

Falin verðmæti í jarðvarmaorku

Hildur Rún Sigurðardóttir Kvaran

geoSilica Iceland ehf, Grænásbraut 506, 262 Reykjanesbær

Fyrirspurnir: Hildur Rún Sigurðardóttir Kvaran – hildur@geosilica.com

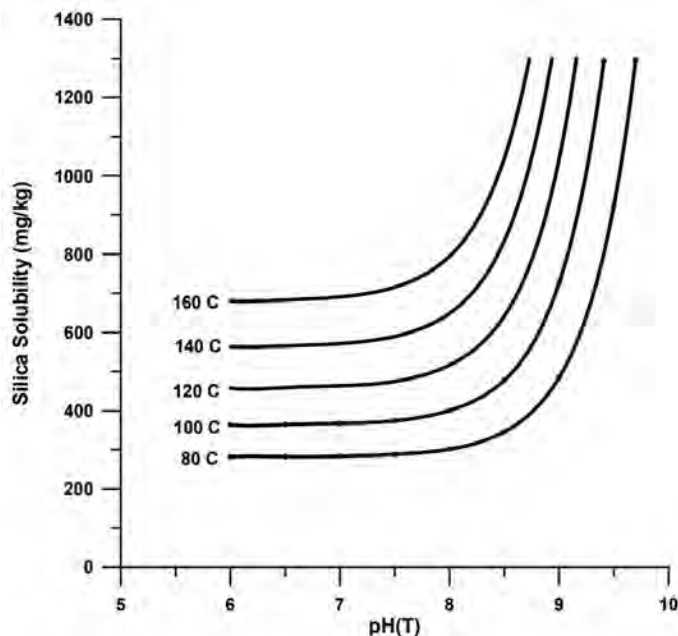
Inngangur

Jarðvarmaorka tilheyrir þeim flokki orkugjafa sem kallast græn orka, ásamt öðrum umhverfisvænum orkugjöfum eins og vatns-, sólar- og vindorku[1]. Þrátt fyrir að vera umhverfisvæn orka er ekki sjálfgefið að jarðvarmaorka sé sjálfbær. Til þess að teljast sjálfbær orka þarf jarðhitavinnsla úr jarðhitakerfunum að fylgja þeim takmörkunum sem fylgir hverju kerfi fyrir sig. Hvert jarðhitakerfi hefur mörk sem kallast hámark sjálfbærrar vinnslu og til þess að hægt sé að vinna orku úr slíkum kerfum til langframa þarf vinnslan að vera innan þeirra marka. Reikna þarf þessi mörk fyrir hvert jarðhitakerfi og er stærð og hitastig kerfisins veigamikill þáttur í þeim útreikningum. Mikilvægt er að viðhalda þrýstingi og hita á meðan vinnslu stendur svo ekki sé gengið á jarðhitakerfið og er það meðal annars gert með samdrætti í vinnslu eða með því að dæla jarðhitavökvanum aftur inn á kerfið[2].

Niðurdæling á jarðvarmavökva felur í sér að affallsvatni, sem búið er að nýta orku úr, er dælt aftur niður í jarðhitageyminn og viðheldur þannig þrýstingi inni í jarðhitakerfinu. Þessi aðferð telst oftast en ekki vera fýsilegri kostur en samdráttur í orkuframleiðslu vegna mikillar eftirspurnar á orku[3]. Niðurdæling er ekki einungis æskileg aðferð þegar horft er til sjálfbærni jarðvarmaorku, því þessi aðferð er einnig umhverfisvænni kostur en að dæla affallsvatninu út í umhverfið. Sérstakar niðurdælingarholur eru boraðar í þeim eina tilgangi að dæla vatni niður í jarðhitakerfin.

Útfellingar kísils í jarðvarmavirkjunum

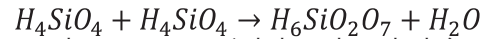
Þegar kemur að niðurdælingu eru útfellingar steinefna algengt vandamál í jarðvarmavirkjunum og má þá helst nefna kísilinn í því samhengi. Útfellingarnar gera það erfitt að dæla affallsvatninu niður þar sem þær valda stíflum og gera þannig ferlið mjög kostnaðarsamt. Í jarðvarmavirkjunum á háhitasvæðum er borað eftir vatni sem er um það bil 200°C heitt og undir miklum þrýstingi. Þessi gífurlegi hiti og þrýstingur veldur því að vatnið sem kemur upp er í flestum tilfellum tvífasa, sem mjög heit gufa og vatn. Við þetta hitastig er kísillinn í vökvanum í



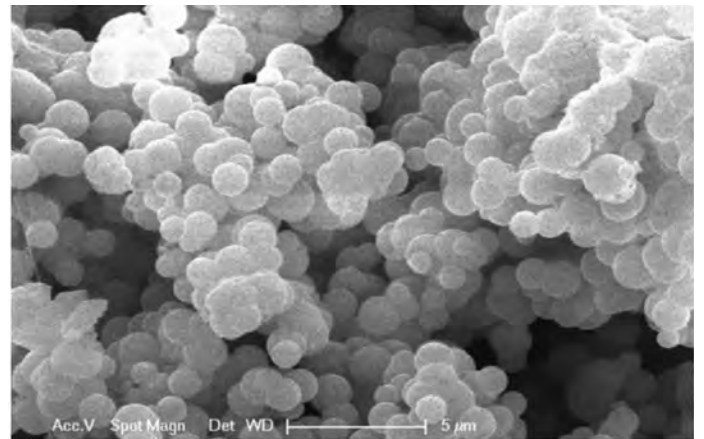
Mynd 1: Leysni formlauss kísils

uppleystu formi, eða kísilsýru[4]. Leysni kísilsins er háð hitastigi annars vegar og sýrustigi hins vegar (mynd 1), sem veldur því að þegar vökvinn kólnar hefst ferli sem kallast fjölliðun sem er fyrsta stig útfellingar.

Uppleystar kísilsameindir í vökvanum rekast hver á aðra og mynda efnasamband, en efnahvarfið sem á sér stað við slíkan áreksstur er eftirfarandi:



Kísilsameindirnar sameinast í tilviljunarkenndar keðjur án forms (e. amorphous silica), sjá mynd 2, sem taka að stækka við ákveðin varmafræðileg skilyrði sem eru háð pH-gildi.



Mynd 2: Dæmigerð kísilsameind

Þegar einliða kísilsameindir í vökvanum eru orðnar of fáar hættir kísilinn að mynda keðjur, þar sem mikla orku þarf til þess að mynda slíkar keðjur, en þess í stað leysast smærri kísilagnir upp og bindast þeim keðjum sem þegar hafa myndast sem krefst mun minni orku. Kísilkeðjurnar halda því áfram að stækka þar til þær mynda kísilkorn sem eru á milli 0,003 til 5 µm að stærð. Þegar kísilkornin hafa náð þessari stærð byrja þau að falla út sökum þyngdar sinnar. Þegar kísilinn fellur út, til að mynda í lögnum jarðvarmavirkjana eða í niðurdælingarholum, myndar hann einliða lag af kísli innan á lagnaveggjunum sem verður til þess að keðjuverkun fer af stað sem veldur enn meiri útfellingu, þar sem kísilsameindir bindast við einliða kísilinn sem þekur lagnirnar[5]. Þessi keðjuverkun veldur því að lagnir og niðurdælingarholur jarðvarmavirkjana geta stíflast (mynd 3)[6].



Mynd 3: Kísilútfellingar í niðurdælingarholu

Tafla 1: Niðurdæling affallsvatns fjögurra jarðvarmavirkjana á Íslandi og kísilmagn í vökvunum

	Niðurdæling grunn (Mt/ár)	Niðurdæling djúp (Mt/ár)	Magn kísils í vökva (ppm)	Magn kísils í vökva (t/ári)
Reykjanes	-	1,42	702	997
Svartsengi	33,33 (2011)	7,13	455	18.409
Hellisheiði	-	9,9	510	5.049
Krafla	-	3,47	533	1.919

Niðurdæling jarðvarmavirkjana

Áður fyrr voru umhverfisáhrif jarðvarmavirkjana töluvert meiri en í dag, þar sem aukin umhverfisvitund hefur leitt til þess að varúðarráðstafanir hafa verið gerðar og starfleyfisskilyrði sett á jarðvarmavirkjanir varðandi losun affallsvatns. Niðurdælingarholur eru ein þeirra ráðstafana sem gerðar hafa verið til þess að bregðast við hertum starfleyfisskilyrðum, en slíkar aðferðir geta dregið úr efna- og varmamengun sem hefur áhrif á grunnvatn og lífríki á svæðinu. Niðurdælingarferlið er breytilegt eftir staðsetningu, þar sem ekkert jarðhitakerfi er eins, og er því nauðsynlegt að prófa sig áfram. Niðurdælingar hafa aukist síðan 2011 þrátt fyrir hækkandi kostnað, en kostnaður við hverja niðurdælingarholu og útfellingavandamála er gífurlega hárf[7].

Efnasamsetning jarðvarmavökva frá jarðvarmavirkjunum er ólík milli svæða, en þó eiga þau öll sameiginlegt að mikið magn kísils er að finna í vökvunum. Mikið magn kísils í jarðvarmavökva veldur því að erfitt er að eiga við vökvann, ásamt því að hann stíflar lagnir og niðurdælingarholur. Flestar jarðvarmavirkjanir á Íslandi dæla affallsvatni aftur niður í jarðvarmageyminn, en í töflu 1 má finna magn affallsvatns sem fjórar af jarðvarmavirkjunum Íslands dæla aftur niður[8].

Eins og sést í töflu 1 er töluvert mikið magn kísils sem fer í niðurdælingarholur, en úr þessum fjórum virkjunum eru 26.374 tonn af kísli sem hægt er að skapa verðmæti úr, en er að mestu leyti ónýtt auðlind í dag. Erfitt er að komast hjá útfellingum sem verða í holunum ef ekki

eru notaðar fyrirbyggjandi aðferðir. Aðferðir til að leysa upp kísilinn eru ekki fýsilegar þar sem ekki er hægt að leysa kísilinn upp nema með sterkum sýrum eða basa[6].

Úrvinnsla kísils úr jarðhitavatni

Notkunarmöguleikar kísils eru margir og má þá meðal annars nýta hann sem fylliefni í gúmmí, plast, pappa, málningu, sement, leir, lyf, skordýraeitur og í límiðnað. Slík vinnsla á kísli krefst þess að kísillinn sé markvisst felldur út með gleypnu efni sem hefur mikið yfirborðsflatarmál[9]. Listinn yfir nýtingarmöguleika kísils er ekki tæmandi, en til að mynda sérhæfir nýsköpunarfyrirtækið geoSilica Iceland sig í vinnslu á jarðhitakísli úr skiljuvatni jarðvarmavirkjana. geoSilica notast við



Tafla 2: Efnagreining á skiljuvatni fjögurra virkjana á Íslandi

	Reykjanes 2011	Svartsengi 2011	Hellisheiði 2009	Krafla 2011
Kísildíoxíð (mg/kg)	698	455 ¹	822	610
Bór (mg/kg)	9,3	4,4	1,039	1,07
Járn (mg/kg)	1,10	0,09	0,03	0,008
Kalíum (mg/kg)	1.650	579	38,4	30,2
Magnesíum (mg/kg)	1,42	0,23	0,0035	0,001
Klór (mg/kg)	22.580	7.510	170	72,7
Natríum (mg/kg)	11.110	3.940	213	231
Súlfat (mg/kg)	13,9	15,2	19	245
Ál (mg/kg)	0,0404	0,061	1,7	1,37
Arsen (mg/kg)	0,0879	0,052	0,09	0,0431
Baríum (mg/kg)	12	1,04	0,078	-
Kadmíum (mg/kg)	0,000097	0	0,00017	0,000002
Króm (mg/kg)	0,00095	0,0002	0,00008	0,000129
Kopar (mg/kg)	< 0,0005	0	0,002	0,367
Flúor (mg/kg)	0,22	0,110	-	0,79
Kvikasilfur (mg/kg)	< 0,000002	0,000002	0,00002	0,00002
Mangan (mg/kg)	2,76	0,0945	-	-
Nikkel (mg/kg)	0,000592	0,0128	0,0003	0,000266
Blý (mg/kg)	0,00058	0,0003	0,0035	0,000036



Mynd 4: Vörur geoSilica sem innihalda hágæða jarðhitakísil

tveggja þrepa framleiðsluferli sem hannað var af fyrirtækinu, þar sem magn kísilsins í skiljuvatni frá Hellsheiðarvirkjun er styrkt í fyrra þreppinu án þess að breyta efnasamsetningu þess að öðru leyti, og skiljuvatninu svo skipt út fyrir grunnvatn í seinna þreppinu. Framleiðsluferlið er laust við öll skaðleg efni og því er hægt að nýta steinefnaríkt skiljuvatnið aftur til niðurdælingar, án vandamála sem hljótast af kísilnum. geoSilica nýtir kísilinn í heilsuvöru, en afurð framleiðsluferilsins er hágæða náttúrulegur jarðhitakísill á vökvaformi sem ætlaður er til inntöku. Vörur geoSilica eru í dag fjórar (mynd 4) [10]. Það má segja að geoSilica sé með fyrstu fyrirtækjum í heimi sem finnur leið til að nýta kísilinn sem jafnframt felur í sér lausn á útfellingarvandamálum.

Úrvinnsla annara efna úr jarðhitavatni

Mikil áhersla hefur verið lögð á aukna nýtingu og hafa til að mynda iðngarðar eins og Auðlindagarðurinn á Reykjanesi verið í uppbyggingu. Markmið slíkra iðngarða er að nýta jarðvarmann til hins ýtrasta, þar á meðal jarðhitavökvann. Sú hugsjón byggir á því að „affall eins er hráefni fyrir annan“. Nokkur dæmi eru um það hvers konar fyrirtæki gætu nýtt framleiðslu eða affallsefni hvers annars og eru það meðal annars fyrirtæki sem starfa í matvælaíðnaði, ylrækt, þörungaræktun, líftækni, efnaiðnaði og pappírsvinnslu. Einnig er hægt að vinna ýmis efni úr affallsvatninu, bæði málma, sölt og steinefni[11]. Forsenda þess að hægt sé að vinna efni úr vökvannum er sú að búið sé að fjarlægja kísilinn þar sem útfellingar kísils valda vandamálum í búnaði sem ætlaður er til útfellinga á öðrum steinefnum[9]. Eins og áður kom fram er efnasamsetning jarðhitavats ólík eftir staðsetningu, en nákvæm efnagreining á jarðhitavökva frá fjórum jarðvarmavirkjunum er listuð upp í töflu 2[7].

Þegar búið er að fjarlægja kísilinn eru þó nokkur efni sem fýsilegt væri að skóða úrvinnslu á, en til að mynda eru efnin barín (e. Barium), súlfat (e. Sulfate), ál (e. Aluminum), kalín (e. potassium), bróm (e. Bromine), klór (e. Chloride) flúor, (e. Fluoride) og natrín (e. sodium) að finna í töluverðu magni í affallsvatni þessara fjögurra virkjana. Arctic Sea Minerals er gott dæmi um fyrirtæki sem nýtir affallsvatn jarðvarmavirkjana til efnavinnslu, en fyrirtækið vinnur natríumklóríð, kalíumklóríð og magnesíum úr vökvannum og framleiðir úr því heilsusalt[12].

Önnur nýting á jarðvarma

Bláa Lónið er mjög þekktur og vinsæll ferðamannastaður, sem nýtir affallsvatn frá Svartsengi í baðlón ásamt því að vinna kísil og önnur steinefni úr jarðvarmavatni til að setja í húðvörur sem fyrirtækið þróar og selur. Bláa Lónið nýtir einnig affallsvatnið í ræktun þörunga sem finnast í baðlóninu, en þörungarnir nýtast þeim í húðvörunar líkt og kísilinn[7]. Carbon Recycling International er annað dæmi um nýtingu á jarðvarma, en þau nota útblástur koldíoxíðs frá Svartsengi til framleiðslu á endurvinnanlegu metanóli[13].

Umræður

Úrvinnsla kísils úr jarðvarmavatni spilar mikilvægt hlutverk í sjálfbærni og aukinni nýtingu jarðvarmavirkjana. Með því að fjarlægja kísilinn úr

vökvannum er framkvæmd við niðurdælingu affallsvats auðvelduð til muna, þar sem kísilútfellingar valda miklum vandamálum í niðurdælingarholum. Bæði er kostnaður vegna útfellingavandamála hár auk þess að möguleiki á því að vinna önnur efni úr vökvannum þegar kísilinn hefur verið fjarlægður. geoSilica Iceland er leiðandi í heiminum í úrvinnslu á kísil úr jarðvarmavatni með byltingarkenndri aðferð, en félagið var stofnað af tveimur félagsmönnum VFÍ þeim Fidú Abu Libdeh og Burkna Pálssyni. Framleiðsluferlið er náttúrulegt og umhverfisvænt þar sem engin efni eru notuð í framleiðsluna sem gætu valdið neikvæðum umhverfisáhrifum. Með aukinni framleiðslu fyrirtækisins væri möguleiki á að vinna nægilega mikið magn kísils úr vökvannum til þess að það hefði jákvæð áhrif á niðurdælingu í Hellsheiðarvirkjun. Einnig væri möguleiki á því að aðlaga tæknina að öðrum jarðvarmavirkjunum á Íslandi, og með því auka sérstöðu íslenskrar jarðvarmaorku á sviði sjálfbærni og aukinni nýtingu auðlinda. Falin verðmæti í jarðvarmaorku er auðlind sem ber að nýta enn frekar og eru sífellt fleiri frumkvöðlar að sjá tækifæri í slíkri nýtingu. Með því að styðja við nýsköpunarfyrirtæki sem sjá verðmæti í affalli jarðvarmavirkjana og hvors annars erum við að loka hringrás jarðvarmaorkunnar og færa okkur nær fullnýtingu þeirrar auðlindar sem Ísland hefur yfir að búa.

Heimildir

- [1] “Græn orka | Norðurorka”, Norðurorka. Sótt 16.11.18 frá: <https://www.no.is/is/frodleikur/umhverfismal/græn-orka>.
- [2] Ólafur G. Flóvenz og Guðni Axelsson, “Sjálfbær nýting jarðhita”, Isor.is. Sótt 16.11.18 frá: <http://www.isor.is/sjalbbaer-nyting-jardhita-0>.
- [3] Orkuspárnefnd, “Sviðsmynd um raforkunotkun 2017 - 2050”, Orkustofnun, Reykjavík, 2017.
- [4] “Hvað er Kísill | geoSilica.is”, geoSilica Iceland, 2018. Sótt 08.11.17 frá: <https://geosilica.is/hvad-er-kisill/>.
- [5] Kevin Brown, “Mineral Scaling in Geothermal Power Production”, Orkustofnun, Reykjavík, 2013.
- [6] Engineering and Consulting Firms Association, “Preventions and Solutions for the Scale Problem at the Geothermal Power Plant and CDM Study in Indonesia”, Tohoku Electric Power Co, 2006.
- [7] Andri Stefánsson, “Verðmætasköpun úr affalli og útblæstri jarðvarmavirkjana. Greining á viðskiptahugmynd í samstarfi við geoSilica Iceland ehf.: Heilsudrykkur úr affallsvatni. Hluti I”, meistaritgerð, Iðnaðarverkfræði-, vélaverkfræði- og tölvunarverkfræðideild, Háskóli Íslands, Reykjavík, 2014.
- [8] Þráinn Friðriksson, „Förgun affallsvats frá jarðhitavirkjunum“, flutt á Aðalfundi Jarðhitafélags Íslands, 2013.
- [9] William Bourcier, Mow Lin and Gerald Nix, “Recovery of Minerals and Metals from Geothermal Fluids”, Lawrence Livermore National Laboratory, Cincinatti, 2005.
- [10] “Um okkur | geoSilica.is”, geoSilica Iceland | 2018. Sótt 12.11.17 frá: <https://geosilica.is/um-okkur/>.
- [11] “Auðlindagarður HS Orku”, Audlindagardurinn.is. Sótt 12.11.18 frá: <https://www.audlindagardurinn.is/>.
- [12] “Arctic Sea Minerals ehf.”. Sótt 13.11.18 frá: <https://www.f6s.com/arctic-seaminalerhsehf/>.
- [13] “ETL-Technology”, CRI - Carbon Recycling International. Sótt 15.11.18 frá: <http://carbonrecycling.is/innovation1/>.