



# Kísilverksmiðja Stakksbergs í Helguvík

Líkanreikningar til mats á áhrifum grunnvatnstöku

Unnið fyrir Stakksberg ehf.

Skýrsla nr. 19.08

Júlí 2019

Verkfræðistofan Vatnaskil

Síðumúli 28

108 Reykjavík

s. 568-1766

[vatnaskil@vatnaskil.is](mailto:vatnaskil@vatnaskil.is)

[www.vatnaskil.is](http://www.vatnaskil.is)

---

<b>Skýrsla nr:</b> 19.08	<b>Útgefið:</b> Júlí 2019	<b>Fjöldi síðna:</b> 25	<b>Dreifing:</b> Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/>
-----------------------------	------------------------------	----------------------------	---

**Heiti skýrslu:**

Kísilverksmiðja Stakksbergs í Helguvík. Líkanreikningar til mats á áhrifum grunnvatnstöku.

**Höfundar:**

Eric M. Myer, Andri Arnaldsson

**Verkefnisstjóri:**

Sveinn Óli Pálmarrsson

**Útdráttur:**

Stakksberg ehf. fyrirhugar að gera endurbætur á kísilverksmiðjunni að Stakksbraut 9 í Helguvík í Reykjanesbæ. Gert er ráð fyrir að verksmiðjan muni nota grunnvatn sem kælivatn, og af því tilefni var Vatnaskil beðið um að framkvæma líkanreikninga til mats á áhrifum tveggja rekstrartilfella fyrir grunnvatnstöku á lóð Stakksbergs á grunnvatnsauðlindina í nágrenni Helguvíkur. Fyrri tilfelli líkir eftir rekstri fyrsta áfanga verksmiðjunnar sem gerir ráð fyrir 500 m<sup>3</sup>/klst heildarvinnslu og seinna tilfelli líkir eftir rekstri með tilkomu fyrirhugaðs fjórða áfanga, sem gerir ráð fyrir 2000 m<sup>3</sup>/klst heildarvinnslu.

Allra tiltækra jarðfræði- og vatnafarsgagna var aflað og dæluþróf var framkvæmt af Verkís í Helguvík til að auka enn frekar þekkinguna á grunnvatnskerfinu. Grunnvatnslíkan Vatnaskila af Reykjanesi var uppfært og enduraðlagað með hliðsjón af nýjum gögnum sem leiddi til aukinnar nákvæmni og áreiðanleika líkansins á Helguvíkursvæðinu. Við greiningu niðurstaðna var horft til tvennskonar áhrifa, annars vegar svæðisbundins niðurdráttar og hins vegar hugsanlegrar seltuaukningar.

Samkvæmt líkanreikningunum eru mest áhrif vinnslunnar á svæðisbundinn niðurdrátt innan lóðar Stakksbergs, en áhrifin minnka tiltölulega hratt utan lóðarinnar. Áhrifasvæði vegna niðurdráttar, sem miðast við reiknaðan 5 cm niðurdrátt, er innan 750 m fjarlægðar frá miðsvæði vinnslunnar fyrir tilfelli 1 og helst innan iðnaðarsvæðisins í næsta nágrenni Stakksbergs. Fyrir tilfelli 2 nær áhrifasvæðið hins vegar út fyrir iðnaðarsvæðið og í allt að 1,7 km fjarlægð frá miðsvæði vinnslunnar.

Bæði mælingar úr dæluþrófi Verkís og líkanreikningarnir gefa til kynna að búast megi við seltuaukningu í efsta hluta grunnvatnskerfisins í Helguvík vegna vinnslunnar. Samkvæmt líkanreikningunum má vænta bæði lóðréttis innstreymis af jarðsjó neðan frá vegna þynningar ferskvatnslinsunnar og einnig láréttis innstreymis af saltvatni frá sjó. Gróft mat á stærð svæðisins þar sem búast má við aukinni saltblöndun í efri hluta grunnvatnskerfisins, þar sem tekið er tillit til beggja fyrrgreindra þátta, er lagt fram fyrir bæði vinnslutilfelli. Hafa skal í huga að stór hluti áætlaðs áhrifasvæðis seltuaukningar er nú þegar saltblandað að einhverju leyti eins og rafleiðnimælingar gefa til kynna. Þannig að á stórum hluta áætlaðs áhrifasvæðis er ekki um að ræða spillingu ferskvatns, frekar seltuaukningu í grunnvatni sem er nú þegar saltblandað að einhverju leyti.

**Verkkaupi:**

Stakksberg ehf.

**Tengiliður verkkaupa:**

Þórður Magnússon

**Lykilorð:**

Reykjanes, Helguvík, grunnvatn, Stakksberg

## Efnisyfirlit

Efnisyfirlit .....	4
Töfluskrá .....	5
Myndaskrá .....	5
1. Inngangur .....	6
2. Forsendur .....	6
3. Grunnvatnslíkan .....	6
3.1. Gagnasöfnun.....	7
3.2. Uppfærsla grunnvatnslíkans .....	7
4. Líkanreikningar og greining niðurstaðna .....	8
4.1. Svæðisniðurdráttur grunnvatnsborðs .....	8
4.2. Seltuaukning í ferskvatnslaginu .....	9
5. Samantekt .....	10
Heimildir .....	12
Myndir .....	13
Viðauki .....	20

## Töfluskrá

Tafla 1. Forsendur vinnsluholanna og heildarvatnstaka.....	6
--	---

## Myndaskrá

Mynd 1. Yfirlitskort.....	14
Mynd 2. Mæld og reiknuð grunnvatnshæð í holu HD-01 (vinnsluhola) á meðan dæluprófinu stóð.....	15
Mynd 3. Mæld og reiknuð grunnvatnshæð í holu HD-02 (vinnsluhola) á meðan dæluprófinu stóð.....	15
Mynd 4. Mæld og reiknuð grunnvatnshæð í holu HD-03 (vinnsluhola) á meðan dæluprófinu stóð.....	16
Mynd 5. Mæld og reiknuð grunnvatnshæð í holu HV-01 (viðmiðunarhola) á meðan dæluprófinu stóð.....	16
Mynd 6. Mæld og reiknuð grunnvatnshæð í holu HP-08 (viðmiðunarhola) á meðan dæluprófinu stóð.....	17
Mynd 7. Mæld og reiknuð grunnvatnshæð í holu HB-46 (viðmiðunarhola) á meðan dæluprófinu stóð.....	17
Mynd 8. Reiknaður niðurdráttur við vinnsluaukningu úr 0 m <sup>3</sup> /klst í 500 m <sup>3</sup> /klst (tilfelli 1). ....	18
Mynd 9. Reiknaður niðurdráttur við vinnsluaukningu úr 0 m <sup>3</sup> /klst í 2000 m <sup>3</sup> /klst (tilfelli 2). ....	18
Mynd 10. Áætlað áhrifasvæði aukinnar seltu í efsta hluta grunnvatnskerfisins við vinnsluaukningu úr 0 m <sup>3</sup> /klst í 500 m <sup>3</sup> /klst (tilfelli 1). ....	19
Mynd 11. Áætlað áhrifasvæði aukinnar seltu í efsta hluta grunnvatnskerfisins við vinnsluaukningu úr 0 m <sup>3</sup> /klst í 2000 m <sup>3</sup> /klst (tilfelli 2). ....	19

## 1. Inngangur

Stakksberg ehf. fyrirhugar að gera endurbætur á kísilverksmiðjunni að Stakksbraut 9 í Helgúvík í Reykjanesbæ til að uppfylla skilyrði sem Umhverfisstofnun hefur sett fram svo hægt verði að endurræsa verksmiðjuna. Jafnframt er unnið að mati á áhrifum fullbúinnar verksmiðju. Gert er ráð fyrir að verksmiðjan muni nota grunnvatn sem kælivatn. Af því tilefni hefur Stakksberg beðið Vatnaskil um að framkvæma líkanreikninga til mats á áhrifum mismunandi rekstrartilfella fyrir grunnvatnstöku á lóð Stakksbergs á grunnvatnsauðlindina á svæðinu.

## 2. Forsendur

Forsendur varðandi grunnvatnsvinnslu voru ákveðnar af Stakksbergi og Verkís, sem vinnur mat á umhverfisáhrifum framkvæmdarinnar. Óskað var eftir að Vatnaskil skoðaði tvö rekstrartilfelli, sem miða við mismunandi áfanga verksmiðjunnar (tafla 1). Tilfelli 1 líkir eftir rekstri fyrsta áfanga sem gerir ráð fyrir 500 m<sup>3</sup>/klst heildarvinnslu úr núverandi vinnsluholum HD-01, HD-02 og HD-03. Gert er ráð fyrir að heildarvinnslunni verði jafnskipt á milli vinnsluholanna (166,7 m<sup>3</sup>/klst/hola). Tilfelli 2 líkir eftir rekstri með tilkomu fyrirhugaðs fjórða áfanga, sem gerir ráð fyrir 2000 m<sup>3</sup>/klst heildarvinnslu. Í því tilfelli er gert ráð fyrir óbreyttri vinnslu úr núverandi vinnsluholum (166,7 m<sup>3</sup>/klst/hola) og viðbótarvinnslunni (1500 m<sup>3</sup>/klst) verður skipt jafnt á milli sjö vinnsluhola, FVH-01 til FVH-07, (214,3 m<sup>3</sup>/klst/hola) sem áætlað er að bora. Staðsetningar nýju vinnsluholanna eru í kringum fyrirhugað fullbyggt ofnhús (mynd 1).

Tafla 1. Forsendur vinnsluholanna og heildarvatnstaka.

Vinnsluhola	Staðsetning (ÍSNET93)		Vinnsla			
			Tilfelli 1		Tilfelli 2	
			m <sup>3</sup> /klst	L/s	m <sup>3</sup> /klst	L/s
HD-01	325894,2	396192,1	166,7	46,3	166,7	46,3
HD-02	325898,8	396159,2	166,7	46,3	166,7	46,3
HD-03	325918,9	396126,7	166,7	46,3	166,7	46,3
FVH-01	325925,5	396211,3			214,3	59,5
FVH-02	325954,9	396229,2			214,3	59,5
FVH-03	325985,2	396248,3			214,3	59,5
FVH-04	326015,1	396266,6			214,3	59,5
FVH-05	326044,7	396284,7			214,3	59,5
FVH-06	326067,6	396262,1			214,3	59,5
FVH-07	326086,3	396231,8			214,3	59,5
Heildarvinnsla =			500	139	2000	556

## 3. Grunnvatnslíkan

Grunnvatnslíkan fyrir Reykjaneskaga, sem hefur verið þróað á Vatnaskilum í ríflega 35 ár og notað við lausn ýmissa vatnafræðilegra verkefna á svæðinu, var notað við reikningana. HS Orka hefur staðið að

reglulegri endurskoðun og uppfærslu líkansins og kom síðasta skýrsla út í september 2018 (Vatnaskil, 2018).

### 3.1. Gagnasöfnun

Farið var í gagnasöfnun til að auka þekkingu á grunnvatnskerfinu á Rosmhvalanesi og styrkja núverandi grunnvatnslíkan við uppfærslu þess með hliðsjón af markmiðum um mat á áhrifum vatnstöku í Helgúvík. Leitað var að fyrirliggjandi gögnum sem nýst gætu við uppfærslu líkansins. Stakksberg og Verkís afhentu tiltæk gögn sem lágu fyrir hjá þeim. Helstu var um að ræða upplýsingar um núverandi borholur á lóð Stakksbergs og ýmsar mælingar úr þeim. Snorri Páll Snorrason, jarðfræðingur hjá Verkís, býr yfir töluverðri reynslu á svæðinu, þ.m.t. vegna borunar og vöktunar á borholum. Leitað var eftir innleggi og ráðgjöf frá honum, m.a. almennum upplýsingum um jarðfræði svæðisins og mælingar á grunnvatnshæð úr vöktunarholu MD-04. Rýnt var enn fremur í eldri heimildir á almennum rannsóknum tengdum jarðfræði og vatnafari svæðisins (Orkustofnun, 1982, 1990, 2000a, 2000b, 2002). Borholugrunnur Orkustofnunar var einnig tekinn til ítarlegrar rýni við öflun frekari upplýsinga úr fyrirliggjandi borskýrslum, þ.m.t. greining jarðlaga og vatnsborðsmælinga.

Til að afla frekari upplýsinga um eiginleika grunnvatnsauðlindarinnar á nærsvæði Helgúvíkur ráðlagði Vatnaskil að framkvæmd yrðu dælupróf á lóð Stakksbergs. Verkís framkvæmdi dæluprófin 24. maí – 3. júní 2019 og sá um allar mælingar tengdar þeim. Vatnaskil fékk afhent frá Verkís allar mælingar úr prófunum, auk minnisblaðs (Verkís, 2019) þar sem teknar voru saman helstu niðurstöður prófanna ásamt grófri túlkun þeirra. Ítarlegri greining var framkvæmd af Vatnaskilum til að reikna út berg- og holueiginleika til nýtingar við uppfærslu grunnvatnslíkansins, sjá viðauka.

### 3.2. Uppfærsla grunnvatnslíkans

Gögn sem bættust við vegna gagnasöfnunarinnar voru greind og þeim bætt inn í grunnvatnslíkanið, annað hvort sem inntaks- eða kvörðunargögnum. Reikninet líkansins var almennt þétt á Rosmhvalanesi og sérstaklega í Helgúvík til að auka upplausn og nákvæmni reikninganna. Reiknipunktur voru skilgreindir fyrir núverandi og framtíðar vinnsluholur Stakksbergs ásamt viðmiðunarholum sem notaðar voru til mælinga á meðan dæluprófin stóðu yfir. Jaðar líkansins var einnig endurskilgreindur með meiri nákvæmni meðfram ströndinni á Rosmhvalanesi. Helstu kennistærðir líkansins á svæðinu voru endurskoðaðar m.t.t. fyrirliggjandi rannsókna á svæðinu og niðurstöðum úr dæluprófunum.

Líkanið var enduraðlagað með hliðsjón af nýjum gögnum, sér í lagi mælingum úr dæluprófunum. Mat á bergeiginleikum (leiðni og geymslu) og holueiginleikum (iðustreymisstuðull) sem reiknaðir voru við greiningu dæluprófanna voru notaðir sem viðmið í kvörðuninni. Sjávarhæð í Helgúvíkurhöfn var mæld af Verkís (Verkís, 2019) á meðan á dæluprófunum stóð og voru þær mælingar notaðar sem jaðarskilyrði við ströndina til þess að taka tillit til áhrifa sjávarfalla á grunnvatnskerfið. Flotjafnvægi milli ferskvatns og sjávar þar sem hæð grunnvatnsborðs er sú sama og hæð sjávars liggur að mestu líkindum úti í sjó frekar en við flæðarmálið allstaðar á Rosmhvalanesi (Orkustofnun, 1990; samtal við Snorra Pál Snorrason). Reynt var eftir bestu getu að líkja eftir þessu með líkaninu í kvörðunarferlinu.

Endurkvarðað grunnvatnslíkan náði að líkja vel eftir dæluprófunum eins og sést á myndum 2-7. Það reyndist erfiðast að líkja eftir mældri grunnvatnshæð í holu HB-46 sem er staðsett á lóð Síldarvinnslunnar hf. Líkanið reiknar þar minni niðurdrátt en mælingar gefa til kynna. Af öllum viðmiðunarholum gæti áhrifa sjávarfalla mest í HB-46, enda er hún næst strandlengjunni. Að öllum líkindum er til staðar stálþil í hafnarbakkanum við Síldarvinnslunni hf. eins og í flestum íslenskum höfnum (samtal við Snorra Pál Snorrason), sem gæti að einhverju leyti hindrað streymi sjávar inn til

landsins. Einnig er mögulegt að vinnslan við dæluþrófið valdi auknum niðurdrætti á svæðinu við hafnarbakkann, í nágrenni stálþilsins, þar sem hola HB-46 er staðsett. Reynt var að líkja eftir þilinu í líkaninu en óvissan um breidd og dýpt þilsins takmarkar þær leiðir sem eru færar gagnvart þessu í líkangerðinni. Með ítarlegri upplýsingum um þilið og aðstæðum í nágrenni þess mætti bæta líkanið á því svæði og þannig bæta mat á grunnvatnsrennsli í nágrenni stálþilsins. Að sinni verður því mat á niðurdrætti í nágrenni holu HB-46 í líkaninu að teljast vanmetið. Í heild sinni engu að síður leiddi uppfærsla líkansins til aukinnar nákvæmni og áreiðanleika líkansins á Helgúvíkursvæðinu.

## 4. Líkanreikningar og greining niðurstaðna

Grunnvatnslíkanið var keyrt yfir tímabilið 1977 til 2017 til þess að hafa til grundvallar 41 árs breytileika veðurfars og írennslis til grunnvatns sem reiknað er í yfirborðslíkani Vatnaskila á Reykjanesi (Vatnaskil, 2018) við tíðnigreiningar á niðurstöðum líkansins.

Skilgreint var grunntilfelli í samvinnu við Verkís sem hugsað er til samræmis við núverandi vinnsluástand í Helgúvík, þar sem gert er ráð fyrir engri grunnvatnsvinnslu frá annarri starfsemi á nærsvæðinu. Framtíðarrekstrartilfelli 1 og 2 (tafla 1) voru þá borin saman við grunntilfellið til þess að meta áhrif þeirra vinnsluaukningar á grunnvatnsauðlindina. Við greiningu niðurstaðna var horft til tvönnskonar áhrifa, annars vegar svæðisbundins niðurdráttar og hins vegar hugsanlegrar seltuaukningar vegna innstreymis sjávar. Greint er frá niðurstöðum líkanreikninganna hér að neðan.

### 4.1. Svæðisniðurdráttur grunnvatnsborðs

Reiknaður niðurdráttur vegna fyrirhugaðrar vinnsluaukningar er sýndur á myndum 8 og 9. Svæðisniðurdráttur var tíðnigreindur til mats á breytileika í útbreiðslu niðurdráttar yfir keyrslutímamann. Á myndunum eru jafngildislínur dregnar fyrir hlutfall keyrslutímans þegar tiltekinn niðurdráttur gætir. Þar sýnir t.a.m. 50% hlutfallslínan fyrir 5 cm niðurdrátt útmörk þess svæðis þar sem 50% keyrslutímans má vænta niðurdráttar upp á 5 cm eða meira. Jafngildislínur eru sýndar að 2% hlutfalli keyrslutímans til að fá mat á útbreiðslu niðurdráttar, neðan 2% hlutfallsmarka geta verið frávik í útreikningum sem hafa óeðlileg áhrif á legu jafngildislínanna.

Tilfelli 1 líkir eftir rekstri fyrsta áfanga verksmiðjunnar sem gerir ráð fyrir 500 m<sup>3</sup>/klst heildarvinnslu. Reiknaður svæðisniðurdráttur grunnvatnsborðs vegna þeirrar vinnslu er sýndur á mynd 8. Niðurdráttur reiknast yfir 50 cm í næsta nágrenni vinnsluholanna (HD-01, HD-02 og HD-03). Niðurdráttur í vinnsluholunum sjálfum samanstendur af niðurdrætti í grunnvatnsleiðara í næsta nágrenni borholunnar (lagstreymistap) og iðustreymistapi í borholunni sjálfri. Tekið er tillit til beggja þátta í líkanreikningunum, og er heildarniðurdráttur í vinnsluholunum á bilinu 85-100 cm. Niðurdrátturinn minnkar með fjarlægð frá vinnslusvæðinu og jafngildislínur teygja sig til norðvesturs inn í landið. Niðurdráttur meiri en 25 cm reiknast ekki utan lóðar Stakksbergs nema rétt norðan megin við lóðarmörkin. Jafngildislínur fyrir 5 cm niðurdrátt teygja sig í mest u.þ.b. 750 m fjarlægð frá miðsvæði vinnslunnar (vinnsluhola HD-02) til norðvesturs. Ef miðað er við reiknaðan 5 cm niðurdrátt sem útmörk áhrifsvæðis þá helst áhrifsvæðið innan iðnaðarsvæðisins í næsta nágrenni Stakksbergs.

Tilfelli 2 líkir eftir rekstri með tilkomu fyrirhugaðs fjórða áfanga verksmiðjunnar sem gerir ráð fyrir 2000 m<sup>3</sup>/klst heildarvinnslu grunnvatns. Reiknaður svæðisniðurdráttur grunnvatnsborðs vegna þeirrar vinnslu er sýndur á mynd 9. Eins og búast má við reiknast svæðisniðurdráttur töluvert meiri og yfir stærra svæði heldur en fyrir tilfelli 1. Niðurdráttur reiknast um 150 cm í næsta nágrenni vinnsluholanna (samtals tíu) og 100 cm jafngildislínur teygja sig ekki utan lóðarmarka Stakksbergs nema rétt norðan



megin við mörkin. Heildarniðurdráttur í vinnsluholunum sjálfum reiknast á bilinu 150-200 cm. Útbreiðsla niðurdráttar teygir sig til norðvesturs, vesturs og suðvesturs inn í landið. Frá miðsvæði vinnslunnar (fyrirhuguð framtíðarvinnsluhola FVH-02) ná jafngildislínur fyrir 5 cm niðurdrátt í allt að 1,7 km fjarlægð til vesturs. Ef miðað er við reiknaðan 5 cm niðurdrátt sem útmörk áhrifasvæðis þá nær áhrifasvæðið út fyrir iðnaðarsvæðinu í næsta nágrenni Stakksbergs og nær að Bergvötnum í norðri og yfir Garðskagaveg í vestri.

## 4.2. Seltuaukning í ferskvatnslaginu

Grunnvatnskerfið á Rosmhvalanesi skiptist í tvo meginhluta, annars vegar grynri geymi sem flytur ferskt grunnvatn frá landi til sjávar, og hins vegar dýpri geymi sem flytur saltan jarðsjó í öfuga átt, þ.e. frá sjónum og inn undir landið. Vegna eðlisþyngdarmunar flýtur ferskvatn ofan á jarðsjó, og er í þrýstjafnvægi við hann. Skilflötur á milli ferskvatns og jarðsjávar, svokallað blandlag, inniheldur ísalt vatn og fylgir vatnsborðsbreytingum í ferskvatnslinsunni. Þykkt ferskvatnslinsunnar á Rosmhvalanesi hefur ekki verið kortlögð af nákvæmni, en eldri rannsóknir á svæðinu hafa sýnt að hún er almennt á bilinu 20-30 m nærri ströndinni og meira en 50 m um miðjan skaga (Þorleifur Einarsson, 1957; Orkustofnun, 1982; Orkustofnun, 1990). Á Reykjanesskaga gildir almennt regla Baden Ghyben-Herzbergs sem segir að þykkt ferskvatnslagsins neðan sjávarmáls er um 40 m fyrir hvern 1 m sem grunnvatnsborð liggur yfir sjávarmáli (Orkustofnun, 1980; Orkustofnun, 1985).

Verkís mældi rafleiðni með dýpi í viðmiðunarholunum í Helgúvík þann 3. júní 2019 (Verkís, 2019). Mælingarnar sýna að saltblöndun er nú þegar til staðar í efsta hluta grunnvatnskerfisins við ströndina í Helgúvík. Í holu HB-46 við Síldarvinnsluna hf, sem er u.þ.b. 100 m frá bryggjunni, er ísalt vatn efst í holunni (rafleiðni um 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) sem bendir til að ferskvatnslinsan sé ekki til staðar þar og blandlagið nær alla leið að grunnvatnsborðinu. Mikil aukning mældist á rafleiðni milli 4-10 m u.s., og fyrir neðan 40 m u.s. er eingöngu jarðsjór í holunni. Holur HV-01 og HP-08, sem eru á lóð Stakksbergs, eru í um 300 m fjarlægð frá strandlengjunni. Í þeim mældist ferskvatn sem er lítillega blandað sjó (rafleiðni um 250-400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Holurnar eru ekki nægilega djúpar til að sýna endanlega þykkt ferskvatnslinsunnar, en hún er a.m.k. 12 m þykk og líklegast á bilinu 20-30 m þykk (Orkustofnun, 1982; Verkís, 2019). Í holu MD-04, sem er rúmlega 3 km frá strandlengjunni, mældist ferskvatn (rafleiðni < 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) frá grunnvatnsborði alveg niður í botn holunnar (um 15 m u.s.). Út frá reglu Baden Ghyben-Herzbergs má áætla að þykkt ferskvatnslinsunnar sé um 50 m í holunni (miðað við að grunnvatnshæðin sé um 1,2 m y.s.).

Í núverandi verkefni var ekki lagt upp með að reikna nákvæmlega seltustig í ferskvatnslinsunni né breytingar á seltustiginu. Út frá rafleiðnimælingum og reiknuðum niðurdrætti má meta gróflega hvort og þá hvar búast megi við aukinni seltu í efsta hluta grunnvatnskerfisins vegna vinnsluaukningar. Þegar grunnvatn er unnið úr ferskvatnslinsunni, lækkar vatnsborðið og þar með hækkar hæð skilflatarins á milli ferskvatns og sjós (þykkt ferskvatnslinsunnar minnkar). Þegar skilflöturinn nálgast vatnsborðið, eykst hættan á að jarðsjór brjótist upp í gegnum ferskvatnslinsuna og inn í vinnsluholuna. Til að forðast að jarðsjór komist í ferskvatnsból á Lágasvæðinu á Reykjanesi hefur verið miðað við að niðurdráttur vatnsborðsins megi ekki verða meiri en fjórðungur af meðalgrunnvatnshæðinni yfir meðalsjávarhæð (Orkustofnun, 1980).

Á vinnslusvæði Stakksbergs reiknast meðalgrunnvatnshæð yfir 41 árs keyrslutímabilið um 0,70 m y.s. Með því að nota sama viðmið og á Lágasvæði þyrfti því meira en 18 cm niðurdrátt á vinnslusvæði Stakksbergs til að valda lóðréttu innstreymi jarðsjós. Eins og sést á myndum 8 og 9 er reiknaður niðurdráttur á vinnslusvæðinu miklu meiri en 18 cm í báðum tilfellum. Mjög líklegt er því að fyrirhuguð vinnsla sem miðað er við í báðum tilfellum muni valda lóðréttu innstreymi af jarðsjó neðan frá og inn

í vinnsluholunar. Rétt er þó að hafa í huga að þessar hreyfingar á blandlaginu gerast á mun lengri tímaskala en breytingar á grunnvatnsborði (Orkustofnun, 1980).

En vegna nálægðar vinnslusvæðis Stakksbergs við sjóinn ásamt jarðfræðilegum aðstæðum í Helgúvík eru einnig góðar líkur á að fyrirhuguð vinnsla valdi lárétu innstreymi af saltvatni frá sjónum. Í Helgúvík er um er að ræða basaltdyngju, samansetta af hraun- og kargalögum. Berglekt er mest í kargalögum vegna meira holrýmis og þar með streymir grunnvatnið greiðlega í gegnum þau. Lárétt lekt basaltdyngjunnar er áætluð sem 10-falt hærrí en lóðréttá lektin. Jarðlagagreiningar úr borholum í Helgúvík sýna kargalög (a.m.k. 10 m þykk) rétt neðan grunnvatnsborðs (Orkustofnun, 2000a; Orkustofnun, 1982), sem líklegast veitir góða tengingu grunnvatns við sjóinn. Verkís tók sýni úr vinnsluvatninu sem dælt var upp á meðan dæluprófunum stóð yfir til þess að fylgjast m.a. með breytingum á seltustigi vatnsins (Verkís, 2019). Seltan jókst mestmegnis línulega yfir 5-daga tímabil á meðan dælingunum stóð (27. – 31. maí, 2019). Vatnið fór frá því að vera ferskt (rafleiðni um 350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) upp í að nálgast að vera ísalt (rafleiðni tæplega 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Verkís, 2019). Í lok dælinganna var seltan orðin svipuð og mældist í holu HB-46 við Síldarvinnsluna hf. Búast má við að seltan hefði haldist áfram að aukast ef dælingin hefði haldið áfram (Verkís, 2019). Hraði seltuaukningar í vinnsluholunum bendir til þess að innstreymi saltvatns komi rétt í átt frá sjónum í gegnum kargalagið.

Gróft mat á stærð svæðisins þar sem búast mætti við aukinni saltblöndun í efri hluta grunnvatnskerfsins er lagt fram fyrir bæði vinnslutilfellin á myndum 10 og 11. Við mat á stærð og legu áhrifasvæðisins er tekið tillit til hugsanlegs lóðréttis innstreymis saltvatns með því að miða við svæðið þar sem niðurdráttur reiknast meiri en 5 cm. Það viðmið sem notað er á Lágasvæðinu og greint er frá að ofan á ekki fyllilega við fyrir vinnslusvæði Stakksbergs þar sem vatnafræðilegar aðstæður eru aðrar. Lágasvæði er um 7 km frá strandlengjunni og ferskvatnslagið mælist þar u.þ.b. 50 m þykkt. En eins og fram hefur komið að ofan er þykkt ferskvatnslinsunnar áætluð u.þ.b. helmingi þynnri á vinnslusvæði Stakksbergs (20-30 m) og nálægð þess við sjóinn hefur nú þegar valdið saltblöndun í efri hluta grunnvatnskerfsins. Ferskvatnslinsan er þá að öllum líkindum viðkvæmari fyrir vinnsluaukningu í Helgúvík heldur en á Lágasvæðinu og því krefjast aðstæður í Helgúvík annars viðmiðs. Var því miðað við 5 cm niðurdrátt til að reyna að vera með varfærið mat á hugsanlegri seltuaukningu. Til viðbótar við lóðrétt innstreymis saltvatns er einnig tekið tillit til hugsanlegs láréttis innstreymis saltvatns með því að miða við svæðið milli vinnslusvæðisins og strandarinnar þar sem gert er ráð fyrir að grunnvatn renni í gegnum vel lekt kargalag í átt frá sjónum að vinnslusvæðinu.

## 5. Samantekt

Lagt var mat á áhrif tveggja rekstrartilfella Stakksbergs á grunnvatnsauðlindina í nágrenni Helgúvíkur. Allra tiltækra jarðfræði- og vatnafarsgagna var aflað og dælupróf var framkvæmt af Verkís í Helgúvík til að auka þekkinguna á grunnvatnskerfinu. Grunnvatnslíkan Vatnaskila af Reykjanesi var uppfært og enduraðlagað með hliðsjón af nýjum gögnum sem leiddi til aukinnar nákvæmni og áreiðanleika líkansins á Helgúvíkursvæðinu. Við greiningu niðurstaðna var horft til tvennskonar áhrifa, annars vegar svæðisbundins niðurdráttar og hins vegar hugsanlegrar seltuaukningar vegna innbrots sjávar.

Samkvæmt líkanreikningunum eru mest áhrif vinnslunnar á svæðisbundinn niðurdrátt innan lóðar Stakksbergs þar sem áhrifin minnka tiltölulega hratt fyrir utan lóðina. Ef miðað er við 5 cm niðurdrátt sem útmörk þá er áhrifasvæði niðurdráttar fyrir tilfelli 1 innan 750 m fjarlægðar frá miðsvæði vinnslunnar og innan iðnaðarsvæðisins í næsta nágrenni Stakksbergs. En fyrir tilfelli 2 ná þá útmörk niðurdráttar út fyrir iðnaðarsvæðið og í allt að 1,7 km fjarlægð frá miðsvæði vinnslunnar.

Bæði mælingar úr dæluþrófi Verkís og nákvæmari líkanreikningar gefa til kynna að búast megi við seltuaukningu í efsta hluta grunnvatnskerfisins í Helguvík vegna vinnsluaukningarinnar. Samkvæmt líkanreikningum má vænta bæði innstreymis af jarðsjó neðan frá vegna þess að þykkt ferskvatns-linsunnar minnkar og einnig lárétt innstreymi af saltvatni frá sjónum. Gróft mat á stærð svæðisins þar sem búast mætti við aukinni saltblöndun í efri hluta grunnvatnskerfisins, þar sem tekið er tillit til beggja fyrrgreindra þátta, er lagt fram fyrir bæði vinnslutilfelli. Hafa skal í huga að stór hluti af áætluðu áhrifasvæði seltuaukningarinnar er nú þegar saltblandað að einhverju leyti eins og rafleiðnimælingar gefa til kynna. Í 100 m fjarlægð frá bryggjunni er ísalt vatn efst við grunnvatnsborðið (hola HB-46) og á lóð Stakksbergs, sem eru í um 300 m fjarlægð frá strandlengjunni, er ferskvatn lítillega blandað sjó (holur HV-01 og HP-08). Þannig að á stórum hluta af áætluðu áhrifasvæði er ekki um að ræða spillingu ferskvatns, frekar seltuaukningu í grunnvatni sem er nú þegar saltblandað að einhverju leyti. Eins og nefnt var að ofan er mikilvægt að benda á að í núverandi verkefni var einungis metið mögulegt áhrifasvæði þar sem selta getur aukist en seltuaukningin sem slík var ekki reiknuð.

## Heimildir

Orkustofnun, 1980; Svartsengi I. Grunnvatnsrannsóknir vegna ferskvatnsöflunar fyrir varmaorkuver. OS80031/ROD12. Desember 1980.

Orkustofnun, 1982; Hólmsberg. Geological report. OS82042/VOD25B. Maí 1982.

Orkustofnun, 1985; Jarðvatn og vatnajarðfræði á utanverðum Reykjanesskaga. I. Hluti: Yfirlitsskýrsla. Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja. OS-85075/VOD-06. September 1985.

Orkustofnun, 1990; Rosmhvalanes. Jarðsjór, jarðvatn, jarðhiti. Sérverkefni í fiskeldi 1988. OS90003/VOD-02B. Febrúar 1990.

Orkustofnun, 2000a; Rosmhvalanes. Um boranir í grágrýtið. Greinargerð PHH-KS-2000-02. Maí 2000.

Orkustofnun, 2000b; Rosmhvalanes. Loftdæling úr holu RH-03. Greinargerð PHH-2000-16. September 2000.

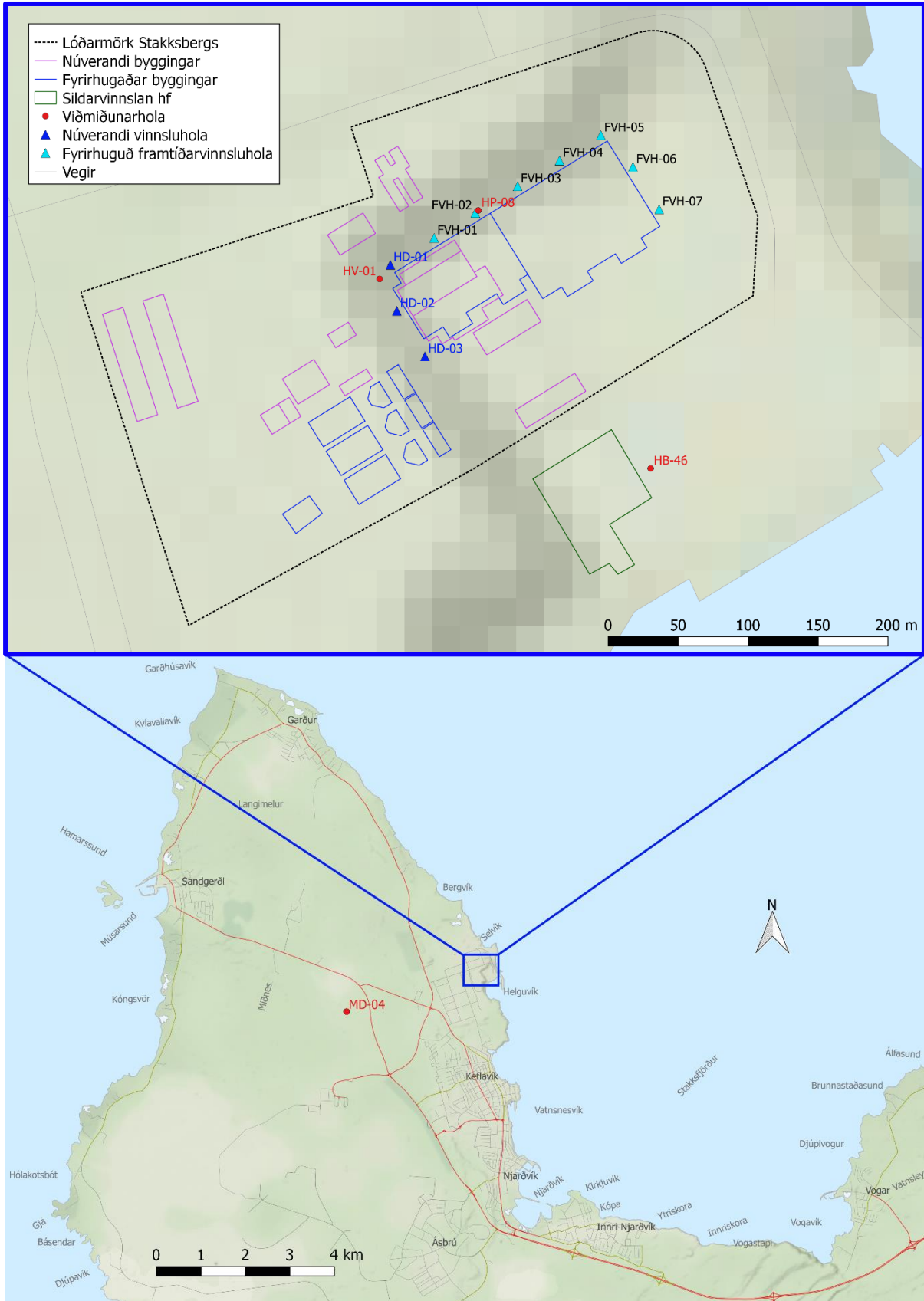
Orkustofnun, 2002; Láhitaleit á Rosmhvalanesi 2000-2001. Hitastigulsholur RH-03, RH-04 og H-05. OS-2002/055. Desember 2002.

Vatnaskil, 2018; Reykjanesskagi, Grunnvatns- og rennislíkan, Árleg endurskoðun fyrir árið 2017. Unnið fyrir HS Orku. September 2018. 18.05.

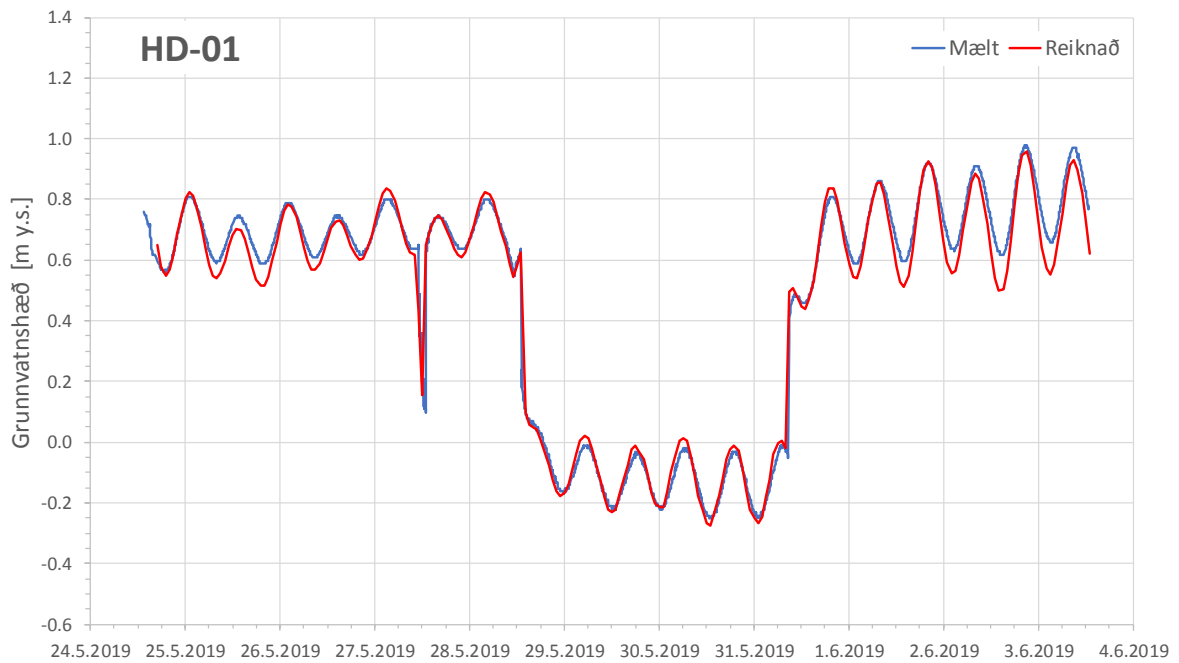
Verkís, 2019; Stakksberg Helguvík Upgrade. Minnisblað nr. ID94965. 20-06-2019.

Porleifur Einarsson, 1957. Um jarðvatn á Miðnesi. Greinargerð. Maí 1957.

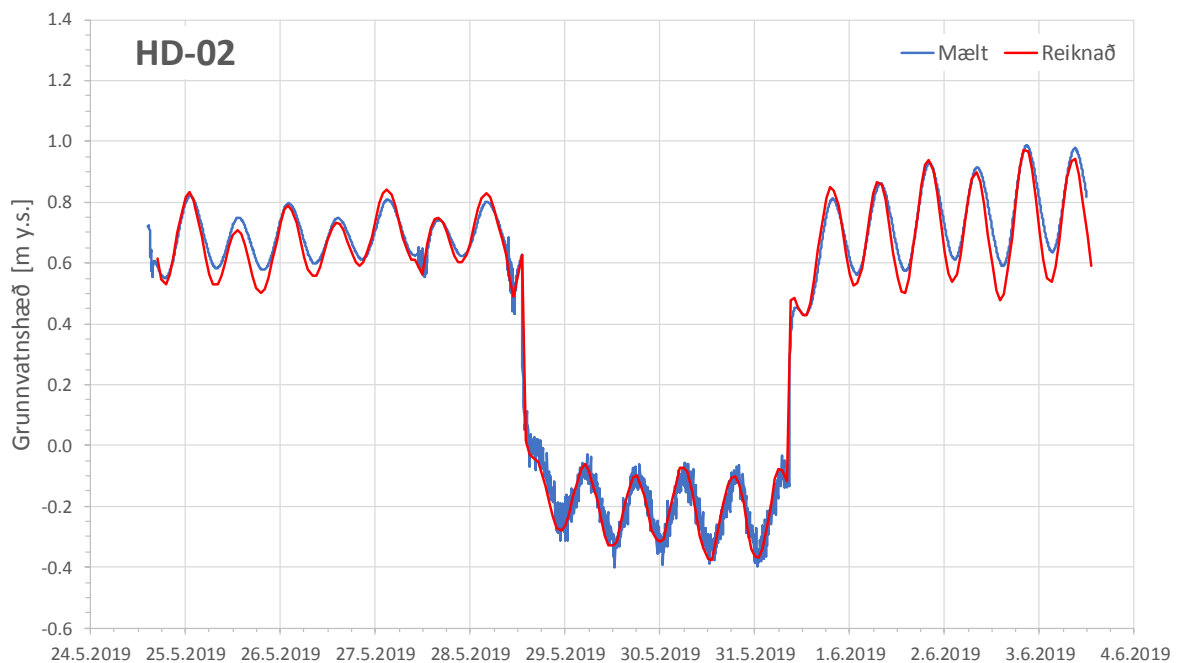
## Myndir



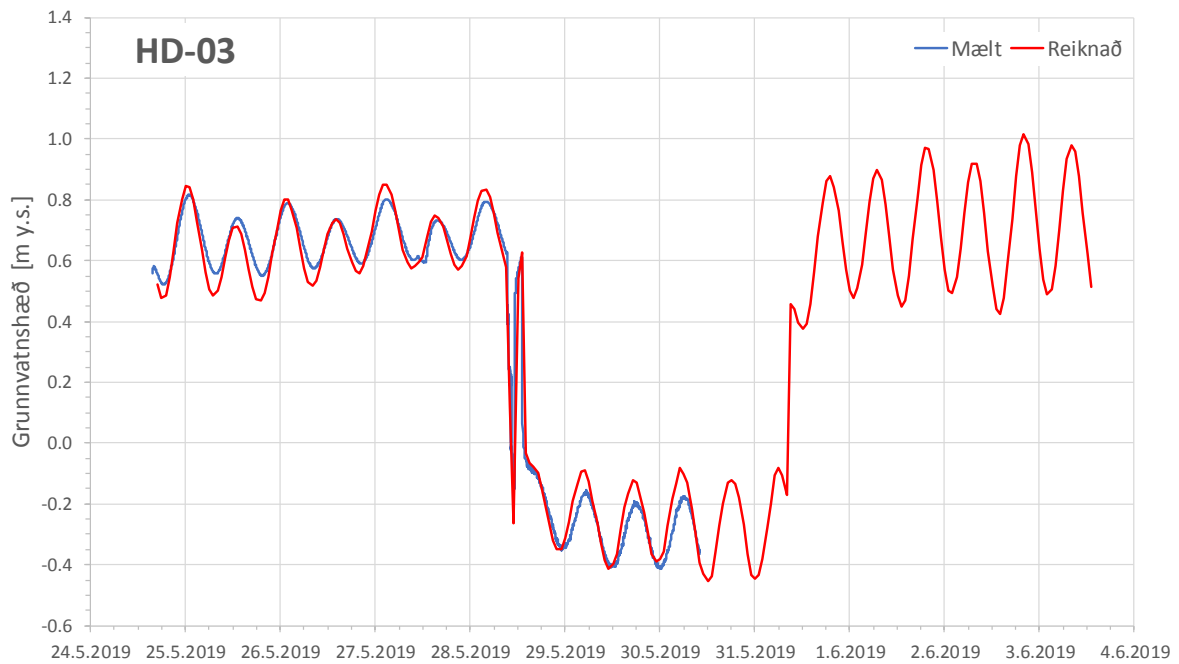
Mynd 1. Yfirlitskort.



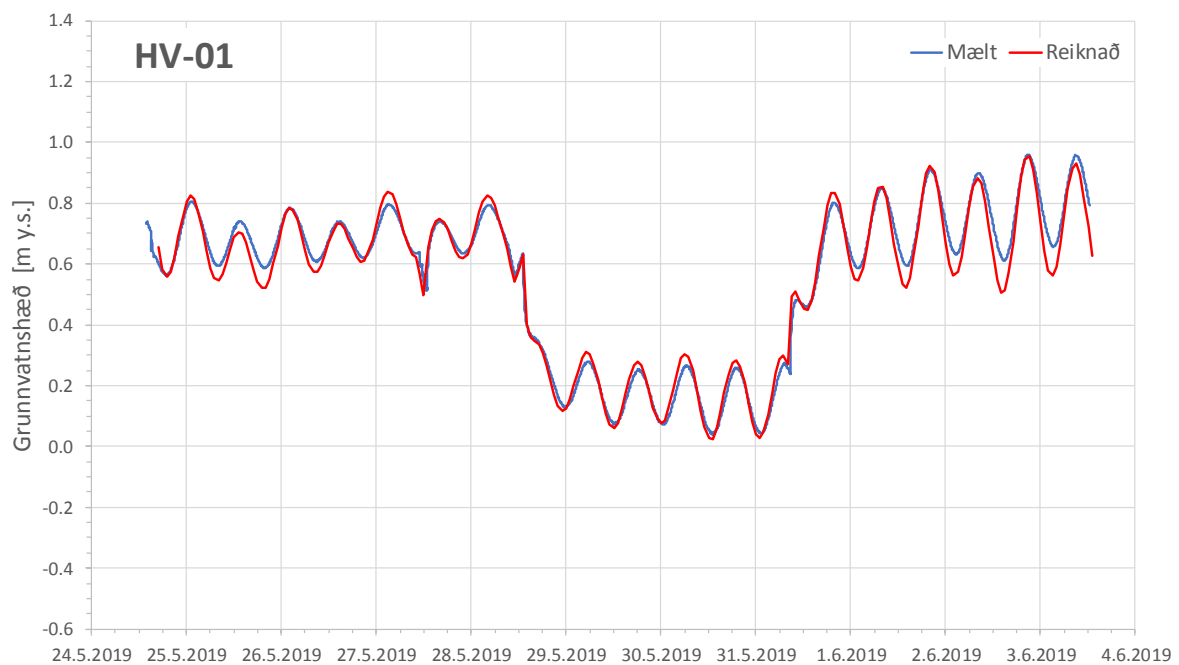
**Mynd 2.** Mæld og reiknuð grunnvatnshæð í holu HD-01 (vinnsluhola) á meðan dæluprófinu stóð.



**Mynd 3.** Mæld og reiknuð grunnvatnshæð í holu HD-02 (vinnsluhola) á meðan dæluprófinu stóð.

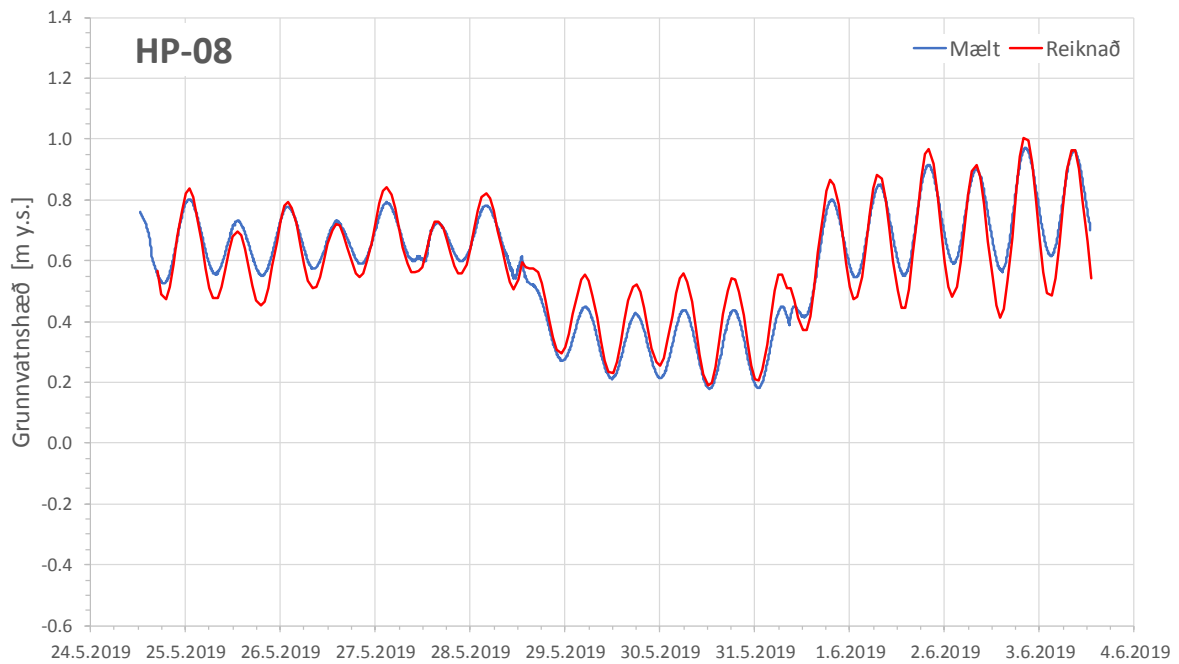


**Mynd 4.** Mæld og reiknuð grunnvatnshæð í holu HD-03 (vinnsluhola) á meðan dæluprófinu stóð.

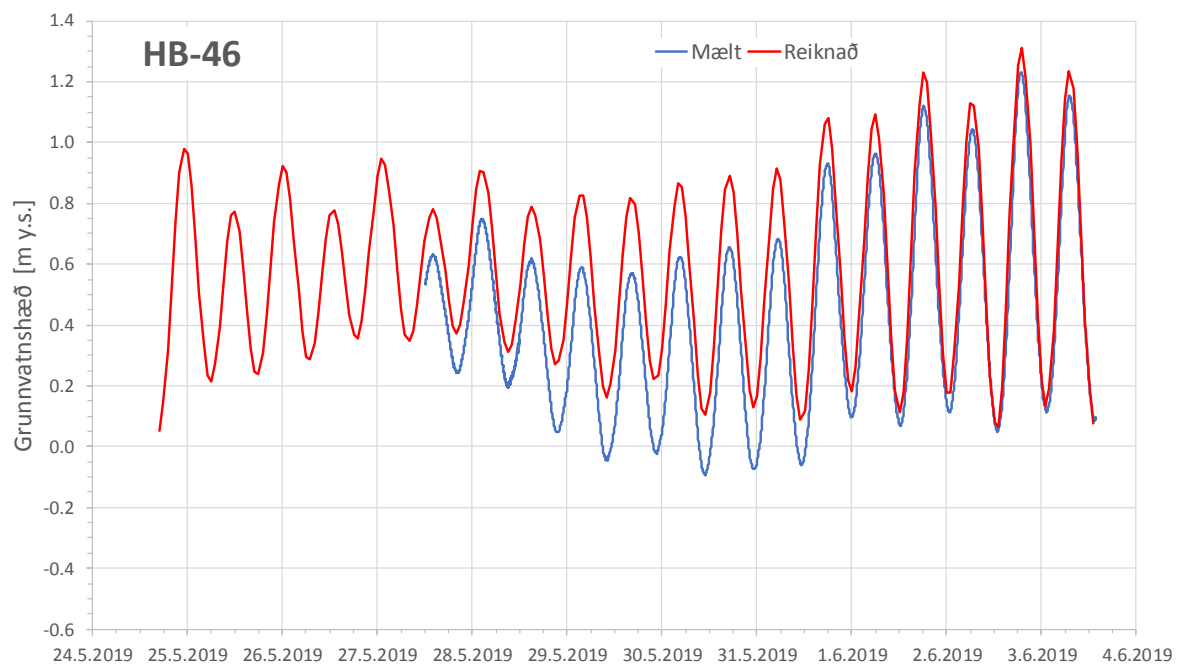


**Mynd 5.** Mæld og reiknuð grunnvatnshæð í holu HV-01 (viðmiðunarhola) á meðan dæluprófinu stóð.

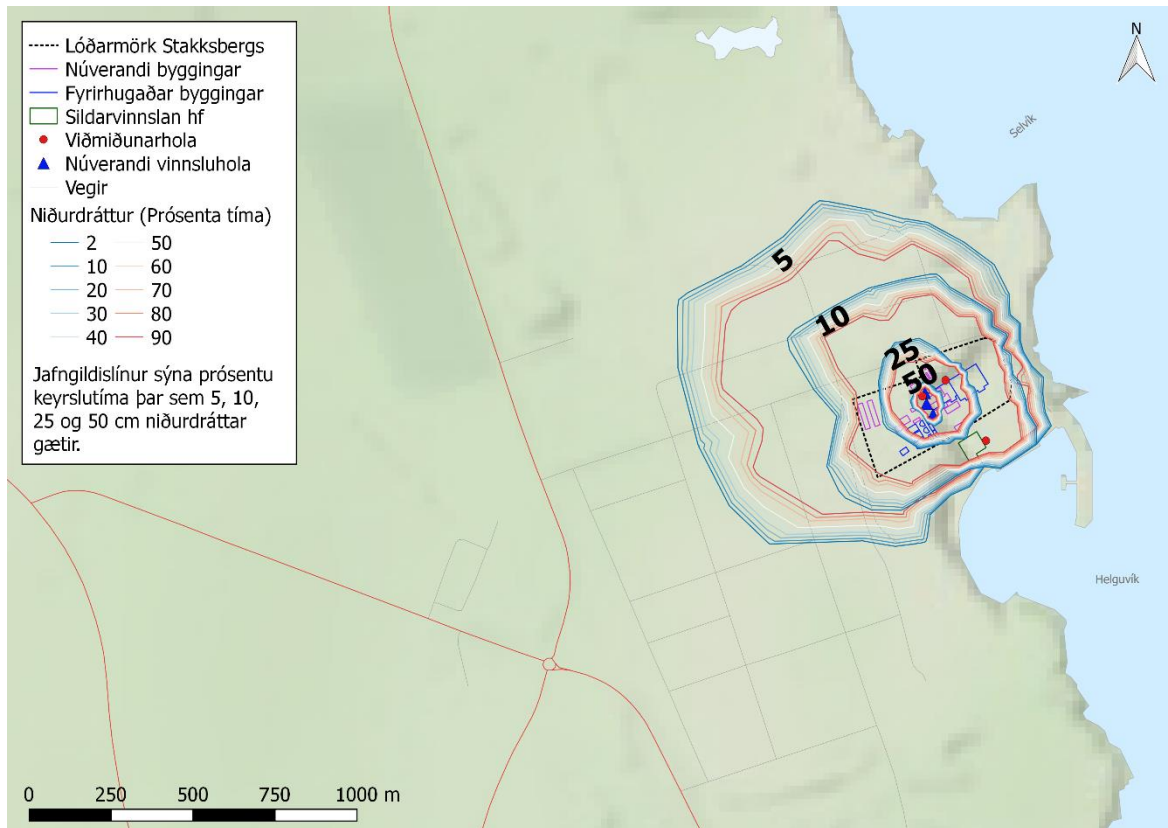




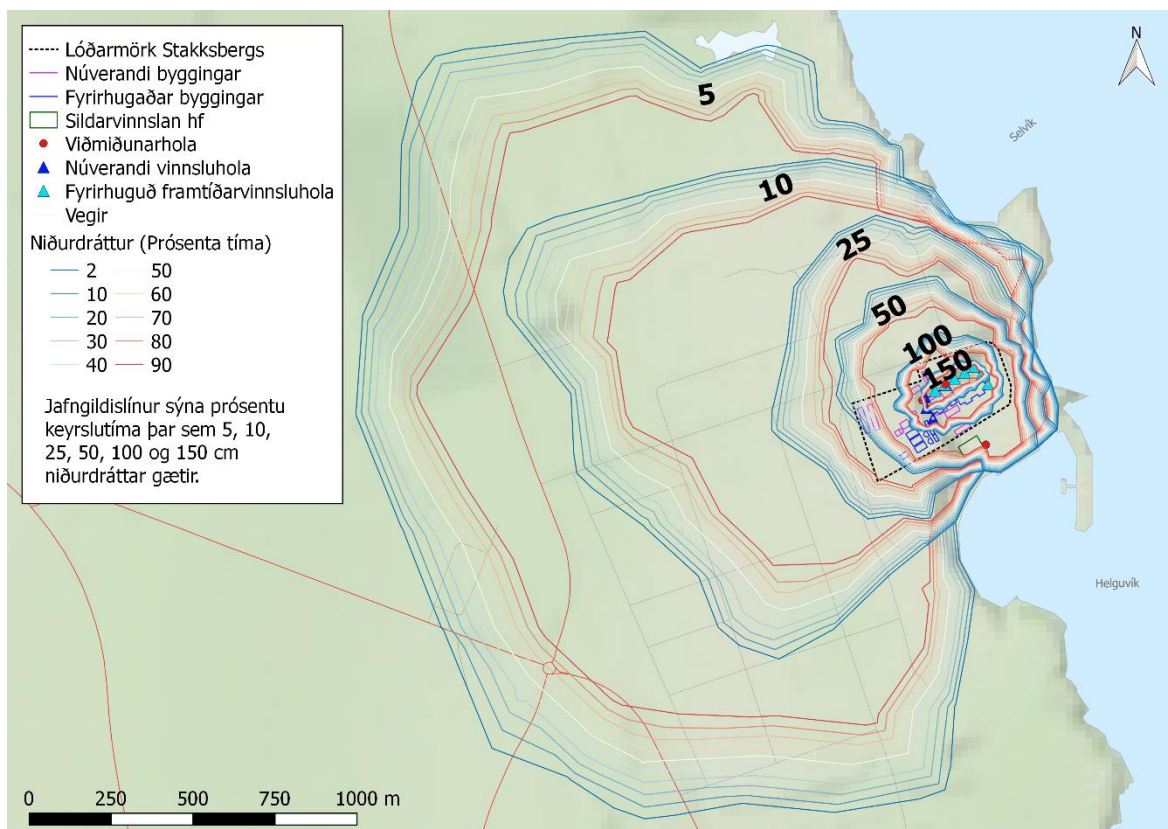
**Mynd 6.** Mæld og reiknuð grunnvatnshæð í holu HP-08 (viðmiðunarhola) á meðan dæluþrófinu stóð.



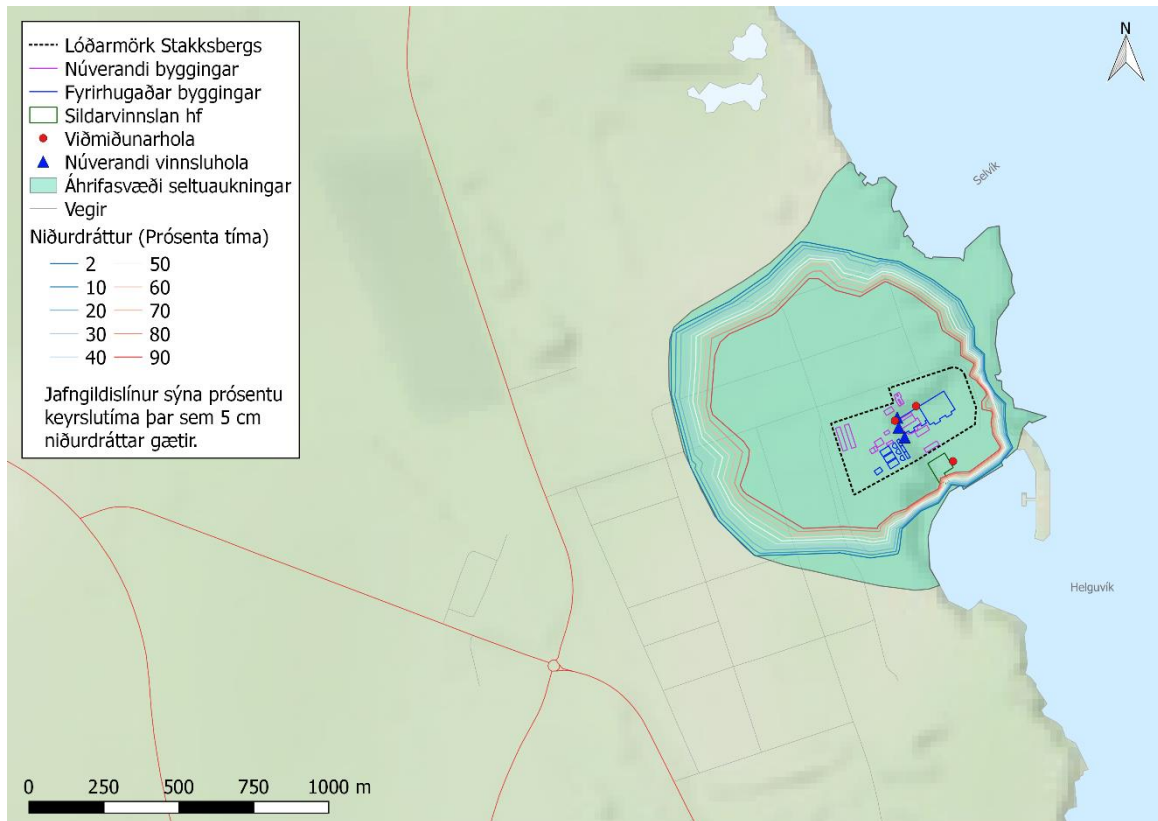
**Mynd 7.** Mæld og reiknuð grunnvatnshæð í holu HB-46 (viðmiðunarhola) á meðan dæluþrófinu stóð.



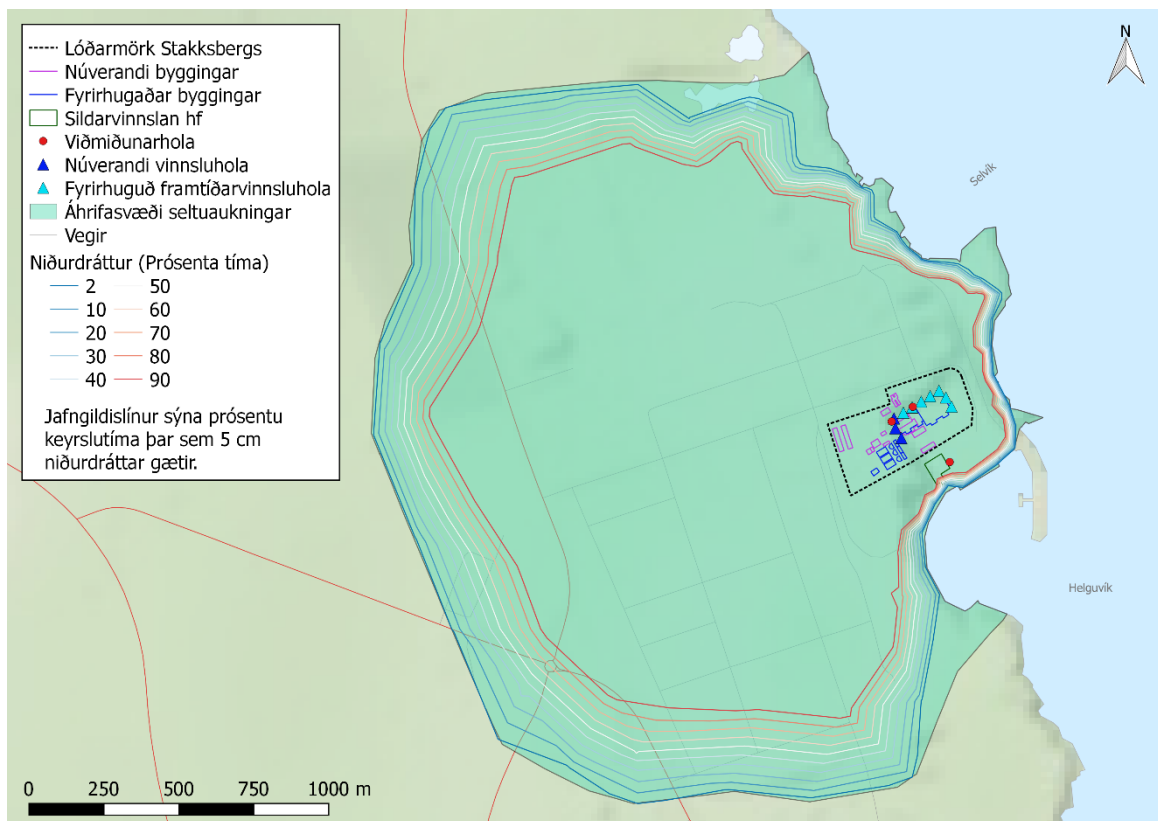
**Mynd 8.** Reiknaður niðurdráttur við vinnsluaukningu úr 0 m<sup>3</sup>/klst í 500 m<sup>3</sup>/klst (tilfelli 1).



**Mynd 9.** Reiknaður niðurdráttur við vinnsluaukningu úr 0 m<sup>3</sup>/klst í 2000 m<sup>3</sup>/klst (tilfelli 2).



**Mynd 10.** Áætlað áhrifsvæði aukinnar seltu í efsta hluta grunnvatnskerfisins við vinnsluaukningu úr 0 m<sup>3</sup>/klst í 500 m<sup>3</sup>/klst (tilfelli 1).



**Mynd 11.** Áætlað áhrifsvæði aukinnar seltu í efsta hluta grunnvatnskerfisins við vinnsluaukningu úr 0 m<sup>3</sup>/klst í 2000 m<sup>3</sup>/klst (tilfelli 2).

## Viðauki

Dæluþróf voru framkvæmd af Verkís á lóð Stakksbergs í Helguvík á tímabilinu 24. maí – 3. júní 2019. Öll gögn úr prófinu voru afhend Vatnaskilum og framkvæmdar voru eftirfarandi greiningar á þeim til stuðnings frekari líkangerðar og kvörðunar.

### Prepapróf 27. maí, hola HD-01

Prepapróf var framkvæmt í holu HD-01 þann 27. maí 2019. Prófið hófst með dælingu úr holunni kl. 10:58 og var aukið í skrefum þangað til kl. 12:58 að dælingu lauk. Niðurdráttur samhliða dælingunni var mældur í holunni sjálfri, HD-01, auk til viðmiðunar í nálægum holum HD-02, HD-03, HV-01, HP-08 og HB-46. Ákveðið var að notast eingöngu við niðurstöður úr HD-01 og HV-01 til frekari greininga til að fá sem áreiðanlegastar niðurstöður.

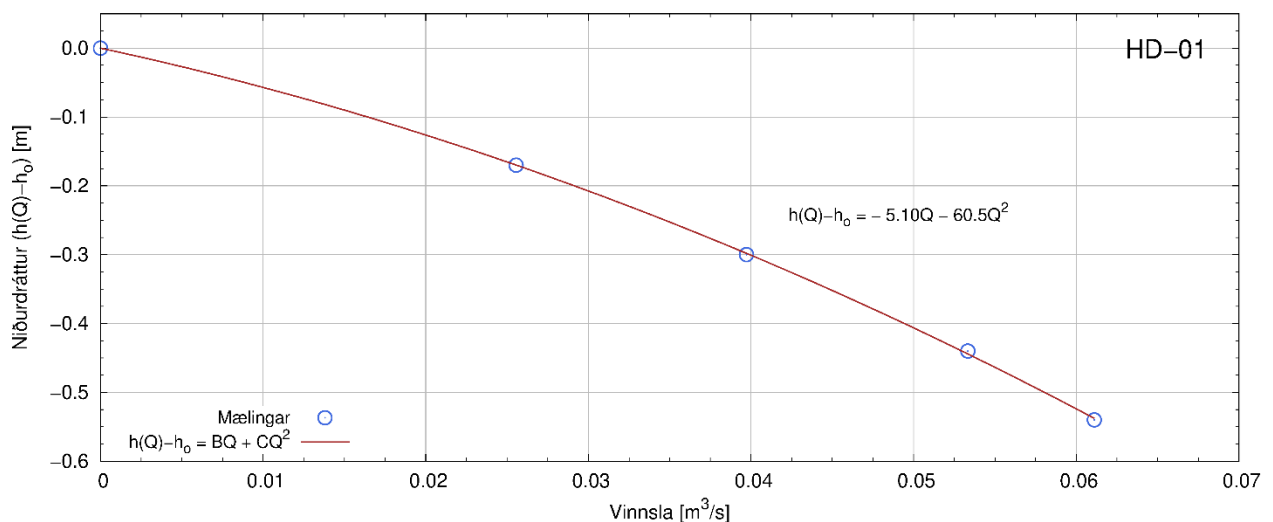
Fyrst var vatnsborðsbreytingin í holu HD-01 skoðuð með aðhvarfsgreiningu að afkastaferli holunnar:

$$s(Q) = B \cdot Q + C \cdot Q^2$$

þar sem:

s	niðurdráttur	[m]
B	lagstreymisstuðull	[m/(m <sup>3</sup> /s)]
C	iðustreymisstuðull	[m/(m <sup>3</sup> /s) <sup>2</sup> ]
Q	dæling	[m <sup>3</sup> /s]

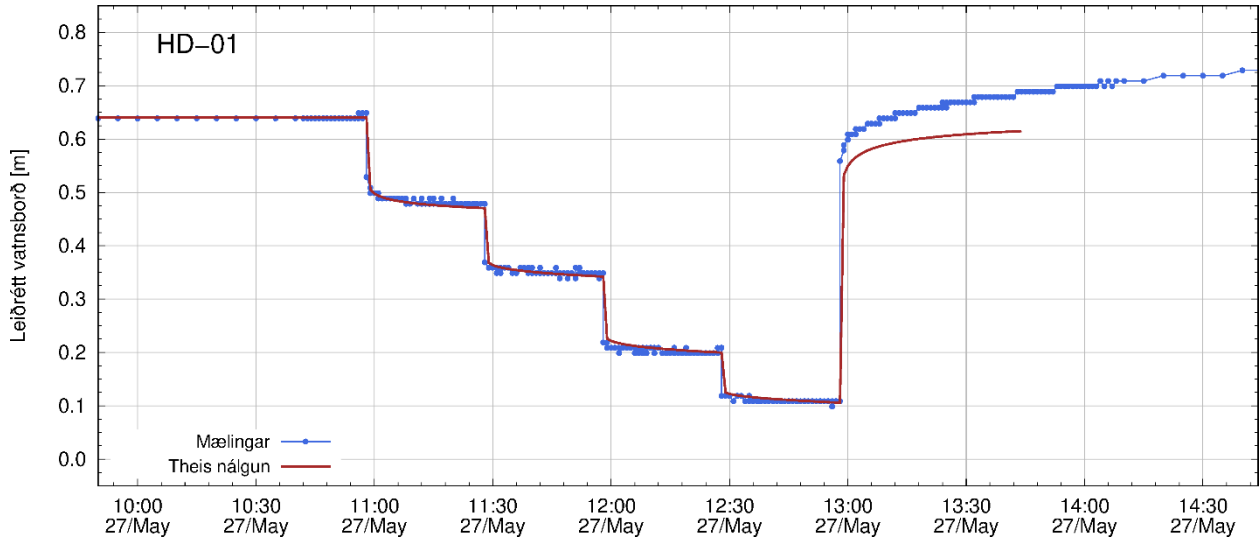
Niðurstöðurnar eru birtar á mynd 1. Líkt og myndin sýnir fékkst gott samræmi á milli mælinga og reiknaðs niðurdráttar. Lagstreymisstuðullinn er 5,10 [m/(m<sup>3</sup>/s)] og iðustreymisstuðullinn 60,5 [m/(m<sup>3</sup>/s)<sup>2</sup>].



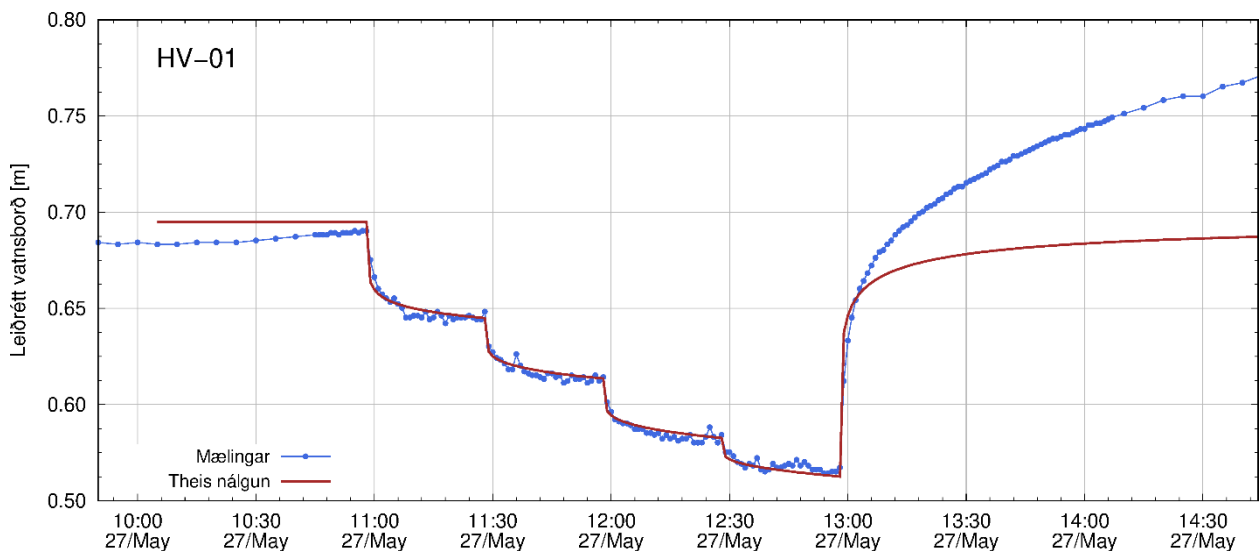
Mynd 1. Niðurdráttur í holu HD-01 samhliða aukinni dælingu úr holunni.

Einnig var vatnsborð í holum HD-01 og HV-01 skoðað sem fall af tíma á meðan prófinu stóð með því að reikna vatnsborð með línulegri samantekt Theis falla, auk viðbótarliðar fyrir iðustreymistap (CQ<sup>2</sup>) í holu HD-01. Niðurstöður þess má sjá á myndum 2 og 3. Hér ber þó að hafa í huga að sjávarfalla gætir

töluvert, sérstaklega undir lok prófsins og var því þeim hluta sleppt við greininguna. Skýrir það aukið misræmi á milli mældra og reiknaðra gilda undir lokin. Út frá þessum samanburði má finna gildi fyrir leiðni ( $T$ , transmissivity [ $m^2/s$ ]), geymslu ( $S$  [ ]) og iðustreymi í vinnsluholunni sjálfri ( $C$  ( $[m/(m^3/s)^2]$ )), sjá töflu 1. Niðurstöðurnar benda til að leiðni grunnvatnsleiðarans sé tiltölulega há á nærsvæði vinnsluholunnar HD-01 og að vatnsgæfni hennar sé góð. Niðurstöður úr HB-46 reyndist ekki unnt að greina á áreiðanlegan máta með þessari aðferðarfræði sökum fjarlægðar frá vinnsluholunni auk staðbundinna aðstæðna, þ.m.t. mikilla áhrifa frá sjávarföllum og áhrifa stálþils við hafnarbakkann.



Mynd 2. Vatnsborð í holu HD-01 (vinnsluholu) á meðan prófinu stóð, auk reiknaðs vatnsborðs.



Mynd 3. Vatnsborð í holu HV-01 (viðmiðunarholu) á meðan prófinu stóð, auk reiknaðs vatnsborðs.

**Tafla 1.** Reiknuð gildi leiðni, geymslu og iðustreymisstuðull fyrir holur HD-01 og HV-01.

	T [m <sup>2</sup> /s]	S [ ]	C [m/(m <sup>3</sup> /s) <sup>2</sup> ]
HD-01	0,20	1,00E-03	48,1
HV-01	0,37	1,01E-03	-

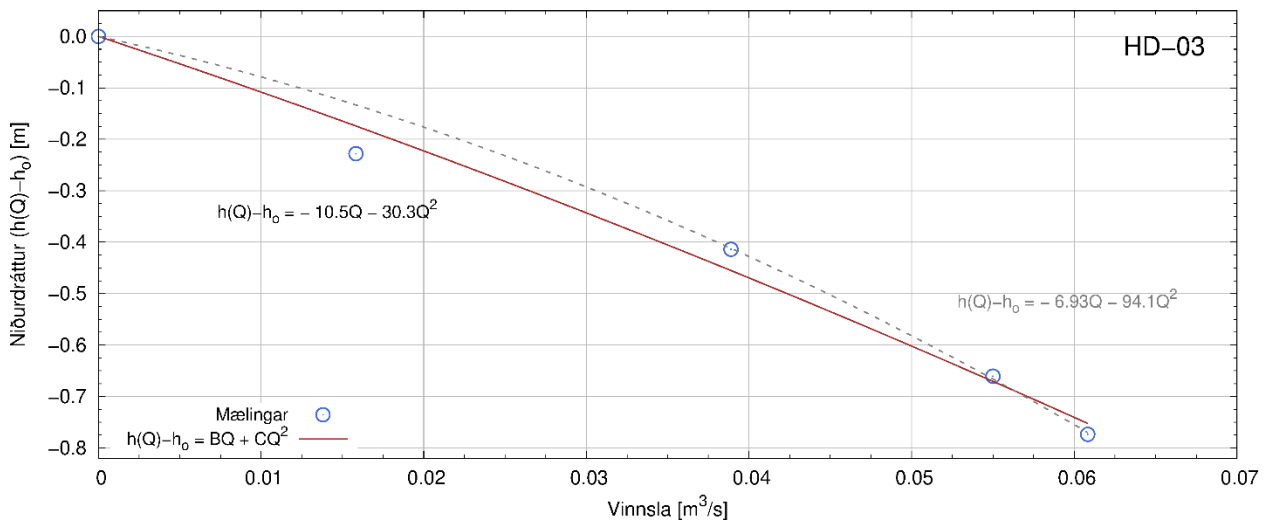
**Prepapróf 28. maí, hola HD-03**

Prepapróf var framkvæmt í holu HD-03 þann 28. maí 2019. Prófið hófst með dælingu úr holunni kl. 9:23 og var aukið í skrefum þangað til kl. 11:23 að dælingu lauk.

Samskonar aðferðafræði og fyrir fyrra prófið var beitt við úrvinnsluna. Í þessu tilfalli fékkst hins vegar ekki góður samanburður á milli mælinga og afkastaferils holunnar. Séu allir mælipunktarnir skoðaðir með aðhvarfsgreiningu þá bendir samanburðurinn til þess að annar mælipunkturinn (Q = 0,0165 m<sup>3</sup>/s) sé töluvert úr takti við hina og skapi umtalsverða skekkju í niðurstöðunum. Tafla 2 sýnir gildi lagstreymis- og iðustreymisstuðla fyrir holu HD-03 með og án punktsins, ásamt mati á skekkjugildi út frá aðhvarfsgreiningu. Mynd 4 sýnir samanburðinn við mælingar.

**Tafla 2.** Reiknuð gildi lagstreymis- og iðustreymisstuðla fyrir holu HD-03.

	B [m/(m <sup>3</sup> /s)]	C [m/(m <sup>3</sup> /s) <sup>2</sup> ]
Allir mælipunktar	10 ± 2	30 ± 44
Öðrum punkti sleppt	6,9 ± 0,3	94 ± 6



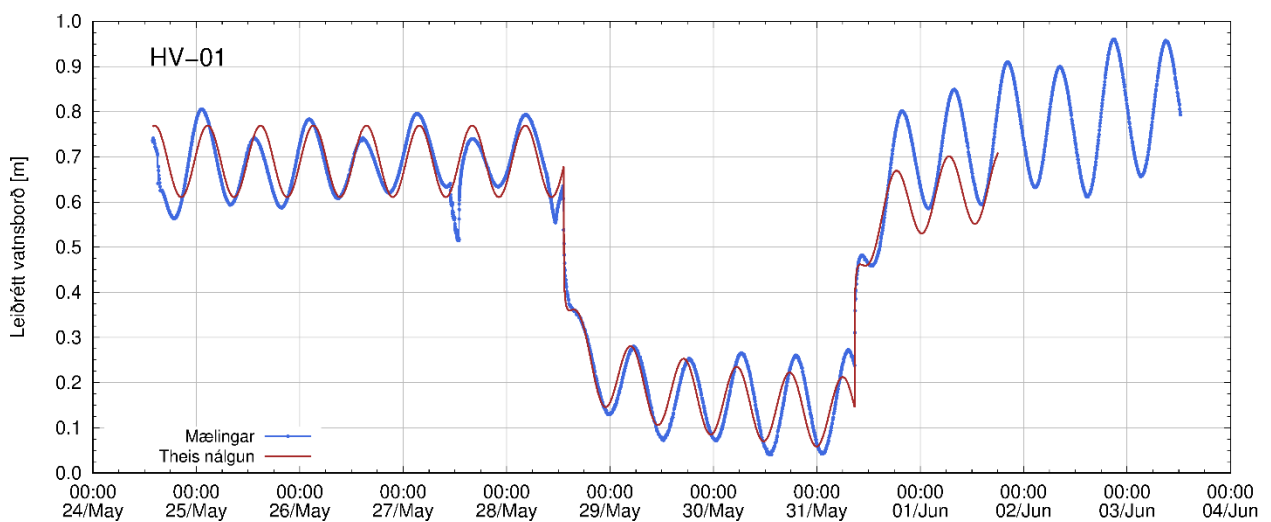
**Mynd 4.** Niðurdráttur í holu HD-03 samhliða aukinni dælingu úr holunni. Bláa línan er þegar allir mælipunktarnir eru notaðir. Gráa brotalínan er án annars punktsins (Q = 0,0165 m<sup>3</sup>/s).

Líklegt er að gildi iðustreymisstuðulsins liggja á milli 30 og 90 m/(m<sup>3</sup>/s)<sup>2</sup>, væntanlega nær 90, sem er töluvert hærra en í holu HD-01. Lagstreymisstuðullinn er ívið hærri en fyrir holu HD-01 sem bendir til að lektin sé lægri umhverfis HD-03 en HD-01 m.v. sömu þykkt af leiðara.

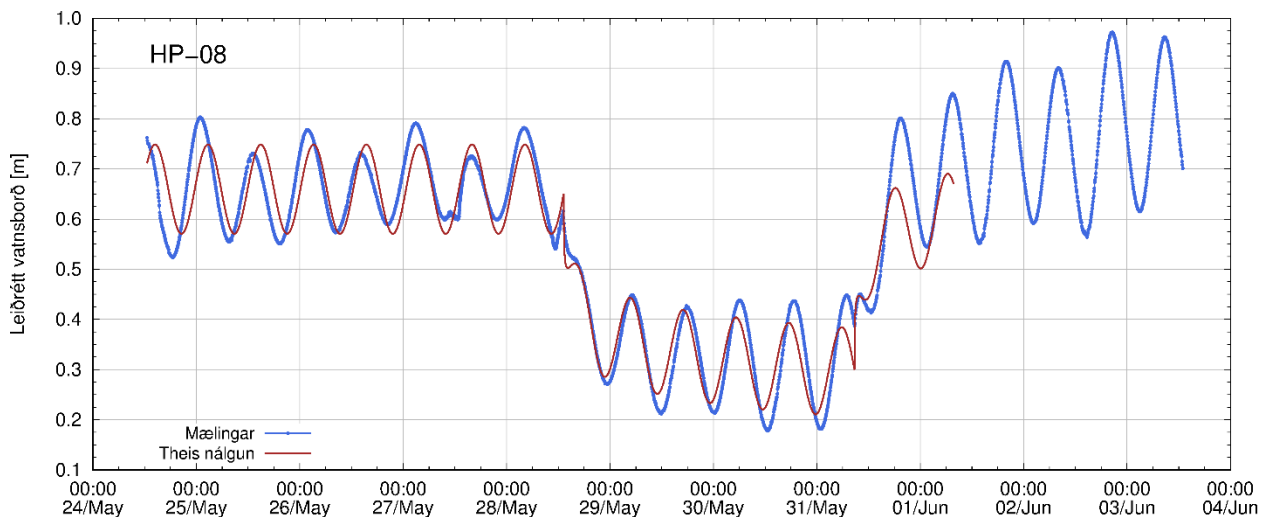
## Langtímadæling, 28. – 31. maí

Að lokum var dælt úr holum HD-01, 02 og 03, á fullum afköstum frá kl. 13:15 28. maí til kl. 8:45 31. maí. Heildarrenslið úr holunum þremur nam um 0,15 m<sup>3</sup>/s og breytingar í vatnsborði var mælt í nærliggjandi holum.

Við greiningu prófsins var vatnsborðið í viðmiðunarholunum HV-01, HP-08 og HB-46 sérstaklega skoðað og greint með línulegri samantekt Theis falla líkt og áður. Til einföldunar var gerð sú nálgun að vinnslan úr holunum væri föst í tíma, og jöfn úr hverri holu. Einnig var fyrri, skemmri prófum sleppt. Prófið stóð yfir í það langan tíma að ekki var hægt að horfa framhjá áhrifum sjávarfalla við greininguna. Sjávarföllin voru einnig mun sterkari eftir prófið en fyrir það. Niðurstöður fyrir HV-01 og HP-08 eru sýndar á myndum 5 og 6, sem og í töflu 3 sem tekur saman lekt og geymslu.



Mynd 5. Vatnsborð í holu HV-01 (viðmiðunarholu) á meðan prófinu stóð, auk reiknaðs vatnsborðs.



Mynd 6. Vatnsborð í holu HP-08 (viðmiðunarholu) á meðan prófinu stóð, auk reiknaðs vatnsborðs.



**Tafla 3.** Reiknuð gildi leiðni og geymslu fyrir holur HV-01, HP-08 og HB-46.

	T [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]	S [ ]
HV-01	0,24	1,57E-03
HP-08	0,28	2,56E-03
HB-46	0,8	

Niðurstöður langtímaprófsins eru í samræmi við bæði þrepaprófin og benda til að leiðni grunnvatnsleiðarans sé tiltölulega há á svæðinu. Leiðnigildi sem reiknast fyrir holu HB-46 er háð mikilli óvissu vegna sterkra áhrifa sjávarfalla, enda er hún næst strandlengjunni af þeim sem voru hluti af prófunum. Geymslustuðullinn reiknast á stærðargráðunni  $10^{-3}$ , bæði í þrepaprófi í HD-01, sem og í langtímaprófinu. Sé miðað við að grunnvatnsleiðarinn sé í velleku hrauni er það gildi u.þ.b. tveimur stærðargráðum lægra en einkennandi gildi fyrir opinn leiðara, þ.e.a.s. ekki undir þrýstingi (e. unconfined). Gildið er samt hærra en vanaleg gildi fyrir lokaðan leiðara, m.ö.o. leiðara undir þrýstingi (e. confined). Niðurstöðurnar benda því til að grunnvatnsleiðarinn á Helgúvíkursvæðinu sé að minnsta kosti að hluta til undir þrýstingi.