



**URÐUNARSTAÐUR Á MEL Í LANDI
FJARÐAR Í LÓNI
Áhættumat vegna starfleyfis**

Sveitarfélagið Hornafjörður

September 2011

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	1
2. UPPRUNAEINKENNI MENGANDI ÞÁTTA	2
2.1 ÚRGANGUR.....	2
2.2 SIGVATN	3
3. FLUTNINGSLEIÐIR VATNS OG TÁLMAR.....	8
3.1 ÚRKOMA OG MYNDUN SIGVATNS	8
3.2 JARÐFRÆÐI, VATNAFRÆÐI, TÁLMAR, URÐUNARHÓLF OG ÁFORM	9
3.3 VATNSJÖFNUÐUR Í URÐUNARHÓLFI.....	13
4. NIÐURSTAÐA.....	15
5. HEIMILDIR	16

1. INNGANGUR

Áhættumat þetta er lagt fram með umsókn um endurnýjun starfleyfis fyrir urðunarstaðinn á Mel í landi Fjarðar (í Lóni) í Sveitafélaginu Hornafirði. Núverandi starfsleyfi urðunarstaðarins var gefið út 9. desember 2002 og gildir það í 10 ár eða til 9. desember 2012. Í starfleyfinu er bráðabirgðarákvæði sem kveður á um að rekstraraðili skuli leggja fram áætlun um breytingu á urðunarstaðnum í samræmi við lögleiðingu á urðunartilskipun Evrópusambandsins 31/1999/EB. Urðunarstaðurinn þarf að uppfylla ákvæði reglugerðar um urðun nr. 738/2003, en rekstraraðili getur skv. henni óskað eftir ákveðnum tilslökunum á kröfum varðandi botnpéttingu.

Í reglugerðinni (20 grein) segir að á urðunarstöðum skuli gera viðeigandi ráðstafanir, m.t.t. einkenna urðunarstaðarins og veðurfarslegra skilyrða, sbr. I. viðauka, í því skyni að:

- hafna stjórn á úrkomuvatni sem berst í urðaðan úrgang;
- varna því að yfirborðs- og/eða grunnvatn komist í úrgang;
- safna saman menguðu vatni og sigvatni;
- meðhöndla sigvatn, sem safnað er frá urðunarstaðnum í samræmi við ákvæði starfleyfis.

Í 25. grein í reglugerðinni segir að Umhverfisstofnun geti ákveðið í starfsleyfi að minnka þær kröfur sem settar eru fram í liðum 3.2. og 3.3. í I. viðauka, með tilliti til lektar og sigvatnssöfnunar, þar sem sýnt hefur verið fram á að jarðvegi, grunnvatni eða yfirborðsvatni stafi ekki hætta af urðuninni. Ákvörðun Umhverfisstofnunnar skal byggjast á framlögðum gögnum um áhættumat í umsókn um starfsleyfi og, ef við á, mati á umhverfisáhrifum og vera tekin í samræmi við lið 2 í I. viðauka.

I. viðauki reglugerðarinnar lýsir almennum kröfum sem gilda um urðunarstaði. Þar er fjallað um hvers ber að taka tillit til við val staðsetningar, sbr. lið 1; fjarlægðar í viðkvæm svæði, grunnvatns, jarðfræðiskilyrða auk ýmissa þátta sem skapað geta hættu fyrir mannvirkni. 2. liður fjallar um sömu þætti og 20 gr. sbr. hér að framan.

Liður 3.1 segir að jarðveg, grunn- og yfirborðsvatn skuli vernda með því að nýta í senn jarðfræðilegan tálma og botnpéttingu á rekstartíma urðunarstaðar. Í lið 3.2. segir að „*um jarðfræðilegan tálma sé að ræða þegar jarðfræðilegar og vatnafræðilegar aðstæður undir urðunarstaðnum og í nágrenni hans veita slíka fyrirstöðu að jarðvegi og grunnvatni stafar engin hætta af*“. Þá segir að á botni og hliðum skuli vera jarðlag sem uppfyllir þær kröfur sem gerðar eru um lekt (k) og þykkt með sameinaða verkun m.t.t. verndar jarðvegs og grunn- og yfirborðsvatns í heild að minnsta kosti á sambærilegan hátt og yrði að uppfylltum eftirfarandi kröfum fyrir urðunarstað fyrir almennan úrgang:

$$k \leq 1,0 \times 10^{-9} \text{ m/s og } \text{þykkt} \geq 1 \text{ m.}$$

Uppfylli jarðfræðilegur tálmi ekki þetta skilyrði frá náttúrunnar hendi má fullgera hann og styrkja á annan hátt þannig að hann veiti samsvarandi vörn. Tilbúinn jarðfræðilegur tálmi skal ekki vera minna en 0,5 m að þykkt.

Liður 3.3 segir „*að til viðbótar jarðfræðilegum tálma, sem lýst er að framan, skal koma kerfi til að safna sigvatni og þétta botninn í samræmi við eftirfarandi meginreglur í því skyni að tryggja að sem minnst sigvatn safnist fyrir á botni urðunarstaðar*“. Í meginreglum er

eingöngu tekið fram að fyrir urðunarstað fyrir almennan úrgang sé tilbúin þétting nauðsynleg auk hriplags $\geq 0,5$ m.

Ljóst er að náttúrulegar jarðfræðilegar aðstæður á urðunarstaðnum í Lóni samræmast ekki ofangreindum reglugerðaraðstæðum nema að hluta til og þarf því að hanna og útbúa fyrirhuguð urðunarhólf eða reinar til að uppfylla sem best markmið reglugerðarinnar til verndunar jarðvegs og vatns. Því er í þessu mati gerð grein fyrir ákveðnum hönnunarforsendum við byggingu urðunarhólfa og tengdra kerfa.

Til hliðsjónar við gerð áhættumatsins eru hafðar norskar leiðbeiningar „*Veileder om miljørisikovurdering af bunntetting og oppsamling av sigevann ved deponier*“ gefnar út af SFT, TA-1995/2003 (1). Nokkuð þarf þó að bregða út af spori leiðbeininganna þar sem þær miða við að til séu góðar mælingar á úrkomu- og sigvatnsmagni á eldri hluta urðunarstaðar sem stækka á og auðvelt sé því að reikna nákvæman vatnsjöfnuð fyrir urðunarhólf.

2. UPPRUNAEINKENNI MENGANDI ÞÁTTA

2.1 ÚRGANGUR

Sveitarfélagið Hornafjörður er um 6.000 km² að stærð og nær frá Skeiðarársandi í vestri og að Hvalnesskriðum í austri og búa þar um 2.100 íbúar, þar af 1.700 á Höfn. Frá íbúum fellur til almennur úrgangur s.s. matarleifar, umbúðir, dagblöð og tímarit, klæði, bleyjur. Einnig grófari úrgangur s.s. húsgögn, innréttingar, garðaúrgangur, raftæki, bifreiðar, hjólbarðar, viðhaldsúrgangur, seyra og auk þess falla til spilliefni.

Rekstrarúrgangur kemur frá ýmsri atvinnustarfsemi í Höfn, en þar eru m.a. almenn þjónustufyrirtæki, verslanir, vélsmiðjur, verkstæði, verktakastarfsemi, sláturhús og sjávarútvegsfyrirtæki. Þá er öflugur landbúnaður og ferðamannaíðnaður víða í sveitarfélaginu. Auk hluta ofangreindra úrgangsflokka myndast því m.a. fiskúrgangur, rúllubaggaplast, sláturúrgangur, byggingarúrgangur og veiðafæraúrgangur.

Áhersla á flokkun og endurvinnslu úrgangs hefur aukist mikið síðustu ár í sveitarfélaginu og þjónusta því tengd verið stórbætt. Fjórar grenndarstöðvar eru nú á Höfn auk gámaports, þar sem boðið er upp á móttöku flokkaðs úrgangs. Í grenndarstöðvum má flokka dagblöð og tímarit, bylgjupappa, sléttan pappír, smátt brotajárn og mjúkt plast. Í gámaportinu má auk ofangreinds flokka fatnað, nytjahluti, baggaplast, timbur, rafeindabúnað, gler, lífrænan úrgang, bílhæ og dekk. Þá eru grenndarstöðvar á 6 stöðum í dreifbýli.

Sveitarfélagið á og rekur öflugan timburkurlara sem nýttur er fyrir flokkað timbur og er reglulega kurlað í honum en magnið hefur ekki verið mælt. Kurlið er m.a. notað í stíga og í beð.

Sláturúrgangur hefur að stærstum hluta farið í endurvinnslu eða beina sölu og hefur skilvinda verið notuð til að ná úr honum mest af vökva.

Humarúrgangur og annar fiskúrgangur hefur farið í bræðslu að hluta og að hluti til bænda í uppgræðsluverkefni. Lítið er því urðað af þeim úrgangi.

Endurvinnslan er með móttöku fyrir drykkjarvöruumbúðir og er góður árangur á skilum þangað.

Sveitarfélagið hefur hvatt íbúa til flokkunar á lífrænum úrgangi frá heimilum og heimajarðgerð og nýtist moltan þá sem jarðvegsbætir í gördunum. Boðið er upp á tvær stærðir tunna fyrir almennan óflokkaðan úrgang og er greitt helmingi lægra sorphirðugjald þá minni, en þetta er hvati til meiri flokkunar úrgangs og skil í gámaport eða grenndarstöðvar.

Fyrirtækið Funi ehf. veitir þjónustu í sorphreinsun og í útleigu gáma og íláta.

Urðunarstaðurinn í Lóni er gerður fyrir almennan úrgang, skv. reglugerð 738/2003, en ekki fyrir spilliefni. Inn á urðunarstaðinn koma því flestar gerðir óflokkaðs heimilis- og rekstrarúrgangs. Núgildandi starfleyfi urðunarstaðarins gerir ráð fyrir að allt að 5.500 rúmmetrar af almennum úrgangi séu urðaðir þar árlega.

Mikil breyting hefur orðið á eðli þess úrgangs sem urðaður er í dag miðað við það sem áður var og hefur hlutfall lífræns úrgangs dregist mest saman þ.m.t. urðun á pappírsumbúðum, dagblöðum og tímaritum, timbri, slátur- og fiskúrgangi. Þá er sveitarfélagið með góða móttöku fyrir spilliefni á Höfn og sér um söfnun þeirra í dreifbýli með reglulegu millibili, en þessi úrgangur er sá hættumesti hvað varðar mengað sigvatn á urðunarstað. Þessar þróun heldur áfram og mun því í framtíðinni draga verulega úr mengunarhættu vegna sigvatns og gass á urðunarstaðnum.

Áætlað er að á urðunarstaðnum hafi nú verið urðuð um 30.000 tonn af úrgangi á þeim 16 árum sem urðunarstaðurinn hefur starfað. Áætlað er að rúmpyngd í reinum sé frekar lág eða um 0.5 tonn/m^3 þar sem sérhæfður troðari hefur ekki verið á staðnum en úrgangurinn hefur verið bankaður niður með gröfu. Því er rúmmál úrgangsins áætlað um 60.000 rúmmetrar og flatarmál urðunarsvæðis þekur nú um 36.000 m^2 .

Jafnaðarþykkt úrgangs er áætluð um 4 metrar en gryfjur hafa verið grafnar niður á um 3-8 m dýpi og er efsta hululagið um einn metri. Nýting á haugnum á lóð er áætluð vera um 70% þar sem eitthvert bil er jafnan milli reina og reiknað er með að huluefni taki upp um 30% af rými í reinunum.

Á urðunarstaðnum Lóni hefur eingöngu verið urðaður almennur úrgangur, þ.e. heimilisúrgangur, rekstrarúrgangur en hvorki spilliefni né iðnaðarúrgangur. Á síðari árum hefur dregið verulega úr urðun á lífrænum úrgangi eins og greint er frá að framan og má áætla að stór hluti urðaðs úrgangs sé því hlutlaus úrgangur (t.d. steypa, gler, keramik, skel og plastefni) sem að mynda ekki nema lítið magn af menguðu sigvatni. Nánar er fjallað um sigvatnið í kafla 2.2.

Sveitarfélagið fyrirhugar að taka upp flokkun lífræns eldhúsúrgangs og endurvinnslu hans til að draga enn frekar úr hættu sem skapast getur af urðun. Þá mun sveitarfélagið hvetja fyrirtæki til að fyrirtæki flokki lífrænan úrgang og koma í endurvinnslu.

2.2 SIGVATN

Sýnatökur og greiningar hafa farið fram reglubundið á urðunarstaðnum í Lóni síðan 1999. Sýni hafa annarsvegar verið tekin úr frárennsli hreinsivirkis norðaustan urðunarreina og hinsvegar úr vatnslitlum læk við lóðarmörk suðaustanmegin. Lækurinn er myndaður úr blöndu af sigvatni og jarðvatni sem hripar fram úr lóðinni út í skurðinn. Skurðurinn var grafinn ofanmegin urðunarreina til þess að stýra ofanvatni frá urðunarsvæði. Lækurinn vex svo bæði í leysingum og rigningum vegna yfirborðsvatns sem berst af svæðinu nær fjalli.

Í töflu 1 eru birt meðaltöl árlegra greininga á sýnum frá Lóni, bæði úr frárennsli á hreinsikerfi og í læk við lóðarmörk, fyrir sömu efnisþætti og í töflu 2 hér að aftan sem höfð er til samanburðar.

Tafla 1. Eiginleikar sigvatns á urðunarstaðnum í Lóni

Mæling	Eining	Sigvatn í brunni meðaltal	Sigvatn við lóðarmörk meðaltal
Rennsli	l/sek	ekki mælt	ekki mælt
pH	PH	6,7	6,9
Leiðni	uS/sm	1.460	301
COD	mg/l	140	17
AOX	ug/l	0,150	0,056
olia/fita	mg/l	0,75	ekki mælt
Cl ⁻	mg/l	ekki mælt	ekki mælt
SO ₄ ⁻ -S	mg/l	ekki mælt	ekki mælt
NH ₄ ⁺	mg/l	35,7	2,8
NO ₃ ⁻	mg/l		ekki mælt
Heildar-N	mg/l	26,1	2,7
heildar-P	mg/l	0,15	0,03
Pb	ug/l	<0,38	ekki mælt
Cd	ug/l	<0.03	ekki mælt
Hg	ug/l	<0.04	ekki mælt
Fe	mg/l	26,6	ekki mælt
Zn	ug/l	56	ekki mælt
Cr	ug/l	<1	ekki mælt
Ni	ug/l	ekki mælt	ekki mælt
Cu	ug/l	<20	ekki mælt
As	ug/l	0,1	ekki mælt

Til samanburðar eru birtar niðurstöður mælinga í töflu 2 á sigvatni fyrir nokkra urðunarstaði á Íslandi. Íslensku niðurstöðurnar koma úr skýrslu Tema Nord (2). Taflan sýnir talsvert mikla breidd í niðurstöðum frá urðunarstöðunum, en það er í samræmi við það sem ætla má þar sem efnasamsetning og styrkur eru alla jafna mjög breytileg eftir gerð urðunarstaðar og úrgagns, stærð og þroskastigi eða aldri úrgangs.

Tafla 2. Eiginleikar sigvatns á nokkrum íslenskum urðunarstöðum(2)

Pollutant/parameter	Category 1 landfills (4)	No of landfills considered	Category 2 landfills (7)	No of landfills considered
Leachate flow (l/sec)	0,1 - 7	2	No data	
nLeachate temp. (°C)	9-23	3	No data	
pH	6,6-7,8	4	6,6-8,0	4
Conductivity (µS/cm)	600-14.500	4	115-1490	4
COD (mg/l)	190-4820	4	<10-850	4
AOX (mg/l)	0,003-0,6	3	Below measuring levels	1
Oil/fat (mg/l)	5,5-20	1	No data	
Cl ⁻	1100-1500	1	No data	
SO ₄ ⁻² S	48-65	1	No data	
NH ₄ ⁺ /NH ₃ (mg/l)	16-1285	4	<0,03-15,9	3
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,01-120	3	0,1-0,6	1
Total-N(mg/l)	5-770	2	0,6-20,2	3
Total-P(mg/l)	0,02-6,6	2	<0,07-0,29	3
Pb(mg/l)	0,001-1 ⁽¹⁾	4	<0,05	3
Cd(µg/l)	0,08-0,47	4	<0,005	3
Hg(µg/l)	0,01-3	4	<0,05	3
Fe(mg/l)	18-130	3	0,2-26,6	2
Zn(mg/l)	0,08-5,4	4	<0,01-0,11	2
Cr(mg/l)	0,005-0,40	4	<0,03	2
Ni(mg/l)	0,09-0,2	2	<0,02	2
Cu(mg/l)	0,002-0,08	4	<0,02	2
As(mg/l)	<0,002-0,02	2	<0,01	2
Mn(mg/l)	2,5-5	1	No data	

Rennslismagn sigvatns hefur ekki verið mælt við reglulegar sýnatökur í Lóni né rennsli í drenskurði ofan við brunninn, sjá mynd 1. Ein mæling nú í september 2011 á rennslismagni sigvatns gaf 0,7 l/s, en gróf áætlun rennsli í læk er 10 l/sek.



Mynd 1 Vinstri: Horft niður á frárennlistað sigvatns og dremskurð með grunnum læk. Hægri: frárennlisti sigvatns frá hreinsivirki. Stútar nær eru á óvirku siturbeði.

Á mynd 2 má sjá hvar sýni hefur verið tekið úr læk við lóðamörkin en frárennlist hans heldur áfram og sameinast smærri lækjum á Fjarðaráraurum sem síðan renna í Fjarðará. Áin rennur um þessar mundir aðeins fjær malarbakka og sést á mynd 4.



Mynd 2 Vinstri: frárennlisti við lóðamörk, horft í austur. Hægri: Lækur utan lóðar við suðausturjaðar malarbakka, horft til suðausturs að sjó.

Efnasamsetning sigvatnsins á urðunarstöðum einkennist jafnan af gerð úrgangs sem þar er urðaður og er styrkur þess er nokkurn veginn í hlutfalli við magn lífræns úrgangs sem þar er urðaður en aðrar breytur hafa einnig áhrif þar á s.s. aldur. Því hraðar sem úrgangurinn brotnar niður því er almennt hærri styrkur efna í sigvatninu. Hraði niðurbrots ræðst af efnaeiginleikum lífræna úrgangsins, blöndun, rakainnihaldi ofl. Þá hefur aldur úrgangsins einnig áhrif og getur einkennt sigvatnssamsetninguna sem kemur venjulega greinilegast fram á sýrustiginu (pH).

pH. Þegar sýrustignisniðurstöður í Lóni eru skoðaðar yfir mælitímabil má sjá að það fellur nokkuð jafnt og hægt úr um pH 7 og er nærri pH 6.5 í dag. Þetta fer ekki alveg saman við dæmigert niðurbrot í urðunarstað, en jafnan fellur sýrustig nokkuð hratt í upphafi í svokölluðum sýrufasa en þá er súrefni í úrgangi að klárast og mikið myndast af koltvísýringi. Sýrustig getur þá jafnvel farið niður í pH 6. Sýrustig hækkar jafnan aftur þegar metanfasinn hefst og fer þá jafnvel upp í pH 8 en sveiflast svo gjarnan kringum pH 7. Sýrustigið er innan marka fyrir íslenska urðunarstaði, sbr. töflu 1. Ekki gott að segja af hverju sýrustig á urðunarstaðnum er enn að falla.

Leiðni. Leiðni einkennir gjarnan styrk uppleystra efna í sigvatni. Leiðnimæling yfir mælitíma sýnir hér engan sérstakan ferli og er meðaltalið um 1.460 $\mu\text{S}/\text{sm}$. Þetta er innan marka gefin í töflu 1 sem eru 115 – 14.500 $\mu\text{S}/\text{sm}$.

COD. Efnafræðileg súrefnisþörf lýsir einnig magni uppleystra efna í vatninu þar á meðal magni lífrænna efna. Meðaltal í Lóni er 140 mg/l, en mörkin fyrir íslenskt sigvatn eru 10 – 4.820 mg/l. Styrkurinn í Lóni er lágur miðað við þetta bil og einnig borið saman við losunarmörk 200 mg/L sem er að finna í einstökum starfsleyfum urðunarstaða héraendis. Styrkur við lóðarmörk eftir blöndun við drenvatn er svo enn lægri eða einungis 17 mg/l. Þessi styrkur fer þó yfir III. umhverfismörk í reglugerð 796/1999 um varnir gegn mengun vatns og telst því vera næringarríkt vatn. Ólíklegt er þó að umrætt magn og þessi styrkur geti valdið ofauðgun í viðtaka á aurum Fjarðarár.

AOX. Gefur til kynna ef klórbundin lífræn efni eru í sigvatninu, þ.e. spilliefni. Meðaltal fyrir Lón er 0.150 $\mu\text{g}/\text{l}$ en mörkin á Íslandi eru á bilinu 0 – 0,6 $\mu\text{g}/\text{l}$. Styrkurinn í Lóni er mjög lágur.

Olía og fita. Meðaltalsgildi í Lóni er 0,75 mg/l en mörkin fyrir íslenskt sigvatn eru frá 5,5 – 20. Styrkur í Lóni er því mjög lágur.

NH₄. Meðaltal fyrir ammoníum í Lóni er 36 mg/l en mörkin fyrir íslenskt sigvatn eru á bilinu 0 – 1.285 mg/l. Styrkur er lágur miðað við þetta viðmið en nokkuð hár fyrir t.d. losunarmörk 10 mg/ sem er að finna í einstökum starfsleyfum urðunarstaða héraendis. Styrkur við lóðarmörk eftir blöndun við drenvatn lækkar hinsvegar niður í um 3 mg/l, svo neikvæðra áhrifa ætti því vart að gæta eftir þynningu í aurum Fjarðarár. Styrkurinn við lóðarmörk er þó yfir V. umhverfismörkum reglugerðar 796/1999 um varnir gegn mengun vatns, sem gefur ástæðu fyrir aðgætni.

Heildar – N. Meðaltal heildar köfnunarefnis í Lóni er 26 mg/l en mörkin fyrir íslenskt sigvatn eru frá 0.6 – 770 mg/l. Athyglisvert er að styrkur sé lægri en fyrir ammoníum. Sama má segja um heildar köfnunarefni og sagt var í niðurstöðu um ammoníum hér að ofan.

Heildar – P. Meðaltal heildar fosfórs í Lóni er 0.15 mg/l en mörkin fyrir íslenskt sigvatn eru frá 0 – 6.6 mg/l. Sama má segja um heildar köfnunarefni og sagt var í niðurstöðu fyrir ammoníum hér að ofan en fosfór er yfir IV umhverfismörkum reglugerðar 796/1999.

Málmur. Meðaltal fyrir járn í Lóni er 27 mg/l en mörkin fyrir íslenskt sigvatn eru frá 0.2 – 130 mg/l. Meðaltal fyrir Sínk er 56 $\mu\text{g}/\text{l}$ en mörkin fyrir íslenskt sigvatn eru 0 – 5.400 $\mu\text{g}/\text{l}$. Aðrir málmur m.a. þungmálmur eru vart greinanlegir í sigvatninu.

Þegar efnastyrkur sigvatns frá urðunarstaðnum í Lóni er borinn saman við niðurstöður frá öðrum íslenskum urðunarstöðum kemur í ljós að hann er almennt mjög lágur. Sama á við þegar erlendar niðurstöður fyrir sigvatn eru skoðaðar (3) en þar eru t.d. algeng gildi fyrir COD 18.000 mg/l; heildar köfnunarefni 400 mg/l; heildar fosfór 30 mg/l og járn 60 mg/l. Næringarefni eru þó töluverð í sigvatninu í Lóni borin saman við umhverfismörk reglugerðar 796/1999 um varnir gegn mengun vatns, en mun lægri við lóðarmörkin. Utan lóðar verður þynning í viðtaka á aurum Fjarðarár og ætti því ekki að koma til næringarauðgunar þar enda ekki nein bein merki nú um slíkt. Styrkleiki máлма mælist lágur í sigvatni utan e.t.v. styrkleiki síns og járns en ekki er líklegt að umrætt magn sigvatnsvatns og málmstyrkur geti haft áhrif utan lóðar. Vísbendingar eru þó um að járn úr sigvatni skerpi rauðan lit útfellinga vegna oxunar í drenlæk á lóð urðunarstaðar og niður á aurar Fjarðarár, sjá myndir 1 og 2.

3. FLUTNINGSLEIÐIR VATNS OG TÁLMAR

3.1 ÚRKOMA OG MYNDUN SIGVATNS

Meðalúrcoma (P) fyrir urðunarsvæði í Lóni er áætluð vera um 1.600 mm á ári út frá mælingum á Hólum í Hornafirði, sbr. ritið Veður á Íslandi eftir Markús Á. Einarsson (4).

Til að áætla myndun sigvatns er stuðst við jöfnuna:

$$L_A = P + S - E - W_A$$

L_A = Sigvatn frá virku svæði.

P = Úrkoma.

S = Poruvatn úr úrgangi.

E = Uppgufun (raunuppgufun).

W_A = Upptaka vatns í úrgangi.

Vatn í gropum (e. pores) úrgangs, þ.e. í nánast mettuðum úrgangi er ekki talið auka sigvatn í Lóni þar sem einungis er tekið er við litlu magni af mettuðum fljótandi úrgangi. Slíkur úrgangur er helst seyra úr rotþróum, sem oft er á mörkum þess að vera fljótandi eða föst. Einnig getur verið um slátur- eða fiskúrgang að ræða og fer þessi úrgangur í gryfju ofarlega á urðunarsvæði, og lendir því ekki undir miklum þrýstingi sem kreistir úr honum vatnið. Sjá einnig umfjöllun í málsgrein hér neðar. Gildið S er því áætlað 0.

Í Veðurfar á Íslandi (4) er fjallað um uppgufun hér á landi og þá einkum gnóttargufun sem er frá grasfleti og áætluð er með jöfnu Penmans. Raunuppgufun (E) frá beri jörð þar sem nægt vatn er til uppgufunar er ekki alltaf til staðar, en sé hún til staðar er raunuppgufun jafnan minni en gnóttargufun. Áætla má að gnóttargufun í Lóni sé um 470 mm á ári og áætlað er að raunuppgufun þar sé 20% af gnóttargufun, þar sem hitastig er jafnan frekar hátt á Suðurlandi. Er hún því áætluð um 94 mm. Í greininni „*Er vatn takmarkandi þáttur í landgræðslu*“ (5) er raunuppgufun áætluð rúm 20% af gnóttargufun. Auka mætti raunuppgufun af yfirborði urðunarstaðarins með notkun jarðvegs í yfirhulu, sem heldur betur í sér raka en mól gerir, og ræktast vel t.d. moltu eða annan lífrænan jarðveg.

Rakainnihald úrgangs sem berst á urðunarstað getur verið mjög breytilegt en er oft á bilinu 15 – 45% (6). Haldgeta úrgangs á vatn í urðunarstað gegn þyngdarafli er hinsvegar oft 50-60% (7) og þar af leiðandi myndast ekki sigvatn í venjulegum úrgangi nema að til komi annað vatn t.d. regnvatn. Þessi liður, W_A , er áætlaður hér vera 0 þótt færa megi rök fyrir því að haldgeta úrgangs á vatn sé nokkuð mikil. Eftir að metnun er náð fer þó vatn að síga gegnum úrganginn.

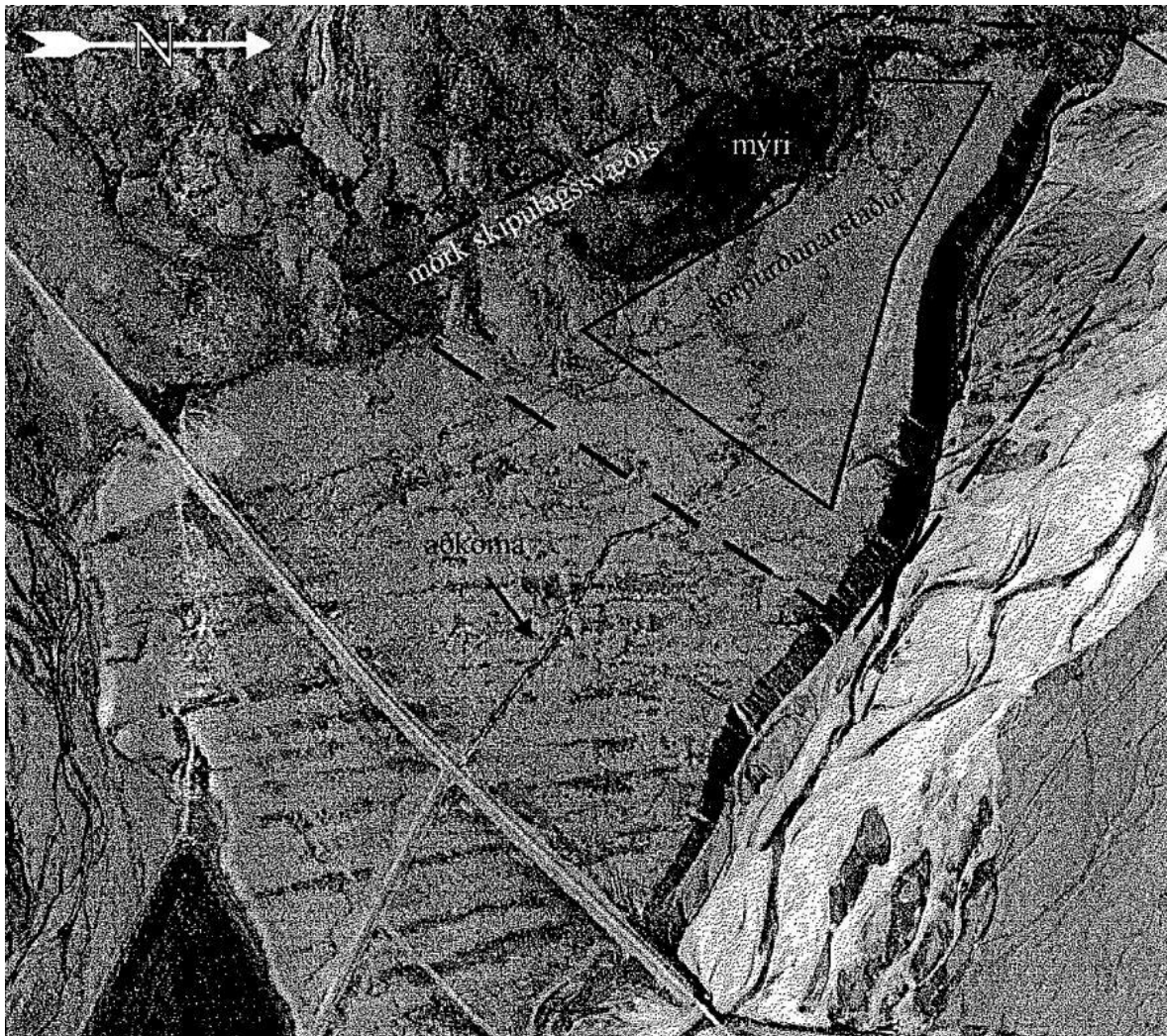
Það sem eftir situr varðandi myndun sigvatns er það vatn sem getur flætt inn í urðunarhólf, annaðhvort af yfirborði svæðis við hólfið eða sem grunnvatnsinnstreymi. Í Lóni er öllu yfirborðsvatni beint frá hólfi með skurðrásum og þar er grunnvatnstaða heldur neðar en botn hólfsins svo grunnvatn nær ekki að streyma þar inn. Nánar er fjallað um þessar aðstæður í kafla 3.2.

Niðurstaðan fyrir sigvatnsmagn L_A er því að 1.506 mm hripi niður úr úrgangsfyllingu urðunarhólfs á ári hverju og fellur það magn á innri hliðar og botni hólfsins. Þetta gera um 0.48 l/(s ha).

3.2 JARÐFRÆÐI, VATNAFRÆÐI, TÁLMAR, URÐUNARHÓLF OG ÁFORM

Jarðfræði urðunarsvæðisins í Lóni og nágrennis er lýst í skýrslunni „Höfn í Hornafirði – Val á stað fyrir urðun úrgangs“ (8). Hér er dregið á helstu atriðum úr henni sem skipta megin máli vegna mats á jarðvegs- og vatnsvernd, vatnsjöfnuðar urðunarstaðarins og eiginleika botntálma fyrir sigvatnssöfnun.

Á mynd 3 má sjá mörk deiliskipulagssvæðis og lóð urðunarstaðar norðvestan við Þjóðveg 1. Suðvestan við lóðina er fjallshlíð (Náttmálatindar) og þar undir er mýrarsvæði, en mýrin hefur verið ræst fram í skurði sem liggur vestur fyrir urðunarsvæðið og leiðir vatn niður fyrir háan malarbakka sem sést dökkur á myndinni (norðaustan við lóðina). Neðan bakkans, sem gerður er úr bæði fínum og grófum setefnum, eru Fjarðaráraurar og Fjarðará. Á myndinni sést einnig hvar aðkomuvegur er en hann var lagfærður síðar.



Myndi 3 Staðsetning urðunarstaðar í Lóni norðvestan við Þjóðveg 1, rétt norðaustan Almanskardís.

Jarðfræði tertíer berggrunnins á Hornafjarðarsvæði er nokkuð vel þekkt og til er kort af berginu þar, jarðlagahalla, göngum og innskotum ásamt dreifingu ummyndunarsteinda á svæðinu. Halli berglaga á svæðinu er yfirleitt um 10-15° niður og til norðvesturs, þ.e. með stefnu inn í land eða að fjalli ofan við urðunarsvæðið.

Laus jarðlög sem hvíla ofan á berggrunni á svæði s.s. jökulruðningur, vatnset, aurar og foksandur munu hafa myndast eftir að Ísaldarjökullinn tók að leysa fyrir um 18.000 árum. Í

Lóni við urðunarsvæðið sést forn strandlína eða sjávarhjalli sem er um 20 m hár og einnig óseyrarmyndanir. Talið er að þessi hjalli hafi myndast við jökulsporð skriðjökuls sem gekk fram Endalausadal og Slufrudal, sem eru rétt norðvestan við urðunarsvæðið. Myndunarsagan þarna er þó ekki fullþekkt en gera má ráð fyrir að hjallinn hafi myndast við hæst fjörumörk, jökulsporðurinn hafi hopað og lón hafi myndast milli hans og malarhjallans. Þá hafi sjávarborð lækkað þegar land reis við affermingu jökulsins. Fjarðaráin hefur síðan rofið hjallann í nokkur þúsund ár og skilið eftir bakkann sem urðunarsvæðið er á. Áætlað er að rofið hafi um 2.5 cm á hverju ári úr bakka að meðaltali.

Fjarðaráin sem jafnan rennur meðfram malarbakka við urðunarstað eða á aurunum þar framanvið hefur ekki verið rennslismæld ennþá en rennsli hennar hefur verið áætlað frá 2 m³/s en getur farið í allt að 25 m³/s. Fjarðaráin er dragá og er vatnasvið hennar um 27 km². Útrennsli árinna í sjó er niður við Papós.

Talið er að lekt berggrunnins á svæðinu sé lítil vegna aldurs og holufyllingar og gæti verið á bilinu $1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-4}$ m/s. Bergið mun almennt vera lítið sprungið.

Lekt í lausu malarjarðlögum næst yfirborði lands getur verið há vegna grófleika efnisins og er hún líklega á bilinu $1 - 1 \times 10^{-3}$ m/s. Til dæmis er lekt eyranna neðan við bakka urðunarstaðarins svo mikil að Fjarðaráin hverfur þar oft hluta ársins í eyrarnar við minni Endalausadals en kemur aftur fram skammt ofan Papaóss. Í leysingum á vorin beljar áin svo aftur yfir stór svæði á eyrunum.

Úrkoma og ár hlaða stöðugt grunnvatnsgeymirinn í Lóni sem liggur undir yfirborði landsins og ef litið er á stóru myndina hallar yfirborð grunnvatnsborðsins upp á við og inn til landsins og grunnvatnsstreymið er í gagnstæða átt með stefnu að sjávarströnd. Ofar í þessum grunnvatnsgeymi getur hæð vatnsyfirborðsins verið breytilegt eftir eiginleikum jarðefna þar og stefna rennslis verið nokkuð staðbundin.

Líklegt er að grunnvatnsborðið í kringum urðunarstaðinn fylgi nokkurn vegin landhæðinni þar og halli þá upp í átt að Náttmálatindi ofan við urðunarsvæðið og streymi niður að aurum Fjarðarárinnar og sveigi þar að ströndinni með dýpri straumum. Nær fjallinu var mýrarsvæði sem hélt vatni en veitti því sem var umfram geymslurýmnd niður á urðunarsvæðið og þá sérstaklega í leysingum. Svæðið hefur nú verið ræst fram og fer vatnið í skurði norðaustan við lóðina og niður á aurar. Töluvert stórt vatnasvið er ofan við mýrlendið og getur vatnsmagn í framræsingarskurði því vaxið umtalsvert. Áætlað er grófllega að vatnsrennsli í skurðinum geti verið á bilinu 5 – 500 l/s.

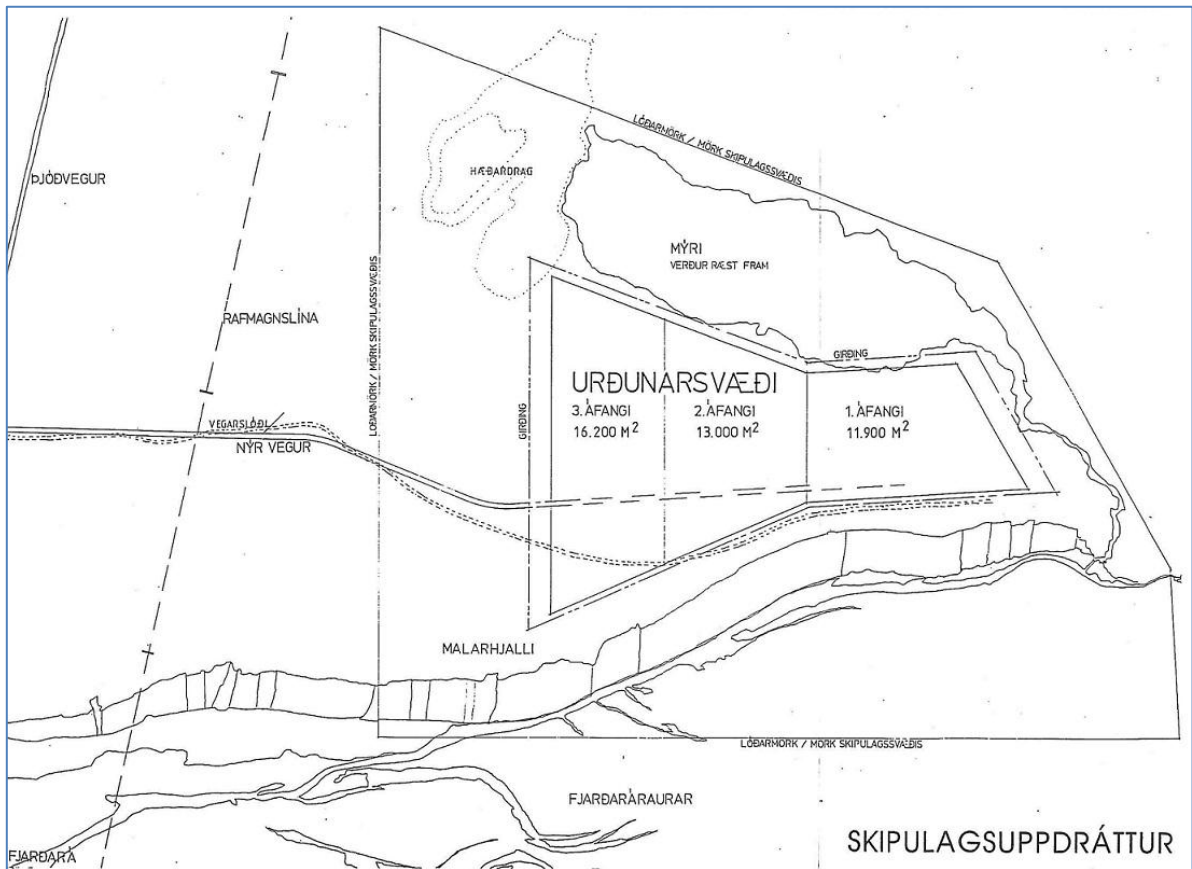
Í athugun Stapa hf. jarðfræðistofu kemur fram að sunnan í malarhjallanum þar sem urðunarstaður er nú sé skálaga set, m.a. finn leir. Setið mun vera 30-50 cm að þykkt og á um 6-8 m dýpi, en ekki hægt með vissu að segja til um útbreiðslu þess. Talið er að setið hafi myndast í lóni innan við rif við ströndina sem þarna var en gegnum það hafi jökulá flætt sem borið hefur fínkorna jökuleir. Á mynd 4 sem tekin er af roffleti í norðausturhluta malarhjallans sumarið 2011 sést móta fyrir gróðurbelti í neðri hluta hans sem gefur til kynna að jarðvatn seyti þar fram af þéttu undirlagi. Þetta gefur góða vísbendingu um að undir leirlagi sé þéttur jökulruðningur sem getur haft lekt kringum 1×10^{-8} eða 1×10^{-9} m/s. Líklegt er að staðbundið grunnvatnsborð sé rétt við yfirborð leirlags inni í mel, sem sveigir svo niður á við að grunnvatnsborðinu á aurunum.

Lektargildi (k) sem áætluð voru út frá ödometerprófi sem gert var 1993 (8, fylgiskjal III) á sýnum teknum úr jökuleirlaginu á svæðinu gáfu lektarstuðla 9×10^{-9} , 4×10^{-9} og 3×10^{-9} m/s eða meðalgildi um 2×10^{-9} m/s.

Engin vatnsból er á eyrum Fjarðarár frá malarbakkanum þar sem urðunin hefur farið fram eða nein bein nýting á vatni sem rennur þaðan.



Mynd 4 Malarbakk og urðunarstaður þar ofan á séð frá Fjarðará. Gróðurbelti sést í neðri hluta bakkans.



Mynd 5 Skipulagssvæði (8, KÍM sf.) og upphaflega fyrirhuguð áfangaskipting urðunarsvæðis í Lóni.



Mynd 6 Urðunarhólf í undirbúningi á urðunarstaðnum Lóni, séð beggja megin frá á mismunandi tíma.

Urðun á svæði hefur farið þannig fram að reinar eða hólf hafa verið grafin ofan í mel (malarhjalla) niður á um 5-8 m dýpi. Fyrsta hólfíð sem tekið var er norðvestast í melnum og mun hafa verið um 5 m djúpt en síðara hólfíð suðvestan við það er dýpra, eða allt að 8 m, sjá mynd 6. Í nýrra hólfínu var komið niður á harðan botn og sjást skafförin eftir gröfuskófluna greinilega á vinstri mynd 6. Botninn er greinilega vel þéttur eins og sést á á hægri mynd 6 þar sem vatn situr og hefur ekki enn verið ræst fram að áðurnefndum drenskurði. Botninn í hólfí var skafinn með jafnan hliðarhalla og neðsti hluti látinn halla að framræsingarstað í fráveitulagnarkerfi. Hólfíð var grafið og frágengið árið 2002.

Úrgangi var ekið niður í hólfíð og hann þjappaður með gröfu og síðan var hulið reglulega yfir með jarðefnum sem komu úr greftri hólfínsins. Á vinstri mynd 6 sést í eldri úrgang í eldra og grynnra hólfí. Úrgangsfylling er nú kominn um 1 m upp fyrir jarðyfirborð hólfínsins og jarðvegshula þar ofan á.

Sigvatni hefur verið safnað saman frá þessu hólfí að fráveitulögn og það leitt gegnum lögn að rotpró og fitugildru til hreinsunar. Frárennsli fór síðan framanaf í jarðvegsíubeð sem skemmdist síðar og fer frárennsli frá hreinsun nú í drenskurðinn norðvestast á svæðinu, sjá mynd 1.

Eitt megin markmið reglugerðarinnar um urðun er að velja staðsetningu urðunarstaðar þannig að nýta megi jarð- og vatnafræðilegar aðstæður á sem hagkvæmastan hátt til að vernda bæði jarðveg og vatn. Þetta var gert við staðarval fyrir urðunarstaðinn í Lóni á sínum tíma. Aðstæður við urðunarsvæði eru samt nokkuð frábrugðnar þeim aðstæðum sem reglugerðin miðar við eða gerir ráð fyrir. Hún miðar við að urðunarhólf sé annað hvort grafið beint í náttúrulegt leirlag (jarðfræðilegan tálma) með tilgreinda eiginleika eða sem næst því. Ef slíkt jarðlag er ekki fyrir hendi er gert ráð fyrir að leirinn sé fluttur að annarstaðar frá (tilbúinn jarðfræðilegur tálmi) í hólfíð og hann þjappaður þar í hliðar og botn. Í Lóni er áðurnefnt leir- eða siltlag sem nýtt hefur verið sem tálmi, en það nær ekki til yfirborðs heldur er það á um 8 m dýpi undir lausum jarðlögum og ekki vitað hvort það nær eins metra þykkt en góðar vísbendingar eru þó um að undir því sé þéttur jökulruðningur sem einnig nýtist þá sem samverkandi tálmi.

Við Lón er, vegna ofangreindra aðstæðna, sótt um til Umhverfisstofnunnar að fara aðra leið við hönnun tálma og þéttingar í fyrirhuguðu urðunarhólfí urðunarstaðarins og við verndun jarðvegs og vatns þar. Hún fellst í að urðunarhólfíð verður grafið niður í laust yfirborðslag

niður á þétt setlag þar undir, eins og gert var þar í fyrra hólfi. Botninn verður síðan skafinn og mótaður með afrennslishalla um 2-4% að götuðu frárennslisrörakerfi sem liggur í rásunum á botni með um 30 m millibili. Sigvatnið verður leitt frá söfnunarrörum að brunni við hreinsikerfi. Ofan á botn hólfs og rörakerfi kemur 0,5 metra hriplag með háan lektarstuðul til að sigvatnið skili sér hratt í rörakerfið en myndi þar ekki stöðuvatn á botninum sem þrýsti því í gegn.

Í stað 1 m þykkis jarðfræðilegs tálma með lekt $k = 1 \times 10^{-9}$ m/s eins og reglugerð 738/2003 gerir ráð fyrir verður notaður um 0,3-0,5 m settálmi með lekt $k \sim 2 \times 10^{-9}$ m/s sem er undir lausum jarðlögum og þéttur jökulruðningur þar fyrir neðan. Sýnt er fram á í þessu áhættumati að það nægi til verndar jarðvegi og grunnvatni í nágrenni.

Samkvæmt norskum leiðbeiningunum (1) sem hafðar eru til hliðsjónar í áhættumatinu þarf að sýna fram á að yfir 95% af því sigvatni sem myndast skili sér í hreinsikerfi urðunarstaðarins. Sé magnið undir 95% þarf að fara í könnun á því hvort það sigvatn sem sleppt er út í umhverfið hafi þar neikvæð áhrif á jarðveg eða á viðtaka. Í áhættumatinu verður því sýnt fram á það með útreikningi hvaða hlutfall sigvatns skilar sér í hreinsikerfi urðunarstaðarins og magn.

Í Lóni er að auki gripið til aðgerða til að draga úr myndun sigvatns. Yfirborðsvatni frá fjalli er í leysingum beint frá urðunarhólfi með leiðiskurðum eins og gert hefur verið norðvestan við núverandi urðunarhólf. Endanlegt yfirborð urðunarsvæðis verður að lokum haft með afrennslishalla í átt að drenskurðum og að Fjarðaránni. Þá er hólfið haft frekar djúpt og kantað til að lágmarka eins og unnt er flatarmál urðunar sem regn fellur á.

3.3 VATNSJÖFNUÐUR Í URÐUNARHÓLFI

Þar sem ekki eru til nákvæmar langtíma rennslismælingar á sigvatni frá urðunarstaðnum eða nákvæmar úrkomumælingar á svæðinu er ekki hægt að ákvarða þannig út frá mismun hve mikið magn af sigvatni sígi gegnum botntálma urðunarstaðarins. Þess vegna er sú leið farin hér, að út frá áætlun á úrkomu frá nálægum veðurstöðvum og áætluðu magni sigvatns sem mun síga gegnum úrgangsfyllingu er uppsöfnuð vatnsúla á botni reiknuð. Það vatn sem þannig hripar í gegnum úrganginn og fellur á botninn myndar stöðuprýsting sem drífur sigvatn í gegnum tálmann. Út frá þessari uppsöfnun og áætluðum lektarstuðli fyrir tálmann og þykkt hans er magn þess sigvatns sem sigur gegnum tálmann reiknað. Þannig fæst líka áætlað magn sigvatns sem mun skila sér af botni urðunarhólfs inn í lagnakerfi og hreinsivirki. Virkni söfnunarkerfis í urðunarhólfi veltur á nokkrum þáttum, þ.e. magni sigvatns, bili milli fráveitulagna sem taka við sigvatni frá yfirborði tálma þ.e. rennslisvegalengd sigvatns, afrennslishalla yfirborðs tálma, lagnagerð og vídd, lektarstuðli tálma og ekki síst eiginleikum hriplags ofan á tálmanum.

Ef reiknað er flæði gegnum jarðfræðilegan tálma eins og áður nefnd reglugerð lýsir, þ.e. 1 m þykkur tálma með lekt $k = 1 \times 10^{-9}$ m/s og stöðuprýsting 0,3 m og lögmál Darcys notað ($Q = k A \times i$) fæst að um 9,5 l/m² flæða í gegnum þannig tálma á hverju ári. Við hönnun urðunarstaða erlendis er oft miðað við að uppsöfnun vatns (stöðuprýstingur) á tálma verði undir 30 cm (6).

Í kafla 3.1 er komist að þeirri nálgun að af um 1.600 mm árlegri úrkomu hripi um 1.500 mm gegnum úrgangsfyllingu og myndi sigvatn sem síðan fellur á botntálma urðunarhólfs. Þetta magn er talið fremur ofáætlað heldur en hitt.

Ofan á botntálma fyrirhugaðs urðunarhólfs kemur malarhriplag sem er um 0,5 m þykkt. Hriplagið hefur þann megin tilgang að leiða sigvatnið sem hraðast að frárennsliskerfi urðunarhólfsins eða að uppsöfnun vatns sé sem minnst á botni og stöðuþrýstingur sem lægstur og þar af leiðandi minna flæði sigvatns gegnum tálmann. Í hriplagið í Lóni verður notuð gróf sigtuð mól með steinastærð 1-7 cm og lekt þess því mjög mikil.

Hér er gengið út frá því að þau jarðefni sem eru undir tálma (þéttur jökulruðningur) og tálminn sjálfur séu vatnsmettuð þannig að einungis það vatn sem ofan á tálma er myndi vatnssúluna sem drífi vatnið í gegnum tálmann. Straumgradíent undir grunnvatnsborði urðunarstaðarins er því nánast lággréttur. Undir tálma og jökulruðningi er svo gamall þéttur berggrunnur með lága lekt.

Til að reikna hæðina á sigvatni á tálma er hér notuð aðferð sem kennd er við Moore (6) og Umhverfisstofnun Bandaríkjanna, USEPA, hefur vitnað í í tæknilegum leiðbeiningargögnum fyrir urðunarstaði. Aðferðin er af sumum sögð gefa of hátt gildi uppsöfnunar vatns (10) og ætti því frekar að vera öruggu megin ef megin forsendur eru réttar.

$$h_c = S \sqrt{c/2[\tan^2\alpha/c + 1 - \tan\alpha/c \sqrt{(\tan^2\alpha + c)}]} \quad \text{þar sem}$$

S = rennslisfjarlægð að röri, hér 30 m

$\sqrt{}$ = kvaðratrót

c = q/K_1 , hér $4,76 \times 10^{-6}$ ef

q = hluti úrkomu sem hripar niður á botnþéttingu, hér $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ári og

K_1 = lekt hriplags, hér $1 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ eða 315.360 m/ári og

α = halli tálma (halli á botni), hér $\arctan 0,02$, þ.e. 2% eða $1,15^\circ$ botnhalli

Niðurstaðan fyrir mesta stöðuþrýsting á botn er $h_c = 0,016 \text{ m}$ sem þýðir meðalstöðuþrýsting yfir botn upp á um 0,01 m.

Notum síðan Darcy lögmálið fyrir $Q = KAi$ eða $q' = ki$ þar sem

q' = gegnumstreymi sigvatns ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$)

k = lekt botnþéttingar, hér $2 \times 10^{-9} \text{ m/s}$

i = $(h_c/2)/\text{þykkt botnþéttingar } d$, hér er $d = 0,3\text{m}$

$q' = 5,3 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$ eða um $1,7 \text{ L}/\text{m}^2\text{ári}$

Hlutfall sem fer í gegn er því $1,7/1.500 \times 100\% = 0,1\%$ af því sigvatni sem hripar gegnum úrgang niður á botninn. Flatarmál botns næsta áfanga er um 5.000 m^2 . Á hann falla því um $7.650.000 \text{ L/ári}$ af sigvatni og af því fara um 8.700 L/ári í gegnum tálmann.

Miðað við áætlaða sigvatnsmyndun í Lóni um $1.500 \text{ l}/\text{m}^2$ á ári hripa því um 0,1% þess í gegnum tálmann en 99,9% skila sér í söfnunarkerfi og hreinsivirki eða um $0,24 \text{ L/s}$ miðað við fyrsta áfanga stækkunar.

4. NIÐURSTAÐA

Út frá þeim forsendum og áætlunum sem lagðar hafa verið til grundvallar í þessu mati fæst að með náttúrulegum tálma á urðunarstaðnum í Lóni megi gera ráð fyrir að yfir 99% af sigvatni skili sér í söfnunarkerfi og hreinsivirki urðunarstaðarins. Ef litið er á greiningu og umfjöllun um sigvatn í kafla 2.2. sést ennfremur að sigvatn frá urðunarstað inniheldur ekki hættuleg efni eins og þungmálma og frekar lítið af næringarefnum miðað við urðunarstaði almennt héraðs og erlendis. Styrkur næringarefna er hinsvegar mjög lítill í frárennsli lækjarins við lóðarmörkin og væntanlega hverfandi eftir þynningu í viðtaka á aurum Fjarðará. Samanburður næringargilda í vatninu við reglugerð 796/1999 um varnir gegn mengun vatns gefur þó til kynna að aðgátar sé þörf við frekari aukningu magns urðunar lífræns úrgangs. Aukið magn sigvatns eftir væntanlega stækkun urðunarstaðar kallar því á að vandað verði til hönnunar urðunarhólfs, söfnunarkerfis og stækkaðs hreinsivirkis. Sveitarfélagið Hornafjörður hefur undanfarin ár gert átak í flokkun og endurvinnslu úrgangs og dregið verulega úr urðun úrgangs af lífrænum toga. Átak í flokkun og endurvinnslu heldur áfram eins og lýst er í kafla 2.1 sem leiðir til að stöðugt hærra hlutfall úrgangs sem fer í urðun er nánast óvirkt m.t.t. myndunar mengaðs sigvatns og gass og ætti því að draga stöðugt úr hugsanlegum neikvæðum áhrifum frá urðunarstaðnum í Lóni.

5. HEIMILDIR

- (1) Veileder om miljørisikovurdering af bunntetting og oppsamling av sigevann ved deponier, SFT, TA-1995/2003
- (2) Ketil Harstad edt., 2006, Handling and assessment of leachates from municipal solid waste landfills in the Nordic countries, TemaNord 2006:594,
- (3) Environmental Engineering, 1985, McGraw-Hill.
- (4) Markús Á. Einarsson, 1976:Veðurfar á Íslandi.
- (5) Jón Guðmundsson et. Al. 2006, Er vatn takmarkandi þáttur í landgræðslu, Fræðaging Landbúnaðarins.
- (6) David E. Daniel;1993, Geotechnical Practice for Waste Disposal; Chapman and Hall.
- (7) Robert K. Ham; Landfill Gas, Leachate, and related Problems; University of Wisconsin-Madison.
- (8) Stapi hf. Jarðfræðistofa, 1994,. Höfn í Hornafirði – Val á stað fyrir urðun úrgangs.
- (9) Environmental Engineering. 1985. McGraw – Hill Publishing Company.
- (10) Masada, T.,1998, Leachate Flow Mound Equations for Steady – State Flow Over a Landfill Geosynthetic Bottom Liner. Geosynthetic International, 5(4),383-397.
- (11) Viðtöl við Kjartan Jónson firrum starfsmann sveitarfélagsins og umsjónarmanns á urðunarstað Lóni um byggingu, rekstur og tilhögun urðunar.
- (12) Viðtal við Jón Kjartansson núverandi verktaka (Rósaberg) á urðunarstað Lóni um byggingu urðunarhólfs, jarðfræði og tilhögun urðunar.
- (13) Freysteinn Sigurðsson og Jón Ingimarsson, 1990, Lekt íslenskra jarðefna, Vatnið og landið (121-28).