



MÖGULEIKAR OG ÁSKORANIR VIÐ AUKIÐ MAGN SEYRU VIÐ BÆTTA FRÁVEITUHREINSUN

02.04.2020



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

SKJALALYKILL

2463-009-SKY-001-V01

SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

1/72

VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Hugi Ólafsson

VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Ragnhildur Gunnarsdóttir

LYKILORD

Lykilorð

STAÐA SKÝRSLU

- Drög
- Drög til yfirlustrar
- Lokið

DREIFING

- Opin
- Dreifing með leyfi verkkaupa
- Trúnaðarmál

TITILL SKÝRSLU

Möguleikar og áskoranir við aukið magn seyru við bætta fráveituhreinsun

VERKHEITI

Aukið seyrumagn við bætta skólphreinsun á Íslandi

VERKKAUPI

Umhverfis- og auðlindaráðuneytið

HÖFUNDUR

Ragnhildur Gunnarsdóttir, Lára Kristín Porvaldsdóttir, Börkur Smári Kristinsson, Björgvin Brynjarsson, Reynir Snorrason, Reynir Sævarsson

ÚTDRÁTTUR

Samkvæmt reglugerð um fráveitur og skólp nr. 798/1999 jafngildir síun eins þreps hreinsun. Um er að ræða séríslenskt ákvæði en ef uppfylla á kröfur um eins þreps hreinsun þarf að lækka lífrænt efni um 20% og svifagnir um 50%. Það skilar sér í auknu magni af seyru sem meðhöndla þarf. Skýrsla þessi fjallar um þær leiðir sem færar eru til aukinnar hreinsunar til að uppfylla kröfur um eins þreps hreinsun. Einnig er fjallað um mögulegar nýtingarleiðir seyru, það er bæði áskoranir og tækifæri sem felast í aukinni hreinsun skólps hér á landi. Heildarlosun næringarefna í hafið umhverfis Ísland er í dag af stærðargráðunni 700-800 tonn af köfnunarefni og 230-270 tonn af fosfór á ári. Ef auka ætti hreinsun skólps frá þéttbýlum með losun yfir 10.000 PE minnkar losun næringarefna í viðtaka um 300 tonn af köfnunarefni og um 100 tonn af fosfór, eða sem nemur um 40%. Þessum næringarefnum mætti koma fyrir á landi og þar með græða upp um 1.700-2.300 ha af landi árlega. Með uppgræðslu verður kolefnisbinding og samsvarar bindingin akstri 2.400 fólksbíla árlega, miðað við meðal árskeyrslu á Íslandi og meðallosun fólksbíla. Einnig má framleiða 14.500 MWh árlega með gasframleiðslu sem getur knúið 1.600 metan bíla á ári.

Áætla má að um 70% af örplasti mætti hreinsa úr heildarmagni skólps á Íslandi ef notast væri við eins þreps hreinsun í stað grófsíunar. Þó væri lítillar hreinsunar lyfjaleifa að vænta við eins þreps hreinsun. Til þess þarf hún að vera ítarlegri.

Þær lausnir sem mælt er með er að hreinsa skólp með finum síum fremur en að notast við fell- og fleytiþrær þar sem þær þurfa mikið landrymi og geta valdið lyktarónæði. Til meðhöndlunar á auknu magni seyru gæti gasgerð verið álitlegur kostur fyrir höfuðborgarsvæðið. Fleiri lausnir eru mögulegar til að nýta seyru í þéttbýli utan höfuðborgarsvæðisins, t.d. við uppgræðslu eða gasgerð.

Kostnaður við aukna hreinsun er áætlaður 8-15 milljarðar að viðbættum kostnaði við að koma seyru í nýtingu, um 2 milljörðum. Rekstrarkostnaður er metinn um 500 - 850 milljónir króna. Auk þess kemur kostnaður við dreifingu seyrunnar á land sem gæti verið um 100 milljónir króna á ári. Til að standa straum af þessari auknu fjárfestingu og rekstrarkostnaði munu fráveitugjöld þurfa að hækka á þessum stöðum um sem nemur 1,2 - 2,2 milljörðum á ári. Meðalheimili þyrfti því að greiða fráveitugjöld sem væru um 20 þúsund krónum hærri en þau eru í dag. Það myndi þýða að gjöldin færðust nær því sem þau eru á hinum Norðurlöndunum.

ÚTGÁFUSAGA

NR.	HÖFUNDUR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
01	Ragnhildur Gunnarsdóttir, Lára Kristín Þorvaldsdóttir, Börkur Smári Kristinsson, Björgvin Brynjarsson, Reynir Sævarsson Drög til yfirlstrar hjá UAR	1.11.19	Reynir Sævarsson	2.11.19	Ragnhildur Gunnarsdóttir	8.11.19
02	Ragnhildur Gunnarsdóttir, Lára Kristín Þorvaldsdóttir, Börkur Smári Kristinsson, Björgvin Brynjarsson, Reynir Sævarsson	26.3.20	Umhverfis- og auðlindaráðuneytið	29.3.20	Ragnhildur Gunnarsdóttir	2.4.20

SAMANTEKT

Í reglugerð um fráveitur og skólþ nr. 798/1999 er séríslenskt ákvæði um að síun jafngildi eins þreps hreinsun. Ef uppfylla á kröfur um eins þreps hreinsun þarf að lækka lífrænt efni um 20% og svifagnir um 50%. Það skilar sér í auknu magni af seyru sem meðhöndla þarf. Skýrsla þessi fjallar um þær leiðir sem færar eru til aukinnar hreinsunar til að uppfylla kröfur um eins þreps hreinsun. Einnig er fjallað um mögulegar nýtingarleiðir seyru, það er bæði áskoranir og tækifæri sem felast í aukinni hreinsun skólþs hér á landi.

Reglugerð um fráveitur og skólþ á stoð í evrópskri reglugerð sem sett var á til að sporna við þeim mengunarvanda sem næringarefni voru farin að valda í viðtökum víða í Evrópu fyrir um 40-50 árum. Ekki er talið að aukinn umhverfisávinningur sé af aukinni hreinsun næringarefna úr skólþi hér á landi þar sem næringarefnaofauðgun er ekki vandamál í íslenskum skólþviðtökum. Þó er vert að hafa í huga að næringarefnaofauðgun getur átt sér stað þótt skólþlosun sé ekki mikil ef vatnsskipti í viðtakanum eru lítil, til að mynda í þröskuldsfjörðum. Þar sem sjávarstraumar eru víða sterkir í íslenskum skólþviðtökum og losun næringarefna lítil eru mengunaráhrif af völdum næringarefna talin takmörkuð. Hins vegar eru næringarefni auðlind sem í dag er fargað í sjó í stað þess að nýta þau á landi.

Heildarlosun næringarefna í hafið umhverfis Ísland er í dag af stærðargráðunni 700-800 tonn af köfnunarefni og 230-270 tonn af fosfór á ári. Lítil hluti næringarefnanna fer ekki í hafið og er urðaður sem rotþröarseyra eða nýttur til uppgræðslu. Ef skólþ frá þéttbýlum með losun yfir 10.000 PE verður hreinsað með eins þreps hreinsun minnkar þessi losun um 300 tonn af köfnunarefni og um 100 tonn af fosfór, eða sem nemur um 40%. Þessum næringarefnum mætti koma fyrir á landi og þar með græða upp um 1.700-2.300 ha af landi árlega. Með uppgræðslu verður kolefnisbinding og samsvarar bindingin akstri 2.400 fólksbíla árlega, miðað við meðal árskeyrslu á Íslandi og meðallosun fólksbíla. Einnig er orkuinnihald seyru mikið og úr því er hægt að framleiða 14.500 MWh árlega með gasframleiðslu sem getur knúið 1.600 metan bíla á ári.

Um helmingur persónueininga í skólþi sem til falla á Íslandi koma frá matvælaíðnaði. Sum þessara fyrirtækja hafa sett upp vandaðan hreinsibúnað með góðum árangri eða endurskoðað ferla til að auka nýtingu lífrænna efna og næringarefna. Enn má auka árangur til mikilla muna með fjárfestingum sem í flestum tilvikum eru ekki miklar samanborið við veltu fyrirtækjanna.

Enn frekari umhverfisávinningur við að auka lágmarkshreinsun úr síun í eins þreps hreinsun er fólgin í því að draga úr losun örplasts til sjávar en um 79-98% örplasts er hreinsað við eins þreps hreinsun. Hlutfall heildarmagns skólþs sem yrði hreinsað á landsvísu yrði 82% ef hreinsun væri á öllum þéttbýlisstöðum með losun yfir 10.000 PE. Miðað við það má áætla að um 70% af örplasti yrði hreinsað úr skólþi er komið væri upp eins þreps hreinsun á þessum stöðum. Líklegt er þó að minni örplastsagnir náist ekki úr skólþi með eins þreps hreinsun. Til þess þarf ítarlega hreinsun skólþs sem er ekki til umfjöllunar í þessari skýrslu.

Þar sem mikill meirihluti örplasts fellur til við akstur bíla vegna dekkjaslits er afar mikilvægt að hreinsun ofanvatns gleymist ekki. Á þeim svæðum þar sem fráveitukerfi eru tvöföld fer ekkert afrennsli frá götum til hreinsistöðva. Þetta gildir um flest öll hverfi sem byggðust upp eftir 1970 á Íslandi, með

ákveðnum undantekningum þó. Byggðar hafa verið settjarnir á allnokkrum stöðum á höfuðborgarsvæðinu. Æskilegt er að halda áfram uppbyggingu hreinsilausna fyrir ofanvatn, bæði í þéttbýli sem og á vegum úti en til eru lausnir sem auka bindingu örplasts í fyllingum við vegaxlir.

Rannsóknir hafa sýnt að kalt loftslag og takmarkað sólarljós á norðurslóðum gerir það að verkum að niðurbrot sumra lyfjaleifa er hægara en á suðlægari slóðum. Ekki á sér stað mikil hreinsun lyfjaleifa úr skólpi við eins þreps hreinsun en til þess þarf ítarlegri hreinsun.

Allt höfuðborgarsvæðið, Akureyri og um helmingur byggðarinnar í Reykjanesbæ hefur nú þegar stöðvar með grófhreinsibúnaði. Kostnaður við aukna hreinsun gæti legið á bilinu 8-15 milljarðar. Ofan á þennan kostnað kæmi kostnaður við að koma seyru í nýtingu sem gæti numið um 2 milljörðum sem þýðir að heildarfjárfestingin fyrir kerfið allt yrði 10-17 milljarðar. Hvað rekstarkostnað varðar er ekki óvarlegt að áætla að hann gæti numið um 5% af stofnfjárfestingunni á ári, eða sem nemur 500 - 850 milljónum króna. Auk þess kemur kostnaður við dreifingu seyrunnar á land sem gæti verið um 100 milljónir króna á ári. Til að standa straum af þessari auknu fjárfestingu og rekstarkostnaði munu fráveitugjöld þurfa að hækka á þessum stöðum um sem nemur 1,2 - 2,2 milljörðum á ári. Meðalheimili þyrfti því að greiða fráveitugjöld sem væru um 20 þúsund krónum hærra en þau eru í dag. Það myndi þýða að gjöldin færðust nær því sem þau eru á hinum Norðurlöndunum.

Þær lausnir sem mælt er með er að hreinsa skólp með fínnum síum fremur en að notast við felli- og fleytiþrær þar sem þær þurfa mikið landrými og geta valdið lyktarónæði. Til meðhöndlunar á auknu magni seyru gæti gasgerð verið álitlegur kostur fyrir höfuðborgarsvæðið þar sem mögulega mætti nýta seyru ásamt heimilisúrgangi í fyrirhugaðri gas- og jarðgerðarstöð SORPU á Álfsnesi. Nýting seyru til uppgræðslu þykir síðri kostur við höfuðborgarsvæðið þar sem langt er í uppgræðslusvæði. Fleiri lausnir eru mögulegar til að nýta seyru í þéttbýli utan höfuðborgarsvæðisins, t.d. til uppgræðslu eða gasgerð. Fjallað er ítarlega um valmögulega mismunandi þéttbýlisstaða við meðhöndlun og nýtingu seyru.

Hér má sjá hvaða Heimsmarkmið, markmið Sameinuðu þjóðanna um sjálfbæra þróun, þær lausnir sem mælt er með í þessari skýrslu styðja við.



EFNISYFIRLIT

SAMANTEKT	5
1 INNGANGUR	10
1.1 Reglugerð um fráveitur og skólp	10
1.2 Auðlind eða úrgangur	12
1.3 Förgun eða nýting seyru	12
1.4 Uppsprettur örplast og lyfjaleifa til sjávar	14
1.4.1 Örplast	14
1.4.2 Lyfjaleifar	15
1.5 Tilgangur og markmið	16
2 STAÐIR OG SKÓLPMAGN	17
2.1 Þéttbýli þar sem auka þyrfti hreinsun	17
3 MÖGULEGAR AÐFERÐIR TIL AUKINNAR SKÓLPHREINSUNAR	21
3.1 Felli- og fleytiþrær	22
3.2 Fíngerðar síur	23
3.3 Hreinsivirkni eins þreps hreinsunar	24
3.3.1 Vökvaþasi	24
3.3.2 Seyra	27
3.4 Seyrumagn eftir meðhöndlun	32
3.5 Frekari hreinsun	33
4 MEÐHÖNDLUN SEYRU	35
4.1 Þykking og úrvötnun seyru	36
4.2 Gasgerð	37
4.3 Jarðgerð	39
4.4 Basísk stöðgun með kalki	40
4.5 Brennsla seyru án gasgerðar	41
5 MÖGULEGAR AÐFERÐIR VIÐ SEYRUNÝTINGU	43
5.1 Landgræðsla með seyru	43
5.2 Gasframleiðsla	48
5.3 Brennsla	50
6 VAL Á AÐFERÐUM	51
6.1 Val aðferða við seyrunýtingu	51
6.2 Kostnaðarmat valkosta	52
6.3 Kolefnisspor valkosta	54
6.4 Samantekt aðferða	55
7 UMRÆÐA OG FRAMTÍÐARSÝN	57
8 HEIMILDASKRÁ	61

MYNDASKRÁ

MYND 1 Forgangsróðun úrgangsstjórnunar. _____	13
MYND 2 Uppsprettur örplasts á Íslandi í haf og á land. Upplýsingar eru fengnar úr skýrslu BioPol um örplast í hafinu við Ísland (Sigurðsson & Halldórsson, 2019) . _____	15
MYND 3 Ferill lyfjaleifa út frá mönnum og dýrum út í umhverfi og vatn (Sophie Jensen, Helga Gunnlaugsdóttir og Hrönn Ó. Jörundsdóttir, 2019). _____	16
MYND 4 Skólpmagn í persónueiningum (PE) frá þeim þéttbýlisstöðum sem falla undir íslenskt sérákvæði um að síun jafngildi eins þreps hreinsun. Magn skólps er sýnt með stærð kökurits þar sem einnig kemur fram hve hátt hlutfall losunar er frá íbúum annars vegar og hins vegar frá iðnaði og öðru en íbúum. _____	19
MYND 5 Yfirlitsmynd yfir forhrensun og tvo mismunandi möguleika eins þreps hreinsunar skólps, 1) með fell- og fleytiþró og 2) með fíngerðri síu (unnið frá Wright, 1981). _____	22
MYND 6 Sniðmynd inn í beltasíu, sem er dæmi um fíngerða síu. Þar rennur skólp um belti og seyra safnast fyrir í rými á enda beltis (mynd frá Jacopa, 2018) _____	24
MYND 7 Núverandi þekking á uppsprettum, áhrifum og örlögum ör- og nanóplasts í jarðvegi. Fengið frá (Hurley & Nizzetto, 2018). Uppsprettur eru helst frá landbúnaði eða áburði seyru á land, með afrennsli frá byggðum svæðum og við niðurbrot stærri plasteininga. _____	30
MYND 8 Flæðirit yfir eins þreps skólphreinsun (táknað með rauðum lit), seyrumeðhöndlun (táknað með blá- og gráleitum litum) og síðast hvernig nýta má seyruna. Afurðir sem nýta má úr ferlinu eru sýndar í lok hvers meðhöndlunarferlis, t.d. orka og áburður. _____	35
MYND 9 Skýringarmynd fyrir tveggja stiga loftfirtra gerjun (mynd Masters & Ela, 2014). _____	39
MYND 10 Grunnmunur á ferli loftháðrar og loftfirtrar gerjunar (myn af vefsíðu <i>Analysis to Maximise the Efficiency of Anaerobic Digestion - Celnis Biomass Analysis Laboratory, e.d.</i>). _____	40
MYND 11 Liðir í ferli þar sem seyra er þurrkuð, brennd, orka unnin úr ferlinu og að lokum fosfór unninn úr öskunni (mynd frá <i>Layman Report: sludge2energy A way to energy self-sufficient sewage treatment plants, 2011</i>). _____	42
MYND 12 Gróðurþekja þar sem seyra var felld niður í jarðveginn í eitt skipti á afrétti í Hrunamannahreppi. Gróðurþekja jókst úr 18% í 58% (Jóhannsson o.fl., 2017). _____	44
MYND 13 Þekja gróins yfirborðs í meðferð lífræns úrgangs á fimm ára tímabili. Þekja mosa og fléttna er um 30-60% af heildarþekju en annars eru grös mest áberandi (Landgræðslan, 2017). _____	45
MYND 14 Stærð virkra landgræðsluvæða Landgræðslu Íslands (græn þekja) og landþörf fyrir seyru í 20 ár (rauðir hringir). Nánar tiltekið sést hve mikið land þarf fyrir seyru sem fellur til á 20 árum frá þeim þéttbýlisstöðum sem falla undir íslenskt sérákvæði um að síun jafngildi eins þreps hreinsun. _____	46
MYND 15 Úrgangur sem auðlind. Afurðirnar, köfnunarefni, fosfór og orka, sem myndast við eins þreps hreinsun sýnd í tonnum og MWh á ári. Sýnt er hvað hægt er að nýta afurðirnar í við mismunandi nýtingarferli, annars vegar í gasframleiðslu og hins vegar landgræðslu. Einnig er sýnt að við uppgræðslu lands með seyrunni yrði árleg kolefnisbinding sem samsvarar árlegum akstri 2.400 fólksbifreiða. _____	58
MYND 16 Lausnir sem mælt er með í þessari skýrslu uppfylla sex af Heimsmarkmiðunum, markmiðum Sameinuðu þjóðanna um sjálfbæra þróun. _____	59

TÖFLUSKRÁ

TAFLA 1 Skilgreining á hreinsiaðferðum skv. reglugerð (nr. 798/1999) þar sem grófsíun er minnsta mögulega hreinsun og eins þreps hreinsun, tveggja þrepa hreinsun og þriggja þrepa hreinsun eru ítarlegri hreinsiaðferðir á skólpi.	12
TAFLA 2 Magn skólps í persónueiningum (PE) frá þeim þéttbýlisstöðum sem falla undir íslenskt sérákvæði um að síun jafngildi eins þreps hreinsun. Upplýsingar eru fengnar úr stöðuskýrslum Umhverfisstofnunar um fráveitumál á Íslandi frá 2010 og 2014 (Umhverfisstofnun, 2017).	18
TAFLA 3 Dæmigert efnainnihald seyru úr eins þreps hreinsun (Fytili & Zabaniotou, 2008) (Colón o.fl., 2017) *(Winther, Henze, Linde, & Jensen, 1998).	28
TAFLA 4 Leyfilegur styrkur þungmálma í seyru fyrir notkun á landi innan Evrópusambandsins. Í síðasta dálknum eru dæmigerð gildi fyrir seyru frá eins þreps skólphreinsistöð (Karvelas, Katsoyiannis, Constantini, 2003).	28
TAFLA 5 Magn seyru sem fellur til frá þeim þéttbýlum sem falla undir íslenskt sérákvæði um að síun jafngildi eins þreps hreinsun.	33
TAFLA 6 Samantekt á aðferðum til þykkingar og úrvötnunar seyru. Fjallað er um þær aðferðir sem merktar eru með breiðu lettri, beltrapressusíu, þyngdarafslíu og skilvindu.	36
TAFLA 7 Landsvæði sem þarf hvert ár ef notast á við seyru sem lífrænan áburð, miðað við upplýsingar frá Landgræðslunni, þ.e. 150 kg-N/ha, sem er það magn seyru sem jarðvegur er almennt talinn þola. Reiknað er með 32,5 g/kg af köfnunarefni fyrir seyru (3,25% af þe), sem er miðgildi þess sem Winther, o.fl.(1998) gefa upp fyrir seyru frá eins þreps hreinsun.	47
TAFLA 8 Mat á þáttum sem koma að hagkvæmni nýtingar seyru með landgræðslu. Þættirnir eru litakóðaðir eftir því hvort þeir eru taldir jákvæðir eða neikvæðir (grænt=jákvætt, gult=fremur jákvætt, rautt=neikvætt) *Kolefnislosun er til umfjöllunar í kafla 6.3, kolefnisspor valkosta.	48
TAFLA 9 Mat á þáttum sem koma að hagkvæmni nýtingar seyru til gasframleiðslu. Þættirnir eru litakóðaðir eftir því hvort þeir eru taldir jákvæðir eða neikvæðir. (grænt=jákvætt, gult=fremur jákvætt, rautt=neikvætt) Kolefnisspor er til umfjöllunar í kafla 6.3.	49
TAFLA 10 Mat á þáttum sem koma að hagkvæmni nýtingar seyru með brennslu. Þættirnir eru litakóðaðir eftir því hvort þeir séu jákvæðir eða neikvæðir. (grænt=jákvætt, gult=fremur jákvætt, rautt=neikvætt) *Kolefnisspor er til umfjöllunar í kafla 6.3, kolefnisspor valkosta.	50
TAFLA 11 Verkfæri við val á aðferðum við nýtingu seyru og förgun seyru. Í töflunni eru mögulegar aðferðir listaðar upp eftir því hver afurð eða auðlind aðferðinnar er (áburður eða orka). Einnig er sýnt hversu mikið af þessari afurð fellur til við mismikla losun frá þéttbýlum. Allar heimildir má sjá í umfjöllun um tiltekna aðferðir í 5. kafla.	52
TAFLA 12 Samanburður á kostnaði við helstu hreinsistöðvar í Skandinavíu. MISK stendur fyrir milljónir íslenskra króna.	53
TAFLA 13 Samantekt yfir kostnað, fýsileika, hreinleika lokaafurðar, kolefnisspor og kosti þess að nýta seyru með uppgræðslu lands, gasframleiðslu eða brennslu. Að lokum er yfirlit yfir möguleika yfir nauðsynlega formeðhöndlun og samantekt yfir ferli.	55

1 INNGANGUR

Reglugerð um fráveitur og skólp nr. 798/1999 (hér eftir kölluð reglugerð um fráveitur og skólp) byggir á tilskipun Evrópusambandsins. Reglugerð um fráveitur og skólp var sett árið 1999 og áttu öll þéttbýlissvæði að hafa fullnægjandi skólphreinsun í lok árs 2005. Í lok árs 2014 voru 74% íbúa á Íslandi með einhverskonar skólphreinsun, þó vísbendingar bendi til að í sumum tilvikum uppfylli hreinsun ekki kröfur (Umhverfisstofnun, 2017).

Markmið reglugerðarinnar er:

„að vernda almenning og umhverfið, einkum vatn og umhverfi þess, gegn mengun af völdum skólps. Einnig er það markmið að koma á samræmdri og kerfisbundinni söfnun, meðhöndlun og hreinsun skólps frá íbúðarbyggð, svo og hreinsun skólps frá tilteknum atvinnurekstri“ (reglugerð nr. 798/1999 um fráveitur og skólp).

Í reglugerð um fráveitur og skólp er séríslenskt ákvæði sem kveður á um að síun jafngildi eins þreps hreinsun. Í skýrslu þessari er fjallað um þær breytingar sem gera þyrfti ef bæta ætti hreinsun úr grófsíun í eins þreps hreinsun. Með bættri fráveituhreinsun væri gerð atlaga að því að minnka umhverfisáhrif skólplösuvar á viðtaka. Gerð viðtaka ræður því hversu mikil áhrif næringarefni og lífrænt efni hafa á súrefnismettun viðtakans. Rannsóknir á skólpi viðtaka Reykjavíkur, Faxaflóa, hafa ekki sýnt fram á neikvæð áhrif næringarefna eða lífræns efnis úr skólpi á súrefnismettun viðtakans (Guðjón Atli Auðunsson, 2015). Hins vegar eru fleiri mengunarefni í skólpi en næringarefni og lífrænt efni, til að mynda örplast og lyfjaleifar. Örplast er talið hafa áhrif á lífríki og safnast upp á norðurslóðum (Sigurðsson & Halldórsson, 2019)(Cózar o.fl., 2017) og einnig hafa rannsóknir á áhrifum lyfjaleifa á lífríki sjávar sýnt fram á neikvæð áhrif mismunandi lyfja (Kallenborn o.fl., 2008) (Bergheim o.fl., 2010)(Bach o.fl., 2010) (Bach o.fl., 2009). Í því samhengi er vert að taka fram að niðurbrot lyfjaleifa tekur lengri tíma á norðurslóðum vegna hins kalda loftslags og minna sólarljóss (Kallenborn o.fl., 2008). Um þessi atriði verður fjallað nánar í þessari skýrslu.

1.1 Reglugerð um fráveitur og skólp

Reglugerð um fráveitur og skólp kveður á um að skólp skuli hreinsa með a.m.k. eins þreps hreinsun ef viðtaki er skilgreindur sem síður viðkvæmur. Síður viðkvæmir viðtakar eru skv. reglugerðinni ármynni

og strandsjór þar sem endurnýjun vatns er mikil og losun tiltekinnar mengunar er ekki talin hafa skaðleg áhrif á umhverfið. Magn skólps er talið í persónueiningum (PE) sem samsvarar magni lífrænna efna, næringarsalta og annarra efna sem einstaklingur er talinn losa frá sér á sólarhring.

Í stöðuskýrslu Umhverfisstofnunar um fráveitumál á Íslandi árið 2014 (UST, 2017) kemur eftirfarandi fram:

„Möguleikinn á að skilgreina viðtaka síður viðkvæman byggir á undantekningu frá meginreglum reglugerðar um fráveitur og skólp, sbr. 7. gr. og 20. gr. reglugerðarinnar og á B. hluta viðauka II í sömu reglugerð. Eins þreps skólphreinsun nægir í stað tveggja þrepa ef viðtaki hefur fengið slíka skilgreiningu. Á móti vægari losunarkörfum kemur þó vöktun eða rannsóknir í viðtakanum til að staðfesta að skólplosunin hafi ekki óæskileg áhrif.“ Jafnframt segir að ekki sé hægt að skilgreina viðtaka í ferskvatni sem síður viðkvæman viðtaka en það sé hins vegar hægt með opna flóa, ármynni eða annan strandsjó ef endurnýjun vatns er þar mikil og ekki hætta á ofnæringu eða súrefnisskort.

Heimilt er að nota eins þreps hreinsun skólps sem losað er í viðtaka sem skilgreindir hafa verið sem síður viðkvæmir. Nánar tiltekið er heimilt að nota eins þreps hreinsun þegar eftirfarandi á við:

- Á strandsvæðum sem skilgreind hafa verið sem síður viðkvæm, og losun frá þéttbýli er á bilinu 10.000-150.000 PE.
- Fyrir ármynni þegar losun frá þéttbýlum er á bilinu 2.000-10.000 PE.

Þó má beita eins þreps hreinsun á skólp frá þéttbýli með meira en 150.000 PE sem losað er í síður viðkvæman viðtaka í sjó ef hægt er að sýna fram á að þróaðri hreinsiaðferðir hafi engin umhverfisbætandi áhrif. Hins vegar kveður reglugerðin á um að notkun síubúnaðar til hreinsunar skólps sé sambærileg eins þreps hreinsun á síður viðkvæmum svæðum.

Skilgreiningar á grófhreinsun, eins, tveggja og þriggja þrepa hreinsun má sjá í töflu 1. Eins þreps hreinsun og grófsíun eru þær hreinsiaðferðir sem eru mest til umfjöllunar í þessari skýrslu.

TAFLA 1 Skilgreining á hreinsiaðferðum skv. reglugerð (nr. 798/1999) þar sem grófsiun er minnsta mögulega hreinsun og eins þreps hreinsun, tveggja þrepa hreinsun og þriggja þrepa hreinsun eru ítarlegri hreinsiaðferðir á skólpi.

HREINSIADFERÐ	KRÖFUR SAMKVÆMT REGLUGERÐ	HREINSIKRÖFUR
Grófsiun	Fastir hlutir fjarlægðir úr fráveituvatni, með rist, síu eða öðrum búnaði. Kemur í veg fyrir sjónmengun í viðtaka.	Hreinsun grófra agna og rusls.
Eins þreps hreinsun	Krafa um fjarlægingu svifagna um a.m.k. 50% og lífræn efni (BOD ₅ -gildi) lækkuð um a.m.k. 20%, þ.e. líffræðileg súrefnisþörf við niðurbrot lífrænna efna með staðlaðri aðferð. Náð með aflfræðilegum og/eða efnafræðilegum aðferðum þar sem svifagnir eru botnfelldar.	Svifagnir: Lækkun um 50% Lífræn efni (BOD ₅ -gildi): Lækkun um 20%
Tveggja þrepa hreinsun	Skólþ hreinsað með eins þreps hreinsun og frekar með líffræðilegri hreinsun þar sem botnfalling eða önnur ferli fjarlægja svifagnir og lífræn efni (BOD ₅ gildi) enn frekar, eða um 90% og 70-90 % af upphafsgildi.	Svifagnir: Lækkun 90% Lífræn efni (BOD ₅ -gildi): Lækkun um 70-90%
Þriggja þrepa hreinsun	Er ekki skilgreind í núgildandi reglugerð en notast er við hugtakið ítarlegri hreinsun en tveggja þrepa hreinsun. Þriggja þrepa hreinsun er notuð víða í Evrópu og á við um hreinsun næringarefna, örvera eða jafnvel annarra efna úr skólpi (Umhverfisstofnun, 2017) .	

1.2 Auðlind eða úrgangur

Við hreinsun skólps fellur til seyra sem í dag er fargað í flestum tilfellum. Litið er á seyrur sem úrgangur en í raun er seyrur næringarefnarík og orkumikil og því er hægt að hafa af henni gagn.

Ef skólpi er dælt til sjávar er mikilvægum næringarefnum sóað sem til dæmis mætti nýta á landi til uppgræðslu lands. Tvö mikilvæg næringarefni fyrir plöntur eru köfnunarefni (N) og fosfór (P) en seyrur er rík af þessum næringarefnum. Seyrur er til að mynda önnur stærsta uppspretta fosfórs á eftir beinmerg (Shaikh o.fl., 2018). Náttúrulegar fosfórbirgðir jarðar eru takmarkaðar en hringrás fosfórs hefur verið brotin með hraðari notkun fosfórs en myndun í náttúrunni. Seyrur er einnig rík af köfnunarefni sem er líka mikilvægt næringarefni fyrir plöntur.

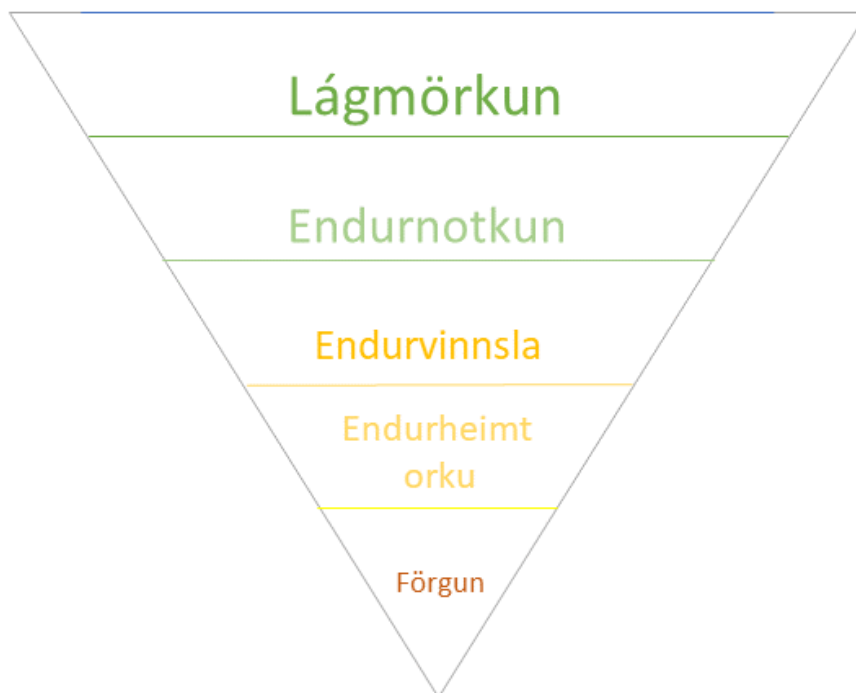
Í ljósi þess að næringarefni í seyrur eru í raun takmörkuð auðlind ættu ferli við hreinsun og meðhöndlun skólps að vera í samræmi við hringrásarhagkerfi og loka hringrás næringarefna með því að koma þeim í jarðveg í stað þess að missa þau til sjávar.

Þetta á einnig við um orku því seyrur er orkurík og því hægt að nýta sem orkugjafa. Orkuna er hægt að nýta í eldsneyti, húshitun eða raforku. Ein helsta áskorun samfélaga fyrir staðgengil jarðefnaeldsneytis er hagkvæm orka og minnkun kolefnissþors orku. Þessu má ná með samnýtingu förgunar á seyrur og orkuframleiðslu. Því má líta á skólpi og seyrur sem auðlind.

1.3 Förgun eða nýting seyrur

Evróputilskipun um skólphreinsun (e. Urban Waste Water Treatment Directive 91/271/EC) var innleidd árið 1991 en við aukna hreinsun skólps í Evrópu jókst framleiðsla seyrur um 50% (þurrefnisinnihald) (Kelessidis Alexandros & Stasinakis, 2012). Hafa þarf í huga hvað gera eigi við þá seyrur sem til fellur við aukna skólphreinsun. Forgangsröðun úrgangsstjórnunar (mynd 1) lýsir með myndrænum hætti hvernig hvatt er til að lágmarka viðkomandi efni, nýta efnið sem oftast og sem lengst, endurvinnna vöruna og ef óumflýjanlegt er að farga vörunni að endurheimta orku úr efninu. Jafnframt er hvatt til nýtingar seyrur

í reglugerð um fráveitur og skólp (nr. 798/1999 gr. 7.4) í samræmi við forgangsröðun úrgangsstjórnunar.



MYND 1 Forgangsröðun úrgangsstjórnunar.

Á Íslandi er kveðið á um í reglugerð um meðhöndlun úrgangs (nr. 737/2003) að styðjast skuli við eftirfarandi forgangsröðun að eins miklu leyti og mögulegt er:

1. Draga úr myndun úrgangs (lágmörkun)
2. Endurnotkun
3. Endurnýting (endurvinnsla og endurheimt orku)
4. Endanleg förgun

Markmiðið er að minnka magn og koma í veg fyrir förgun úrgangs. Ef ekkert af fyrstu þremur þrepunum er mögulegt er reynt að farga úrgangi svo neikvæð áhrif á umhverfið verði sem minnst og þannig að orka eða annað sem nýta megi úr úrgangi sé nýtt (Kelessidis og Stasinakis, 2012). Evrópusambandið hefur bannað urðun vökva og ómeðhöndlaðs úrgangs en sett takmarkanir við urðun lífræns efnis. Því er leitast við að fylgja forgangsröðun úrgangsstjórnunar við nýtingu og förgun seyru (On Landfill of Waste, nr. 1999/31/EC, 1999). Reglugerð um meðhöndlun úrgangs (Reglugerð um meðhöndlun úrgangs, nr. 737/2003, 2003) tilgreinir að seyra teljist til lífræns úrgangs. Landsáætlun setur markmið um takmörkun lífræns heimilisúrgangs sem nær á urðunarstað, hlutfalli sem skal náð er miðað við það magn lífræns úrgangs sem kom á urðunarstað 1995. Árið 2020 skal heildarmagn komið niður í 35% af því magni.

1.4 Uppsprettur örplast og lyfjaleifa til sjávar

1.4.1 Örplast

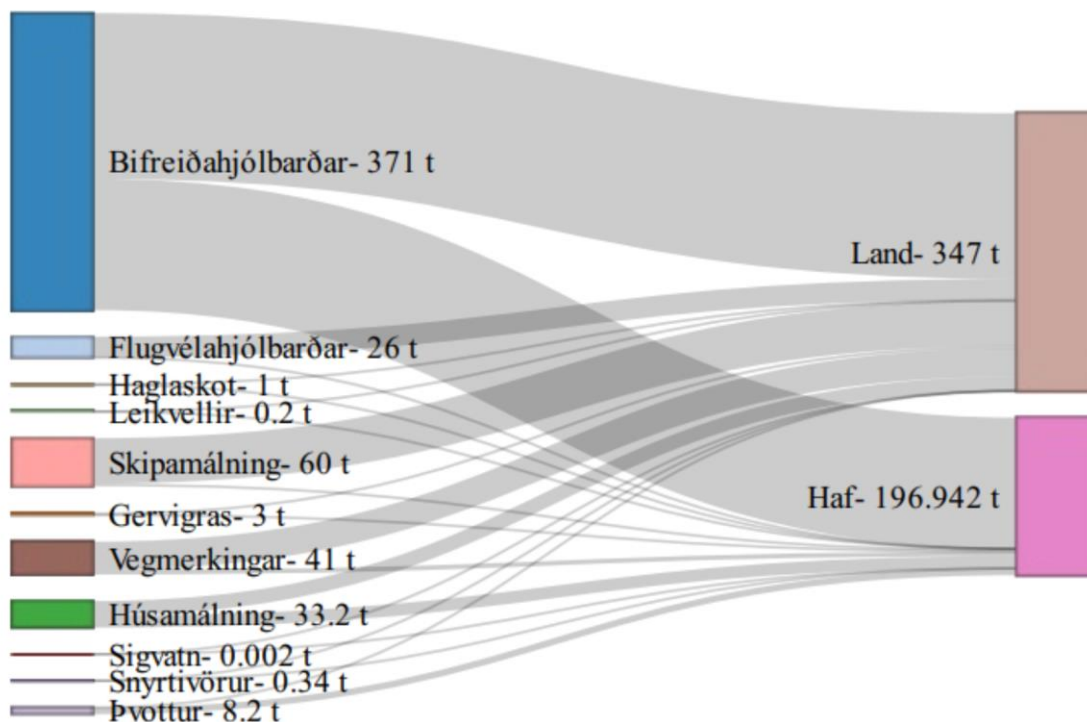
Örplast er oft skilgreint sem samheiti yfir allar plastagnir minni en 5 mm í þvermál í öllum víddum (Sigurðsson & Halldórsson, 2019) (World Health Organisation, 2019) (Prata, 2018)). Örplast er hins vegar mjög fjölbreytt og erfitt að skilgreina, þar sem örplastsagnir geta verið af mismunandi toga hvað varðar efnasamsetningu, lögun, lit og stærðir (World Health Organisation, 2019) (Bergmann o.fl., 2015). Plast er ein helsta uppgötvun 20. aldar og er gerð úr fjölliðum og bætiefnum. Fjölliður eru gerðar úr samsetningu margra einliða og því eru til fjölmargar gerðir plasts eftir gerð einliða og mismunandi fjölda samsettra einliða (Sigurðsson & Halldórsson, 2019). Sérstakur eiginleiki plasts er hvað efnið brotnar erfiðlega niður í náttúrunni og safnast því fyrir. Hugtakið örplast varð til þegar áhyggjur vísindamanna beindust að smáum ögnum sem fundust í hafi og virtust slitþolnar í sjó (Sigurðsson & Halldórsson, 2019). Hægt er að flokka örplast í fyrsta stigs og annars stigs örplast, eftir uppruna þess. Fyrsta stigs örplast er framleitt í skala þar sem þvermál er 5 mm eða minna, en annars stigs örplast verður til við niðurbrot stærri eininga úr plasti (Westphalen & Abdelrasoul, 2018) (World Health Organisation, 2019) (Bergmann o.fl., 2015). Árlega er um 0,8-2,5 milljónir tonna af örplasti losað til sjávar í heiminum (Sigurðsson & Halldórsson, 2019). Örplastsagnir er hægt að flokka í mismunandi stærðarflokka:

- <50 µm (nanóplast)
- 50-500 µm (mikróplast)
- 500-5000 µm (mesóplast)

Hver stærðarflokkur hagar sér mismunandi í umhverfinu, t.d. eru minni plastagnir með hlutfallslega stærra yfirborðsflatarmál og því hlutfallslega meiri viðloðun eiturefna á yfirborði minni örplastsagna (Mattsson, 2015) (Sigurðsson & Halldórsson, 2019).

Mynd 2 sýnir uppsprettur örplasts og hve mikið fer til sjávar og á land á Íslandi, fengið úr skýrslu sjávarlíftækniisetsins BioPol og Hafrannsóknarstofnunar um örplast í hafinu við Ísland. Helstu uppsprettur eru frá dekkjasliti, vegmerkingum, málningu, gervigrasi, þvotti, skósólum og snyrtivörum. Ein stærsta uppsprettan er frá umferð, þar sem hjólbarðar og vegamálning innihalda plast sem brotna niður í örplast við slit, um 4/5 af allri örplastlosun. Málning er gerð úr fjölliðum og slitnar með tíð og tíma, bæði úti-, innanhúss- og skipamálning. Þvottur á fatnaði er einnig uppsprettu örplasts, en þræðir úr fatnaði losna við þvott og til er ógrynni fatnaðar framleitt úr gerviefnum (plastþræðir) (Sigurðsson & Halldórsson, 2019). Helstu farleiðir örplasts til sjávar við Ísland eru í gegnum skólþ og ræsi (Sigurðsson & Halldórsson, 2019) og því ástæða til að skoða áhrif aukinnar hreinsunar skólþs á fjarlægingu örplasts.

Helstu hættur vegna örplasts fyrir lífríki í sjó eru innbyrðing og uppsöfnun. Uppsöfnun plasts og örplasts hefur fundist í örverum, hryggleysingjum, fiski, spendýrum og fuglum og hefur verið sýnt fram á að örplast sé í fæðukeðju mannsins. Örplast hefur bæði verið sannað skaðlegt vegna viðloðunar þrávirkra lífrænna efna, þungmálma og annarra skaðlegra efna við örplastsagnir og vegna bætiefna sem notuð eru í framleiðsluferli plasts (Kärrman o.fl., 2016). Bætiefni í plastefni eru nauðsynleg og ná fram fjölbreytileika plasts, vörn gegn niðurbroti og gefur aukinn styrk. Gera má ráð fyrir að 7% þyngdar plasthluta séu bætiefni (Sigurðsson & Halldórsson, 2019).



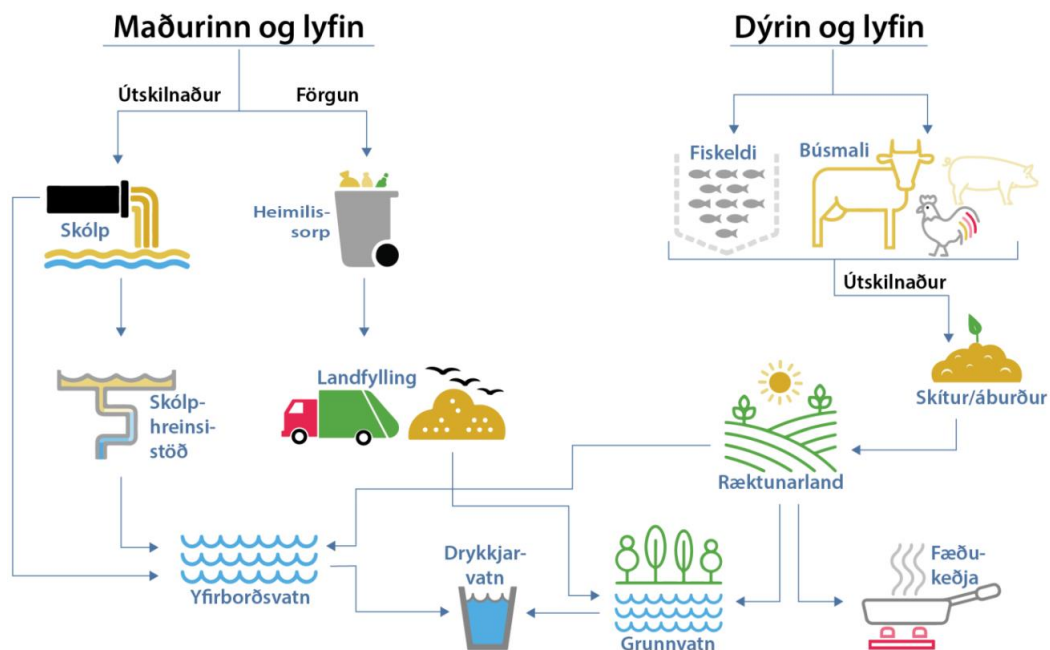
MYND 2 Uppsprettur örplasts á Íslandi í haf og á land. Upplýsingar eru fengnar úr skýrslu BioPol um örplast í hafinu við Ísland (Sigurðsson & Halldórsson, 2019) .

1.4.2 Lyfjaleifar

Lyfjaleifar geta haft neikvæð áhrif á umhverfið en ein megin leið lyfjaleifa til sjávar er með skólpi. Lyf eru skilgreind sem hverskonar efni eða efnasamsetningar sem eru til þess gerð að koma að gagni við meðferð, til að fyrirbyggja sjúkdóma eða við endurhæfingu eftir sjúkdóma, ýmist hjá mönnum og dýrum. Sum leysast ekki fyllilega upp í líkama sjúklings og er því skolað út með mannlegum úrgangi - aðallega þvagi - og fara um fráveitukerfið til viðtaka (Vasskog o.fl., 2009). Leifar lyfja sem berast með einum eða öðrum hætti í fráveitu eru kallaðar lyfjaleifar. Hreinlætis- og snyrtivörur (e. Pharmaceutical and Personal care products, PPCPs) eru oft einnig teknar með í þennan flokk og skilgreint sem lyf notuð til heilsuþóta og snyrtivörur (WQA, 2013). Í sumum hreinlætis- og snyrtivörum eru einnig efni sem aukið geta á útbreiðslu sýklalyfjaónæmis í örverum (Kallenborn o.fl., 2008) (Büyüksönmez & Sekeroglu, 2005).

Lyf geta borist með þessum hætti í frárennsliskerfi en einnig frá búfjárhaldi. Einnig geta lyfjaleifar borist með förgunarferlum lyfja og frá fiskeldi. Frárennslí losað í vatnaviðtaka getur því innihaldið háan styrk lyfjaleifa og valdið hættu fyrir ferskvatn og lífríki (sjá mynd 3). Stærsta uppspretta lyfjaleifa, sem berast til sjávar eða annarra viðtaka, er í gegnum skólphreinsistöðvar þar sem hreinsun nær ekki að fjarlægja viðkomandi efnasambönd. Þetta á þó ekki við um háþróaðar hreinsiaðferðir en þær er hvergi að finna í skólphreinsistöðvum á Íslandi (Jensen o.fl., 2019).

Í ofanálag valda takmarkað sólarljós og kalt loftslag hægara niðurbroti lyfjaleifa í náttúrunni á norðlægum slóðum (Gunnarsdóttir, 2013) (Kallenborn o.fl., 2008).



MYND 3 Ferill lyfjaleifa út frá mönnum og dýrum út í umhverfi og vatn (Sophie Jensen, Helga Gunnlaugsdóttir og Hrönn Ó. Jörundsdóttir, 2019).

1.5 Tilgangur og markmið

Við eins þreps fráveituhreinsun, í stað grófhreinsunar, þarf að uppfylla eftirfarandi:

- Lækkun BOD um 20%
- Lækkun svifagna um 50%

Í skýrslunni verður farið yfir þær lausnir sem þykja raunhæfar fyrir aðstæður hér á landi sem notast mætti við til að ná þessum markmiðum eins þreps hreinsunar. Við aukna hreinsun verður seyrummyndun einnig meiri. Eftirfarandi spurningum þarf að svara varðandi aukna hreinsun og seyrummyndun:

- Hver er umhverfislegur ávinningur þess að auka hreinsun á þeim stöðum þar sem eins þreps hreinsunar er krafist þannig að lækkun BOD verði 20% og lækkun svifagna 50%?
- Ef horft er til annarra mengunarefna í skólpi, t.d. örplasts og lyfjaleifa, hversu mikil hreinsun á slíkum efnum fer fram við eins þreps hreinsun? Með öðrum orðum verður þeirri spurningu svarað hvort íslenskir skólpviðtakar verði fyrir minni áhrifum mengunar af völdum slíkra efna ef komið yrði á eins þreps hreinsun í stað grófhreinsunar, t.d. í Reykjavík.
- Hversu mikilli aukningu í seyruframleiðslu má búast við?
- Hvaða meðhöndlunaraðferðir fyrir seyru eru færar á Íslandi?
- Hver yrði kostnaður við að koma á betri hreinsun skólps?
- Hver yrði kostnaður við að meðhöndla aukið magn seyru?
- Hver yrðu áhrif ofangreindra breytinga á kolefnislosun Íslendinga?

2 STAÐIR OG SKÓLPMAGN

2.1 Þéttbýli þar sem auka þyrfti hreinsun

Með því auka hreinsun á þeim stöðum sem eru með losun í sjó sem nemur meiru en 10.000 PE eða losun í ármynni eða yfirborðsvatn sem nemur meira en 2.000 PE, mun þurfa að minnka BOD₅ um 20% og svifagnir um 50%. Hér verður farið yfir hvaða þéttbýli þetta á við um.

Í stöðuskýrslu Umhverfisstofnunar eru nefndir 31 staður með losun yfir 2.000 PE en enginn þessara staða eru með losun í ármynni. Fimm þessara staða losa í ferskvatn og þar er því krafa um tveggja þrepa hreinsun, þ.e. Selfoss, Hveragerði, Hella, Egilsstaðir og Hvolsvöllur, og eru því ekki teknir með í þessa greiningu. Tíu staðir eru með losun yfir 10.000 PE í strandsjó (Umhverfisstofnun, 2017).

Í töflu 2 kemur fram um hvaða þéttbýli er að ræða og skólp magn sem losað var árin 2010 og 2014 skv. samantekt frá Umhverfisstofnunar. Einnig má sjá núverandi stöðu skólphreinsunar á þessum stöðum og aðstöðu á þessum stöðum fyrir bættu skólphreinsun. Þetta er metið út frá þekkingu höfunda á fráveitumálum á viðkomandi þéttbýlisstöðum og stöðuskýrslu frá Umhverfisstofnun. Flest þeirra þéttbýla sem fram koma í töflu 2 eru án skólphreinsunar. Aðstaða til að bæta hreinsun er skilgreind með orðunum „Góð“, „Í meðallagi“, „Erfið“ eða „Ekki vitað“ sem lýsir hvort breytingar á núverandi fráveitukerfi og skólphreinsun séu auðveldar eða erfiðar hvað landrými og framkvæmd varðar.

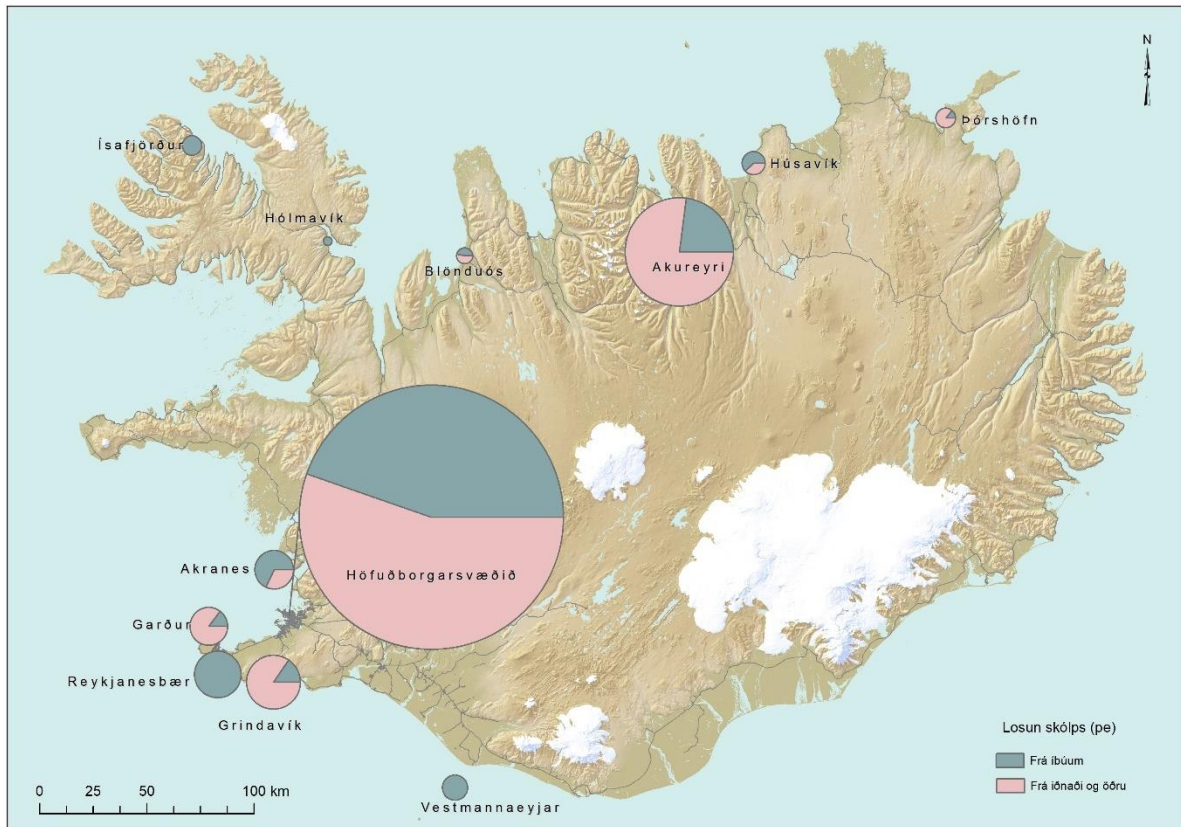
Gögn um skólp magn árin 2010 og 2014 fyrir Vestmannaeyjar, Húsavík, Þórshöfn, Ísafjörð, Blönduós og Hólmavík eru ólík og árið 2014 falla þau undir sett viðmiði í reglugerð (10.000 PE). Ekki er vitað hvort gögn séu áreiðanlegri fyrir 2010 eða 2014.

Akranes og Garður losa skólp sem nemur minna 10.000 PE en eru rétt undir þessu viðmiði og því líklegt að fólksfjölgun og/eða þróun iðnaðar muni auka losun skólps svo hún nemi meira en 10.000 PE. Því er skólp magn þessara þéttbýla sýnd í töflu 2 en ekki reiknað með til heildarmagns skólps sem stuðst er við í þessari skýrslu.

TAFLA 2 Magn skólps í persónueiningum (PE) frá þeim þéttbýlisstöðum sem falla undir íslenskt sérákvæði um að síun jafngildi eins þreps hreinsun. Upplýsingar eru fengnar úr stöðuskýrslum Umhverfisstofnunar um fráveitumál á Íslandi frá 2010 og 2014 (Umhverfisstofnun, 2017).

ÞÉTTBÝLI	SKÓLPMAGN 2010 (PE)	SKÓLPMAGN 2014 (PE)	ÍBÚAFJÖLDI 2014	HREINSUNARÁÐFERÐ	AÐSTAÐA TIL BÆTTRAR HREINSUNAR
Höfuðborgarsvæðið	507.308	465.934	208.102	99% eins þreps hreinsun, sérákvæði um að síun jafngildi eins þreps hreinsun.	Í meðallagi, byggja þarf á landfyllingum
Akureyri	50.000	78.000	17.915	Engin hreinsun (gangsetning hreinsistöðvar áætluð haust 2020)	Góð
Grindavík	24.946	19.244	2.991	Engin hreinsun	Í meðallagi
Vestmannaeyjar	15.000	4.272	4.272	Eins þreps hreinsun	Ekki vitað
Reykjanesbær utan Hafna	13.972	14.438	14.438	44% skólps meðhöndlað með eins þreps hreinsun, annars engin hreinsun, sérákvæði um að síun jafngildi eins þreps hreinsun.	Í meðallagi
Húsavík	12.184	3.530	2.184	Engin hreinsun	Ekki vitað
Þórshöfn	15.655	2.510	358	Engin hreinsun	Ekki vitað
Ísafjörður	15.090	2.500	2.543	Engin hreinsun	Ekki vitað
Blönduós	15.636	1.705	796	88% skólps meðhöndlað með eins þreps hreinsun, sérákvæði um að síun jafngildi eins þreps hreinsun.	Ekki vitað
Hólmavík	27.880	496	496	Engin hreinsun	Ekki vitað
(Akranes*)	(9.953*)	9.953	6.754	Eins þreps hreinsun	Í meðallagi
(Garður*)	(9.589*)	9.589	1.425	Ekki vitað	Ekki vitað
Heildarmagn	697.671 (717.213**)	592.619 (612,161**)	262.274	-	

*Þéttbýli þar sem losun í viðtaka er rétt neðan við kröfu um eins þreps hreinsun ** Heildarmagn með Akranesi og Garði.



MYND 4 Skólp magn í persónueiningum (PE) frá þeim þéttbýlisstöðum sem falla undir íslenskt sérákvæði um að síun jafngildi eins þreps hreinsun. Magn skólps er sýnt með stærð kökurits þar sem einnig kemur fram hve hátt hlutfall losunar er frá íbúum annars vegar og hins vegar frá íðnaði og öðru en íbúum.

3 MÖGULEGAR AÐFERÐIR TIL AUKINNAR SKÓLPFREINSUNAR

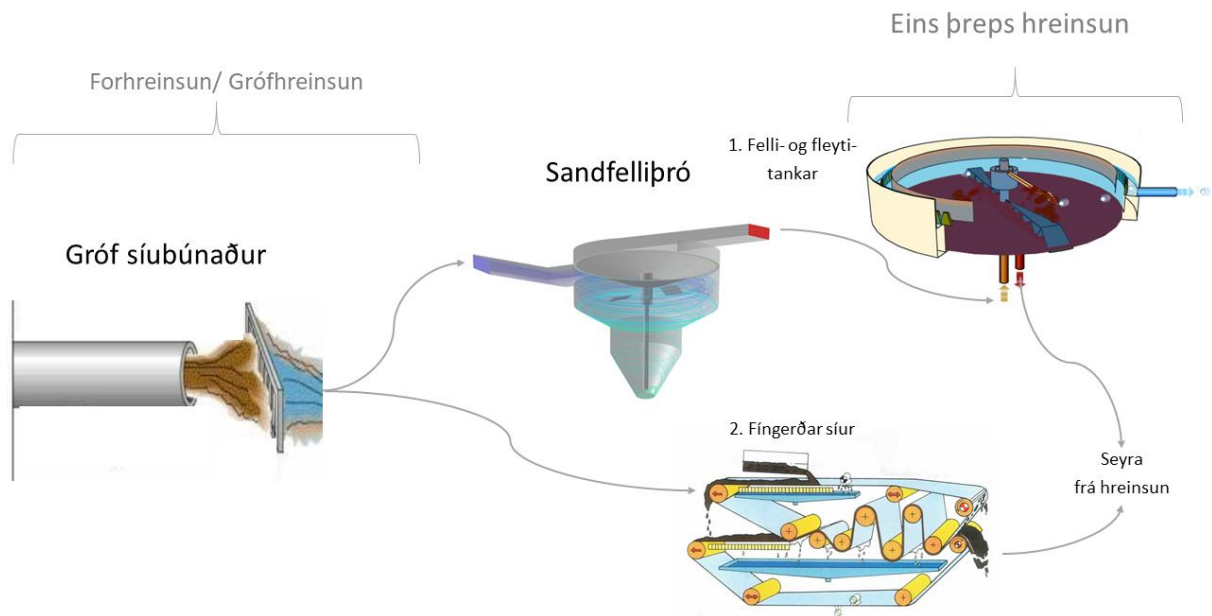
Við eins þreps hreinsun er gerð krafa um minnkun svifagna um a.m.k. 50% og minnkun lífræns efnis (BOD_5) um a.m.k. 20%. Þessu er náð með aflfræðilegum og/eða efnafræðilegum aðferðum þar sem svifagnir eru botnfelldar (reglugerð um fráveitur og skólp). Hér verður farið yfir mögulegar hreinsiaðferðir til þess að ná þessum viðmiðum.

Á mynd 5 má sjá þau ferli sem teljast til eins þreps hreinsunar. Fyrsta skref hreinsunar er grófsíun á skólpi og kallast það forhreinsun. Fjallað verður um tvo möguleiki fyrir næsta skref hreinsunar, annars vegar felli- og fleytiþró með sandfelliþró, og hins vegar fíngerðar síur. Hreinsun skólps með þessum skrefum uppfyllir kröfur reglugerðar um fráveitur og skólp um eins þreps hreinsun. Í frekari hreinsun er þessi tækni notuð við fyrsta þrep hreinsunar með frekari hreinsun, t.d. líffræðilegri hreinsun, þ.e. í tveggja og þriggja þrepa hreinsun (Ekster & Pena, 2000).

Þegar skólp flæðir inn í skólphreinsistöð fer það fyrst í gegnum síuristar (e. screens) sem sía frá skólpinu gróft rusl. Þetta kemur meðal annars í veg fyrir að dælur skemmist, lagnir stíflist og fjarlægir allt sem ekki á heima í skólpi en hefur þó ratað með ofan í salerni eða niðurföll. Þetta geta verið aðskotahlutir eins og blautþurrkur, dömubindi, trjágreinar o.fl. Síuristarnar eru oftast röð samsíða stanga með 2-7 cm millibili. Stundum eru ristarnar fleiri en ein og eru þær seinni þá fíngerðari en þær á undan (Masters & Ela, 2014). Ruslið sem safnast úr ristunum er urðað hér á landi en hluti þess fer til brennslu (2%) (Umhverfisstofnun, 2017).

Úr ristunum flæðir skólpið í sandfelliþrær (e. grit chambers) þar sem botnfelling á sér stað. Skólpið dvelur nógu lengi (oft 20-30 sek. en allt upp í nokkrar mínútur) í sandfelliþrónni til þess að sandur og mül falli út en nógu stutt til þess að léttari, lífræn efni geri það ekki (Masters & Ela, 2014). Hér lýkur því sem almennt er kallað forhreinsun/grófhreinsun skólps (e. preliminary treatment) en vegna sérstakra ákvæða í íslenskri reglugerð um fráveitur og skólp jafngildir forhreinsunin eins þreps hreinsun (e. primary treatment) ef losað er í síður viðkvæman viðtaka (reglugerð um fráveitur og skólp nr. 798/1999).

Eftir forhreinsun skólps er skólpinu dælt í felli- og fleytitanka eða fíngerða síu, þar sem lífræn föst efni eru felld frá, annars vegar í tanki og hins vegar á belti. Þessum ferlum er lýst frekar hér að neðan. Hér lýkur hinni raunverulegu eins þreps hreinsun og er skólpvatninu dælt út í viðtakann en seyran meðhöndluð með mismunandi hætti (sjá kafla 4 Meðhöndlun seyru).



MYND 5 Yfirlitsmynd yfir forhrensun og tvo mismunandi möguleika eins þreps hreinsunar skólps, 1) með felli- og fleytiþró og 2) með fíngerðri síu (unnið frá Wright, 1981).

3.1 Felli- og fleytiþrær

Felli- og fleytiþrær eru ein elsta tækni til skólphreinsunar og er enn víða notuð vegna einfaldleika og lágs rekstrarkostnaðar (Ekster og Pena, 2000).

Ef hreinsa á skólþ frekar en grófhrensun er algengt að því sé dælt í felli- og fleytitanka þar sem lífræn föst efni falla niður á botn og fita og olía skiljast frá vökvanum og fljóta á yfirborði. Tankarnir geta verið annað hvort rétthyrndir eða hringlaga. Í rétthyrndum tönkum er skólpið látið flæða frá öðrum endanum í hinn en í hringlaga tönkum flæðir það frá miðju og út á jaðarinn. Í báðum tilvikum er dvalartími skólpsins í tankinum nokkrar klukkustundir og er flæðið því nógu lítið og nógu rólegt til þess að lífrænar agnir nái að setjast á botninn og olía nái að fljóta á toppinn. Seyrunni er safnað af botnunum, fituefnum af toppnum og skólþvatninu úr miðjunni (Masters & Ela, 2014).

Eftir slíka eins þreps hreinsun hefur BOD₅ minnkað um 25-40% og heildarmagn svifagna um 50-65% (Masters & Ela, 2014) en krafa reglugerðar nr. 798/1999 er að BOD₅ hafi minnkað um 20% og heildarmagn svifagna um 50% áður en það er losað út í viðtaka.

Við hönnun felli- og fleytitanka eru lykilstærðir viðverutími (e. hydraulic detention time) og hlufall yfirborðsflatarmáls og rennslis. Metcalf & Eddy (2003) mælir því til dæmis með 32-48 m³/m².d og 1,5-2,5 tíma viðveru í tönkum. Gera má ráð fyrir lyktarmengun frá hreinsirýmum með felli- og fleytiþró þar sem viðverutíminn er hár og mikið af lífrænum efnum brotna niður við súrefnisfirrt skilyrði. Við þessar aðstæður myndast brennisteinsvetni (H₂S), sem er illa vatnsleysanlegt og leitar því í gasformi í andrúmsloft og veldur lyktarmengun (Rieth o.fl.,2005). Þetta má bæta með yfirbyggðum tönkum, þá sérstaklega innan þéttbýlis. Það eykur kostnað þó mikið sem er ein ástæða þess að slíkir tankar eru gjarnan hafðir undir berum himni í nágrannalöndum okkar, svo sem í Danmörku.

3.2 Fíngerðar síur

Nýrri tækni til eins þreps hreinsunar eru fíngerðar síur. Þessi tækni hefur mest verið notuð til afvötnunar og þykkingar á seyru eftir hreinsun skólps (López o.fl., 2015) en hefur nú í meira mæli verið notuð í stað felli- og fleytiþróa til eins þreps hreinsunar.

Fíngerðar síur virka þannig að skólp er sett á færiband sem hleypir í gegn um sig vatni en ekki föstum efnun. Vatn flæðir því gegn um færibandið en föst efni færast eftir því og eru losuð af beltinu. Beltið er oftast sjálfhreinsandi og ferlið því mjög skilvirkt. Vatnsmagn seyrunnar hefur minnkað umtalsvert þegar á enda færibandsins er komið. Fíngerðar síur krefjast minna pláss en felliprær og þar sem þær koma í einingum er auðvelt að tengja þær saman og stækka aðstöðuna ef þörf krefur. Hönnunurvinnan er því minni og uppsetningin fljótlegra en við felli- og fleytiþrær (Franchi og Santoro, 2015).

Fíngerðar síur hafa í fjölda ára verið notaðar til hreinsunar skólps í þéttbýli, til að mynda í Noregi. Í Danmörku er hins vegar algengara að notast við felliprær til að minnka styrkleika lífræns efnis í húsaskólpi.

Algengt er að skólpið sé hreinsað áður en það fer á fíngerðar síurnar og er því gjarnan hleypt í gegnum ristarsíur (2-4 mm í þvermál) og þar á eftir í loftaða sand- og fitugildru. Með þessum hætti eru stórir og smáir aðskotahlutir hreinsaðir úr skólpinu, til dæmis eyrnapinnar, tré og plast, sem og sandur og mól (Løkkegaard o.fl., 2016).

Fíngerðar síur geta ráðið við rennsli er nemur um 1.600-1.800 m³/m²-d (Jacopa, 2018) og því ljóst að minna flatarmál þarf fyrir fíngerðar síur en felli- og fleytiþrær. Á Íslandi er skólp í flestum tilfellum mikið þynnt með regn- og jarðvatni. Því henta fíngerðar síur betur en felliprær við íslenskar aðstæður.



MYND 6 Sniðmynd inn í beltasíu, sem er dæmi um fíngerða síu. Þar rennur skólp um belti og seyra safnast fyrir í rými á enda beltis (mynd frá (Jacopa, 2018))

3.3 Hreinsivirkni eins þreps hreinsunar

Við skólphreinsun er skólp skilið að í tvo fasa; annars vegar vökvasa sem rennur frá hreinsun í viðtaka og hins vegar fastan fasa, þ.e. seyru. Hér verður fjallað um hreinleika þessara afurða, hver hreinsivirkni eins þreps hreinsunar er og hve mikið af skaðlegum efnum s.s. örplasti og lyfjaleifum er talið að fari til viðtaka og hversu mikið situr eftir í seyrunni. Þannig sést ávinningur þess að auka hreinsun fyrir viðtaka og áskoranir við nýtingu eða förgun seyru.

3.3.1 Vökvasi

Í vökvasanum frá eins þreps hreinsun er búin að eiga sér stað botnfelling og fleyting fastra efna úr skólpi. Við þessi ferli minnkar lífrænt efni (BOD_5) um 25-50%, svifagnir um 50-70% og olía og fita um 65%. Köfnunarefni, fosfór og þungmálmar eru fjarlægð, ef þau eru á föstu formi en uppleyst efni verða eftir í vökvasanum og fara til viðtaka (EPA, Ireland, 1997). Samkvæmt Umhverfisstofnun Írlands er 25-75% baktería fjarlægð og pH helst óbreytt (EPA, Ireland, 1997). Hægt er að ganga út frá að 20% köfnunarefnis sé fjarlægt og 5-15% fosfórs (Pescod, 1992).

Minnkun þungmálma í skólpi er háð viðloðun svifagna og annarra efna í skólpi. Rannsókn á þungmálmum í eins þreps hreinsun með fellþró sýndi að hærri styrkur svifagna leiddi til lægri styrk þungmálma í frárennsli og að mikið rennsli hafði öfug áhrif á styrk þungmálma (Kempton o.fl., 1987). Á Íslandi hafa verið gerðar rannsóknir á styrk málma í sjó og seti, í viðtakarannsókn Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands. Málmar í seti mælast ekki í háum styrk og má rekja öll ólífræn snefilsefni nema silfur til náttúrulegra ferla, þ.e. ekki losun fráveituvatns. Silfur er hins vegar hægt að

rekja til losunar fráveitu, en styrkurinn er lágur og er ekki talinn valda hættu fyrir vistkerfi (Guðjón Atli Auðunsson, 2015).

Önnur efni sem vert er að veita athygli við hreinsun fráveituvatns eru örplast og lyfjaleifar, og er fjallað um virkni eins þreps hreinsunar til minnkunar örplasts og lyfjaleifa í eftirfarandi köflum.

Örplast

Mest af örplastsögnum 79-98% er hreinsað úr frárennslisvatni við eins þreps hreinsun en við tveggja þrepa hreinsun er 7-20% örplastsagna til viðbótar fangað. Þriggja þrepa hreinsun hefur ekki frekari áhrif á hreinsun örplasts úr frárennslisvatni (Prata, 2018).

Þetta er hlutfall fjölda agna sem eru fangaðar, minnstu síur sem eru notaðar fanga ekki minnstu agnir og því óljóst hve mikið af smáum ögnum hreinsistöð nær að fanga. Skoða þarf hvernig auka megi föngun minnstu örplastsagna (<50 µm) með því að þróa tækni sem nemur betur breytingu í styrk örplasts við hreinsun (Prata, 2018). Mest af örplasti er náð úr frárennslisvatni með því að fjarlægja föst efni með síun eða seti agna í vökvanum. Minni örplastsagnir eru líklegri til þess að sleppa til sjávar frá hreinsistöð, á meðan lengri agnir (e. fibers) er auðveldlega náð með fyrrgreindum aðferðum (Prata, 2018). Hins vegar hefur grófsíun skólps ekki áhrif á hreinsun örplasts (Kerstin Magnusson o.fl., 2016), en sem fyrr segir jafngildir notkun síubúnaðar eins þreps hreinsun hér á landi. Því má reikna með að það örplast sem berst með fráveituvatni til hreinsistöðva hér á landi fari að stærstum hluta með hreinsuðu skólpi til sjávar.

Örplast er að finna í miklu magni í fráveituvatni sem fer um skólphreinsistöðvar en þær eru misvel búnar til hreinsunar á örplasti en hlutfall hreinsunar örplasts í hreinsistöðvum er á bilinu 83-99.9% og er háð þrepum hreinsunar (Prata, 2018). Í Lysekil í Svíþjóð er skólp hreinsað með þriggja þrepa hreinsun. Þar hafa mælingar sýnt að magn örplasts í óhreinsuðu skólpi er um 15.000 örplastsagnir/m³ en magnið í hreinsuðu skólpi frá stöðinni um 8.3 örplastsagnir/m³ (Prata, 2018). Þar er hreinsun örplasts því meiri en 99,9%. Í Helsinki í Finnlandi er tveggja þrepa skólphreinsistöð og þar hefur magn örplasts í óhreinsuðu skólpi mælst um 180.000-430.000 örplastsagnir/m³ en um 4.900-8.600 örplastsagnir/m³ í hreinsuðu frárennslisvatni frá stöðinni. Hreinsun þar hefur því verið um 95-99%. Á Íslandi hefur síun örplasts frá fráveituvatni ekki mælst mikil en ekki er notast við fínar síur hér á landi heldur grófsíun. Í norrænni rannsókn á örplasti í skólpi voru örplastsagnir við Klettagarða og Hafnarfjörð taldar í inn- og útstreymi. Niðurstöður sýndu að lítið sem ekkert af örplasti er hreinsað út í íslenskum hreinsistöðvum. Í rannsókninni var hreinsun örplasts í hreinsistöðvum í Finnlandi og Svíþjóð einnig skoðuð en þar reyndist hreinsun örplasts mun betri en hér á landi og færri agnir sem náðu til sjávar. Þarna er um að ræða hreinsistöðvar sem eru búnar efnafræðilegri og lífrænni hreinsun og því mun ítarlegri hreinsun en á Íslandi (Kerstin Magnusson o.fl., 2016).

Rannsókn frá umhverfisstofnun Danmerkur sýnir að 99% örplasts er fjarlægt með fíngerðum síum (d. båndfilter) og kekkjunarefni, þegar skilyrði fyrir tveggja þrepa hreinsun eru uppfyllt. Einnig kemur fram að sama hlutfalli örplastsagna sé náð í hefðbundinni hreinsun í Danmörku, sem fer fram með fell- og fleytiþróm og tilheyrandi líffræðilegri hreinsun (Løkkegaard o.fl., 2016). Því er viðbúið að sama hlutfalli örplasts sé náð með fíngerðum síum og fell- og fleytiþróm, þ.e. 79-98%, eins og fyrr var nefnt.

Lyfjaleifar

Við eins þreps hreinsun er mun minni hreinsun lyfjaleifa og hreinsiefna (e. Pharmaceutical and Personal care products, PPCPs) en við ítarlegri hreinsun (Miege o.fl., 2009). Því er ekki að vænta að styrkur lyfjaleifa myndi lækka mikið í skólpi þótt hreinsun væri aukin úr grófhreinsun í eins þreps hreinsun. Samkvæmt Miege o.fl. (2009) nær felli- og fleytiþró 0-40% virkni við hreinsun lyfjaleifa en sú rannsókn náði til 12 mismunandi efna. Til samanburðar er minnkun lyfjaleifa og hreinsiefna muni meiri við líffræðilega hreinsun, eða um 50-90%. Luo o.fl. (2014) sýndu að brottnám lyfjaleifa í hreinsistöðum er háð gerð efna og þar með efnasamsetningu og hegðun efnanna, en í þeim 14 löndum sem skoðuð voru var minnkun lyfjaleifa og hreinsiefna um 12,5 – 100 % (Luo o.fl., 2014).

Í raun eru hefðbundnar hreinsiaðferðir ekki til þess fallnar að minnka styrkleika lyfjaleifa í skólpi, enda ekki hannaðar í þeim tilgangi (Ying o.fl., 2015) og því nauðsynlegt að ná frekari hreinsun til þess að ná þessum efnum burt (Kaur o.fl., 2019). Hefðbundnar hreinsiaðferðir eru líklega ekki besta tækni við minnkun lyfjaleifa úr frárennsli vegna stöðugleika flestra lyfjaleifa og lágs lífbrjótanleika (Ying o.fl., 2015).

Aflfræðilegar hreinsiaðferðir í skólphreinsistöðvum eru ekki jafn skilvirkar í minnkun lyfjaleifa og líffræðilegar aðferðir en skilyrði í umhverfi, líkt og hitastig og sýrustig hafa áhrif á hversu mikið niðurbrot lyfjaleifa á sér stað (Suarez o.fl., 2008). Hærra hitastig hefur sýnt jákvæð áhrif niðurbrot lyfjaleifa (Suarez o.fl., 2008), þess vegna sést til dæmis meira niðurbrot estrógena í Brasilíu, frekar en Þýskalandi (Ternes o.fl., 1999).

Aðferðir sem sýnt hefur verið fram á að geti minnkað styrkleika lyfjaleifa í skólpi eru meðal annars virkjað kolefni (e. Activated carbon), óson og ítarleg oxun (Reungoat, Escher, Macova, Keller, 2011). Sænsk samantekt á mati á ítarlegum hreinsiaðferðum sem hreinsa lyfjaleifar úr skólpi sýnir að aðferðir eins og virk lífsíun (e. Active biofiltration), tæknileg blanda af örsíun (e. ultrafilter) og virkjuðu kolefni nær mjög góðri hreinsun (>80%) á þeim efnum sem voru til viðmiðunar (Baresel o.fl., 2017). Þessar aðferðir eru hins vegar bæði kostnaðarsamar og orkufrekar (Ying o.fl., 2015) (Salsabil o.fl., 2010). Hins vegar ber að nefna að þessar aðferðir krefjast líffræðilegrar meðhöndlunar fyrir þessi ítarlegu hreinsiskref (Baresel o.fl., 2017). Því krefst uppsetning flóknari hreinsunar en krafa um eins þreps hreinsunar, sem er til umfjöllunar í þessari skýrslu.

Líkur eru á að styrkleiki lyfjaleifa sé hæstur í frárennsli sjúkrahúsa og hafa sýklalyf í frárennsli til að mynda mælst hundraðfalt hærra frá sjúkrahúsi en frá íbúðabyggð (Kümmerer, 2009)(Gunnarsdóttir, 2012). Til þess að ná frekari hreinsun og takmarka styrk lyfjaleifa í sjó er einn möguleiki því að hreinsa frárennsli sjúkrahúsa, eða ákveðinna eininga innan sjúkrahúsa, með sértækum aðferðum (Gunnarsdóttir, 2012).

Losun lyfja hefur verið mæld við stendur Íslands en þar var meðal annars lagt mat á hver styrkur lyfja væri frá fráveitu. Ákveðin lyf (fyrir manneskjur) voru skoðuð við umhverfismat á hættu frá þessum lyfjum og voru lyfin valin út frá sölutölum, vöktunarlista vatnatilskipunar ESB og áhættumati frá norrænu umhverfi og áhrifum lyfja á vatnalífríki. Niðurstöður sýndu að rannsaka þyrfti frekar styrk ibuprofens (bólagueyðandi), amoxicillins (sýklalyf), fluoxetins (geðlyf), paracetamols (verkjalyf), diclofenacs (bólagueyðandi), azithromycin (sýklalyf) og sertralins (geðlyf) (Jensen o.fl., 2019).

Sýnt hefur verið fram á að sýklalyfið amoxicillin brotnar hægt niður í náttúrunni, en er náttúrulega lífbrjótanlegt og hefur lágan lífuppsöfnunarstuðul (e. Bioaccumulation factor, BCF). Helsta áhyggjuefni við sýklalyf er stöðugur lágur styrkur í umhverfinu sem valdið getur þróun sýklalyfjaónæmis (Jensen o.fl., 2019). Niðurstöður sýndu að lyf sem notuð eru fyrir menn, sem talin eru mikil umhverfisáhætta á Íslandi eru ibuprofen, amoxicillin og fluoxetin, en bent er á í skýrslunni að skoða þurfi þessi efni í íslensku umhverfi. Einnig eru efni sem flokkast undir miðlungs áhættu: paracetamol, diclofenac, azithromycin og sertralin, sem einnig þarf að skoða í íslensku umhverfi þá sérstaklega vegna samverkandi áhrifa og sýklalyfjaónæmis (Jensen o.fl., 2019).

Heimildir benda því til þess að til að ná lyfjaleifum sem ógna umhverfi á Íslandi úr skólpi þyrfti frekari hreinsun en eins þreps hreinsun og þá helst ítarlegri en tveggja þrepa hreinsun.

3.3.2 Seyra

Seyra (e. sludge) er sú aukaafurð sem myndast við botnfellingu og brottfellingu fastra efna úr fráveituvatni. Til að vita hvort og hvernig hægt sé að nýta seyru úr fráveituhreinsun eða hvernig farga eigi þessari aukaafurð er mikilvægt að þekkja eiginleika og efnainnihald hennar. Dæmigert efnainnihald seyru frá eins þreps hreinsun má sjá í töflu 3.

Næringarefnainnihald seyru skiptir miklu máli þegar kemur að því að ákveða hvort nýta skuli seyru eða farga henni. Aðalnæringarefni fyrir plöntur eru köfnunarefni (N), fosfór og kalíum (N, P og K), auk annarra næringarefna eins og kalks, magnesíum og brennisteins (Ca, Mg, S). Snefilefni sem einnig eru mikilvæg fyrir vöxt plantna eru m.a. bór, kóbolt, kopar, járn, mangan, molybden, og sink (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn). Einnig er mikilvægt að þekkja styrk þungmálma, skordýraeiturs og vetniskolefna (e. hydrocarbons), hvort sem á að nýta eða farga seyrunni (Kosobucki o.fl., 2000). Síðast en ekki síst er orkuinnihald seyru mikilvægur þáttur ef hana á að nýta til gasframleiðslu.

TAFLA 3 Dæmigert efnainnihald seyru úr eins þreps hreinsun (Fytili & Zabaniotou, 2008) (Colón o.fl., 2017) *(Winther o.fl., 1998).

EFNAINNIHALD	HLUTFALL / STYRKUR
Þurrefnisinnihald (þe), %	2-8
Rokgjörn efni, % af þe	60-80
Fita, % af þe	
vatnsleysanleg	6-30
fituleysanleg	7-35
Prótein % af þe	20-30
Köfnunarefni* N, % af þe	2-5
Fosfór* P, % af þe	0,5-1,5
Kalíum (K ₂ O), % af þe	0-1
Sellúlósi, % af þe	8,1-15,0
Járn, % af þe (ekki súlfíð)	2,0-4,0
Kísill (SiO ₂), % af þe	15,0-20,0
Basastig, (mg/l af CaCO ₃)	500-1500
Lífrænar sýrur (mg/l af Hac)	200-2000
Orkuinnihald m.v. þe [J/g]	10,000-12,500
Sýrustig, pH	5,0-8,0

Þungmálmar í seyru

Reglugerðir innan Evrópu og Bandaríkjanna banna notkun seyru til landgræðslu ef styrkleiki þungmálma og ákveðinna þrávirkra lífrænna efna er hár en enn sem komið er tilgreina reglugerðirnar ekki hámarks magn örplasts (Nizzetto o.fl., 2016). Í töflu 4 má sjá leyfileg hámarksgildi þungmálma í seyru innan Evrópusambandsins og dæmigerð gildi í seyru frá eins þreps hreinsun (Karvelas o.fl., 2003). Mörg ríki innan Evrópusambandsins eru þó með strangari reglur varðandi losun þungmálma til viðtaka.

Karvelas, Katsoyiannis og Constantini (2003) rannsökuðu hver styrkur þungmálma er í seyru og í vökvafasanum (frárennsli) frá skólphreinsistöðvum. Í seyru frá eins þreps hreinsun mældist styrkleiki sinks hæstur en styrkleiki kadmíums lægstur. Samkvæmt þessari rannsókn var styrkleiki þungmálma í seyru frá eins þreps hreinsun innan marka Evrópureglugerðar um notkun seyru á landi (Karvelas o.fl., 2003).

TAFLA 4 Leyfilegur styrkur þungmálma í seyru fyrir notkun á landi innan Evrópusambandsins. Í síðasta dálknum eru dæmigerð gildi fyrir seyru frá eins þreps skólphreinsistöð (Karvelas, Katsoyiannis, Constantini, 2003).

MÁLMAUR	NOTKUN Á LANDI (DIR. 86/278/EEC) [MG/KG ÞE]	DÆMIGERÐ GILDI SEYRU FRÁ EINS ÞREPS HREINSUN [MG/KG ÞE] (KARVELAS O.FL., 2003)
Blý (Pb)	750-1200	28
Kadmíum (Cd)	20-40	1
Krómi (Cr)	-	17
Kopar (Cu)	1000-1750	100
Nikkel (Ni)	300-400	37
Kvikasilfur (Hg)	16-25	
Sink (Zn)	2500-4000	350

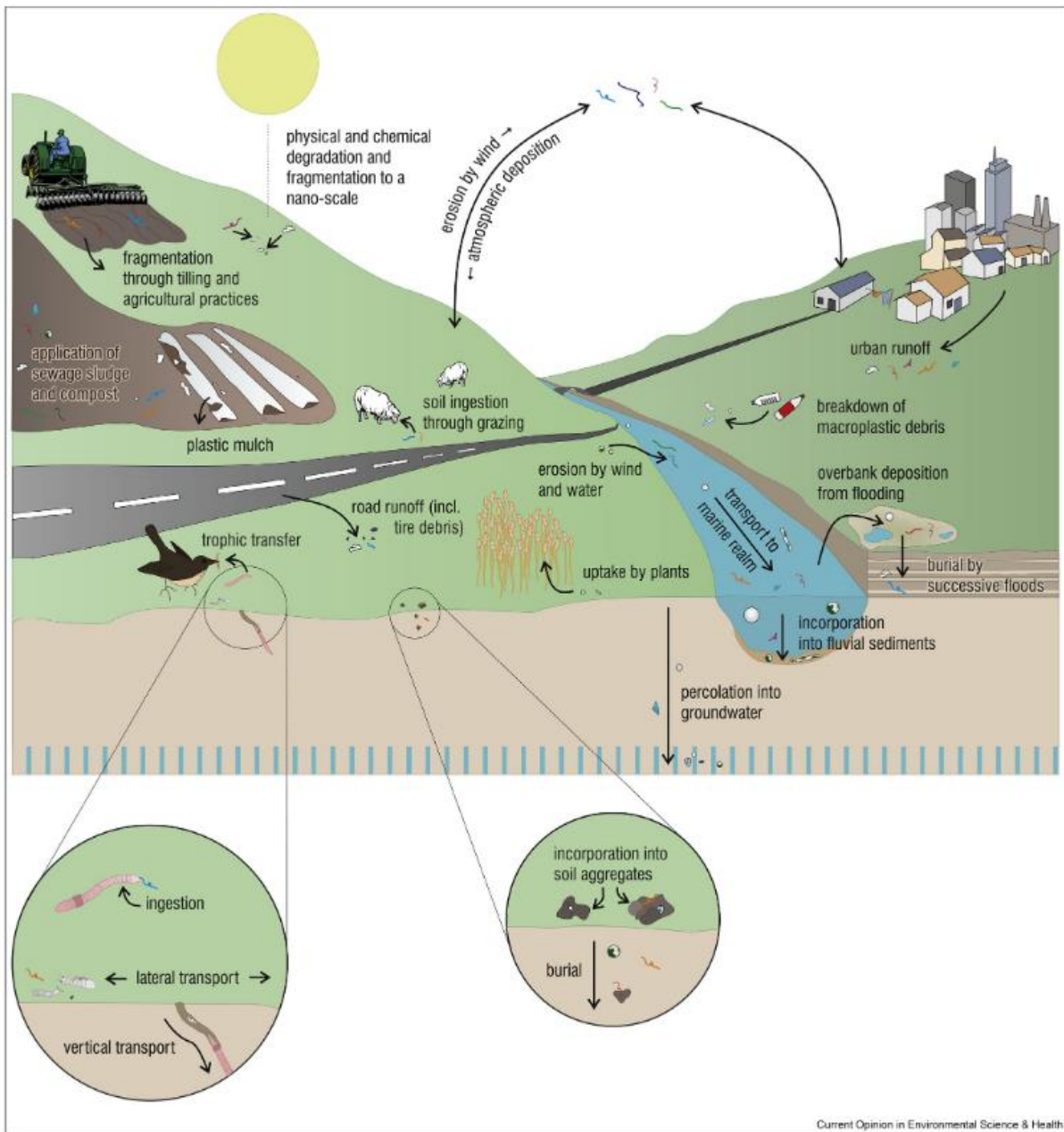
Örplast í seyru

Seyra er í sumum tilfellum nýtt sem lífrænn áburður og því möguleiki á að örplast berist í jarðveg með þeim hætti (Kärrman o.fl., 2016). Seyra er að mestu endurnýtt til áburðargjafar í landbúnaði innan Evrópusambandsins en einnig til orkuframleiðslu með brennslu eða gasmyndun (Mahon o.fl., 2016). Hér verður í stuttu máli sagt frá því hver núverandi staða þekkingar er varðandi örplastsmengun í seyru.

Vitað er um þrjár leiðir örplasts inn í vistkerfi á landi, eða eftirfarandi: (a) Frá landbúnaði, (b) með afrennsli frá byggðum svæðum, (c) við niðurbrot stærri plasteininga, sjá mynd 7 (Hurley & Nizzetto, 2018). Talið er að örplast hafi áhrif á vöxt plantna og jafnvel heilsu manna í gegnum fæðukeðjuna (He o.fl., 2018).

Ef seyra er notuð sem áburður er greið leið fyrir örplast í jarðveg (Li, 2018). De Souza Machado o.fl. (2017) segir örplast í jarðvegi vera hugsanlega skaðlegt fyrir lífríki (de Souza Machado o.fl., 2018). Ekki er hægt að segja með vissu hvort nýting seyru á landbúnaðarland sé jákvæð með tilliti til niðurbrots örplasts, eða hvort jarðvegur sé góður viðtaki örplastsmengunar (Mahon o.fl., 2016).

Rannsóknir hafa sýnt fram á uppsöfnun örplasts í jarðvegi (Zubris & Richards, 2005) (Zhang o.fl., 2018). Niðurbrot plasteinda í upprunaleg efni plastsins getur tekið tugi ára eða jafnvel þúsundir ára í jarðvegi (Kärrman o.fl., 2016). Örplaststrefjar hafa fundist í jarðvegi 15 árum eftir að seyru var dreift á jarðveg, en örplastagnir höfðu færst neðar í jarðveginn á því tímabili (Zubris & Richards, 2005).



MYND 7 Núverandi þekking á uppsprettum, áhrifum og örlögum ör- og nanóplasts í jarðvegi. Fengið frá (Hurley & Nizzetto, 2018). Uppsprettur eru helst frá landbúnaði eða áburði seyru á land, með afrennsli frá byggðum svæðum og við niðurbrot stærri plasteininga.

Í efsta lagi jarðvegs er niðurbrot örplasts hvað mest vegna útfjólublárra geisla, hærra hitastigs, súrefnismagns og örvera sem mögulega stuðla að niðurbroti. Öll þessi atriði stuðla að niðurbroti örplasts í plastagnir á nanóskala. Því er minna niðurbrot dýpra í jarðvegi og aukin hætta á varðveislu plastagna og að þær nái til grunnvatns (Hurley & Nizzetto, 2018). Tilgáta höfundanna Hurley og Nizzetto (2018) um plastagnir í grunnvatni er á því byggð að plastagnir í nanóskala með hærri eðlismassa en vatn muni líklegast ná niður til grunnvatns úr jarðvegi og er því möguleg leið örplasts til inntöku manna. Hins vegar gaf Alþjóðaheilbrigðismálastofnunin (e. World Health Organisation, WHO) út skýrslu um örplast og nanóplast í drykkjarvatni en þar kemur fram að byggt á niðurstöðum rannsókna sem gerðar hafa verið stafi fólki ekki hætta af neyslu drykkjarvatns og örplasti í því (World Health Organisation, 2019) .

Einnig er það áhyggjuefni hvaða áhrif örplast hefur á lífríki sem er til staðar í jarðvegi. Rannsókn Cao o.fl. (2017) sýndi að ánamaðkar urðu fyrir litlum áhrifum við lágan styrk örplasts, en hár styrkur gerði það að verkum að vöxtur ánamaðkanna var lítil og dánartíðni jókst (Cao o.fl., 2017). Niðurstöðurnar sýndu því að aukið magn örplasts í jarðvegi hefur neikvæð áhrif á lífríki í jarðvegi (Cao o.fl., 2017). Rillig o.fl. (2019) benda hins vegar á þann möguleika að jákvæð áhrif geti orðið á rætur og vöxt plantna, vegna breytinga á uppbyggingu jarðvegs (aukin loftun jarðvegs, örplastsagnir hjálpa til við að líma saman jarðvegsagnir og mynda stærri jarðvegsagnir (e. soil aggregation) (Rillig o.fl., 2019).

Því benda heimildir til þess að örplast sé betur komið fyrir á landi en í sjó, en besti viðtaki á landi er í hæfilegri fjarlægð frá vatnsverndarsvæðum og þannig að lífríki verði sem minnst meint af, t.d. ekki á beitiland, frekar á skógrækt eða landgræðslusvæði.

Lyfjaleifar

Styrkur lyfjaleifa (e. pharmaceutical and personal care products) í seyru er venjulega ekki mældur, líklega vegna flækjustígs greininga af því tagi (Miege o.fl., 2009). En eins og fyrr var nefnt næst aðeins lítil hlutfallsleg minnkun lyfjaleifa með eins þreps hreinsun og því lágur styrkur lyfjaleifa í seyru. En sá hluti lyfjaleifa sem situr eftir í seyru, eru lyfjaleifar sem við sog (e. sorption) sitja eftir á ögnum í seyru. En losun lyfjaleifa frá þessum ögnum geta verið skaðlegar lífríki ef komið fyrir á landi (Suarez o.fl., 2008).

Samansafn heimilda um styrk lyfjaleifa í seyru er að finna í samantekt frá Verlicchi o.fl. (2015), þar kemur fram að munur á styrk í eins þreps seyru og tveggja þrepa seyru er háð hvaða efni umræðir og því eiginleika efnanna. En hærri styrkur triclosan, propranolol, ibuprofen og erythromycin er að finna í eins þreps seyru en í seyru frá tveggja þrepa hreinsun, líklega vegna lægra sýrustígs seyru frá eins þreps hreinsun. Annað á við um önnur efni sem flokkast undir lyfjaleifar, svo sem naproxen, carbamazepine og hormón, en það er líklegast satt vegna meira lífræns efnis í seyru frá tveggja þrepa hreinsun (Verlicchi & Zambello, 2015).

Úr jarðvegi geta lyfjaleifar komist í grunnvatn og stöðuvötn, en það er háð styrk lyfjaleifa í jarðvegi, úrkomu og jarðvegsgerð. Uppsöfnun lyfjaleifa getur orðið í jarðvegi þar sem seyra er notuð sem áburður, en oftast er styrkur mjög lágur og mörg efni brotna niður í jarðvegi (Verlicchi & Zambello, 2015). Samkvæmt Haiba og Nei (2017) er mögulegt að plöntur geti tekið upp sýklalyf úr jarðvegi ef hann er mengaður af lyfjaleifum. Séu plönturnar á ræktarlandi geta sýklalyf því endað í fæðukeðjunni (Haiba & Nei, 2017). Einnig geta lyfjaónæmisgen yfirferst frá skaðlausum jarðvegsörverum til sýkla sem valdið geta sjúkdómum í mönnum og dýrum (Davies, 1994) (Haiba & Nei, 2017). Talið er að notkun lyfjamengaðs skólps eða húsdýraúrgangs til áburðar sé ein helsta ástæða fyrir auknu lyfjaónæmi (Haiba & Nei, 2017).

Mismunandi aðferðir við meðhöndlun geta haft áhrif á styrk lyfjaleifa og niðurbrot efna. Auðveldar meðhöndlunar aðferðir, eins og jarðgerð, stöðgun (e. stabilization) og þurrkun lækka styrk flestra lyfjaleifa svo sem bólgueyðandi, sýklalyfja, sýklaeyðandi lyfja og verkjastillandi lyfja (Verlicchi & Zambello, 2015). Í rannsókn Carballa o.fl. (2007) á styrkleika og magni valdra lyfja og efna úr snyrtivörum í loftfirrt meltri seyru kom í ljós að niðurbrot lyfjaleifanna var mjög breytilegt eftir lyfjum og lyfjaflokkum, eða frá 0 upp í 99±1%. Þau lyf og snyrtivörur sem voru rannsökuð voru ilmefnin galaxolide og tonalide, deyfilyfið diazepam, flogaveikislyfið karbamazepín, bólgueyðandi lyfin diclofenac, ibuprofen og naproxen, sýklalyfin roxithromycin og sulfamethoxazole, skuggaefnið

iopromide (notað við röntgenmyndatökur) og kvenhormónin estrone, 17β -oestradiol og 17α -ethinyloestradiol. Þau lyf sem brotnuðu mest niður voru sýklalyf og naproxen. Kvenhormónarnir estrógen og ýmis ilmefni brotnuðu næstmest niður, þar næst íbúprófen, og loks karbamazepín sem sýndi ekkert niðurbrot. Það var einnig niðurstaða rannsakernda að almennt hafði hitastig við loftfirrt niðurbrot seyru úr skólpi og lengd meltingarferlisins ekki áhrif á niðurbrot lyfja og efna úr snyrtivörum (Suarez o.fl., 2008). Samkvæmt Haiba og Nei (2017) er moltugerð þar sem sagi er blandað við seyruna árangursrík leið til að auka niðurbrot lyfjaleifa í seyrunni. Styrkur þeirra lyfja sem rannsökuð voru minnkaði um allt að 95-100% á því fjögurra mánaða tímabili sem moltugerðin tók. Sagið orsakar hagkvæmari skilyrði fyrir moltugerð, þetta sýnir hækkað hitastig og að örverur vinna að niðurbroti þessara lyfjaleifa (prófað fyrir tetracyclines, sulfonamides og macrolides) (Haiba & Nei, 2017).

Í seyru frá eins þreps hreinsun er því mjög líklega lágur styrkur lyfjaleifa. En ef nýta á seyru á landi, skal huga sérstaklega að því að dreifa seyru ekki á land nálægt vatnsverndarsvæðum og meðhöndla seyru með einföldum aðferðum fyrir dreifingu sem stuðla að niðurbroti lyfjaleifa.

3.4 Seyrumagn eftir meðhöndlun

Áætla þarf magn seyru sem myndast við eins þreps hreinsun. Hjá framleiðanda beltasía (dæmi um fíngerða síu) á Norðurlöndunum (Nordic Water) er í þeirra hönnun miðað við að magn svifagna (e. suspended solids) í skólpi sé 26 kg/(pe.ár). Í bók Henze o.fl. (2000) er að finna upplýsingar um magn svifagna í skólpi í mismunandi löndum. Í Svíþjóð, Danmörku, Þýskalandi og Bandaríkjunum er magn á bilinu 30-35 kg/(pe.ár). Í öðrum löndum, t.d. Egyptalandi og Tyrklandi, er þessi styrkleiki lægri eða 15-25 kg/(pe.ár) (Henze o.fl., 2000). Í skýrslu Stockholm Vatten (2015) er farið yfir tæknilega útfærslu og forsendur fyrir stækkun og breytingu hreinsistöðva í Stokkhólmi. Í þeirri skýrslu er reiknað með að magn svifagna í skólpi sé 33 kg/(pe.ár). Jafnframt er reiknað með að magn seyru (þurrviggt) eftir eins þreps hreinsun (sænska: Primär slam) sé að jafnaði 26 kg/(pe.ár) (Stockholm Vatten, 2015). Af þessu má sjá að lækun svifagna er tæplega 80% í viðkomandi hreinsistöðvum en í þessum stöðvum er skólp hreinsað með ítarlegri en tveggja þrepa hreinsun. Þessi lækun svifagna er mun meiri en krafist er fyrir eins þreps hreinsun í íslensku reglugerðinni um fráveitur og skólp.

Fyrsta þrep skólphreinsunar er það einfaldasta og jafnframt ekki eins orkukrefjandi og þau hreinsiprep sem á eftir fylgja. Einnig er þörf fyrir efnanotkun á seinni þrepum hreinsunar, t.d. til fellingar fosfórs. Því getur verið mikill ávinningur af því að lækka styrkleika svifagna eins og kostur er í fyrsta þrepi hreinsunar til að minnka umfang seinni þrepa sem eru bæði orkufrekari og kostnaðarsamari.

Til að uppfylla kröfur reglugerðar um fráveitur og skólp um eins þreps hreinsun þarf að lækka magn svifagna um 50%. Því er miðað við 50% lækun svifagna í útreikningum á magni seyru sem myndast við eins þreps hreinsun yrði hún innleidd. Áætla má að magn svifagna í íslensku skólpi sé ekki frábrugðið því sem mælst hefur í nágrannalöndunum og því má reikna með að það sé á bilinu 26-35 kg/(pe.ár). Miðað við þær forsendur má áætla að magn seyru eftir eins þreps hreinsun þar sem krafa um 50% minnkun svifagna er uppfyllt væri á bilinu 8.000-11.000 tonn (þurrviggt) á ári. Þar af er áætlað að magn seyru á höfuðborgarsvæðinu yrði á bilinu 6.000-8.000 tonn (þurrviggt) á ári.

TAFLA 5 Magn seyru sem fellur til frá þeim þéttbýlum sem falla undir íslenskt sérákvæði um að síun jafngildi eins þreps hreinsun.

ÞÉTTBÝLI	SKÓLPMAGN 2014 (PE)	ÍBÚAFJÖLDI 2014	SEYRA [TONN ÞE/ÁR]
Höfuðborgarsvæðið	465.934	208.102	6.057 – 8.154
Akureyri	78.000	17.915	1.014 – 1.365
Grindavík	19.244	2.991	250 - 337
Vestmannaeyjar	4.272	4.272	56 - 75
Reykjanesbær utan Hafna	14.438	14.438	188 - 253
Húsavík	3.530	2.184	46 - 62
Þórshöfn	2.510	358	33 - 44
Ísafjörður	2.500	2.543	33 - 44
Blönduós	1.705	796	22 - 30
Hólmavík	496	496	6 - 9
(Akranes*)	9.953	6.754	129 - 174
(Garður*)	9.589	1.425	125 - 168
Heildarmagn	592,619 (612,161**)	262.274	7.958 – 10.713

*Þéttbýli þar sem losun í viðtaka er rétt neðan við kröfu um eins þreps hreinsun ** Heildarmagn með Akranesi og Garði.

3.5 Frekari hreinsun

Til þess að ná meira af örplastsögnum (og þeim allra smæstu) og lyfjaleifum er nauðsynlegt að farið sé í ítarlegri hreinsun. Hér verður fjallað um möguleika fyrir frekari hreinsun.

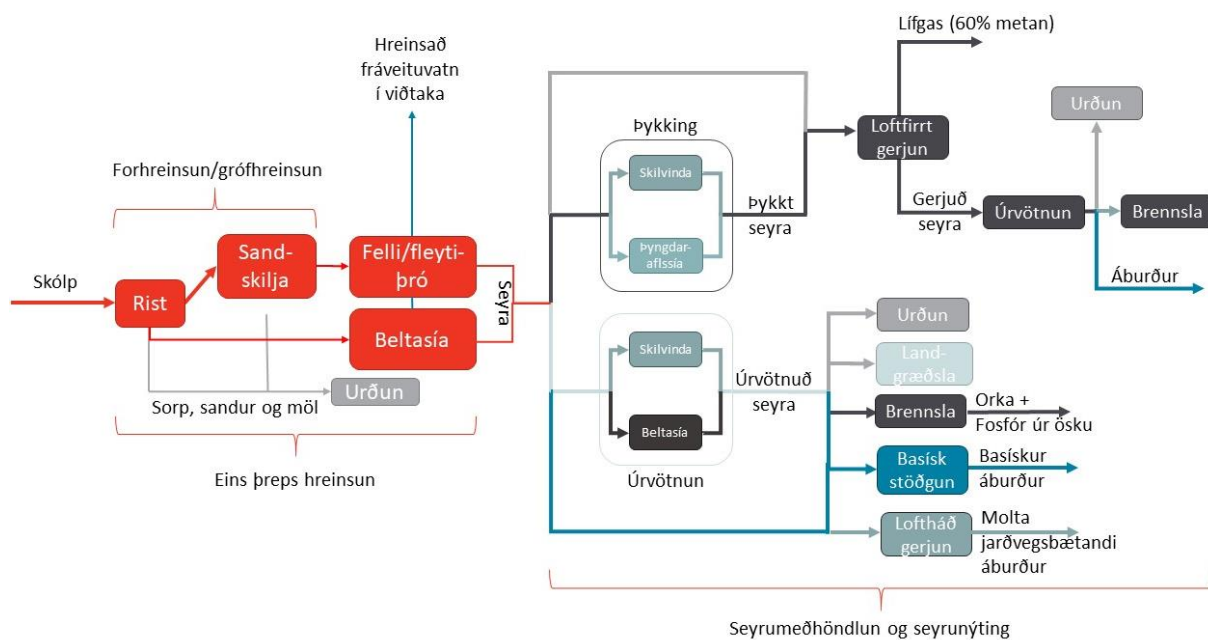
Himnusíun (e. Membrane filtration) er tækni sem er notuð t.d. í Svíþjóð við hreinsun skólps í svokölluðum membrane bioreactor. Þar er notast við örpunnar og fínar síur sem hafa örfínar gropur (4 nm) á yfirborðinu og hleypa þannig aðeins smáum ögnum í vatnsfasanum í gegn. Þessar örpunnu himnur geta myndað margra fermetra net af himnum. Lofti er blásið yfir himnurnar til að hreinsa skít af yfirborðinu. Kostir þessarar tækni er aukin hreinsun köfnunarefnis, en einnig meiri föngun örplasts og lyfjaleifa en hefðbundin eins og tveggja þrepa hreinsun.

Aðrir stinga upp á nýjum aðferðum hreinsunar sem halda eftir örplasti ofar í kerfinu, t.d. síum í þvottavélar (Almroth, 2017)(Browne o.fl., 2011). Beljanski o.fl. (2016) rannsaka skilvirkar aðferðir til þess að sía eða botnfella örplast með því að breyta síum, vatnsþrýstingi og horni rennslis að síu (Beljanski o.fl., 2016). Niðurstöður sýndu að 3D filter með 90° horni og 1.68 kPa vatnsþrýstingur gefur góða virkni og kostnaður var jafnframt lágur. Enn fremur hefur verið sýnt fram á að mögulegt sé að nota segulkraft/segulsvið til að sundra örplastsögnum úr vatnssýni (Rhein, 2019). Einnig sýna rannsóknir að til séu örverur sem stuðla að niðurbroti örplasts (Prata, 2018).

Ef einblínt er á að koma í veg fyrir að örplast nái til sjávar má skoða að í stað þess að auka hreinsun skólps mætti vinna að því að minnka notkun örplasts. Hér á landi er dekkjaslit og slit vegmerkinga metið um 60-85% örplastslosunar á Íslandi (Sigurðsson & Halldórsson, 2019). Því kemur hátt hlutfall örplastsagna til skólphreinsistöðva frá ofanvatni. Því mun tvöföldun fráveitukerfis og ofanvatnslausnir sem stuðla að meðhöndlun regnvatns utan hreinsistöðva koma í veg fyrir stóran hluta örplasts til sjávar.

4 MEÐHÖNDLUN SEYRU

Nokkrar leiðir eru mögulegar þegar kemur að seyrumeðhöndlun en val aðferðar fer meðal annars eftir því hvar vinnslan á að fara fram og hvað gera á við seyruna eftir meðhöndlun. Samkvæmt reglugerð um meðhöndlun seyru, nr. 799/1999, er hreinsun seyru þegar seyra er meðhöndluð með því að úrvatna, sigta seyruna, þegar seyran er látin rotna við loftfirtt eða loftháð skilyrði eða þegar seyran er blönduð kalki svo að sýrustig ná $\text{pH}=11$.



MYND 8 Flæðirit yfir eins þreps skólphreinsun (táknað með rauðum lit), seyrumeðhöndlun (táknað með blá- og gráleitum litum) og síðast hvernig nýta má seyruna. Afurðir sem nýta má úr ferlinu eru sýndar í lok hvers meðhöndlunarferlis, t.d. orka og áburður.

4.1 Þykking og úrvötnun seyru

Stór hluti af meðhöndlun seyru snýst um að minnka vatnsmagn hennar. Helsta markmiðið með úrvötnun er að minnka heildarmassa og rúmmál seyru til þess að minnka kostnað við flutning hennar en það að auka fastefnainnihald seyru úr 3% í 6% minnkar rúmmál um 50% (EPA, 2003). Gerður er greinarmunur á þykkingu og úrvötnun seyru. Eftir þykkingu er þurrefnisinnihald oft 5-10% og er seyran þá á formi þykks vökva en eftir úrvötnun er dæmigert þurrefnisinnihald um 25-50% eða jafnvel meira (Ontario, 2019). Seyran er þá í formi svokallaðrar köku og flæðir ekki eins og þykk seyra gerir. Ef melta á seyruna loftfirrt er hún oft þykkt fyrir meltingu og úrvötnuð eftir meltingu (EPA, 2006). Ef brenna á seyruna er hún úrvötnuð áður en hún er brennd. Helstu aðferðir til þykkingar og úrvötnunar eru notkun þyngdarafllúsíu (e. Gravity Thickening), beltapressusíu (e. Belt filter press), skilvindu (e. Centrifuge Thickening) og uppgufun í lofttæmi (e. vacuum evaporation) en ekki verður fjallað frekar um þá síðustu. Þessi upptalning á aðferðum til þykkingar og úrvötnunar er ekki tæmandi. Þróaðar hafa verið fjöldi annarra aðferða og tækja sem hafa öll það að markmiði að minnka vatnsinnihald seyrunnar. Þær aðferðir sem lýst hefur verið eru aðeins nokkrar af þeim algengustu. Í töflu 6 má sjá samantekt á aðferðum sem notaðar eru til þykkingar og úrvötnunar (Fritz o.fl., 2019).

TAFLA 6 Samantekt á aðferðum til þykkingar og úrvötnunar seyru. Fjallað er um þær aðferðir sem merktar eru með breiðu lettri, beltapressusíu, þyngdarafllúsíu og skilvindu.

ÞYKKING	ÚRVÖTNUN
Þyngdarafllúsía	Beltapressusía
Skilvinda	Skilvinda
Snúningstromlusía	Loftþurrkun
Þyngdarafllþykking	Ýmsar pressusíur
Diskaþykking	
Himnuþykking	
Spiralþykking	

Beltapressusía

Með beltapressusíu (e. belt filter press) er seyran klemmd milli tveggja dúka sem hleypa vatni í gegn um sig en ekki föstum efnum. Því meiri sem þrýstingurinn er, því meira vatn næst að skilja frá seyrunni. Samkvæmt upplýsingablaði um beltapressusíur frá umhverfisstofnun Bandaríkjanna (EPA) er þetta algeng aðferð en er líklega ekki kostnaðarins virði þar sem flæðið er minna en 15 milljónir lítra (ML) á dag (EPA, 2000b). Til samanburðar er flæðið um skólphreinsistöðina í Klettagörðum um 108 ML/d (Birgir Tómas Arnar o.fl., 2015). Seyra sem myndast við eins þreps hreinsun er með fastefnainnihald á bilinu 3-10% en samkvæmt EPA (2000b) má búast við að útstreymisseyran hafi fastefnainnihald upp á 28-44%. Beltapressusía er aðeins notuð til úrvötnunar en ekki þykkingar. En í töflu 6 má sjá hvaða aðferðir er hægt að nota við úrvötnun og hvaða aðferðir er hægt að nota til þykkingar seyru.

Helstu kostir beltapressusíur eru meðal annars að fáa starfsmenn þarf til að stjórna vélinni, viðhald er tiltölulega lítið og einfalt, lítinn tíma tekur að kveikja og slökkva á vélinni miðað við skilvindur (sjá umfjöllun um skilvindur hér að neðan) og beltapressusíur eru einnig hlóðlátari samanborið við skilvindur (EPA, 2000b).

Mikil ólykt er einn helsti ókostur aðferðarinnar en hægt er að hafa stjórn á henni með loftræstingu eða með því að hafa búnaðinn lokaðan af. Aðrir ókostir eru meðal annars að mikil olía í seyrunni getur

haft neikvæð áhrif á afkastagetu vélarinnar og hve tímafrekur og vatnskræfur þvottur á búnaðinum er. Notkun sjálfvirks hreinsibúnaðar með síuðu seyruvatni til þvottar geta vegið upp á móti þessu (EPA, 2000c).

Skilvinda

Skilvindur er bæði hægt að nota til að þykkja seyru og úrvatna. Í skilvindum er snúningur og miðsóknarkraftur notaður til þess að skilja að vökva og fast efni. Líkt og með beltapressusíuna er notkun skilvindu í flestum tilfellum ekki hagkvæm þar sem flæðið er minna en 15 ML/dag (EPA, 2000c). Almennt eru skilvindur dýrari en annar búnaður sem þjónar sama tilgangi en þær ná oft meiri aðskilnaði fastefnis frá vökva. Fyrir seyru úr eins þreps hreinsun, með fastefnainnihald á bilinu 4-8%, má samkvæmt EPA (2000c) búast við að útstreymisseyran sé með fastefnainnihald upp á 25-40% (EPA, 2000c).

Meðal helstu kosta skilvinda eru hve lítið pláss þær taka, auðveld þrif, tiltölulega lágur stjórnunar- og viðhaldskostnaður og lítil lyktarmengun þar sem seyran er ávallt lokuð af. Á móti kemur að erfiðara er að fylgjast með ferlinu sjónrænt. Hins vegar er auðvelt að fjarlægja og skipta um bilaða íhluti, auk þess sem vélin krefst ekki mikils eftirlits ef keyrsla hennar er stöðug (EPA, 2000c).

Öfugt við beltapressusíuna eru skilvindurnar nokkuð háværar en nota auk þess meiri orku og krefjast meiri reynslu starfsmanna til þess að hámarka nýtni þeirra. Varahlutir í skilvindu geta verið dýrir og allt að klukkutíma getur tekið fyrir vélin að komast upp á vinnsluhraða, og það sama á við þegar þarf að hægja á henni (EPA, 2000c).

Þyngdarafllsía

Notkun þyngdarafllsínu til þykkingar (e. gravity belt thickening) er, tæknilega séð, einföld lausn. Þá er seyrunni dreift á færiband sem, líkt og í beltapressusíunni, hleypir í gegn um sig vatni en ekki föstum efnum. Vatnsmagn seyrunnar hefur því minnkað umtalsvert þegar á enda færibandsins er komið. Þyngdarafllsían er helst notuð til að þykkja seyru sem kemur úr tveggja þrepa hreinsun eða hefur verið melt en í sumum tilvikum er einnig hægt að nota hana til hreinsunar á seyru úr eins þreps hreinsun (López o.fl., 2015).

4.2 Gasgerð

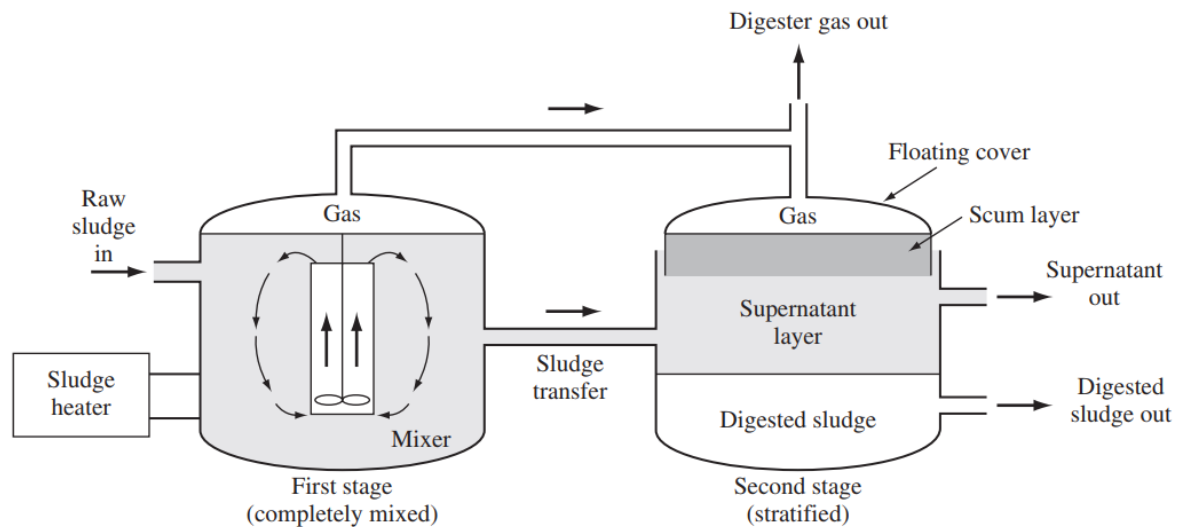
Algengt er að seyra sé meðhöndluð með loftfirtri gerjun (e. anaerobic digestion). Í því ferli myndast lífgas (biogas) sem inniheldur að meðaltali 60% metangas sem hægt er að nýta sem orkugjafa. Eftir gerjunarferlið má nýta seyruna, sem nú er ríkari af næringarefnum og efnafræðilega stöðugri, sem áburð eða í landgræðslu (Masters & Ela, 2014). Skipta má ferlinu í þrjú skref sem hvert er framkvæmt af mismunandi örverum. Fyrst á sér stað vatnsrof þar sem flókin lífræn efni eru brotin niður í minni einingar. Þar á eftir fer af stað sýrumyndun þar sem niðurbrotseiningum lífrænu efnanna er breytt í fitusýrur sem er svo breytt í ediksýru, koldíoxíð og vetni. Að lokum á sér stað metanmyndun þar sem lífrænu sýrunum og vetninu er breytt í metangas og koldíoxíð. Hvert og eitt skref í ferlinu hefur sínar kjöraðstæður og hafa því sumir skipt ferlinu upp, t.d. með því að nota fleiri en einn tank og er ferlið þá nefnt margra stiga loftfirrt gerjun (e. multi-stage anaerobic digestion) (EPA, 2006). Það er þó ekki

nauðsynlegt og er í raun talsvert algengara að aðeins einn tankur sé notaður, þ.e. eins stigs loftfirrt gerjun (e. single stage anaerobic digestion) (Coyne o.fl., 2017).

Í eins stigs loftfirrtri gerjun er óhjákvæmilegt að fleiri en eitt áður nefndra skrefa fari fram á sama tíma sem leiðir til minni afkasta í gerjunarferlinu en ef hægt er að aðskilja skrefin. Þar sem stofnkostnaður og rekstrarkostnaður eins stigs gerjunar er minni er hún mun algengari en margra stiga kerfi (Coyne o.fl., 2017). Algengast er að gerjunin fari fram við 35-39 °C og er þá á ensku sagt að hún sé *mesophilic*. Hinn möguleikinn er 50-57 °C og er gerjunin þá *thermophilic* (hitakær). Afköst gasmyndunarinnar, gæði seyrunnar og niðurbrot sjúkdómsvaldandi örvera verða meiri við þessar aðstæður en aftur á móti krefst hún meiri orku til þess að viðhalda hitastiginu og erfiðara er að halda sýrustigi og öðrum mikilvægum þáttum stöðugum. Í báðum tilvikum er mikilvægt að tryggja góða blöndun (Coyne o.fl., 2017).

Í tveggja stiga loftfirrtri gerjun er algengt að fyrri stigið fari fram við thermophilic aðstæður og seinna skrefið við mesophilic aðstæður. Vatnsrofið og fitusýrumyndunin eru þá látin gerast í tanki sem er aðskilinn frá þeim tanki þar sem ediksýru- og metanmyndunin fer fram (EPA, 2006). Tankurinn sem hýsir fyrri stigið er bæði hitaður og hrærður en hvorugt á við um þann seinni. Þar sem seinni tankurinn er ekki hrærður myndast í honum lagskipting þar sem melt seyra fellur á botninn og vökvar fljóta ofan á. Vökvarnir fara þá í frekari meðhöndlun ef það á við en er annars dælt út í viðtaka. Melta seyran er tekin úr botninum og afvötnuð frekar ef þess þarf. Hún er svo ýmist urðuð, brennd eða notuð sem áburður eða til landræktar (Masters & Ela, 2014). Mynd 9 sýnir skýringarmynd af ferlinu. Í tveggja stiga gerjun má því búa þannig um hnútana að aðstæðurnar í tönkunum eru nær kjöraðstæðum hvers skrefs í ferlinu og verða afköst gasframleiðslunnar þar af leiðandi meiri (EPA, 2006).

Gasið sem fæst úr loftfirrtri gerjun er svokallað lífgas (e. biogas) sem samanstendur af um 60-65% metan og 35-40% koldíoxíð. Einnig er köfnunarefni, vetni, vetnissúlfíð, vatnsgufa og aðrar gastegundir í snefilmagni (Coyne o.fl., 2017). Nýta má lífgasið beint, til dæmis með því að brenna það og fá úr því varma til að hita gerjunartankinn og knýja hitaveitu eða önnur ferli. Einnig er hægt að nýta lífgasið beint til rafmagnsframleiðslu. Ef nota á lífgasið sem eldsneyti á bifreiðar þarf hins vegar að hreinsa koldíoxíðið og aðrar lofttegundir frá til þess að fá hreint metangas. Það er oftast gert með vatnspvotti, þar sem gasið er látið streyma á móti vatni. Koldíoxíð og aðrar gastegundir en metan leysast upp í vatninu svo að eftir stendur hreint metangas (Vatnsiðnaður, 2018).



MYND 9 Skýringarmynd fyrir tveggja stiga loftfirra gerjun (mynd (Masters & Ela, 2014).

4.3 Jarðgerð

Loftháð gerjun (e. aerobic digestion) seyru er þegar seyru er leyft að gerjast við loftháðar aðstæður, þar sem örverur vinna að því að brjóta seyruna niður. Bætiefni eru nauðsynleg viðbót við seyruna, t.d. tréafgangar, sag eða lauf, til að hækka hlutfall kolefnis og ná hlutfalli á milli kolefnis og köfnunarefnis (C:N) nær 30:1 (Kosobucki o.fl., 2000). Markmið sem nást við niðurbrot seyrunnar er framleiðsla á lífrænum áburði úr seyru sem er í leiðinni úrvötnuð og minnkar rúmmál. Loftháð gerjun fer hins vegar oftast saman við frekari úrvötnun eða þykkingu (Bernard & Gray, 2000). Loftháð gerjun er ein af algengustu aðferðum innan Evrópusambandsins, helst stunduð í Tékklandi og Póllandi (Kelessidis Alexandros & Stasinakis, 2012). Við gerjun hækkar hitastig í jarðgerðinni, hitastig er mishátt eftir aðferðum en við hátt hitastig (50-70°C) sem nást við loftháða gerjun eyðast nánast allir saurgerlar (Jouraiphy o.fl., 2005). Bein notkun seyru við landgræðslu og í landbúnað getur verið áhættusöm vegna hættu á saurgerlamengun, en við loftháða gerjun geta óæskileg óstöðug lífræn efnasambönd brotnað niður eða komist á stöðugra form (Jouraiphy o.fl., 2005).

Aðferðir við loftháða gerjun eru ýmist að dælt er lofti um moltuna, notaðar eru tromlur eða tunnur til að hreyfa moltuna og koma lofti um jarðveginn, eða moltunni er hleypt um göng þar sem lofti er dælt að jarðgerðinni (EPA, 2002).

Loftháð gerjun er venjulega notuð á minni skala en loftfirrt gerjun, engin orkuframleiðsla fer fram með þessari meðhöndlun og ferlið er dýrt vegna stöðugs loftstraums sem þarf fyrir ferlið. Hins vegar er það svo að þegar rennsli um stöð er minna en 20.000 m³/d er þessi kostur talinn vera umhverfisvænstur og með lægri heildarkostnað og lágan viðhaldskostnað (Bernard & Gray, 2000) (Bernard o.fl., 2000; WEF, 1992). Áætla má að rennsli um hreinsistöð á höfuðborgarsvæðinu væri um 100.000 m³/d, því af mun stærri skala en talið er að þessi lausn sé hagkvæmasta lausnir.

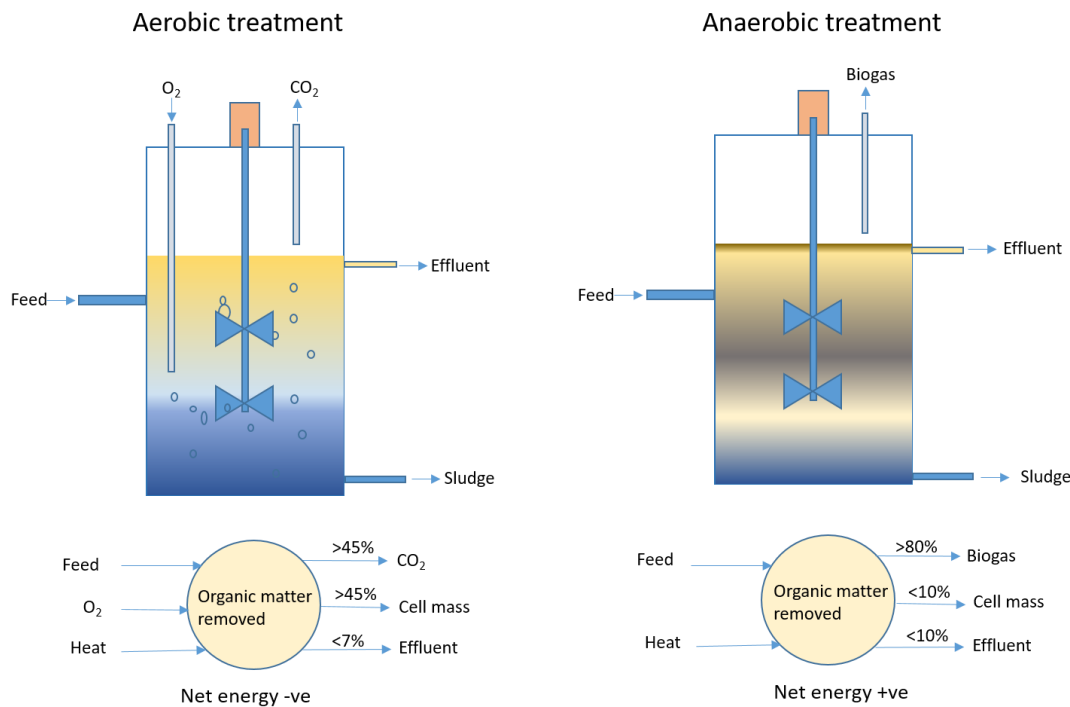
Út frá rannsókn Bernard o.fl. (2000) virðist besti viðverutími seyru til moltugerðar vera 17 dagar (Bernard & Gray, 2000). Viðverutími í kerfi fer eftir í hvað moltan er notuð og eftir týpu af kerfi. En

samkvæmt Bandarísku Umhverfisstofnuninni er til dæmis mælt með 15 dögum með að minnsta kosti 5 sinnum snúning ef notast er við hauga (EPA, 2002).

Loftháð gerjun stöðgar (lækkar styrk örvera) seyrina, þetta á sér stað við lækkað pH gildi vegna nitrunar í jarðveginum og á endanum er starfsemi örvera hömluð í jarðveginum (Bernard & Gray, 2000). Eftir sjálfu moltuferlinu fylgir stöðgun moltunnar, sem getur tekið allt að 6 mánuðum (Kosobucki o.fl., 2000).

Minni lykt er frá loftháðri gerjun en við loftfirtra gerjun. Grunnmunur þessara ferla er að lofti er veitt að loftháðri gerjun, en grunnmunur þessara ferla má sjá á mynd 10. Þar sést að munur á útstreymi liggur í að koltvíoxíð streymir frá loftháðri gerjun en lífgas frá loftfirtri gerjun. Frekari umfjöllun um loftfirtra gerjun má sjá í kafla 4.2.

Ókostir loftháðrar gerjunar er að ferlið er tímafrekt, landþörf fyrir gerjun er mikil og þörf fyrir bætiefni mikil (þ.a. heildarrúmmál þess sem fer í moltu mikið) (Sikora, 1998). En afurðin, moltan, getur haft hátt notagildi (Kosobucki o.fl., 2000). Hins vegar getur verið erfitt að finna réttan markhóp fyrir afurðina, þar sem plöntur þurfa meiri moltu en af öðrum áburði og því fleiri fer meiri vinna og ferðir í dreifingu (Sikora, 1998).



MYND 10 Grunnmunur á ferli loftháðrar og loftfirtrar gerjunar (myn af vefsíðu (*Analysis to Maximise the Efficiency of Anaerobic Digestion - Celignis Biomass Analysis Laboratory, e.d.*).

4.4 Basísk stöðgun með kalki

Önnur aðferð til að meðhöndla seyru er svokölluð basísk stöðgun (e. alkaline stabilization). Stöðgun lágmarkar lyktarmengun, drepur sjúkdómsvaldandi örverur og minnkar aðsókn sjúkdómsberandi skordýra að seyrunni. Við basíska stöðgun er sýrustig seyrunnar hækkað þannig að lífsskilyrði örvera verði óhagstæð. Eftir að seyran hefur verið stöðguð með þessum hætti má nota hana sem áburð, jafnvel á fjölförnum svæðum og þar sem matvælaræktun fer fram ef rétt er staðið að verkuninni.

Seyran hentar vel sem áburður í landrækt/landgræðslu þar sem sýrustigið er jafnan lágt og skortur á lífrænum efnum sem og næringarefnum. Einnig er hægt að nota hana sem þekju í landfyllingu en er þá oftast blönduð við annan jarðveg (EPA, 2000a).

Basísk stöðgun er oftast framkvæmd með kalki (e. lime) og best er að nota kalsíumoxíð, CaO (e. quicklime) en einnig má nota ryk úr sementsofnum (e. cement kiln dust) eða kalkofnum (e. lime kiln dust) sem og kolaöksu (e. fly ash) (EPA, 2000a). Notkun sementsryks, kalkryks og kolaösku getur verið hagkvæm þar sem efnin eru auðfengin en þar sem engin sementsverksmiðja, kalkvinnsla né kolanotkun er á Íslandi á það ekki við hér á landi. Hins vegar mætti kanna möguleika á notkun steypuleifa, afganga eða set úr settjörnum frá steypustöðvum.

Basísk stöðgun er gagnleg þar sem skólþflæðið er ójafnt og í litlum hreinsistöðvum þar sem seyran er geymd og flutt til stærri stöðva til frekari meðferðar. Nota má aðferðina bæði á seyru- og vökvaformi og fyrir úrvatnaða seyru. Aðferðin er tæknilega einföld, krefst lítillar sérþekkingar og lítils landsvæðis (EPA, 2000a).

Hafa ber í huga að afurðin hentar ekki sem áburður á öll landsvæði, til dæmis þar sem jarðvegur er basískur. Þá ber einnig að nefna að rúmmál meðhöndlaðrar seyru er 15-50% meira en seyru sem er meðhöndluð með öðrum aðferðum, svo sem gerjun. Köfnunarefni (N) - og fosfórinnihald (P) seyrunnar er minna en eftir aðra meðhöndlun þar sem köfnunarefnið myndar ammóníak sem sleppur í andrúmsloftið og fosfórinn binst í kalsíumfosfat. Sé þessi leið farin þarf að einnig að gæta þess vel á að sýrustigið lækki ekki aftur á meðan afurðin er í geymslu þar sem það getur valdið því að örverur fara að fjölga sér á ný (EPA, 2000a).

4.5 Brennsla seyru án gasgerðar

Við brennslu er lífrænt efni brennt og myndar koltvísýring (CO_2), önnur gös og vatn fjarlægð sem gufa. Við brennslu myndast aska og því getur þetta ferli ekki kallast lokaförgun seyru án þess að eitthvað sé gert við öskuna (Donatello, 2013). Til að mynda er hægt að nýta öskuna sem fellur til í byggingarefni (viðbót við sement) og áburð. Ókostur þess að nýta öskuna í byggingariðnað er að fosfór í öskunni er ekki nýttur en talið er að fosfórbirgðir sem vinna má úr námum munu aðeins endast í 50-100 ár (Cordell o.fl., 2009). Fosfór er takmörkuð auðlind og einnig vert að hafa í huga að ekki er hagkvæmt að nema fosfór eftir að hann nær til viðtaka. Helst er þörf fyrir fosfór í landbúnaðaráburð (ca. 80%), dýrafóður (ca. 12%) og hreinsiefni (ca. 5%) (Donatello, 2013). Shaikh o.fl. (2018) segja mikla framtíðarmöguleika í því að vinna fosfór úr ösku sem fengin er við brennslu seyru (Shaikh o.fl., 2018). Askan sem myndast við bruna er rík af fosfór, eða u.þ.b. 70-134 g/kg (Shaikh o.fl., 2018).

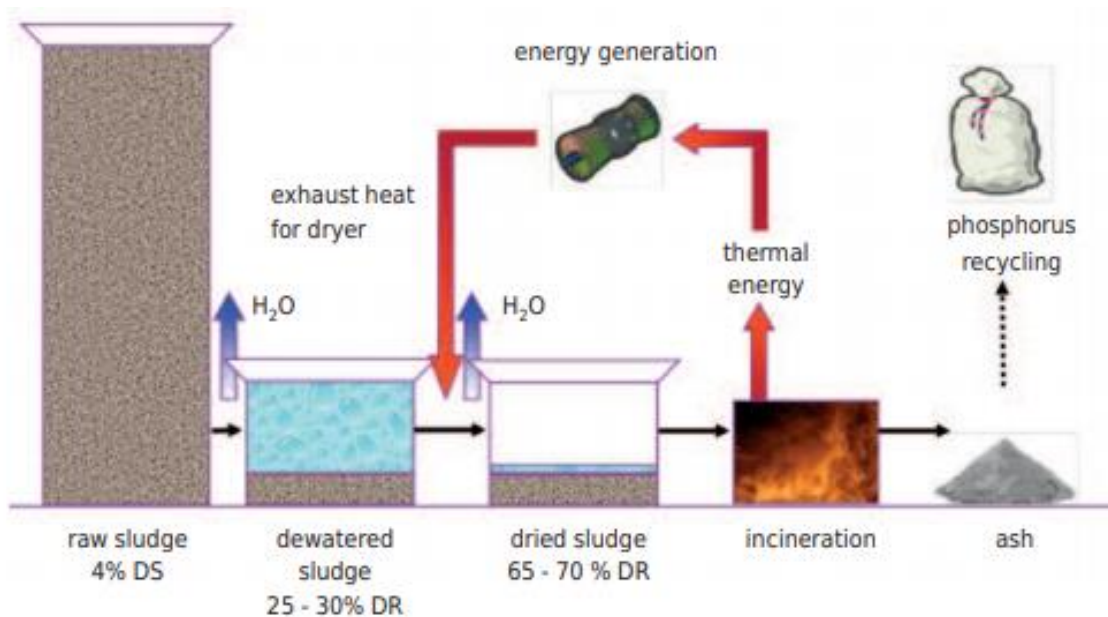
Brennsla seyru fer yfirleitt fram við 850°C í ofni. Við brennslu seyru er flestum skaðlegum lífrænum efnasamböndum eytt eða þau brotin niður (Pettersson o.fl., 2008), t.d. lyfjaleyfum og örplasti. Við brennslu minnkar rúmmál þess efnis sem hægt er að endurnýta mikið og gerir flutning auðveldari. Hins vegar þarf alltaf einhver meðhöndlun að eiga sér stað fyrir brennsluferlið, til að mynda afvötnun og/eða þurrkun. Hægt er að nýta ferlið með sorpmeðhöndlun (e. co-incineration) og hægt er að vinna orku úr hitanum sem myndast við ferlið (Pettersson o.fl., 2008).

Brennsla seyru er orkufrekt og kostnaðarsamt ferli. Brennsluofnar geta hins vegar framleitt hita og orku (Lundin o.fl., 2003). Ef tekið er til greina aukin þörf á efnum sem eru í aukaafurðum frá brennslu seyru

(t.d. P, Zn, Sn, Cr, Pb, Au, og Ag) þá eru þessar afurðir mikilvægur liður í að meta hagkvæmni brennslu út frá umhverfis- og hagkvæmni sjónarmiði (Kasina o.fl., 2019).

Bio-Con er dæmi um innbyggðan brennsluofn við hreinsistöð, þar sem seyra er brennd og fosfór, orka og tilfallandi efni eru endurheimt. Fyrst er seyran þurrkuð í 90% þurrefni, síðan er efnið sett í brennsluofn en orkan sem fæst úr brennslunni er nýtt í þurrkunarferlið og restin er notuð í aðra orkuþörf, s.s. upphitun húsa. Slíkt ferli má sjá á mynd 11. Síðast eru ferli sem stuðla að endurheimt efna úr öskunni sem fellur til, en til þess er notuð brennisteinssýra og jónaskiptar. Fosfórsýru er safnað eftir blöndun saltsýru, en fosfórsýra er gagnleg sem hráefni í fosfóriðnað. Mikið magn efna sem stuðla að aðskilnaði fosfórs frá öskunni eru nauðsynleg fyrir ferlið, en aftur á móti er hátt hlutfall fosfórs endurheimt (um 80%) og skaðleg efni nást úr seyrinni, s.s. þungmálmar (Lundin o.fl., 2004).

Cambi-KREPRO er önnur tegund brennsluofns þar sem notast er við hita, þrýsting og brennisteinssýru til þess að leysa upp fosfór, málma og stóran part af lífrænum efnum úr seyr. Vatn er fjarlæggt úr seyrinni og restin er vatnsrofin við 150°C og lágt sýrustig (pH 1-2). Það sem eftir stendur inniheldur um 45-50% þurrefni og er sá hluti brenndur. Askan er notuð sem aukaefni í hreinsistöð, en járnfosfat inniheldur 80% af fósfór og er dreift á landbúnaðarland til áburðar. Járníð er síðan notað til botnfellingar í skólphreinsistöðinni (Lundin o.fl., 2004).



MYND 11 Liðir í ferli þar sem seyra er þurrkuð, brennd, orka unnin úr ferlinu og að lokum fosfór unninn úr öskunni (mynd frá *Layman Report: sludge2energy A way to energy self-sufficient sewage treatment plants*, 2011).

5 MÖGULEGAR AÐFERÐIR VIÐ SEYRUNÝTINGU

Í þessum kafla verður farið yfir mögulegar aðferðir við nýtingu seyru hér á landi, kosti mismunandi aðferða og mögulegar fyrirstöður. Fjallað verður um möguleika sem eiga við á Íslandi og hvernig hægt er að framfylgja forgangsröðun úrgangsstjórnunar eftir fremsta megni.

Eins og fram kemur í kafla 3.4 má gera ráð fyrir um 8-11 þús. Tonnum af seyru (þurrvigti) af öllu landinu ef hreinsun verður aukin í eins þreps hreinsun á þeim 12 stöðum sem fram koma í töflu 2 (sjá einnig mynd 4). Því er nauðsynlegt að huga að ferlum við nýtingu og einnig förgun seyrunnar. Hér verður farið yfir mögulegar aðferðir og fýsileiki þeirra metinn fyrir mismunandi aðstæður í þessum þéttbýlum.

5.1 Landgræðsla með seyru

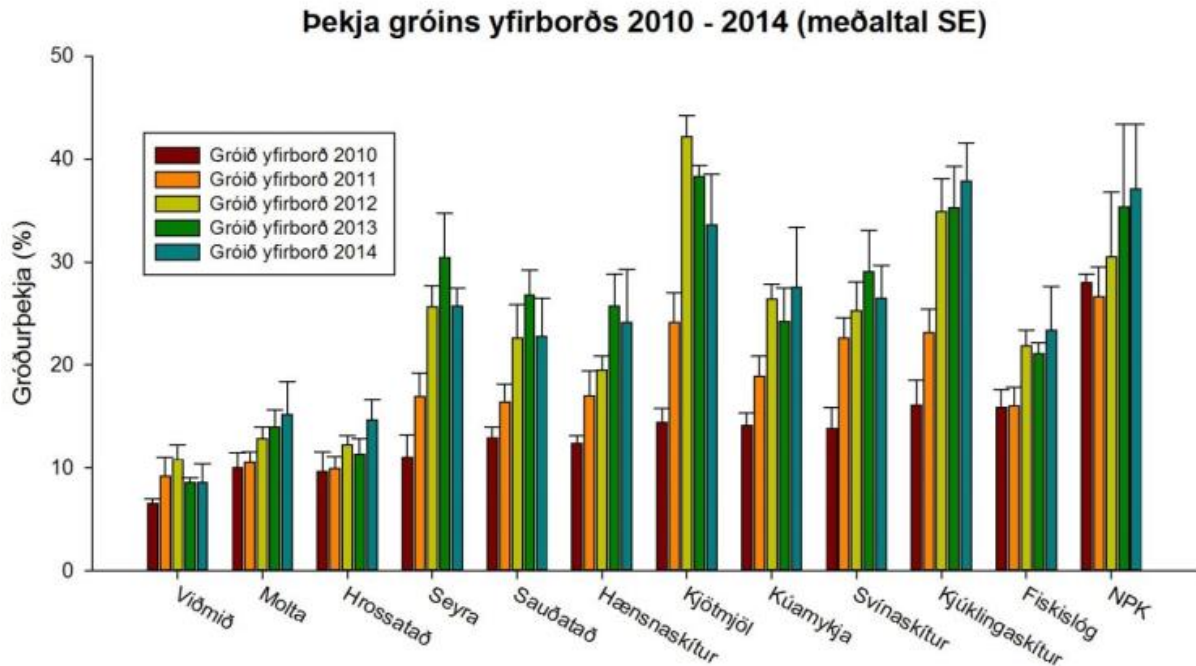
Það viðhorf hefur verið ríkjandi að seyra sé úrgangur sem þurfi að farga. Seyru má hins vegar nota til uppgræðslu líkt og annan lífrænan áburð. Til marks um það má nefna að Alþjóða heilbrigðisstofnunin (WHO) gaf árið 2006 út skýrslu með ráðgjöf um nýtingu skólps og seyru, „Safe use of wastewater, excreta and greywater: Excreta and greywater use in agriculture“ (WHO, 2006). Í mörgum löndum er seyra nýtt til ræktunar (Barker, 2010). Í löndum Evrópusambandsins er um 40% seyru nýtt til ræktunar lands (Kelessidis Alexandros & Stasinakis, 2012) (Dawson & Hilton, 2011). Í Finnlandi er nánast öll seyra nýtt til uppgræðslu (Kelessidis o.fl., 2012) og í Bretlandi er nýting seyru um 80% (Water UK, 2010). Hins vegar er nýting seyru lítil sem engin á Íslandi. Árið 2012 var samstarfsverkefni Hrunamannahrepps og Landgræðslunnar sett af stað en um tilraunaverkefni var að ræða þar sem kanna átti möguleika á nýtingu seyru til uppgræðslu. Rotþróarseyru var safnað og hún grófhreinsuð áður en hún var felld í jarðveginn með sérstökum niðurfellingarbúnaði. Árið 2015, þremur árum eftir að verkefnið hófst, var gróðurþekja á svæðinu mæld af sérfræðingum Landgræðslunnar. Í ljós kom að áhrif seyrunnar á þann gróður sem fyrir var voru mikil og gróðurþekja jókst úr 18% í 58% á þessum þremur árum (sjá mynd 12). Vert er að taka fram að seyran var eingöngu felld í jarðveginn í eitt skipti. Í kjölfar þessa verkefnis hófst formlegt samstarf fimm sveitarfélaga í Árnessýslu um að nýta allan þurrhluta seyru til að græða upp land. Þetta var fyrsta dæmið um samstarf sveitarfélaga um skipulagða nýtingu seyru. Í dag er seyran veruð með þeim hætti að hún er kalkbætt til að hækka sýrustig hennar sem drepur örverur í seyrunni. Þetta gerir það að verkum að óhætt er að dreifa seyrunni á yfirborð (Jóhannsson o.fl., 2017). Af öðrum verkefnum á sviði nýtingar skólps og seyru má nefna nýja fráveitulausn Skútstaðahrepps þar

sem svartvatni (salernisskólpi) verður safnað frá öllum rekstraraðilum sveitarfélagsins og starfsemi tengdri sveitarfélaginu (grunnskóla, leikskóla o.fl.). Svartvatnið verður geymt í geymslutönkum á Hólasandi þar sem það verður meðhöndlað með þvagefni (e. urea) sem hefur sömu áhrif og kalk, þ.e.a.s. það hækkar sýrustig skólpsins og lækkar styrkleika örvera. Svartvatnið verður nýtt til uppgræðslu á Hólasandi sem er í umsjá og rekstri Landgræðslunnar. Eins og verkefnið í Árnessýslu er um samstarfsverkefni sveitarfélagsins og Landgræðslunnar að ræða.



MYND 12 Gróðurþekja þar sem seyra var felld niður í jarðveginn í eitt skipti á afrétti í Hrunamannahreppi. Gróðurþekja jókst úr 18% í 58% (Jóhannsson o.fl., 2017).

Á hverju ári notar Landgræðslan mikið magn tilbúins áburðar til uppgræðslu og einnig er notast við u.þ.b. 200 tonn á ári af áburði úr kjötmjöli. Nota má hvaða lífræna úrgang sem er til uppgræðslu, og því ástæða til að skoða hvort nýta megi seyru sem fellur til við aukna hreinsun. Landgræðslan hefur gert tilraunir á áhrifum notkunar seyru á gróðurframvindu og geta áhrif seyrunnar talist góð, álíka góð og kúamykja og sauðatað (Bragason o.fl., 2018). Á árunum 2010-2014 gerði Landgræðslan tilraun með mismunandi lífrænan áburð þar sem kanna átti áhrif hans til uppgræðslu í samanburði við tilbúinn áburð. Tilraunin leiddi í ljós að flestar gerðir lífræns áburðar hentuðu vel til uppgræðslu en áhrifin voru mismengi að koma fram. Á mynd 13 má sjá niðurstöður tilraunarinnar. Áhugavert er að sjá að áhrif seyru eru svipuð og kúamykju sem er víða nýtt til landgræðslu á bæjum með góðum árangri.



MYND 13 Þekja gróins yfirborðs í meðferð lífræns úrgangs á fimm ára tímabili. Þekja mosa og fléttna er um 30-60% af heildarþekju en annars eru grös mest áberandi (Landgræðslan, 2017).

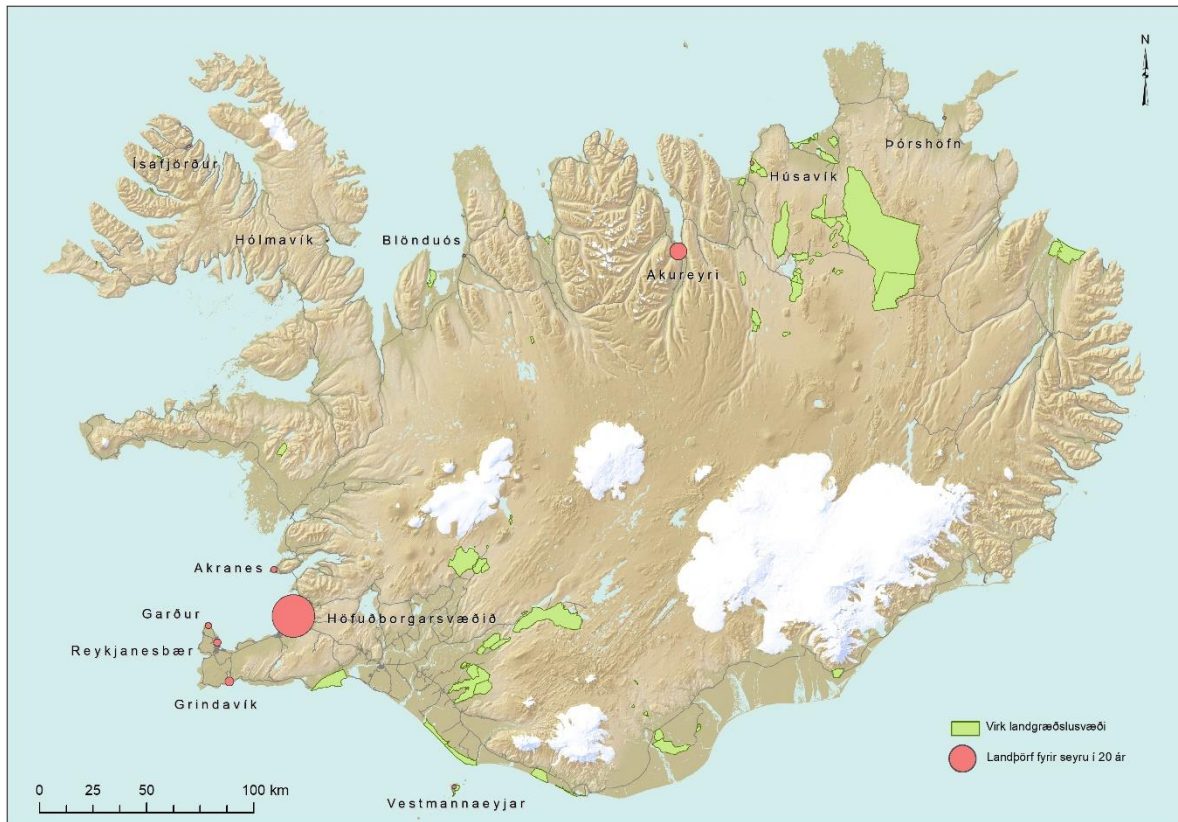
Þegar kemur að því að ákveða hvernig dreifa skuli seyrinni hefur þurfnisinnihald mikið að segja. Úrvötnuð seyra er borin á land, með hátt þurfnisinnihald. Aukið magn lífrænna efna í jarðvegi stuðlar að betri skilyrðum fyrir plöntuvöxt og eykur þol plantna gagnvart þurrki. Lífrænn áburður bætir auk þess nýtingu plantna á vatni og næringarefnum úr jarðvegi (Colón o.fl., 2017).

Samkvæmt reglugerð nr. 799/1999 um meðhöndlun seyru skal nota seyru þannig að næringarþörf gróðurs og gæði jarðvegs, yfirborðs- og grunnvatns rýrni ekki. Við notkun seyru á landbúnaðarland gilda sérákvæði. Leyfilegt er að nota óhreinnaða seyru til uppgræðslu eða skógræktar fjarri byggð og ekki í alfaraleið, en seyran skal vera plægð 10 cm ofan í jarðveg. Ef nota á seyru á yfirborð eru kröfur gerðar um að seyran sé kölkun eða meðhöndluð (Reglugerð um meðhöndlun seyru, nr. 799/1999, 1999). Meðhöndlun getur verið úrvötnun, jarðvegsgerð, þurrkun (e. pelletizing/drying), eða basísk hlutleysing (kölkun) (Weithmann o.fl., 2018). Mikilvægt er að staðsetja landgræðslusvæði fjarri vatnsverndarsvæðum og svæðum þar sem gengni og smíthætta er mikil.

Langtímaáhrif af notkun seyru við landgræðslu eru enn óljós hvað örplast varðar (Weithmann o.fl., 2018). Talið er að örplast hafi ekki áhrif á vöxt plantna og sé ásættanlegt í jarðvegi. Sjá frekari umfjöllun í kafla 3.3.2.

Í minnisblaði frá Landgræðslunni í tengslum við hönnun fráveitulausnar fyrir Skútustaðahrepp kemur fram að til landgræðslu dugi 50 kg af köfnunarefni (N) árlega í 3 ár til uppgræðslu. Dreifa má töluvert meira af lífrænum áburð en tilbúnum áburði vegna þess hve auðveldlega tilbúinn áburður leysist upp í vatni. Lífrænn áburður hefur lága leysni næringarefna og stuðlar að hægfara uppbyggingu vistkerfa og því hefur reynslan sýnt að vel má dreifa 150 kgN/ha í einni umferð. Hægt er að gera ráð fyrir að köfnunarefnisinnihald í seyru frá eins þreps hreinsun sé 2-5% af þurrvigt (20-50 g/kg af þurri seyru)

(Colón o.fl., 2017), og fosfórinnihald úr sams konar seyru 0,5-1,5% (5-15 g/kg af þurri seyru) (Winther, Henze o.fl., 1998). Samkvæmt Landgræðslunni er 25% köfnunarefnis innihald í tilbúnum áburði en 1,3% í sauðataði og 0,7% í kúamykju (Bragason o.fl., 2018). Á mynd 14 má sjá virk landgræðslusvæði Landgræðslunnar sem eru hvað stærst og útbreiddust á Norðurlandi eystra. Til samanburðar er sýnt hve mikið flatarmál lands mætti græða upp með því magni seyru sem myndast við aukna hreinsun í viðkomandi þéttbýli. Vert er að taka fram að einnig fellur til seyru á þeim þéttbýlisstöðum þar sem notast er við tveggja þrepa skólphreinsun, t.d. á Egilsstöðum, Hveragerði og Hellu. Þessir staðir eru ekki sýndir á mynd 14 en seyru það nýta til uppgræðslu líkt og frá öðrum stöðum.



MYND 14 Stærð virkra landgræðslusvæða Landgræðslu Íslands (græn þekja) og landþörf fyrir seyru í 20 ár (rauðir hringir). Nánar tiltekið sést hve mikið land þarf fyrir seyru sem fellur til á 20 árum frá þeim þéttbýlisstöðum sem falla undir íslenskt sérákvæði um að síun jafngildi eins þreps hreinsun.

Helsti ávinningur landgræðslu er að með uppgræðslu örfoka lands dregst úr sandfoki og eyðingu lands. Einnig eykst lífmassi ofan- og neðanjarðar ásamt vatnsheldni jarðvegs. Frostlyfting verður einnig minni sem og binding kolefnis (ca. 2 tonn CO₂/ha/ár) (Bragason o.fl., 2018).

Í töflu 7 má sjá útreikninga á landþörf fyrir seyru, fyrir höfuðborgarsvæðið og þéttbýli þau sem fram komu í töflu 2. Á höfuðborgarsvæðinu er metið að 6-8þúsund tonn (þe) falli til árlega af seyru. Þetta jafngildir magni sem nota mætti á um 1.300-1.800 ha á ári, samkvæmt reynslu og ráðleggingum um notkun seyru frá Landgræðslunni. Nýtingu seyru til uppgræðslu eru töluverðar skorður settar í nágrenni höfuðborgarsvæðisins, meðal annars vegna þess að vatnsverndarsvæði eru útbreidd og notkun seyru ekki leyfileg á þeim svæðum. Það landgræðslusvæði sem er næst höfuðborgarsvæðinu eru sandar við

Þorlákshöfn, Þorláksskógar sem eru rúmlega 70 km². Hins vegar er landþörf fyrir seyru frá höfuðborgarsvæðinu mikil, og því þyrfti fleiri landgræðslusvæði til langs tíma litið. Þótt fjölga mætti landgræðslusvæðum eitthvað er ekki talið fýsilegt að notast við þessa aðferð fyrir höfuðborgarsvæðið vegna lítills tiltæks landsvæðis nálægt höfuðborgarsvæðinu til uppgræðslu. Ekki er heldur talið hagkvæmt að keyra langt með seyru til að nýta sem áburð.

Á öðrum þéttbýlisstöðum þar sem auka þyrfti hreinsun yrði seyruframleiðsla mun minni og því auðveldara að finna landsvæði fyrir uppgræðslu með seyru. Hins vegar er ekki mikið um virk landgræðslusvæði sem búið er að skilgreina sem slík og sem jafnframt eru í rekstri Landgræðslunnar nálægt þeim byggðakjörnum sem um er að ræða (sjá mynd 14). Í samstarfi við bæjarfélög væri einnig hægt er að finna landsvæði sem nýta mætti sem viðtaka fyrir seyru frá þessum þéttbýlum. Sveitarfélög hafa því hag af því að skilgreina uppgræðslusvæði nálægt byggð og hafa einnig umhverfislegan hag af nýtingu seyru til uppgræðslu með tilheyrandi minnkun kolefnisspors. Dæmi um stærð landsvæðis fyrir þéttbýli með skólþrosun nálægt 10.000 PE er Akranes, en í töflu 7 má sjá að seyru frá Akranesi myndi duga til uppgræðslu ca. 30-40 ha á ári.

TAFLA 7 Landsvæði sem þarf hvert ár ef notast á við seyru sem lífrænan áburð, miðað við upplýsingar frá Landgræðslunni, þ.e. 150 kg-N/ha, sem er það magn seyru sem jarðvegur er almennt talinn þola. Reiknað er með 32,5 g/kg af köfnunarefni fyrir seyru (3,25% af þe), sem er miðgildi þess sem Winther, o.fl.(1998) gefa upp fyrir seyru frá eins þreps hreinsun.

MAGN M.V. 150 KG-N/HA	MAGN N Í SEYRU [KG/ÁRI]	LANDSVÆÐI [HA/ÁRI]
Höfuðborgarsvæðið	196.900 – 265.000	1.300 – 1.800
Akureyri	38.700 - 44.400	220 - 300
Grindavík	9.500 – 10.900	50 - 70
Vestmannaeyjar	2.100 – 2.400	10 - 20
Reykjanesbær utan Hafna	7.200 - 8.200	40 - 50
Húsavík	1.750 – 2.010	10 – 13
Þórshöfn	1.240 - 1430	7 - 10
Ísafjörður	1.240 - 1420	7 - 10
Blönduós	850 - 970	5-6
Hólmavík	240 - 280	1-2
Akranes*	4.900 – 5.700	30 - 40
Garður*	4.800 – 5.500	30 - 40
Heildarmagn	303.400	1.700 – 2.300

Í töflu 8 er mat lagt á þá þætti sem koma að nýtingu seyru sem lífræns áburðar í landgræðslu. Í töflunni er notast við litakóða þar sem grænn táknar jákvætt, gult fremur jákvætt en rautt táknar neikvætt.

TAFLA 8 Mat á þáttum sem koma að hagkvæmni nýtingar seyru með landgræðslu. Þættirnir eru litakóðaðir eftir því hvort þeir eru taldir jákvæðir eða neikvæðir (grænt=jákvætt, gult=fremur jákvætt, rautt=neikvætt) *Kolefnislosun er til umfjöllunar í kafla 6.3, kolefnisspor valkosta.

ÞÆTTIR Í MATI FYRIR: LANDGRÆÐSLU MEÐ SEYRU	
Kostnaðarliður	Lágur
Fýsileiki á höfuðborgarsvæði	Ekki fýsilegt
Fýsileiki í minni þéttbýlum	Fýsilegt í ákveðnum landhlutum með samstarfi sveitarfélaga og Landgræðslunnar.
Hreinleiki lokaafurðar	Örplasti og lyfjaleifum dreift á land. Fram til þessa hefur ekki hefur verið sýnt fram á skaðleika fyrir lífríki né menn.
Kolefnisspor	Aukin uppgræðsla með seyru minnkar eftirspurn eftir tilbúnum áburði, dregur úr losun gróðurhúsalofttegunda frá rofnu landi og styður við kolefnisbindingu í nýjum plöntum og gróðri.
Aðrir kostir	Köfnunarefni (N) og fosfór (P) nýtt úr seyrunni.

5.2 Gasframleiðsla

Um helmingur lífrænna mengunarefna í seyru umbreytist í lífgas við gerjunarferlið. Við þetta verður seyran efnafræðilega stöðugri, hlutfall næringarefna verður hærra og seyran hentar sem áburður á land, þar sem dreifing hennar er leyfð. Þar sem ekki má dreifa seyrunni er nauðsynlegt að meðhöndla og/eða farga á annan hátt, t.d. með brennslu eða urðun. Á Íslandi hefur seyra verið urðuð í fjölda ára og er enn. Víða erlendis er seyran brennd í brennslustöðvum, oftast en ekki eftir gasgerð og öskunni síðan fargað eða hún nýtt á annan hátt. Gasgerð gefur möguleikann á að nýta þá orku sem býr í seyrunni til varmaframleiðslu, rafmagnsframleiðslu og mögulega til eldsneytisframleiðslu (metangas). Þegar litið er til höfuðborgarsvæðisins er gasgerð talinn álitlegur kostur: Ein álitleg leið væri að samtvinnu gasgerð á seyru við gasgerð á heimilisúrgangi í fyrirhugaðri gas- og jarðgerðarstöð SORPU á Álfsnesi. Einnig mætti sjá fyrir sér gasgerð við hverja hreinsistöð líkt og sjá má erlendis en í raun er það aðeins niðurstaða frekari hönnunar sem leiðir í ljós hvað sé hagkvæmast í þessu sambandi. Hér verður gengið út frá þeirri leið að nýta innviði sem til staðar eru.

Hægt er að gera ráð fyrir að gasframleiðsla sé mismikil eftir samsetningu og eiginleikum þess efnis sem er nýtt til gasgerðar. Í tilfelli seyru má gera ráð fyrir orkuframleiðslu á bilinu 900-3000 kWh/tonn þurrefni (Grosser, 2018) en í útreikningum í þessari skýrslu er miðað við 1550 kWh/tonn þurrefni (Pitk o.fl., 2013).

Ef nýta ætti seyru til gasgerðar þyrfti að flytja hana úr hreinsistöð (vum) á Álfsnes þar sem fyrir eru innviðir til gasgerðar. Mögulega þyrfti að byggja sérstakan gerjunartank fyrir seyruna og gerja hana að einhverjum hluta með heimilisúrgangi úr gasgerðarstöðinni. Eftir gerjunarferlið yrði ráðgert að afvatna seyruna og hitameðhöndla ásamt moltu sem kæmi úr jarðgerðarstöð SORPU. Báðir þessir straumar eru mögulega mengaðir af lyfjaleifum, óæskilegum örverum, örplasti og öðrum aðskotaefnum en á sama tíma eru þeir ríkir af næringarefnum. Til að losna við þessi mengunarefni og endurheimta næringarefni, þá helst fosfór, er hitameðhöndlun (brennsla, hitasundrun eða gösun) álitlegur kostur. Lífgasið úr gerjunarferlinu yrði notað til að knýja hitameðhöndlunina og eftir sæti aska sem er rík af fosfór sem yrði skilinn frá og seldur sem hráefni í áburðarframleiðslu. Sérstakar ráðstafanir er hægt að gera í svona hitameðhöndlun til að fá fosfórinn á réttu formi í öskuna og ná burtu þungmálmum. Askann sem eftir

situr yrði síðan urðuð enda orðin líffræðilega óvirk, þó hún verði vissulega menguð að einhverju leyti og þarf því að farga með viðurkenndum og öruggum hætti.

Helstu kostnaðarliðir við þetta fyrirkomulag væru gerjunartankur fyrir seyru (ef ekki er hægt að samnýta tanka á Álfsnesi) og búnaður fyrir hitameðhöndlun sem er misdýr eftir því hvaða búnað er um að ræða. Einföld brunahólf eru aðgengileg og tækibúnaður við að leiða lífgasið í hólfin er ekki flókinn. Kostir við þessa ráðstöfun væru að þarna er verið að taka tvo úrgangsstrauma sem væri hægt að meðhöndla á sama hátt ásamt því að tækniþekking og kunnátta í kringum gasgerð er til staðar hjá SORPU á Álfsnesi.

Á landsbyggðinni og í minni sveitarfélögum þar sem um minna magn af seyru er að ræða getur gasgerð líka gengið en á öðrum forsendum en á höfuðborgarsvæðinu. Ef komið væri á fót gasgerð fyrir seyru væri skynsamlegt að samnýta þá innviði fyrir aðra lífræna úrgangsstrauma, t.d. lífrænan eldhúsúrgang, fiskúrgang, bjórhrat, mykju eða hvert annað lífrænt efni sem fellur til á því svæði. Gasmagnið myndi þá margfaldast og hægt væri að skoða hitaveitumöguleika, rafmagnsframleiðslu og jafnvel eldsneytisframleiðslu. Seyran myndi þá virka sem grunnefni í gasgerðina þar sem hinir úrgangsstraumarnir bættust ofan á og samlegðaráhrif þessarar samgerjunar kæmu fram.

Helstu kostnaðarliðir væru uppsetning á gerjunartanki, söfnunarbúnaður fyrir gasið og í tilfelli varmaframleiðslu, kaup á brunavél til að búa til varmaorku sem hægt væri að nota í hitaveitu.

Kostir við þessa tilhögun væru að sveitarfélögin gætu fengið verðmæti úr þessari tegund úrgangsmeðhöndlunar, orðið sjálfstæðari með orkubúskap og þar sem jarðvarmi er ekki til staðar gæti fjarvarmaveita sem er knúin af lífgasi orðið raunhæfur valkostur.

Í töflu 9 er mat lagt á þá þætti sem koma að nýtingu seyru til gasframleiðslu. Í töflunni er notast við litakóða þar sem grænn táknar jákvætt, gult fremur jákvætt, en rautt táknar neikvætt.

TAFLA 9 Mat á þáttum sem koma að hagkvæmni nýtingar seyru til gasframleiðslu. Þættirnir eru litakóðaðir eftir því hvort þeir eru taldir jákvæðir eða neikvæðir. (grænt=jákvætt, gult=fremur jákvætt, rautt=neikvætt) Kolefnisspor er til umfjöllunar í kafla 6.3.

ÞÆTTIR Í MATI FYRIR: GASFRAMLEIÐSLU MEÐ SEYRU	
Kostnaðarliður	Hár
Fýsileiki á höfuðborgarsvæði	Fýsilegt
Fýsileiki í minni þéttbýlum	Erfið útfærsla með litlu magni af seyru.
Hreinleiki lokaafurðar	Örplasti og lyfjaleifum eytt með brennslu eftir gasframleiðslu.
Kolefnisspor*	Lífgas er hægt að nýta til varma- og raforkuframleiðslu og sem eldsneyti á bifreiðar og tæki sem kæmi þá í veg fyrir notkun jarðefnaeldsneytis.
Kostir:	Hægt að nýta fosfór úr ösku ef notast við brennslu á hrati. Orkuframleiðsla.

5.3 Brennsla

Brennsla seyru er nýtingaraðferð þar sem hægt er að vinna orku úr seyrunni og næringarefni, til að mynda fosfór. Brennsla er orkufrekt ferli, en getur verið sjálfbært hvað orku varðar ef um stórar og háþróaðar lausnir er að ræða. Orkan sem fæst úr ferlinu getur síðan verið nýtt í þurrkun á seyru áður en hún er brennd. Eftir brennslu á seyru situr askan eftir sem er rík af fosfór og hægt er að vinna hann úr öskunni og nýta í áburðarframleiðslu, heimildir sýna að vinna megi 80% fosfórs úr ösku (Ashley o.fl., 2009). Kostur við ferlið er að örplasti og lyfjaleifum er fyllilega eytt úr seyrunni með brennslu við hátt hitastig.

Á höfuðborgarsvæðinu væri brennsla á seyru áhugaverður kostur ef nýta á öskuna beint til uppgræðslu eða vinna fosfór úr henni til áburðarframleiðslu. Eftir brennslu er askan létt og fyrirferðarlítill og hagkvæmni við flutninga orðin mun meiri en áður. Í minni þéttbýlum er þessi útfærsla ekki jafn álitlegur kostur, þar sem mun meiri líkur eru á rekstrarerfiðleikum vegna minni brennsluofna.

Hár kostnaður við uppsetningu og rekstur brennslu, ásamt lítilli reynslu á þeim héraendis veldur því að brennslu á seyru þarf að skoða sérstaklega ef hugmyndir eru uppi að koma þess lags búnaði á fót.

TAFLA 10 Mat á þáttum sem koma að hagkvæmni nýtingar seyru með brennslu. Þættirnir eru litakóðaðir eftir því hvort þeir séu jákvæðir eða neikvæðir. (grænt=jákvætt, gult=fremur jákvætt, rautt=neikvætt) *Kolefnisspor er til umfjöllunar í kafla 6.3, kolefnisspor valkosta.

ÞÆTTIR Í MATI FYRIR: GASFRAMLEIÐSLU MEÐ SEYRU	
Kostnaðarliður	Hár
Fýsileiki á höfuðborgarsvæði	Gæti verið fýsilegt
Fýsileiki í minni þéttbýlum	Erfið útfærsla með litlu magni af seyru.
Hreinleiki lokaafurðar	Örplasti og lyfjaleifum eytt með brennslu.
Kolefnisspor	Brennsla á seyru krefst annars eldsneytis til að viðhalda brunanum og er þá oftast jarðefnaeldsneyti notað. Orkan sem leynist í seyrunni nýtist samt sem áður.
Kostir:	Orkuframleiðsla. Hægt að nýta fosfór úr ösku eftir brennslu.

6 VAL Á AÐFERÐUM

Hér verður greint frá hvaða aðferðum er mælt með fyrir þéttbýli við auknar kröfur til eins þreps hreinsun.

Til þess að ná eins þreps hreinsun skal annað hvort notast við fíngerðar síur (t.d. beltasíur eða tromlusíur) eða sandfellipró og felli- og fleytiþrær. Fíngerðar síur eru nýrri tækni og þær krefjast minna pláss. Því er mælt með að hreinsun verði aukin með fíngerðum síum, en slík hreinun uppfyllir þær kröfur sem eins þreps hreinsun þarf að uppfylla samkvæmt reglugerð um fráveitur og skólp (50% minnkun svifagna og lækkun lífrænna efna um 20%, BOD₅-gildi). Ekki er mælt með felli – og fleytiþróum fyrir Íslenskar aðstæður, slík lausn er plássfrek og lyktarmengun til staðar sem erfitt er að eiga við. Hafa þarf í huga að í nágrennalöndum okkar hafa opnar fráveitulausnir verið til staðar áratugum saman og hafa því ákveðinn tilverurétt í borgarumhverfinu. Hérlandis er slíkt ekki til staðar og ljóst að slíkar lausnir myndu mæta mikilli andstöðu. Þær eru því ekki álitlegur kostur á Íslandi.

6.1 Val aðferða við seyrunýtingu

Mismunandi umhverfi og innviðir innan þéttbýla þýðir að ólíkar aðferðir við seyrunýtingu henta hverju sinni. Til þess að ákveða hvaða aðferð hentar við fyrir hvert og eitt þéttbýli sem fellur undir íslenskt sérákvæði um að síun jafngildi eins þreps hreinsun var eins konar verkfæri útbúið sem beinir ákvörðunartaka í átt að þeirri aðferð sem nýtist best hverju sinni. Val á meðhöndlun seyru fer eftir hvaða seyrunýting verður fyrir valinu, sjá mynd 8 í kafla 4 um meðhöndlun seyru.

Í töflu 11 má sjá umrætt verkfæri sem nýtist við val á aðferðum fyrir mismikla losun frá þéttbýlum. Sá ávinningur sem fæst við mismunandi aðferðir er táknaður sem auðlind, það er áburður, orka eða bæði áburður og orka sem fæst úr þeim aðferðum til seyrunýtingar sem eru til skoðunar.

Hversu mikið magn seyru fellur til frá þéttbýli er sýnt fyrir 10.000 PE, 50.000 PE, 100.000 PE og 500.000 PE. Einnig er sýnt hvernig nýta má það magn seyru sem fellur til við hreinsun frá tilteknu þéttbýli (uppgreitt landsvæði, orka og/eða fosfór).

Ef losun frá þéttbýlum fellur á milli þessara gilda, er hægt að sjá á hvaða bili gildin falla (t.d. fyrir þéttbýli með losun 30.000 PE, mun vera möguleiki að græða upp á bilinu 30-190 ha/ári af landi).

TAFLA 11 Verkfæri við val á aðferðum við nýtingu seyru og förgun seyru. Í töflunni eru mögulegar aðferðir listaðar upp eftir því hver afurð eða auðlind aðferðinnar er (áburður eða orka). Einnig er sýnt hversu mikið af þessari afurð fellur til við mismikla losun frá þéttbýlum. Allar heimildir má sjá í umfjöllun um tiltekna aðferðir í 5. kafla.

AUÐLIND	HVERSU MIKIÐ SKÓLP FELLUR TIL INNAN ÞÉTTBÝLIS?				
		10.000 PE	50.000 PE	100.000 PE	500.000 PE
Áburður (fosfór og köfnunarefni)	Magn seyru [tonn þe./ár]	130 - 180	650 - 880	1.300 – 1.800	6500 – 8.800
	Magn seyru [tonn 30% þe./ár]	430 - 580	2.200 – 2.900	4.300 – 5.800	22.000 - 29.000
	Landsvæði til uppgræðslu [ha/ár]	30 - 40	140 - 190	280 - 380	1.400 - 1.900
	Jákvæð hliðaráhrif	Ef landsvæði innan 50 km frá þéttbýli eru hentug til uppgræðslu, sem rúmar það magn seyru sem fellur til, er landgræðsla hentug nýting seyru. Sjá nánar í kafla 5.1.			
Orka	Orkuframleiðsla [MWh/ár]	200 - 270	1.000 – 1.400	2.000 – 2.700	10.000 - 13.500
	Möguleg orkunýting*	V	V/R	V/R/E	V/R/E
	Jákvæð hliðaráhrif	Ef möguleg orkunýting bætir orkubúskap þéttbýlis er gasgerð hentug nýting seyru. Einnig ef nýta má lífrænan úrgang sem fellur til innan þéttbýlis samhliða seyrumeðhöndlun. Sjá nánar kafla 0.			
Orka og áburðargildi ösku	Fosfór [tonn/ár]	1,0 – 1,5	5-7	10 - 15	50 - 70
	Orka	Getur kostað orku	Getur verið sjálfbært ferli	Einhver umfram orkuframleiðsla	Líklega umfram orkuframleiðsla
	Jákvæð hliðaráhrif	Örplasti og lyfjaleifum eytt við bruna. Sjá nánar í kafla 5.3.			

*V = Varmaframleiðsla, R = Rafmagnsframleiðsla, E = Eldsneytisframleiðsla

6.2 Kostnaðarmat valkosta

Ef auka ætti hreinsun á þeim stöðum sem í dag eru með grófhreinsun í eins þreps hreinsun er ljóst að ráðast þarf í umtalsverðar fjárfestingar. Stækka þyrfti þær hreinsistöðvar sem þegar hafa verið byggðar og þær hreinsistöðvar sem eftir er að byggja yrðu útbúnar með öðrum hætti en annars. Einnig myndi ákvörðunin leiða af sér hærri rekstrarkostnað í hreinsistöðvunum. Til viðbótar við aukinn kostnað í hreinsistöðvunum sjálfum þyrfti auknar fjárfestingar og rekstrarkostnað við nýtingu þeirrar seyru sem til félli.

Erfitt er að leggja mat á kostnað með nákvæmum hætti þegar fyrirhugaðar framkvæmdir eru á því undirbúningsstigi sem hér er, þ.e. aðeins á hugmyndastigi. Alfarið er eftir að velja útfærslur og því er í raun aðeins hægt að gera samanburð við sambærileg verkefni erlendis frá og reyna að heimfæra þær upplýsingar. Í töflu 12 er gerð grein fyrir nokkrum hreinsistöðvum til samanburðar.

TAFLA 12 Samanburður á kostnaði við helstu hreinsistöðvar í Skandinavíu. MISK stendur fyrir milljónir íslenskra króna.

HREINSISTÖÐ	ÍBÚAFJÖLDI	HEILDAR-KOSTNAÐUR Á NÚVIRÐI [MISK]	KOSTNAÐUR Á ÍBÚA [ISK]	KOSTNAÐUR HEIMFÆRÐUR Á ÍSLAND [MISK]	LÝSING HREINSUNAR
Høvringen í Þrándheimi	130.000	7.000	55.000	14.300	Ítarlegri hreinsun en tveggja þrepa + gasgerð
Hendriksdal í Stokkhólmi	800.000	80.000	~100.000	26.000	Ítarlegri hreinsun en tveggja þrepa + membrur + gasgerð
Bekkelaget í Osló	490.000	39.000	~80.000	20.800	Ítarlegri hreinsun en tveggja þrepa + gasgerð
Breivika í Tromsø	15.000	300	20.000	5.200	Eins þreps hreinsun með fingerðum síum

Af þessum dæmum má sjá að aðeins Breivika hreinsistöðin í Tromsø í Noregi líkist þeirri útfærslu sem til skoðunar er hér. Hinar stöðvarnar eru allar með mun ítarlegri hreinsun og lækkun næringarefna og auk þess byggðar inn í fjalli. Breivika stöðin er lítil en gefur samt ákveðna hugmynd um kostnaðinn. Óvíst er hve mikið annað en sjálf byggingin er innifalið í kostnaðarupplýsingum þaðan. Þó nokkur óvissa er til staðar hvað allar þessar upplýsingar varðar því óljóst er hvað sé meðtalið. Samt sem áður gefur þetta ákveðið kostnaðarbil út frá raunverulegum verkefnum.

Allt höfuðborgarsvæðið, Akureyri og um helmingur byggðarinnar í Reykjanesbæ hefur nú þegar stöðvar með grófhreinsibúnaði. Við allar stöðvarnar þyrfti að byggja viðbyggingar sem hýsa myndi fingerðar síur og búnað til að meðhöndla seyrana og framleiða gas. Þegar horft er á viðmiðunartölurnar í töflu 12 má ætla að heildarfjárfesting sem ráðast þyrfti í gæti legið á bilinu 8-15 milljarðar. Ofan á þennan kostnað kæmi kostnaður við að koma seyrnu í nýtingu en til þess þyrfti að byggja geymslur eða tanka eftir atvikum. Viðbótarkostnaður vegna þessa gæti numið um 2 milljörðum sem þýðir að heildarfjárfestingin fyrir kerfið allt yrði 10-17 milljarðar.

Hvað rekstarkostnað varðar er ekki óvarlegt að áætla að hann gæti numið um 5% af stofnfjárfestingunni á ári, eða sem nemur 500 - 850 milljónum króna. Auk þess kemur kostnaður við dreifingu seyrunnar á land sem gæti verið um 100 milljónir króna á ári.

Til að standa straum af þessari auknu fjárfestingu og rekstarkostnaði munu fráveitugjöld þurfa að hækka á þessum stöðum um sem nemur 1,2 - 2,2 milljörðum á ári. Ef þessi fjárfesting er sett í samhengi við núverandi fráveitugjöld á höfuðborgarsvæðinu mun hækkun fráveitugjalda þurfa að verða 30-50% til að ná að standa straum af árlegum greiðslum. Þetta er miðað við að 25 ára lán með 5% vöxtum sem myndi standa straum af stofnfjárfestingu og árlegum viðhalds- og rekstrarkostnaði. Er þetta miðað út frá hækkun á höfuðborgarsvæðinu og gjaldskrá Veitna.

6.3 Kolefnisspor valkosta

Við bættu seyrumeðhöndlun er álag minnkað á vistkerfi hafs í kringum Ísland. Einnig er opnað á möguleikann að nýta orku og næringarefni í seyrinni. Það þarf að byggja upp innviði fyrir þessa bættu meðhöndlun sem krefst hráefna og orku en til lengri tíma litið munu jákvæð áhrif þess að nýta seyruna veða þar upp á móti. Helstu þættir er varða kolefnisspor þeirra þriggja mismunandi aðferða til nýtingar seyrna sem lagðar eru til í þessari skýrslu eru birtir hér að neðan.

Gasgerð

- Við gasgerð er meira en helmingi lífræns efnis í seyrinni umbreytt í lífgas (40% koltvíoxíð og 60% metan). Metan er 26 sinnum öflugri gróðurhúsalofttegund en koltvíoxíð og þarf því í öllum tilfellum að brenna því og umbreyta í koltvíoxíð áður en gasinu væri sleppt út í andrúmsloftið. Við þessa brennslu verður til varmi sem hægt er að nota til að knýja hitaveitu, í iðnað, í þurrkun, brennslu eða aðra vinnslu. Ef þessi varmi kæmi í staðinn fyrir bruna á díselolíu eða öðru jarðefnaeldsneyti er loftslagsávinningur strax kominn fram, ásamt minni þörf á aðfluttu eldsneyti. Með aukinni hreinsun á lífgasinu er hægt að fá hreint metan sem má nota sem eldsneyti á bifreiðar og önnur tæki, og aftur minnka þörf á jarðefnaeldsneyti. Miðað við gefnar forsendur í gasframleiðslu úr seyrna og með minniháttar töpum í framleiðsluferli metangass má áætla að spara mætti innflutning og notkun á meira en 800.000 lítrum af jarðefnaeldsneyti árlega.

Landgræðsla

- Örfoka land og rofið land á Íslandi er vandamál, bæði með tilliti til landgæða og loftslags. Rofinn jarðvegur losar gróðurhúsalofttegundir þar sem örverur komast auðveldlega í snertingu við súrefni og umbreyta kolefni í jarðveginu í koltvíoxíð. Að loka slíkum jarðvegi með uppgræðslu, skógrækt eða öðrum aðgerðum kemur í veg fyrir þessa losun og stuðlar einnig að kolefnisbindingu í plöntum og jarðvegi. Við uppgræðslu örfoka lands verður kolefnisbinding í plöntum og jarðvegi. Uppgræðsla krefst áburðar og efnis sem jarðvegurinn getur notað til að byggja upp gróður og plöntulíf. Í dag er seyra notuð til að græða upp land í Hrunamannahreppi og á Hólasandi í Mývatnssveit. Molta, kjötmjöl, hrossatað og annað lífrænt efni er einnig mikið notað. Með því að nota seyrna til uppgræðslu er verið að koma næringarefnum aftur upp á land þar sem þeirra er þörf, minnka losun gróðurhúsalofttegunda frá rofna landi og koma af stað virkri kolefnisbindingu (2 tonn CO₂/ha/árlega). Ef öll seyra sem fellur til við aukna fráveituhreinsun er notuð í uppgræðslu getur orðið kolefnisbinding sem samsvarar 8.900 tonnum CO₂-ígilda árlega og þar að auki er hægt að koma í veg fyrir áburðarframleiðslu sem samsvarar 2.400 tonnum CO₂-ígilda árlega (Fertilizers Europe, 2011).

Brennsla

- Helstu rök fyrir brennslu á seyrna eru rúmmálsminnkun (80-95%) (The World Bank, 1999) fyrir förgun ef enginn annar farvegur er til staðar fyrir seyrna. Við brennsluna er öllu lífrænu efni umbreytt í koltvíoxíð og eftir situr næringarrík aska. Brennslan krefst orku til að viðhalda henni og er oftast jarðefnaeldsneyti notað í þeim tilgangi. Með tilliti til kolefnisspors er brennsla sísti kosturinn af þessum þremur nema hún komi í veg fyrir bruna á díselolíu eða öðru eldsneyti. Það gæti til dæmis verið tilfellið við fiskimjölsframleiðslu eða í öðrum iðnaði. Ef ekki finnst farvegur til að nýta hina næringarríku ösku úr brennslunni þarf að farga henni. Flutningar við förgunarferlið væru þó minni sem vegur upp á móti losun við brennsluna en gera má ráð fyrir að flutningar minnki til jafns við rúmmálsminnkun seyrunnar, eða ein ferð í stað 5-20 ferða áður.

6.4 Samantekt aðferða

Í töflu 13 má sjá samantekt yfir þær þrjár aðferðir sem voru teknar fyrir í þessari skýrslu fyrir seyrunýtingu. Taflan sýnir kostnaðarlið, fýsileika á höfuðborgarsvæðinu og fyrir önnur minni þéttbýli. Þetta er sýnt vegna þess hve mikill munur er á seyrumagni frá höfuðborgarsvæðinu og öðrum þéttbýlisstöðum. Einnig er sýnt hvaða áhrif aðferðirnar hafa á örplast og lyfjaleifar í seyru (hreinleika lokaafurðar), samantekt á kolefnisspori aðferða og loks aðra kosti sem aðferðirnar bjóða upp á.

TAFLA 13 Samantekt yfir kostnað, fýsileika, hreinleika lokaafurðar, kolefnisspor og kosti þess að nýta seyru með uppgræðslu lands, gasframleiðslu eða brennslu. Að lokum er yfirlit yfir möguleika yfir nauðsynlega formeðhöndlun og samantekt yfir ferli.

ÞÆTTIR Í MATI FYRIR:	LANDGRÆÐSLA	GASFRAMLEIÐSLA	BRENNSLA
Kostnaðarliður	Lágur	Hár	Hár
Fýsileiki á höfuðborgarsvæði	Ekki fýsilegt	Fýsilegt	Gæti verið fýsilegt
Fýsileiki í minni þéttbýlum	Fýsilegt í ákveðnum landhlutum með samstarfi sveitarfélaga og Landgræðslunnar.	Erfið útfærsla með litlu magni af seyru.	Erfið útfærsla með litlu magni af seyru.
Hreinleiki lokaafurðar	Örplasti og lyfjaleifum dreift á land. Fram til þessa hefur ekki hefur verið sýnt fram á skaðleika fyrir lífríki né menn.	Örplasti og lyfjaleifum eytt með brennslu eftir gasframleiðslu.	Örplasti og lyfjaleifum eytt með brennslu.
Kolefnisspor	Aukin uppgræðsla með seyru minnkar eftirspurn eftir tilbúnum áburði, dregur úr losun gróðurhúsalofttegunda frá rofni landi og styður við kolefnisbindingu í nýjum plöntum og gróðri.	Lífgas er hægt að nýta til varma- og raforkuframleiðslu og sem eldsneyti á bifreiðar og tæki sem kæmi í veg fyrir notkun jarðefnaeldsneytis.	Brennsla á seyru krefst annars eldsneytis til að viðhalda brunanum. Oftast er jarðefnaeldsneyti notað. Orkan sem leynist í seyrinni nýtist samt sem áður.
Aðrir kostir	Köfnunarefni (N) og fosfór (P) nýtt úr seyrinni.	Hægt að nýta fosfór úr ösku ef notast við brennslu á hrati. Orkuframleiðsla.	Orkuframleiðsla. Hægt að nýta fosfór úr ösku eftir brennslu.

7 UMRÆÐA OG FRAMTÍÐARSÝN

Aukin hreinsun á skólpi frá þéttbýlum þar sem eins þreps hreinsunar er krafist myndi þýða aukið magn seyru. Á mynd 15 er seyru sem myndast við eins þreps hreinsun stillt upp sem auðlind. Reglugerð um fráveitur og skólp á stoð í evrópskri tilskipun sem var sett á til að sporna við þeim mengunarvanda sem næringarefni ollu í viðtökum víða í Evrópu. Ekki er talið að aukinn umhverfisávinningur sé af bættri hreinsun næringarefna úr skólpi hér á landi þar sem næringarefnaofauðgun er ekki vandamál í íslenskum skólpi viðtökum. Þó getur slík ofauðgun átt sér stað í viðtökum þar sem vatnsskipti eru lítil, til dæmis í þröskuldsfjörðum. Þar sem sjávarstraumar eru víða sterkir í viðtökum og losun næringarefna lítil eru mengunaráhrif af völdum næringarefna talin takmörkuð. Hins vegar eru næringarefni auðlind sem í dag er fargað í sjó í stað þess að nýta þau á landi.

Heildarlosun næringarefna í hafið umhverfis Ísland er í dag af stærðargráðunni 700-800 tonn af köfnunarefni og 230-270 tonn af fosfór á ári. Lítil hluti næringarefnanna fer ekki í hafið og er urðaður sem rotþróarseyra eða nýttur í uppgræðslu. Ef skólphreinsun verður aukin úr grófsíun í eins þreps hreinsun í þéttbýlum með losun yfir 10.000 PE, minnkar þessi losun um 300 tonn af köfnunarefni og um 100 tonn af fosfór, eða sem nemur um 40%. Þessum næringarefnum mætti koma fyrir á landi og þar með græða upp um 1.700-2.300 ha af landi árlega. Með uppgræðslu verður kolefnisbinding og samsvarar bindingin akstri 2.400 fólksbíla árlega, miðað við meðal árskeyrslu á Íslandi og meðallosun fólksbíla. Einnig er orkuinnihald seyru mikið og úr því er hægt að framleiða 14.500 MWh árlega með gasframleiðslu sem getur knúið 1.600 metan bíla á ári (sjá mynd 15).

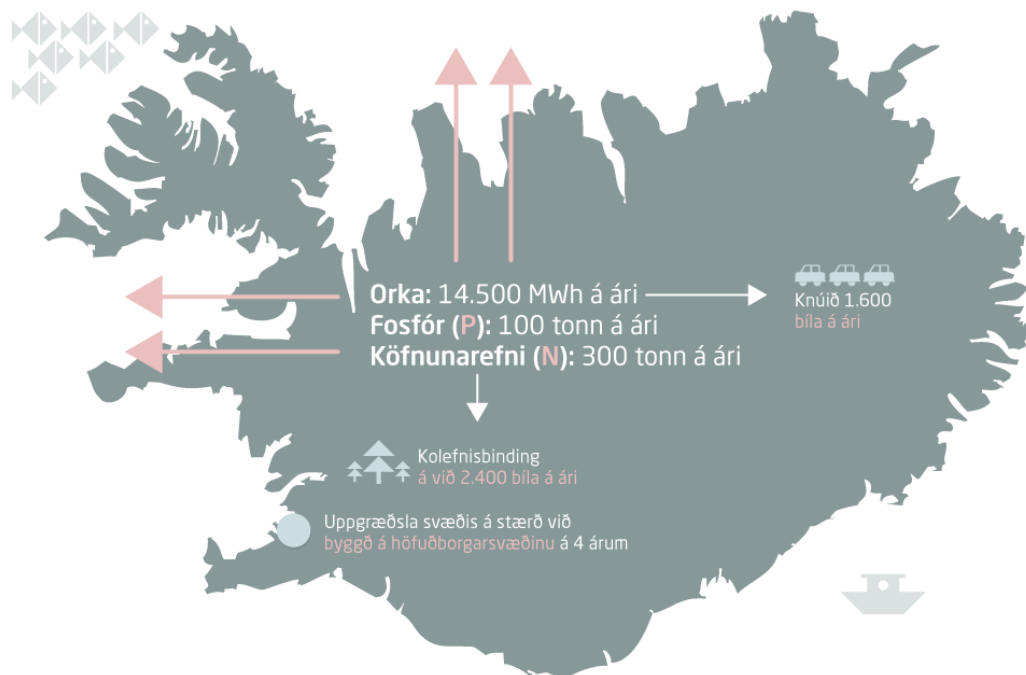
Halda þarf til haga að um helmingur PE í skólpi sem falla til á Íslandi koma frá matvælaíðnaði. Þetta eru gjarnan fiskvinnslur, mjólkurbú, sláturhús og ölgerðir. Þetta eru punktuppsprettur „hreinna“ næringarefna því þarna fylgja gjarnan ekki gerlar, örplast, lyfjaleifar eða önnur mengunarefni heldur aðeins lífrænt efni og næringarefni. Sum þessara fyrirtækja hafa sett upp vandaðan hreinsibúnað með góðum árangri eða endurskoðað ferla til að auka nýtingu lífrænna efna og næringarefna. Enn má auka árangur til mikilla muna með fjárfestingum sem í flestum tilvikum eru ekki miklar samanborið við veltu fyrirtækjanna.

Enn frekari umhverfisávinningur við að auka lágmarks hreinsun skólps í eins þreps hreinsun er fólgin í því að draga úr losun örplasts til sjávar. Eins og fyrr var nefnt hefur verið sýnt fram á um 79-98% hreinsun örplasts úr skólpi við eins þreps hreinsun. Ef skólphreinsun væri á öllum þéttbýlisstöðum með

yfir 10.000 PE losun yrði hlutfall hreinsaðs skólps 82% af heildarmagni skólps. Miðað við fyrrnefnda hreinsun örplasts úr skólpi við eins þreps hreinsun má áætla að ná mætti um 70% af örplasti úr skólpi á Íslandi, þ.e. ef lágmarks hreinsun væri eins þreps. Þó er óvíst hve mikil hreinsun minni örplastsagna á sér stað við slíka hreinsun. Líklegt má teljast að til þess þurfi ítarlegri hreinsun skólps sem var ekki til umfjöllunar í þessari skýrslu.

Þar sem mikill meirihluti örplasts fellur til við akstur bíla er afar mikilvægt að hreinsun ofanvatns gleymist ekki. Á þeim svæðum þar sem fráveitukerfi er tvöfalt fer afrennsli gatna ekki til hreinsistöðva. Þetta gildir um flest hverfi sem byggðust upp eftir 1970 á Íslandi, með ákveðnum undantekningum þó. Byggðar hafa verið settjarnir á allnokkrum stöðum á höfuðborgarsvæðinu og þar má ætla að góð hreinsun á örplasti eigi sér stað þótt það hafi ekki verið staðfest með rannsóknum. Æskilegt er að halda áfram uppbyggingu hreinsilausna fyrir ofanvatn, bæði í þéttbýli og á vegum úti en til eru lausnir sem auka bindingu örplasts í fyllingum við vegaxlir.

Rannsóknir hafa sýnt að kalt loftslag og takmarkað sólarljós á norðurslóðum gerir það að verkum að niðurbrot sumra lyfjaleifa er hægara en á suðlægari slóðum. Ekki á sér stað mikil hreinsun lyfjaleifa úr skólpi við eins þreps hreinsun en til þess þarf ítarlegri hreinsun.



MYND 15 Úrgangur sem auðlind. Afurðirnar, köfnunarefni, fosfór og orka, sem myndast við eins þreps hreinsun sýnd í tonnum og MWh á ári. Sýnt er hvað hægt er að nýta afurðirnar í við mismunandi nýtingarferli, annars vegar í gasframleiðslu og hins vegar landgræðslu. Einnig er sýnt að við uppgæðslu lands með seyrinni yrði árleg kolefnisbinding sem samsvarar árlegum akstri 2.400 fólksbíreiða.

Ekki var fjallað um tækni við endurvinnslu fosfórs úr vökvafasa í hreinsistöðvum í þessari skýrslu. Slík endurvinnsla fer fram við myndun strúvítkristalla (e. struvite) þegar magnesíum, fosfat og ammóníum mynda botnfall úr vökvafasanum. Þessa kristalla má nota sem áburð enda ríkir af fosfór. Dæmi um tækni sem nýtt er fyrir þetta ferli eru vökvahvarftankar (e. fluidized bed reactor) sem ýta undir þessi efnahvörf úr skólpi, þegar fráveituvatni er veitt um tank þar sem efnum sem stuðla að botnfalli er bætt út í tankinn. Hægt er að vinna allt að 70% fosfórs úr skólpi með þessari tækni (Le Corre o.fl., 2009). Þó tæknin lofi góðu er hún ný af nálinni og þarfnast frekari þróunar til að tryggja gæði lokaafurðar. Því er ekki mælt með þessari aðferð hér í þessari skýrslu.

Í Mývatnssveit var ráðist í lausn sem er álitleg fyrir nýtingu næringarefna úr skólpi og kemur um leið í veg fyrir að skaðleg efni úr skólpi mengi grunnvatn eða ná til sjávar. Lausnin felst í að skipta hefðbundnum vatnssalernum út fyrir vatnssparandi salerni (vacuum salerni). Þannig er salernisúrgangi, svartvatni, safnað án grávatns (frá eldhúsi, baði og þvottahúsi) eða skólpi frá iðnaði eða annarri vatnsmikilli fráveitu. Þetta gæti verið álitlegur kostur í nýrri hverfum. Svartvatni er þá safnað í tanka sem eru tæmdir eftir þörfum og svartvatnið flutt á svæði til nýtingar. Með þessum hætti er mögulegt að endurnýta að fullu næringarefni úr skólpi. Kostur þess að aðskilja svartvatn frá öðru skólpi er að hátt hlutfall örplasts er að finna í ofanvatni og grávatni. Þeir straumar blandast ekki svartvatninu í aðskildu kerfi eins og lýst var hér að ofan og því lítið sem ekkert örplast í svartvatni.

Þegar til skoðunar er að fjárfesta í mannvirkjum til að ná eins þreps hreinsun vaknar eðlilega upp sú spurning hvort ekki sé rétt að skoða þann valkost að ganga enn lengra, líkt og nágrannaþjóðir okkar gera. Þótt ekki sé þess þörf vegna næringarefnanna myndi muna um slíkt hvað önnur mengunarefni varðar. Hér verður ekki fjallað frekar um þau mál að öðru leyti en því að rétt sé að huga að slíkum möguleikum hvað hönnun mannvirkjanna varðar og plássþörf hreinsistöðvanna.

Niðurstaðan varðandi kostnaðinn sem hlytist af þeirri ákvörðun sem hér um ræðir er að meðalheimili þyrfti að greiða fráveitugjöld sem væru um 20 þúsund krónum hærri en þau eru í dag. Það myndi þýða að gjöldin færdust nær því sem þau eru á hinum Norðurlöndunum.

Á mynd 16 er samantekt yfir hvaða Heimsmarkmið, markmið Sameinuðu þjóðanna um sjálfbæra þróun, þær lausnir sem mælt er með í þessari skýrslu styðja við. Markmiðin eru: (7) Sjálfbær orka, (9) Nýsköpun og uppbygging, (11) Sjálfbærar borgir og samfélög, (12) Ábyrg neysla og framleiðsla, (13) Aðgerðir í loftslagsmálum og (14) Líf í vatni.



MYND 16 Lausnir sem mælt er með í þessari skýrslu uppfylla sex af Heimsmarkmiðunum, markmiðum Sameinuðu þjóðanna um sjálfbæra þróun.

8 HEIMILDASKRÁ

Almroth, B. M. C. (2017). Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment. *Environ Science Pollution Research*, 25(2), 1191–1199.

Analysis to Maximise the Efficiency of Anaerobic Digestion - Celignis Biomass Analysis Laboratory. (e.d.). Celignis Analytical. Sótt 24. október 2019, af <https://www.celignis.com/anaerobic-digestion.php>

Ashley, K., Mavinic, D., & Koch, F. (2009). *International Conference on Nutrient Recovery From Wastewater Streams Vancouver, 2009*. IWA Publishing.

Bach, L., Fischer, A., & Strand, J. (2010). Local anthropogenic contamination affects the fecundity and reproductive success of an Arctic amphipod. *Mar Ecol Prog Ser*, 419, 121–128.

Bach, L., Forbes, V. E., & Dahllöf, I. (2009). The amphipod *Orchomenella pinguis* – A potential bioindicator for contamination in the Arctic. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 1664–1670.

Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K., & Olshammar, M. (2017). *Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten* (Nr. C 235; bls. 6). Svenska Miljöinstitutet.

- Barker. (2010). *Science and Technology of Organic Farming*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/273749352_Science_and_Technology_of_Organic_Farming_By_A_V_Barker_Boca_Raton_FL_USA_CRC_Press_2010_pp_224_4499_ISBN_978-1-4398-1612-7
- Beljanski, A., Cole, C., Fuxa, F., Setiawan, E., & Singh, H. (2016). Efficiency and Effectiveness of a Low-Cost, Self-Cleaning Microplastic Filtering System for Wastewater Treatment Plants. *Proceedings of The National Conference*, 1388–1395.
- Bergheim, M., Helland, T., Kallenborn, R., & Kümmerer, K. (2010). Benzyl-penicillin (Penicillin G) transformation in aqueous solution at low temperature under controlled laboratory conditions. *Chemosphere*, 81(11), 1477–1485.
- Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M., Alfred-Wegener-Institut, & Göteborgs universitet (Ritstj.). (2015). *Marine anthropogenic litter*. Springer.
- Bernard, S., & Gray, N. F. (2000). AEROBIC DIGESTION OF PHARMACEUTICAL AND DOMESTIC WASTEWATER SLUDGES AT AMBIENT TEMPERATURE. *Water Research*, 34(3), 725–734.
- Birgir Tómas Arnar, Snorri Þórisson, & Arnór Þórir Sigfússon. (2015). *Skólphreinsistöðvar, sýnataka og mælingar, árleg yfirlitsskýrsla 2014, Reykjavík* (bls. 22). Orkuveita Reykjavíkur og Veitur.
- Bragason, Á., Jóhannsson, M. H., & Lange, D. F. (2018). *Uppgræðsla með seyru á Hólasandi, aðkoma Landgræðslu ríkisins. Minnisblað. Landgræðsla ríkisins*.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Louise, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. C. (2011). Accumulations of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science and Technology*, 45(21), 9175–9179.

- Büyüksönmez, F., & Sekeroglu, S. (2005). Presence of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in biosolids and their degradation during composting. *Residuals Sci. Technol*, 2(1), 31–40.
- Cao, D., Wang, X., Luo, X., Liu, G., & Zheng, H. (2017). Effects of polystyrene microplastics on the fitness of earthworms in an agricultural soil. *Earth Environment Science*, 61(2017), 1–4.
- Colón, J., Alarcón, M., Healy, M. G., Namli, A., Sanin, F. D., Tayá, C., & Ponsá, S. (2017). Producing sludge for agricultural applications. Í *Innovative Wastewater Treatment & Resource Recovery Technologies: Impacts on Energy, Economy and Environment* (bls. 690). IWA Publishing.
- Cordell, D., Drangert, J.-O., & White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, 19(2009), 292–305.
- Coyne, J., Wilson, C., Scarborough, M., & Umble, A. (2017). *Anaerobic digestion fundamentals -Fact Sheet*. Water Environment Federation.
- Cózar, A., Martí, E., Duarte, C. M., García-de-Lomas, J., van Sebille, E., Ballatore, T. J., Eguíluz, V. M., González-Gordillo, J. I., Pedrotti, M. L., Echevarría, F., Troublè, R., & Irigoien, X. (2017). The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation. *SCIENCE ADVANCES*, 9.
- Davies, J. (1994). Inactivation of Antibiotics and the Dissemination of Resistance Genes. *Science*, 264(1994), 375–382.
- Dawson, C. J., & Hilton, J. (2011). Fertiliser availability in a resource-limited world: Production and recycling of nitrogen and phosphorus. *Food policy*, 36, 14–22.

- de Souza Machado, A. A., Wai Lau, C., Till, J., Kloas, W., Lehmann, A., Becker, R., & Rillig, M. C. (2018). Impacts of Microplastics on the Soil Biophysical Environment. *Environ. Sci. Technol.*, 10.
- Donatello, S. (2013). Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash (ISSA): A review. *Waste Management*, 13.
- Ekster, A., & Pena, C. (2000). *A NEW METHOD FOR EVALUATING PRIMARY CLARIFIERS*. 20. <https://doi.org/10.2175/193864700784607181>
- EPA. (2000a). *Biosolids Technology Fact Sheet: Alkaline Stabilization of Biosolids*. United States Environmental Protection Agency.
- EPA. (2000b). *Biosolids Technology Fact Sheet: Belt Filter Press*. United States Environmental Protection Agency.
- EPA. (2000c). *Biosolids Technology Fact Sheet: Centrifuge Thickening and Dewatering*. United states Environmental Protection Agency.
- EPA. (2002). *Biosolids Technology Fact Sheet: Use of Composting for Biosolids Management*. United States Environmental Protection Agency.
- EPA. (2003). *Biosolids Technology Fact Sheet: Gravity Thickening*. United States Environmental Protection Agency.
- EPA. (2006). *Biosolids Technology Fact Sheet: Multi-Stage Anaerobic Digestion*. United States Environmental Protection Agency.
- EPA, Ireland. (1997). *Waste Water treatment manuals: Primary, Secondary and Tertiary Treatment*. Environmental Protection Agency, Ireland.

- Fertilizers Europe. (2011). *Carbon Footprint Reference Values, energy efficiency and greenhouse gas emissions. Validated by European Commission methodology.*
- Fritz, E., Hausegger, S., & Gupta, R. (2019). *Thickening and Dewatering*. 4.
- Fytili, D., & Zabaniotou, A. (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26.
- Grosser, A. (2018). Determination of methane potential of mixtures composed of sewage sludge, organic fraction of municipal waste and grease trap sludge using biochemical methane potential assays. A comparison of BMP tests and semi-continuous trial results. *Energy*, 143(2018), 488–899.
- Guðjón Atli Auðunsson. (2015). *Vidtakarannsóknir 2011: Setgildirur, kræklingur og sjór* (NMÍ 15-02, 15-03 og 15–04). Nýsköpunarmiðstöð Íslands.
- Gunnarsdóttir, R. (2012). *Wastewater treatment in Greenland* [Phd]. DTU.
- Gunnarsdóttir, R. (2013). A review of wastewater handling in the Arctic with special reference to pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) and microbial pollution. *Ecological Engineering*, 50(2013), 76–85.
- Haiba, E., & Nei, L. (2017). Sewage Sludge Composting and Pharmaceuticals. *European Scientific Journal*, 114–121.
- He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Lei, L. (2018). Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *Trends in Analytical Chemistry*, 10.
- Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J. la C., & Arvin, E. (2000). *Wastewater Treatment, biological and chemical processes* (3.útgáfa). Springer.

- Hurley, R. R., & Nizzetto, L. (2018). *Fate and occurrence of micro(nano)plastics in soils: Knowledge gaps and possible risks*. 6.
- Jacopa. (2018). *Soby Belt Filter*.
- Jensen, S., Gunnlaugsdóttir, H., & Jörundsdóttir, H. Ó. (2019). *Lyfjaleifar í íslensku umhverfi* (Tbl. 4–19). Matís.
- Jouraihy, A., Amir, S., Gharous, M. E., Revel, J.-C., & Hafidi, M. (2005). Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of sewage sludge and green plant waste. *International Biodeterioration*, 56(2005), 101–108.
- Jóhannsson, M. H., Bau, A., Porfinnsson, G., & Jónsdóttir, S. (2017). *Lífrænn úrgangur til landgræðslu, tækifæri*. (LR 2017/02; bls. 22). Landgræðsla Ríkisins.
- Kallenborn, R., Fick, J., Lindberg, R., Moe, M., Nielsen, K. M., Tysklind, M., & Vasskog, T. (2008). Pharmaceutical Residues in Northern European Environments: Consequences and Perspectives. Í K. Kümmerer (Ritstj.), *Pharmaceuticals in the Environment: Sources, Fate, Effects and Risks* (bls. 61–74). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74664-5_5
- Karvelas, M., Katsoyiannis, A., & Samara, C. (2003). *Occurrence and fate of heavy metals in the wastewater treatment process*. 10.
- Kasina, M., Wendorff-Belon, M., Kowalski, P. R., & Michalik, M. (2019). Characterization of incineration residues from wastewater treatment plant in Polish city: a future waste based source of valuable elements? *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21(4), 885–896. <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00845-1>

- Kaur, H., Hippargi, G., Pophali, G. R., & Bansiwai, A. K. (2019). 6 - Treatment methods for removal of pharmaceuticals and personal care products from domestic wastewater. Í M. N. V. Prasad, M. Vithanage, & A. Kapley (Ritstj.), *Pharmaceuticals and Personal Care Products: Waste Management and Treatment Technology* (bls. 129–150). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816189-0.00006-8>
- Kelessidis Alexandros, & Stasinakis, A. S. (2012). Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Management*, 10.
- Kempton, S., Sterritt, R. M., & Lester, J. N. (1987). Heavy metal removal in primary sedimentation I. The influence of metal solubility. *Science of The Total Environment*, 63, 231–246. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(87\)90048-9](https://doi.org/10.1016/0048-9697(87)90048-9)
- Kerstin Magnusson, Hrönn Jörundsdóttir, Norén, F., Lloyd, H., Talvitie, J., & Setälä, O. (2016). *Microplastic in sewage treatment systems*. 59.
- Kosobucki, P., Chmarzynski, A., & Buszewski, B. (2000). *Sewage Sludge Composting*. *Polish Journal of Environmental Studies Vol. 9(4)*, 243–248.
- Kümmerer, K. (2009). *Antibiotics in the aquatic environment – A review – Part I*. 18.
- Kärman, A., Schönlau, C., & Engwall, M. (2016). *Exposure and Effects of Microplastics on Wildlife*. 39.
- Layman Report: sludge2energy A way to energy self-sufficient sewage treatment plants*. (2011). Huber technology.
- Le Corre, K. S., Valsami-Jones, E., Hobbs, P., & Parsons, S. A. (2009). Phosphorus Recovery from Wastewater by Struvite Crystallization: A Review. *Critical Reviews in*

- Li, X. (2018). Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China. *Water Research*, 11.
- López, J. S., Burgos, A. J., & Rodríguez, P. U. (2015). *SLUDGE THICKENING (FS-FNG-001)*. 33.
- Lundin, M., Olofsson, M., Pettersson, G. J., & Zetterlund, H. (2004). Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options. *Resources, Conservation and Recycling*, 41(2004), 255–278.
- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., Liang, S., & Wang, X. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 619–641.
- Løkkegaard, H., Maribo, P., Antonsen, S. B., Køcks, M., Frølich, S., Nielsen, P. H., & Uri, N. (2016). *Båndfilterteknologiens potentiale for at fjerne mikroplast i kombination med organisk stof i renseanlægs primærdel* (Tbl. 978-87-93710-29-0). Miljøstyrelsen.
- Mahon, A. M., Healy, M. G., O'Connor, I., & Officer, R. A. (2016). *Microplastics in Sewage Sludge Effects of Treatment*. Environmental Science and Technology.
- Masters, G. M., & Ela, W. P. (2014). *Introduction to environmental engineering and science* (Third edition, Pearson new international edition). Pearson.
- Mattsson, K. (2015). Nano-plastics in the aquatic environment. *Environ. Sci.*, 11.

- Miege, C., Choubert, J. M., Ribeiro, L., Eusébe, M., & Coquery, M. (2009). Fate of pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment plants - Conception of a database and first results. *Environmental Pollution*, 157(5), 1721–1726. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.11.045>
- Nizzetto, L., Futter, M., & Langaas, S. (2016). Are Agricultural Soils Dumps for Microplastics of Urban Origin? *Environ. Sci. Technol.*, 3.
- On Landfill of Waste, nr. 1999/31/EC, Pub. L. No. 1999/31/EC (1999).
- Ontario. (2019). *Design Guidelines For Sewage Works: Sludge thickening and dewatering*. Ontario Ministry of the Environment. <https://www.ontario.ca/document/design-guidelines-sewage-works/sludge-thickening-and-dewatering>
- Pescod, M. B. (1992). *Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47*. Wastewater treatment. <http://www.fao.org/3/t0551e/t0551e05.htm>
- Pettersson, A., Åmand, L.-E., & Steenari, B.-M. (2008). *Leaching of ashes from co-combustion of sewage sludge and wood Part I: Recovery of phosphorus*. 19.
- Pitk, P., Kaparaju, P., Palatsi, J., Affes, R., & Vilu, R. (2013). Co-digestion of sewage sludge and sterilized solid slaughterhouse waste: Methane production efficiency and process limitations. *Bioresource Technology*, 134(2013), 227–232.
- Prata, J. C. (2018). Microplastics in wastewater_ State of the knowledge on sources, fate and solutions. *Marine Pollution Bulletin*, 4.
- Reglugerð um meðhöndlun seyru, nr. 799/1999, Pub. L. No. 799/1999 (1999).
- Reglugerð um meðhöndlun úrgangs, nr. 737/2003, (2003). <https://www.reglugerd.is/reglugerdir/allar/nr/737-2003>

- Rhein, F. (2019). Magnetic seeded filtration for the separation of fine polymer particles from dilute suspensions: Microplastics. *Chemical Engineering Science*, 10.
- Rillig, M. C., Lehmann, A., de Souza Machado, A. A., & Yang, G. (2019). Microplastic effects on plants. *New Phytologist*, 5.
- Salsabil, M. R., Laurent, J., Casellas, M., & Dagot, C. (2010). Techno-economic evaluation of thermal treatment, ozonation and sonication for the reduction of wastewater biomass volume before aerobic or anaerobic digestion. *Journal of Hazardous Materials*, 11.
- Shaikh, M. A. N., Ahmad, M., & Siddiqui, I. (2018). *Phosphorus recovery from wastewater treatment and sewage sludge: A review*. 7.
- Sigurðsson, V., & Halldórsson, P. (2019). *Örplast í hafinu við Ísland: Helstu uppsprettur, magn og farvegir í umhverfinu*. BioPol og Nátturustofa Norðurlands Vestra.
- Sikora, L. J. (1998). Benefits and Drawbacks to Composting Organic By-Products. Í S. Brown, J. S. Angle, & L. Jacobs (Ritstj.), *Beneficial Co-Utilization of Agricultural, Municipal and Industrial by-Products* (bls. 69–77). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-5068-2_6
- Stockholm Vatten. (2015). *STOCKHOLMS FRAMTIDA AVLOPPSRENING - Bilaga B*. Stockholm Vatten.
- Suarez, S., Carballa, M., Omil, F., & Lema, J. M. (2008). How are pharmaceutical and personal care products (PPCPs) removed from urban wastewaters? *Rev Environ Sci Biotechnol*, 2008(7), 125–138.

- Ternes, T. A., Stumpf, M., Mueller, J., Haberer, K., & Servos, M. (1999). *Behavior and occurrence of estrogens in municipal sewage treatment plants I. Investigations in Germany, Canada and Brazil*. 225(1999), 81–90.
- The World Bank. (1999). *Decision Makers' Guide to Minicipal Solid Waste Incineration* (bls. 1). The International Bank for Reconstruction and Development.
- Umhverfisstofnun*. (2017). [Stöðuskýrsla]. Samantekt um stöðu fráveitumála á Íslandi 2014.
- Vasskog, T., Bergersen, O., Anderssen, T., Jensen, E., & Eggen, T. (2009). Depletion of selective serotonin reuptake inhibitors during sewage sludge composting. *Waste Management*, 29(2009), 2808–2815.
- Verlicchi, P., & Zambello, E. (2015). Pharmaceuticals and personal care products in untreated and treated sewage sludge: Occurrence and environmental risk in the case of application on soil — A critical review. *Science of the Total Environment*, 18.
- Water UK. (2010). *Recycling of biosolids to agricultural land*. Water UK, London. <https://dl.dropboxusercontent.com/u/299993612/Publications/Reports/Waste%20recycling/recycling-biosolids-to-agricultural-land--january-2010-final.pdf>
- Weithmann, N., Möller, J. N., Löder, M. G. J., Piehl, S., Laforsch, C., & Freitag, R. (2018). Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment. *SCIENCE ADVANCES*, 8.
- Westphalen, H., & Abdelrasoul, A. (2018). Challenges and Treatment of Microplastics in Water. *In Tech Open Science*, 71–84.
- WHO. (2006). *WHO Guidelines for the Safe Use of Wasterwater Excreta and Greywater*. World Health Organization.

Winther, L., Henze, M., Linde, J. J., & Jensen, H. T. (1998). *Spildevandsteknik*. Polyteknisk forlag.

World Health Organisation. (2019). Microplastics in drinking water.

WQA, W. Q. A. (2013). *Pharmaceuticals, Personal Care Products and Endocrine Disrupting Compounds [Fact sheet]*. <https://www.wqa.org/learn-about-water/contaminants-of-emerging-concern/pharmaceuticals-personal-care-products-and-endocrine-disrupting-compounds>

Ying, M., Wu, J., Oakes, K. D., & Hu, A. (2015). Removal of pharmaceuticals and personal care products from wastewater. *Wastewater Treatment*, 30.

Zhang, S., Yang, X., Gertsen, H., Peters, P., Salánki, T., & Geissen, V. (2018). A simple method for the extraction and identification of light density microplastics from soil. *Science of the Total Environment*, 10.

Zubris, K. A. V., & Richards, B. K. (2005). Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge. *Environmental Pollution*, 11.