

Greinargerð nr. 2022-0004

14.október 2022



Grunnvatn á Hellisheiði

Grunnástand og möguleg áhrif fyrirhugaðrar framkvæmdar Carbfix um geymslu CO₂ í jarðlögum á Hellisheiði

Sigrún Tómasdóttir

Rannsóknir og Nýsköpun OR

Efnisyfirlit

1	Inngangur	1
2	Grunnástand.....	1
2.1	Núverandi vatnsöflun Orku náttúrunnar á Hellisheiði	1
2.2	Vatnajarðfræði svæðisins og grunnástand vatns	3
3	Fyrirhuguð vatnsnotkun vegna niðurdælingaverkefna og efnasamsetning vatns	8
4	Möguleg áhrif fyrirhugaðrar framkvæmdar Carbfix á grunnvatn.....	11
4.1	Möguleg áhrif á grunnvatn á framkvæmdatíma	11
4.2	Möguleg áhrif á grunnvatn á rekstrartíma	12
4.2.1	Áhrif vegna geymslu CO ₂ í jarðlögum	12
4.2.2	Rennslisleiðir niðurdælingarvatns	14
5	Heimildir	15
	Viðauki 1.....	17
	Viðauki 2.....	19

Myndir

Mynd 1.	Staðsetning vatnsbólans í Engidal, annarra vatnstökuholna ON ásamt staðsetningu vöktunarholna ON í nágrenni Hellisheiðarvirkjunar sem efnasýni eru tekin reglulega úr til þess að vakta áhrif virkjunarinnar á grunnvatn á svæðinu.....	2
Mynd 2.	Breytileiki í stöðu grunnvatnsvatnaskila á svæðinu eins og hún reiknast í grunnvatnslíkani Vatnaskila. Örvar sýna rennslisstefnu grunnvatns miðað við vatnaskil í júlí 1994.....	4
Mynd 3	Breytileiki í stöðu grunnvatnsvatnaskila á svæðinu eins og hún reiknast í grunnvatnslíkani Vatnaskila. Örvar sýna rennslisstefnu grunnvatns miðað við vatnaskil í maí 1980..	5
Mynd 4	Hitaferlar í borholum nærri Þrengslavegamótum (HN-01 og 2) og sunnan Lambafells (HK-25 og HK-26).....	6
Mynd 5	Niðurstöður úr reikningum Vatnaskila á aðrennslissvæði vatnsbólans í Engidal við 2000 L/s stöðuga upptekt úr vatnsbólínu	12
Mynd 6	Staðsetning holu HN-02 í Þrengslum þar sem tilraunaniðurdæling CO ₂ fór fram árið 2012 og þar sem niðurdæling á 4000t/ári af CO ₂ frá Orca verkefninu fer fram í dag.	13
Mynd 7	Breytingar á styrk kísils í grunnvatni.	19
Mynd 8	Breytingar á styrk súlfats í grunnvatni.....	20
Mynd 9	Breytingar á styrk klóríðs í grunnvatni.	21
Mynd 10	Breytingar á styrk natríums í grunnvatni.....	22

Töflur

Tafla 1. Efnagreiningar úr vöktunarholum á Hellisheiði sem sýna grunnástand grunnvatns á svæðinu áður en niðurdæling á CO ₂ til geymslu í millikerfi hefst í auknu magni.	7
Tafla 2 Nýlegar efnagreiningar úr þeim vatnsstraumum sem nýttir verða til niðurdælingar CO ₂ ..	10
Tafla 3 Þróun á styrk ammóníum, járns og TOC í lofthreinsiveri Climeworks eftir fjölda hringrása borinn saman við leyfilegan hámarksstyrk í neysluvatni skv. reglugerð nr 536/2001.	11
Tafla 4 Reiknuð efnagreining á vatni sem nýtt yrði til niðurdælingar ef miðað er við að því yrði blandað við skiljuvatn í hlutföllunum 90/10.	17

1 Inngangur

Carbfix vinnur að umhverfismati vegna fyrirhugaðarar niðurdælingar á CO₂ til geymslu í jarðlögum á Hellisheiði. Áform Carbfix eru þrenns konar:

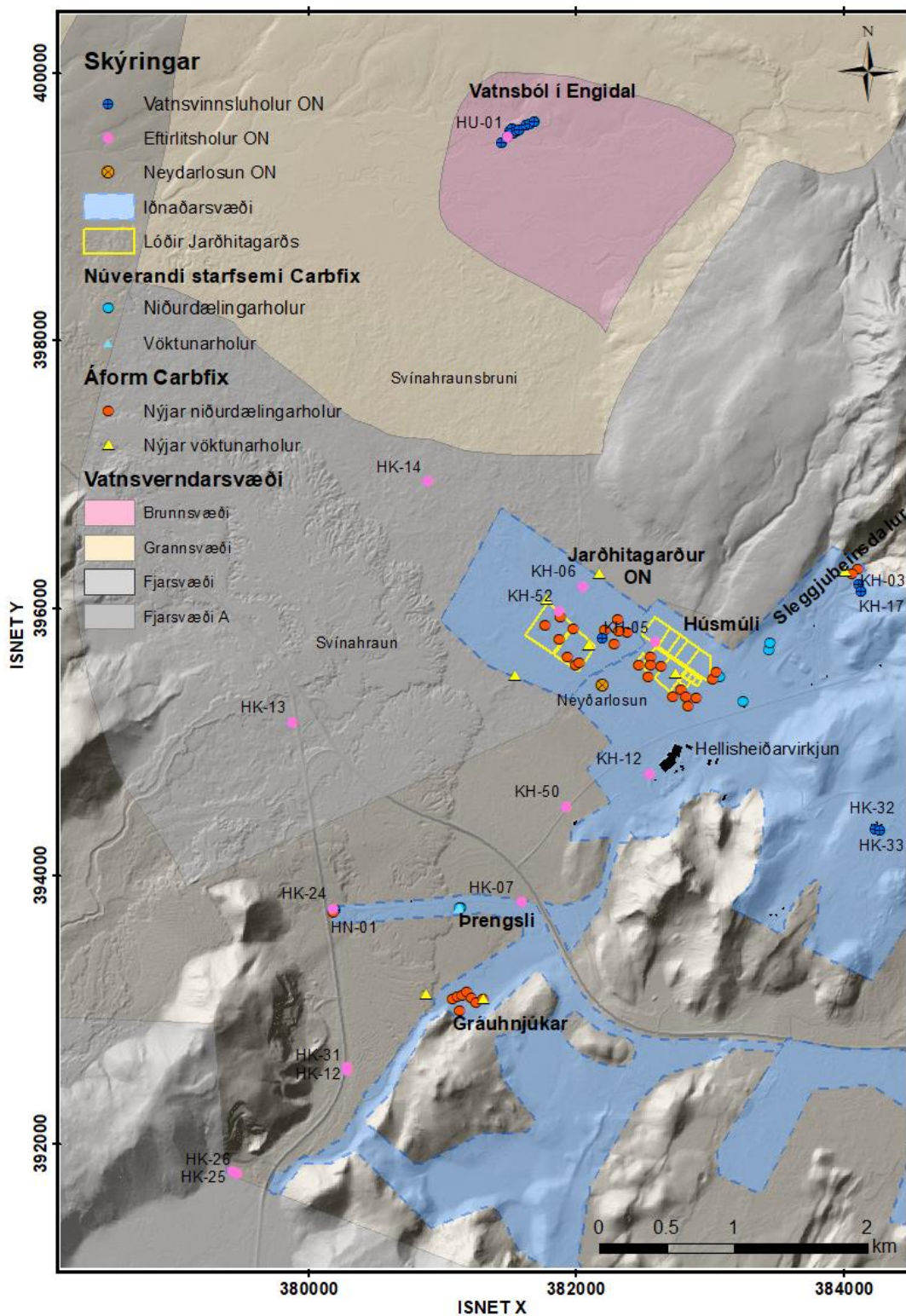
1. Niðurdæling á CO₂ og H₂S úr útblæstri Hellisheiðarvirkjunar í djúpar niðurdælingarholur á skilgreindu niðurdælingarsvæði virkjunarinnar við Húsmúla.
2. Niðurdæling á CO₂ sem fangað er af lofthreinsiverum í Jarðhitagarði í nýjar grynri (<1000 m) niðurdælingarholur í Jarðhitagarði ON og Þrengslum
3. Niðurdæling á CO₂ sem ýmist er fangað úr andrúmslofti eða frá nýrri starfsemi í Jarðhitagarði ON, eða flutt á staðinn til niðurdælingar í nýjar grynri (<1000 m) niðurdælingarholur í Jarðhitagarði ON, á skilgreindum borsvæðum í Sleggjubeinsdal, Húsmúla, í Þrengslum og við Gráuhnúka.

Einn þeirra þátta sem meta skal í umhverfismatinu er möguleg áhrif niðurdælingar á CO₂ til geymslu í jörð á grunnvatn á svæðinu og er í þessu samhengi átt við grunnvatnslög ofan hins eiginlega jarðhitakerfis. Þessi greinargerð tekur saman grunnástand grunnvatns á svæðinu og möguleg áhrif fyrirhugaðrar niðurdælingar og geymslu CO₂ í jarðlögum á grunnvatnið. Er greinargerðin unnin að beiðni Carbfix. Núverandi og fyrirhugaðar niðurdælingar- og vöktunarholur Carbfix eru sýndar á mynd 1. Lóðir í Jarðhitagarði ON eru sýndar sérstaklega en gert er ráð fyrir allt að 22 borholum innan garðsins. Staðsetningar fyrirhugaðra niðurdælingarholna eru ekki endanlegar og gætu breyst.

2 Grunnástand

2.1 Núverandi vatnsöflun Orku náttúrunnar á Hellisheiði

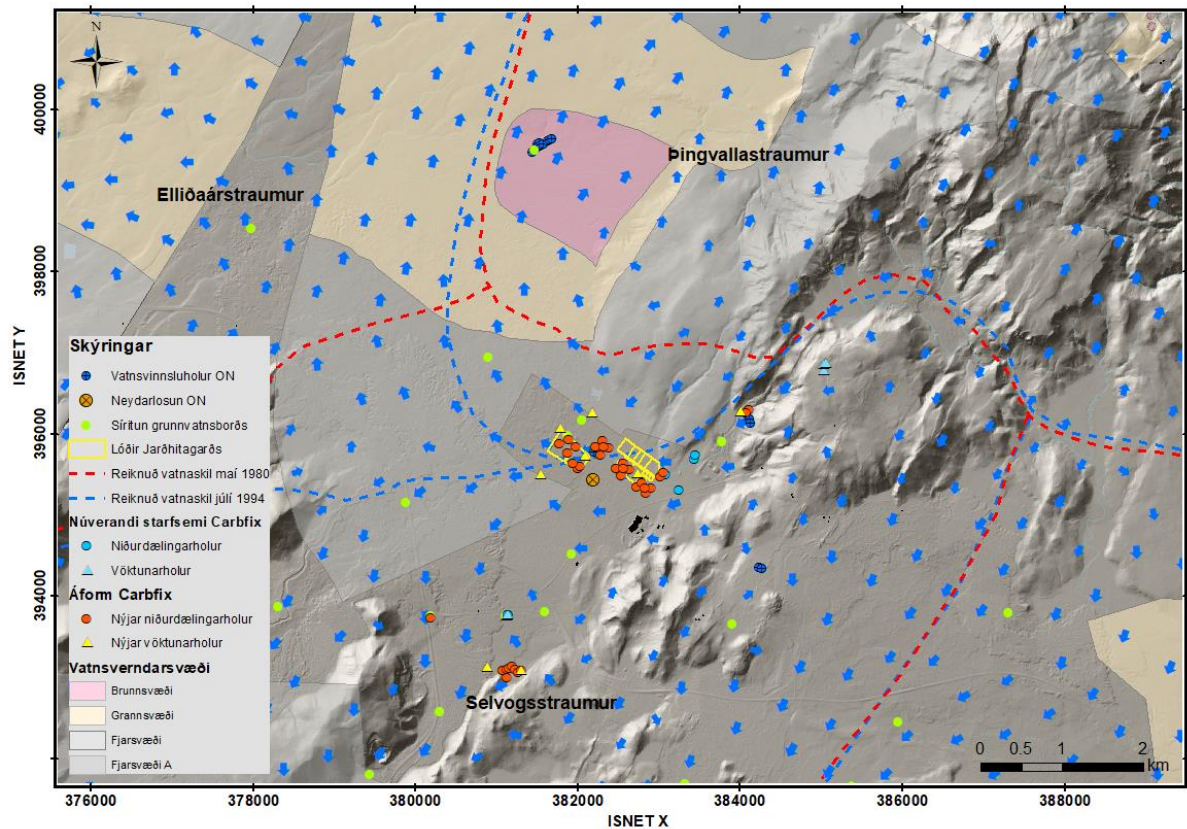
Kalt grunnvatn er unnið í miklu magni úr vatnsbólum ON í Engidal og er í gildi nýtingarleyfi fyrir 2000 L/s upptekt. Vinnsluholur þar eru níu talsins, HU-01 til HU-09. Stærstur hluti vatnsins er hitaður upp og fluttur til höfuðborgarsvæðisins sem hitaveituvatn en auk þess er kalt vatn nýtt innan virkjunarinnar, sem neysluvatn á svæðinu og í Jarðhitagarði ON. Vatnsbólíð í Engidal er einnig varavatsból fyrir höfuðborgarsvæðið ef stórfelldir atburðir myndu spilla vatnsbólunum í Heiðmörk. Það eru því ríkir hagsmunir að passa að grunnvatn spillist ekki á svæðinu. Vatnsverndarsvæði eru skilgreind í kringum vatnsbólin og eru þau sýnd á mynd 1. Einnig er til staðar svokölluð borvatnsveita ON. Inniheldur hún tvær vinnsluholur í Sleggjubeinsdal, KH-03 og KH-17, sem afla skolvatns fyrir boranir á Skarðsmýrarfjalli og Hellisheiði, og tvær vinnsluholur á teig 7, HK-32 og HK-33, sem nýttar eru ef til uppbótarborana í Hverahlíð kæmi. Vatn fyrir núverandi niðurdælingu Carbfix í Þrengslum fyrir Orca er fengið úr holu HK-24. Staðsetning allra vatnstökuholna ON er sýnd á mynd 1.



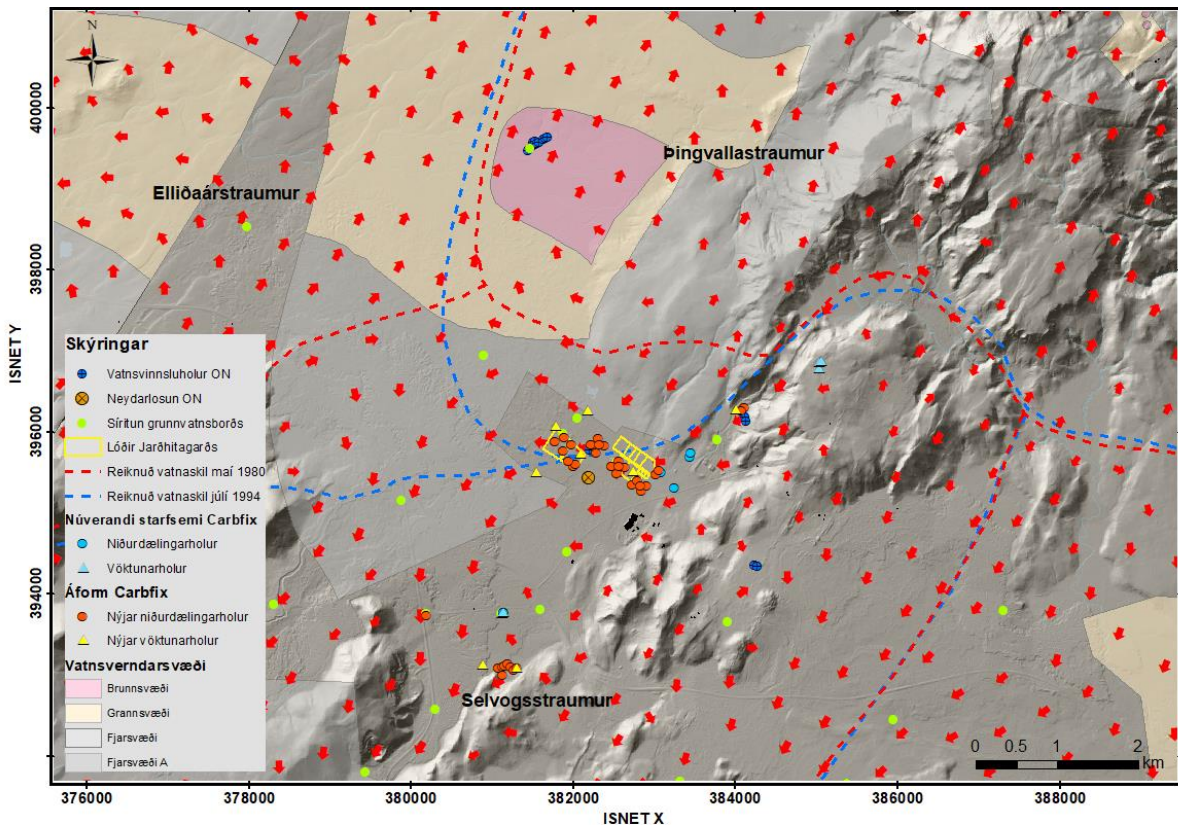
Mynd 1. Staðsetning vatnsbólans í Engidal, annarra vatnstökuholna ON ásamt staðsetningu vöktunarholna ON í nágrenni Hellisheiðarvirkjunar sem efnasýni eru tekin reglulega úr til þess að vakta áhrif virkjunarinnar á grunnvatn á svæðinu. Á kortinu er einnig lega vatnsverndarsvæða, staðsetning neyðarlosunar ON á skiljuvatni frá Hellisheiðarvirkjun ásamt núverandi og fyrirhugðum niðurdælingar- og vöktunarholum Carbfix. Staðsetningar fyrirhugaðra holna eru ekki endanlegar.

2.2 Vatnajarðfræði svæðisins og grunnástand vatns

Fyrirhugað geymslusvæði Carbfix liggur í nálægð við vatnaskil þriggja grunnvatnsstrauma; Þingvallastraums, Selvogsstraums og Elliðaárstraums (sjá myndir Mynd 2 og Mynd 3). Vatnajarðfræði á svæðinu er nokkuð flókin og hafa misgengi, grafnar móbergsmýndanir, og ummyndun áhrif á stöðu grunnvatns og streymi þess. Grunnvatnsborð stendur í um 230 - 240 m y.s. í borholum vestan við Kolviðarhól (t.d. holur KH-50, KH-06, KH-52 og KH-05) en fellur svo skarpt þegar komið er vestar í Svínahraun. Þar er komið á eins konar grunnvatnssléttu þar sem grunnvatnsborð liggur milli 170 og 175 m y.s. á mjög stóru svæði sem nær norður á Mosfellsheiði, vestur að Sandskeiði og suður í Þrengsli (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2019). Verkfræðistofan Vatnaskil uppfærir árlega vatnafarslíkan af svæðinu og nær það líkan um 50-100 m niður fyrir grunnvatnsborð (sjá t.d. Verkfræðistofan Vatnaskil, 2020). Líkanið reiknar grunnvatnshæð og -rennsli yfir 47 ára keyrslutímabil (1972-2019) og er kvarðað með vatnsborðsmælingum úr fjölda eftirlitsholna á svæðinu. Mælingarnar voru fyrstu árin að mestu gerðar með handmælum en undanfarin ár hefur þrýstingssíritum sem mæla grunnvatnsborð verið komið fyrir í 25 borholum á svæðinu. Gögn úr þeim ásamt vinnslugögnum úr Engidal eru notuð í uppfærslu líkansins. Með líkaninu hefur verið sýnt fram á að staða vatnaskila á svæðinu í nágrenni Hellisheiðarvirkjunar geti verið töluvert breytileg eftir því hver vatnsstaða sé hverju sinni. Á myndum Mynd 2 og Mynd 3 má sjá dæmi um þennan breytileika. Þar er bæði sýnd lega vatnskila þegar þau liggja norðarlega (maí 1980) og þegar þau liggja sunnarlega (júlí 1994) samkvæmt líkaninu. Stefna grunnvatnsrennslis í hvoru tilfelli fyrir sig er sýnd með örvum. Þannig getur verið mismunandi hvort úrkoma sem fellur á svæðið sem nær yfir breytileika vatnaskilanna leiti til suðvesturs í Selvoginn, til norðausturs í áttina að Engidalskvísl eða til vesturs á vatnasvið Elliðaáa. Töluverðar uppfærslur hafa verið gerðar á líkaninu undanfarin ár í tengslum við aukna upptekt í Engidal (sjá t.d. Verkfræðistofan Vatnaskil 2019; Verkfræðistofan Vatnaskil, 2022). Enn gætir þó muns á mældri og reiknaðri grunnvatnshæð og er sá munur mestur þar sem skarpar breytingar verða á grunnvatnshæð. Það er tilfellið í nágrenni virkjunarinnar og innan Jarðhitagarðs ON og skapar þetta viðbótar óvissu um stöðu vatnaskila og rennslisstefnu grunnvatns á svæðinu. Líkanið er gert fyrir mjög stórt svæði og nær ekki að herma grunnvatnshæð í nágrenni við Hellisheiðarvirkjun af mikilli nákvæmni.

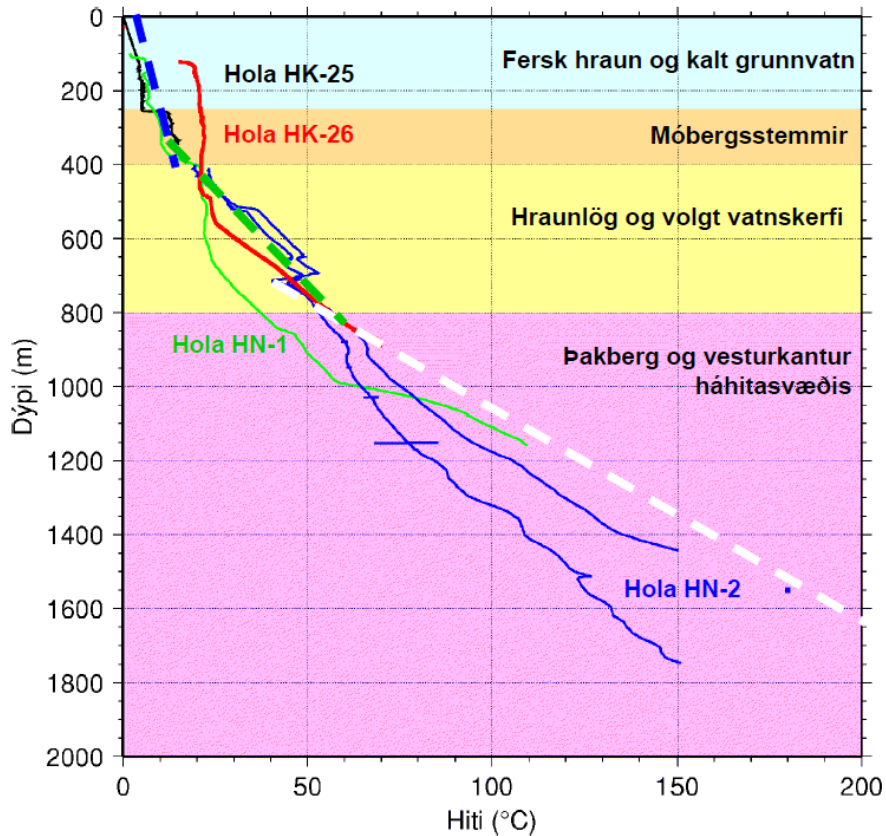


Mynd 2. Breytileiki í stöðu grunnvatnsvatnaskila á svæðinu eins og hún reiknast í grunnvatnslíkani Vatnaskila. Rauða brotalínan sýnir vatnaskilin þegar þau liggja norðarlega (maí 1980) og bláa línan sýnir vatnaskilin þegar þau liggja sunnarlega (júlí 1994). Örvar sýna rennslisstefnu grunnvatns miðað við vatnaskil í júlí 1994. Á kortinu er einnig sýnd staðsetning vatnsvinnsluholna ON, staðsetning holna þar sem sírítun grunnvatnsborðs fer fram og staðsetning neyðarlosunar á skiljuvatni frá Hellisheiðarvirkjun. Staðsetning á núverandi og fyrirhugðum niðurdælingar- og vöktunarholum Carbfix er einnig sýnd. Staðsetningar fyrirhugaðra holna eru ekki endanlegar.



Mynd 3 Breytileiki í stöðu grunnvatnsvatnaskila á svæðinu eins og hún reiknast í grunnvatnslíkani Vatnaskila. Rauða brotalínan sýnir vatnaskilin þegar þau liggja norðarlega (maí 1980) og bláa línan sýnir vatnaskilin þegar þau liggja sunnarlega (júlí 1994). Örvir sýna rennlissteðnu grunnvatns miðað við vatnaskil í maí 1980. Á kortinu er einnig sýnd staðsetning vatnsvinnsluholna ON, staðsetning holna þar sem síritun grunnvatnsborðs fer fram og staðsetning neyðarlofusnar á skiljuvatni frá Hellisheiðarvirkjun. Staðsetning á núverandi og fyrirhugðum niðurdælingar- og vöktunarholum Carbfix er einnig sýnd. Staðsetningar fyrirhugaðra holna eru ekki endanlegar.

Dýpri boranir í Þrengslunum hafa sýnt fram á að efsta grunnvatnskerfið er aðskilið frá neðri lögum með þéttara móbergslagi. Neðan móbergslagsins er heitara grunnvatnskerfi, stundum nefnt millikerfi, sem er síðan aðskilið frá jarðhitageyminum sjálfum með þéttara þakbergi úr ummyndunarsteindum. Vatn í millikerfinu hefur aðra efnasamsetningu heldur en efsta grunnvatnskerfið og er heitara (VGK, 2005). Einfaldað jarðlagasnið úr Þrengslunum ásamt hitamælingum má sjá á Mynd 4. Þarna má sjá að hitinn í efsta kerfinu er innan við 10 °C en hitinn í millikerfinu 20-60°C. Móbergslög er að finna frá 250 m dýpi og niður á 2005 m dýpi í holu HN-11 í Húsmúla en hún er skáboruð og liggur innan austari hluta Jarðhitagarðs (Guðmundur H. Guðfinnsson, Björn S. Harðarson og Hörður Tryggvason, 2010). Ekki eru til staðar djúpar holur norðavestan við Húsmúla, í Svínahraunsbruna, til þess að staðfesta útbreiðslu þéttari móbergslaga til norðurs í átt að Engidal.



Mynd 4 Hitaferlar í borholum nærri Þrengslavegamótum (HN-01 og 2) og sunnan Lambafells (HK-25 og HK-26). Blár slítinn ferill táknar hitastigul í kalda grunnvatninu efst í staflanum, sá græni í volgu vatnskerfi á 400 til 800 m og sá hvíti í ummynduðu þakbergi háhitasvæðisins í Hengli (Grímur Björnsson og Hjalti Franzson, 2005; mynd 1).

Miklar upplýsingar eru til um grunnástand grunnvatns á svæðinu, áður en niðurdæling á CO₂ til geymslu í millikerfi hefst í auknu magni, sem hægt verður að nota til þess að meta hvort niðurdælingin hafi áhrif á grunnvatn.

Tekin hafa verið sýni úr vöktunarholum við og í nágrenni Hellisheiðarvirkjunarinnar árlega frá því fyrir gangsetningu virkjunarinnar til þess að fylgjast með áhrifum starfseminnar á efnasamsetningu og hita grunnvatns. Sýnin eru greind fyrir styrk heildarefna og snefilefna ásamt því sem hitastig, leiðni og sýrustig er mælt. Á Mynd 1 má sjá staðsetningu þeirra grunnvatnshola í næsta nágrenni Hellisheiðarvirkjunar sem efnasýni eru reglulega tekin úr. Flestar holurnar eru innan við 300 m djúpar og gefa því mynd af efnasamsetningu efsta grunnvatnskerfisins. Undantekning á þessu eru holur HK-26 og HK-31 en þær eru 855 m og 799 m djúpar og fóðraðar niður fyrir 400 m dýpi. Sýni tekin úr þeim holum gefa mynd af efnaástandi millikerfisins. Í töfluTafla 1 má sjá niðurstöður efnagreininga á nýjustu sýnum úr vöktunarholum virkjunarinnar. Styrkur efna í holunum er í öllum tilvikum undir neysluvatnsmörkum, þar sem þau eru skilgreind.

Tafla 1. Efnagreiningar úr vöktunarholum á Hellisheiði sem sýna grunnástand grunnvatns á svæðinu áður en niðurdæling á CO₂ til geymslu í millikerfi hefst í auknu magni.

HOLA			HK-07	HK-12	HK-26	HK-31	HK-25	HK-24	HK-13	KH-50	KH-03	KH-12	KH-17	KH-52	KH-05	KH-06	HU-1	HK-14	LK-01
Sýni nr.			21-5221	21-5220	20-5334	20-5333	20-5322	20-5280	19-5345	21-5289	21-5235	21-5185	21-5234	21-5288	21-5231	21-5224	21-5233	21-5223	20-5169
Dags.			7.9.2021	7.9.2021	9.7.2020	8.7.2020	30.6.2020	16.6.2020	11.9.2019	7.12.2021	23.9.2021	30.6.2021	23.9.2021	6.12.2021	15.9.2021	8.9.2021	16.9.2021	8.9.2021	19.5.2020
EFNI	EINING	LEYFILEGUR HÁMARKSST.																	
Sýrustig	pH		7.48	8.31	8.67	9.60	8.17	7.79	7.17	7.20	6.98	7.53	7.10	6.65	7.78	6.82	7.67	8.07	7.49
T (pH-mæl)	°C		21.9	22.00	23.20	22.70	22.40	23.40	22.60	21.70	16.50	22.8	19.0	21.90	22.0	22.0	21.9	22.1	23.5
CO ₂	mg/kg	*	53.0	39.50	139.85	75.50	57.85	33.95	25.75	68.55	192.65	30.0	219.0	26.40	45.0	32.9	24.0	21.1	21.1
F	mg/kg	1.5	0.098	0.08	0.63	0.89	0.08	0.06	0.09	0.10	0.20	0.113	0.136	0.07	0.092	0.063	0.093	0.065	0.085
Cl	mg/kg	250	8.85	9.25	8.82	8.32	10.60	9.56	13.22	8.84	5.43	9.89	5.55	5.43	7.75	6.68	7.89	7.55	20.94
SO ₄	mg/kg	250	14.49	11.53	11.78	10.10	9.44	8.03	5.32	27.59	22.47	14.39	8.53	9.85	4.05	2.45	2.45	2.30	3.94
Ca	mg/kg	*	9.23	11.06	4.44	1.52	10.50	7.31	5.02	8.24	33.87	6.1	30.05	5.70	9.44	4.21	4.18	3.78	4.93
Fe	mg/kg	0.2	0.02	0.21	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07	0.00	0.01	0.01	0.01	0.31	0.005	0.010	0.030
K	mg/kg	*	0.81	1.02	4.72	1.19	1.37	1.03	1.00	1.09	2.46	1.06	2.79	0.82	0.79	0.48	0.75	0.71	1.03
Mg	mg/kg	*	9.86	5.41	4.44	0.11	7.08	3.97	2.92	16.24	12.86	3.46	12.30	2.81	5.83	3.80	2.47	2.78	3.08
Na	mg/kg	200	9.49	9.15	67.70	59.00	11.60	8.79	10.50	9.19	22.54	8.21	29.36	5.30	7.26	4.95	5.60	6.17	10.70
SiO ₂	mg/kg	*	29.45	22.51	31.75	55.42	25.08	20.99	19.68	44.48	61.23	32.00	68.98	21.35	28.66	15.54	23.13	16.03	15.70
Al	µg/kg	200	6.94	114.00	16.60	93.10	4.59	4.07	7.51	3.71	4.67	10.20	5.20	1.68	0.74	2.16	1.08	10.10	13.60
As	µg/kg	10	0.09	< 0,05	0.46	0.94	0.06	0.12	< 0,05	0.07	0.06	0.36	0.12	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0.07
Ba	µg/kg	1300**	0.36	1.52	4.77	0.39	0.79	0.67	0.63	0.63	1.09	0.92	2.27	1.34	0.21	0.83	0.46	0.23	0.59
Cd	µg/kg	5	0.012	0.004	0.02	0.02	< 0,002	< 0,002	0.00	0.04	< 0,002	0.00399	0.0469	0.02	0.0106	0.013	0.0039	0.00379	0.006
Co	µg/kg	*	0.02	0.12	0.04	0.02	0.01	0.01	0.36	0.01	< 0,005	0.006	0.015	0.03	0.014	0.05	0.007	0.012	0.015
Cr	µg/kg	50	1.71	5.43	0.16	0.08	1.08	0.47	2.53	0.25	0.79	0.48	0.89	0.87	0.69	2.78	0.46	3.31	0.31
Cu	µg/kg	2000	1.83	1.22	0.41	0.38	0.59	1.11	1.24	3.32	0.17	0.17	4.97	1.84	0.26	2.94	0.29	0.77	1.49
Hg	µg/kg	1	< 0,002	0.003	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Mn	µg/kg	50	0.95	6.46	11.10	0.82	1.54	1.78	3.07	0.82	1.55	0.18	2.12	2.06	1.00	2.81	0.245	0.56	1.55
Mo	µg/kg	*	0.79	0.47	2.73	2.41	0.37	0.30	0.44	0.15	0.34	0.26	0.16	0.21	0.19	0.09	0.15	0.13	0.11
Ni	µg/kg	20	0.10	2.86	0.55	0.17	0.72	0.65	3.07	1.39	2.98	< 0,05	1.50	0.90	0.26	0.24	< 0,05	< 0,05	0.84
Pb	µg/kg	10	0.13	0.05	0.04	0.03	0.02	0.09	0.06	0.16	< 0,01	0.0	0.2	0.03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
P	µg/kg	*	48.8	32.8	23.30	11.10	22.00	16.20	14.20	57.90	77.80	46.5	72.8	2.89	62.7	7.50	47.4	19.5	7.3
Sb	µg/kg	5	0.142	0.078	0.01	0.01	0.00	0.04	0.12	0.06	0.01	1.8	0.0203	0.13	0.0351	0.031	0.021	0.035	0.021
Se	µg/kg	10	0.85	0.5	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0.59	0.47	0.49	0.597	0.455	0.42	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Sr	µg/kg	*	21.1	21.8	25.10	5.42	20.40	17.70	15.40	20.60	67.00	14.5	67.6	13.00	15.4	8.9	8.2	8.6	10.6
Ti	µg/kg	*	0.114	8.00	0.20	0.10	0.41	0.17	0.30	0.16	0.02	0.122	0.088	0.05	0.035	0.203	0.031	0.156	0.487
V	µg/kg	*	16.5	23.6	1.21	27.50	14.90	15.30	5.14	2.98	17.80	9.3	12.8	1.79	11.9	2.8	7.2	4.8	10.1
Zn	µg/kg	*	67.5	12.3	35.50	2.45	6.32	24.30		92.20	2.10	6.15	120.00	68.60	39.10	23.3	23.6	11.2	208.0

Samkvæmt nýtingarleyfi virkjunarinnar er losun vökva á yfirborði óheimil nema til prófana á holum til skemmri tíma og vegna stórfelldra bilana (neyðarlosun). Samsvarandi ákvæði eru í starfsleyfi virkjunarinnar en þar er jafnframt tekið fram að losun geti orðið á yfirborði vegna fyrrséðra og ófyrirséðra atburða sem hafa áhrif á viðtöku niðurdælingarsvæða. Neyðarlosun skiljuvatns á yfirfall fer fram í svelgholur í Svínahrauni og er staðsetning neyðarlosunar sýnd á myndMynd 1. Affallsvatn við borun og blástursprófanir er losað á yfirborð og yfirfall kæliturna er losað í grunnar svelgholur í nágrenni virkjunarinnar. Til viðbótar þessu var skiljuvatni dælt niður í millikerfið í þrengslum til skemmri tíma frá 2016-2018 (Ingvi Gunnarsson, 2016). Þessi losun er frá starfsemi ON og hefur hún áhrif á grunnástand grunnvatns á svæðinu en tengist ekki niðurdælingu Carbfix á CO₂. Ekki hafa komið fram afgerandi vísbendingar um að þessi losun ON í grunnvatnslög ofan jarðhitakerfis sé að valda útbreiddri rýrnun á gæðum grunnvatns á svæðinu. Staðbundin, og stundum tímabundin, áhrif eru mjög líklega nærri losunarstöðum og sjást þau t.d. breytingum á styrk súlfats (SO₄), kísils (SiO₂) og natríums (Na) úr holu KH-50 og holu HK-07. Myndir sem sýna breytingar á styrk kísils (SiO₂), súlfats (SO₄), klóríðs (Cl) og natríums (Na) í þeim holum sem sýni eru reglulega tekin úr eru sýndar í viðauka 2. Þetta eru þau aðalefni sem fyrst ættu að sýna breytingar ef áhrifa núverandi losunar ON gætir í grunnvatni. Helstu breytingar sem orðið hafa á efnasamsetningu grunnvatns á svæðinu frá því Hellisheiðarvirkjun var tekin í gagnið eru eftirfarandi:

- Styrkur kísils hefur farið örlítið hækkandi í holum HK-07, HK-12, HK-24, HK-25 og HK-31. Klórstyrkur hefur ekki aukist í þessum holum eins og búast mætti við ef um áhrif skiljuvatnsblöndunar væri að ræða
- Styrkur súlfats hefur hækkað lítillega í holum HK-7, HK-12, HK-24 og HK-25
- Töluverður breytileiki er í styrk klórs í holum LK-01 og HK-13. Það er ólíklegt að sá breytileiki tengist rekstri virkjunarinnar og að hann tengist frekar nálægð við þjóðveg 1
- Styrkur súlfats, kísils og natríums hefur verið nokkuð sveiflukenndur í holu KH-50 sem er sunnan við virkjunina

Sömu vöktunarholur og ON nýtir til þess að fylgjast með áhrifum Hellisheiðarvirkjunar á grunnvatn, munu nýtast til þess að fylgjast með mögulegum áhrifum fyrirhugaðrar geymslu CO₂ í jarðlögum á grunnvatn, ásamt nýjum holum.

3 Fyrirhuguð vatnsnotkun vegna niðurdælingaverkefna og efnasamsetning vatns

Fyrirhuguð niðurdælingarverkefni Carbfix (allt að 315 kt/ári) gætu krafist allt að 250 L/s af vatni en miðað er við að 25 kg af vatni þurfi fyrir hvert kg af hreinu CO₂. Gengið er út frá því að ON afhendi Carbfix þetta vatn og er öflun þess því ekki tekin fyrir í umhverfismati fyrir geymslu á CO₂ í jörðu á geymslusvæði Carbfix á Hellisheiði sem nú er í vinnslu. Í greinargerð þessari er vatnsöflunin þó rædd til þess að unnt sé að skoða efnaeiginleika þess vatns sem í niðurdælinguna fer. Fjórir kostir eru til skoðunar þegar kemur að vatnsöflun fyrir niðurdælingarverkefni. Þeir eru:

1. Vatn frá kæliturnum Hellisheiðarvirkjunar
2. Vatn úr borvatnsveitu ON fyrir Hellisheiðarvirkjun
3. Vatn frá HK-24 í þrengslum, ásamt mögulega nýrri vatnstökuholu á sama svæði
4. Hringrásun úr vöktunarholum úr millikerfi

Milli 135 og 165 L/s gætu komið úr kæliturnum Hellisheiðarvirkjunar. Þetta er vatn sem er að uppruna úr Engidal, ásamt þéttivatni, og hefur verið nýtt til kælingar o.fl. innan virkjunarinnar áður en því er veitt út á kæliturnana. Nýting á þessu vatni, sem annars færi til uppgufunar eða í grunnar svelgholur, myndi því ekki krefjast aukinnar upptektar úr grunnvatnsgeymi heldur auka fjölnýtingu

á svæðinu. Allt að 80 L/s gætu komið úr holum KH-03 og KH-17 í Sleggjubeinsdal en þessar holur eru vinnsluholur í borvatnsveitu ON. HK-24 í Þrengslum gefur í dag 4 L/s. Talið er að HK-24 gæti gefið allt að 45 L/s með hreinsiborun, en vitað er um þrengingar rétt neðan fóðringar í henni. Þá kemur til greina að bora nýja vatnstökuholu á sama svæði og HK-24 er, en auk hennar er þar einnig hola HN-01. HN-01 gaf allt að 80 L/s þegar hún var nýtt fyrir borvatnsveitu, en hún er stífluð vegna kísilútfellinga. Talið er líklegt að ný hola á þessu svæði gæti gefið allt að 80 L/s. Orka Náttúrunnar myndi sækja um nýtingarleyfi fyrir stöðugri upptekt úr borvatnsveitu eða nýjum holum áður en til hennar kæmi. Í töflu 2 má sjá nýlegar efnagreiningar úr þeim vatnsstraumum sem nýttir yrðu til niðurdælingarinnar. Styrkur efna er undir leyfilegum hámarksstyrk skv. neysluvatnsreglugerð nr. 536/2001. Þörungum í hringrásarvatni kæliturnanna er haldið í skefjum með klór íblöndun og er 200 L af klór bætt í laug hvers kæliturns á þriggja vikna fresti allt árið um kring. Þetta er í samræmi við starfsleyfi virkjunarinnar. Þetta hefur tímabundin áhrif á efnasamsetningu yfirfalls kæliturnanna og gerir það að verkum að styrkur Na, Cl og SO₄ og leiðni í vatninu getur farið yfir neysluvatnsviðmið. Fyrirhuguð notkun Carbfix á þessu vatni gerir það að verkum að vatn sem annars hefði verið fargað um grunnar svelgholur mun nú fara í dýpri niðurdælingu (300-800 m dýpi). Má reikna með að þessi breyting hafi jákvæð áhrif á vatnsgæði á svæðinu með því að minnka losun þessa vatns í efstu grunnvatnslög. Hægt verður að fylgjast með hvaða áhrif þessi breyting hefur í holu KH-50 en tímabundnir toppar í efnastyrk hafa sést í þeirri holu og gæti ástæða þeirra að hluta til verið losun á yfirfalli kæliturna í grunnar holur við Hellisheiðarvirkjun.

Til viðbótar þessum vatnsöflunarkostum er til skoðunar hvort skiljuvatni yrði að hluta blandað við kæliturnavatnið. Þessi blöndun yrði að hámarki 10%. Skiljuvatnið sem slíkt stenst ekki neysluvatnsreglugerð m.t.t. Na, Al, As, B og Se styrks og er nálægt mörkunum fyrir styrk F. Þegar búið er að blanda því í hlutföllunum 90/10 við vatnið úr yfirfalli kæliturnanna reiknast styrkur allra efna undir neysluvatnsviðmiði. Efnasamsetninguna eftir 10% blöndun má sjá í töflu Tafla 4 í viðauka 1. Skiljuvatnið er í sumum tilfellum sýrt og er efnasamsetning miðað við blöndun við bæði sýrt og ósýrt skiljuvatn sýnd í töflunni. Óblandað sýrt skiljuvatn inniheldur ~200 ppm af H₂S og um 240 ppm af CO₂. Þar sem ekki sáust ótvíræð merki um áhrif niðurdælingar óblandaðs skiljuvatns í Þrengslum árin 2016-2018, og þar sem ekki hafa sést víðfeðm áhrif neyðarlosunar óblandaðs skiljuvatns í Svínahrauni (sjá t.d. Bergur Sigfússon og Bjarni Reykr Kristjánsson, 2018), er talið óhætt að notast við 10 % blöndun skiljuvatns í fyrirhuguðum niðurdælingarverkefnum Carbfix, verði hún metin sem fýsilegur kostur út frá útfellingarhættu og leyfi fáist.

Upplýsing CO₂ í vatni lækkar sýrustig vatnsins umtalsvert. Miðað er við að sýrustig niðurdælingarvatns eftir að CO₂ hefur verið leyst upp í því verði lægst 3,8 í niðurdælingarkerfi Carbfix.

Tafla 2 Nýlegar efnagreiningar úr þeim vatnsstraumum sem nýttir verða til niðurdælingar CO₂.

			Yfirfall	Borvatnsveita	Borvatnsveita	HK-24
			kæliturnna 1-4	Sleggjubeinsdal	Sleggjubeinsdal	HK-24
Hóla			KH-12	KH-03	KH-17	HK-24
Sýni nr.			2021-5185	2021-5235	2021-5234	2020-5280
Dags.			30.6.2021	23.9.2021	23.9.2021	16.6.2020
Efni	Eining	Leyfilegur hámarksst.				
pH		6.5-9.5	7.53	6.98	7.1	7.79
T-pH	°C		22.8	16.5	19	23.4
Rafleiðni	µS/cm	2500	ekki greint	406	379	131.3
CO ₂	mg/kg	*	30	192.65	218.95	33.95
H ₂ S	mg/kg	*	ekki greint	ekki greint	ekki greint	ekki greint
F	mg/kg	1.5	0.113	0.195	0.136	0.063
Cl	mg/kg	250	9.89	5.43	5.55	9.88
SO ₄	mg/kg	250	14.39	22.47	8.53	8.03
Ca	mg/kg	*	6.62	33.7	30.4	7.31
Fe	mg/kg	0.2	0.00321	0.0674	0.0105	0.008
K	mg/kg	*	1.25	2.5	2.81	1.03
Mg	mg/kg	*	3.48	12.3	11.7	3.97
Na	mg/kg	200	9.25	23.8	31	8.79
SiO ₂	mg/kg		32	61.23	68.98	20.99
Al	µg/kg	200	10.2	4.67	5.2	4.07
As	µg/kg	10	0.361	0.0636	0.123	0.115
Ba	µg/kg	1300**	0.921	1.09	2.27	0.67
B	µg/kg	1000	33	<10	<10	18
Cd	µg/kg	5	0.00399	<0.002	0.0469	0
Co	µg/kg	*	0.00553	<0.002	0.0154	0.01
Cr	µg/kg	50	0.478	0.79	0.886	0.466
Cu	µg/kg	2000	0.168	0.17	4.97	1.11
Hg	µg/kg	1	<0.002	<0.002	<0.002	0
Mn	µg/kg	50	0.178	1.55	2.12	1.78
Mo	µg/kg	*	0.255	0.344	0.162	0.299
Ni	µg/kg	20	<0.05	2.98	1.5	0.647
Pb	µg/kg	10	0.0114	<0.01	0.237	0.088
P	µg/kg	*	46.5	77.8	72.8	16.2
Sb	µg/kg	5	1.8	0.013	0.0203	0.044
Se	µg/kg	10	0.597	0.494	0.455	0
Sr	µg/kg	*	14.5	67	67.6	17.7
Ti	µg/kg	*	0.122	0.019	0.0883	0.167
V	µg/kg	*	9.25	17.8	12.8	15.3
Zn	µg/kg	*	6.15	2.1	120	24.3

* Ekki tilgreindur hámarksstyrkur í reglugerð 536/2001 um neysluvatn né í leiðbeiningum WHO 2017

** Leiðbeiningar WHO 2017

Ferli í Mammoth, lofthreinsiveri Climeworks, gera það að verkum að styrkur járns (Fe) og ammóníum í vatni frá starfseminni, sem Carbfix fær síðan til niðurdælingar, er yfir neysluvatnsviðmiðum í uppkeyrslu lofthreinsiversins. Heildarmagn lífræns kolefnis (TOC) eykst einnig en ekki er tilgreindur leyfilegur hámarksstyrkur fyrir magn TOC í vatni í neysluvatnsreglugerð heldur miðað við að ekki verði óeðlileg breyting á styrknum. Í töfluTafla 3 má sjá hvernig styrkurinn þróast eftir fjölda hringrásra í lofthreinsiverinu. Þarna má sjá að eftir 50 hringrásir eða 90 klst í rekstri er styrkur ammóníums og járns kominn undir neysluvatnsviðmið. Styrkur TOC í Engidalsvatni mældist 1,23 mg/L árið 2021 og er styrkur TOC eftir 90 klst í rekstri því sambærilegur við náttúrulegar aðstæður. Tölurnar sem birtar eru í töflu 3 gera ráð fyrir því að allar loftsgurnar séu keyrðar upp á sama tíma. Í raun verður lofthreinsiverið byggt upp smám saman og því mun raun efnastyrkur verða dreifðari og topparnir því lægri.

Miðað við útreikninga Climeworks á efnastyrk ammóníum, TOC og járns í niðurdælingarvatni (Tafla 3) frá loftsgum Mammoth er ekki talin hætt á útbreiddum efnaáhrifum á grunnvatn vegna þessa. Þó er lagt til að fylgst verði með styrk þessara efna í vöktunarholum sem hluta af almennu eftirliti með niðurdælingunni, sérstaklega þar sem ammóníum er fæði fyrir gerla. Vöktunaráætlun nýinnleiddrar Vatnaáætlunar gerir ráð fyrir vöktun ákveðinna grunnefna og er ammóníum á þeim lista ásamt súrefnisinnihaldi, pH, rafleiðni og nítrati (Umhverfisstofnun, 2022).

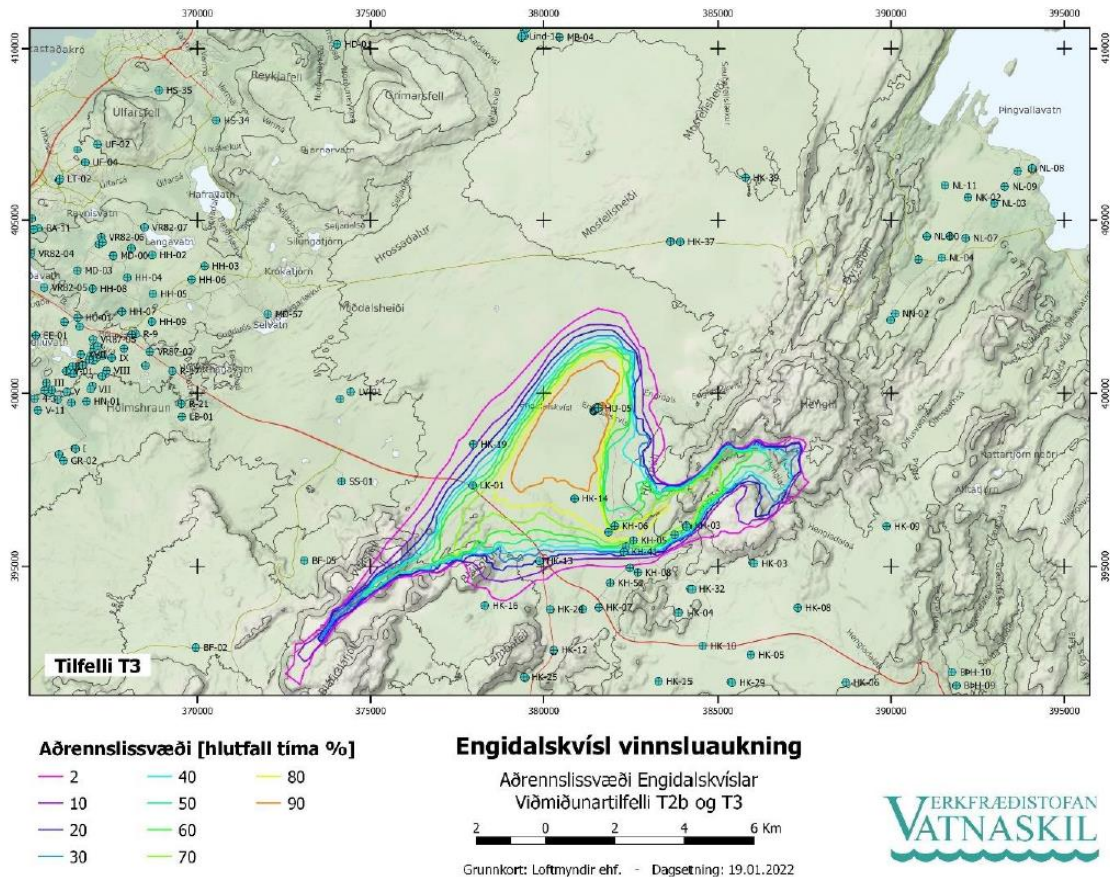
Tafla 3 Þróun á styrk ammóníum, járns og TOC í lofthreinsiveri Climeworks eftir fjölda hringrásna borinn saman við leyfilegan hámarksstyrk í neysluvatni skv. reglugerð nr 536/2001.

Eftir # hringrásir		#		10	30	50
Klukkustundir í rekstri		klst	Leyfilegur hámarksst.	18	54	90
Ammóníum	Styrkur í niðurdælingarvatni	mg/l	0.5	15.5	1.6	0.4
TOC	Styrkur í niðurdælingarvatni	mg/l	Engin óeðlileg breyting	5.5	1.5	1.5
Járn (Fe)	Styrkur í niðurdælingarvatni	mg/l	0.2	2.65	0.60	0.03

4 Möguleg áhrif fyrirhugaðrar framkvæmdar Carifix á grunnvatn

4.1 Möguleg áhrif á grunnvatn á framkvæmdatíma

Áhrifasvæði framkvæmdarinnar á yfirborði nær yfir Jarðhitagarð ON, Húsmúla, inn í Sleggjubeinsdal, í Þrengsli og að niðurdælingarsvæði ON í Gráuhnjúkum. Svæðið er allt utan skilgreindra vatnsverndarsvæða eins og þau eru núna og innan skilgreinds iðnaðarsvæðis (sjá myndMynd 1). Fyrir liggur hins vegar að þegar vatnsverndarsvæði vatnsbólsins við Engidalskvísl var skilgreint lágu ekki fyrir jafn miklar upplýsingar um áhrifasvæði grunnvatnsvinnslu í Engidal og nú. Nýlegir reikningar sem Verkfræðistofan Vatnaskil (2019; 2022) framkvæmdi fyrir ON vegna aukinnar upptektar í Engidal sýndu fram á að við 2000 L/s stöðuga upptekt geta aðrennslissvæði vatnsbólsins náð upp að Jarðhitagarði ON og inn í Innstadal (sjá Mynd 5). Eins og fram kom í fyrri köflum eru þó óvissur í líkaninu. Fyrir liggur að endurskilgreina þurfi afmörkun vatnsverndarsvæðisins í Engidal.



Mynd 5 Niðurstöður úr reikningum Vatnaskila á aðrenslissvæði vatnsbólans í Engidal við 2000 L/s stöðuga upptekt úr vatnsbólínu (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2022; mynd 1).

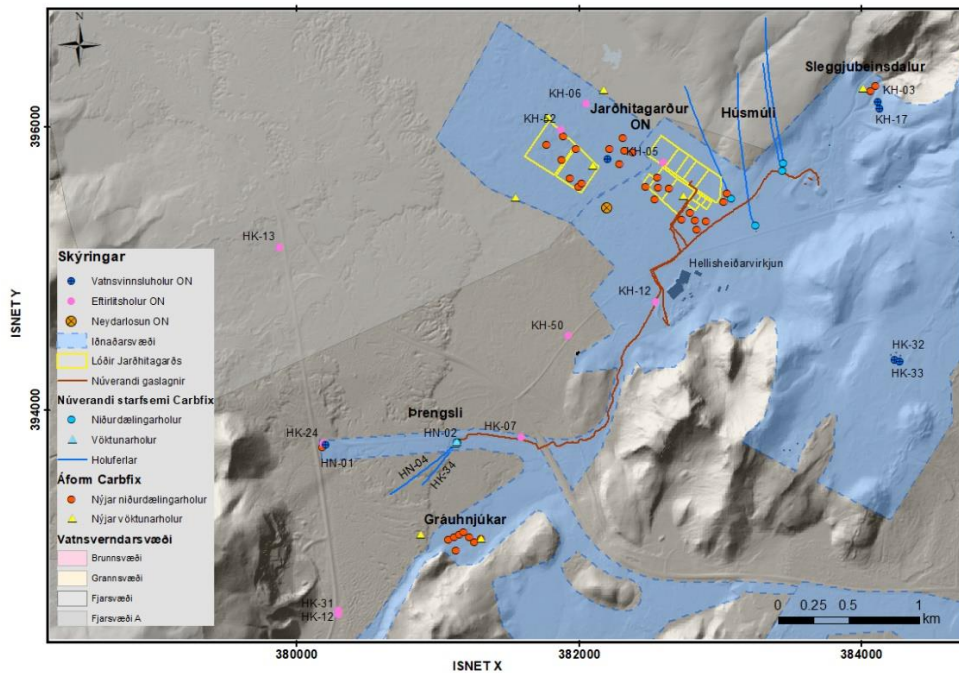
Með þessa niðurstöðu í huga er möguleiki á að mengunarslys sem yrði á framkvæmdatíma skili sér í vatnsbólín í Engidal. Þetta gæti til dæmis verið vegna olíuleka frá tækjum við borun niðurdælingarholna eða við uppsetningu tækja. Ekki er hætt á mengun vatns vegna efna sem notuð eru við borunina sjálfa. Vegna notkunar olíu á tækjum er mjög mikilvægt að allir sem að verkunum koma séu meðvitaðir um rétt viðbrögð við mengunarslysum, hafi fengið viðeigandi fræðslu og séu með réttan búnað á sér (mengunavarnarsett o.fl.). Þetta á sérstaklega við um framkvæmdasvæði Carbfix innan Jarðhitagarðs, Húsmúla og Sleggjubeinsdals en svæðin í Þrengslum og Gráuhnjúkum liggja utan aðrenslissvæðis Engidals. Þau liggja hins vegar ekki langt frá fjarsvæðum vatnsbóla í Ölfusi og því mjög mikilvægt að vera undirbúin fyrir og bregðast rétt við mengunarslysum.

4.2 Möguleg áhrif á grunnvatn á rekstartíma

4.2.1 Áhrif vegna geymslu CO₂ í jarðlögum

Fjöl margar rannsóknir hafa skoðað uppleysingu bergs vegna flæðis CO₂ hlaðins vatns og þá breytingu á efnasamsetningu grunnvatns sem því fylgir (sjá t.d. J. Matter et al., 2007; Snorri Guðbrandsson et al., 2011; A.P. Gysi og A. Stefánsson, 2011). Tírauna niðurdæling á CO₂ og H₂S ofan í millikerfið í Þrengslunum var framkvæmd í tveimur skrefum árið 2012 innan Carbfix verkefnisins. Í verkefninu var 175 tonnum af hreinu CO₂ og 73 tonnum af 75 mol% CO₂, 24 mol% H₂S and 1 mol% H₂ blöndu dælt ofan í holu HN-02 ásamt ferilefnum (Sandra Ósk Snæbjörnsdóttir

et al. 2017). Gasið var leyst upp í vatni frá holu HN-01 (sjá staðsetningu á myndMynd 6) og var niðurrennsli vatns á bilinu 1-2 L/s (Bergur Sigfússon et al., 2015). Fylgst var með áhrifum tilrauna niðurdælingarinnar 2012 í átta vöktunarholum þar sem sex voru neðanstreymis við holu HN-02 og tvær ofan streymis. Fjórar holnanna náðu ofan í millikerfið. Efnagreiningar sýndu að ferilefni greindust einungis í holu HN-04, sem liggur ca. 125 m neðanstreymis frá niðurdælingarholunni (ef miðað er við dýpi þess vatnsleiðara sem dælt var í), en ekki hinum (Sandra Ósk Snæbjörnsdóttir et al. 2017). Þessi niðurstaða sýndi að áhrif frá tilraunaniðurdælingunni voru ekki merkjanleg í efri grunnvatnslögum.



Mynd 6 Staðsetning holu HN-02 í Þrengslum þar sem tilraunaniðurdæling CO_2 fór fram árið 2012 og þar sem niðurdæling á 4000t/ári af CO_2 frá Orca verkefninu fer fram í dag. Einnig er sýnd staðsetning vöktunarholna í nágrenninu sem efnasýni eru tekin reglulega úr.

Niðurstöður tilraunaniðurdælingarinnar og áður framkvæmdra ferilefnaprófa í tengslum við hana sýndu að lektin í berginu er blanda af svo kallaðri matrixulekt þar sem vatn flæðir um holrými í berginu sjálfu og svo sprungulekt sem flytur vökva hraðar á milli holna. Þannig mátti sjá tvo toppa í ferilefnastyrk, sá fyrsti var afleiðing vatns sem flæddi í gegnum sprungur og sá síðari var afleiðing vatns sem flæddi í gegnum porur í berginu. Efnagreiningar á vatnssýnum úr vöktunarholunni HN-04 sýndu fyrst um sinn skarpa aukningu á styrk kalsíum (Ca), magnesíum (Mg) og járns (Fe) og var kalsíum aukningin áberandi mest. Einnig sást aukning á natríum (Na) og kalíum (K) styrk þó hún væri ekki eins áberandi en natríum og kalíum eru hreyfanlegustu aðalefni í veðrun og lághita ummyndun á basalti. Þessi aukning staðfesti að niðurdælingarvökvinn, sem er með lágt sýrustig og þannig súr, væri að leysa upp bergið í nærumhverfi sínu og losa þannig efni bundin í bergi og koma í vatnslausn. Niðurdælingin lækkaði sýrustig í vatnsgeyminum tímabundið og við það féll ál (Al) út. Eftir um 300 daga sýndu niðurstöður hins vegar aukinn Al styrk sem benti til uppleysingar á áli úr berginu með hækkandi sýrustigi. Með tímanum lækkaði Ca, Mg og Fe styrkurinn aftur sem benti til þess að jónirnar væru að mynda efnasamband með koltvísýringnum og falla út sem Ca, Mg og Fe-karbónöt (Sandra Ósk Snæbjörnsdóttir et al., 2017). Þannig var ekki um varanlega auðgun á Ca, Mg og Fe í vatninu að ræða heldur tímabundna.

Upplýsing bergs losar ekki einungis um þessi efni sem talin voru upp hér að ofan heldur einnig um snefilefni og þungmálma. Auðgun á snefilefnum og þungmálmum í grunnvatni við upplýsingu bergs er það atriði sem meira máli skiptir þegar skoðað er hvort geymsla á CO₂ í jörðu geti haft neikvæð áhrif á vatnsgæði. Tilraunir framkvæmdar á rannsóknarstofnu innan Carbfix1 verkefnisins sýndu aukningu á styrk Sr, Fe, Al, Ca, Ba, Mn, Mg og Cr við inndælingu CO₂ hlaðins vatns í gegnum súlu fyllta af basalt gleri (Iwona Galeszczka et al., 2013). Aukningin í styrk þessara efna átti sér stað snemma í inndælingarferlinu þegar sýrustig var ennþá lágt en síðan snarlækkaði styrkur efnanna með hækkandi sýrustigi. Af þessum efnum fór Al, Fe, Mn og Cr styrkur yfir neysluvatnsviðmið. Efnastyrkurinn lækkaði strax og CO₂ inndælingunni var hætt og fór jafnvel neðar en hún var fyrir inndælinguna. J. Olson et al. (2014) sýndu einnig fram á að þungmálmur falla út með karbónötum með því að skoða úfellingu karbónata í Hvanná í kjölfar eldgossins í Eyjafjallafjöki. Niðurstöður þessara rannsókna benda til þess að auðgun á snefilefnum og þungmálmum vegna niðurdælingar CO₂ ætti bara að vera hættu í næsta nærumhverfi niðurdælingar og því ekki hafa útbreidd neikvæð áhrif á vatnsgæði. Hins vegar er fyrirhuguð niðurdæling Carbfix, sem sótt er um í umhverfismati, af allt annarri stærðargráðu en þær tilraunir og rannsóknir sem gerðar hafa verið og því ekki ljóst hve umfangsmikið nærumhverfi niðurdælingar verður. Þetta ítrekar hvað mikilvægt er að viðhafa öflugt eftirlit með niðurdælingunni svo hægt verði að bregðast við ef vísbendingar eru um að grunnvatnskerfið sé ekki að bregðast við með þeim hætti sem við var búist.

4.2.2 Rennslisleiðir niðurdælingarvatns

Fyrirhuguð niðurdæling Carbfix er ofan í hið svokallaða millikerfi sem rætt var í fyrri köflum hér að ofan. Verða holurnar fóðraðar niður á um 300-350 m dýpi og ekki dýpri en 800 m. Þær eru þannig fóðraðar í gegnum efstu grunnvatnslög og ekki nógu djúpar til að ná ofan í hinn eiginlega jarðhitageymi (sjá mynd 4). Vatnið sem notað verður til niðurdælingarinnar er kalt (~20°C) og þegar þegar CO₂ er leyst upp í vatninu eykst eðlisþyngd þess. Með þessum hætti er niðurdælingarvatnið orðið eðlisþyngra en vatnið í kerfinu sem dælt er í og þannig ætti vatnið ekki að leita upp eins og tilfellið er með niðurdælingu á heitu, eðlisléttara vatni í kaldara grunnvatnskerfi (eins og gert er á Nesjavöllum). Er gengið út frá því að niðurdælingin eigi með þessu fyrirkomulagi hvorki að hafa áhrif á efra grunnvatn né á jarðhitageyminn og að áhrifin einskorðist við vatnið í millikerfinu. Niðurdæling á þetta miklu magni af vatni breytir hins vegar þrýstingsaðstæðum í grunnvatnskerfi og gæti vatn mögulega leitað uppá við ef lekt er ekki nægileg. Til þess að varpa betra ljósi á rennslisleiðir niðurdælingarvatnsins og áhrifasvæði þess eru sérfræðingar innan Carbfix að byggja upp flæðilíkan af kerfinu (Thomas Ratouis og Matt Villante, í vinnslu). Mikilvægt er að í þeirri vinnu sé skýrt hvort niðurdælingarvökvi muni leita upp eða í átt að Engidal. Í ljós mikilvægis Engidals sem vatnsöflunarsvæðis Hellisheiðarvirkjunar/Jarðhitagarðs og sem varavatnsbólís höfuðborgarsvæðisins þarf að horfa til langrar framtíðar (á skalanum 100 ár) og gera ráð fyrir áhrifum aukinnar vinnslu í Engidal en eins og tíundað er í fyrri köflum er leyfi fyrir 2000 L/s vinnslu úr svæðinu. Ársmeðalvinnsla árið 2021 var um 900 L/s. Líkanið þarf að skýra hvort einhver möguleiki sé á því að vatn muni rísa upp í efri grunnvatnslög og taka til greina mun á útbreiðslu vegna flæðis í gegnum sprungur annars vegar þar sem vatn myndi flæða hraðar og holrýmismis í bergmassanum hins vegar þar sem útbreiðsla ætti að vera hægari og efnahvörfin sem binda CO₂ í berggrunninum því lengra gengin.

Fyrir liggur að niðurstöður líkanreikninga eru mjög háðar þeim gildum sem valin eru fyrir t.d. lekt, poruhluta og hlutfall sprungna í bergmassanum. Þar sem þessi gildi eru metin en ekki þekkt geta líkanreikningar á þessu stigi aldrei gefið fullkomlega áreiðanlegt svar um áhrifasvæði

niðurdælingarinnar. Vegna þessarar óvissu um rennslisleiðir og rennslis hraða á svæðinu sem og óvissu um hversu mikill aðskilnaður er á milli millikerfis og efri grunnvatnslaga, sérstaklega á Jarðhitagarði ON, þarf að dreifa eftirlitsholum þannig að þær gefi skýra sýn á dreifingu ferilefna og efnastyrks, sérstaklega í átt til Engidals. Vegna þessarar óvissu þarf einnig að hafa virkt eftirlit með mögulegu flæði CO₂ upp um yfirborð á niðurdælingarsvæðunum þar sem slíkt flæði gæti skapað hættu.

Fyrir liggur að uppbygging Carbfix á niðurdælingarinnviðum mun eiga sér stað í skrefum. Þannig mun gefast tækifæri á því meta áhrif hvers skrefs fyrir sig áður er ákvarðanir verða teknar um aukna niðurdælingu. Fylgjast þarf með mögulegri breytingu á efnastyrk í grunnnum og dýpri eftirlitsholum, bæði núverandi eftirlitsholum og þeim eftirlitsholum sem á eftir að bora innan verkefna Carbfix. Mögulega þarf að bæta við eftirlitsholum lengra frá Jarðhitagarði í átt til Engidals. Ef niðurstaða vöktunar og uppfærslu á líkani í kjölfarið bendir til þess að óæskileg efnaauðgun geti leitað frá niðurdælingarsvæðum, upp og í átt til vatnsbóla í Engidal þarf að gera breytingar á áformum til þess að koma í veg fyrir að varavatnsból höfuðborgarsvæðisins verði fyrir óæskilegum áhrifum af niðurdælingunni. Mismunandi staðsetningar sem sótt er um fyrir fyrirhugaða niðurdælingu gefa svigrúm til slíkra breytinga og skýrt þarf að vera að hvernig ferli slíkra ákvarðana um breytingu yrði háttáð.

5 Heimildir

Andrea D-Aniello, Sigrún Tómasdóttir, Bergur Sigfússon og Massimiliano Fabbricino (2021). Modeling Gaseous CO₂ Flow Behavior in Layered Basalts: Dimensional Analysis and Aquifer Response. *Groundwater*, 59 (5), pp. 677-693.

A.P. Gysi og A. Stefánsson (2011). CO₂–water–basalt interaction. Low temperature experiments and implications for CO₂ sequestration into basalts. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 81, pp. 129-152

Bergur Sigfússon og Bjarni Reykr Kristjánsson (2018). Losun jarðhitavatns í grunnar borholur við Hellisheiðarvirkjun og áhrif þeirrar losunar á vatnsgæði grunnvatns í nágrenni virkjunarinnar. Minnisblað 29.janúar 2018. Reykjavík: Orka Náttúrunnar

B. Sigfusson, S.R. Gislason, J.M. Matter, M. Stute, E. Gunnlaugsson, I. Gunnarsson, E.S. Aradottir, H. Sigurdardottir, K.G. Mesfin, H.A. Alfredsson, D. Wolff-Boenisch, M.T. Arnarson, E.H. Oelkers (2015). Solving the carbon-dioxide buoyancy challenge: the design and field testing of a dissolved CO₂ injection system. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 37, pp. 213-219

Grímur Björnsson og Hjalti Franzson (2005). Hiti og jarðlög í nýjum borholum í Þrengslum. Reykjavík: Íslenskar Orkurannsóknir

Guðmundur H. Guðfinnsson, Björn S. Harðarson og Hörður Tryggvason (2010). Hellisheiði – Húsmúli : Hóla HN-11 : 1., 2 og 3. áfangi: Borun fyrir öryggisfóðringu í 103 m, vinnslufóðringu í 705 m og vinnsluhluta í 2703 dýpi. Reykjavík: Íslenskar Orkurannsóknir

Ingi Gunnarsson (2016). Vöktunaráætlun grunnvatns vegna niðurdælingar í HN-1, HN-2, HN-4 og HK-34. Minnisblað 12.júní 2016. Reykjavík: Orkuveita Reykjavíkur.

Iwona Galeczka, Domenik Wolff-Boenisch and Sigurdur Gislason (2013). Experimental studies of basalt-H₂O-CO₂ interaction with a high pressure column flow reactor: the mobility of metals. *Energy Procedia*, 37, pp. 5823-5833.

J. Matter, T. Takahashi, D. Goldberg (2007). Experimental evaluation of in situ CO₂-water-rock reactions during CO₂ injection in basaltic rocks: implications for geological CO₂ sequestration. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 8 (2), p. 19

J. Olson, S.L.S. Stipp, E.Makovicky og S.R.Gislason (2014). Metal scavenging by calcium carbonate at the Eyjafjallajökull volcano: A carbon capture and storage analogue. *Chemical Geology*, 384, pp. 135-148.

Sandra Ó. Snæbjörnsdóttir, Eric H. Oelkers, Kiflom Mesfin, Edda Sif Aradóttir, Knud Dideriksen, Ingvi Gunnarsson, Einar Gunnlaugsson, Juerg M. Matter, Martin Stute and Sigurdur R. Gislason (2017). The chemistry and saturation states of subsurface fluids during the in situ mineralisation of CO₂ and H₂S at the CarbFix site in SW-Iceland. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Volume 58, pp 87-102.

S. Gudbrandsson, D. Wolff-Boenisch, S.R. Gislason, E.H. Oelkers (2011). An experimental study of crystalline basalt dissolution from 2 < pH < 11 and temperatures from 5 to 75 °C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 75 (19) (2011), pp. 5496-5509

Umhverfisstofnun (2022). *Vöktunaráætlun vatnaáætlunar 2022-2027*. Reykjavík: Umhverfisstofnun

Verkfræðistofan Vatnaskil (2019). Líkanreikningar til mats á áhrifum aukinnar vatnstöku við Engidalskvísl. Skýrsla nr. 19.02. Reykjavík: Verkfræðistofan Vatnaskil

Verkfræðistofan Vatnaskil (2020). Höfuðborgarsvæði. Árleg endurskoðun rennislíkans. Framgangur endurskoðunar 2020. Skýrsla nr. 20.12. Reykjavík: Verkfræðistofan Vatnaskil

Verkfræðistofan Vatnaskil (2022). Engidalskvísl. Frumgreining á áhrifum hámarksvinnsluleyfis. Skýrsla nr. 22.02. Reykjavík: Verkfræðistofan Vatnaskil

VGK (2005). Stækkun Helligheiðarvirkjunar. Mat á umhverfisáhrifum. Reykjavík: VGK og Orkuveita Reykjavíkur

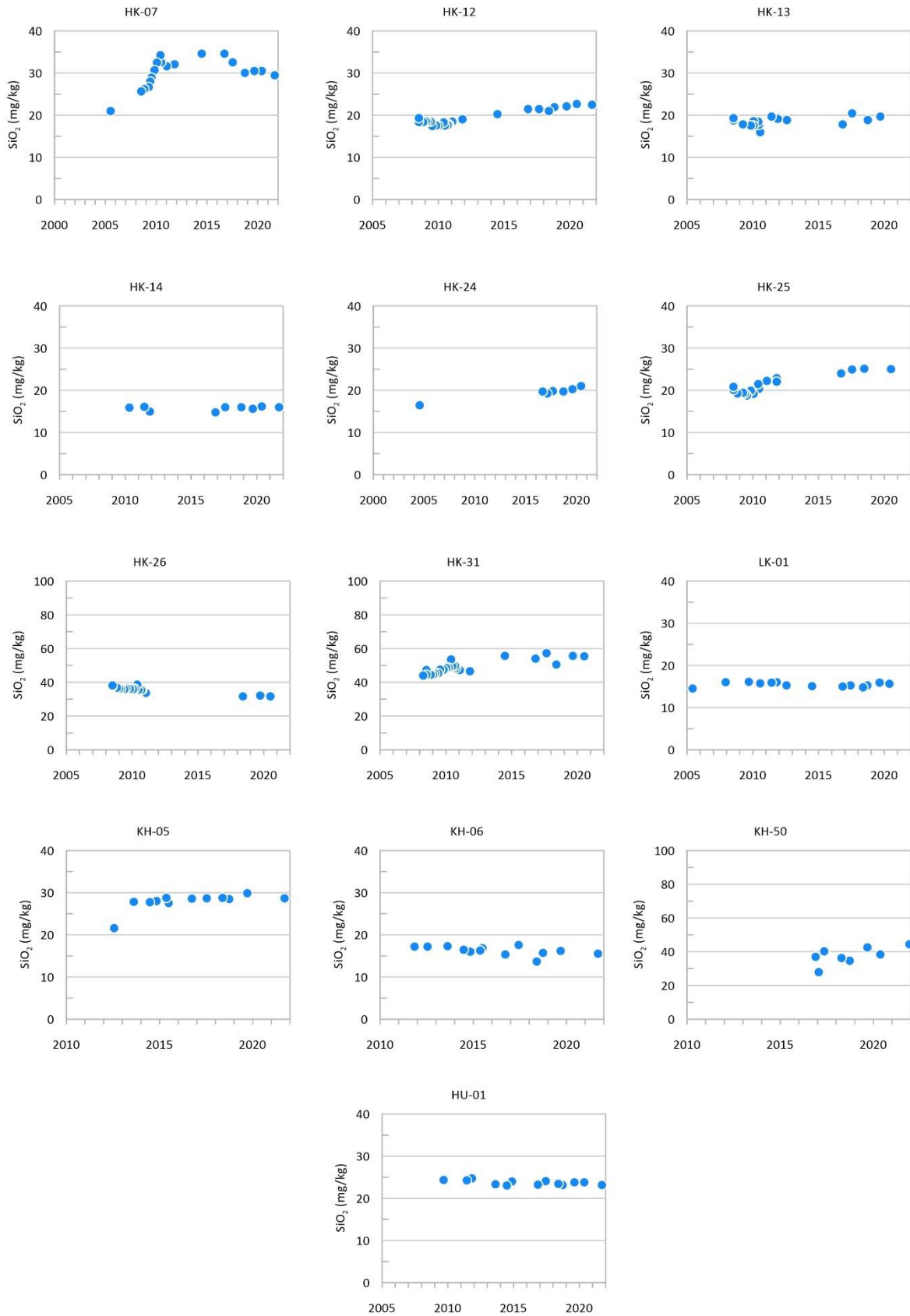
Viðauki 1

Tafla 4 Reiknuð efnagreining á vatni sem nýtt yrði til niðurdælingar ef miðað er við að því yrði blandað við skiljuvatn í hlutföllunum 90/10. Hér er notast við efnasamsetningu sýnis 2021-5240 fyrir ósýrt skiljuvatn og sýnis 2018-5107 fyrir sýrt skiljuvatn. Leyfilegur hámarksstyrkur skv. reglugerð nr. 536/2001 er sýndur til samanburðar.

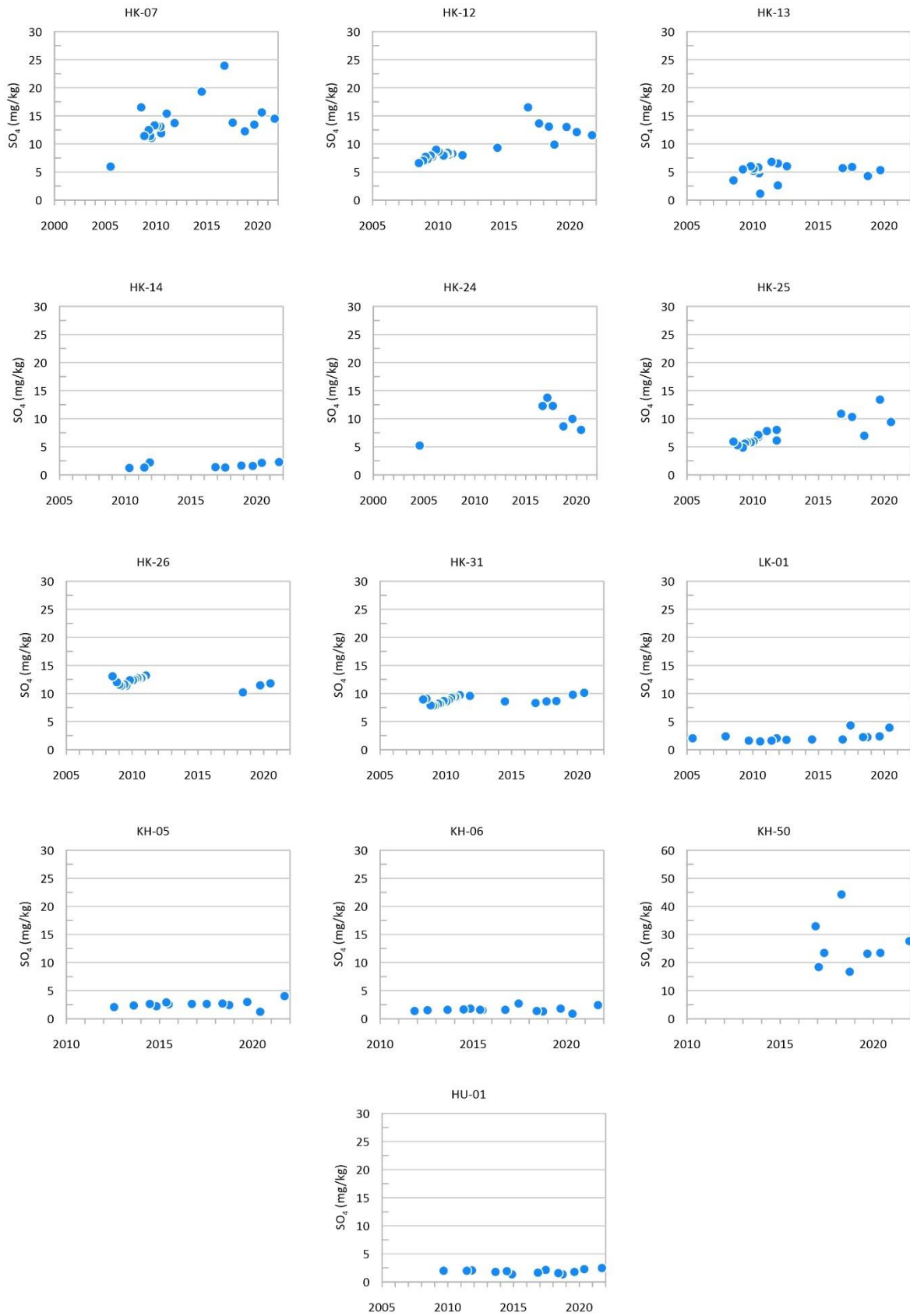
Vatnsblanda			Yfirfall kæliturena 1-4	Yfirfall kæliturena 1-4
			90% KH-12 10% skiljuvatn ósýrt	90% KH-12 10% skiljuvatn sýrt
Efni	Eining	Leyfilegur hámarksst.		
pH		6.5-9.5	7.705	7.408
T-pH	°C		22.390	21.540
CO ₂	mg/kg	*	29.110	51.080
H ₂ S	mg/kg	*		
F	mg/kg	1.5	0.244	0.233
Cl	mg/kg	250	29.182	28.657
SO ₄	mg/kg	250	14.521	16.741
Ca	mg/kg	*	5.958	5.958
Fe	mg/kg	0.2	0.003	0.003
K	mg/kg	*	4.805	4.655
Mg	mg/kg	*	3.132	3.132
Na	mg/kg	200	28.425	29.325
SiO ₂	mg/kg		100.365	99.574
Al	µg/kg	200	158.180	168.180
As	µg/kg	10	8.375	5.755
Ba	µg/kg	1300**	0.850	0.850
B	µg/kg	1000	146.600	138.800
Cd	µg/kg	5	0.004	0.004
Co	µg/kg	*	0.005	0.005
Cr	µg/kg	50	0.430	0.430
Cu	µg/kg	2000	0.180	0.151
Hg	µg/kg	1	0.000	0.000

Mn	µg/kg	50	0.204	0.203
Mo	µg/kg	*	1.174	1.021
Ni	µg/kg	20	0.000	0.000
Pb	µg/kg	10	0.011	0.010
P	µg/kg	*	41.850	41.850
Sb	µg/kg	5	1.951	1.722
Se	µg/kg	10	3.097	0.721
Sr	µg/kg	*	13.050	13.475
Ti	µg/kg	*	0.119	0.114
V	µg/kg	*	8.639	8.635
Zn	µg/kg	*	5.645	5.535

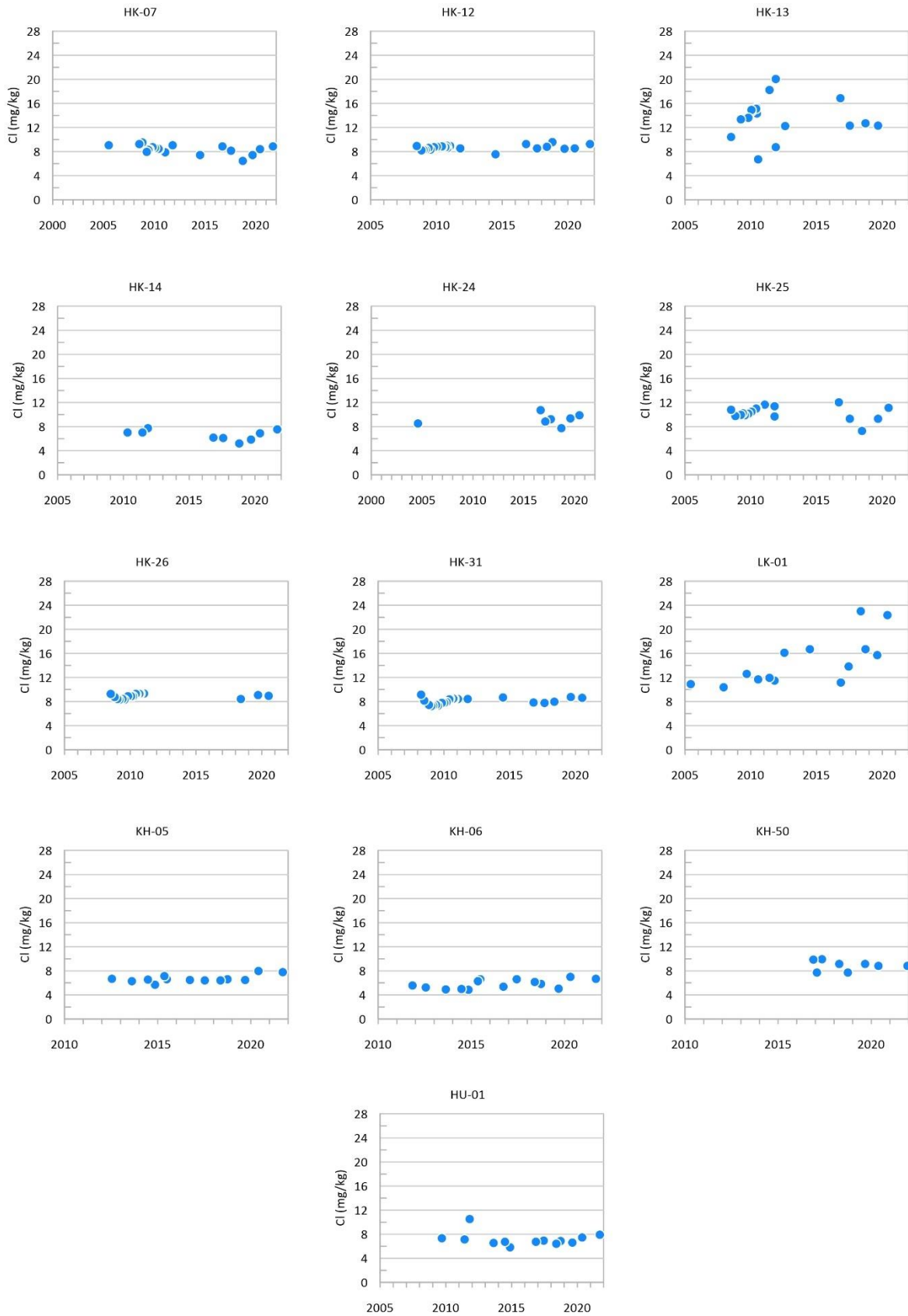
Viðauki 2



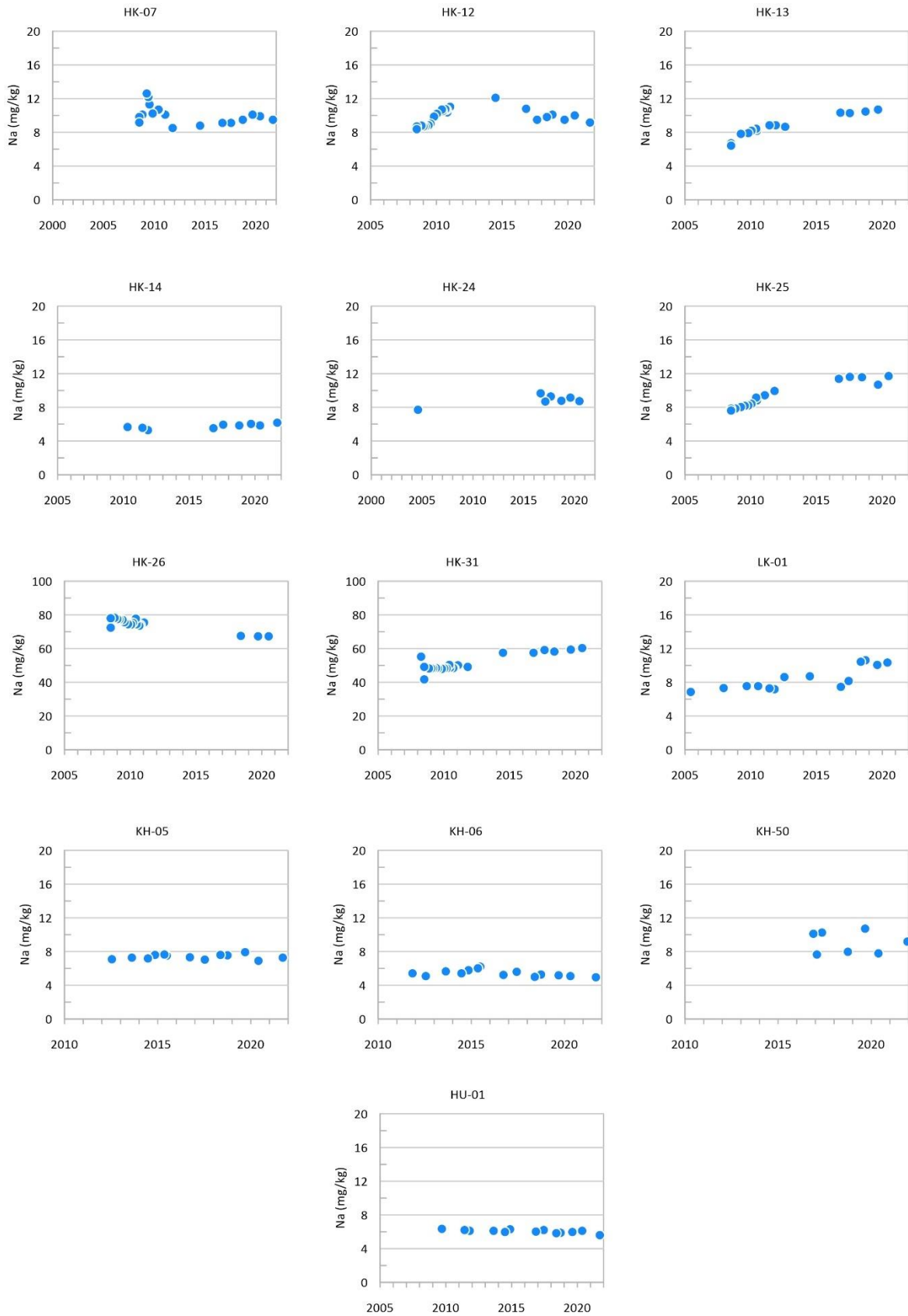
Mynd 7 Breytingar á styrk kísils í grunnvatni.



Mynd 8 Breytingar á styrk súlfats í grunnvatni



Mynd 9 Breytingar á styrk klóríðs í grunnvatni.



Mynd 10 Breytingar á styrk natríums í grunnvatni.