

20. janúar 2023



**Carbfix**

## Vöktunaráætlun

**Niðurdæling CO<sub>2</sub> á geymslusvæði Carbfix á Hellisheiði**

# 1 Inngangur

Fyrirhuguð vöktunaráætlun niðurdælingar í CO<sub>2</sub> geymslugeymi á Hellisheiði byggir á rannsóknum og rekstrarreynslu niðurdælingar Carbfix á svæðinu sl. áratug. Auk þess fylgir reglugerð 1430/2022 um geymslu CO<sub>2</sub> í jörðu, tilskipun 2009/31 um geymslu koldíoxíðs í jörðu sem og reglum Orkustofnunar nr. OS-2016-R01-01 um viðbúnað og viðbrögð við jarðskjálftavá vegna losunar á vökva í jörðu um borholur

Megin tilgangur vöktunaráætlunar er að:

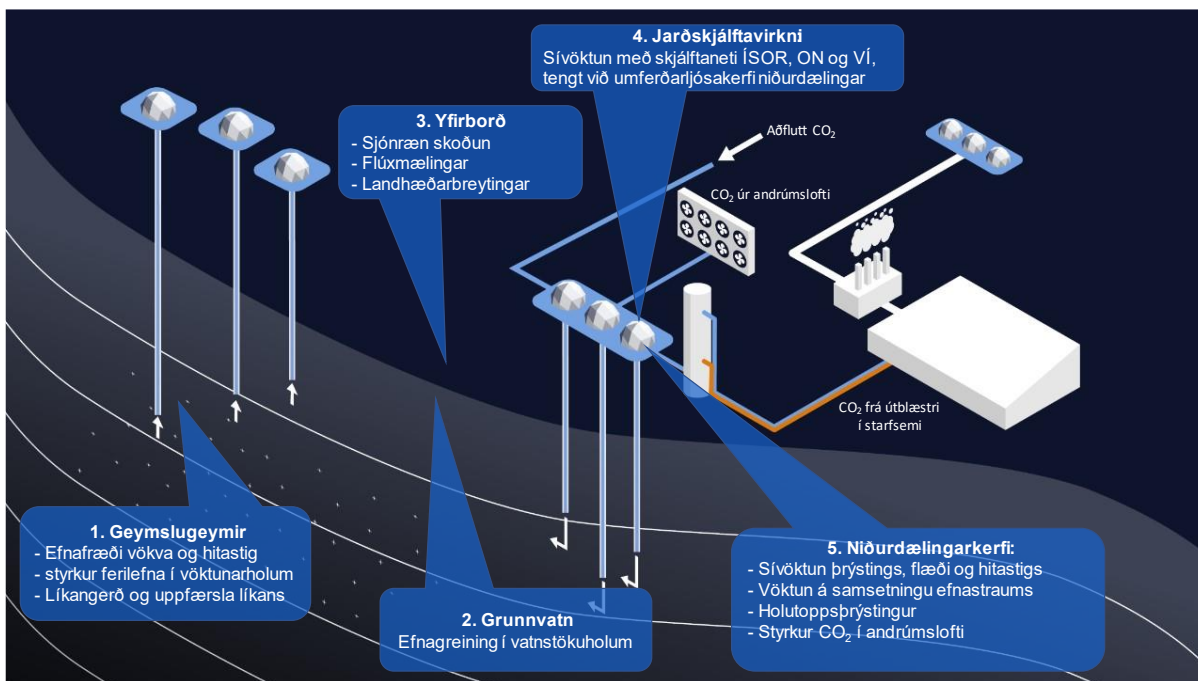
- i. tryggja öruggan og skilvirkan rekstur allra kerfa,
- ii. gera grein fyrir magni CO<sub>2</sub> sem dælt er niður og steinrennt og
- iii. vakta afdrif CO<sub>2</sub> sem dælt er niður í geymslugeyminn.

Það síðastnefnda felst einnig í steinrenningu CO<sub>2</sub> og þar með geymslu þess í jarðlögum ásamt því að samræma niðurstöður við líkanareikninga, og að sannreyna að hvorki leki eða frávik séu til staðar eða önnur óæskileg umhverfisáhrif.

Vöktunaráætlun nær yfir það CO<sub>2</sub> sem fer í niðurdælingarkerfin (þar á meðal niðurdælingarholuna) og efnafræðileg og eðlisfræðileg viðbrögð geymslugeymis við niðurdælingunni. Áætlunin tekur einnig til að sannreyna steinrenningarferli þess CO<sub>2</sub> sem dælt er niður. Gert er ráð fyrir að vöktunaráætlunin verði uppfærð þegar ástæða þykir til, minnst fimmta hvert ár

Vöktunaráætlun nær yfir eftirfarandi vöktunarþætti sem einnig eru sýndir á skýringarmynd (Mynd 1) og lýst í eftirfarandi köflum.

1. Geymslugeymir
2. Grunnvatn
3. Yfirborð
4. Jarðskjálftavirkni
5. Niðurdælingakerfi



Mynd 1. Yfirlit yfir fyrirhugaða vöktun niðurdælingar CO<sub>2</sub> til geymslu í jarðlögum á Hellisheiði.

## 2 Vöktun geymslugeymis

Myndun karbónata í basalti er vel þekkt út frá tilraunum á rannsóknarstofu við stýrðar aðstæður. Staðfesting á steinrenningu CO<sub>2</sub> neðanjarðar byggir hins vegar á nýstárlegum aðferðum sem hafa verið í stöðugri þróun frá upphafi Carbfix verkefnisins, meðal annars við yfirstandandi CO<sub>2</sub> niðurdælingu á Hellisheiði (t.d.<sup>1,2,3</sup>). Einnig verður notast við jarðefnafræðilegar aðferðir og líkangerð, eins og nánar er útskýrt í eftirfarandi köflum.

### 2.1 Greining á vökva geymslugeymis

Jarðefnafræðilegar aðferðir gegna lykilhlutverki í vöktuninni. Víðtækar sýnatökur á vatni úr vöktunarholum á geymslusvæðinu gefa mikilvægar upplýsingar um samspil CO<sub>2</sub>, vatns og basalts neðanjarðar.

Grunnástand á efnasamsetningu vökva úr geymslugeymi verður metið áður en dælt er niður í nýjar niðurdælingarholur með því að taka sýni úr og efnagreina viðkomandi vöktunarholur. Vöktunarholur eru nýttar til vöktunar á þeim ferlum sem eiga sér stað í geymslugeyminum og fá hugsanlega greinanlegt magn af niðurdælingarvökva, byggt á fyrirliggjandi gögnum og forðafræðilíkönunum (kafli 1.4). Vöktun verður fínstillt frekar á meðan niðurdælingu stendur með notkun ferilefnaprófa (kafli 1.2). Fylgst verður með niðurdælingarholunum á meðan niðurdælingu stendur, í upphafi er tíðni mælinga hærrí en tíðni minnkar þegar borið hefur verið kennsl á viðbragð hvernar vöktunarholu við niðurdælingu. Þar sem efnasamsetning vökva úr geymslugeymi hefur áhrif á túlkun niðurstaðna ferilefnaprófa (kafli 1.2), verður mikil fylgni milli þessara athafna.

Tekin verða sýni og heildstæð greining á efnafræði niðurdælingarvökva ásamt mælingu á vatnsborði í vöktunarholum framkvæmd, þ.e.a.s. bæði fyrir vökva- og gufufasa ef um tveggja fasa borholu er að ræða. Vatnssýni úr vöktunarholunum eru greind fyrir sýrustig, hitastig, styrk helstu katjóna og anjóna, uppleyst ólífrænt kolefni ásamt því að styrkur snefilefna, H<sub>2</sub>S og O<sub>2</sub> er mældur eftir þörfum. Í tveggja fasa borholum verður skiljuþrýstingur og efnasamsetning gufu m.t.t. CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S og óþéttanlegs gass einnig greind (Tafla 1).

---

<sup>1</sup> Matter J. M., Stute M., Snæbjörnsdóttir S. Ó., Oelkers E. H., Gíslason S. R., Aradóttir E. S., Sigfússon B., Gunnarsson I., Sigurdardóttir H., Gunnlaugsson E., Axelsson G., Alfredsson H. A., Wolff-Boenisch D., Mesfin K., Taya D. F. de la R., Hall J., Dideriksen K. and Broecker W. S. (2016) Rapid carbon mineralization for permanent disposal of anthropogenic carbon dioxide emissions. *Science* 352, 1312–1314.

<sup>2</sup> Gunnarsson I., Aradóttir E. S., Oelkers E. H., Clark D. E., Arnarson M. Þ., Sigfússon B., Snæbjörnsdóttir S. Ó., Matter J. M., Stute M., Júlíusson B. M. and Gíslason S. R. (2018) The rapid and cost-effective capture and subsurface mineral storage of carbon and sulfur at the CarbFix2 site. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 79, 117–126.

<sup>3</sup> Clark D. E., Oelkers E. H., Gunnarsson I., Sigfússon B., Snæbjörnsdóttir S. Ó., Aradóttir E. S. and Gíslason S. R. (2020) CarbFix2: CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S mineralization during 3.5 years of continuous injection into basaltic rocks at more than 250 °C. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 279, 45–66.

Tafla 1 Samantekt á efnabreytum vatns- og gufusýna úr vöktunarholum í geymslugeymi ásamt greiningaraðferð.

Lághitavatnssýni	
<b>Breytistærð</b>	<b>Dæmi um greiningaraðferð</b>
Sýrustig (pH)	Rafskaut, á sýnatökustað
Hitastig	Hitamæling á sýnatökustað
Styrkur helstu katjóna	ICP-OES (rafgas-ljómunargreinir)
Styrkur anjóna	IC (jónagreinir)
Uppleyst ólífrænt kolefni	Títurun
Ferilefni (ef við á)	HPLC (háþrýsti-vökvagreinir)
Styrkur O <sub>2</sub>	Gasflaska
Styrkur H <sub>2</sub> S (ef verulegur)	Títurun, á sýnatökustað
Háhitavatns-/gufusýni	
<b>Breytistærð</b>	<b>Dæmi um greiningaraðferð</b>
Skiljuþrýstingur	Þrýstimælir, á sýnatökustað
Vökvi – Sýrustig (pH)	Rafskaut, á sýnatökustað
Vökvi – Hitastig	Hitamæling á sýnatökustað
Vökvi – Styrkur helstu katjóna	ICP-OES
Vökvi – Styrkur anjóna	IC
Vökvi – Uppleyst ólífrænt kolefni	Títurun
Vökvi – Styrkur H <sub>2</sub> S	Títurun, á sýnatökustað
Vökvi – Ferilefni	HPLC
Gufa – CO <sub>2</sub>	Títurun
Gufa – H <sub>2</sub> S	Títurun
Gufa – efnasamsetning óþéttanlegs gass	GC (gasgreinir)

## 2.2 Ferilefnapróf

Ferilefnapróf eru ómissandi hluti af vöktunaráætluninni þar sem upplýsingar um dreifingu og styrk ferilefna þjóna margþættum tilgangi:

- i. lýsingu á rennislíðum í jarðlögum á geymslusvæði,
- ii. mat á dvalartíma og
- iii. mat á blöndunarhlutfalli niðurdælingarvökva í vöktunarholum.

Niðurstöður úr ferilefnaprófum, ásamt upplýsingum um efnasamsetningu vökva geymslugeymisins, skilgreina afdrif CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>S í geymslugeyminum. Steinrenning CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>S er þá metin með því að nota massajafnvægisútreikninga sem og forðafraeðilíkon.

Eftir að niðurdæling hefst í nýjar niðurdælingarholur eru ferilefnapróf framkvæmd, til þess að veita þessar upplýsingar. Ferilefninu verður dælt niður sem skammti og síðan tekin sýni úr vöktunarholum. Tíðni sýnatöku er hærri í upphafi og minnkar þegar borið hefur verið kennsl á viðbragð hvernar vöktunarholu við niðurdælingu.

Ferilefnapróf geta jafnframt hjálpað til við að greina eða fínstillta þær borholur sem þarf að taka sýni úr, þ.e. umfang sýnatökusvæðis (sjá hér að ofan). Ef tími leyfir er því hægt að framkvæma fyrsta ferilefnaprófið áður en niðurdæling hefst til að draga úr fjölda efnasýna úr vökva geymslugeymis síðar meir.

### 2.3 Jarðefnafræðilegir hermireikningar

Hægt er að nota sýni úr vöktunarholum og efnagreiningu þeirra við jarðefnafræðilega útreikninga, til að ákvarða hvort vatn úr vöktunarholum sé mettað eða yfirmettað af völdum steindum, svo sem karbónat steindum. Þetta gefur til kynna hvort aðstæður séu hagstæðar fyrir steinrenningu CO<sub>2</sub>. Til þess að vakta breytingar á geymslugeymi er mögulegt er að fylgjast frekar með þessu sem falli af tíma. Til að byggja á þessar grundvallar jarðefnafræðilegu túlkanir, verður efnasamsetning vökva úr geymslugeymi ásamt niðurstöðum úr ferilefnaprófum notuð við gerð forðafræðilíkana (kafla 2.4) og massajafnvægisútreikninga.

Massajafnvægisútreikningar geta gefið mat á hlutfall CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>S sem steinrennist á leið til vöktunarholna sem fá umtalsvert magn af niðurdælingarvökva, og gefur „skyndimyndar“ mat á steinrenningu fyrir þessa tilteknu holustaðsetningu og tilheyrandi dvalartíma. Þá er einnig hægt að brúa og bryggja þessar beinu mælingar til að leggja mat á heildar steinrenningu geymslugeymisins á meðan rekstri stendur og yfir lengri tíma og túlka það frekar í þrívítt forðafræðilíkan af svæðinu.

### 2.4 Forðafræðilíkon

Notast verður við forðafræðilíkon til að herma flæði á gashlöðnu vatni um geymslugeyminn og meta viðbrögð niðurdælingar. Þau innihalda:

- i. kyrrstætt jarðfræðilegt líkan: lýsing á geymslugeyminum til að meta hugsanleg afdrif,
- ii. flæðilíkan: lýsing á flæði CO<sub>2</sub> og annarra vökva í gegnum geymslugeymi, og
- iii. jarðefnafræðilegt líkan: lýsing á mögulegum efnafærlum vegna niðurdælingar CO<sub>2</sub>, á milli CO<sub>2</sub>, bergs, steinda og vökva í geymslugeyminum.

Í þessu skyni verða margvíð forðafræðilíkon (sjá sérfræðiskýrslu um líkangerð fyrir mat á umhverfisáhrifum) þróuð, viðhaldið og uppfærð yfir líftíma verkefnisins. Forðafræðilíkonin byggja á hermireikningum með því að nota staðbundin skilyrði á geymslusvæði. Þau innihalda viðeigandi eðlisfræði og efnafærlu fyrir geymslu CO<sub>2</sub> í jörðu. Afllfræðilega líkanið verður kvarðað með því að nota i) efnagögn úr niðurdælingar- og vöktunarholusýnum, ii) gögn úr ferilefnaprófum sem framkvæmd eru reglulega á svæðinu (eins og lýst er í kafla 2.2 hér að ofan), og iii) jarðefnafræðileg gögn og önnur viðeigandi gögn, svo sem kortlagningu á sprungum og gegndræpum jarðmyndunum úr borholugögnum.

Líkanið verður notað til að i) meta geymslu CO<sub>2</sub> með leysni- og steindabindingu, ii) meta samræmi við vöktunargögn til að sýna fram á raunhæfni spár og iii) spá fyrir um framtíðar viðbrögð geymslugeymisins og langtímastöðugleika CO<sub>2</sub> geymslunnar.

## 3 Grunnvatnsvöktun

Lögð er áhersla á öflugt eftirlit til að fylgjast með hugsanlegum áhrifum CO<sub>2</sub> niðurdælingarinnar á nærliggjandi umhverfi, þar með talið grunnvatn, og fer aukin vöktun á grunnvatn því fram. Efnasamsetning vatnssýna úr skilgreindum vatnstökuholum í nágrenni við geymslusvæðið er greind árlega, en þetta er þegar hluti af rekstrarleyfi Hellisheiðarvirkjunar. Fyrir nýjar niðurdælingarholur verður grunnvatnsvöktunin útvíkkuð eftir þörfum á grundvelli upplýsinga úr fyrstu ferilefnaprófunum (kafla 1.2).

## 4 Yfirborðsvöktun

Fyrir utan mánaðarlega sjónræna skoðun á niðurdælingarkerfi og -svæði eru gasflæðimælingar á yfirborði einnig hluti af vöktunaráætlun. Megintilgangur yfirborðsvöktunar er að ganga úr skugga um að niðurdælingarkerfin séu starfrækt eins og áætlað er og að greina frávik á flæði gass í gegnum jarðveginn, þá helst CO<sub>2</sub>.

Þetta er gert með mælingum á flæði CO<sub>2</sub> í gegnum jarðveg með því að nota svokölluð lokuð hólf og styrkur CO<sub>2</sub> inni í hólfinu mældur stöðugt sem fall af tíma. Með því að framkvæma gasflæðismælingar annað hvert ár er mögulegt að fylgjast með breytingum á gasflæði jarðvegs og bera kennsl á mögulegar CO<sub>2</sub>-lekaleiðir frá niðurdælingarkerfi eða úr geymslugeymi umfram náttúrulegan bakgrunn á svæðinu.

Reglulegar gasflæðimælingar hafa verið gerðar á Hellisheiði síðan 2008. Sjá nánari upplýsingar um flæðimælingar um yfirborð í kafla 6 í sérfræðiskýrslu ÍSOR fyrir mat á umhverfisáhrifum, sérstaklega mynd 16 sem sýnir umfang fyrri mælinga.

Gervihnattagögn (InSAR) verða ennfremur notuð til að meta landhæðarbreytingar á geymslusvæðinu. Þetta gerir það kleift að fylgjast með hvers kyns áhrifum af grunnnum eða djúpum niðurdælingum á yfirborð landsins og umfang þeirra. Gervihnattagögnin verða endurskoðuð á fimm ára fresti, en sá tímarammi gerir uppsöfnun á mælanlegum breytingum mögulega.

## 5 Vöktun á jarðskjálftavirkni

ÍSOR vann frummat á jarðskjálftahættu geymslusvæðisins, sem hluta af mati á umhverfisáhrifum vegna niðurdælingar CO<sub>2</sub> á geymslusvæði Carbfix á Hellisheiði. Matið var framkvæmt með hliðsjón af reglum Orkustofnunar um viðbúnað og viðbrögð við jarðskjálftavá vegna losunar á vökva í jörðu um borholur nr. OS-2016-R01-01.

Framkvæmd vöktunar á jarðskjálftavirkni vegna niðurdælingar CO<sub>2</sub> fer fram með því að innleiða verkferli þar sem fyrirbyggjandi skref eru tekin, þar á meðal með því að stýra rennslisraða í niðurdælingarholur. Vöktun á skjálftavirkni byggir á svokölluðu umferðarljósakerfi sem komin er góð reynsla á<sup>4</sup> og hefur verið í notkun á Hellisheiði frá 2012 fyrir niðurdælingu á skiljuvatni frá Hellisheiðarvirkjun<sup>5</sup>. Umferðarljósakerfið byggir á því að stýra hraða flæðis í niðurdælingarkerfinu, sér í lagi við upp- og niðurkeyrslu kerfisins. Rannsóknir á örvaðri skjálftavirkni benda til þess að helsta orsök örvaðrar skjálftavirkni séu snöggar breytingar í niðurdælingu og miðar umferðarljósakerfið að því að auka og draga úr flæði í skrefum til að halda skjálftavirkni í lágmarki. Innbyggt í kerfið er jafnframt samskiptaplan og tilkynningar til hagsmunaaðila þegar svo ber undir. Umferðarljósakerfi fyrir stýringu á niðurrennsli er lýst á Mynd 2.

Auk jarðskjálftanets Veðurstofu Íslands (VÍ) rekur ÍSOR skjálftanet á Hellisheiði fyrir ON og er fylgst með jarðskjálftum á vinnslusvæði Hellisheiðarvirkjunar, m.a. örvaðri skjálftavirkni. Staðbundið skjálftanet verður endurskoðað áður en niðurdæling er aukin og umferðarljósakerfið árlega á meðan starfsemi stendur.

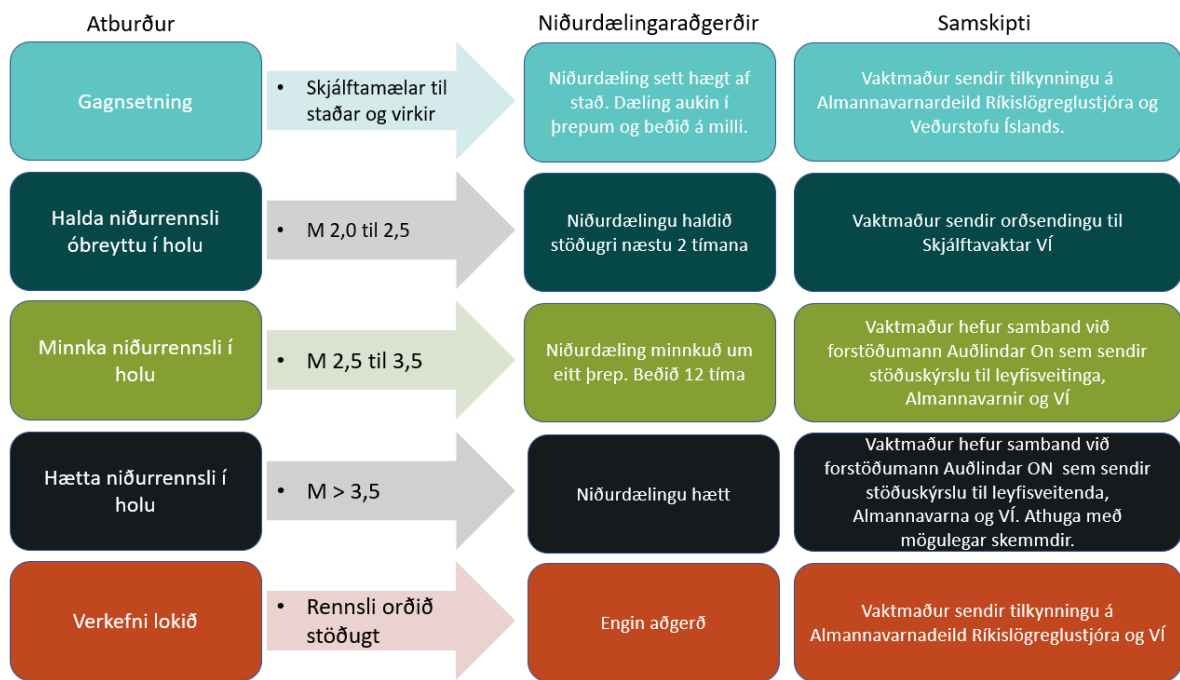
Sjá nánar um jarðskjálftavirkni og vöktun í kafla 7 til 9 í sérfræðiskýrslu ÍSOR fyrir mat á umhverfisáhrifum.

---

<sup>4</sup> AltaRock Energy, Inc., 2011.

<sup>5</sup> Thorsteinsson & Gunnarsson, 2014.

<sup>6</sup> Hjörleifsdóttir o.fl., 2021.



Mynd 2. Umferðarljósakerfi fyrir niðurdælingu á Hellsheiði.

## 6 Vöktun á niðurdælingarkerfi

### Að tryggja kjöraðstæður fyrir niðurdælingu:

Carbfix beitir tveimur aðferðum við niðurdælingu á CO<sub>2</sub>: Niðurdælingu á gashlöðnu vatni, eða niðurdælingu á CO<sub>2</sub> á gasformi og vatni í sitt hvorri lögninni í niðurdælingarholu þar sem blöndun og uppleysing CO<sub>2</sub> í vatni á sér stað á ákveðnu dýpi. Í báðum tilfellum nást kjöraðstæður fyrir niðurdælingu þegar niðurdælingarholur eru fódraðar nógu djúpt til að tryggja að vökvinn streymi ekki út í bergið fyrr en CO<sub>2</sub> er að fullu uppleyst. Þess vegna verður fylgst með eðlisfræðilegum gildum gashlaðna vatnsins eða vatnsins og gassins (ef upplausn á sér stað í niðurdælingarholu) sem streymir niður í borholuna. Gildin eru síðan notuð til að reikna út gasbóluprýsting til að sannreyna kjöraðstæður niðurdælingar og tryggja að engin losun CO<sub>2</sub> verði um jarðveg eða vatn. Gasbóluprýstingur er þrýstingurinn þar sem fyrsta gasbóla myndast við þrýstiléttingu á gashlöðnu vatni. Hann er reiknaður út með því að nota viðeigandi ástandsjöfnu og varmafræðilegum jöfnum, massaflæði vatns og uppleystra gasa, og hitastig niðurdælingarvökvans. Í kjölfarið er hann borinn saman við þrýstinginn neðst í fóðringu niðurdælingarholunnar til að tryggja fulla leysnibindingu vatnsins sem streymir út úr borholunni í geymslugeyminn.

Þar að auki verður sívöktun framkvæmd á þrýstingi, hitastigi og flæði efnasrauma við intak niðurdælingarholu á gashlaðna vatninu eða gas- og vatnsstraumum fyrir hvert niðurdælingarkerfi, með iðnaðarstöðluðum innbyggðum mælum. Einnig verður vöktun á massa og afköstum CO<sub>2</sub> sem dælt er niður. Sýnataka og greining á efnasamsetningu niðurdælingarstrauma verður framkvæmd tvisvar á ári allan niðurdælingartímann (Tafla 2).

Tafla 2 Samantekt á efnabreytum vatns- og gassýna niðurdælingarstrauma ásamt greiningaraðferð.

Niðurdæling á gashlöðnu vatni	
<b>Breytistærð</b>	<b>Dæmi um greiningaraðferð</b>
Styrkur helstu katjóna	ICP-OES (rafgas-ljómunargreinir)
Styrkur anjóna	IC (jónagreinir)
Uppleyst ólífrænt kolefni	Títrun
Styrkur H <sub>2</sub> S ( <i>ef verulegur</i> )	Títrun
Niðurdæling á gasformi ásamt vatni til upplausnar í holu	
<b>Breytistærð</b>	<b>Dæmi um greiningaraðferð</b>
Vökvi – Sýrustig (pH)	Rafskaut, á sýnatökustað
Vökvi – Hitastig	Hitamæling á sýnatökustað
Vökvi – Styrkur helstu katjóna	ICP-OES
Vökvi – Styrkur anjóna	IC
Vökvi – Uppleyst ólífrænt kolefni	Títrun
Vökvi – Styrkur H <sub>2</sub> S ( <i>ef verulegur</i> )	Títrun, á sýnatökustað
Gas – Styrkur aðalefna	GC (gasgreinir)
Gas – Styrkur O <sub>2</sub>	Innbyggður mælir, á sýnatökustað

#### **Greining á útblæstri frá niðurdælingarkerfi og holutoppi:**

Gasskynjara verður komið fyrir inni í niðurdælingarmannvirki sem byggð eru yfir niðurdælingarholur. Búnaði á núverandi niðurdælingarholum á Hellisheiði er skýlt með kúluhúsum. Styrkur CO<sub>2</sub> (og H<sub>2</sub>S, þar sem við á) verður mældur í andrúmslofti inni í kúluhúsum, við inntak niðurdælingarhola. H<sub>2</sub>S skynjarinn er eingöngu til staðar af öryggisástæðum. CO<sub>2</sub> skynjarinn gerir jafnframt kleift að tryggja að enginn CO<sub>2</sub> leki sé frá niðurdælingarkerfinu, fyrir kolefnisbókhaldið. Mánaðarlega verður einnig framkvæmd sjónræn skoðun á niðurdælingarsvæði.

## 7 Vöktun eftir lokun geymslusvæðis

Tímabundin vöktun eftir lokun geymslusvæðisins felur í sér eftirfarandi atriði, sem verða uppfærð eftir þörfum fyrir lokun svæðisins. Vöktun eftir lokun skal ekki vera skemmri en 20 ár, nema hægt sé að sýna fram á fyrr að öll fyrirbyggjandi gögn bendi til þess að CO<sub>2</sub> sé eða muni bindast varanlega með leysnibindingu og steinrenningu.

Þetta felur í sér áframhaldandi vöktun á geymslugeymi, grunnvatnsvöktun og flæðimælingar á yfirborði, þar sem tíðnin minnkar í samræmi við það sem lýst er í vöktunaráætluninni í kafla 8 hér að neðan. Jafnframt verður framkvæmdur álestur á toppþrýstingi, vatnshæð og hitastig mælt í aflögðum niðurdælingarholum. Ef þrýstingshækkningar eru verulegar verða einnig tekin vatns- og gassýni úr niðurdælingarholum og þau efnagreind og hitastig mælt.



## 8 Vöktunaráætlun

Tafla 3 tekur saman vöktunaráætlunina sem er lýst í köflunum hér að ofan. Vöktun á sér stað allt frá því áður en niðurdæling hefst, meðan á henni stendur og eftir lokun geymslusvæðis í samræmi við lokunaráætlun. Taflan sýnir helstu mælibreytur á hverju niðurdælingarsvæði ásamt tíðni mælinga.

Á skilgreindum niðurdælingarsvæðum sem eru þegar í rekstri (Húsmúli, Þrengsli) er vöktunarstarfsemi nú þegar í gangi og því eiga dálkarnir með tíðni á meðan niðurdælingu stendur við þar. Á nýjum niðurdælingarsvæðum mun vöktun hins vegar hefjast með nauðsynlegri grunnástandsvöktun áður en niðurdæling hefst.

Tafla 3. Vöktunarátætlun niðurdælingar CO<sub>2</sub> til geymslu í jörðu á Hellisheiði.

Vöktunar- þáttur	Vöktun	Markmið	Fyrir gangsetningu	Tíðni						Eftir lokun
				1	2	3	4	5	6+	
Geymslu- geymir	Heildstæð greining á efnafræði, hitastigi og þrýstingi og mæling á vatnsborði í vöktunarholum	Vöktun á geymslugeymi og steinrenningu, samræmi við líkan af geymslugeymi. Sannreyna að enginn leki sé til staðar.	3 <sup>a</sup>	Há → lág tíðni <sup>b</sup>						1-1/5 <sup>c</sup>
	Styrkur ferilefna í vöktunarholum			Há → lág tíðni <sup>b</sup>						
	Hermireikningar (Jarðefnafræðilegir reikningar)		d	1	1	1	1/2 <sup>e</sup>	1/2	1/2	1/2-1/5 <sup>c</sup>
	Hermireikningar (Forðafræðilíkon)		d	1	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2-1/5 <sup>c</sup>
Grunnvatn	Efnagreining í skilgreindum vatnstökuholum í nágrenni við geymslusvæðið.	Bera kennsl á hugsanleg áhrif niðurdælingar á grunnvatn	Árlega							
Yfirborð	Sjónræn skoðun á niðurdælingarsvæði	Enginn leki CO <sub>2</sub> frá niðurdælingarkerfi eða úr geymslugeymi umfram náttúrulegan bakgrunn á svæðinu		12	12	12	12	12	12	
	Flæðimælingar á yfirborði		1		1		1		1	1/4 <sup>e</sup>
	Landhæðarbreytingar (InSAR)	Áhrif á yfirborð		Fimmta hvert ár						
Jarðskjálfta- virkni	Rekstur á staðbundnu jarðskjálftaneti (ÍSOR, ON)	Lágmarka hættu á aukinni skjálftavirkni	Síritun							
	Vöktun í gegnum skjálftanet Veðurstofu Íslands		Síritun							
Niðurdælingarkerfi	Þrýstingur, hitastig og flæði efnastrauma við inntak niðurdælingarhola	Vöktun á CO <sub>2</sub> sem dælt er niður, magni og mögulegum óhreinindum í niðurdælingarvökva og gasi. Tryggja örugga niðurdælingu og að engin losun CO <sub>2</sub> vegna niðurdælingar um jarðveg eða vatn (samanburður við gasbóluprýsting)	Síritun							
	Sýnataka og greining efnasamsetningar vatns, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S og snefilefna í vökva við inntak niðurdælingahola		2	2	2	2	2	2		
	Styrkur CO <sub>2</sub> í andrúmslofti (og H <sub>2</sub> S þar sem við á) inni í niðurdælingarmannvirki	Enginn leki CO <sub>2</sub> frá niðurdælingarkerfi	Síritun							
	Grunnvatnsborðsmæling eða skráning á þrýstingi niðurdælingarholu	Tryggja örugga niðurdælingu og að engin losun CO <sub>2</sub> vegna niðurdælingar um jarðveg eða vatn (samanburður við gasbóluprýsting)	1							
	Álestur á toppþrýstingi, vatnshæð og hitastigi í aflögðum niðurdælingarholum	Tryggja að ekkert CO <sub>2</sub> sé að safnast fyrir í holutoppi og að búnaður virki sem skyldi.								1-1/5 <sup>c</sup>
Skýrslugjöf og eftirlit	Skýrslugjöf til eftirlitsaðila	Skýrslugjöf og eftirlit	Árlega							
	Skoðun á búnaði á yfirborði og virkni		Árlega							1-1/5 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Fjöldi sýna/mælinga/athugana á ári/uppfærsla líkans

<sup>b</sup> Hærrí tíðni sýnatöku í upphafi niðurdælingar og ferilefnaprófana. Tíðni minnkar þegar borið hefur verið kennsl á viðbragð vöktunarholu við niðurdælingu. Rauntölur taka mið af frumniðurstöðum. Ferilefnapróf er gert þegar stöðugleika hefur verið náð við fulla afkastagetu.

<sup>c</sup> 1-1/5: Árlega í þrjú ár, svo fimmta hvert ár; 1/2-1/5: Annað hvert ár fyrstu þrjú árin, svo fimmta hvert ár.

<sup>d</sup> Líkon eru uppfærð eftir því sem ný gögn berast, ss frá borunum, eins og þörf krefur.

<sup>e</sup> Fjórdá hvert ár (1/4) eða annað hvert ár (1/2).

<sup>f</sup> Vöktun eftir lokun skal ekki vera undir 20 árum, nema hægt sé að sýna fram á fyrr með gögnum að CO<sub>2</sub> sé eða muni bindast varanlega með leysnibindingu og steinrenningu.

