill gas collection in 10 Icelandic landfills which were granted exemptions from gas collection. The landfills serve 500–20.000 people and landfill 40.000 tons of waste in total. Measurements of the composition of landfill gas in the summer 2010 indicate that gas collection is technically possible in 7 of the 10 landfills. Simulations with IPCC show that methane production in landfills serving 1500–20.000 people is in the range of 0.0032 m<sup>3</sup>/hour per capita per year. In this research only one landfill, at Akureyri, is estimated to produce the amount of methane necessary for gas collection according to German and Finnish guidelines. It is necessary to look at other methods to reduce methane emissions from the other landfills rather than to build up expensive gas collection.

## Inngangur

Aðalförgunarleið úrgangs á Íslandi og víðar í Evrópu er urðun. Evrópusambandið gaf árið 1999 út tilskipun um að urðunarstaðir sem taka á móti lífrænum úrgangi skuli safna hauggasi og annaðhvort nýta það eða brenna. Eitt helsta umhverfisvandamálið í tengslum við urðun úrgangs er hauggasmyndun. Hauggas, sem samanstendur að stærstum hluta af gróðurhúsalofttegundunum koldíoxíði og metani, myndast þegar örverur brjóta niður lífrænan úrgang við loftfirrtar aðstæður. Ef hauggasinu er ekki safnað og því eytt með viðeigandi hætti sleppur stór hluti þess úr haugnum út í andrúmsloftið með tilheyrandi gróðurhúsaáhrifum, lykt o.fl. Þær aðferðir sem helst hafa verið notaðar við eyðingu metans sem myndast í urðunarstöðum eru nýting gassins sem eldsneyti á bifreiðar, raforkuframleiðsla eða brennsla þess ef nýting er ekki kostur. Á urðunarstöðum þar sem mjög lítið myndast af metangasi er hægt að beita svokallaðri oxunaraðferð í yfirborðslögum til að draga úr neikvæðum umhverfisáhrifum.



Mynd 1a. Úrgangur urðaður í einu úrgangslagi.

Sérstök áhersla hefur verið lögð á nýtingu metans, bæði vegna þess að metan er gróðurhúsalofttegund með 21 sinnum meiri hlýnunarstuðul (GWP) í andrúmslofti en koldíoxíð miðað við þunga mælt yfir 100 ára tímabil og vegna þess að hægt er að nýta metan sem orkugjafa. Hauggasmyndun fer eftir innri og ytri aðstæðum á hverjum urðunarstað, eins og samsetningu úrgangs og urðunaraðferðum. Fram kemur í skýrslu Umhverfisstofnunar frá árinu 2003 um rannsókn á hauggasmyndun í urðunarstöðum á Íslandi að metaninnihald þurfi að vera a.m.k. 20% af hauggasinu til þess að tæknilega mögulegt sé að safna því m.t.t. nýtingar eða eyðingar (Kamsma & Meyles, 2003). Undir þessum mörkum eða þegar metaninnihald er um 5–15% er sprengihætta í blöndu metans og súrefnis (Umhverfisráðuneyti Ontario, 1987).

Á Íslandi eru 25 urðunarstaðir með starfsleyfi (Umhverfisstofnun, 2011). Árið 2008 voru rúmlega 123 þúsund tonn af úrgangi, sem samsvarar um 50 % úrgangs á landsvísu það árið samkvæmt tölum frá Hagstofunni, urðuð í eitt úrgangslag í Álfsnesi, líkt og mynd 1a sýnir. Hauggasinu er safnað, metan aðskilið og m.a. selt á bifreiðar (SORPA bs, 2009). Allir aðrir urðunarstaðir á landinu taka á móti mun minna magni af úrgangi (<20.000 tonn á ári). Þar er úrgangur urðaður í lög sem þakið er yfir eftir nánast hverja móttöku (mynd 1b). Þessir staðir hafa enn ekki uppfyllt gassöfnunar-ákvæði reglugerðar nr. 738/2003 um urðun úrgangs, byggða á sambærilegri tilskipun Evrópusambandsins. Undanþága frá söfnunarskyldunni sem einstaka sveitarfélög fengu rann út 16. júní 2011.



Mynd 1b. Yfirborðspekja sett yfir úrgang.

Samband íslenskra sveitarfélaga hafði frumkvæði að því að stofnaður var samstarfshópur Sambandsins, Háskóla Íslands, verkfræðistofunnar EFLU og Umhverfisstofnunar um rannsókn á hauggasmyndun vorið 2010. Markmiðið var að kanna hauggasmyndun, og rannsaka tæknilegan möguleika gassöfnunar í tíu útvöldum urðunarstöðum á Íslandi sem safna ekki hauggasi í dag. Rannsóknin tók mið af fyrri rannsóknum EFLU (áður Línuhönnun) á Gufunesi (EFLA verkfræðistofa, 2008) og Umhverfisstofnunar (Kamsma og Meyles, 2003). Hér verða raktar helstu niðurstöður hauggasmælinga og líkanreikninga til að áætla hámarks magn metans. Niðurstöður eru bornar saman við söfnunarviðmið í nágrennalöndunum til að gefa vísbendingu um hvort söfnun hauggass sé valkostur. Rannsóknin tók ekki á möguleika á söfnun og nýtingu metangass út frá umhverfissjónarmiðum.

## Aðferðir

### Val á urðunarstöðum

Samband íslenskra sveitarfélaga hafði forgöngu um að velja tíu urðunarstaði til þátttöku í rannsókninni. Staðirnir höfðu allir fengið árið 2009 undanþágu frá gassöfnunarákvæði reglugerðar nr. 738/2003 um meðhöndlun úrgangs fram til 16. júní 2011. Þessir urðunarstaðir, sjá mynd 2, urða samtals um 40 þúsund tonn af úrgangi á hverju ári, sem samsvarar 15% á landsvísu (Hagstofa Íslands, 2011).

### Niðurstetning mæliröra

Rannsóknin hófst á því að úttekt var gerð á ástandi mæliröra sem fyrir voru á hverjum urðunarstað. Í samstarfi við verkfræðistofuna EFLU var ákveðið að bæta við 19 mælirörum þannig að þrjár mælihólar væru aðgengilegar á hverjum stað, þ.e. ein í hverjum af eftirtöldum flokkum:

- 1 til 3 ára gömlum úrgangi.
- 4 til 10 ára gömlum úrgangi.
- 10 ára gömlum úrgangi eða eldri.



Mynd 2. Staðsetning urðunarstaðanna sem taka þátt í rannsókninni.

## Hauggasmælingar sumarið 2010

Hauggasmælingar voru framkvæmdar sumarið 2010 eftir leiðbeiningum EFLU (EFLA verkfræðistofa, 2008). Farnar voru þrjár mæliferðir á alla tíu urðunarstaðina á tímabilinu 10. maí til 26. september. Efnasamsetning hauggass í 34 mælirörum var mæld með mælitæki frá Geotechnical Instruments af gerðinni GA2000 Plús í eigu EFLU. Til nánari glöggvunar á mæligögnum vísast í gagnagrunn sem unninn var í tengslum við rannsóknina (Atli Geir Júlíusson, 2011).

## Líkanreikningur af hauggasmyndun með IPCC líkani

LandGem (US-EPA, 2005) og IPCC (IPCC, 2006) líkönin eru notuð víða til að áætla hauggasmyndun í urðunarstöðum. Líkönin tvö voru notuð við líkanreikning á metanmyndun og voru niðurstöður þeirra í samræmi við hvor aðra. Hér verður einungis gerð grein fyrir niðurstöðum IPCC-líkansins, vegna þess að þetta líkan býður upp á þann möguleika að tekið verði tillit til breytilegrar samsetningar úrgangs frá ári til árs. Þannig verður tekið tillit til markmiða landsáætlunar um minnkun á lífrænum úrgangi til urðunar. Í líkanreikningum er gert ráð fyrir því magni sem urðunarstaðir gefa upp fram til árs 2010. Eftir það er magnið framreiknað þar sem gert er ráð fyrir þremur þáttum:

1. Að markmiðum landsáætlunarinnar um minni lífrænan úrgang til urðunar, verði náð árið 2020. Lífrænn úrgangur til urðunar árið 2020, er þá 35% af magni ársins 2005 (Umhverfisstofnun, 2010).
2. Í sameiginlegri svæðisáætlun um meðhöndlun úrgangs á Suðvesturhorni landsins kemur fram að landsáætlun gerir ráð fyrir því að sorpmagn aukist um 1,5 % á ári á íbúa til ársins 2020 (Mannvit verkfræðistofa, 2009).
3. Að íbúafjölgun verði um 1,2% á ári á sama tímabili (Mannvit verkfræðistofa, 2009).

Samtals svara forsendur 2 og 3 til 2,7% aukningar á sorpmagni á ári, en til mótvægis kemur minnkun á urðun lífræns úrgangs í samræmi við markmið landsáætlunar. Þegar miðað er við að urðun lífræns úrgangs sé samkvæmt forsendu 1 hætt árið 2020 helst minnkunin nokkurn veginn í hendur við aukninguna samkvæmt forsendum 2 og 3. Því má áætla að urðað sorpmagn verði innan skekkjumarka óbreytt á tímabili líkanreikninga (Atli Geir Júlíusson, 2011). Þróun sorpmagns getur hins vegar verið óútreiknanlegum breytingum háð eins og niðurstöður síðustu ára sýna þar sem það dróst sums staðar saman um tugi prósentu sem afleiðing efnahagskreppunnar. Niðurstöður úrgangsmagns eru sýndar í viðauka G í MS-ritgerð Atla Geirs Júlíussonar (2011).

Tafla 1. Lykilinntaksbreytur líkana, á urðað tonn af úrgangi.

Urðunarstaður	Hámarks- hauggasmyndun (m <sup>3</sup> /t)	Metaninnihald (%)	Hámarks- metanmyndun L <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> /t)	Úrgangur á móti á móti jarðefnum
Akureyri	150	60%	90	Mikið meira af úrgangi en jarðefnum
Fíflholt	100	48%	48	Meira af úrgangi en jarðefnum
Hvammstangi		38%	38	
Skagafjörður		30%	30	
Vopnafjörður		42%	42	
Pernunes		33%	33	
Hornafjörður		45%	45	
Blönduós	50	9%	7	Lítið af úrgangi miðað við jarðefni
Skagaströnd		0%	0	
Breiðdalsvík		0%	0	

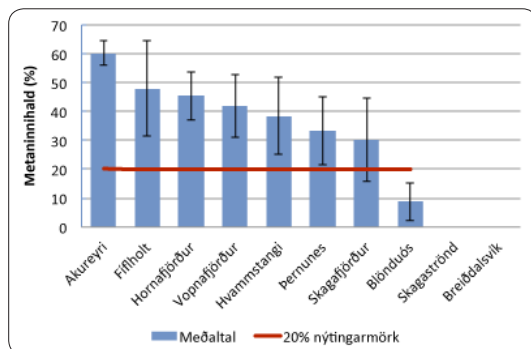
Í töflu 1 má sjá helstu forsendur líkanareikninga fyrir hvern og einn urðunarstað. Hámarkshauggasmyndun var áætluð út frá ýmsum staðbundnum þáttum, m.a. magni urðaðs úrgangs, gerð og þykkt yfirborðsþekju, magni jarðefna á móti úrgangi og dýpt úrgangslags (sbr. gagnagrunn birta í MS-ritgerð Atla Geirs Júlíussonar, 2011). Metaninnihald var eins og áður var nefnt mælt í hverjum urðunarstað. Hámarks hauggasmyndun,  $L_0$ , var ákvarðað sem margfeldið af hámarkshauggasmyndun og metaninnihaldi, sem bar ágætlega saman við föst gildi notuð í ýmsum líkönum í gegnum tíðina.

## Niðurstöður og umræður

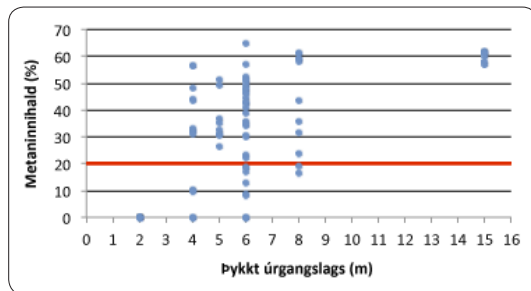
### Metaninnihald á mælistöðum

Niðurstöður hauggasmælinga má sjá á mynd 3. Súlurnar sýna einfalt meðaltal af hlutfalli metangass í hauggasi á hverjum urðunarstað fyrir sig og rauða línán sýnir nýtingarmörk hauggass sem skilgreind voru í fyrri rannsókn Umhverfisstofnunar (Kamsma & Meyles, 2003). Niðurstöður hauggasmælinganna sýna, að í Fíflholtum, Hvammstanga, Skagafirði, Akureyri, á Vopnafirði, Þernunesi og á Hornafirði mældist hauggassamsetning þannig að tæknilega gæti verið mögulegt að safna því m.t.t. nýtingar eða eyðingar á metani. Þá virðast niðurstöður benda til þess að á Blönduósi, Skagaströnd og í Breiðdalsvík er tæknilega nánast útilokað að safna hauggasinu.

Mynd 4. sýnir að metanmyndun í sorphaugi með grunn úrgangslög (undir fjórum metrum á þykkt) er undir nýtingarmörkum, þannig að hvorki er hægt að nýta metanið né eyða því með brennslu. Þetta er í samræmi við niðurstöður rannsókna Umhverfisstofnunar frá árinu 2003, en sjö af þeim urðunarstöðum sem hér voru rannsakaðir voru einnig til rannsókna hjá Umhverfisstofnun árið 2003 (Kamsma & Meyles, 2003). Fimm borholur, þar af þrjár á Skagaströnd og tvær á Breiðdalsvík, renna í punktinum á 2 metra dýpi þar sem ekkert metan mældist. Hinar fimm borholurnar sem mælast undir 20% nýtingarmörkunum eru á Blönduósi (3), í Skagafirði (1) og á Breiðdalsvík (1).



Mynd 3. Meðal samsetning metangass í hverjum urðunarstað, urðunarstöðum raðað eftir hlutfallslegu magni metans ásamt skekkjumörkum.



Mynd 4. Metanmyndun sem fall af dýpt úrgangslags.

### Áætlað magn metans 2012–2020

Niðurstöður líkanreikninga IPCC-líkansins fyrir þá sjö urðunarstaði þar sem vísbendingar eru um tæknilega mögulega metansöfnun (sbr. mynd 3) eru teknar saman í töflu 2. Mesta metanmyndunin er áætluð í urðunarstaðnum á Akureyri um  $80 \text{ m}^3/\text{klst.}$  árið 2012 og um  $60 \text{ m}^3/\text{klst.}$  árið 2020. Næst á eftir Akureyri er Fíflholt með um  $18 \text{ m}^3/\text{klst.}$  árið 2012 og einum rúmmetra minni á klukkustund árið 2020. Aðrir urðunarstaðir mynda töluvert minna metan miðað við líkanreikningana, eða undir  $5 \text{ m}^3/\text{klst.}$

Tafla 2. Niðurstöður magnáætlunar metans milli urðunarstaða ( $m^3/klst$ ) ásamt magni á hektara.

Urðunarstaður	Íbúafjöldi	Metanmyndun ( $m^3/klst$ )		Umfang (he)	Metan 2012 ( $m^3/klst/he$ )
		Árið 2012	Árið 2020		
Akureyri	19.950	81	60	12	6,8
Fíflholt	15.385	18	17	16	1,5
Pernunes	4.637	5	4	1,5	0,4
Skagafjörður	4.345	4	3	7,8	0,4
Hornafjörður	2.528	2	2	10	0,2
Vopnafjörður	682	1	1	4,5	0,1
Hvammstangi	1.122	1	1	2	0,1

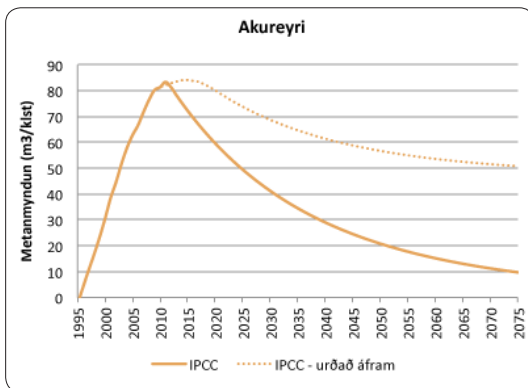
Söfnunarviðmið metans í Finnlandi eru  $10 m^3/klst/he$  miðað við það sem myndast í urðunarstaðnum (Umhverfisstofnun Finnlands, 2001). Samsvarandi gildi frá fylkinu Niedersachsen í Þýskalandi er  $5 m^3/klst/he$  eða  $25 m^3/klst$  af metani alls staðar á viðkomandi sorphaug (Bracker, 2010). Söfnunarviðmið segja til um hvenær eigi að safna hauggasi í urðunarstöðum, burtséð frá því hvernig hauggasinu verði eytt (nýtt eða brennt). Tafla 2 sýnir hvernig urðunarstaðirnir standa gagnvart framangreindum söfnunarviðmiðum. Samkvæmt þeim er Akureyri eini urðunarstaðurinn sem bæri að safna hauggasi og nýta það eða brenna, en aðrir urðunarstaðir eru langt undir þessum viðmiðum. Magnáætlunin í töflu 2 byggir á mögulegri metanmyndun, sem er ekki það sama og það magn sem hægt er að safna og nýta úr haugnum. Almenn má gera ráð fyrir því að gassöfnunarkerfi urðunarstaða safni á bilinu 25% til 75% af því hauggasi sem myndast (Oonk, 2010). Það gas sem myndast í urðunarstöðum og söfnunarkerfi ná ekki til oxast í yfirborðsþekju urðunarstaðarins eða kemst út óhindrað (t.d. í gegnum sprungur) í andrúmsloftið.

Niðurstaða líkanreikninga á tíu urðunarstöðum gefa til kynna að möguleg metanmyndun,  $y$  ( $m^3/klst$ ), á Íslandi er töluvert háð íbúafjölda hvers urðunarstaðar,  $x$ . Sambandið mældist sem  $y = 0,0032x - 5,0$  með fylgni  $R^2 = 0,77$ . Möguleg metanmyndun í urðunarstöðum á Íslandi, byggt á þessu sambandi og íbúafjölda þjónustusvæðis hvers urðunarstaðar, er um 7 milljónir rúmmetra á ári. Ef gert er ráð fyrir 50% nýtingarhlutfalli, þá jafngildir þetta metani á um 2500 meðalstórar bifreiðar.

### Hauggasmyndun á Akureyri

Eins og áður hefur komið fram er Akureyri eini urðunarstaðurinn með nægilega hátt hlutfall metans í hauggasinu og nægilega mikið magn til að safna því. Niðurstöður líkanreiknings með IPCC-líkaninu má sjá á mynd 5.

Heila línan á myndinni sýnir hvernig metanmyndunin þróast miðað við það að urðunarstaðnum hafi verið lokað árið 2011 og punktalínan sýnir þróunina hefði urðun verið haldið áfram. Metan byrjar að myndast einu til tveimur árum eftir að úrgangur hefur verið urðaður í samræmi við US-EPA (2006). Metanmyndunin nær ákveðnu hámarki árið 2011–2015 en eftir það verður minnkun á lífrænum úrgangi (sbr. markmið landsáætlunar hér á landi um minnkun lífræns úrgangs) til urðunar til þess að hauggasmyndun dregst saman. Sé urðunarstaðnum lokað (heila línan) hefur metanmyndun minnkað niður í um 10 % af mestu haug-



Mynd 5. Metanmyndun á Glerárdal við Akureyri ( $m^3/klst$ ) miðað við annars vegar að urðun hætti árið 2011, heila línan og hins vegar að urðun haldi áfram, punkta línan.

gasmyndun innan 50 ára frá því að urðun var hætt 2011. Ef haldið er áfram að urða stefnir metanmyndun á stöðugt gildi (sjá punktalínu), sem heldur sér þar til urðun er hætt eða dregið er úr urðun á lífrænum úrgangi.

## Lokaorð

Niðurstöður hauggasmælinga og líkanareikninga á metanmyndun úr tíu urðunarstöðum á Íslandi gefa til kynna að gassöfnun er ekki valkostur nema á einum þeirra, þ.e. Akureyri.

Hlutfall metans í hauggasi á urðunarstöðunum á Blönduósi, Skagatrönd og Breiðdalsvík er of lágt (undir 20%) til þess að söfnun sé tæknilega möguleg. Á urðunarstöðunum Fíflholti, Hvamnstanga, Skagafirði, Vopnafirði, Þernunesi og Hornafirði myndast ekki nægjanlegt magn metans sem þarf til að safna því m.v. þýsk og finnsk söfnunarviðmið.

Þetta kallar á frekari rannsóknir á öðrum valkostum en gassöfnun, t.d. að auka oxun metans í yfirborðsþekju urðunarstaðanna, til að draga úr umhverfisáhrifum metanmyndunar í minni urðunarstöðum. Mikilvægt er að rannsóknum verði haldið áfram og fylgst verði með hauggasi sem myndast á urðunarstöðunum með mælingum á a.m.k. tveggja ára fresti.

Rannsóknin náði ekki til möguleika á söfnun og nýtingu metangass út frá umhverfis-sjónarmiðum en það var viðfangsefni þessarar rannsóknar að kanna hvort metanmyndun væri með þeim hætti að tæknilega væri mögulegt og hugsanlega hagkvæmt að safna hauggasi á urðunarstöðum.

## Heimildaskrá

- [1] Atli Geir Júlíusson. (2011). *Gagnagrunnur frá hauggasrannsóknum á urðunarstöðum á Íslandi*. Sótt 17. ágúst 2011 frá heimasíðu Sambands íslenskra sveitarfélaga: [http://www.samband.is/media/urgangsmal/Hauggasverkefni\\_AtliGeirJuliusson\\_LokaskyrslaGagnagrunnur\\_24\\_5\\_11.pdf](http://www.samband.is/media/urgangsmal/Hauggasverkefni_AtliGeirJuliusson_LokaskyrslaGagnagrunnur_24_5_11.pdf).
- [2] Atli Geir Júlíusson. (2011). *Hauggasrannsóknir á urðunarstöðum á Íslandi*. Sótt 17. ágúst 2011 frá heimasíðu Sambands íslenskra sveitarfélaga: [http://www.samband.is/media/urgangsmal/Hauggasverkefni\\_AtliGeirJuliusson\\_Lokaskyrsla\\_24\\_5\\_11.pdf](http://www.samband.is/media/urgangsmal/Hauggasverkefni_AtliGeirJuliusson_Lokaskyrsla_24_5_11.pdf).
- [3] Aubert, R. (2007). *Methane Recovery from Álfsnes Landfill, Reykjavík Capital Area*. Master thesis: University of Iceland.
- [4] Bracker, W. (2010). *Deponieentgassung bei rucklaufigen Deponie gasmengen*. Hildesheim: Staatliches Gewerbeaufsichtsamt.
- [5] EFLA verkfræðistofa. (2008). *Urðunarstaðurinn í Gufunesi. Mælingar og áhættumat vegna fyrirhugaðra breytingar á landnotkun*. Reykjavík: Reykjavíkurborg umhverfis- og samgöngusvið.
- [6] Hagstofa Íslands. (8. febrúar 2011). *Úrgangur*. Sótt 17. febrúar 2011 frá heimasíðu Hagstofu Íslands: <http://hagstofan.is/Hagtalur/Land-og-umhverfi/Urgangur>.
- [7] IPCC. (2006). *IPCC-líkanið*. Sótt 25. mars 2011 frá heimsíðu IPCC: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/IPCC\\_Waste\\_Model.xls](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/IPCC_Waste_Model.xls).
- [8] Kamsma, R., & Meyles, C. (2003). *Landfill Gas Formation in Iceland*. Reykjavík: Umhverfisstofnun.
- [9] Mannvit verkfræðistofa. (2009). *Sameiginleg svæðisáætlun um meðhöndlun úrgangs 2009–2020*.
- [10] Oonk, H. (2010). *Literature reveiw, Methane from Landfills*. Holland: Sustainable Landfill Foundation.
- [11] SORPA bs. (2009). *Árskýrsla SORPU 2008*. Sótt 31. ágúst 2011 frá heimasíðu SORPU bs: [http://sorpa.is/resources/Files/Arsskyrslur/arsskyrsla\\_2008\\_opna\\_lestur\\_eintak.pdf](http://sorpa.is/resources/Files/Arsskyrslur/arsskyrsla_2008_opna_lestur_eintak.pdf).
- [12] Umhverfisráðuneyti Ontario. (1987). *Guidline for assessing methane hazards from landfill sites*.
- [13] Umhverfisstofnun. (2010). *Drög að Landsáætlun um meðhöndlun úrgangs 2010–2022*. Reykjavík.
- [14] Umhverfisstofnun Finnlands. (2001). *Environment guide for closing landfills* (á finnsku). ISSN 1238–8602, ISBN 952–11–1021–X og ISBN 952–11–1021–8 (PDF). Helsinki, Finnlandi.
- [15] Umhverfisstofnun. (2011). *Sorprurðun, brennsla, móttaka spilliefna og efnamóttaka*. Sótt 23. mars 2011 frá heimsíðu Umhverfisstofnunar: <http://ust.is/Mengunarvarnir/Starfsleyfi/nr/3648>
- [16] US-EPA. (2005). *Landgem-líkanið*. Sótt 25. mars 2011 frá heimasíðu EPA: <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/landgem-v302.xls>.