



# **Samspil grunnvatns og rennslis Tungnaár**

Snævarr Örn Georgsson



**Umhverfis- og byggingarverkfræðideild  
Háskóli Íslands  
2016**



# Samspil grunnvatns og rennslis Tungnaár

Snævarr Örn Georgsson

30 eininga ritgerð sem er hluti af  
*Magister Scientiarum* gráðu í umhverfisverkfræði

Leiðbeinendur  
Sigurður Magnús Garðarsson  
Andri Gunnarsson

Prófdómari  
Davíð Egilsson

Umhverfis- og byggingarverkfræðideild  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
Reykjavík, júní 2016

Samspil grunnvatns og rennslis Tungnaár  
30 eininga ritgerð sem er hluti af *Magister Scientiarum* gráðu í umhverfisverkfræði

Höfundarréttur © 2016 Snævarr Örn Georgsson  
Öll réttindi áskilin

Umhverfis- og byggingarverkfræðideild  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
Hjarðarhagi 2-6  
107 Reykjavík

Sími: 525 4700

Skráningarupplýsingar:  
Snævarr Örn Georgsson, 2016, *Samspil grunnvatns og rennslis Tungnaár*, meistararitgerð,  
Umhverfis- og byggingarverkfræðideild, Háskóli Íslands, 47 bls.

Prentun: Nón ehf.  
Reykjavík, júní 2016

# Útdráttur

Í þessu verkefni er fjallað um grunnvatn á vatnasviði Tungnaár og samspil þess við rennsli árinna. Rennsli Tungnaár var greint með aðfallsgreiningu og athugað hvort mögulegt sé að leggja mat á grunnvatnsforða árinna í rauntíma. Landsvirkjun hefur í mörg ár vaktað grunnvatnsstöðu á svæðinu og voru þær mælingar bornar saman við einangrað grunnrennsli Tungnaár. Niðurstöður sýndu að töluverð fylgni var við vatnshæð í Hraunvötnum og grunnvatn norðan þeirra sýndi meiri fylgni við Tungnaá heldur en við Þórisvatn. Þetta staðfestir áhrif grunnvatnsstrauma, austan og sunnan við Þórisvatn, á rennsli Tungnaár. Grunnvatn sýndi einnig góða fylgni við úrkomu á svæðinu á ársgrundvelli og grunnvatn austan Þórisvatn sýndi nokkra fylgni við jökulbráð af Tungnaárjökli. Aðfallsgreining á rennsli Tungnaár sýndi fram á hvernig afrennsli af vatnasviði Tungnaár er háttað og að áin sækir grunnvatn sitt í þrjá mismunandi grunnvatnsgeyma. Geymana þrjá er gengið á þegar rennsli árinna er á bilinu 60-89 m<sup>3</sup>/s, 40-59 m<sup>3</sup>/s og 30-39 m<sup>3</sup>/s. Algengast var að áin sótti rennsli sitt í miðgeyminn og helming vatnsára voru 5,5% eða færri dagar með rennsli á bilinu 30-39 m<sup>3</sup>/s. Slæm vatnsár áttu það sameiginlegt að yfir veturinn var hlutfall daga á bilinu 30-39 m<sup>3</sup>/s mun hærra en venjulega. Með vöktun á rennsli Tungnaár, sérstaklega á lágrennsli yfir vetrartímann, er hægt að áætla hversu djúpt í grunnvatnsgeyminn áin þarf að sækja rennsli sitt og hversu vel staddur grunnvatnsforði árinna er fyrir sumarið. Þar af leiðandi er hægt að taka upplýstari ákvörðun um raforkuframleiðslu og miðlun á vatnasviðinu áður en mikilvægast tími ársins til vatnssöfnunar gengur í garð.



# Abstract

This study focuses on ground water in the Tungnaá river basin and its interaction with the flow of the river. The flow of Tungnaá river was analyzed using a master recession curve and whether it is possible to assess the groundwater reserves of the river at the current time. Landsvirkjun has for years monitored the groundwater in the area and that data was compared with measurements of the isolated base flow of Tungnaá river. Results showed a significant correlation with the water level in the Hraunvötn lakes and groundwater north of them showed greater compliance with Tungnaá river than with lake Þórisvatn. This confirms the impact of groundwater currents east and south of lake Þórisvatn on the flow of Tungnaá river. Groundwater also showed good correlation with the rainfall in the region on an annual basis and groundwater east of lake Þórisvatn showed some correlation with meltwater runoff from Tungnaárjökull glacier. The master recession curve analysis of the flow of Tungnaá river shows how the drainage of the river basin behaves and how the river gets its base flow from three different aquifers. The three aquifers drain when the flow is 60-89 m<sup>3</sup>/s, 40-59 m<sup>3</sup>/s and 30-39 m<sup>3</sup>/s. The river typically gets its flow from the middle aquifer and half the of the years looked at had 5,5% or fewer days of flow in the range of 30-39 m<sup>3</sup>/s. Bad water years had it in common that during the winter, flow in the range of 30-39 m<sup>3</sup>/s was proportionally a lot more frequent than normally. By monitoring the flow of Tungnaá river, especially during minimum flow periods in the winter, it is possible to estimate which aquifer is supplying the river with its base flow and the present status of the groundwater reserves of the river before entering into the summer. Consequently, it is possible to make more informed decisions about electricity generation and transmission of the catchment before heading into the most important time of year for water collection.





# Efnisyfirlit

Myndir .....	viii
Töflur .....	x
Pakkir .....	xi
<b>1 Inngangur .....</b>	<b>1</b>
1.1 Hvati .....	1
1.2 Markmið .....	2
1.3 Bakgrunnur .....	2
1.3.1 Staðhættir .....	2
1.3.2 Raforkuframléiðsla í Tungnaá .....	4
1.4 Heimildarrýni .....	6
1.4.1 Grunnvatn .....	6
1.4.2 Þurrkar á Íslandi .....	11
1.5 Skipulag ritgerðar .....	14
<b>2 Aðferðarfræði.....</b>	<b>15</b>
2.1 Gögn .....	15
2.2 Grunnrennsli einangrað .....	17
2.3 Aðhvarfsgreining .....	19
2.3.1 Fylgni .....	19
2.4 Aðfallsgreining .....	21
2.4.1 Aðfallsferillinn .....	22
2.4.2 Áætlun á rúmtaki grunnvatnsgeymis .....	23
<b>3 Niðurstöður og umræður .....</b>	<b>25</b>
3.1 Grunnrennsli Tungnaár einangrað .....	25
3.2 Fylgni milli mælistaða.....	26
3.2.1 Mánaðarfylgni.....	26
3.2.2 Vatnsársfylgni.....	29
3.2.3 Breytingar um aldamótin .....	31
3.2.4 Seinkun á fylgni .....	33
3.2.5 Túlkun á fylgni.....	33
3.2.6 Samantekt á fylgni .....	37
3.3 Aðfallsgreining á Tungnaá .....	38
3.3.1 Áætlun á rúmtaki grunnvatnsgeymis .....	41
3.3.2 Grunnvatnsgeymar .....	41
3.3.3 Spágildi .....	44
<b>4 Samantekt.....</b>	<b>46</b>
<b>Heimildir .....</b>	<b>49</b>
<b>Viðauki A Fylgni milli mælistaða.....</b>	<b>53</b>

# Myndir

Mynd 1.1 Yfirborðsvatnasvið Tungnaár fyrir ofan rennismælinn við Maríufossa (Landsvirkjun, 2015a). .....	2
Mynd 2.1 Yfirlitskort af veður- og mælistöðvum sem notaðar voru. Á myndina vantar grunnvatnsholu V-2 sem staðsett er skammt NA við Kvíslavatn (Loftmyndir ehf., 2015). .....	17
Mynd 2.2 Myndræn útskýring á aðferð staðbundinna lággilda við að einangra grunnvatnsrennsli úr rennisliröð (Sloto & Crouse, 1996). .....	18
Mynd 2.3 HydroOffice greinir staka fallanda, bútar þá niður og raðar aftur saman til að mynda heilstæðan aðfallsferil (Gregor & Malík, 2012a). .....	22
Mynd 3.1 Mælt rennsli í Tungnaá og einangrað grunnrennsli árinna. ....	26
Mynd 3.2 Mánaðarfylgni milli vel valdra mælistaða, gögn fengin með handmælingum meðtalin. Tölur sýna fylgni ( $r^2$ ) og litir á hvaða bili fylgnin liggur. Myndin sýnir fylgni við einangrað grunnrennsli Tungnaár. (Loftmyndir ehf., 2015). .....	27
Mynd 3.3 Mánaðarfylgni milli vel valdra mælistaða, eingöngu gögn fengin með sírita. Tölur sýna fylgni ( $r^2$ ) og litir á hvaða bili fylgnin liggur. Myndin sýnir fylgni við einangrað grunnrennsli Tungnaár (Loftmyndir ehf., 2015). .....	28
Mynd 3.4 Vatnsársfylgni milli vel valdra mælistaða, gögn fengin með handmælingum meðtalin. Tölur sýna fylgni ( $r^2$ ) og litir á hvaða bili fylgnin liggur. Myndin sýnir fylgni við einangrað grunnrennsli Tungnaár (Loftmyndir ehf., 2015). .....	29
Mynd 3.5 Vatnsársfylgni úrkomu við aðra vel valda mælistaði. Eingöngu gögn fengin með sírita. Tölur sýna fylgni ( $r^2$ ) og litir á hvaða bili fylgnin liggur. Myndin sýnir fylgni við mælt rennsli Tungnaár (Loftmyndir ehf., 2015). .....	30
Mynd 3.6 Meðalvatnshæð nokkura mælistaða ásamt mældri jökulbráð af Tungnaárjökli. ....	31
Mynd 3.7 Jarðfræðikort af Tungnaá og nágrenni. Nútímahraun eru fjólublá og bleik, móberg frá ísöld er ljósbrúnt(eldra) og dökkbrúnt (yngra) og gróf gjóska á eldstöðvum er rauð (Jóhannesson, Jakobsson, & Sæmundsson, 1990). .....	38
Mynd 3.8 Aðfallsferill Tungnaár sýnir fallanda í rennsli eftir því sem lengra líður frá rennslistopp. ....	39

Mynd 3.9 Aðfallsferill Tungnaár. Lóðrétti ásinn er í log-skala og munurinn á mismunandi afrennsli sést vel. Blái liturinn er rennsli af yfirborði, sá rauði úr jarðvegi ofan grunnvatnsyfirborðs og sá græni er grunnvatnsrennsli.....	40
Mynd 3.10 Grunnvatnshluti aðfallsferils Tungnaár brotinn upp í þrjá geyma.....	42
Mynd 3.11 Rennslisbilin sem valin voru og hvar þau eru á aðfallsferli Tungnaár. Súlurnar og hægri ás sýna hlutfall daga innan vatnsárs sem lendar á samsvarandi bili.....	43
Mynd 3.12 Hlutfall daga hvers vatnsárs sem lendar innan ákveðins rennslisbils.....	43
Mynd 3.13 Hlutfall daga á tímabilinu okt - apríl sem lenda innan ákveðins rennslisbils.....	45

# Töflur

Tafla 1.1 Fjöldi þurrkatímabila á þrem stöðum á landinu á árunum 1949 til 1963 .....	12
Tafla 1.2 Úrkomulítil tímabil í Reykjavík af mismunandi lengd og hlutfall af meðalúrkomu.....	13
Tafla 2.1 Mælistaðir.....	15
Tafla 2.2 Veðurstöðvar.....	16
Tafla 3.1 Meðal ársúrkoma þriggja veðurstöðva á Íslandi fyrir og eftir 1998.....	32
Tafla 3.2 Innbyrðis mánaðarfylgni ( $r^2$ ) milli allra mælistaða, handmælingar meðtaldar. Græni liturinn táknar mikla fylgni og rauði liturinn litla fylgni. ....	34
Tafla 3.3 Úrkoma á veðurstöðvum í október - apríl veturinn 2013/2014 sem hlutfall af meðalúrkomu sama tímabils.....	41
Tafla 3.4 Hlutfall daga sem lentu innan ákveðins rennslisbils.....	42
Tafla A.1 Innbyrðis mánaðarfylgni milli allra mælistöðva, handmælingar meðtaldar.....	54
Tafla A.2 Innbyrðis mánaðarfylgni milli allra mælistöðva, án handmælinga. ....	55
Tafla A.3 Innbyrðis vatnsársfylgni milli allra mælistöðva, handmælingar meðtaldar.....	56
Tafla A.4 Innbyrðis mánaðarfylgni milli allra mælistöðva, án handmælinga. ....	57

# Þakkir

Ég vil þakka öllum sem hafa stutt mig við gerð þessa verkefnis og í gegnum mitt nám. Sérstakar þakkir fá foreldrar mínir fyrir þeirra stuðning og að hafa gert mér kleift að sinna náminu á mínum forsendum.

Leiðbeinendur mínir, Dr. Sigðurður Magnús Garðarsson frá HÍ og Andri Gunnarsson frá Landsvirkjun, fá einnig sérstakar þakkir. Hjálpuðu þeir mikið til við að beina verkefninu í rétta átt og hvernig best væri að vinna úr þeim gögnum sem ég hafði í höndunum. Landsvirkjun útvegaði öll helstu gögn sem notuð voru í þessu verkefni og hjá Veðurstofu Íslands fengust upplýsingar um úrkomu, þakka ég kærlega fyrir það.

Að lokum vil ég þakka samnemendum mínum, vinum og Auði Ernu Pétursdóttur fyrir að hafa gert háskólaárin að bestu árum ævi minnar hingað til.



# 1 Inngangur

Rennsli straumvatna á Íslandi hefur allt frá upphafi haft áhrif á líf Íslendinga, fyrst sem farartálmi og uppspretta drykkjarvatns og síðar meir sem orkugjafi. Flóð í straumvötnum hafa öllu jöfnu neikvæð áhrif á mannvirki og fólk í næsta nágrenni og því hefur mikið verið lagt í viðbúnað og þekkingu á flóðum. Lítið rennsli í ám hefur sjaldnar verið skoðað og hverjar helstu orsakir þess eru og hvort hægt sé að spá fyrir um það að einhverju ráði. Lítið rennsli og lélegur vatnsbúskapur hefur neikvæð áhrif á lífríki áa og nærliggjandi umhverfi. Landbúnaðarsvæði geta orðið illa úti og nú á síðari árum hefur raforkuframleiðsla orðið fyrir neikvæðum áhrifum vegna lítil rennslis í ám.

Rennsli áa samanstendur af nokkrum þáttum eins og úrkomu, snjóbráð og grunnvatni en það síðastnefnda hefur lítið verið skoðað hvað varðar samspil við rennsli straumvatna á yfirborðinu. Gljúpur berggrunnur gerir það að verkum að grunnvatn er á mikilli hreyfingu neðanjarðar og getur ferðast langar leiðir á bæði stuttum og löngum tíma. Eldfjallajarðvegur á virka gosbeltinu getur geymt óheyrilega mikið vatnsmagn neðanjarðar sem er mikilvægur vatnsforði straumvatna á svæðinu. Alls er talið að um 20% alls afrennslis á Íslandi komi úr grunnvatnsgeymum og að sama skapi um 20% raforku. Auk þess kemur um 95% alls drykkjarvatns á Íslandi úr grunnvatnsgeymum. Í heildina eru grunnvatnsmegin landsins yfir 1000 m<sup>3</sup>/s og eru sárafá lönd hlutfallslega auðugri hvað varðar grunnvatn (Egilsson, Stefánsdóttir, & Þórarinsdóttir, 2015).

Tungnaá á sunnanverðu hálendi Íslands er á virka gosbeltinu og með ríkan grunnvatnspátt í rennsli sínu. Tungnaá er einnig mikilvægur hlekkur í raforkuframleiðslu Íslendinga og því nauðsynlegt að þekkja hegðun vatns á vatnasviði árinna sem best. Helstu áhrifaþættir á rennsli Tungnaár eru grunnvatn, jökulbráð og úrcoma en samspil þessara þátta er flókið og getur verið breytilegt milli ára. Á þurrkatímabilum þegar rennsli er í lágmarki er það grunnvatnspátturinn sem er langstærsti þátturinn í rennsli árinna. Í þessu verkefni verður þetta samband Tungnaár við grunnvatnið á svæðinu skoðað betur, hvaða áhrif það hefur á rennsli árinna og hvort það hafi nokkuð spágildi um framtíðarrennsli í ánni.

## 1.1 Hvati

Raforkuframleiðsla í Tungnaá er stór hluti af heildarraforkuframleiðslu Landsvirkjunar og mikilvægur hlekkur í raforkukerfi Íslands. Breytingar og sveiflur í vatnsforða á vatnasviði Tungnaár geta haft mikil áhrif til hins verra líkt og gerðist árin 2013 og 2014 þegar lítið rennsli neyddi Landsvirkjun til að draga úr raforkuframleiðslu tímabundið og skerða raforkuafhendingu til stórnotenda. Þessi ár fór grunnvatnsstaða svæðisins niður í sögulegt lágmark sem og rennslið í Tungnaá. Samspil grunnvatns og yfirborðsrennslis er ekki vel þekkt og hefur lítið verið skoðað á Íslandi þar til á allra síðustu árum. Því er áhugavert að skoða mæligögn Landsvirkjunar sem spanna tugi ára og skoða fylgni á milli grunnvatnsyfirborðs og rennslis Tungnaár. Allt sem hjálpar til við að auka skilning á hegðun Tungnaár og hreyfingu á vatni innan vatnasviðsins stuðlar að betri stjórnun á raforkuframleiðslu og eykur afhendingaröryggi á raforku til notenda.

## 1.2 Markmið

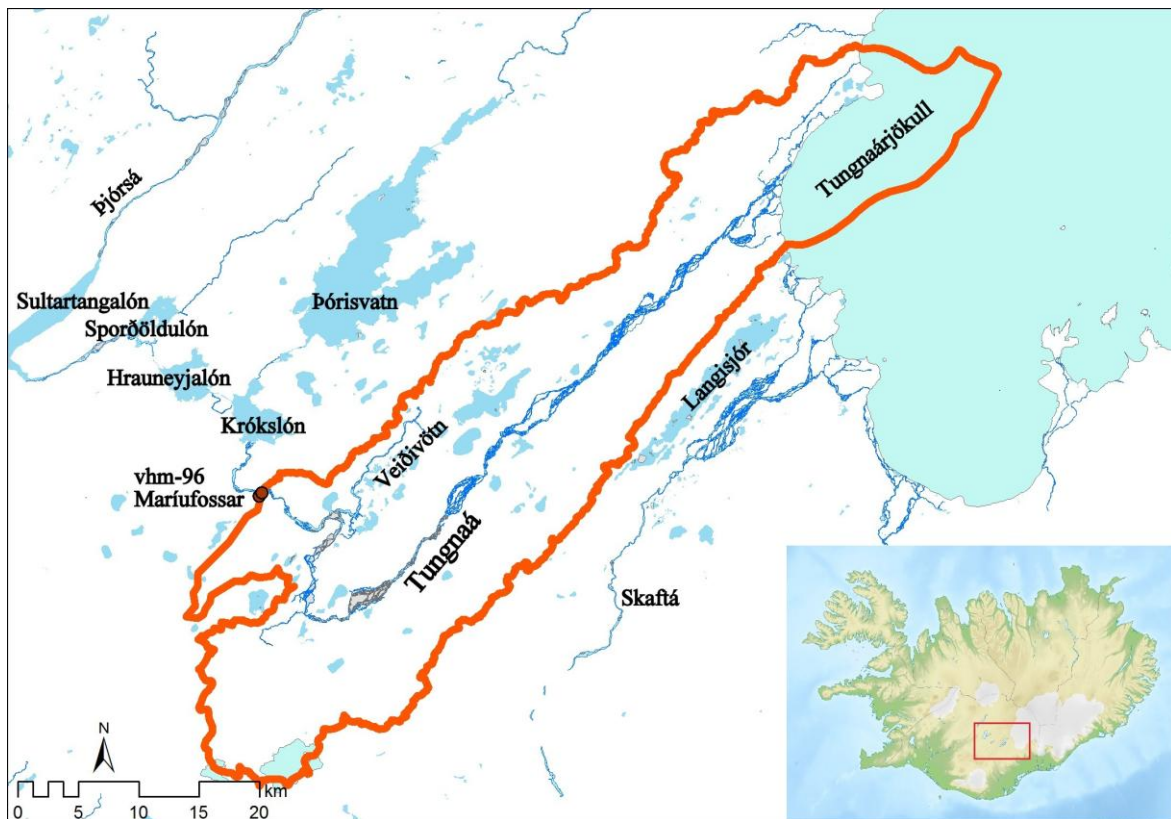
Í þessu verkefni verður rennslið í Tungnaá og samspil þess við grunnvatnið á vatnasviði árinna skoðað. Helstu markmiðin eru að greina:

1. Tengsl Tungnaár við grunnvatn á svæðinu og helstu áhrifaþætti á rennsli árinna.
2. Hvort hægt sé að nota gögn úr grunnvatns- og rennslismælingum til að meta grunnvatnsforða árinna í rauntíma.

## 1.3 Bakgrunnur

### 1.3.1 Staðhættir

Tungnaá á upptök sín í Tungnaárjökli, einum af helstu framhlaupsjöklum landsins, í vestanverðum Vatnajökli. Þaðan rennur Tungnaá um sunnanvert hálandi Íslands, milli Þórisvatns og Langasjós, þar til hún fellur í Sultartangalón og sameinast Þjórsá. Grunnvatn úr lindum og uppsprettum á þeirri leið leggur einnig til góðan hluta rennslisins í ánni. Fall Tungnaár á neðri hluta þessarar leiðar hefur verið virkjað að stóru leyti og er þar að finna vatnsaflsvirkjanirnar Sigöldustöð, Hrauneyjafossstöð og Búðarhálsstöð. Rennslismælir (vhm-96) í Tungnaá er staðsettur við Maríufossa, skammt ofan Krókslóns, og verður því áhersla lögð á að fjalla um vatnasvið Tungnaár þar fyrir ofan. Alls er vatnasvið Tungnaár fyrir ofan rennslismælinn 1130 km<sup>2</sup> (Gröndal, 2004) og þar af eru 121,8 km<sup>2</sup> á Tungnaárjökli sem nær upp í 1350 metra hæð yfir sjávarmál (Pálsson, 2014).



Mynd 1.1 Yfirborðsvatnasvið Tungnaár fyrir ofan rennslismælinn við Maríufossa (Landsvirkjun, 2015a).



Landsvæðið á vatnasviði Tungnaár eftir að hún kemur undan jökli er í um 500-650 metra hæð yfir sjávarmáli og einkennist af löngum gossprungum og móbergshryggjum sem rísa 100-400 metra yfir landið í kring. Hæsti punktur á svæðinu er Sveinstindur við Langasjó sem rís upp í 1090 metra hæð yfir sjávarmál. Á milli fjallgarða og gossprungna einkennist landið af stöðuvötnum eða straumvatni á sléttum sem þaktar eru hrauni eða sandi. Norðan Tungnaár og Veiðivatna eru miklar hraunbreiður og sandar sem þekja svæðið og er lítið um yfirborðsvatn. Er landið lítið gróið og er helst að vænta gróðurs í næsta nágrenni við þá fáu læki, ár og stöðuvötn sem finna má. Sunnan Tungnaár einkennist landið af miklum mosabreiðum sem þekja heilu fjöllin frá fjallsrótum upp á tind. Ástæða þessa mikla mosagróðurs, sem líklega er hvergi jafn ríkjandi á landinu, er samspil mikillar úrkomu og gegndræpi berggrunnins. Náttúrufegurðin á svæðinu er mikilfengleg og er svæðið vel sótt af ferðamönnun, jafnt innlendum sem og erlendum. Eldsumbrot hafa sett mikinn svip á landið í kringum Tungnaá og eru sex stórar jarðmyndanir í næsta nágrenni. Þar af eru þrjár þeirra, móbergshryggir milli Veiðivatna og Eldgjár, Veiðivatnagígar og Lakagígar með Skaftáreldahrauni, að öllum líkindum merkar á heimsvísu. Þó að Tungnaá sjálf renni ekki innan verndarsvæða þá rennur hún fyrst meðfram mörkum Vatnajökulsþjóðgarðs nálægt upptökum sínum og síðar eftir nyrðri mörkum Friðlands að Fjallabaki (Baldursson, Jakobsson, Magnússon, & Guðjónsson, 2006).

## Jarðfræði

Jarðfræði svæðisins er mótuð af eldvirkni á nútíma og nokkur af stærstu eldgosum á Íslandi í sögulegum skilningi hafa átt sér stað í nágrenni Tungnaár. Berggrunnur svæðisins einkennist af gosbergi úr löngum gossprungum frá síðasta hluta kvartertímabilsins. Er hann annars vegar móberg, sem myndast við gos undir jökli, og hins vegar hraun frá hlýindaskeiðum síðustu ísaldar og nútíma. Alls hafa 35 gosmyndanir frá nútíma verið greindar á svæðinu. Fyrir utan hraun og sanda sem þekja landið þá er einnig að finna á svæðinu mikil og þykk gjóskulög sem fallið hafa síðasta árpúsundið og á flatlendi getur þykkt laganna skipt metrum.

Næst Vatnajökli er jarðgrunnurinn mótaður af framrás jökulsins um aldamótin 1900 þegar jöklar á Íslandi náðu hámarki. Náði þá Tungnaárjökull alveg út í Langasjó en hefur síðan þá hopað um 2 km. Skildi jökullinn eftir sig leysingarúðning úr hnellingamöl og þar utan jökulárset sem Skaftá bar fram (Baldursson, Jakobsson, Magnússon, & Guðjónsson, 2006).

Lengra frá jöklinum, norðan Tungnaár og austan Þórisvatns, er stórt svæði þakið svokölluðu Veiðivatnahrauni. Hraunbreiðan nær alveg frá Tungnaá norður að Köldukvísl og umlykur nánast Gjáfjöll sem eru móbergsfjöll vestan Tungnaárjökuls. Meðalþykkt hraunbreiðunnar er um 50 metrar en nálægt móbergsfjöllum getur þykktin verið allt að 100 metrar. Alls er áætlað að rúmmál nútímahrauna milli Tungnaár og Köldukvíslar sé á bilinu 11-15 km<sup>3</sup> (Guðmundsson & Högnadóttir, 2002).

Næst Tungnaá og Þórisvatni eru móbergsfjöll og hryggir ráðandi í landslaginu. Rennur Tungnaá í suðvestur á milli Snjóöldufjallgarðs í norðri og Grænafjallgarðs í suðri áður en hún tekur stefnuna norður í Tungnaárkrók og fellur í Krókslón. Alls eru móbergshryggirnir á svæðinu taldir í tugum og hryggir þessir eru einstakir á heimsvísu. Lengd hryggjanna getur verið allt að 45 km og stefna þeir allir í nær sömu stefnu, suðvestur og norðaustur (Baldursson, Jakobsson, Magnússon, & Guðjónsson, 2006).

Efstu og yngstu jarðlög svæðisins eru að öllu jöfnu afar lek og því er grunnvatn og lindarvatn víða áberandi á svæðinu. Móbergshryggir svæðisins eru þó nokkuð þéttir og sést það best á því að grunnvatn á svæðinu stendur einna hæst í Langasjó. Langisjór liggur á milli tveggja móbergshryggja og er vatnsborð þess hærra en í Lónakvísl og Skaftá sem renna sitt hvoru megin við vatnið (Baldursson, Jakobsson, Magnússon, & Guðjónsson, 2006). Móbergshryggir svæðisins stýra því helstu grunnvatnsstraumum að því talið er og rennur vatn á svæðinu því að mestu í suðvestur milli hryggjana (Hjartarson, 1988). Grunnvatn spilar stóra rullu í rennsli Tungnaár og kemur það bæði úr lindum sunnan og norðan við ána. Að sunnan er stærst Lónakvísl sem á upptök í lindum sem spretta úr sandöldum undir Tungnaárfjöllum, því næst kemur Faxakvísl úr lindum í Faxasundum, svo Jökuldalakvísl og að lokum Jökulgilskvísl sem margir þekkja úr Landmannalaugum. Lindasvæðin í Grænafjallgarði, þar sem t.d. Lónakvísl og Faxakvísl eiga upptök sín, eru vatnsverndarsvæði ásamt lindasvæði í Tungnaárbotnum samkvæmt svæðisskipulagi miðhálandisins (Samvinnunefnd um svæðisskipulag miðhálandis Íslands, 1998). Að norðanverðu kemur Vatnakvísl út í Tungnaá við Vatnaöldur og er hún stærsta hliðará Tungnaár eftir að hafa safnað öllu lindarvatni úr veiðivatnaklasanum.

## Veðurfar

Úrkomusamt er á sunnanverðu hálandi Íslands. Ársúrkoma á Kirkjubæjarklaustri á árunum 1961-2012 var að meðaltali 1710 mm og þegar farið er lengra inn til landsins og upp á fjöll eykst úrkoman í 2000-3500 mm á ári (Veðurstofa Íslands, 2015a). Úrkoma minnkar þó aftur eftir því sem norðar dregur og regnskuggi Vatnajökuls nálgast. Tíðarfar er afar breytilegt milli ára og miklar sveiflur geta haft áhrif á jökulbráð sem skilar sér út í rennsli Tungnaár. Lítil úrkoma til langs tíma hefur að sama skapi áhrif á grunnvatn líkt og gerðist árin 2013 og 2014 þegar rennsli Tungnaár og grunnvatnsstaða svæðisins náði sögulegu lágmarki í kjölfar óhagstæðs tíðarfars og óvenju lítillar úrkomu.

### 1.3.2 Raforkuframleiðsla í Tungnaá

Tungnaá er búin að vera mikilvægur hlekkur í raforkuframleiðslu á Íslandi allt frá því að Landsvirkjun hóf raforkuframleiðslu í Búrfellsstöð í Þjórsá árið 1965 og síðar Sigöldustöð í Tungnaá sjálfri árið 1978. Alls eru sex vatnsaflsstöðvar á vatnasviði Þjórsár og Tungnaár og hefur rennsli í Tungnaá bein áhrif á fimm þeirra; Sigöldustöð, Hrauneyjafossstöð, Búðarhálsstöð, Sultartangastöð og Búrfellsstöð.

Eftir að Tungnaá hefur runnið til suðvesturs frá Tungnaárjökli tekur hún vinkilbeygju til norðurs rétt austan við Landmannalaugar og fellur inn í Krókslón. Krókslón er uppistöðulón Sigöldustöðvar og er 14 km<sup>2</sup> miðlunarlón. Hámarksrennsli í Sigöldustöð er 260 m<sup>3</sup>/sek en meðalrennsli til virkjunar er 154 m<sup>3</sup>/sek og skilar það uppsettu afl upp á 150 MW. Frárennsli Sigöldustöðvar fer beint út í Hrauneyjalón, 8,8 km<sup>2</sup> dægurmiðlunarlón Hrauneyjafossstöðvar. Hrauneyjarfossstöð var tekin í notkun árið 1981 og uppsett afl er 210 MW. Meðalrennsli til virkjunarinnar er það sama og í Sigöldustöð. Frárennsli Hrauneyjarfossstöðvar fer núna beint út í Sporðöldulón, uppistöðulón Búðarhálsvirkjunar sem var tekin í gagnið vorið 2014. Uppsett afl Búðarhálsstöðvar er 95 MW. Frá Búðarhálsstöð rennur vatnið úr Tungnaá út í Sultartangalón og sameinast þar Þjórsá. Sultartangastöð, sem hóf raforkuframleiðslu árið 1999, nýtir því bæði rennsli Tungnaár og Þjórsár og er uppsett afl 120 MW fyrir 316 m<sup>3</sup>/sek rennsli. Þar fyrir neðan er Búrfellsstöð með uppsett afl upp á 270 MW og enn neðar í Þjórsá eru áform um frekari vatnsaflstöðvar í framtíðinni. Alls eru þetta 845 MW sem rennslið í Tungnaá hefur bein áhrif á og eru það

tæp 45% af uppsettu vatnsaflí Landsvirkjunar sem er 1048,5 MW á landinu öllu. Til viðbótar við þessar vatnsaflstöðvar er Vatnsfellsstöð sem nýtir fall vatns úr Þórisvatni niður í Krókslón. Vatnsfellsstöð var gangsett árið 2001 og uppsett afl stöðvarinnar er 90 MW. Þórisvatn hefur þó verið nýtt fyrir vatnsmiðlun allt frá árinu 1972 þegar Kaldakvísl var stífluð við Sauðafell og veitt um veituskurð inn í norðanvert Þórisvatn. Kvíslaveita jók svo vatnsmiðlun á svæðinu enn frekar þegar framkvæmdum við síðasta áfanga lauk árið 1997. Kvíslaveita samanstendur í heildina af fimm lónum en þar er þverám og efsta hluta Þjórsár veitt í Þórisvatnsmiðlun. Að lokum var svo Hágöngumiðlun tekin í gagnið árið 1999 en hún miðlar vatni Köldukvíslar niður í Þórisvatnsmiðlun (Landsvirkjun, 2015b).

## Lítið rennsli í Tungnaá 2013 og 2014

Tungnaá er mikilvægur hlekkur í raforkuframleiðslu á Íslandi og hafði lítið rennsli árin 2013 og 2014 neikvæð áhrif á raforkuframleiðslu og afhendingaröryggi til stórnotenda. Tungnaá er jökulá með afar breytilegt rennsli eftir árstíðum. Á veturna er jökulbráð lítil sem engin og uppistaðan í rennsli árinna er lindarvatn. Á sumrin hinsvegar eykst rennsli árinna umtalsvert þegar jökulbráð af Tungnaárjökli skilar sér út í rennsli árinna og er miklu af því rennsli safnað saman í miðlunarlón til að viðhalda jafnri raforkuframleiðslu yfir vetrartímann.

Veturinn 2012 til 2013 var tiltölulega hlýr á landinu og á sunnanverðu landinu var veður lengst af hagstætt. Sérstaklega var hlýtt um miðjan vetur þegar sunnanáttir voru ríkjandi (Veðurstofa Íslands, 2013a) og var byrjun ársins sú hlýjasta sem mælst hefur á Suðurlandi frá upphafi mælinga (Veðurstofa Íslands, 2013b). Við þessi miklu hlýindi tók upp svo gott sem allan snjó og urðu miklar leysingar á vatnasviði Tungnaár. Við tók kalt og þurrt vor og var frost í maímánuði meira en áður hefur mælst (Veðurstofa Íslands, 2014). Það var því nánast enginn snjóforði til staðar þegar loksins tók að hlýna og vorflóð voru lítil sem engin. Á þessum tímamarki var staða miðlunarlóna Landsvirkjunar slæm og þurfti að leita aftur til ársins 1999 til að finna lægri vatnsstöðu í Þórisvatni. Staðan var sérstaklega slæm á Norður- og Austurlandi og þurfti Landsvirkjun að draga úr raforkuframleiðslu í Fljótisdalsstöð og Blöndustöð. Á móti var raforkuframleiðsla aukin á vatnasviði Þjórsár og Tungnaár og óskað var eftir því að álver Alcoa Fjarðaráls á Reyðarfirði drægi tímabundið úr orkunotkun (Landsvirkjun, 2013). Jökulleysing á Tungnaárjökli hófst í júní og stóð fram í miðjan ágúst. Sumarið 2013 var nokkuð kalt og þurrt og afrennsli af jökli var undir meðallagi. Við upphaf vetrar vantaði 600 GJ í vatnsmiðlanir Landsvirkjunar (Landsvirkjun, 2014). Haustið var kalt á vatnasviði Þjórsár og Tungnaár og innrennsli til miðlana Landsvirkjunar var undir meðaltali fram eftir vetri. Við upphaf árs 2014 var vatnsstaða í miðlunum Landsvirkjunar sú lægsta sem mælst hafði síðan árið 1998 og fyrstu tvo mánuði ársins var úrkoma á vatnasviði Þjórsár og Tungnaár sú minnsta sem mælst hafði frá upphafi mælinga. Grunnvatnsstaða svæðisins fór ört lækkandi og í byrjun apríl var Þórisvatn nálægt því að tæmast og rennsli í Tungnaá var komið niður fyrir sögulegt lágmark. Þann 20. febrúar hófst takmörkun afhendingar á skerðanlegri orku til stórnotenda og 1. mars hjá kaupendum orku til húshitunar. Fyrstu takmörkunum var aflétt í lok apríl og þann 7. maí var öllum takmörkunum endanlega aflétt. Vorið 2014 var nálægt meðallagi hvað varðar hita og úrkomu og sumarið var rigningasamt sunnanlands og innrennsli í miðlunarlón Landsvirkjunar yfir meðallagi. Við þetta batnaði vatnsstaða á svæðinu ört og um miðjan október vantaði aðeins 24 cm upp á að Þórisvatn fylltist. Alls var innrennsli til miðlunarlóna Landsvirkjunar vatnsárið 2013-2014 um 7% undir meðaltali síðustu 10 vatnsára á undan (Landsvirkjun, 2015c).

## 1.4 Heimildarrýni

Í heimildarrýninni er fjallað almennt um grunnvatn og tekin saman helstu atriði í nýtingu þess á Íslandi. Því næst er fjallað um fyrri rannsóknir á grunnvatni á Íslandi. Farið yfir valdar rannsóknir af landinu öllu áður en vatnasvið Tungnaár er tekið sérstaklega fyrir. Að lokum er farið yfir þurrka á Íslandi og fjallað um alvarleika þeirra og hvar og hvenær þeirra megi vænta.

### 1.4.1 Grunnvatn

Samkvæmt grunnvatnsrannsóknarmiðstöð Sameinuðu Þjónaðanna, IGRAC, er skilgreiningin á grunnvatni sú að allt vatn sem finnst neðanjarðar, neðan þeirrar línu þar sem jarðvegurinn verður vatnsmettaður, er grunnvatn. Í öðrum orðum er allt holrými jarðvegsins fullt af vatni (IGRAC, 2015). Af öllu vatni á jörðinni er ferskvatn einungis 3% og þar af eru 2,5% frosin í jöklum og á heimskautnum. Eftir situr hálf prósent sem er að langmestu leyti grunnvatn neðanjarðar. Einungis eitt prósent af ferskvatni jarðar finnst ofanjarðar í ám, stöðuvötnum og formi rigningar. Grunnvatn er því afar mikilvægt fyrir mannkyn allt og er það 50% af öllu drykkjarvatni í heiminum (WBCSD, 2005). Hér á Íslandi er áætlað að 95% alls neysluvatns sé grunnvatn og er það öllu jöfnu ómeðhöndlað sökum hreinleika (Gunnarsdóttir, Garðarsson, & Bartram, 2015). Grunnvatnsrennsli og hreinleiki grunnvatns hefur því töluvert verið skoðað þegar kemur að neysluvatni og vatnsbólum í byggð. Einnig hefur grunnvatn nokkuð verið rannsakað í tengslum við jarðgangagerð á Íslandi en þær rannsóknir eru af allt öðrum toga og verður ekki fjallað um þær hér. Það sama má segja um rannsóknir um áhrif jarðvarmavirkjana á grunnvatn. Áhrif grunnvatns á yfirborðsrennsli og aðrar grunnvatnsrannsóknir á hálendi Íslands hafa helst verið framkvæmdar í tengslum við virkjunaframkvæmdir vatnsaflstöðva (Sigurðsson F. , 1992). Lítið hefur þó verið skoðað hvaða áhrif grunnvatn hefur á lágmarksrennsli þar sem þurrkar hafa sjaldan verið vandamál og ekki oft sem þeir eru nógu langvinnir til að hafa teljandi árif á grunnvatnsstöðu stórra svæða (Jónsson, 2009a).

Við gerð rammaáætlunar um nýtingu vatnsafls og jarðvarma á Íslandi var farið í að flokka vatnsföll á Íslandi, hvernig þau bregðast við úrkomu og miðla henni. Vatnsföll eru venjulega flokkuð í þrjá flokka, jökulár, dragár og lindár, eftir uppruna vatnsins og rennlisháttum ána. Í þessari flokkun var lindám, ám sem eiga upptök sín í grunnvatni, skipt í þrjá flokka (Sigurðsson, Jónsdóttir, Halldórsdóttir, & Jóhannsson, 2006);

- Stöðug lindavötn: Sveiflur á grunnvatnsrennsli eru nauðalítlar. Vatnasvið þessa áa eru venjulega stór og er framrennslistími langur, allt upp í ár eða áratugi. Grunnvatnið hefur runnið langar leiðir neðanjarðar og mögulega á miklu dýpi, svo að getur numið tugum eða hundruðum metra.
- Lindavötn með árssveiflu: Grunnvatnsrennsli til ána er að öllu jöfnu mest á vorin og að sumarlagi þegar snjóbráðar gætir og úrkoma er í fljótandi formi (regn). Vatnasvið ána eru smærri og grunnvatnið rennur ekki ekki jafn langa vegalend og er framrennslistími ríkjandi hluta grunnvatnsins talinn í mánuðum. Grunnvatnið hefur ekki farið jafn djúpt og kemur að miklu leyti úr lausum yfirborðslögum, setlögum eða jarðvegi. Árstíðarsveiflu gætir í rennsli og getur hún orðið töluverð.
- Sveiflakennd lindavötn: Miklar sveiflur á rennsli yfir allt árið og fylgja þær að mestu úrkomu (rigningu) og snjóbráð. Vatnasvið er lítið og nemur framrennslistími grunnvatnsins aðeins dögum eða vikum. Grunnvatnið kemur yfirleitt úr

yfirborðspekjum lausra jarðlaga og eitthvað úr efsta, upplosnaða hluta berggrunnins. Þetta vatn birtist sem lindavætl eða seytl úr jarðvegi og er yfirleitt ekki flokkað með hreinum lindám sökum skorts á stöðugu rennsli. Þó getur munað um þetta rennsli við að viðhalda lágmarksrennsli í vatnsföllum.

Alls er talið að um fimmtungur alls afrennslis á Íslandi eigi upptök sín að rekja til lindasvæða. Þetta jafna rennsli yfir allt árið í lindám gerði það að verkum að fyrstu stóru vatnsaflsvirkjanir á Íslandi voru í Soginu og Laxá í Þingeyjarsýslu, tveim af vatnsmestu bergvatnsám landsins. Báðar þessar ár eru lindár með stöðugt rennsli og var miðlunarþörf lítil sem engin (Sigurðsson F. , 1992). Þær eiga það þó sameiginlegt að eiga upptök sín í stórum stöðuvötnum sem hægt var að nota sem náttúruleg miðlunarlón. Alls voru gerðar sex virkjanir, þrjár í hvoru vatnsfalli, á árunum 1937-1973 (Sigurðsson H. M., 2002). Sogið á upptök sín í Þingvallavatni en það fær nánast allt sitt innstreymi frá grunnvatni sem streymir í gegnum uppstrettur á botni vatnsins. Þetta stöðuga og jafna rennsli allan ársins hring gerði raforkuframleiðslu í Soginu einkar hentuga þar sem afhendingaröryggi á raforku var hátt og náttúrulegt miðlunarlón til staðar í Þingvallavatni. Sama er uppi á teningnum í Þingeyjarsýslu, þar sem Laxá fær allt sitt rennsli úr Kráká og Mývatni. Mývatn fær svo gott sem allt sitt innrennsli úr grunnvatnsstraumum sem streyma inn í það undan hraunbreiðum sem umlykja vatnið. Koma stærstu straumarnir undan hraunbreiðum á hálendinu sunnan við vatnið. Kráká er svo lindá sem kemur undan Ódáðahrauni skammt sunnan við Sellandafjall og fellur í Laxá rétt neðan útfalls Laxár úr Mývatni (Ólafsson, 2013). Lengi vel voru stærstu virkjanir landsins í Soginu eða allt þar til fyrsta stórvirkjun landsins, Búrfellsvirkjun í Þjórsá, var gangsett árið 1969 (Sigurðsson H. M., 2002).

## Grunnvatnsrannsóknir á Íslandi

Að áætla magn grunnvatns innan ákveðins svæðis er flókið og krefst mikillar þekkingar á jarðfræði svæðisins. Grunnvatnsstreymi í gegnum jarðveg stjórnast af tíma- og rúmmálsbreytum rennslisins, lekt og öðrum eiginleikum jarðvegsins og jaðarskilyrðum svæðisins. Streymi grunnvatns í gegnum jarðveg er þrívítt, það er það getur flætt í allar áttir sem og upp og niður. Oft er þó kerfið einfaldað í tvívítt eða einvítt líkan til að auðvelda útreikninga (Viessman Jr. & Lewis, 2003). Grunnvatn getur ferðast töluvert neðanjarðar ef aðstæður eru fyrir hendi. Hraunlög eru afar lek jarðlög sem hér á Íslandi liggja oft í stöflum ofan á hvert öðru. Á milli þessara laga er auðvelt fyrir grunnvatn að renna og fylgja grunnvatnsstraumar hraunlögum oft um langa vegu (Sigurðsson F. , 1997a). Hæðarlega landsins hefur áhrif á grunnvatnsyfirborðið og í lágpunktum þar sem landslag liggur neðan þess yfirborðs myndast tjarnir og stöðuvötn. Þar sem landslag hallar niður fyrir grunnvatnsyfirborð eða þéttur jarðvegur stoppar streymið seytlar vatn út í lindum og myndar læki og ár á yfirborðinu. Grunnvatn ferðast einkum eftir lekum berglögum í efsta hluta berggrunnins eða eftir sprungum sem geta náð dýpra niður í eldri og þéttari lög berggrunnins. Undan leku jarðlögunum kemur lindavatn oft fram á mörgum stöðum og hafa þessi lindavötn oft stuttan framrennslistíma. Því eru oft ársveiflur í þessum lindavötnum sökum aukins sumarrennslis þegar snjóbráð skilar sér í grunnvatnið. Lindavötn sem koma úr sprungum koma fram á afmörkuðu svæði og er rennslið allajafna stöðugt þar sem sprungurnar ná djúpt niður fyrir grunnvatnsyfirborðið og hafa því greiðan aðgang að ófrosnu vatni allan ársins hring (Sigurðsson F. , 2004).

Til að meta þátt grunnvatnsrennslis í ám eru gerðar rennslismælingar á lindum sem sjá ánum fyrir vatni. Í ám þar sem uppruni vatnsins er blandaður þá er lindarrennslið yfir veturinn jafnan lágmarksrennsli ána. Mælt lindarrennsli er þó ekki algilt til að finna út

lágmarksrennsli jökuláa því sjaldan eru aðstæður þannig að ekkert annað en grunnvatn á vatnasviðinu renni til ána. Að sama skapi geta ístruflanir í farvegum áa orsakað tímabundið lágmarksrennsli sem er lægra en grunnvatnsrennsli til ána. Einnig er hægt að meta grunnvatnsrennsli út frá úrkomu, snjóbráð, lekt jarðlaga, þykkt veita og öðrum vatnajarðfræðilegum gildum ef þau eru þekkt. Líkan sem spáir fyrir um rennsli er fullkomnast en að sama skapi flókið og háð hversu vel breytur eru þekktar (Sigurðsson F. , 2004).

Uppruna lindavats er hægt að finna út með því að efnagreina lindavatnið og bera saman við möguleg upptök. Ítarlegar rannsóknir fóru fram á uppruna lindavats í Landbroti og Meðallandi sem sprettur undan Eldhrauni, Botnahrauni og Landbrotsbrauni. Hraun þessi eru afar grjúp og rennur mikið vatn í gegnum þau. Magn lindavatsins sem sprettur undan hraununum hefur verið metið um 40 m<sup>3</sup>/s og er það mun meira vatnsmagn en úrkoman sem á þau fellur. Skaftá og Eldvatn renna ofarlega meðfram þessum hraunum og vatn úr þeim síast inn í hraunin og viðheldur þessu mikla grunnvatnsrennsli. Efnagreining og rennislismælingar sýndu að rennslistími vatnsins í gegnum hraunin var allt frá einum mánuði í lindum ofarlega í hrauninu upp í fjóra mánuði fyrir vatn sem kom upp í lindum neðarlega í hrauninu. Reyndist uppruni lindavatsins vera aðallega af þrennum toga (Sigurðsson F. , 1997a);

- Úrkoma: Einkenni úrkomuvats við efnagreiningu var mikill styrkur klóríðs en lítil styrkur súlfats.
- Hlaupvatn úr Skaftá: Vatn sem kemur fram við Skaftárhlaup og fer út á hraunin. Auðugt af súlfati en snautt af klóríð.
- Lekavatn úr Skaftá: Vatn úr Skaftá sem síast í hraunin hverju sinni. Fjölbreytt efnasamsetning á vatninu. Breytilegt eftir veðurfari og árstíðum og stjórnast af áhrifaþáttum sem mynda rennsli Skaftár eins og úrkomu, jökulbráð, leysingavatni og grunnvatni.

Nokkuð ítarlegt yfirlit um grunnvatn norðan Hofsjökuls var gefið út árið 2004 af Orkustofnun. Rannsóknir fóru fram á árabílinu 1984 - 1997 og voru hluti af undirbúningsvinnu fyrir vatnsaflsvirkjanir á vatnasviði jökulsána í Skagafirði sem þá voru á forathugunarstigi. Heildar lindavatsrennsli á vatnasviðunum var metið um 30 m<sup>3</sup>/s að vetrarlagi þegar rennsli er í lágmarki og kom það að mestu úr lekum berglagastöflum og sprungusvæðum, lekum móbergsfjöllum og vel lekum basaltlagastafla. Gerðar voru mælingar á grunnvatnsyfirborði í 15 borholum á svæðinu og sýndu niðurstöður úr þeim mælingum að töluverð sveifla var á hæð grunnvatnsyfirborðsins, iðulega 2-6 metrar. Frost í jörðu gat haft töluverð áhrif á hæð grunnvatnsins og haldið uppi hárrí grunnvatnsstöðu langt fram eftir sumri. Dæmi voru um að grunnvatnsyfirborð féll 10 metra undir haust þegar klakalag djúpt í jörðu þiðnaði. Niðurstöður efnagreiningar sýndu að uppruni lindavats væri að mestu leyti stað- og svæðisbundin úrkoma en að hluta til vatn sem kæmi frá Hofsjökli. Notaðar voru fjórar aðferðir til að meta grunnvatnshagi á svæðinu (Sigurðsson F. , 2004);

- Mælingar á lindarennslí: Ónákvæmt þar sem rennsli getur breyst, þarf að mæla reglulega til að fá gott yfirlit. Einnig er erfitt að finna allar lindir og uppsprettur og verður alltaf e-ð útundan. Þessi aðferð leiðir til lágmarksgildis fyrir grunnvatnsrennsli.

- Afkomureikningar: Írennsli til grunnvatns er fundið með því að finna mismun á úrkomu og afrennsli á yfirborði. Allar vatnafræðilegar stærðir, t.d. snjór og afkoma af jökli, þurfa að vera vel þekktar. Úrkoma er yfirleitt vanmetin og erfitt er að rennismæla allt yfirborðsrennsli á svæðinu. Því leiðir þessi aðferð til hámarksgildis fyrir írennsli til grunnvatns.
- Írennslismat: Mat lagt á írennsli til grunnvatns og afrennsli af yfirborði út frá vatnafari og ástandi yfirborðs. Írennslið er fundið út með því að meta írennslisstuðul afmarkaðs svæðis og úrkomu.
- Grunnvatnsreikningar: Líklegt grunnvatnsrennsli er fundið út með mati á lekt jarðlaga, þykkt veita og öðrum vatnafræðilegum breytum í jarðveginum og berggrunninum. Líkan sem spáir fyrir um rennsli er fullkomnast en að sama skapi flókið og háð hversu vel breytur eru þekktar.

Grunnvatnsstraumar hafa verið skoðaðir í Þjórsárverum í tengslum við rannsóknir á lífríki og mögulegum virkjunum eða miðlunum. Tveir veigamiklir grunnvatnsstraumar, Hnífárstraumur og Tungnafellsstraumur, eru þar sitt hvoru megin við Þjórsá auk þess sem að vatnslítill og áhrifaminni straumur, Nautöldustraumur, er þar líka að finna. Hnífárstraumur er vestan við Þjórsá og kemur undan Hofsjökli og Kerlingarfjöllum. Vatn úr honum sprettur fram í lindum Hnífár, Eyvafenskvíslar og nágrenni auk þess að ná hugsanlega lengra niður með Þjórsá. Lindarvatn frá þessum straum á vatnasviði Hnífár er nálægt  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  og mögulega meira niður með Þjórsá. Tungnafellsstraumur er austan við Þjórsá og kemur undan Tungnafellsjökli. Þó benda rannsóknir á efnainnihaldi lindavatsins til að hluti þess kunnir að vera upprunninn í Hofsjökli. Lindarvatn frá þessum straumi kemur fram í lindum við Hreysiskvísl, Eyvindarkvíslar og Þúfuverskvísl. Yfirborðsvatn frá þessum straum er metið um  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nautöldustraumur kemur undan suðurjaðri Hofsjökuls og er undir áhrifum frá jarðvarma sem víða verður vart við í kringum Nautöldu. Vatnsmagnið sem þessi straumur ber er ekki mikið og í Helgabotnum koma fram um 0,2-0,3  $\text{m}^3/\text{s}$ . Líklega er þetta heildarstærð straumsins þar sem lindarvatns úr honum verður ekki vart sunnar á svæðinu (Hjartarson, 1999).

Eftir að Kárahnjúkavirkjun var tekin í gagnnið hefur verið fylgst með hvernig grunnvatnsyfirborð innan áhrifasvæðis framkvæmdarinnar hefur breyst. Mælingar hófust 1998 þegar síritandi grunnvatnsmælum var komið fyrir í borholum. Eftir að Háslón var fyllt í fyrsta skipti sumarið 2007 hefur grunnvatnsstaða ekki breyst mikið nema í alla næsta nágrenni lónsins. Efsta lag berggrunnins eru ungar og lekar móbergsmýndanir en neðar er eldri og þéttari berggrunnur. Svæðið er auk þess staðsett í svokölluðum regnskugga Vatnajökuls og úrkoma á svæðinu því almennt lítil. Þetta gerir það að verkum að á þessu svæði er víða mjög djúpt niður á grunnvatn, oft tugir metrar og sumsstaðar yfir hundrað. Þar sem mesta breytingin varð í nágrenni Háslóns hækkaði grunnvatnsyfirborð um allt að 97 metra. Sveiflur í grunnvatnshæð fylgdu breytingum í lónhæð og náði áhrifasvæði lónsins um 1000 metra frá bökkum þess. Annars staðar voru áhrif á grunnvatnsstöðu mun minni. Í nágrenni jarðganga sem veita vatni frá Háslóni til Fljótsdalsstöðvar lækkaði yfirborð í allra næsta nágrenni, sumsstaðar um allt að 30 metra. Annars staðar hækkaði grunnvatnsstaðan og sveiflur í vatnshæð fylgdu þrýstingsbreytingum í aðrennslisgöngunum. Það var því breytilegt eftir jarðfræðilegum aðstæðum á hverjum stað hvort að vatnsyfirborðið hækkaði eða lækkaði eftir tilkomu aðrennslisganganna, þó flestar borholur í nágrenni ganganna sýndu lægri vatnsstöðu (Axelsson, 2013).

## Grunnvatnsrannsóknir í nágrenni Tungnaár

Fylgst hefur verið með hæð á vatnsyfirborði Hraunvatna frá 1959. Vatnshæð vatnanna er nokkuð breytileg og á vatnsrýru kuldaárunum milli 1960 og 1970 lækkaði vatnsyfirborðið um 5 metra, þar af mest um 1,6 metra á einu ári. Rennslismælir við Þórisós sem mælir rennsli úr Þórisvatni hefur sýnt góða fylgni við vatnshæð Hraunvatna seinnihluta sumars og frameftir hausti. Rist (1981) gerði stutta greinagerð um vatnsstöðuna í Hraunvötnum fram til ársins 1981 þar sem hann lýsir þeirri skoðun að vandfundinn sé sá staður á Tungnaáröræfum sem gefur betur til kynna ástand og horfur í grunnvatnsmálum á svæðinu. Vatnshæð í Hraunvötnum síðla sumars og að hausti til gefur vísbendingu um vatnsstöðu og grunnvatnsrennsli á svæðinu fyrir komandi vetur (Rist, 1981). Eftir aldamót hækkaði vatnsborð í Hraunvötnum sem og síritaðar grunnvatnshæðir í borholum á svæðinu. Nam hækkunin í Hraunvötnum um 1,5-2 metrum og frá 3 upp í allt að 9 metrum í einstökum borholum. Talið er líklegt að þessi hækkun komi til af auknu afrennsli jökla sökum aukinnar bráðnunar þeirra og hins vegar tilkomu Hágöngumiðlunar sem var byggð á árunum 1997 til 1999. Við uppfærslu á grunnvatnslíkani Þjórsár-Tungnaárvæðisins var því miðað við meðaltöl tímaraða eftir árið 2003 þegar mesta hækkunin var komin fram og rekstur á Hágöngumiðlun orðinn stöðugur (Pálmarrson, 2009).

Líkt og áður segir getur verið flókið og oft á tíðum erfitt að finna út hversu mikill þáttur grunnvatnsrennslis er í vatnsföllum. Grunnrennslisvísir (BFI, *e. base flow index*), sem reiknaður er með útbreiddri aðferð kennd við Wellington, Institute of Hydrology, hefur verið notaður til að meta hlut grunnrennslis í ám á Íslandi. BFI stuðull hærri en 0,7 gefur vísbendingu um ríkan þátt grunnrennslis í heildarrennsli árinna og fyrir vatnasvið Tungnaár hefur stuðullinn verið metinn á bilinu 0,76-0,86 (Stefánsdóttir & Egilsson, 2014). Í gegnum árin hafa verið gerðar nokkrar tilraunir til að meta hlut lindarvatns í heildarrennsli Tungnaár. Árið 1972 framkvæmdu Guttormur Sigbjarnarson og Björn Erlendsson rennslismælingar á alls 16 lindarvötnum sem renna til Tungnaár ofan Kýlinga auk þess að leggja mat á rennsli tveggja smákvísla til viðbótar. Rennslismælingar fóru fram í ágúst og september en rennsli í sumum lindarvatnanna var óvenju mikið sökum mikilla snjóalaga í fjöllum á þessu svæði sumarið 1972. Alls var lindarrennsli til Tungnaár ofan Kýlinga metið sem  $21 \text{ m}^3/\text{s}$  (Sigbjarnarson & Erlendsson, 1972). Við kvörðun á grunnvatnslíkani Þjórsár-Tungnaárvæðisins áætlaði Pálmarrson (2009) að lindarrennsli til Tungnaár á sama svæði sé um  $29,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Í grunnvatnslíkaninu er svo reiknað með að alls sé grunnvatnsrennsli við mælistaðinn í Tungnaá við Maríufossa  $52 \text{ m}^3/\text{s}$ . Stærsti einstaki þátturinn í því rennsli er Vatnakvísl sem á upptök sín í lindum við Drekaavatn og Hraunvötn og safnar svo lindarvatni úr Veiðivötnum á leið sinni til Tungnaár. Er rennsli hennar metið sem  $17 \text{ m}^3/\text{s}$  í grunnvatnslíkaninu (Pálmarrson, 2009). Allt þetta grunnvatnsrennsli hefur gert það að verkum að Tungnaá hefur verið nefnd sem fyrst og fremst lindá þrátt fyrir að eiga upptök sín í jökli (Sigurðsson, Snorrason, & Pálsson, 1997).

Grunnvatnsstraumar á svæðinu liggja aðallega meðfram Tungnaá í suðvestur, það er í sömu stefnu og Tungnaá og halli landsins. Undir og næst Tungnaá er grunnvatn sem kemur frá Tungnaá sjálfri. Norðan Tungnaár er Snjóöldufjallgarður, allþéttur móbergshryggur sem skilur Tungnaá frá tveimur áhrifamiklum grunnvatnsströumum (Hjartarson & Snorrason, 1985). Talið er líklegt að samfelldur móbergshryggur sé grafinn í Veiðivatnahrauni og nær hann frá Austurbotnum í Þórisvatni yfir að Gjáfjöllum. Þessi hryggur beinir að einhverju leyti grunnvatnsrennsli til suðvesturs og suður fyrir Þórisvatn (Guðmundsson & Högnadóttir, 2002).



Næst Snjóöldufjallgarði er hinn svokallaði Veiðivatnastraumur og sér hann lindasvæðinu í Veiðivötnum fyrir vatni. Veiðivatnastraumurinn leggur stærstu þverá Tungnaár, Vatnakvísl, til mestallt sitt vatn og hefur því töluverð áhrif á rennsli Tungnaár. Veiðivatnastraumurinn fylgir svo Tungnaá niður í Krókslón eftir að áin tekur stefnuna norður í lónið.

Milli Veiðivatna og Þórisvatns er svo annar grunnvatnsstraumur í sömu stefnu, hefur hann verið nefndur Heljargjárstraumur (Hjartarson, Vatnafarskort, Sigalda-Veiðivötn, 3340 V, 1988). Vatn úr þessum straum kemur helst fram í uppsprettum í og við Austurbotn í Þórisvatni og svo í lindum í Útkvíslarbotnum og Blautukvíslarbotnum sunnan við Þórisvatn, sem mynda lindárnar Útkvísl og Blautukvísl sem falla út í Krókslón. Úr lindum við Austurbotn renna rúmlega 2 m<sup>3</sup>/s af yfirborðsvatni út í Þórisvatn en grunnvatnsinnrennsli í Þórisvatn á þessu svæði er líkega mun meira. Alls er grunnvatnsrennsli til Þórisvatn metið um 18 m<sup>3</sup>/s. Samanlegt rennsli Útkvíslar og Blautukvíslar eru rúmí 5 m<sup>3</sup>/s. Heljargjárstraumurinn hefur því áhrif á raforkuframléiðslu í Tungnaá en hann heldur áfram neðanjarðar framhjá Krókslóni og Hrauneyjalóni og allt niður í Rangárbotna. Vestan og norðan við Þórisvatn er grunnvatnsstraumur sem að mestu er lekavatn úr Þórisvatni. Leki úr Þórisvatni er áætlaður 9 m<sup>3</sup>/s og kemur lekavatnið einkum fram í Álftafitjum og miklum lindum í Þóristungum. Allmargar lindár og lækir spretta fram á þessum slóðum og falla flest, ef ekki öll, þessi vötn í Köldukvísl eða Sporðöldulón. Í heildina koma upp 12 m<sup>3</sup>/s af lindarvatni í Þóristungum og er Tjaldkvísl stærst einstakra vatnsfalla, eftir að hún sameinast Stóragilskvísl er rennsli hennar um 10 m<sup>3</sup>/s (Hjartarson & Snorrason, 1985).

Grunnvatn sunnan og austan Tungnaár myndar töluverð lindasvæði í Tungnaárfjöllum norðan og vestan við Langasjó og í Tungnaárbotnum. Grunnvatn þetta streymir innan undan jökli og sprettur upp víða á landsvæðinu vestan við Tungnaár- og Skaftárjökul (Sigurðsson F., 1997b). Tungnaárfjöll og Grænifjallgarður mynda svo vatnaskil milli Tungnaár og Skaftár og stýra því hvert yfirborðsrennsli fer. Þessi tiltölulega mjóa ræma skilar Tungnaá miklu lindarrennsli og er Lónakvísl stærst þveráa að sunnanverðu með um 6,5 m<sup>3</sup>/s rennsli. Alls er lindarrennsli úr Grænafjallgarði, Tungnaárfjöllum og Tungnaárbotnum rúmí 30 m<sup>3</sup>/s (Pálmarrson, 2009), en þessi lindasvæði eru öll vatnsverndarsvæði samkvæmd svæðisskipulagi miðhálandisins (Samvinnunefnd um svæðisskipulag miðhálandis Íslands, 1998).

### 1.4.2 Þurrkar á Íslandi

Á Íslandi hafa þurrkar sjaldnast talist alvarlegt vandamál, einstaka vatnsból hefur þornað, sinueldar farið úr böndunum og grasspretta spillst af og til en alvarlegir þurrkar hafa verið frekar sjaldgæfir. Vatnasvið Tungnaár er staðsett á mörkum eins úrkomumesta svæði landsins. Allt frá Markarfljótri í vestri og austur á firði er ársúrcoma oftast nær meiri en 1500 mm á láglandi með mun meiri úrkomu á stöku stað, t.d. í Vík í Mýrdal og á Kvískerjum í Örafum þar sem ársúrcoma hefur mælst meiri en 4600 mm (Veðurstofa Íslands, 2015b). Úrcoma á þessu svæði eykst mikið með hæð og á Mýrdalsjökli og sunnanverðum Vatnajökli fer ársúrkoman yfir 5000 mm. Mun minni úrcoma er inn til landsins á Norðurlandi þar sem ársúrkoma er víða 400-600 mm á láglandi. Úrkomuminnsta svæði á Íslandi er í svokölluðum regnskugga á hálandinu norðan Vatnajökuls, þar er úrcoma undir 400 mm á ári. Vatnajökull og sunnanvert hálandi Íslands skýla Norðurlandinu fyrir rakamiklum suðlægum áttum og fellur mesti hluti úrkomunnar áður en hún nær yfir á Norðurlandið. Því rignir meira í norðlægum áttum en sökum loftkulda innihalda þær mun minna rakamagn (Einarsson, 1976). Þetta má sjá glögg á

veðurathugunum frá 1941 sem var mikið þurrkasumar á Norðurlandi og víðar. Það ár voru einungis 29% daga á Norðausturlandi úrkomudagar. Sunnanlands og vestanlands hefur hlutfall úrkomudaga aldrei farið undir 43% af dagafjölda ársins (Jónsson, 2009b).

Minnst úrkoma á landinu er yfirleitt á vorin, sérstaklega í maí en einnig víða í júní. Á það t.d. við á Suðurlandi og veðurstöðvar í nágrenni Tungnaár en þar er meðalúrkoma minnst í maí. Þurrkatímabil og mjög þurrir mánuðir eru að sama skapi algengastir á tímabilinu janúar til ágúst (Einarsson, 1976). Skammvinnir þurrkar hafa áhrif á yfirborðsvatn en ná sjaldnast að hafa áhrif á grunnvatnsgeyma neðanjarðar. Þessir þurrkar hafa minni endurkomutíma en langvinn þurrkatímabil en þau þurfa venjulega að standa yfir í mánuði eða ár til að hafa teljandi áhrif á grunnvatnsstöðu. Við þurrka þá er það innrennsli til grunnvatnsgeymana og endurnýjun þeirra sem verður fyrst fyrir áhrifum. Því næst fer grunnvatnsstaða lækkandi og að lokum útrennsli (lindarrennsli) frá þessum grunnvatnsgeymum (Peters, Lanen, Torfs, & Bier, 2005). Adda Bára Sigfúsdóttir (1964) tók saman fjölda þurrkatímabila af ákveðinni lengd fyrir þrjár veðurstöðvar á landinu. Þurrkatímabil var skilgreint sem samfelldur dagafjöldi með innan við 1 mm úrkomu á sólahring. Tekin voru saman þurrkatímabil á árunum 1949 til 1963 í Reykjavík, á Akureyri og á Hólum í Hornafirði. Niðurstöður má sjá í töflu 1.1.

Tafla 1.1 Fjöldi þurrkatímabila á þrem stöðum á landinu á árunum 1949 til 1963

Lengd þurrkatímabils	Reykjavík	Akureyri	Hólar í Hornafirði
≥ 10 dagar	91	109	78
≥ 15 dagar	36	51	21
≥ 20 dagar	14	25	12
≥ 25 dagar	4	9	6
≥ 30 dagar	2	3	1
≥ 35 dagar	1	0	0

Lengsta þurrkatímabilið var í Reykjavík og stóð það í 36 daga í Reykjavík sumarið 1956. Á öllum þrem veðurstöðvunum reyndust þurrkar algengastir á sumrin (Sigfúsdóttir, 1964).

Á Íslandi er úrkoma þrálát og í Reykjavík gerist það að meðaltali aðeins tvisvar á ári að ekki rigni í 10 daga samfellt. Þurrkur sem stendur yfir í hálfan mánuði kemur að meðaltali á um 20 mánaða fresti og þriggja vikna þurrkur kemur að jafnaði á 10 ára fresti. Aftur er miðað við sömu skilgreiningu um að dagur teljist þurr sé rigning innan við 1 mm. Ef með eru taldir dagar þar sem úrkoma náði 1 mm lengjast þurrkatímabilin. Lengsta þurrkatímabil í Reykjavík reynist þá vera 53 dagar og stóð það yfir frá miðjum desember 1935 og fram í byrjun febrúar 1936. Með þessari skilgreiningu eru alls 7 þurrkatímabil í Reykjavík sem eru 35 dagar eða lengri (Jónsson, 2009a). Þó að stuttir og snarpir þurrkar hafi staðbundin og tímabundin áhrif þá eru þeir oftast nær ekki nóg til að hafa áhrif á grunnvatnsstöðu eða vatnsbúskap, til þess þarf löng tímabil þar sem úrkoma er langt undir meðaltali. Í töflu 1.2 má sjá úrkomu í Reykjavík á mismunandi löngum og úrkomulitlum tímabilum og svo hlutfall af meðalúrkomu fyrir sama tímabil. Í stuttan tíma getur úrkoma verið einungis brot af því sem vænta má en eftir því sem horft er yfir lengra tímabil færast heildarúrkoma alltaf nær meðalúrkomu (Jónsson, 2009c).

Tafla 1.2 Úrkomulítill tímabil í Reykjavík af mismunandi lengd og hlutfall af meðalúrkomu.

Lengd tímabils [mán]	Heildarúrkoma [mm]	Meðaltal [mm]	Hlutfall	Tímabil
1	0,3	52,2	0,6	Maí 1931
2	15,6	122,6	12,7	Júlí - ágúst 1888
3	42,0	151,0	27,8	Maí - júlí 1931
4	71,1	220,2	32,3	Maí - ágúst 1907
5	133,8	318,5	42,0	Febrúar - júní 1933
6	171,4	355,7	48,2	Mars - ágúst 1951
7	219,3	419,8	52,2	Mars - sept. 1951
8	269,1	505,3	53,3	Febrúar - sept. 1951
9	329,1	599,0	54,9	Des. 1950 - ágúst 1951
10	377,0	663,1	56,9	Des. 1950 - sept. 1951
11	434,9	742,2	58,6	Nóv. 1950 - sept. 1951
12	515,3	822,1	62,7	Sept. 1950 - ágúst 1951
15	665,2	990,1	67,2	Júní 1950 - ágúst 1951
18	784,3	1177,8	66,6	Mars 1950 - ágúst 1951
24	1162,2	1644,2	70,7	Júlí 1888 - júní 1890
36	1829,8	2466,3	74,2	Des. 1888 - Nóv. 1891
48	2558,2	3288,2	77,8	Mars 1888 - febrúar 1892

Fyrirnefndar mælingar yfir úrkomu eru í Reykjavík en ef horft er á veðurstöðar annarsstaðar á landinu má sjá að árið 1965 er úrkomuminnsta ár frá upphafi mælinga á 23 af þeim 91 veðurstöðvum sem voru í rekstri það árið (veðurstöðvar eru í dag orðnar 263). Flestar af þessum stöðvum eru á Suðurlandsundirlöndunum og í nágrenni Reykjavíkur en nokkrar voru inn til landsins á Austurlandi og Norðausturhorninu. Áhugaverðasta metið það ár var sett á veðurstöðinni á Hólum í Hornafirði. Þar hafa verið samfelldar mælingar síðan 1921 og var ársúrkoma 977 mm sem er 67% af meðalúrkomu árána 1971 - 2000. Árið 1980 var þurrasta ár mælinga á 13 veðurstöðvum á Vestfjörðum og Norðurlandi og 1960 var þurrasta ár 12 veðurstöðva, flestra á Norðurlandi vestanverðu. Það ár mældist ársúrkoma á Hamraenda í Miðdal einungis 227 mm sem er 34% af meðalársúrkomu tæplega 60 ára mælinga á þeirri veðurstöð. Árið 1941 var úrkomuminnsta ár 10 veðurstöðva og það sama var uppi á teningnum árið 1985. Þurrkurinn 1941 var áberandi Norðanlands og er það úrkomuminnsta ár frá upphafi mælinga á Akureyri. Einnig var sett met í Reykjahlíð við Mývatn en þar var ársúrkoma einungis 181 mm sem er minnsta mældu ársúrkoma á Íslenskri veðurstöð. Árið 1941 var einnig úrkomuminnsta ár frá upphafi mælinga á Reykjanesvita. Árið 1985 er markverðast fyrir það að vera úrkomuminnsta ár frá upphafi mælinga á annars mjög úrkomusömu svæði á suðurströnd landsins. Stöðvar sem settu met þetta árið eru t.d. Kvísker í Örafum, Fagurhólsmýri, Vagnsstaðir í Suðursveit og Skógar undir Eyjafjöllum en ársúrkoma var 69-75% af meðaltali á þessum stöðvum. Önnur þurr ár voru t.d. 1995, 1951 og 1977. Svo virðist sem að í mjög þurrum árum sé ársúrkoma um 65-75% af meðaltali á vestan- og sunnanverðu landinu en inn til landsins á Norðurlandi eru mjög þurr ár innan við 50% af meðalársúrkomu. Hlutfall af meðalúrkomu getur þó farið enn lægra en þetta í algjörum aftaka þurrkum (Jónsson, 2009d).

## 1.5 Skipulag ritgerðar

Í öðrum kafla er aðferðarfræði ritgerðarinnar lýst og farið yfir jöfnur og forrit sem notuð eru við útreikninga. Farið er yfir þau gögn sem notuð voru í þessu verkefni, hvað þau standa fyrir og hvernig þau voru meðhöndluð. Fjallað er um hvernig forritunarkóði í tölvuforritinu Matlab var notaður til að einangra grunnrennsli Tungnaár frá heildarrennslinu. Útskýrt er hvernig fylgni milli tímaraða var fundin og hvernig meðhöndla þurfti tímaraðirnar sökum þátta sem hafa áhrif á niðurstöður mælinga. Einnig er fjallað um aðfallsgreiningu og forritið sem notað var til að útbúa aðfallsferil fyrir Tungnaá og hvernig hægt var að nota þær niðurstöður til að áætla rúmtak grunnvatnsgeymisins. Í þriðja kafla eru niðurstöður þeirra aðgerða sem lýst var í aðferðarfræðikafla. Fylgni milli mælistaða var fundin og helstu áhrifaþættir á rennsli Tungnaár greindir. Niðurstöður úr aðfallsgreiningu eru settar fram og skoðað hvernig hægt væri að nýta þær niðurstöður til að leggja mat á grunnvatnsforda Tungnaár í rauntíma. Í fjórða kafla eru dregnar saman helstu niðurstöður úr þriðja kafla og tillögur um aukna vöktun settar fram.

## 2 Aðferðarfræði

### 2.1 Gögn

Landsvirkjun er með þétt vatnshæðarmælakerfi víða á Þjórsár- og Tungnaásvæðinu og við vinnslu þessarar ritgerðar voru fengin eftirfarandi gögn frá Landsvirkjun:

- Grunnvatnsstaða í mælibrunnum á svæðinu, alls 14 mælistaðir.
- Vatnshæð lóna og vatna á svæðinu, alls 4 mælistaðir.
- Rennsli straumvatna á svæðinu, alls 2 mælistaðir.
- Ársafkoma af Tungnaárjökli.

Tímaraðir mælistaðanna spanna árabilið 1969 - 2014 og var nýjasti mælistaðurinn tekinn í gagnið 1998. Allir þessi mælistaðir eru því virkir eftir aldamót en þá verða gæði mælinga einnig mun betri og tíðari þar sem sjálfvirkir sírtar koma í stað handmælinga. Í töflu 2.1 má sjá yfirlit yfir alla mælistaði, nákvæma staðsetningu, lengd tímaraða og tilgang stöðvarinnar. Hnit mælistaða eru gefin upp í ISNET 93 viðmiðunarhnitakerfinu.

Tafla 2.1 Mælistaðir.

Heiti	Staður	Hnit		Lengd tímaraðar		Þáttur vaktaður
		Austur	Norður	Upphaf	Lok	
Tungnaá (vhm-96)	Sigalda	497379.1	399627.1	1983-01-03	2014-12-02	Rennsli
Tjaldkvísl	Búðarháls	490855.3	414416.5	1975-06-21	2014-12-02	Rennsli
Hágöngulón	Hágöngur	538604.4	448813.8	1998-07-08	2014-12-02	Lónhæð
Grasatangi-Þórisvatn	Þórisvatn	501239.0	415081.0	1971-12-01	2014-12-02	Lónhæð
Þórisós	Þórisvatn	510859.4	428216.9	1976-01-01	2014-12-02	Lónhæð
Hraunvötn	Sigalda	516047.4	411166.2	1982-10-07	2014-12-01	Vatnshæð
TH-11	Sigalda	497160.9	399343.0	1971-12-01	2014-12-02	Grunnvatn
VII	Sigalda	492627.2	404555.6	1987-02-26	2014-10-23	Grunnvatn
SA-2	Sigalda	490723.9	402180.6	1980-11-13	2014-10-06	Grunnvatn
III	Sigalda	488542.9	401723.1	1987-02-26	2014-10-06	Grunnvatn
VF-18	Sigalda	501401.0	406685.3	1969-10-03	2014-10-14	Grunnvatn
VF-2	Vatnsfell	503884.5	411275.0	1969-07-01	2014-10-14	Grunnvatn
VF-4	Vatnsfell	503870.3	409452.2	1969-06-13	2014-10-14	Grunnvatn
VF-10	Vatnsfell	502485.0	410735.1	1969-07-16	2014-10-06	Grunnvatn
JV-2	Þórisvatn	518732.1	422782.3	1982-09-15	2014-12-01	Grunnvatn
JV-3	Þórisvatn	523865.5	432669.9	1981-10-15	2014-12-02	Grunnvatn
JV-4	Þórisvatn	522590.1	420824.0	1984-10-04	2014-10-06	Grunnvatn
JV-5	Þórisvatn	510543.8	422792.2	1984-10-11	2014-10-06	Grunnvatn
JV-7	Þórisvatn	514360.9	425823.3	1984-10-10	2014-10-06	Grunnvatn
V-2	Kvíslaveita	528399.7	462355.9	1985-01-10	2014-10-01	Grunnvatn

Allir þessir mælistaðir eru á vatnasviðinu ofan við Sigöldustöð og flestir sunnan og austan við Þórisvatn. Undantekningar á því eru rennslismælirinn í Tjaldkvísl sem fellur út í Sporðöldulón og grunnvatnsholan V-2 sem staðsett er skammt norðaustan við Kvíslaveitu. Mælistaðurinn V-2 er mjög ofarlega á vatnasviði Tungnaár og á hann að vera laus við öll áhrif af mannavöldum, hann er því hafður með sem viðmið fyrir aðrar grunnvatnsholur. Öll gögnin komu á forminu dagsmeðaltal að undanskildum afkomutölum af Tungnaárjökli, þar er gefið upp eitt gildi í rúmmetrum fyrir meðaljökulafkomu hvers árs.

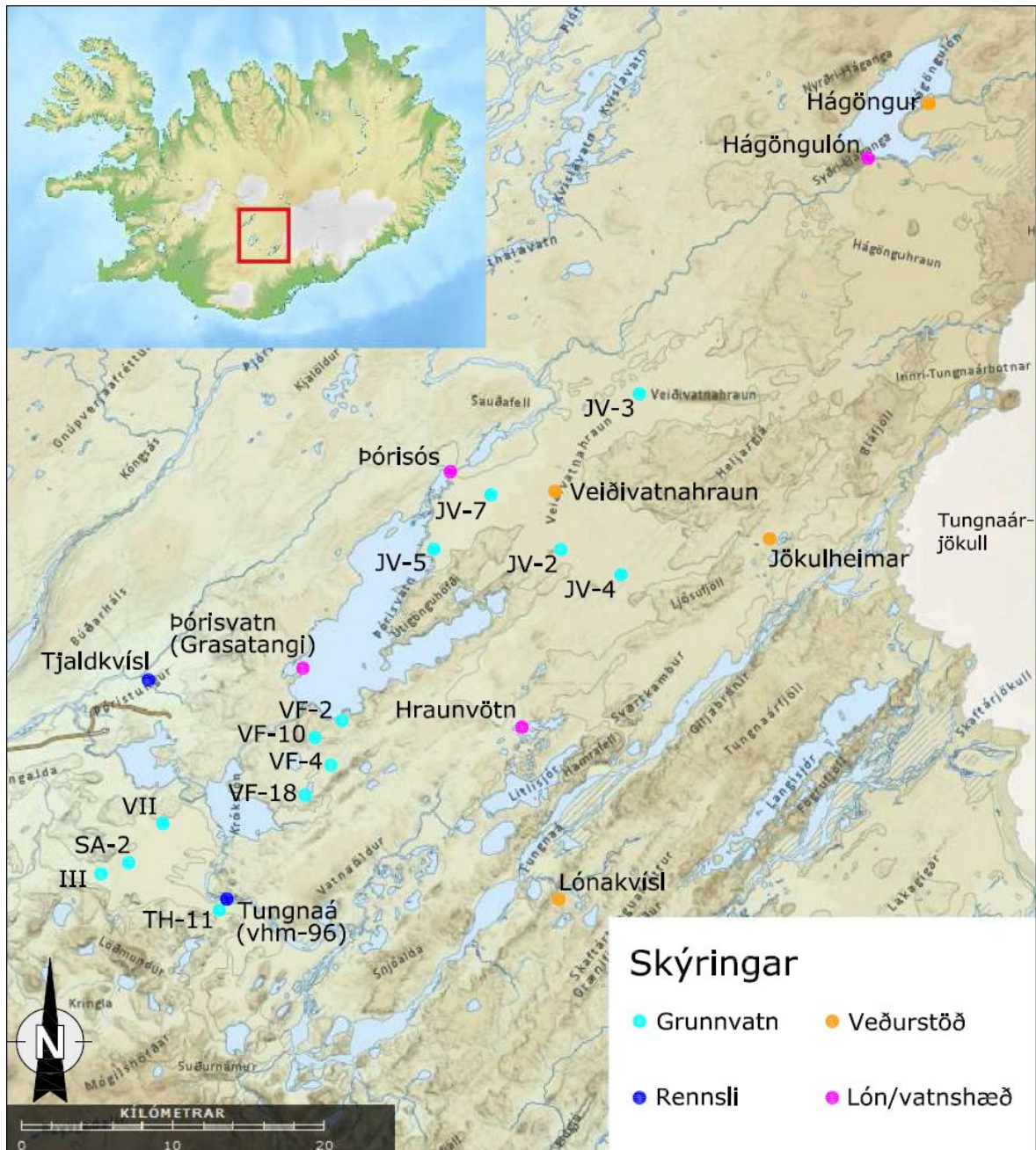
Úrkomugögn fyrir fjórar veðurstöðvar á Tungnaársvæðinu fengust frá Veðurstofu Íslands. Allar þessar veðurstöðvar eru þó í eigu Landsvirkjunar. Tímaraðir úrkomustöðvanna ná aftur til ársins 1999 fyrir tvær þeirra, til ársins 1995 fyrir þá þriðju en sú fjórða og nýjasta var tekin í gagnið 2004.

Tafla 2.2 Veðurstöðvar.

Heiti	Hæð [m.y.s.]	Hnit		Lengd tímaraðar	
		Austur	Norður	Upphaf	Lok
Hágöngur	819	542602.3	452492.8	2004-08-26	2014-12-31
Jökulheimar	726	537894.0	424056.4	1999-07-22	2014-12-31
Veiðivatnahraun	647	523888.9	432659.0	1995-09-08	2014-12-31
Lónakvísl	675	518821.3	399501.7	1999-09-21	2014-06-30

Úrkomugögnin fengust á forminu heildar sólarhringsúrkoma. Úrkomustöðin við Hágöngur er nyrst þessara stöðva en hinar þrjár umlykja Tungnaá. Jökulheimar eru nálægt upptökum árinna þar sem hún kemur undan Tungnaárjökli, stöðin í Veiðivatnahrauni er norðan við ána skammt austan við Þórisvatn og sú syðsta er við Lónakvísl, rétt sunnan Tungnaár í Græna fjallgarði. Úrkoma í Lónakvísl er áberandi meiri en á hinum úrkomustöðvunum enda er stöðin staðsett í fjalllendi mun sunnar og er á mörkum mjög úrkomusams svæðis á suðurströnd landsins.

Úrkomugögnin voru ekki fullkomin og á öllum veðurstöðvum vantaði mælingar fyrir einstaka mánuði. Þar sem slíkt kom fyrir var meðalúrkoma sama mánuðar á viðeigandi veðurstöð notuð til að fá úrkomu yfir lengra tímabil. Alls var fyllt upp í 6 mánuði með þessari aðferð.



Mynd 2.1 Yfirlitskort af veður- og mælistöðvum sem notaðar voru. Á myndina vantar grunnvatnsholu V-2 sem staðsett er skammt NA við Kvíslavatn (Loftmyndir ehf., 2015).

## 2.2 Grunnrennsli einangrað

Rennsli Tungnaár á það til að sveiflast gífurlega og í kjölfar mikillar úrkomu eða leysingar getur rennsli árinna farið upp í nokkur hundruð rúmmetra á sekúndu. Slíkir rennslistoppar samanstanda að mestu af vatni sem rennur á yfirborðinu beint út í Tungnaá. Þegar rennsli Tungnaár er borið saman við grunnvatnshæð á svæðinu og fylgni þar á milli skoðuð er hætt við að þetta yfirborðsrennsli skekki þá greiningu töluvert. Sveiflur í grunnvatnshæð eru mun hægari og aukning í rennsli kemur seinna fram. Til að einangra þátt grunnvatnsins í rennsli Tungnaár og losna við þessa rennslistoppa frá yfirborðsrennsli var notað Matlab forritið HYSEP.

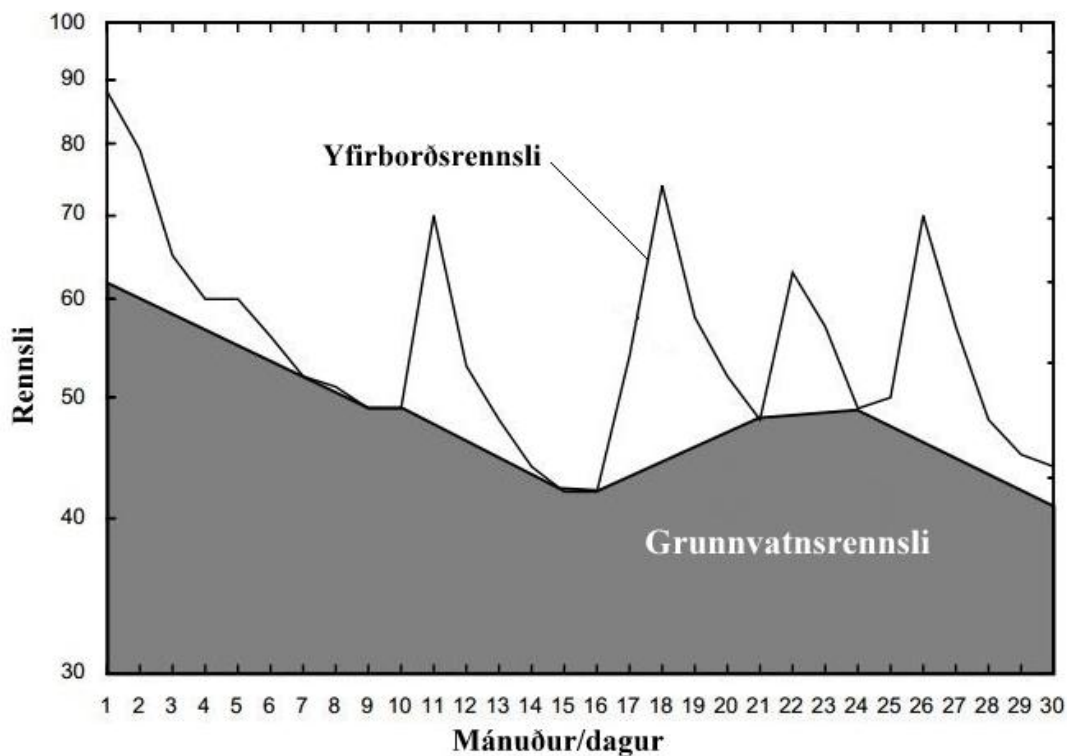
HYSEP er tölvuforrit sem var gefið fyrst út árið 1996 af Jarðfræðistofnun Bandaríkjanna (e. *U.S. Geological Survey*) og stendur nafnið fyrir aðskilnað rennslisgrafs (e. *hydrograph separation*). Hefur forritið farið í gegnum nokkrar uppfærslur og er nú aðgengilegt sem Matlab-kóði. Forritið aðskilur grunnvatnsrennsli frá yfirborðsrennsli og notar til þess aðferð staðbundinna lág-gilda (e. *local-minimum method*). Í byrjun tekur forritið inn rennslisröð á forminu dagsmeðaltal og svo flatarmál vatnasviðsins fyrir ofan mælingastaðinn. Fyrst er reiknað hversu lengi yfirborðsrennsli endist og er það ákvarðað sem (Sloto & Crouse, 1996)

$$N = A^{0,2} \quad (1)$$

þar sem  $N$  er sá tími sem það tekur fyrir allt yfirborðsrennsli að renna út í á og af vatnasviðinu og  $A$  er flatarmál vatnasviðsins í fermílum. Forritið notar svo  $2N^*$  sem bil fyrir aðskilnað rennslisgrafsins þar sem  $2N^*$  er sú oddatala milli 3 og 11 sem er næst  $2N$ . Aðferð staðbundinna lág-gilda athugar svo fyrir hvern dag hvort að það sé lægsta rennslisgildi á bili sem er

$$\text{umræddur dagur} \pm \frac{1}{2}(2N^* - 1) \text{ dagur} \quad (2)$$

Ef svo er þá er umræddur dagur staðbundið lágmark og tengist á grafi beinni línu í næstu staðbundnu lágmark. Gildi fyrir grunnrennsli á dögum milli staðbundinna lágmarka eru fundin út með línulegri brúun. Hægt er að sjá aðferðina fyrir sér með því að tengja saman lágpunkta á rennslisgrafi með beinum línum. Forritið skilar svo að lokum frá sér skrá með nýrri rennslisröð þar sem fram kemur tími, grunnrennsli, yfirborðsrennsli og heildarrennsli (sama rennsli og var sett inn í forritið í upphafi).



Mynd 2.2 Myndræn útskýring á aðferð staðbundinna lág-gilda við að einangra grunnvatnsrennsli úr rennslisröð (Sloto & Crouse, 1996).



HYSEP var valið sökum þess að löng reynsla er til af notkun þess, það er einfalt í notkun og auðvelt er að heimfæra aðferðina upp á mánaðarmeðaltöl í stað þess að nota dagsmeðaltöl. Þetta er einföld og góð aðferð en með sína vankanta, til að geta gert nákvæmlega grein fyrir þætti jökulvatns og áhrifa af jarðfræði svæðisins hefði þurft mun flóknara líkan. Algengt er að nota ýmsar útgáfur af aðferð staðbundinna lággilda við einangrun grunnrennslis og HYSEP svipar til aðferðar sem var þróuð af Breska Náttúrurannsóknarráðinu (e. *National Environmental Research Council (NERC) of the United Kingdom*) snemma á tíunda áratugnum. Þar er rennslisröðinni skipt í 5 daga tímabil og lágrennslu innan þess tíma fundið. Síðan eru greindir vendipunktur (e. *turning points*) þessara lággilda þar sem rennslu tekur að aukast á ný eftir niðursveiflu og þeir punktar að lokum tengdir saman (Gustard, Bullock, & Dixon, 1992).

## 2.3 Aðhvarfsgreining

Aðhvarfsgreining (e. *regression analysis*) er mikið notuð aðferð í líkindareikning og tölfræði til að finna út tengsl milli tveggja eða fleiri breyta. Þar eru upplýsingar um eina breytu notaðar til að spá fyrir um gildi annarar breytu út frá þekktri jöfnu. Jafna þessi fæst úr þekktum gildum breytanna og myndar bestu línu, eða feril, í gegnum punktastafnið sem breytur myndar. Línan eða ferillinn fer í gegnum punktastafnið þannig að fjarlægð í hvern einasta punkt sé sem minnst. Einfaldast er þegar samband breytanna er nokkurn veginn línulegt og bein lína fer í gegnum punktastafnið. Flóknari sambönd breyta leiða af sér ólínulegan feril sem getur tekið á sig form margliðu, veldisvaxtar eða logra þegar hann fer í gegnum punktastafnið. Til að meta hversu vel línan eða ferillinn fylgir punktastafninu er oft notuð aðferð minnstu kvaðrata. Aðferð þessi tekur saman summu allra leifaliða og segir til um fylgni punktastafnis þar sem leifaliður er mismunur á raunverulegu gildi og niðurstöðu jöfnu ferilsins eða línunnar. Einnig er hægt að skoða fylgni milli tveggja gagnasafna með því að finna Pearson fylgnistuðulinn, oftast táknaður með  $r$ . Fylgnistuðullinn í öðru veldi,  $r^2$ , er svo notaður til að meta hversu mikið hlutfall af dreifni breytu  $B$  er hægt að rekja til dreifni í breytu  $A$  (Montgomery, Peck, & Vining, 2012). Hér eftir þegar fjallað er um fylgni er verið að tala um skýringarhlutfallið  $r^2$  milli tveggja tímaráða.

### 2.3.1 Fylgni

Einn helsti tilgangur þessa verkefnis var að kanna fylgni milli tímaráða á svæðinu. Fylgni milli tímaráða getur gefið mikilvægar vísbendingar um hegðun vatns á svæðinu, samspil úrkomu, grunnvatns og jökulafkomu og áhrif á rennslu áa. Gögnin frá Landsvirkjun komu á forminu dagsmeðaltal og frá Veðurstofu Íslands komu þau sem heildarsólarhringssúrkoma. Út frá þeim gildum var fundið mánaðarmeðaltal og í framhaldi vatnsársmeðaltal fyrir hverja tímaröð og þau gildi notuð til að reikna fylgni milli mælistaða.

#### Stöðlun mæligilda

Áður en fylgni milli tímaráða var fundin voru öll mæligildi stöðluð með innbyggða Excel-forritinu *Standardize*. Forritið skilar normaliseruðu gildi fyrir normaldreifingu og er reiknað sem

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (3)$$

þar sem  $x$  er mælda gildið,  $\mu$  er meðaltal tímaraðarinnar og  $\sigma$  er staðalfrávik hennar. Stöðlun þessi gerir það að verkum að allar tímaraðir hafi meðaltalið 0 og staðalfrávik 1. Nýja normaliserað gildið  $z$  segir til um hversu mörg staðalfrávik mælda gildið er frá meðaltali tímaraðarinnar og er neikvætt ef það er undir meðaltali en jákvætt ef það er yfir meðaltali (Microsoft Corporation, 2015a).

## Fylgni milli tímaraða

Til að finna fylgni milli tímaraða var notað Excel-forritið *RSQ*. *RSQ* er innbyggt forrit sem skilar Pearson fylgnistuðlinum í öðru veldi fyrir þekkt gildi tveggja gagnasafna. Forritið tekur inn tvo dálka og út frá þeim er fylgnistuðullinn  $r$  reiknaður sem

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

þar sem dálkarnir  $\{x_1, \dots, x_n\}$  og  $\{y_1, \dots, y_n\}$  innihalda báðir  $n$  gildi. Gildin  $\bar{x}$  og  $\bar{y}$  eru meðaltöl dálkanna og finnast á eftirfarandi hátt

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

Fylgnistuðullinn  $r$  er á bilinu  $-1 \leq r \leq 1$  og forritið skilar svo að lokum  $r^2$ . Mikilvægt er að dálkarnir séu jafn stórir svo að forritið virki rétt en ekki er nauðsynlegt að gildin séu jafn mörg. Ef einhverjir reitir eru tómir, t.d.  $x_j$ , þá er  $y_j$  gildið hunsað (Microsoft Corporation, 2015b).

## Óvissupættir og meðhöndlun mæligilda

Gögnin sem fengust frá Landsvirkjun innihalda tímaraðir sem ná allt aftur til ársins 1969. Sumar þessara tímaraða eru nánast samfelldar án eyða á meðan aðrar ná mun skemur aftur og innihalda misstórar eyður. Allar eyður í tímaröðum voru hunsaðar og ekki teknar með í útreikningum á fylgni milli tveggja mælistaða. Auk þess hefur ekki verið síriti á öllum mælistöðum frá upphafi heldur var víða mun ómarktækari handmæling gerð með óreglulegu millibili. Dæmi eru um að sama mæling var látin standa yfir margra mánaða tímabil. Flestir mælistaðir voru komnir með sírita um aldamótin en síðustu mælistaðirnir fengu sírita í lok árs 2005. Fylgni milli tímaraða var skoðuð með öllum fánlegum mælingum og svo einnig þegar búið var að hreinsa handmælingar í burtu.

Frá því að fyrstu mælistaðirnir voru teknir í gagnið sumarið 1969 hafa miklar breytingar af mannavöldum átt sér stað á svæðinu. Veitur, lón og vatnsaflsvirkjanir hafa bæst við og allt þetta hefur áhrif á vatnsbúskap svæðisins.

Fylgni milli mælistaða var skoðuð bæði með því að bera saman mánaðarmeðaltöl sem og ársmeðaltöl. Í tilviki ársmeðaltala voru notuð vatnsár í staðinn fyrir almanaksár. Vatnsár er skilgreint frá 1. október til 30. september næsta árs. Með þessari skilgreiningu er verið að fylgja hringrás jökulbráðnunar mun betur en hægt er með almanaksári. Miðað er við 1. október því þá er jökulbráðnun sumarsins að öllu jöfnu lokið og jökullinn byrjar að safna snjóforða fyrir næsta sumar. Sumarbráðnun hefst svo í maí en lýkur að jafnaði í september áður en næsta vatnsár hefst. Með því að miða við vatnsár er því hægt að setja undir sama

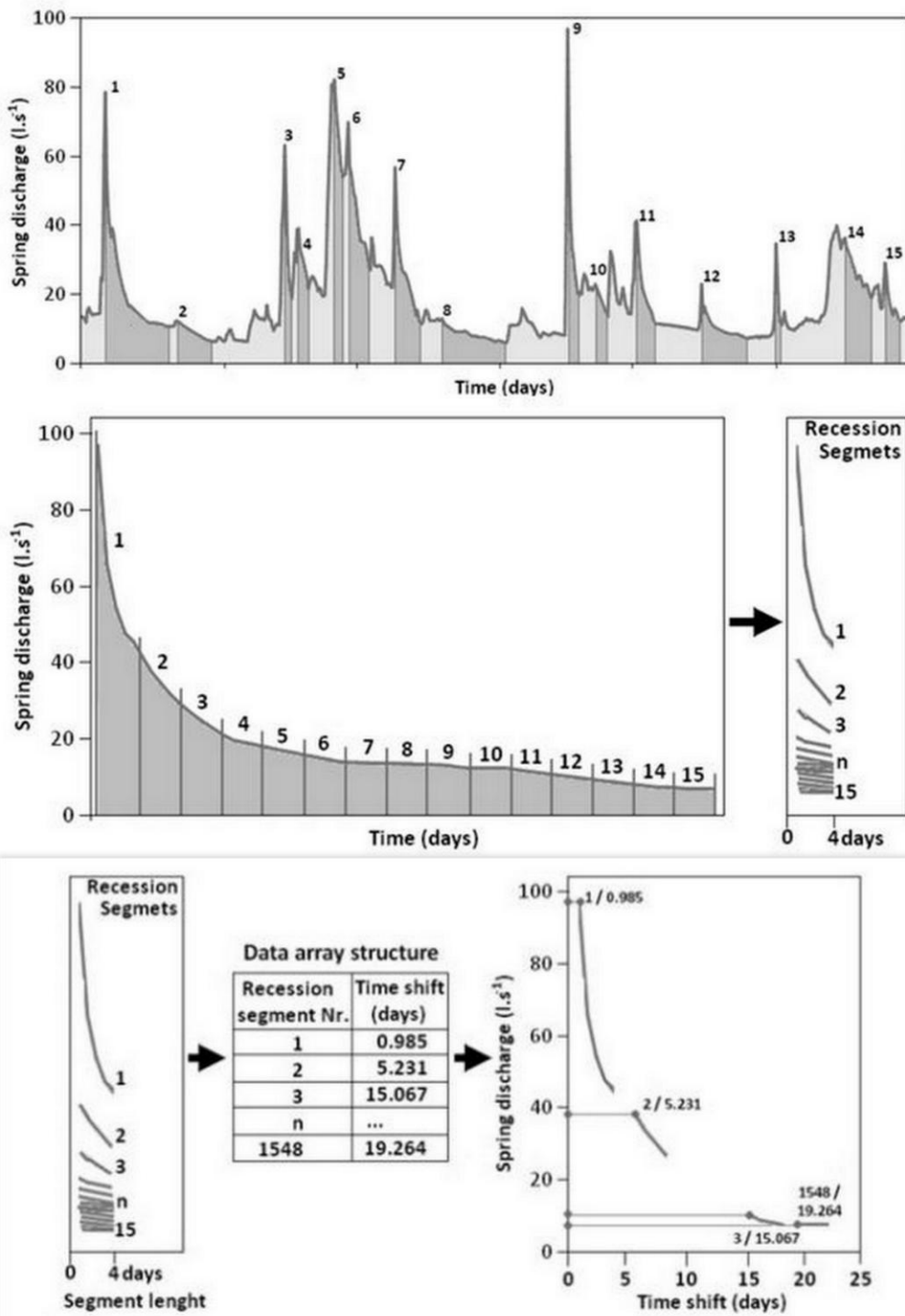
hatt alla snjósöfnun vetrarins og í framhaldi af því þeirri jökulbráðnun sem skilar sér sumarið eftir.

## 2.4 Aðfallsgreining

Aðfallsgreining (*e. recession analysis*) er vel þekkt aðferð í vatnafræði til að greina rennsli áa og fallanda þeirra á þurrkatímabilum. Aðfallsgreining greinir fallanda í rennsli eftir að rennslistoppi er náð og gefur upplýsingar um afrennsliseiginlega vatnasviðsins og vísbendingu um mögulegt rennsli á þurrkatímabilum (Stefánsdóttir & Egilsson, 2014).

Eftir að úrkomu lýkur líður einhver tími þar til afrennsli af yfirborði lýkur. Þegar það gerist byrjar áin að sækja rennsli sitt í grunnvatn á svæðinu. Hversu hratt það gerist og hversu mikið vatn áin getur sótt er misjafnt milli vatnasviða og fer eftir landslagi, jarðfræði og viðstöðutíma vatnsins á svæðinu. Smám saman minnkar rennsli árinna eftir því sem hún þarf að sækja vatn dýpra í jarðveginn og minnkar rennslið stöðugt fram að næsta úrkomuatburði en þá endurtekur ferlið sig. Aðfallsgreining greinir þetta ferli og með því að nota marga fallanda úr rennslisgrafi árinna er hægt að setja saman heildstæðan aðfallsferil (*e. master recession curve*) sem nær yfir allt rennsli árinna og gefur til kynna hversu langan tíma það tekur ána að ná lágmarksrennsli á þurrkatímabilum. Tallaksen (1995) gefur gott sögulegt yfirlit yfir þróun aðfallsgreiningar og mismunandi aðferðir sem menn hafa notað í gegnum tíðina. Stærsta hindrunin var lengi vel gífurlegur breytileiki fallanda þar sem engir tveir eru nákvæmlega eins (Tallaksen, 1995). Með aukinni tölvutækni hefur þetta ferli auðveldast til muna og í þessu verkefni er notast við vatnafræðiforritið HydroOffice 2015 til að búa til aðfallsferil fyrir Tungnaá. HydroOffice notast við aðferðarfræði sem var kynnt af Gregor og Malík (2012a) en Gregor er höfundur forritsins.

Aðferðin byggist á erfðafræðilegu reikniriti (*e. genetic algorithm*) þar sem aðfallsferill er búinn til úr ítrun sem líkir eftir náttúruvali. Forritið skoðar nokkra staka fallanda af handahófi, brýtur þá upp í fjögurra daga einingar og raðar þeim svo saman til að fá heildstæðan fallanda sem nær yfir langt tímabil. Forritið býr til margar fallandalausnir af þessu tagi og gefur þeim einkunn eftir því hversu vel er hægt að lýsa þeim með jöfnu. Forritið parar síðan saman fallandalausnir með góða einkunn og býr til nýja lausn sem hefur eiginleika beggja fallanda. Á þennan hátt heldur ítrunarferlið áfram og fallöndum fækkar þar til heildstæð lausn fyrir aðfallsferilinn hefur myndast. Nákvæmar upplýsingar um aðferðina er að finna í Gregor og Malík (2012a) og Gregor og Malík (2012b). Nánari útskýringu á aðferðarfræði forritsins má einnig finna í Lugten (2013) en Veðurstofa Íslands kannaði þar hversu vel forritið hentaði fyrir íslenskar ár og aðstæður. Myndræna útskýringu á því hvernig fallandar eru greindir og síðan raðað saman til að mynda heildstæðan aðfallsferil má sjá á mynd 2.3.



Mynd 2.3 HydroOffice greinir staka fallanda, bútar þá niður og raðar aftur saman til að mynda heilstæðan aðfallsferil (Gregor & Malík, 2012a).

### 2.4.1 Aðfallsferillinn

Aðfallsferlinum sjálfum er hægt að lýsa með vel þekktum formúlum. Fyrir línulegt afrennslislíkan af vatnasviðinu (*e. linear reservoir runoff model*) er hægt að notast við tvær vel þekktar formúlur kenndar við Boussinesq (1904) og Maillet (1905). Jafna Boussinesq lýsir ferli hýperbólú

$$Q_t = \frac{Q_0}{(1+\alpha(t-t_0))^2} \quad (6)$$

en jafna Maillet sem tekur á sig form veldisvaxtar er mun meira notuð

$$Q_t = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (7)$$

Í þessum jöfnum er  $t_0$  tímenn þegar fallandi hefst og  $t$  er sá tími sem liðinn er frá  $t_0$ . Stuðullinn  $\alpha$  hefur eininguna [1/dagur] og byggist hann á vatnafræðilegum eiginleikum grunnvatnsgeymisins (Lugten, 2013). Stuðullinn  $\alpha$  er einnig hægt að reikna eftir formúlunni (Rorabaugh, 1964)

$$\alpha = \frac{\pi^2 T}{4a^2 S} \quad (8)$$

Þar sem  $a$  er vegalengd að vatnaskilum grunnvatnsins [ $m$ ],  $S$  er geymslustuðull grunnvatnsgeymisins [ $einngalaus$ ] og  $T$  er vatnsleiðnistuðull jarðvegsins [ $m^2/s$ ].

Með því að teikna aðfallsferillinn á graf þar sem rennslið á lóðrétta ásnum er í log-skala en tímenn á lárétta ásnum er hafður venjulegur fæst jafna Maillet sem bein lína með stuðullinn  $\alpha$  sem hallatölu. Með því að teikna grafið á þennan hátt ætti, fræðilega séð, að vera hægt að brjóta aðfallsferilinn niður í þrjár einingar með mismunandi hallatölu. Þessar þrjár einingar eru í samræmi við afrennsli á vatnasviðinu sem kemur frá yfirborðsrennsli, afrennsli úr efsta lagi jarðvegsins fyrir ofan grunnvatnsyfirborð og svo að lokum afrennsli úr vatnsmettaða hluta jarðvegsins neðan grunnvatnsyfirborðs. Fyrst, með bröttustu hallatöluna, er afrennsli af yfirborði sem rennur hratt og nokkurn veginn óhindrað út í á. Næst, með ekki jafn bratta hallatölu, er vatn sem kemur úr efsta lagi jarðvegsins. Þetta vatn skilar sér seinna út í rennsli árinna eftir að hafa orðið fyrir fyrirstöðu í jarðveginum. Síðast er svo grunnvatn úr vatnsmettaða jarðveginum fyrir neðan grunnvatnsyfirborð. Þetta vatn er síðast til að skila sér út í rennsli árinna og gerist það á löngum tíma. Á löngum þurrkatímabilum þá er þetta vatnið sem sér ánni að mestu fyrir rennsli (Lugten, 2013).

#### 2.4.2 Áætlun á rúmtaki grunnvatnsgeymis

Þegar aðfallsferillinn er kominn á það form sem lýst var hér á undan er hægt notfæra sér ferilinn til að áætla rúmtak grunnvatnsgeymisins sem sér ánni fyrir rennsli. Þegar búið er að setja rennslið á lóðrétta ásnum í log-skala og brjóta aðfallsferilinn upp í þrjá hluta er hægt að draga beina lína í gegnum síðasta grunnvatnshlutann. Þessari línu er svo hægt að lýsa með jöfnu Maillet (jafna 7). Með því að setja eininguna á stuðlinum  $\alpha$  sem [1/s] er hægt að nýta sér eftirfarandi jöfnu til að áætla upphaflegt rúmtak grunnvatnsgeymisins (Moore, 1992)

$$V_0 = \frac{Q_0}{\alpha} \quad (9)$$

Þessi stærð,  $V_0$ , segir ekki til um magn alls grunnvatns innan vatnasviðsins heldur það grunnvatn sem áin getur sótt í ef til langvarandi þurrka kæmi.



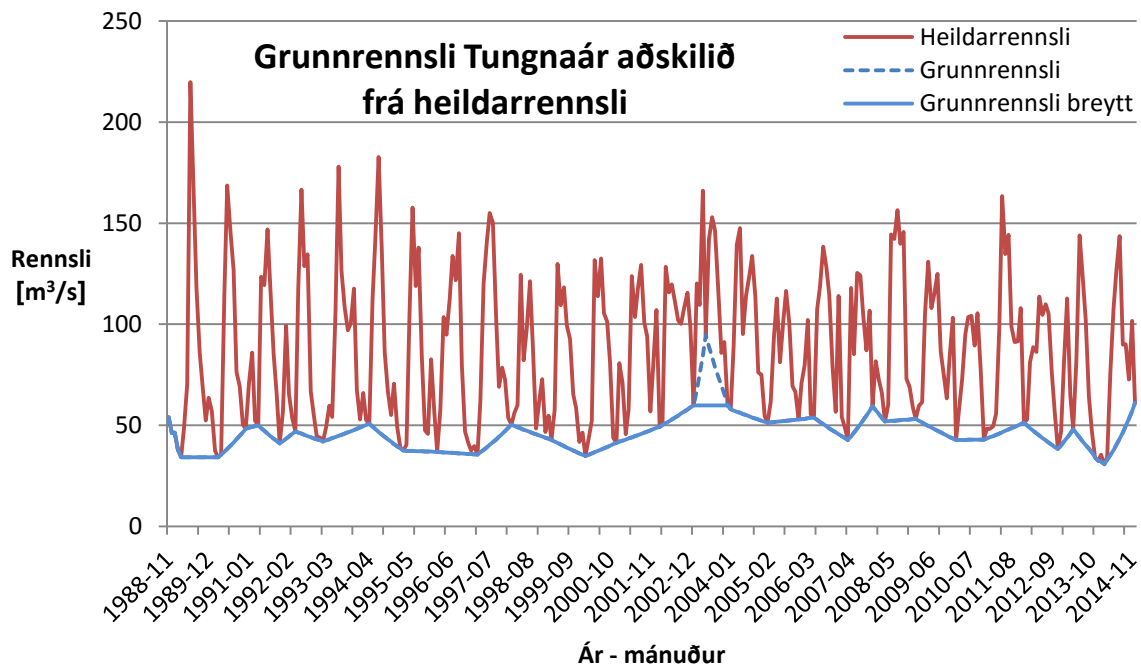
## 3 Niðurstöður og umræður

### 3.1 Grunnrennsli Tungnaár einangrað

Rennslismælingar úr Tungnaá voru settar inn í tölvuforritið HYSEP til að einangra grunnrennsli árinna. Forritið tekur inn rennslisröð og stærð vatnasviðs í fermílum og notuð var rennslisröð úr vhm-96 við Maríufossa og flatarmálið 436,3 fermíur (1130 km<sup>2</sup>). Ákveðið var að skoða tímabilið í mánuðum en ekki dögum til að losna við miklar sveiflur sökum úrkomutoppa og jökulbráðar og vonandi fá betri samsvörun við breytingar í grunnvatni á svæðinu sem gerast mun hægar. Rennslisröðin kom frá Landsvirkjun á forminu dagsmeðaltal og voru þau gildi notuð til að finna út mánaðarmeðaltöl, þ.e. meðalrennsli í hverjum mánuði. Náði mælingartímabilið þá frá nóvember 1988 til desember 2014 án eyða. Þegar mánaðarmeðaltölin höfðu verið keyrð í gegnum forritið fengust út ný gildi fyrir áætlað grunnrennsli í hverjum mánuði, niðurstöður má sjá á mynd 3.1.

Nýja rennslisröðin virðist ná að kalla fram nokkuð raunhæfa mynd af grunnrennsli Tungnaár og er meðalrennsli áætlaða grunnrennslisins yfir allt athugunartímabilið 46,09 m<sup>3</sup>/s. Til samanburðar gerir grunnvatnslíkan Vatnaskila ráð fyrir að grunnrennsli við Maríufossa sé um 52 m<sup>3</sup>/s (Pálmarrson, 2009) og heildar meðalrennsli Tungnaár yfir allt athugunartímabilið er 86,9 m<sup>3</sup>/s. Þáttur grunnrennslis er því samkvæmt þessu 53% af heildarrennsli árinna yfir allt athugunartímabilið. Grunnrennsli er nokkuð jafnt yfir athugunartímann og engin afbrigðileg útgildi með einni undantekningu. Veturinn 2002-2003 var einn sá hlýjasti frá upphafi mælinga og voru mars og apríl sérstaklega hlýir (Jónsson, 2004). Auk þess var gífurlega úrkomusamt snemma á árinu 2003 og fyrstu 6 mánuði ársins mældist úrkoma á úrkomustöðunni við Lónakvísl alls 1145,1 mm en meðalúrkoma fyrir þetta tímabil er 620,8 mm. Þar af var úrkoma 506,7 mm í febrúar einum og sér en meðalúrkoma þess mánaðar er 96,6 mm á umræddri úrkomustöð.

Þessi hlýindi og úrkoma gerði það að verkum að rennsli í Tungnaá var mjög mikið fyrri hluta ársins 2003 þegar rennslið er venjulega í lágmarki. Þetta skilaði sér í því að það myndaðist grunnrennslistoppur þar sem áætlað grunnrennsli fór upp í 94,6 m<sup>3</sup>/s áður en það fór aftur niður í hefðbundin gildi. Þar sem það var talið ólíklegt, þó ekki óhugsandi, að svona mikill og snarpur toppur verði í grunnrennsli árinna í lok vetrar, þegar grunnrennsli er venjulega í lágmarki, var ákveðið að hafa hann ekki með í rennslisröðinni. Meðalrennsli breyttu grunnrennslisraðarinnar er 45,5 m<sup>3</sup>/s og var hún notuð til að finna fylgni við aðra mælistaði á vatnasviðinu. Líklegt er þó að raunverulegt grunnrennsli árinna í svona úrkomusömu ári hafi verið einhversstaðar á bilinu 45,5 - 94 m<sup>3</sup>/s.



Mynd 3.1 Mælt rennsli í Tungnaá og einangrað grunnrennsli árinna.

Þessi aðferð skilaði vel nothæfum niðurstöðum með því að tengja saman alla lágpunkta í rennslisgrafinu og var þannig hægt að losna að mestu við rennslistoppa á sumrin sökum jökulbráðar. Hætt er þó við því að einhver grunnrennslisaukning á sumrin sökum jökulbráðar verði útundan. Að sama skapi má búast við að grunnrennsli hafi eitthvað verið ofátlað í lágpunktunum þar sem þessi aðferð reiknar með því að allt rennsli í lágpunktum sé grunnrennsli.

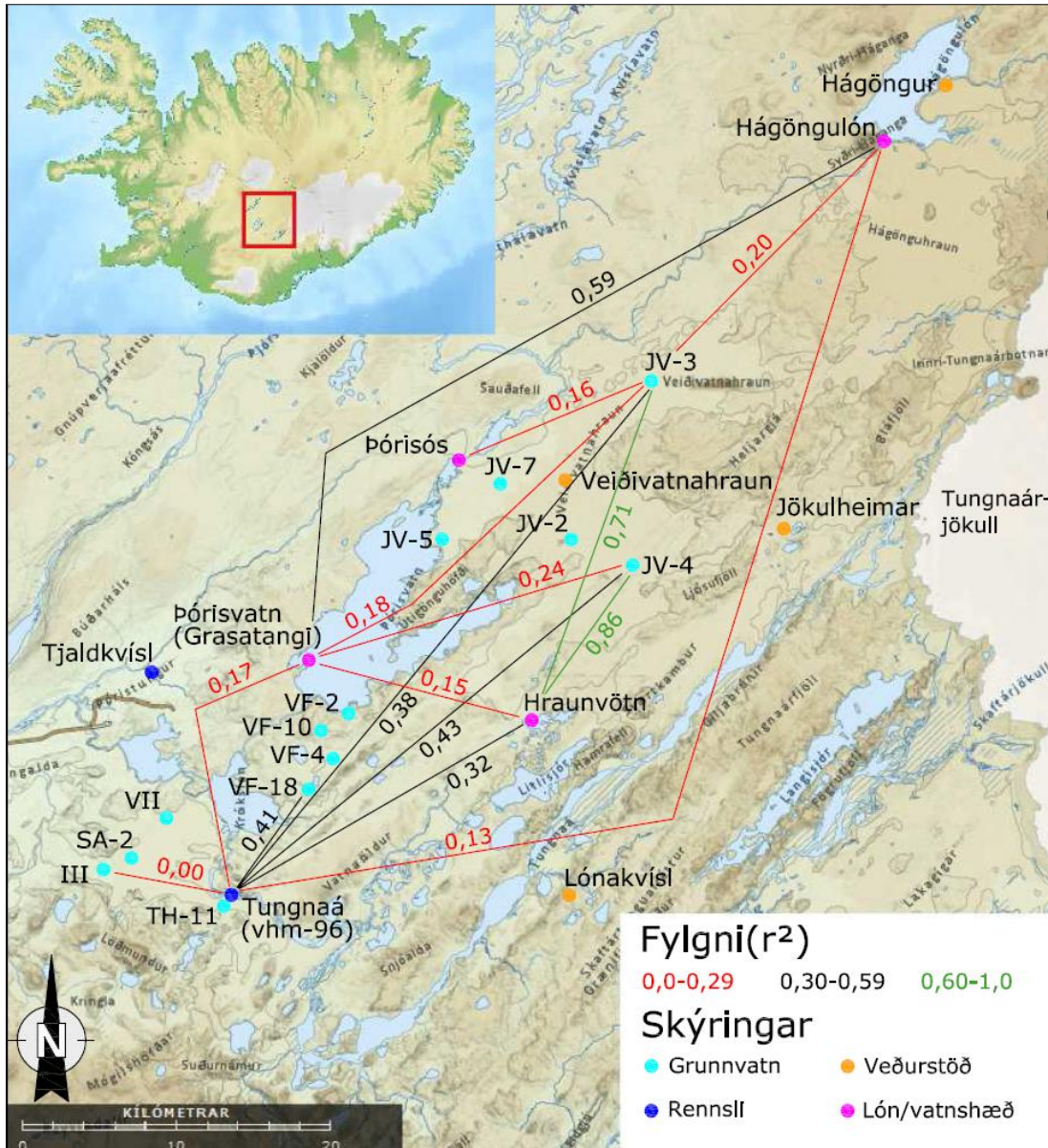
## 3.2 Fylgni milli mælistaða

Fylgni var fundin innbyrðis milli allra mælistöðva á svæðinu eins og lýst var í kafla 2.3.1. Var skoðuð fylgni með og án handmælinga með því að nota mánaðarmeðaltöl sem og vatnsársmeðaltöl. Einnig var fundin fylgni milli allra mælistöðva og mældrar úrkomu á fjórum úrkomustöðvum innan svæðisins. Að lokum var auk þess fundin fylgni milli allra mælistöðva og jökulbráðar af Tungnaárjökli, en það var eingöngu hægt við samanburð vatnsára. Fyrir Tungnaá voru notaðar tvær rennslisraðir til að bera saman við aðra mælistaði. Önnur rennslisröðin er óbreytt heildarrennsli árinna á meðan hin rennslisröðin er einangraða grunnrennslið sem útskýrt var í kafla 3.1. Nákvæmar niðurstöður sem sýna innbyrðis fylgni milli allra mælistaða má sjá í viðauka A.

### 3.2.1 Mánaðarfylgni

Á mynd 3.2 má sjá fylgni milli vel valdra mælistöðva þegar mánaðarmeðaltöl voru borin saman. Umrædd fylgni milli stöðva fékkst þegar notuð voru öll fánleg mæligildi frá upphafi mælinga, þar með talin gögn fengin með handmælingum.



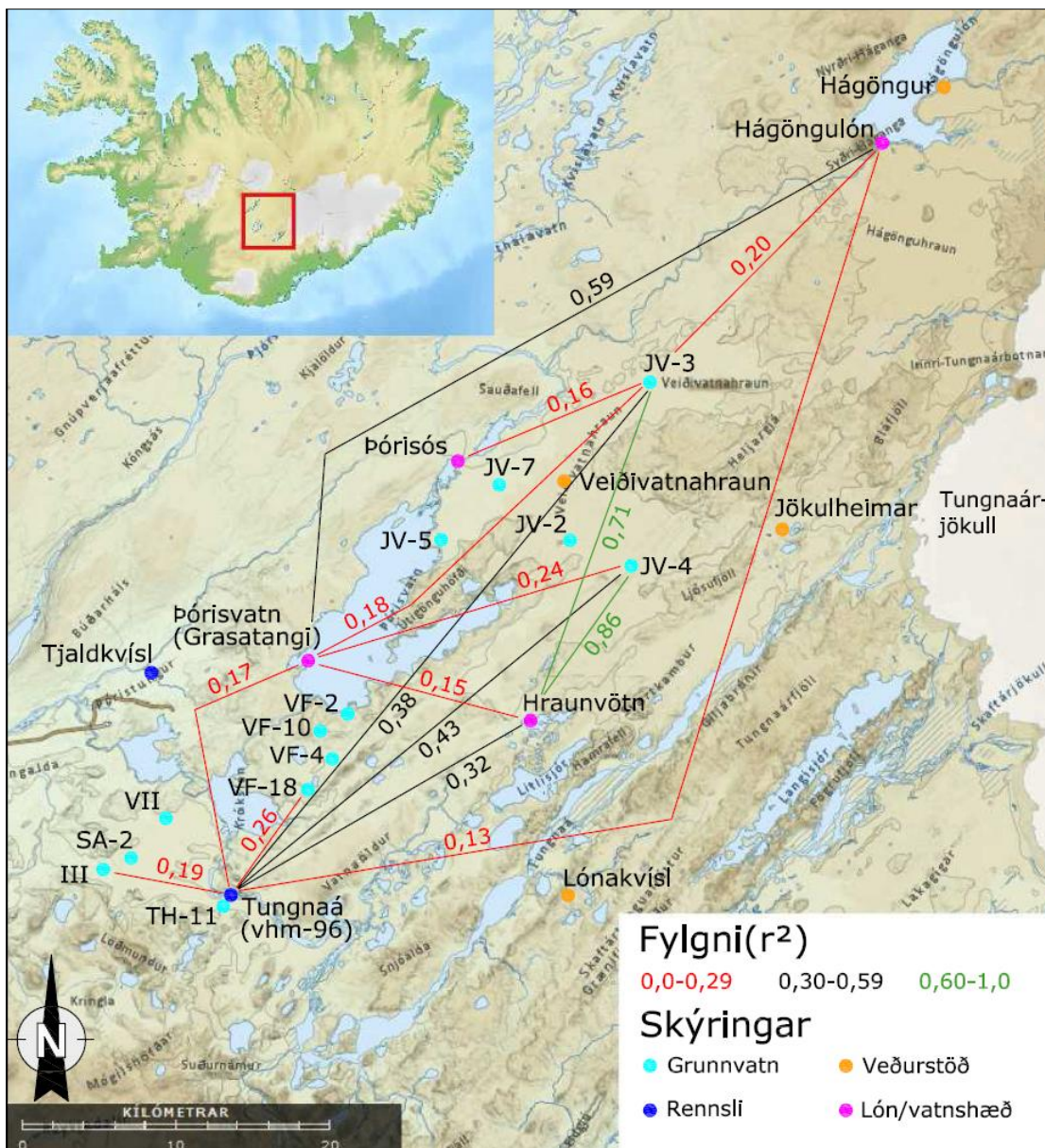


Mynd 3.2 Mánaðarfylgni milli vel valdra mælistaða, gögn fengin með handmælingum meðtalin. Tölur sýna fylgni ( $r^2$ ) og litir á hvaða bili fylgnin liggur. Myndin sýnir fylgni við einangrað grunnrennsli Tungnaár. (Loftmyndir ehf., 2015).

Mesta fylgni innbyrðis sýndu mælistaðir í Þórisvatni og grunnvatnsholur í næsta nágrenni við vatnið. Það má því áætla að vatnshæð Þórisvatns hafi talsverð áhrif á grunnvatn í nærumhverfi sínu en fylgnin minnkaði eftir því sem fjarlægð frá vatninu jókst. Mælt rennsli í Tungnaá sýndi litla fylgni við aðrar mælistöðvar nema grunnvatnsholur í hrauninu skammt vestan og neðan árinna (TH-11 og SA-2) og því líklegt að vatnsmagnið í þeim holum fylgi rennslinu í Tungnaá en ekki öfugt. Einnig var fylgni við Hraunvötn en ekki mikil. Einangraða grunnrennslið í Tungnaá sýndi mun meiri fylgni við grunnvatn á svæðinu og helst við grunnvatnsholur sunnan og norðaustan við Þórisvatn. Mest fylgni var við mælistaði VF-18, VF-10, JV-2, JV-3 og JV-4. Þó nokkur fylgni var við vatnshæðuna í Hraunvötnum en aðrar grunnvatnsholur og lónhæðir sýndu ekki jafn góða fylgni. Tungnaá sýndi litla fylgni við úrkomustöðvar en helst við mælistaðinn við Lónakvísl og sýndi mælt rennsli í Tungnaá meiri fylgni heldur en einangraða grunnrennslið. Fáir aðrir mælistaðir

sýndu einhverja fylgni við úrkomustöðina í Lónakvísl og úrkomustöðvarnar í Veiðivatnahrauni og Jökulheimum sýndu takmarkaða fylgni við stöðvar í næsta nágrenni. Annars var almennt lítil sem engin fylgni milli úrkomu og mælistöðva.

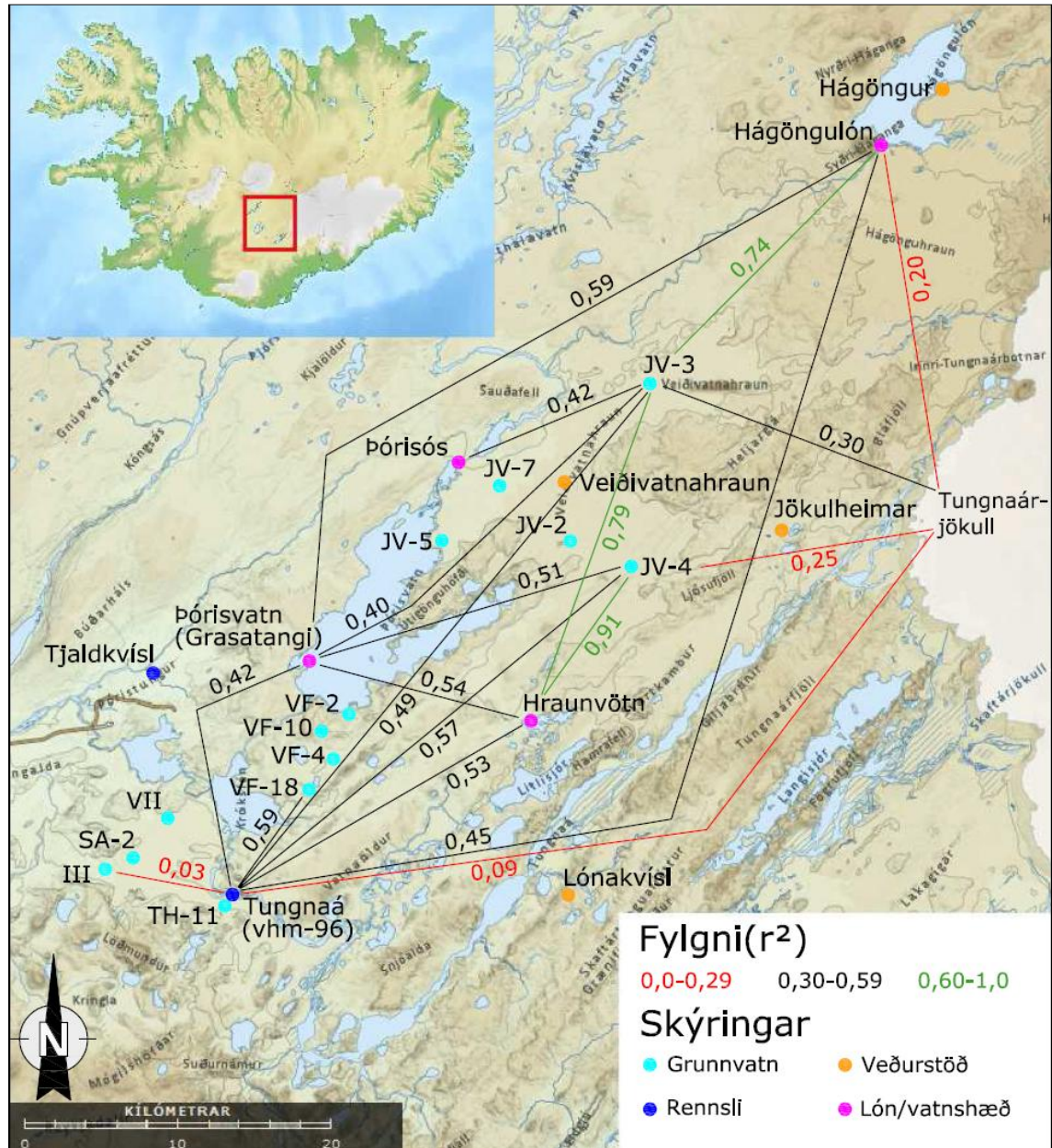
Þegar fylgni milli mælistöðva var skoðuð eftir að handmælingar voru síaðar frá og einungis stuðst við mælingar frá sírita fengust svipaðar niðurstöður. Aftur var mikil fylgni milli Þórisvatns og nálægra grunnvatnsmæla sem og við Hágöngulón. Tungnaá sýndi aftur litla fylgni við flesta mælistaði fyrir utan grunnvatnsholuna TH-11 sem mælir grunnvatnshæð í hrauninu alveg við rennslismælinn við Maríufossa í Tungnaá. Helsta breytinging var sú að fyrir einangraða grunnrennsli Tungnaár minnkaði fylgnin við grunnvatnsholur sunnan við Þórisvatn og sást þá enn betur hvað fylgnin var áberandi mest við Hraunvötn og JV-grunnvatnsholurnar þar fyrir norðan og langleiðina að Hágöngulóni.



Mynd 3.3 Mánaðarfylgni milli vel valdra mælistaða, eingöngu gögn fengin með sírita. Tölur sýna fylgni ( $r^2$ ) og litir á hvaða bili fylgnin liggur. Myndin sýnir fylgni við einangraða grunnrennsli Tungnaár (Loftmyndir ehf., 2015).

### 3.2.2 Vatnsársfylgni

Á mynd 3.4 má sjá fylgni milli vel valdra mælistöðva þegar vatnsársmeðaltöl voru borin saman. Umrædd fylgni milli stöðva fékkst þegar notuð voru öll fánleg mæligildi fyrir heil vatnsár, þar með talin gögn fengin með handmælingum.

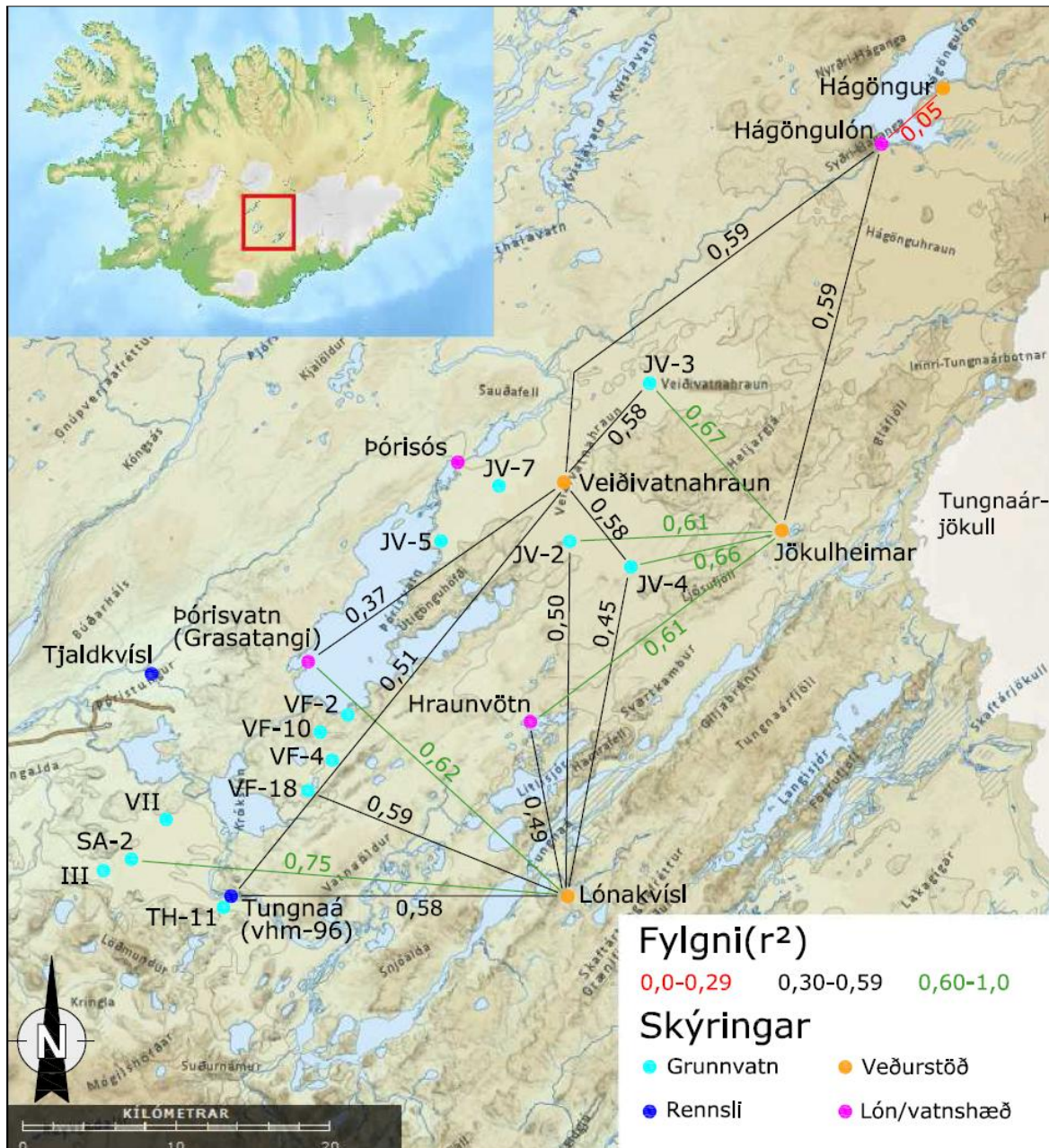


Mynd 3.4 Vatnsársfylgni milli vel valdra mælistaða, gögn fengin með handmælingum meðtalin. Tölur sýna fylgni ( $r^2$ ) og litir á hvaða bili fylgnin liggur. Myndin sýnir fylgni við einangrað grunnrennsli Tungnaár (Loftmyndir ehf., 2015).

Þegar borin eru saman vatnsár eru mæligildin mun færri en þegar mánuðir eru bornir saman. Einnig eru sveiflur mun minni og jafnari yfir allt svæðið. Fylgni milli mælistöðva var því oft töluvert meiri en þegar borin voru saman mánaðarmeðaltöl. Engar stórvægilegar breytingar var þó að finna þegar samband milli mælistaða var skoðað. Mestu fylgnina var aftur að finna milli Þórisvatns og grunnvatnshola í allra næsta nágrenni. Einnig var mikil

fylgni á milli Hraunvatna og JV-grunnvatnshola. Einangraða grunnrennsli Tungnaár sýndi mesta fylgni við Hraunvötn og JV-grunnvatnsholurnar þar fyrir norðan ásamt grunnvatnsholunum VF-10 og 18 sunnan við Þórisvatn. Hágöngulón sýndi svo góða fylgni við allar VF og JV-grunnvatnsholur.

Þegar vatnsár voru skoðuð var einnig hægt að sjá fylgni Tungnaár og annara mælistöðva við jökulbráð af Tungnaárjökli. Mest fylgni var milli jökulafkomu og grunnvatnsholanna JV-2, 3 og 4 en þetta eru þær grunnvatnsholur sem eru næst jöklinum. Því næst var fylgnin mest við Þórisvatn og Hágöngulón. Fylgni jökulbráðar við aðra mælistaði var mun minni, þar með talið við rennsli Tungnaár.



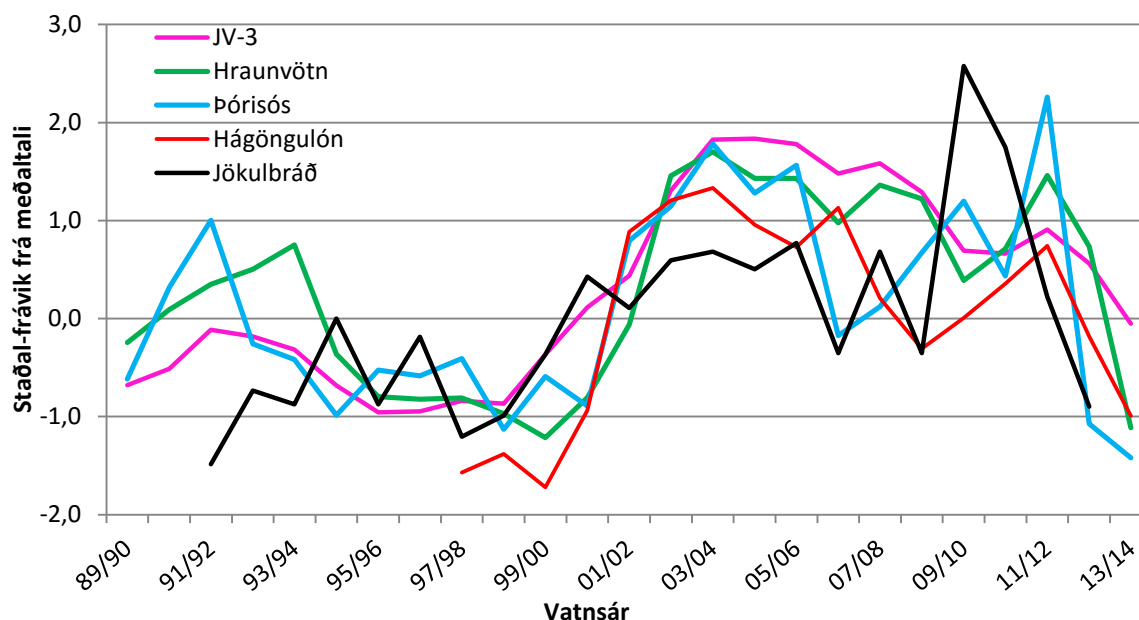
Mynd 3.5 Vatnsársfylgni úrkomu við aðra vel valda mælistaði. Eingöngu gögn fengin með sírita. Tölur sýna fylgni ( $r^2$ ) og litir á hvaða bili fylgnin liggur. Myndin sýnir fylgni við mælt rennsli Tungnaár (Loftmyndir ehf., 2015).

Úrkomustöðvar sýndu einnig meiri fylgni við aðrar mælistöðvar á vatnsársgrundvelli og má sjá fylgni þeirra við aðra mælistaði á mynd 3.5. Aftur var það Lónakvísl sem kemur mest við sögu og var fylgnin allnokkur við margar stöðvar. Mest var þó fylgnin við Þórisvatn og nokkrar grunnvatnsholur því næst og svo við Tungnaá. Fylgni úrkomustöðvarinnar við Lónakvísl var nokkuð meiri við mælt rennsli Tungnaár heldur en við einangrað grunnrennsli árinna. Úrkomustöðvarnar við Jökulheima og í Veidivatnahrauni sýndu góða fylgni við grunnvatnsholur í næsta nágrenni, þ.e. JV-2, 3 og 4, og Hágönglulón, og aðeins minni fylgni við Tungnaá. Úrkomustöðin við Hágöngur sýndi varla nokkra fylgni við aðra mælistaði.

Þegar handmælingar höfðu verið síðar út og einungis stuðst við mælingar gerðar með sjálfvirkum sírita breyttust niðurstöður lítið og stóra myndin hélst sú sama. Eina breytingin að ráði var sú að bæði mælda rennsli Tungnaár og einangrað grunnrennsli árinna sýndu mikla fylgni við grunnvatnsholu III neðan og vestan við Maríufossa. Almennt voru niðurstöður nokkuð svipaðar fyrir þessar tvær rennsliáðir að undanskildu því að einangraða grunnrennslið sýndi mun meiri fylgni við Hraunvötn og grunnvatnsholur JV-2, 3 og 4. Fylgni úrkomustöðva og jökulafkomu við aðrar mælistöðvar var nokkurn veginn sú sama og áður en handmælingar voru síðar út.

### 3.2.3 Breytingar um aldamótin

Um aldamótin varð skörp breyting á vatnshæð nokkurra mælistaða innan athugunarsvæðisins. Helst er um að ræða JV-grunnvatnsholurnar, Hraunvötn og Þórisvatn. Meðalhæð vatnsyfirborðs þessara mælistaða hækkaði snögg á árunum eftir 1999, þar af um 5,5 metra í grunnvatnsholu JV-3. Ekki er öruggt hvað olli þessari hækkun á grunnvatnsyfirborðinu en nokkrar ástæður er líklegar.



Mynd 3.6 Meðalvatnshæð nokkura mælistaða ásamt mældri jökulbráð af Tungnaárjökli.

Í fyrsta lagi var Hágöngumiðlun tekin í gagnid árið 1999. Líklegt er að svo stórt uppistöðulón hafi áhrif á grunnvatn í næsta nágrenni og mögulega eitthvað niður eftir Heljargjárstraumnum. Það sem styrkir þessa kenningu er að mesta breytingin var í

grunnvatnsholu JV-3. Hækkaði meðalvatnsyfirborð JV-3 um 5,5 metra eftir aldamótin en þetta er sá mælistaður sem er næst Hágöngulóni.

Annar möguleiki er sá að aukin jökulbráð á Tungnaárjökli og öðrum nálægum jöklum eftir 1999 hafi hækkað grunnvatnsstöðu svæðisins. Hágöngulón og jökulbráð fylgjast nokkuð vel að enda safnar Hágöngulón jökulbráð til miðlunar. Hinsvegar er ekki víst hvort að aukið grunnvatn á svæðinu komi beint frá jöklunum eða hafi viðkomu í Hágöngulóni. Vatnshæð Hraunvatna hefur verið þekkt fyrir að sveiflast í gegnum tíðina og á vatnsrýru kuldaárunum milli 1960 og 1970 lækkaði vatnsyfirborðið um 5 metra, þar af mest um 1,6 metra á einu ári (Rist, 1981). Um aldamótin hækkaði meðalvatnsyfirborð Hraunvatna um 1,1 metra svo sú mikla sveifla á sér fordæmi. Það er því alls ekki öruggt að Hágöngulón sé ábyrgt fyrir þessum sveiflum þó svo að mögulega hafi það einhver áhrif.

Í þriðja lagi voru árin um og eftir aldamót úrkomusöm og vel yfir langtímameðaltali úrkomu. Skoðuð var úrkoma í Reykjavík og Stykkishólmi, þar sem langar tímaraðir eru til staðar, og svo einnig á Kirkjubæjarklaustri sem staðsett er á Suðurlandi um 60 km sunnan við athugunarsvæðið. Í Reykjavík og Stykkishólmi náðu tímaraðir aftur til 1949 en á Kirkjubæjarklaustri aftur til ársins 1961. Meðal ársúrkomu fyrir og eftir 1999 má sjá í töflu 3.1 (Veðurstofa Íslands, 2015a).

*Tafla 3.1 Meðal ársúrkomu þriggja veðurstöðva á Íslandi fyrir og eftir 1998.*

<b>Veðurstöð</b>	<b>Lengd tímaraðar</b>	<b>Meðal ársúrkomu til og með 1998 [mm/ári]</b>	<b>Meðal ársúrkomu frá og með 1999 [mm/ári]</b>	<b>Breyting [%]</b>
<b>Kirkjubæjar-klaustur</b>	1961 - 2012	1655	1857	12
<b>Reykjavík</b>	1949 - 2015	801	876	9
<b>Stykkishólmur</b>	1949 - 2015	699	737	5

Aukin úrkoma gæti því einnig átt þátt í hærri grunnvatnsstöðu á svæðinu en vandasamt er að segja til um hvert vægi þessara þriggja áhrifaþátta er á grunnvatnsstöðu svæðisins.

Fjórði möguleikinn er sá að hækkun á vatnsyfirborði Þórisvatns og Sauðafellslóns hafi haft áhrif á grunnvatnsstöðu nærliggjandi umhverfis. Á árunum 2002-2003 var miðlunarrými Þórisvatnsmiðlunar aukið með hækkun Köldukvíslarstíflu og Þórisóssstíflu um 2 metra (Freysteinnsson, 2009). Þegar þessum framkvæmdum lauk árið 2003 var hinsvegar mest öll hækkunin á grunnvatnsyfirborði svæðisins komin fram og hafði sú hækkun staðið yfir frá árinu 1999. Það er því talið ólíklegt að umrædd hækkun á miðlunarlónunum sé helsti orsakavaldur þeirrar hækkunar á grunnvatnsyfirborði sem átti sér stað um aldamótin.

Vatnsársfylgni milli mælistaða á svæðinu austan og norðaustan við Þórisvatn breyttist nokkuð eftir 1999 að því leyti að hún jókst innbyrðis á milli JV-2, 3 og 4, Hraunvatna og Þórisóss. Í flestum tilvikum var aukningin hófleg nema í tilviki Þórisóss. Þórisós sýndi mun betri fylgni við alla þessa mælistaði eftir 1999 og sem dæmi fór fylgnin við Hraunvötn úr 0,09 í 0,53. Undantekningin á þessu er grunnvatnsholan JV-7, fylgni við aðra mælistaði var minni eða stóð í stað nema við Hraunvötn, þar jókst fylgni nokkuð.

### 3.2.4 Seinkun á fylgni

Athugað var hvort að breyting á grunnvatnshæð eða lónhæðum kæmi fram seinna í grunnrennsli Tungnaár. Rennslisröðinni sem sýndi einangrað grunnrennsli Tungnaár var hliðrað um einn til fimm mánuði til að sjá hvort aukning yrði í fylgni við aðrar mælistöðvar. Var þetta bæði gert fyrir mánaðarmeðaltöl og vatnsársmeðaltöl.

Niðurstaðan fyrir mánaðarmeðaltöl var sú að í nánast öllum tilvikum minnkaði fylgnin eftir því sem rennslisröð Tungnaár var hliðrað meira. Þær fáu stöðvar sem að sýndu meiri fylgni eftir hliðrun voru almennt með litla fylgni fyrir og lítil breyting átti sér stað. Það voru einkum úrkomustöðvarnar þrjár við Lónakvísl, Veidivatnahraun og Jökulheima sem að sýndu einhverja aukningu í fylgni og náði fylgnin hámarki í rennsli Tungnaár sem kom þrem mánuðum seinna. Breytingin var þó lítil, fylgni við Lónakvísl fór úr 0,08 í 0,12 en annars staðar var breytingin minni.

Fyrir vatnsár var aftur hjá miklum meirihluta mælistöðva mest fylgni við rennsli Tungnaár ef engin hliðrun á rennslisröð Tungnaár átti sér stað. Hjá þeim fáu stöðvum sem sýndu aukna fylgni kom aukningin ekki fram fyrr en rennsli í Tungnaá hafði verið hliðrað um tvö eða fleiri ár og almennt var mikil minnkun í fylgni þar á milli. Einungis tvær mælistöðvar sýndu aukningu í fylgni þegar tímaraðir þeirra voru bornar saman við rennslisröð Tungnaár sem kom ári seinna. Voru það grunnvatnsholan V-2 þar sem fylgnin fór úr 0,01 í 0,12 og svo Tjaldkvísl þar sem fylgnin fór úr 0,09 í 0,12.

### 3.2.5 Túlkun á fylgni

Eftir að hafa reiknað fylgni innbyrðis á milli allra mælistöðva á svæðinu, auk úrkomustöðva og jökulbráðunar fékkst nokkuð gott yfirlit yfir vatnafræði svæðisins. Takmarkaður munur var á fylgni milli mánaða og vatnsára, og svo með og án handmælinga. Stóra myndin var samt alltaf sú sama og verður farið yfir hana hér á eftir. Tafla 3.2 er sýnishorn af töflum sem finna má í viðauka A. Í þeim töflum má sjá nákvæma innbyrðis fylgni milli allra mælistaða.

Tafla 3.2 Innbyrðis mánaðarfylgni ( $r^2$ ) milli allra mælistaða, handmælingar meðtaldar. Græni liturinn táknar mikla fylgni og rauði liturinn litla fylgni.

	TH-11	VF-2	VF-4	VF-10	VF-18	JV-2	JV-3	JV-4	JV-5	JV-7	V-2	III	SA-2	VII	Hraunvötn	Þórisvörn	Þórisvörn	Hágöngu-lön	Tungnaá	Tungnaá-grunnrennsli	Tungnaá-Tjaldkvísl
TH-11	0.06	0.02	0.05	0.10	0.21	0.20	0.19	0.05	0.08	0.01	0.10	0.38	0.04	0.34	0.04	0.04	0.05	0.02	0.45	0.11	0.01
VF-2	0.77	0.87	0.73	0.42	0.20	0.27	0.76	0.80	0.10	0.00	0.04	0.01	0.01	0.17	0.78	0.77	0.46	0.04	0.23	0.01	
VF-4	0.89	0.82	0.34	0.12	0.22	0.48	0.54	0.11	0.00	0.02	0.01	0.01	0.18	0.42	0.54	0.32	0.00	0.00	0.14	0.00	
VF-10	0.87	0.89	0.94	0.53	0.29	0.39	0.62	0.74	0.11	0.00	0.04	0.01	0.26	0.58	0.61	0.39	0.00	0.00	0.00	0.36	0.01
VF-18	0.73	0.82	0.94	0.61	0.39	0.50	0.47	0.62	0.06	0.01	0.10	0.03	0.38	0.37	0.44	0.32	0.02	0.02	0.41	0.41	0.00
JV-2	0.42	0.34	0.53	0.61	0.86	0.96	0.42	0.66	0.01	0.00	0.10	0.00	0.81	0.36	0.40	0.29	0.10	0.10	0.41	0.41	0.01
JV-3	0.20	0.12	0.29	0.39	0.86	0.93	0.17	0.40	0.00	0.00	0.07	0.00	0.71	0.16	0.18	0.20	0.08	0.08	0.38	0.38	0.04
JV-4	0.19	0.27	0.39	0.50	0.96	0.93	0.26	0.50	0.00	0.00	0.08	0.00	0.86	0.23	0.24	0.21	0.11	0.11	0.43	0.43	0.00
JV-5	0.05	0.76	0.48	0.62	0.47	0.42	0.17	0.26	0.81	0.12	0.02	0.02	0.00	0.18	0.77	0.94	0.63	0.10	0.16	0.16	0.01
JV-7	0.08	0.80	0.54	0.74	0.62	0.66	0.40	0.50	0.81	0.12	0.02	0.02	0.00	0.34	0.83	0.80	0.49	0.06	0.23	0.23	0.01
V-2	0.01	0.10	0.11	0.06	0.01	0.00	0.00	0.12	0.12	0.01	0.01	0.03	0.00	0.16	0.17	0.09	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00
III	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.29	0.33	0.02	0.04	0.03	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	0.20
SA-2	0.38	0.04	0.02	0.04	0.10	0.10	0.07	0.08	0.02	0.01	0.29	0.34	0.20	0.01	0.01	0.01	0.00	0.25	0.04	0.04	0.00
VII	0.04	0.01	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.34	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.08	0.01	0.01	0.11
Hraunvötn	0.34	0.17	0.18	0.26	0.38	0.81	0.71	0.86	0.18	0.34	0.00	0.02	0.20	0.00	0.12	0.15	0.09	0.18	0.32	0.32	0.00
Þórisvörn	0.04	0.78	0.42	0.58	0.37	0.36	0.16	0.23	0.77	0.83	0.16	0.04	0.01	0.00	0.12	0.78	0.41	0.05	0.14	0.14	0.03
Þórisvörn	0.05	0.77	0.54	0.61	0.44	0.40	0.18	0.24	0.94	0.80	0.17	0.03	0.01	0.01	0.78	0.78	0.59	0.04	0.17	0.17	0.05
Hágöngu-lön	0.02	0.46	0.32	0.39	0.32	0.29	0.20	0.21	0.63	0.49	0.09	0.00	0.00	0.09	0.41	0.59	0.07	0.07	0.13	0.13	0.00
Tungnaá-grunnrennsli	0.45	0.04	0.00	0.00	0.02	0.10	0.08	0.11	0.10	0.06	0.08	0.03	0.25	0.18	0.05	0.04	0.07	0.00	0.06	0.06	0.00
Tungnaá-Tjaldkvísl	0.11	0.23	0.14	0.36	0.41	0.41	0.38	0.43	0.16	0.23	0.00	0.04	0.01	0.32	0.14	0.17	0.13	0.06	0.08	0.08	0.01
Lónakvísl	0.06	0.17	0.12	0.16	0.14	0.05	0.03	0.03	0.13	0.15	0.08	0.04	0.03	0.04	0.15	0.13	0.09	0.13	0.08	0.08	0.05
Veitv./hraun	0.00	0.10	0.04	0.06	0.06	0.03	0.03	0.02	0.09	0.09	0.04	0.00	0.01	0.01	0.09	0.10	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05
Jökulheimar	0.00	0.07	0.04	0.06	0.06	0.02	0.02	0.01	0.08	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.10	0.04	0.05	0.05	0.05
Hágöngur	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.04	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.01	0.01	0.05

### Mælt rennsli Tungnaár

Mælt rennsli í Tungnaá sýndi litla mánaðarfylgni við aðrar mælistöðvar. Eina stöðin sem sýndi einhverja fylgni að ráði var grunnvatnsholan TH-11 sem staðsett er í hrauninu alveg við Maríufossa þar sem rennismælirinn í Tungnaá er staðsettur. Einnig var góð vatnsársfylgni við grunnvatnsholurnar III og SA-2 sem staðsettar eru í gljúpu hrauni skammt neðan Tungnaár. Líklegt er að sveiflurnar í þessum grunnvatnsholum fylgi rennslinu í Tungnaá en ekki öfugt. Smávægileg mánaðarfylgni var við úrkomustöðina í Lónakvísl en lítil við aðrar úrkomustöðvar. Úrkomustöðin við Lónakvísl er staðsett á úrkomusömu svæði skammt sunnan Tungnaár og því líklegt að úrkoma þar skili sér betur



og fyrr út í rennsli Tungnaár heldur en úrkoma sem fellur í grennd við hinar úrkomustöðvarnar.

## Einangrað grunnrennsli Tungnaár

Einangrað grunnrennsli Tungnaár sýndi meiri fylgni við nánast allar aðrar mælistöðvar heldur en mælt rennsli Tungnaár. Undantekningar á því eru grunnvatnsholurnar fjórar sunnan við Tungnaá og úrkomustöðin við Lónakvísl. Þessar stöðvar eru líklegastar til að hafa áhrif á eða verða fyrir áhrifum af rennslistoppum í Tungnaá og skýrir það hvers vegna að aðrir mælistaðir sýndu almennt meiri fylgni við einangraða grunnrennsli Tungnaár. Áberandi mest fylgni var við grunnvatnsholurnar JV-2, 3 og 4 og við Hraunvötn. Fylgni við aðrar mælistöðvar var töluvert minni. Jökulbráð og úrkoma sýndu bæði litla fylgni við grunnrennsli Tungnaár en helst var það úrkomustöðin við Jökulheima sem sýndi meiri fylgni en aðrar úrkomustöðvar.

## Þórisvatn

Þórisvatn sýndi afar góða fylgni við VF-grunnvatnsholur og svo einnig grunnvatsholur JV-5 og 7. Allir þessir mælistaðir eru í næsta nágrenni við Þórisvatn og sumir örstutt frá vatnsbakkanum. Fylgnin minnkaði eftir því sem fjarlægðin við Þórisvatn jókst og var fylgnin við grunnvatnsholur JV-3 og 4 mun minni. Þórisvatn sýndi líka nokkra fylgni við Hágöngulón enda eru lónin tengd saman í gegnum Köldukvísl. Lítil mánaðarfylgni var á milli Þórisvatns og Hraunvatna og sama fylgni var við einangrað grunnrennsli Tungnaár. Engin mánaðarfylgni var við grunnvatnsholur sunnan Tungnaár. Þórisvatn virðist hafa mikil áhrif á grunnvatn í næsta nágrenni en þau áhrif dvína hratt með fjarlægð. Ef Tungnaá verður fyrir áhrifum frá Þórisvatni þá eru þau að öllum líkindum lítil.

## Hágöngulón

Hágöngulón er efsti mælistaðurinn á vatnasviðinu og var fylgnin við aðra mælistaði breytileg eftir því hvort um var að ræða fylgni byggða á mánaðarmeðaltölum eða vatnsármeðaltölum. Þegar mánuðir voru skoðaðir var fylgnin langmest við Þórisvatn og grunnvatnsholur JV-5 og 7. Mun minni fylgni var við aðra mælistaði og afar lítil við Hraunvötn. Þegar vatnsár voru skoðuð snérist dæmið við og Hraunvötn sýndu mestu fylgnina ástamt grunnvatnsholunum þar næst, JV-2, 3 og 4. Þar á eftir komu grunnvatnsholurnar VF-10 og 18. Þórisvatn sýndi áberandi minni fylgni við Hágöngulón. Skýring á þessum mun gæti verið að Hágöngulón og Þórisvatn eru bæði miðlunarhlórn þar sem vatnshæðin verður fyrir áhrifum af mannavöldum. Miðlun rennslis gæti því mögulega útskýrt af hverju breytingar á milli mánaða koma svona skýrt fram í fylgni. Þegar vatnsárið í heild er skoðað er mögulegt að vatnshæð Hágöngulóns sé meira í takt við náttúrulegar sveiflur og sýni þess vegna betri fylgni við bæði Hraunvötn og JV og VF-grunnvatnsholur.

## JV-grunnvatnsholur

JV-grunnvatnsholunum má skipta í tvo hópa. JV-5 og 7 eru í næsta nágrenni við Þórisvatn og fylgdu vatnshæðinni í Þórisvatni sama hvernig gögnin voru skoðuð. JV-2, 3 og 4 eru hinsvegar fjar Þórisvatni og sýndu almennt langmesta fylgni við Hraunvötn og grunnvatnsholurnar VF-18 og 10. Þær sýndu auk þess þó nokkra fylgni við einangrað grunnrennsli Tungnaár og var það meiri fylgni en við Þórisvatn. JV-2, 3 og 4 sýndu svo góða fylgni við Hágöngulón þegar borin voru saman vatnsársmeðaltöl.

## VF-grunnvatnsholur

VF-grunnvatnsholunum má einnig skipta í tvennt. Innbyrðis sýndu þessir mælistaðir mikla fylgni sín á milli bæði á vatnsárs- og mánaðargrundvelli. VF-2 og 4 fylgdu hinsvegar Þórisvatni nánast í einu og öllu og þá sérstaklega VF-2, enda staðsett mjög nálægt vatnsbakkanum. VF-10 og 18 sýndu ekki jafn góða fylgni við Þórisvatn en voru með mun meiri fylgni við grunnvatnsholur JV-2, 3 og 4. Sérstaklega sýndi VF-18 góða mánaðarfylgni við þessa mælistaði ásamt því að sýna góða fylgni við Hraunvötn.

## Úrkoma

Úrkoma á svæðinu sýndi ekki mikla mánaðarfylgni við mælistaði. Lónakvísl var þó með nokkra fylgni við VF-grunnvatnsholurnar, Þórisvatn, JV-5 og 7 og mælt rennsli Tungnaár. Aðrar úrkomustöðvar sýndu minni fylgni við svo gott sem alla mælistaði. Lónakvísl er staðsett í Grænafjallgarði og er mun sunnar en hinar úrkomustöðvarnar. Þessi stöð er innan mjög úrkomusams svæðis sem fylgir jaðri hálendi Íslands á suðurströndinni og er úrkoma við Lónakvísl allt að tvöföld ársúrkoma hinna stöðvanna. Því er mun líklegra að stakir úrkomuatburðir og úrkomusamir mánuðir á því svæði geti haft áhrif á mælt rennsli Tungnaár. Fylgni við einangrað grunnrennsli Tungnaár er mun minna og því má áætla að áhrif á grunnvatnsstöðu séu takmörkuð til skamms tíma.

Þegar vatnsárin voru skoðuð í heild sýndi Lónakvísl töluverða fylgni við Þórisvatn og nálægar grunnvatnsholur og góða fylgni við grunnvatnsholuna SA-2. Mikil fylgni var á milli úrkomustöðvarinnar í Jökulheimum við grunnvatnsholurnar JV-2, 3 og 4 og einnig við Hraunvötn. Úrkomustöðin í Veiðivatnahrauni sýndi einnig góða fylgni við þessa mælistaði. Veðurstöðvarnar í Veiðivatnahrauni og Jökulheimum sýndu báðar þónokkra fylgni við Tungnaá og var fylgnin nánast sú sama fyrir báðar veðurstöðvar. Fylgnin var nokkurn veginn sú sama við mælt rennsli Tungnaár og einangraðað grunnrennsli Tungnaár. Lítið er um yfirborðsvatn á svæðinu austan og norðaustan við Þórisvatn og því fer öll úrkoma líklega fljótt niður í grunnvatnið. Úrkoma á þessu svæði er ekki nógu mikil til að hafa áhrif á grunnvatnið milli mánaða en þessi mikla vatnsársfylgni sýnir að líklegt er að árstíðarsveiflur grunnvatnsins verði að einhverju leyti fyrir áhrifum úrkomu.

## Jökulbráð af Tungnaárjökli

Jökulbráð var bara hægt að bera saman við aðrar mælistöðvar á ársgrundvelli. Fylgni var mest við grunnvatnsholurnar JV-2, 3 og 4 og var hún á bilinu 0,25-0,30. Aðeins minni fylgni var við Hágöngulón, Þórisvatn og grunnvatnsholur JV-5 og 7. Mælistaðirnir JV-2, 3 og 4 eru þær grunnvatnsholur sem eru hvað næst jöklinum og mikið grunnvatn fer um hraunlögin á því svæði. Því er líklegt að þær verði fyrir nokkrum áhrifum frá afkomu af jökli. Að sama skapi þá eru Hágöngulón og Þórisvatn uppistöðulón sem að safna afkomu af jökli yfir sumarið og því ekki óvænt að þau sýni fylgni við jökulbráðina. Fylgni við Hraunvötn var 0,14 en aðrar mælistöðvar sýndu mun minni fylgni, þar með talið mælt rennsli Tungnaár sem og einangraða grunnrennsli árinna.

## Tjaldkvísl

Tjaldkvísl kemur ekki mikið við sögu og var mánaðarfylgni við aðrar mælistöðvar nánast engin. Rennsli í ánni er stöðugt og jafnvel árið 2014, þegar vatnsstaða á svæðinu var í lágmarki, hélt áin rennsli sínu nokkuð vel og var ársrennslið 90% af meðaltali. Annað var uppi á teningnum þegar vatnsár voru skoðuð. Tjaldkvísl sýndi góða fylgni við Hágöngulón og grunnvatnsholuna SA-2 sem staðsett er handan Tungnaár suðvestan við Krókslón. Að

auki sýndi hún nokkuð góða fylgni við grunnvatnsholurnar VF-2, 10 og 18 og JV-5. Uppistaðan í rennsli Tjaldkvíslar er að miklu leyti lekavatn úr Þórisvatni og allar þessar grunnvatnsholur eiga það sameiginlegt að vera nálægt Þórisvatni og verða fyrir töluverðum áhrifum af völdum þess líkt og Tjaldkvísl. Fylgni Tjaldkvíslar við Þórisvatn sjálft var hinsvegar sáralítill. Möguleiki er að lekavatn úr Þórisvatni finni sér leið eftir einhverjum farvegi neðanjarðar sem leiði það að grunnvatnsholunni SA-2 og því sé fylgni holunnar svo mikil við Tjaldkvísl. Af hverju fylgnin við Hágöngulón stafar og af hverju hún er svona mikil er vandasamt að segja til um, bæði er fjarlægðin mikil og Þórisvatn á milli mælistaðanna.

## Grunnvatnsholan V-2

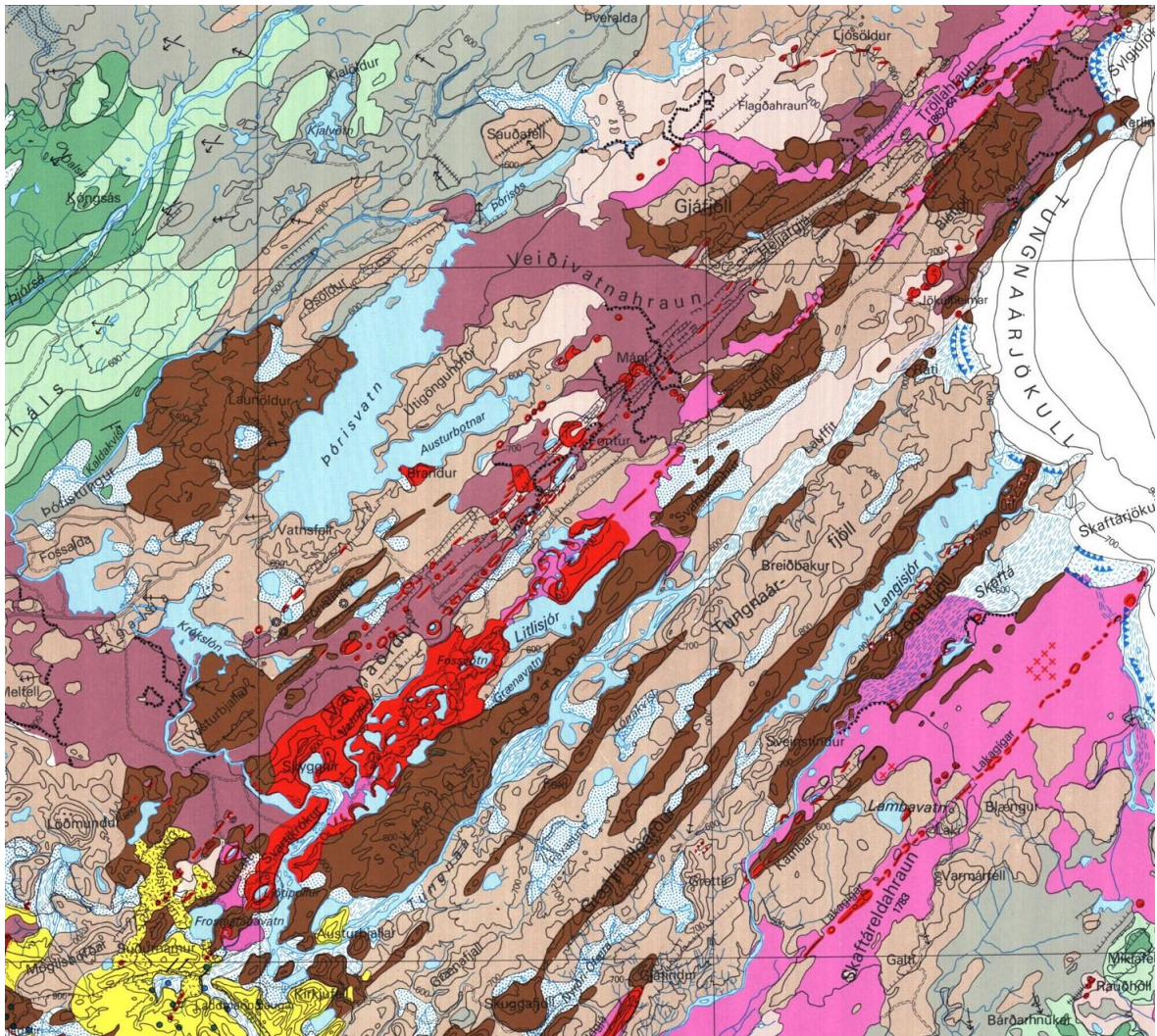
Grunnvatnsholan V-2 sker sig nokkuð úr enda staðsett mjög ofarlega á vatnasviðinu og fyrir ofan öll mannvirki. Holan á því að vera laus við áhrif af mannavöldum og endurspegla náttúrulega sveiflu grunnvatnsyfirborðs á svæðinu. Sveiflur í vatnshæð holunnar hafa verið litlar frá 1985 og í engu samræmi við sveiflur grunnvatnshola í nágrenni Tungnaár og Þórisvatns. Það kemur því ekki á óvart að fylgni við mælistaði innan athugunarsvæðisins var í lágmarki. Lítil mánaðarfylgni var við Þórisvatn sem getur stafað af því að V-2 er staðsett skammt frá Kvíslaveitum. Mögulegt er að þegar grunnvatnsstaða V-2 og Kvíslaveita er góð þá aukist rennsli til Þórisvatns sem orsaki þessa fylgni, sem var þó ekki mikil. Fylgni milli V-2 og Þórisvatns var minni á vatnsársgrundvelli.

### 3.2.6 Samantekt á fylgni

Þegar allt hefur verið tekið saman virðist vera nokkuð einkennandi mynstur á fylgni innan vatnasvæðisins. Þórisvatn hefur mikil áhrif á næsta nágrenni en það sem virðist einkenna svæðið er fylgni á milli mælistöðva sunnan, austan og norðaustan við Þórisvatn. eru það mælistaðirnir VF-18 og 10, Hraunvötn og JV-2, 3 og 4. Þessar mælistöðvar sýna svo allar svipað góða fylgni við einangrað grunnrennsli Tungnaár, sérstaklega á vatnsársgrundvelli. Virðist þetta staðfesta tilvist grunnvatnsstraumanna tveggja, Veiðivatnastraums og Heljargjárstraums, sem fjallað var um í kafla 1.4.1 og áhrif þeirra á rennsli Tungnaár. Jökulbráð og úrkoma hafa bæði áhrif á grunnvatn á svæðinu en mismikið þó og vandasamt er að meta þau áhrif þar sem sveiflur og breytingar gerast hægt yfir langan tíma. Grunnvatn frá jökulbráð virðist hafa einhver áhrif á Tungnaá í gegnum grunnvatnsstraumana sem lýst var hér að ofan sem og úrkoma austan Þórisvatns. Úrkoma í Grænafjallgarði virðist einnig hafa nokkur áhrif á rennsli Tungnaár en engir grunnvatnsmælur eru á því svæði svo torveldara er að segja til um grunnvatnsáhrif úrkomunnar. Innbyrðis fylgni milli allra mælistaða má sjá í viðauka A.

### Áhrif jarðfræði

Þegar niðurstöður úr fylgniútreikningum eru teknar saman og bornar saman við jarðfræði á svæðinu sést að grunnvatnsstraumar og fylgni milli mælistöðva er alls ekki tilviljunum háð. Á mynd 3.7 sést hvernig Veiðivatnahraun þekur landsvæðið norðaustan Þórisvatns og teygir sig svo suður fyrir vatnið niður í Tungnaárkrók. Þessi nútímahraun eru, líkt og áður hefur verið greint frá, góður leiðari fyrir vatn og finna grunnvatnsstraumarnir sér farveg í hrauninu suður fyrir Þórisvatn. Í berggrunninum er mikið um höggunarprungur sem stefna í NA-SV líkt og móbergshryggirnir og gígaraðirnar á svæðinu. Höggunarprungurnar eru öllu jafna mjög vatnsleiðandi og hafa mikil áhrif á stefnu grunnvatns á svæðinu. Gera sprungurnar það að verkum að fylgni milli mælistöðva á sama sprungusveim er meiri heldur en fylgni milli mælistöðva á mismunandi sprungusveimum (Egilson, 2016).



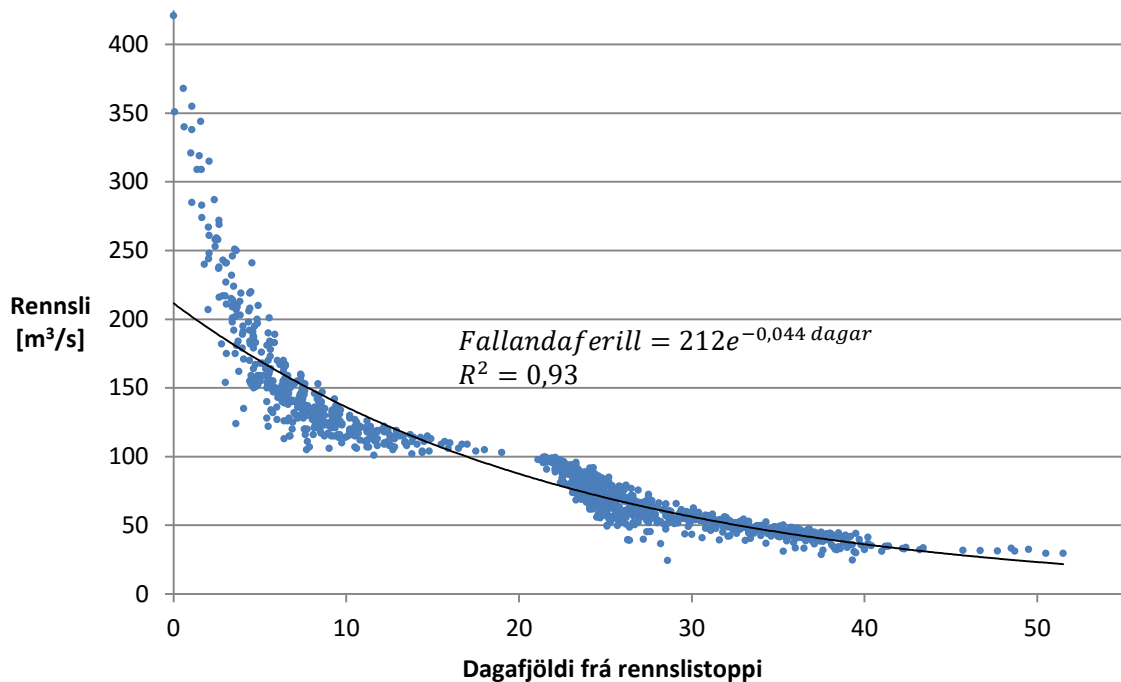
Mynd 3.7 Jarðfræðikort af Tungnaá og nágrenni. Nútímahraun eru fjólublá og bleik, móberg frá ísöld er ljósbrúnt(eldra) og dökkbrúnt (yngra) og gróf gjóska á eldstöðvum er rauð (Jóhannesson, Jakobsson, & Sæmundsson, 1990).

### 3.3 Aðfallsgreining á Tungnaá

Við aðfallsgreiningu og gerð aðfallsferils fyrir Tungnaá var notast við vatnafræðiforritið HydroOffice 2015. Inntak forritsins var einföld rennslisröð fyrir mælt rennsli í Tungnaá á forminu dagsmeðaltal. Því næst greindi forritið sjálf fallanda í rennslisröðinni og raðaði þeim saman og ítraði til að fá endanlegan aðfallsferil.

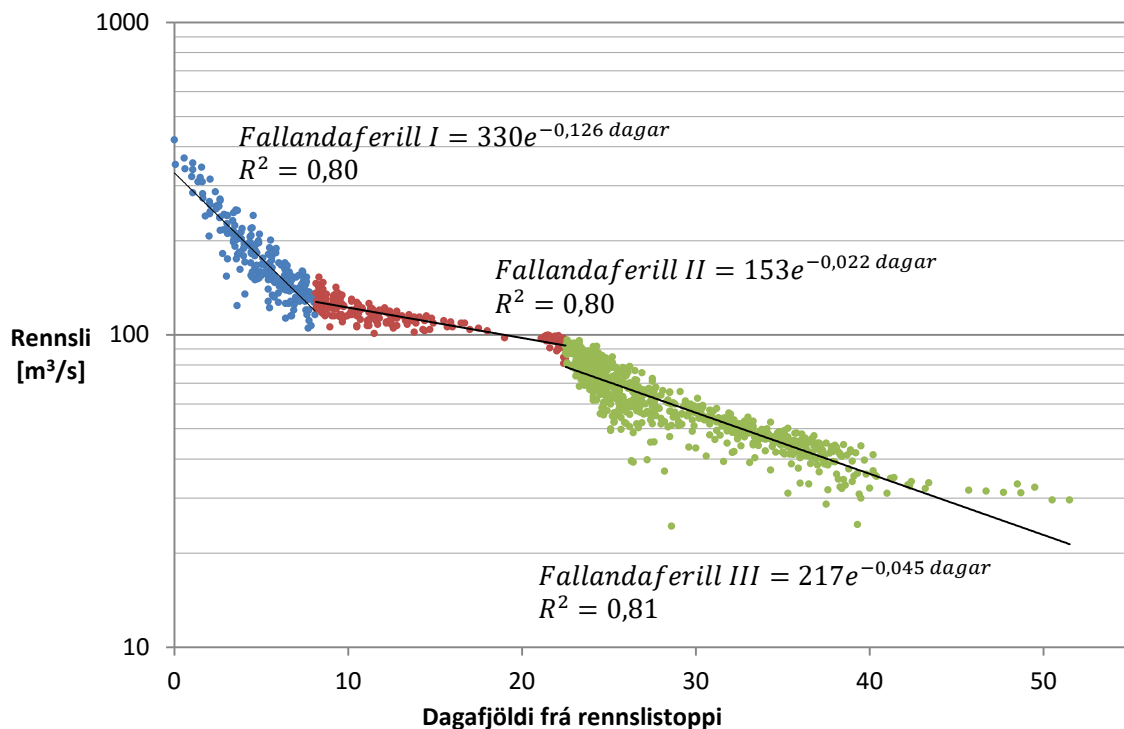
Forritið var stillt þannig að það fann alla fallanda þar sem stöðug minnkun var í rennsli í fjóra daga samfleytt eða lengur. Gjaldfrjálsa útgáfan af forritinu sem finna má á veraldarvefnum getur einungis unnið með 256 staka fallanda í einu og því var notuð rennslisröð sem náði frá janúar 1999 til október 2014. Á því bili voru nákvæmlega 253 fallandar sem voru 4 dagar eða lengri og var lengsti fallandinn 18 dagar samfleytt frá mars og fram í apríl árið 2006. Þegar búið var að brjóta fallandana upp í fjögurra daga einingar til að vinna með voru fallandaeiningarnar alls 312 talsins.

Forritið skilaði að lokum frá sér niðurstöðu á myndrænu formi en aðfallsferil Tungnaár má sjá á mynd 3.8. Ferillinn sýnir hvernig rennsli í Tungnaá minnkar eftir því sem lengra líður frá rennslistoppi ef engin atburður hleður kerfið að nýju. Rennslíð er á nokkru stóru bili, frá u.þ.b. 25 m<sup>3</sup>/s upp í rúmlega 420 m<sup>3</sup>/s. Vissulega hefur mælst meira rennsli í Tungnaá en 420 m<sup>3</sup>/s en slíkum rennslistoppum hafa ekki fylgt að minnsta kosti fjórir samfelldir dagar af fallandi rennsli, allavega ekki frá og með janúar 1999, og því voru þeir ekki með í aðfallsgreiningunni.



Mynd 3.8 Aðfallsferill Tungnaár sýnir fallanda í rennsli eftir því sem lengra líður frá rennslistopp.

Á mynd 3.8 sést hvernig aðfallsferillinn fylgir veldisvexti en er þó nokkurn veginn tvískiptur. Það stafar af því hvernig afrennsli af vatnasviðinu er háttað og af muninum á yfirborðsafrennsli og afrennsli úr jarðvegi. Á bakvið þennan aðfallsferil eru 15 vatnsár sem voru misjafnlega vatnsrík og því er dreifni punktastöfningsins töluverð. Í góðum vatnsárum eru fallandar aflíðandi og rennslið minnkar hægar en í slæmum vatnsárum þar sem búast má við því að fallandar séu almennt mun skarpari. Því er lárétt dreifni aðfallsferilsins mun meiri, sérstaklega síðari hluti ferilsins, heldur en ef eitt eða fá vatnsár væru notuð til grundvallar.



Mynd 3.9 Aðfallsferill Tungnaár. Lóðrétti ásin er í log-skala og munurinn á mismunandi afrennsli sést vel. Blái liturinn er rennsli af yfirborði, sá rauði úr jarðvegi ofan grunnvatnsyfirborðs og sá græni er grunnvatnsrennsli.

Á mynd 3.9 er búið að setja lóðrétt á s grafsins í log-skala og sést þá hvernig hægt er að brjóta aðfallsferilinn upp í þrjú mismunandi hluta. Hverjum hluta ferilsins er hægt að lýsa sem beinni línu með mismunandi hallatölum. Fyrsti hluti ferilsins, með bröttustu hallatöluna, er yfirborðsrennsli sem rennur óhindrað út í Tungnaá. Yfirborðsrennsli virðist að mestu eiga sér stað þegar rennslið er yfir  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ . Þegar komið er niður fyrir  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  breytist aðfallsferillinn og við tekur afrennsli úr efsta lagi jarðvegsins. Þetta vatn skilar sér seinna út í rennsli árinna eftir að hafa orðið fyrir fyrirstöðu í jarðveginum en er þó fyrir ofan grunnvatnsyfirborð svæðisins. Svo virðist sem þetta afrennsli skili sér út í Tungnaá þegar rennslið er yfir  $90 \text{ m}^3/\text{s}$ . Þegar rennslið er komið niður fyrir  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  breytist ferillinn aftur og þá er áin farin að sækja rennsli sitt í vatn úr jarðveginum fyrir neðan grunnvatnsyfirborðið. Þetta er stærsti vatnsforði árinna og sér henni fyrir vatni þegar úrkoma og jökulbráð er í minna lagi til lengri tíma.

Með því að skoða lárétt ásin á aðfallsferlinum má sjá hvað það tekur langan tíma fyrir rennsli árinna að falla niður í lágmarksrennsli. Út frá því má áætla að það taki um það bil 25 daga að klára helsta grunnvatnsforða árinna, þ.e. fara úr  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  rennsli niður í  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  rennsli. Þetta miðast við allra verstu aðstæður þar sem að engin atburður kemur til og hleður kerfið að nýju, hvort sem það er úrkoma eða snjóbráð. Í kafla 1.4.2. var fjallað um lengd þurrkatímabíla í Reykjavík og voru þurrkar sem stóðu yfir í 25 daga eða lengur fátíðir, alls komu þeir fyrir fjórum sinnum á 15 ára tímabili. Samfara þessum þurrkum þyrfti að vera mikið kuldatímabil til að taka fyrir alla snjóbráð á svæðinu allan tímann. Úrkomuminnstu mánuðurnir eru þó að öllu jöfnu maí og júní þegar snjóbráðar og leysingavatns er helst að vænta. Það er því ólíklegt að rennslið falli svo snarpt heldur minnki grunnvatnsforði árinna hægar yfir löng, þurr og köld tímabil þar sem kerfið hleður sig alltaf minna og minna í hverjum atburði.

Fyrri hluta árs 2014 náði rennsli í Tungnaá sögulegu lágmarki. Hafði þá verið kalt og úrkomulítið allan veturinn. Ef úrkoma er skoðuð yfir tímabilið október til apríl, það tímabil sem að engin jökulbráðnun á sér stað og úrkoma á mikilvægari þátt í rennsli árinna, sést að veturinn 2013/2014 var einstaklega úrkomulítill. Heildarúrkoma vatnsársins 2013/2014 var alls ekki slæm, 95-99% af meðaltali, en því er að þakka úrkomusömu sumri. Úrkomu yfir vetrartímabilið október til apríl veturinn 2013/2014 má sjá í töflu 3.3.

Tafla 3.3 Úrkoma á veðurstöðvum í október - apríl veturinn 2013/2014 sem hlutfall af meðalúrkomu sama tímabils.

	Lónakvísl	Veiðivatna- hraun	Jökul- heimar	Hágöngur	Kerlingardalur
<b>Hlutfall af meðalúrkomu okt - apr [%]</b>	36,7	75,7	68,3	97,2	85,1

Í töflu 1.2 er farið yfir úrkomulítill tímabil í Reykjavík. Þar sést að úrkomuminnsta 7 mánaða tímabilið var 52,2% af meðalúrkomu sama tímabils. Það setur í samhengi hversu lítil úrkoma mældist á veðurstöðinni við Lónakvísl þar sem vetrarúrkoman var einungis 36,7% af meðaltali. Úrkoma á öðrum veðurstöðum var nær meðaltali þó nokkuð hafi vantað upp á í Veiðivatnahrauni og Jökulheimum. Úrkoma við Hágöngur var nánast í meðallagi. Einnig er til samanburðar sýnd úrkoma yfir sama tímabil í Kerlingadal (Veðurstofa Íslands, 2016). Sú veðurstöð er staðsett á mjög úrkomusömu svæði á suðurströnd landsins skammt austan við Vík í Mýrdal. Veðurstöðin við Lónakvísl var tekin í gagnið 1999 og því aðeins rúmlega áratugur af gögnum á bakvið þessa tölu. Engu að síður gefur þetta vísbendingu um það hve mikilvæg úrkoma í hinum annars úrkomusama Grænafjallgarði er fyrir rennsli Tungnaár.

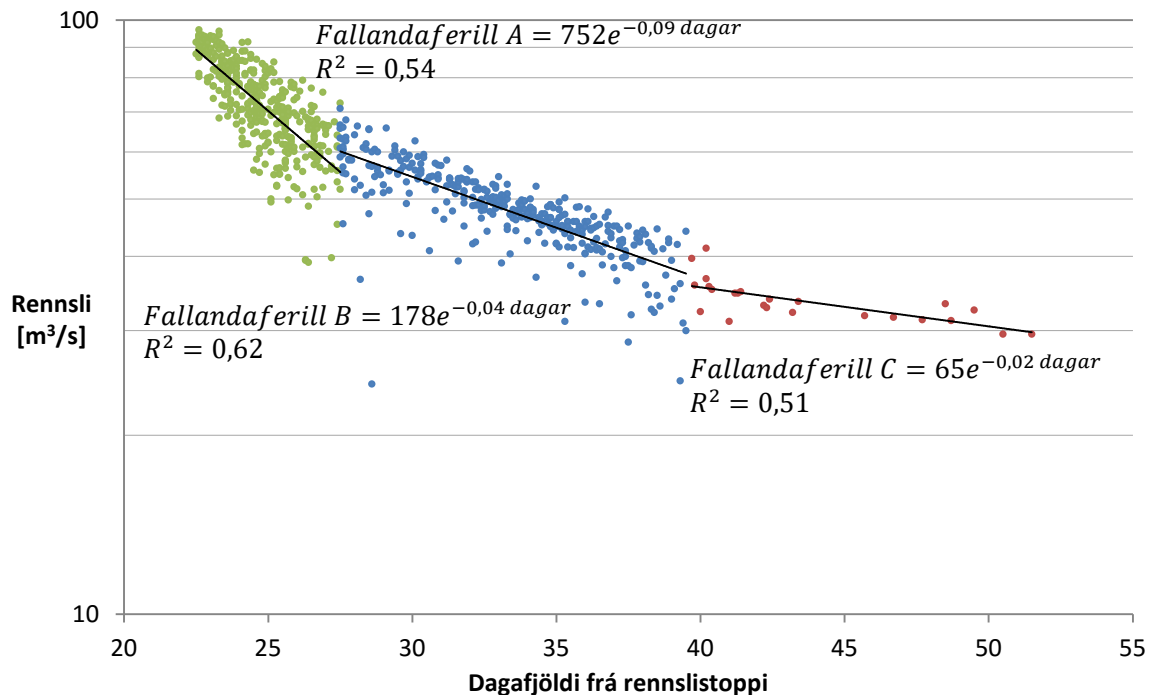
### 3.3.1 Áætlun á rúmtaki grunnvatnsgeymis

Til að áætlega rúmtak þess grunnvatnsgeymis sem Tungnaá nýtir sér var hægt að taka  $\alpha$ -gildið úr jöfnu 7 sem lýsir hallanum á grunnvatnshluta aðfallsferilsins og stinga inn í jöfnu 9. Fékkst þá að rúmtak grunnvatnsgeymis Tungnaár væri alls 417.542.400 m<sup>3</sup> (417,5 Gl). Til samanburðar þá notaði Veðurstofa Íslands sömu aðferð til að reikna út rúmtak grunnvatnsgeymis Skaftár, nágrannaár Tungnaár. Árnar renna hvor sínu megin við Grænafjallgarð og einungis 10 km aðskilja þessar ár sem báðar eru blanda af jökulá og lindá. Skaftá er þó ívið vatnsmeiri og áætlaði Veðurstofa Íslands að rúmtak grunnvatnsgeymis Skaftár væri 518.400.000 m<sup>3</sup> (518,4 Gl). Þá var  $\alpha$ -gildið úr jöfnu 7 sem lýsir hallanum á grunnvatnshluta aðfallsferils Skaftár 0,045 sem er sami halli og fékkst fyrir grunnvatnshluta aðfallsferils Tungnaár (Lugten, 2013). Þessi stærð á rúmtaki segir ekki til um magn alls grunnvatns innan vatnasviðsins heldur einungis það grunnvatn sem áin getur sótt í ef til langvarandi þurrka kæmi.

### 3.3.2 Grunnvatnsgeymar

Ef aftasti hluti aðfallsferils Tungnaár er skoðaður má sjá að hann er hvorki jafn línulegur né einsleitur og hinir hlutar ferilsins. Ef grunnvatnshluti ferilsins er brotinn enn frekar niður má sjá að hægt er að skipta honum nokkurn veginn í þrjá hluta sem gefa vísbendingu um að Tungnaá sækir grunnvatn sitt í þrjá mismunandi grunnvatnsgeyma. Á mynd 3.10 má

sjá hvernig rennsli á bilinu 60-90 m<sup>3</sup>/s, 40-60 m<sup>3</sup>/s og rennsli undir 40 m<sup>3</sup>/s gefur til kynna breytileika í grunnvatnsgeymi árinna.



Mynd 3.10 Grunnvatnshluti aðfallsferils Tungnaár brotinn upp í þrjá geyma.

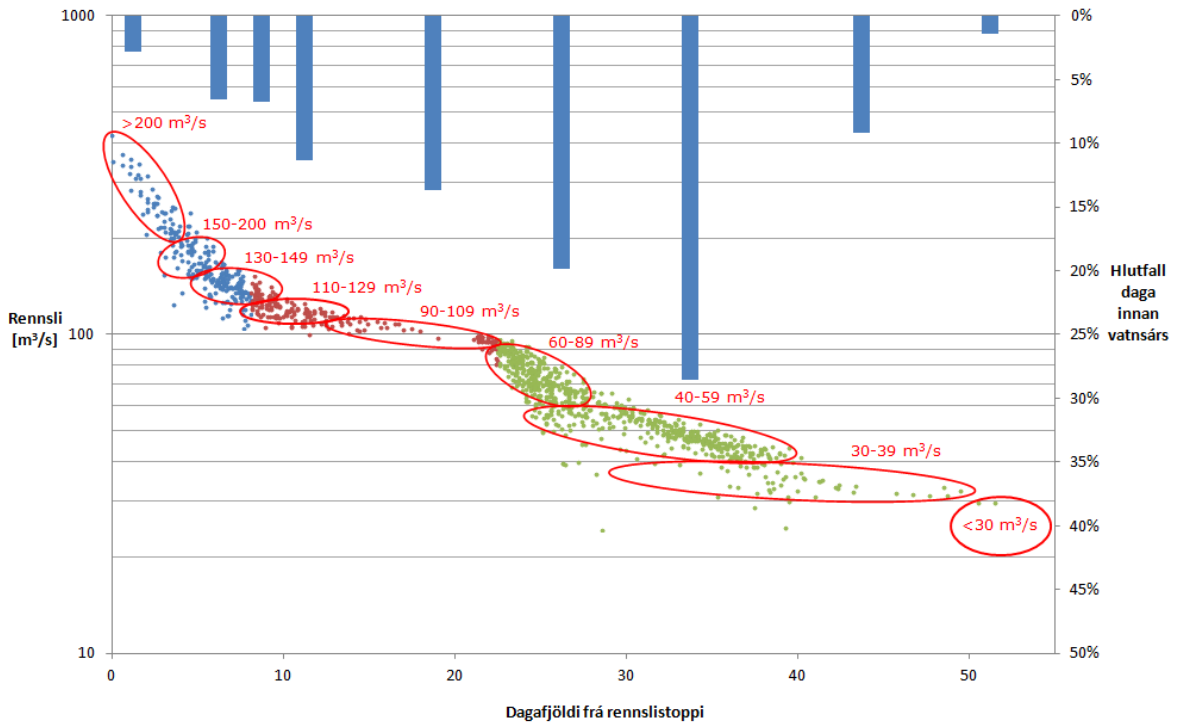
Til að sjá hversu oft áin þarf að ganga á vatnsbirgðir þessara grunnvatnsgeyma voru allir rennslis dagar árinna frá og með nóvember 1988 til og með nóvember 2014 flokkaðir eftir því á hvaða bili rennslið í ánni var. Alls eru það 9516 dagar eða 26 vatnsár. Í töflu 3.4 má sjá hvernig þessir flokkar voru skilgreindir og hve margir rennslis dagar voru í hverjum flokk.

Tafla 3.4 Hlutfall daga sem lentu innan ákveðins rennslisbils.

Rennsli [m <sup>3</sup> /s]	Fjöldi daga	Hlutfall [%]	Vatnsbirgðir sem gengið er á
> 200	267	2,8	Yfirborðsrennsli
150-200	628	6,6	Yfirborðsrennsli
130-149	642	6,8	Yfirborðsrennsli
110-129	1077	11,3	Vatn í efsta hluta jarðvegs
90-109	1298	13,6	Vatn í efsta hluta jarðvegs
60-89	1887	19,8	Grunnvatn
40-59	2717	28,6	Grunnvatn
30-39	870	9,1	Grunnvatn
< 30	130	1,4	Grunnvatn

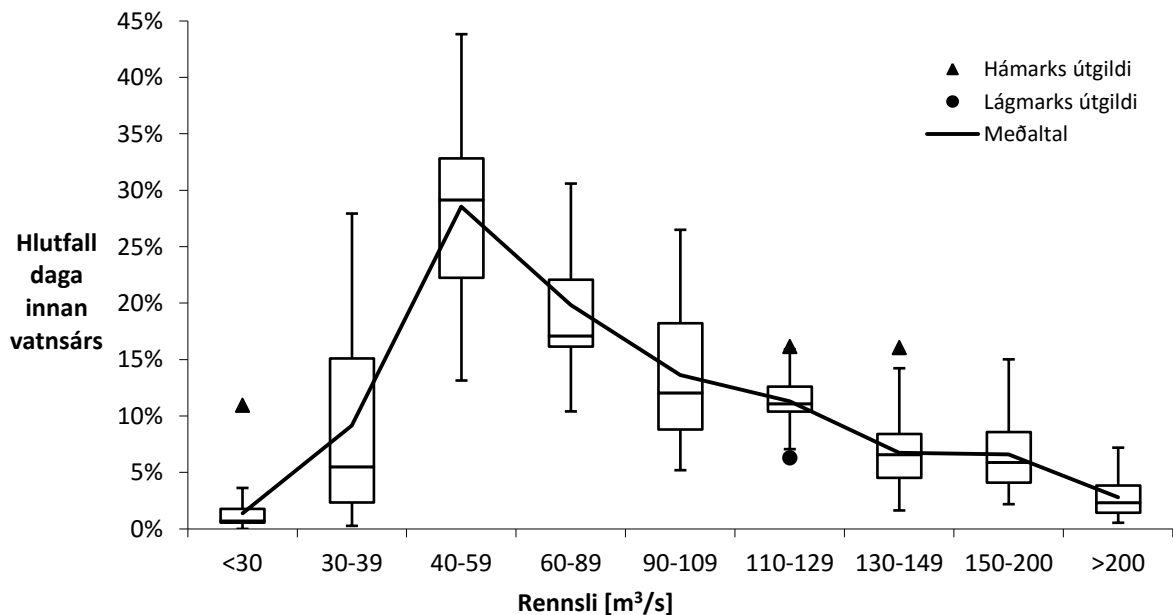
Til að átta sig betur á því af hverju rennslinu var skipt í þessa flokka má sjá sjónræna útskýringu á mynd 3.11. Flokkarnir voru valdir þannig að þeir standa fyrir þær vatnsbirgðir sem væri verið að ganga á hverju sinni. Reynt var að hafa rennslisbílun af svipaðri stærðargráðu og að þau gæfu skýra mynd af hegðun Tungnaár.





Mynd 3.11 Rennslisbilin sem valin voru og hvar þau eru á aðfallsferli Tungnaár. Súlnurnar og hægri ás sýna hlutfall daga innan vatnsárs sem lendir á samsvarandi bili.

Niðurstöðuna má sjá á mynd 3.12. Þar er hlutfall daga á hverju vatnsári sem lendir innan hvers rennslisbils sýnt sem kassarit. Kassaritið sýnir misleitni dreifingar fyrir hvert rennslisbil og innan kassans er helmingur allra gilda. Strikið í kassanum sýnir það mæligildi sem er í miðjunni, þ.e. miðgildið. Fyrir ofan strik er því helmingur allra mæligilda, fjórðungur innan kassans en hinn fjórðungurinn utan hans. Það sama á við fyrir neðan miðstrikið. Auk þess er svo sýnt meðaltal allra vatnsára sem línurit.



Mynd 3.12 Hlutfall daga hvers vatnsárs sem lendir innan ákveðins rennslisbils.

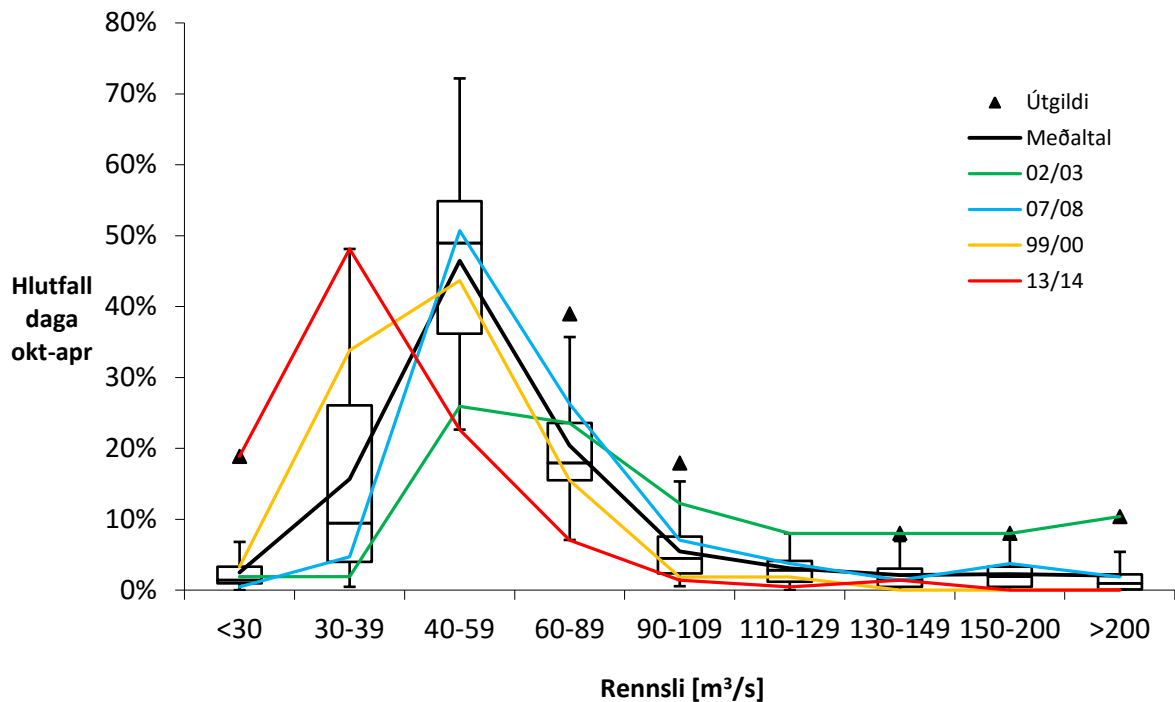
Algengast er að rennslið í Tungnaá sé bilinu 40-59 m<sup>3</sup>/s en dreifnin er þó mikil, allt frá 13,2% daga upp í 43,8% daga hvers vatnsárs. Fyrir daga með meira rennsli er ekkert sem túlka má sem óvænt, hlutfall daga minnkar eftir því sem rennslið eykst, meðaltal nokkuð nálægt miðgildinu og engin alltof afbrigðileg útgildi. Varðandi minna rennsli eru niðurstöðurnar hins vegar nokkuð áhugaverðar. Fyrir daga með minna en 30 m<sup>3</sup>/s rennsli sker vatnsárið 2013/2014 sig mikið úr hópnum. Um 11% daga vatnsársins voru með slíkt lágrennsli en næstmest hefur vatnsár verið með 2,7% daga á því bili og hjá miklum meirihluta vatnsára voru innan við 1% daga í þeim flokki. Misjafnt var hversu margir dagar á hverju vatnsári voru með rennsli á bilinu 30-39 m<sup>3</sup>/s og voru þeir allt frá 0,3% til 27,9% daga vatnsársins. Nokkur munur er á miðgildi og meðaltali þessa flokks. Miðgildið er 5,5% og er því helmingur allra vatnsára með fáa rennslisdaga á þessu bili. Nokkur mjög slæm vatnsár draga hinsvegar meðaltalið upp í 9,1%.

Út frá myndum 3.10 og 3.12 er hægt að draga nokkrar ályktanir varðandi rennsli í Tungnaá og grunnvatnsforða árinna. Hlutfall daga með rennsli yfir 110 m<sup>3</sup>/s er nokkuð jafnt milli ára, hvort sem að vatnsárið er slæmt eða gott. Þetta rennsli er mikið til yfirborðsrennsli og rennslistoppar sökum úrkomu, leysinga og jökulbráðar munu alltaf eiga sér stað óháð grunnvatnsstöðu. Hlutfall daga á rennslisbilum undir 110 m<sup>3</sup>/s breytist hinsvegar mikið milli ára. Þetta eru þeir rennslisflokkar sem flestir dagar hvers árs falla undir en dreifni innan hvers flokks er mikil og misjafnt milli ára hvar flestir dagar lenda. Það sem virðist einkenna góð vatnsár er að flesta daga er rennslið á bilinu 40-59 m<sup>3</sup>/s og í mjög góðum vatnsárum eru flestir dagar á bilinu 60-89 m<sup>3</sup>/s. Almennt séð eru góð vatnsár með einungis örfáa daga þar sem rennslið fer undir 40 m<sup>3</sup>/s. Slæm vatnsár eiga það hinsvegar sameiginlegt að hátt hlutfall daga er með rennsli á bilinu 30-39 m<sup>3</sup>/s og fyrir þau verstu er algengast að rennslið sé á því bili. Einungis í alverstu vatnsárum mælist rennsli af einhverju ráði undir 30 m<sup>3</sup>/s.

### 3.3.3 Spágildi

Til að kanna hvort að hægt væri að nýta þessar upplýsingar í raforkuframleiðslu var vetrarrennsli Tungnaár skoðað sérstaklega. Almennt er minnst rennsli í Tungnaá yfir veturinn og er þá grunnvatn ráðandi þáttur í rennsli árinna. Greining á vetrarrennslinu gæti því gefið vísbendingu um grunnvatnsforða Tungnaár í rauntíma áður en haldið er inn í sumarið sem er mikilvægasti tími ársins þegar kemur að söfnun á vatni til raforkuframleiðslu.

Á mynd 3.13 má sjá kassarit af hlutfalli daga frá og með október til og með apríl sem lenda innan hvers rennslisbils. Til viðbótar við meðaltalslínuna eru auk þess sýnd fjögur vatnsár til viðmiðunar, tvö mjög góð vatnsár og tvö mjög slæm.



Mynd 3.13 Hlutfall daga á tímabilinu okt - apríl sem lenda innan ákveðins rennslisbils.

Vatnsárin fjögur á mynd 3.13 sýna vel hvernig góð og slæm vatnsár almennt hegða sér. Öllu jafna er lítið rennsli yfir 110 m<sup>3</sup>/s á veturna nema þá í allra bestu vatnsárum. Í góðum vatnsárum er grunnrennslið venjulega sótt í efstu tvo grunnvatnsgeymana og er þá rennslið á bilunum 40-59 m<sup>3</sup>/s og 60-89 m<sup>3</sup>/s, að jafnaði oftar í fyrri flokknum en einnig nokkur fjöldi í þeim seinni. Í slæmum árum er farið að ganga á neðsta grunnvatnsgeyminn og getur þá dagafjöldi þar sem rennslið er á bilinu 30-39 m<sup>3</sup>/s verið nokkuð hátt hlutfall af öllum vetrinum. Að sama skapi eru þá mun færri dagar þar sem rennslið er á bilinu 60-89 m<sup>3</sup>/s.

Út frá þessu er því hægt að fylgjast með vetrarrennsli Tungnaár og á sama tíma greina hvaða grunnvatnsgeymir er aðallega að sjá ánni fyrir vatni. Helmingur vatnsáranna 26 sem tekin voru til athugunar voru með 9,4% eða færri daga þar sem rennslið var á bilinu 30-39 m<sup>3</sup>/s. Á tímabilinu október til apríl eru 212 dagar þegar ekki er hlaupár svo þettu eru innan við 20 dagar þar sem rennslið er á þessu bili. Ef dagarnir á þessu bili eru mikið fleiri en 20 gæti það verið sterk vísbending um að grunnvatnsforði árinna sé í lakara lagi fyrir sumarið. Ef margir dagar á þessu bili koma fram strax í upphafi vetrar gæti það gefið til kynna mikið lágrennsli það sem eftir lifir vetrar, komi ekki til atburður eða veðurtíð sem hlaði grunnvatnskerfið að nýju.

## 4 Samantekt

Í verkefni þessu var fjallað um grunnvatn á vatnasviði Tungnaár og samspil þess við rennsli árinna. Helstu markmið verkefnisins voru að skoða tengsl Tungnaá við grunnvatn á svæðinu og helstu áhrifaþætti á rennsli árinna. Að auki var rennsli Tungnaár greint með aðfallsgreiningu og athugað hvort mögulegt væri að leggja mat á grunnvatnsforða árinna í rauntíma. Þannig væri hægt að áætla hversu vel áin væri búin undir þurrkatímabil ef til þess kæmi.

Helstu niðurstöður eru þær að grunnvatn austan og sunnan Þórisvatns sýnir áberandi meiri fylgni innbyrðis og við einangrað grunnrennsli Tungnaár heldur en við Þórisvatn sjálft. Þórisvatn hefur mikil áhrif á grunnvatnsholur í allra næsta nágrenni en eftir því sem fjær dregur virðast grunnvatnsstraumarnir Heljargjárstraumur og Veiðivatnastraumur ríkjandi. Þessir straumar bera ábyrgð á stórum hluta af grunnrennsli Tungnaár sem kemur í ána aðallega í gegnum Veidivötn og Vatnakvísl. Jökulbráð sýndi mesta fylgni við JV-grunnvatnsholur austan við Þórisvatn og virðist því hafa einhver áhrif á grunnvatnsvatnshæð innan áhrifasvæðis þessara grunnvatnsstrauma. Úrkoma á svæðinu sýndi afar litla mánaðarfylgni en góða vatnsársfylgni. Líklegt er því að árstíðarsveiflur grunnvatnsins verði að einhverju leyti fyrir áhrifum úrkomu þó hún sé ekki nógu mikil til að hafa áhrif til skamms tíma. Úrkoma í Græna fjallgarði er töluvert meiri en annarsstaðar á svæðinu og sýnir veðurstöðin við Lónakvísl meiri fylgni við rennsli Tungnaár en hinar veðurstöðvarnar. Líklegt er að úrkoman þar hafi töluvert áhrif á Tungnaá en úr Græna fjallgarði koma tæplega 20 m<sup>3</sup>/s af lindarrennsli sem stjórnað líklega töluvert af úrkomu.

Aðfallsgreining á Tungnaá sýnir skýrt hvernig afrennsli vatnasviðsins er háttáð og skiptist aðfallsferillinn greinilega í yfirborðsrennsli, rennsli úr efsta lagi jarðvegs ofan grunnvatnsyfirborðs og svo loks grunnvatnsrennsli. Í framhaldi af því sést að grunnvatnshluta ferilsins að hægt er að brjóta upp í einingar og að rennsli grunnvatns til Tungnaár kemur úr þrem grunnvatnsgeymum. Aðfallsgreiningin sýnir að við allra verstu aðstæður, þ.e. við algjöran þurrk þar sem enginn atburður hleður kerfið að nýju, þá endast grunnvatnsbirgðir árinna í u.þ.b. 25 daga þangað til að áin er komin niður í lágmarksrennsli. Með því að skoða dagafjölda yfir veturinn þar sem rennsli árinna er á vissu bili er hægt að áætla hvaða grunnvatnsgeymir ber uppi rennsli árinna. Þannig er mögulegt á fljótlegan og einfaldan hátt að meta grunnvatnsforða Tungnaár í rauntíma. Almenn var lítill breytileiki á milli vatnsára hvað varðar fjölda rennslistdaga þar sem rennsli árinna var yfir 110 m<sup>3</sup>/s. Þetta rennsli er mikið til yfirborðsrennsli og rennslistoppar sökum úrkomu, snjóleysinga og jökulbráðar munu alltaf eiga sér stað óháð grunnvatnsstöðu. Rennsli var oftast á bilinu 40-59 m<sup>3</sup>/s en einnig mikið á bilinu 60-89 m<sup>3</sup>/s. Í góðum vatnsárum hliðrast rennslikúrfan og hlutfall daga þar sem rennslið er á bilinu 90-109 m<sup>3</sup>/s eykst. Að sama skapi hliðrast rennslikúrfan í hina áttina í lélegum vatnsárum og verður þá greinileg fjölgun í dögum með rennsli á bilinu 30-39 m<sup>3</sup>/s. Aðfallsgreining á rennsli Tungnaár sýndi að rennsli á bilinu 30-39 m<sup>3</sup>/s á uppruna sinn í neðsta grunnvatnsgeymi árinna og rennsli undir 30 m<sup>3</sup>/s er afar fátítt nema í alverstu vatnsárum. Með því að fylgjast svona með rennsli Tungnaár, sérstaklega yfir vetrartímam, er hægt að sjá í rauntíma hversu vel staddur grunnvatnsforði árinna er fyrir sumarið og þar af leiðandi hægt að taka upplýstari ákvörðun um miðlun vatns og raforkuframleiðslu á vatnasviðinu.

## Frekari vöktun

Mikið hefur verið lagt í vöktun á grunnvatni á vatnasviði Tungnaár en lengi má gott bæta. Áætlað lindarrennsli í Tungnaá fyrir ofan rennslismælinn við Maríufossa er áætlað 52 m<sup>3</sup>/s í venjulegu vatnsári. Af þessum 52 m<sup>3</sup>/s koma um 20 m<sup>3</sup>/s frá svæðinu norðan við Tungnaá og langmest í gegnum Vatnakvísl. Gott mælanet er á því svæði og vel er fylgst með grunnvatnsstöðu norðan árinna. Hinsvegar er áætlað að tæplega 20 m<sup>3</sup>/s af lindarrennsli Tungnaár komi úr Græna fjallgarði og aðrir 14 m<sup>3</sup>/s úr Tungnaárbotnum og öðrum lindum. Þrátt fyrir þetta hafa mælingar í Græna fjallgarði og í nágrenni Tungnaárbotna verið fáar og óreglulegar í gegnum tíðina. Úrkomusamt er í Græna fjallgarði og áhugavert væri að bera sveiflur í grunnvatnshæð saman við úrkomu á svæðinu og rennsli Tungnaár. Fjallgarðurinn er tiltölulega mjó ræma og ekki mikið undirlendi að finna, því er líklegt að úrkoma ráði miklu um lindarrennsli úr fjöllum og grunnvatnssíritar á því svæði gætu sýnt betur hversu háð úrkomu Tungnaá er. Að sama skapi væri einnig áhugavert að hafa grunnvatnssírita í nágrenni Tungnaárbotna. Væri þá hægt að bera saman grunnvatnsstöðu í nágrenni jökulsins við mælda jökulafkomu og mögulega fá betri hugmynd um mikilvægi og áhrif jökulbráðunar á lindirnar í Tungnaárbotnum og rennsli Tungnaár.



# Heimildir

Axelsson, E. (2013). *Áhrif Kárahnjúkavirkjunar á grunnvatnsstöðu við Háslón og á Fljótsdalsheiði*. Reykjavík: Landsvirkjun.

Baldursson, S., Jakobsson, S. P., Magnússon, S. H., & Guðjónsson, G. (2006). *Náttúrufar og náttúruminjar suðvestan Vatnajökuls*. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.

Boussinesq, J. (1904). Recherches theoretique sur l'ecoulement des nappes d'eau infiltrées dans le sol et sur le debit des sources. *J. Math. Pure Appl. 10(5th Series)* , 5-78.

Egilson, D. (2016). *Greining á grunnvatnsmælingum á Þjórsár- og Tungnaársvæði 2015*. Reykjavík: Landsvirkjun.

Egilsson, D., Stefánsdóttir, G., & Þórarinsdóttir, T. (2015). *Álagsþættir á grunnvatn. Fagfundur Samorku*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

Einarsson, M. Á. (1976). *Veðurfar á Íslandi*. Reykjavík: Iðunn.

Freysteinsson, S. (2009). *SFL & TVM Sauðafellslón og Þórisvatn Gagnagrunnur 2009*. Reykjavík: Landsvirkjun.

Gregor, M., & Malík, P. (2012a). Construction of master recession curve using genetic algorithms. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 60 (1) , 3-15.

Gregor, M., & Malík, P. (2012b). *RC 4.0 User's Manual*. HydroOffice - Software for Water Science.

Gröndal, G. O. (2004). *Aðgreining vatnsfalla eftir rennslísháttum þeirra*. Reykjavík: Orkustofnun.

Guðmundsson, M. T., & Högnadóttir, Þ. (2002). *Þykktir hrauna norðan og austan Þórisvatns - Niðurstöður Þyngdarmælinga*. Reykjavík: Raunvísindastofnun Háskólans.

Gunnarsdóttir, M. J., Garðarsson, S. M., & Bartram, J. (2015). Developing a national framework for safe drinking water - Case study from Iceland. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 281(2) , 196-202.

Gustard, A., Bullock, A., & Dixon, J. (1992). *Low flow estimation in the United Kingdom*. Wallingford: Institute of Hydrology.

Hjartarson, Á. (1999). *Vatnafar Þjórsárvera*. Reykjavík: Orkustofnun.

Hjartarson, Á. (1988). *Vatnafarskort, Sigalda-Veiðivötn, 3340 V*. Reykjavík: Orkustofnun og Landsvirkjun.

Hjartarson, Á., & Snorrason, S. P. (1985). *Þórisvatn - Berggrunnur, grunnvatn, straumar og lindir*. Reykjavík: Orkustofnun.

IGRAC. (2015). *What is Groundwater?* Sótt 8. október 2015 frá International Groundwater Resource Assessment Centre: <http://www.un-igrac.org/what-groundwater>

Jóhannesson, H., Jakobsson, S. P., & Sæmundsson, K. (1990). *Jarðfræðikort af Íslandi, blað 6, Miðsuðurland, þriðja útgáfa*. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands og Landmælingar Íslands.

Jónsson, T. (2004). *Árið 2003*. Sótt 1. desember 2015 frá Veðurstofa Íslands: <http://www.vedur.is/vedur/vedurfar/manadayfirlit/2003/greinar/nr/566>

Jónsson, T. (6. ágúst 2009a). *Þurrkar 1*. Sótt 23. desember 2015 frá Veðurstofa Íslands: <http://www.vedur.is/vedur/frodleikur/greinar/nr/1637>

Jónsson, T. (12. ágúst 2009c). *Þurrkar 2*. Sótt 26. október 2015 frá Veðurstofa Íslands: <http://www.vedur.is/vedur/frodleikur/greinar/nr/1641>

Jónsson, T. (19. ágúst 2009d). *Þurrkar 3*. Sótt 26. október 2015 frá Veðurstofa Íslands: <http://www.vedur.is/vedur/frodleikur/greinar/nr/1648>

Jónsson, T. (19. ágúst 2009b). *Þurrkar 4*. Sótt 26. október 2015 frá Veðurstofa Íslands: <http://www.vedur.is/vedur/frodleikur/greinar/nr/1650>

Landsvirkjun. (2015b). *Aflstöðvar*. Sótt 25. september 2015 frá Landsvirkjun: <http://www.landsvirkjun.is/fyrirtaekid/aflstodvar>

Landsvirkjun. (2015c). *Ársskýrsla Landsvirkjunar 2014*. Reykjavík: Landsvirkjun.

Landsvirkjun. (9. maí 2013). *Staðan í vatnsbúskap Landsvirkjunar*. Sótt 2. október 2015 frá Landsvirkjun: <http://www.landsvirkjun.is/fyrirtaekid/fjolmidlatorg/frettir/frett/stadanivatnsbuskaplandsvirkjunar/>

Landsvirkjun. (2015a). Tölvupóstsamskipti. *Vatnasvið Tungnaár*. Reykjavík.

Landsvirkjun. (2014). *Umhverfisskýrsla Landsvirkjunar 2013*. Reykjavík: Landsvirkjun.

Loftmyndir ehf. (2015). *Kortasjá Loftmynda ehf*. Sótt 2. febrúar 2015 frá Loftmyndir ehf.: <https://www.map.is/base/>

Lugten, I. W. (2013). *Application of the program HydroOffice 2010 on river discharge data in Iceland*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

Maillet, E. (1905). *Essais d'Hydraulique Souterraine et Fluviale*. Paris: Hermann.

Microsoft Corporation. (2015b). *RSQ function*. Sótt 30. nóvember 2015 frá Microsoft Office: <https://support.office.com/en-us/article/RSQ-function-d7161715-250d-4a01-b80d-a8364f2be08f>



- Microsoft Corporation. (2015a). *STANDARDIZE function*. Sótt 1. desember 2015 frá Microsoft Office: <https://support.office.com/en-us/article/STANDARDIZE-function-81d66554-2d54-40ec-ba83-6437108ee775>
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Moore, G. K. (1992). Hydrograph Analysis in a Fractured Rock Terrane. *Groundwater, volume 30, issue 3*, 390-395.
- Ólafsson, G. P. (2013). *Vatnið í náttúru Íslands*. Reykjavík: Mál og menning.
- Pálmarsson, S. Ó. (2009). *Tungnaárlón. Áhrif á Veiðivatnasvæðið*. Reykjavík: Landsvirkjun.
- Pálsson, F. (2014). *Vatnajökull: Mass balance, meltwater drainage and surface velocity of the glacial year 2013-14*. Reykjavík: Landsvirkjun.
- Peters, E., Lanen, H. v., Torfs, P., & Bier, G. (2005). Drought in groundwater - drought distribution and performance indicators. *Journal of Hydrology*, 302-317.
- Rist, S. (1981). *Hraunvötn - Grunnvatnsathuganir*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Rorabaugh, M. (1964). Estimating changes in bank storage and ground-water contribution to streamflow. *International Association of Hydrological Sciences publication nr. 63*, 432-441.
- Samvinnunefnd um svæðisskipulag miðhálandis Íslands. (1998). *Miðhálandi Íslands - Svæðisskipulag 2015*. Kópavogur: Samvinnunefnd um svæðisskipulag Miðhálandis Íslands.
- Sigbjarnarson, G., & Erlendsson, B. (1972). *Mælingar á aðrennsli Tungnaár og Skaftár 1972*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Sigfúsdóttir, A. B. (1964). *Nedbör og temperatur í Island: kort orientering med hensyn til de hydrologiske forhold*. Reykjavík: Raforkumálastjóri.
- Sigurðsson, Á., Snorrason, S., & Pálsson, S. (1997). *Vatnsbúskapur Sigölduvirkjunar árin 1978-1995*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Sigurðsson, F. (1997b). *Grunnvatnsrannsóknir við Skaftá - Rannsóknaráfangi 1996*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Sigurðsson, F. H. (1990). Vandamál við úrkomumælingar á Íslandi. Í G. Sigbjarnarson, *Vatnið og landið* (bls. 101-110). Reykjavík: Orkustofnun.
- Sigurðsson, F. (1992). Hlutur grunnvatns í vatnsaflí. *Ársfundur Orkustofnunar 1992*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Sigurðsson, F. (1997a). *Lindir í Landbroti og Meðallandi - Uppruni lindavatsins*. Reykjavík: Orkustofnun.

- Sigurðsson, F. (2004). *Vatnasvið Jökulsáanna í Skagafirði*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Sigurðsson, F., Jónsdóttir, J. F., Halldórsdóttir, S. G., & Jóhannsson, Þ. (2006). *Vatnafarsleg flokkun vatnasvæða á Íslandi*. Reykjavík: Orkustofnun.
- Sigurðsson, H. M. (2002). *Vatnsaflsvirkjanir á Íslandi*. Reykjavík: Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen.
- Sloto, R. A., & Crouse, M. Y. (1996). *HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis*. Lemoyne: U.S. Geological Survey.
- Stefánsdóttir, G., & Egilsson, D. (2014). *Vatnsformfræðilegir gæðaðættir - yfirlit yfir úrvinnslumöguleika*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.
- Tallaksen, L. (1995). A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology*, 165 , 349-370.
- USGS. (2015). *Regional Regression Equation Publications by State*. Sótt 30. október 2015 frá U.S. Geological Survey: <http://water.usgs.gov/osw/programs/nss/pubs.html>
- Veðurstofa Íslands. (2015a). *Ársgildi fyrir valdar stöðvar*. Sótt 22. janúar 2016 frá Veðurstofa Íslands: <http://www.vedur.is/Medaltalstoflur-txt/Arsgildi.html>
- Veðurstofa Íslands. (2015b). *Ársmæðaltöl*. Sótt 22. október 2015 frá Veðurstofa Íslands: <http://www.vedur.is/Medaltalstoflur-txt/Arsgildi.html>
- Veðurstofa Íslands. (2016). *Mánaðargildi fyrir valdar stöðvar*. Sótt 18. febrúar 2016 frá Veðurstofa Íslands: <http://www.vedur.is/Medaltalstoflur-txt/Manadargildi.html>
- Veðurstofa Íslands. (26. apríl 2013a). *Meðalhiti íslenska vetrarins 2012 til 2013*. Sótt 2. október 2015 frá Veðurstofa Íslands: <http://www.vedur.is/um-vi/frettir/nr/2689>
- Veðurstofa Íslands. (15. janúar 2014). *Tíðarfar ársins 2013*. Sótt 2. október 2015 frá Veðurstofa Íslands: <http://www.vedur.is/um-vi/frettir/nr/2816>
- Veðurstofa Íslands. (1. mars 2013b). *Tíðarfar í febrúar 2013*. Sótt 2. október 2015 frá Veðurstofa Íslands: [http://www.vedur.is/media/vedurstofan/utgafa/skylduskil/Ved\\_feb\\_2013.pdf](http://www.vedur.is/media/vedurstofan/utgafa/skylduskil/Ved_feb_2013.pdf)
- Viessman Jr., W., & Lewis, G. L. (2003). *Introduction to hydrology*. Upper Saddle River: Pearson Education.
- WBCSD. (2005). *Facts and trends*. Genf: World Business Council for Sustainable Development .
- Wiley, J., & Curran, J. (2003). *Estimating annual high-flow statistics and monthly and seasonal low-flow statistics for ungaged sites on streams in Alaska and conterminous basins in Canada*. Anchorage: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations.

## **Viðauki A Fylgni milli mælistaða**

Á næstu blaðsíðum er að finna töflur þar sem sjá má innbyrðis fylgni ( $r^2$ ) milli allra mælistaða sem fjallað var um í verkefninu. Töflurnar sýna mánaðar- og vatnsársfylgni, með og án handmælinga. Græni liturinn táknar mikla fylgni og sá rauði litla fylgni.

Tafla A.1 Innbyrðis mánaðarfylgni milli allra mælistöðva, handmælingar meðtaldar.

	TH-11	VF-2	VF-4	VF-10	VF-18	JV-2	JV-3	JV-4	JV-5	JV-7	V-2	III	SA-2	VII	Hraun- vötn	Pórisós vatn	Póris- Hágöngu- lón	Tungnaá- grunnrennsli	Tungnaá- Tjaldkvísi
TH-11	0.06	0.02	0.05	0.10	0.21	0.20	0.19	0.05	0.08	0.01	0.10	0.38	0.04	0.34	0.34	0.04	0.05	0.02	0.45
VF-2	0.06	0.77	0.87	0.73	0.42	0.20	0.27	0.76	0.80	0.10	0.00	0.04	0.01	0.17	0.78	0.77	0.46	0.04	0.23
VF-4	0.02	0.77	0.89	0.82	0.34	0.12	0.22	0.48	0.54	0.11	0.00	0.02	0.01	0.18	0.42	0.54	0.32	0.00	0.17
VF-10	0.05	0.87	0.89	0.94	0.53	0.29	0.39	0.62	0.74	0.11	0.00	0.04	0.01	0.26	0.58	0.61	0.39	0.00	0.05
VF-18	0.10	0.73	0.82	0.94	0.61	0.39	0.50	0.47	0.62	0.06	0.01	0.10	0.03	0.38	0.37	0.44	0.32	0.02	0.10
JV-2	0.21	0.42	0.34	0.53	0.61	0.86	0.96	0.42	0.66	0.01	0.00	0.10	0.00	0.81	0.36	0.40	0.29	0.10	0.21
JV-3	0.20	0.20	0.12	0.29	0.39	0.86	0.93	0.17	0.40	0.00	0.00	0.07	0.00	0.71	0.16	0.18	0.20	0.08	0.19
JV-4	0.19	0.27	0.22	0.39	0.50	0.96	0.93	0.26	0.50	0.00	0.00	0.08	0.00	0.86	0.23	0.24	0.21	0.11	0.09
JV-5	0.05	0.76	0.48	0.62	0.47	0.42	0.17	0.26	0.81	0.12	0.02	0.02	0.00	0.18	0.77	0.94	0.63	0.10	0.05
JV-7	0.08	0.80	0.54	0.74	0.62	0.66	0.40	0.50	0.81	0.12	0.02	0.02	0.00	0.34	0.83	0.80	0.49	0.06	0.04
V-2	0.01	0.10	0.11	0.11	0.06	0.01	0.00	0.00	0.12	0.12	0.01	0.01	0.03	0.00	0.16	0.17	0.09	0.08	0.00
III	0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.29	0.33	0.33	0.02	0.04	0.03	0.00	0.03	0.00
SA-2	0.38	0.04	0.02	0.04	0.10	0.10	0.07	0.08	0.02	0.01	0.29	0.34	0.34	0.20	0.01	0.01	0.00	0.25	0.04
VII	0.04	0.01	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.33	0.34	0.34	0.00	0.00	0.01	0.00	0.08	0.01
Hraunvötn	0.34	0.17	0.18	0.26	0.38	0.81	0.71	0.86	0.18	0.34	0.00	0.02	0.20	0.00	0.12	0.15	0.09	0.18	0.32
Pórisós	0.04	0.78	0.42	0.58	0.37	0.36	0.16	0.23	0.77	0.83	0.16	0.04	0.01	0.00	0.12	0.78	0.41	0.05	0.14
Pórisvatn	0.05	0.77	0.54	0.61	0.44	0.40	0.18	0.24	0.94	0.80	0.17	0.03	0.01	0.01	0.78	0.59	0.04	0.17	0.05
Hágöngulón	0.02	0.46	0.32	0.39	0.32	0.29	0.20	0.21	0.63	0.49	0.09	0.00	0.00	0.09	0.41	0.59	0.07	0.13	0.00
Tungnaá	0.45	0.04	0.00	0.00	0.02	0.10	0.08	0.11	0.10	0.06	0.08	0.03	0.25	0.18	0.05	0.04	0.07	0.06	0.00
Tungnaá- grunnrennsli	0.11	0.23	0.14	0.36	0.41	0.41	0.38	0.43	0.16	0.23	0.00	0.04	0.01	0.32	0.14	0.17	0.13	0.06	0.01
Tjaldkvísi	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.04	0.00	0.01	0.01	0.20	0.00	0.11	0.00	0.03	0.05	0.00	0.00	0.01
Lónakvísi	0.06	0.17	0.12	0.16	0.14	0.05	0.03	0.03	0.13	0.15	0.08	0.04	0.03	0.02	0.15	0.13	0.09	0.13	0.05
Veidiv.hraun	0.00	0.10	0.04	0.06	0.06	0.03	0.03	0.02	0.09	0.09	0.04	0.00	0.01	0.01	0.09	0.10	0.09	0.05	0.05
Jökulheimar	0.00	0.07	0.04	0.06	0.06	0.02	0.02	0.01	0.08	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.10	0.04	0.05
Hágöngur	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.04	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.05

Tafla A.2 Innbyrðis mánaðarfylgni milli allra mælistöðva, án handmælinga.

	TH-11	VF-2	VF-4	VF-10	VF-18	JV-2	JV-3	JV-4	JV-5	JV-7	V-2	III	SA-2	VII	Hraun- vötn	Pórisós	Póris- vatn	Hágöngu- lón	Tungnaá	Tungnaá- grunnrennsli	Tjaldkvísl
TH-11	0.00	0.00	0.01	0.02	0.21	0.20	0.19	0.04	0.07	0.00	0.38	0.23	0.04	0.34	0.34	0.04	0.05	0.02	0.45	0.11	0.02
VF-2	0.85	0.88	0.68	0.49	0.19	0.28	0.77	0.88	0.14	0.01	0.00	0.00	0.04	0.13	0.13	0.74	0.75	0.35	0.00	0.02	0.00
VF-4	0.98	0.93	0.34	0.10	0.22	0.58	0.61	0.10	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.13	0.18	0.42	0.53	0.00	0.00	0.00	0.06
VF-10	0.98	0.93	0.34	0.10	0.22	0.58	0.61	0.10	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.13	0.18	0.42	0.53	0.00	0.00	0.00	0.07
VF-18	0.68	0.93	0.93	0.77	0.77	0.50	0.62	0.48	0.63	0.63	0.05	0.01	0.14	0.04	0.04	0.35	0.32	0.24	0.00	0.00	0.02
JV-2	0.49	0.34	0.68	0.77	0.77	0.86	0.96	0.46	0.63	0.05	0.13	0.00	0.14	0.04	0.04	0.35	0.32	0.24	0.00	0.00	0.02
JV-3	0.19	0.10	0.36	0.50	0.86	0.86	0.93	0.25	0.43	0.00	0.30	0.39	0.41	0.00	0.00	0.16	0.23	0.21	0.10	0.16	0.07
JV-4	0.28	0.22	0.47	0.62	0.96	0.93	0.31	0.31	0.50	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.18	0.24	0.09	0.07	0.07	0.04
JV-5	0.77	0.58	0.65	0.48	0.46	0.25	0.31	0.85	0.14	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.12	0.15	0.09	0.08	0.06	0.04
JV-7	0.88	0.61	0.81	0.63	0.67	0.43	0.50	0.85	0.11	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.82	0.49	0.06	0.23	0.07
V-2	0.14	0.10	0.10	0.05	0.01	0.00	0.00	0.14	0.11	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.16	0.15	0.09	0.07	0.00	0.00
III	0.01	0.07	0.05	0.13	0.30	0.39	0.41	0.00	0.02	0.00	0.89	0.89	0.86	0.53	0.66	0.00	0.00	0.04	0.11	0.19	0.22
SA-2	0.00	0.07	0.06	0.14	0.20	0.23	0.25	0.00	0.01	0.00	0.89	0.86	0.86	0.00	0.36	0.00	0.00	0.04	0.06	0.11	0.26
VII	0.04	0.04	0.01	0.10	0.18	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.66	0.86	0.86	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.08	0.01	0.11
Hraunvötn	0.13	0.18	0.29	0.45	0.81	0.71	0.86	0.17	0.33	0.01	0.53	0.36	0.00	0.12	0.12	0.15	0.09	0.18	0.08	0.32	0.02
Pórisós	0.74	0.42	0.49	0.27	0.36	0.16	0.23	0.79	0.84	0.16	0.00	0.00	0.00	0.12	0.12	0.78	0.41	0.05	0.05	0.14	0.02
Pórisvatn	0.75	0.53	0.63	0.45	0.40	0.18	0.24	0.99	0.82	0.15	0.00	0.00	0.01	0.15	0.15	0.78	0.59	0.04	0.04	0.17	0.01
Hágöngulón	0.35	0.32	0.24	0.16	0.29	0.20	0.21	0.63	0.49	0.09	0.04	0.04	0.00	0.09	0.09	0.41	0.59	0.07	0.07	0.13	0.00
Tungnaá	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.08	0.11	0.05	0.06	0.07	0.11	0.06	0.08	0.18	0.18	0.05	0.04	0.07	0.06	0.06	0.00
Tungnaá- grunnrennsli	0.11	0.17	0.14	0.23	0.26	0.41	0.38	0.43	0.17	0.23	0.19	0.11	0.01	0.32	0.32	0.14	0.17	0.07	0.06	0.01	0.01
Tjaldkvísl	0.02	0.00	0.06	0.07	0.16	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.22	0.26	0.11	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.05
Lónakvísl	0.23	0.12	0.19	0.14	0.05	0.03	0.03	0.13	0.15	0.08	0.01	0.02	0.04	0.02	0.02	0.15	0.13	0.09	0.13	0.08	0.05
Veitðiv.hraun	0.05	0.04	0.03	0.01	0.03	0.03	0.02	0.08	0.09	0.04	0.03	0.03	0.00	0.01	0.01	0.09	0.10	0.09	0.05	0.05	0.05
Jökulheimar	0.03	0.04	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01	0.08	0.06	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.10	0.04	0.05	0.05
Hágöngur	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.04	0.03	0.02	0.00	0.04	0.04	0.00	0.01	0.00	0.05	0.01	0.05

Tafla A.3 Innbyrðis vatnsársfylgni milli allra mælistöðva, handmælingar meðtaldar.

	TH-11	VF-2	VF-4	VF-10	VF-18	JV-2	JV-3	JV-4	JV-5	JV-7	V-2	III	SA-2	VII	Hraun- vötn	Þóris- vötn	Þóris- vatn	Hágöngu- lón	Tungnaá- Tungnaá	Tungnaá- grunnrennsli	Tjaldkvísl
TH-11	0.31	0.22	0.34	0.36	0.35	0.30	0.27	0.17	0.28	0.16	0.31	0.36	0.08	0.37	0.20	0.29	0.26	0.44	0.36	0.06	
VF-2	0.31	0.89	0.96	0.90	0.58	0.35	0.45	0.89	0.78	0.01	0.07	0.16	0.10	0.46	0.69	0.89	0.66	0.45	0.50	0.06	
VF-4	0.22	0.89	0.89	0.84	0.39	0.16	0.28	0.80	0.59	0.02	0.09	0.08	0.05	0.38	0.57	0.78	0.66	0.28	0.50	0.11	
VF-10	0.34	0.96	0.89	0.98	0.66	0.43	0.55	0.87	0.81	0.01	0.07	0.16	0.09	0.56	0.67	0.82	0.77	0.47	0.36	0.06	
VF-18	0.36	0.90	0.84	0.98	0.72	0.51	0.62	0.83	0.80	0.01	0.06	0.16	0.08	0.63	0.61	0.76	0.78	0.45	0.36	0.06	
JV-2	0.35	0.58	0.39	0.66	0.72	0.91	0.98	0.63	0.86	0.04	0.00	0.12	0.00	0.92	0.61	0.64	0.79	0.38	0.35	0.02	
JV-3	0.30	0.35	0.16	0.43	0.51	0.91	0.95	0.37	0.67	0.04	0.01	0.07	0.00	0.79	0.42	0.40	0.74	0.27	0.49	0.08	
JV-4	0.27	0.45	0.28	0.55	0.62	0.98	0.95	0.51	0.78	0.04	0.00	0.07	0.00	0.91	0.58	0.51	0.79	0.36	0.57	0.00	
JV-5	0.17	0.89	0.80	0.87	0.83	0.63	0.37	0.51	0.85	0.01	0.03	0.09	0.06	0.54	0.81	0.96	0.65	0.35	0.38	0.07	
JV-7	0.28	0.78	0.59	0.81	0.80	0.86	0.67	0.78	0.85	0.03	0.01	0.07	0.02	0.74	0.88	0.84	0.69	0.31	0.46	0.02	
V-2	0.16	0.01	0.02	0.01	0.01	0.04	0.04	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.05	0.10	0.03	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	
III	0.31	0.07	0.09	0.07	0.06	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01	0.01	0.52	0.42	0.02	0.01	0.03	0.20	0.19	0.03	0.25	
SA-2	0.36	0.16	0.08	0.16	0.16	0.12	0.07	0.07	0.09	0.07	0.03	0.52	0.47	0.17	0.11	0.15	0.09	0.35	0.15	0.02	
VII	0.08	0.10	0.05	0.09	0.08	0.00	0.00	0.06	0.02	0.00	0.42	0.47	0.00	0.00	0.04	0.05	0.18	0.18	0.03	0.05	
Hraunvötn	0.37	0.46	0.38	0.56	0.63	0.92	0.79	0.91	0.54	0.74	0.05	0.17	0.00	0.49	0.49	0.54	0.74	0.41	0.53	0.01	
Þórisós	0.20	0.69	0.57	0.67	0.61	0.61	0.42	0.58	0.81	0.88	0.10	0.11	0.04	0.49	0.76	0.76	0.56	0.30	0.40	0.00	
Þórisvatn	0.29	0.89	0.78	0.82	0.76	0.64	0.40	0.51	0.96	0.84	0.03	0.15	0.05	0.54	0.76	0.59	0.59	0.35	0.42	0.00	
Hágöngulón	0.26	0.66	0.66	0.77	0.78	0.79	0.74	0.79	0.65	0.69	0.01	0.20	0.18	0.74	0.56	0.59	0.47	0.47	0.45	0.74	
Tungnaá- grunnrennsli	0.36	0.50	0.27	0.57	0.59	0.57	0.49	0.57	0.38	0.46	0.01	0.03	0.15	0.53	0.40	0.42	0.45	0.72	0.72	0.03	
Tjaldkvísl	0.06	0.00	0.03	0.00	0.01	0.02	0.08	0.00	0.07	0.02	0.02	0.25	0.02	0.01	0.00	0.00	0.74	0.08	0.03	0.02	
Jökulbráð	0.11	0.17	0.05	0.14	0.13	0.26	0.30	0.25	0.17	0.22	0.02	0.04	0.02	0.14	0.25	0.21	0.20	0.08	0.09	0.02	
Lónakvísl	0.49	0.61	0.55	0.56	0.49	0.50	0.35	0.45	0.59	0.55	0.27	0.35	0.47	0.49	0.67	0.62	0.45	0.58	0.43	0.48	
Veidiv.hraun	0.36	0.40	0.26	0.43	0.38	0.56	0.58	0.38	0.47	0.05	0.03	0.04	0.01	0.52	0.40	0.37	0.59	0.51	0.46	0.27	
Jökulheimar	0.32	0.41	0.37	0.49	0.51	0.61	0.67	0.66	0.32	0.39	0.22	0.14	0.12	0.61	0.44	0.34	0.59	0.49	0.51	0.37	
Hágöngur	0.04	0.14	0.01	0.13	0.10	0.01	0.00	0.00	0.03	0.05	0.01	0.00	0.04	0.00	0.11	0.06	0.05	0.00	0.01	0.04	

Tafla A.4 Innbyrðis mánaðarfylgni milli allra mælistöðva, án handmælinga.

	TH-11	VF-2	VF-4	VF-10	VF-18	JV-2	JV-3	JV-4	JV-5	JV-7	V-2	III	SA-2	VII	Hraun- vötn	Pórisós vatn	Póris- Hágöngu- lón	Tungnaá- Tungnaá grunnrennsli	Tungnaá- Tjaldkvísl
TH-11	0.40	0.11	0.37	0.33	0.35	0.30	0.27	0.32	0.28	0.19	0.51	0.24	0.08	0.37	0.20	0.29	0.26	0.44	0.36
VF-2	0.40	0.97	0.98	0.93	0.81	0.47	0.66	0.94	0.94	0.04	0.35	0.36	0.50	0.66	0.87	0.98	0.58	0.44	0.11
VF-4	0.11	0.97	0.99	0.96	0.38	0.13	0.28	0.95	0.67	0.04	0.42	0.44	0.05	0.39	0.59	0.79	0.66	0.28	0.49
VF-10	0.37	0.98	0.99	0.99	0.88	0.57	0.76	0.96	0.92	0.02	0.40	0.42	0.58	0.74	0.77	0.96	0.70	0.44	0.37
VF-18	0.33	0.93	0.96	0.99	0.91	0.62	0.82	0.93	0.87	0.01	0.43	0.44	0.61	0.79	0.68	0.91	0.77	0.47	0.51
JV-2	0.35	0.81	0.38	0.88	0.91	0.91	0.98	0.77	0.87	0.02	0.67	0.49	0.00	0.92	0.61	0.64	0.79	0.38	0.57
JV-3	0.30	0.47	0.13	0.57	0.62	0.91	0.95	0.56	0.69	0.02	0.63	0.30	0.00	0.79	0.42	0.40	0.74	0.27	0.49
JV-4	0.27	0.66	0.28	0.76	0.82	0.98	0.95	0.67	0.79	0.02	0.72	0.47	0.00	0.91	0.58	0.51	0.79	0.36	0.57
JV-5	0.32	0.94	0.95	0.96	0.93	0.77	0.56	0.67	0.94	0.02	0.31	0.37	0.17	0.64	0.82	0.96	0.69	0.37	0.36
JV-7	0.28	0.94	0.67	0.92	0.87	0.69	0.79	0.94	0.94	0.03	0.34	0.24	0.00	0.75	0.89	0.87	0.69	0.31	0.46
V-2	0.19	0.04	0.04	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.10	0.12	0.00	0.04	0.14	0.04	0.01	0.02	0.01
III	0.51	0.35	0.42	0.40	0.43	0.67	0.63	0.72	0.31	0.34	0.10	0.66	0.71	0.76	0.28	0.37	0.25	0.83	0.84
SA-2	0.24	0.36	0.44	0.42	0.44	0.49	0.30	0.47	0.37	0.24	0.12	0.66	0.90	0.58	0.35	0.43	0.41	0.75	0.44
VII	0.08	0.50	0.05	0.58	0.61	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.71	0.90	0.00	0.00	0.04	0.05	0.18	0.18	0.03
Hraunvötn	0.37	0.66	0.39	0.74	0.79	0.92	0.79	0.91	0.64	0.75	0.04	0.76	0.58	0.00	0.49	0.54	0.74	0.41	0.53
Pórisós	0.20	0.87	0.59	0.77	0.68	0.61	0.42	0.58	0.82	0.89	0.14	0.28	0.35	0.04	0.49	0.76	0.56	0.30	0.40
Pórisvatn	0.29	0.98	0.79	0.96	0.91	0.64	0.40	0.51	0.96	0.87	0.04	0.37	0.43	0.05	0.54	0.76	0.59	0.35	0.42
Hágöngu-lón	0.26	0.58	0.66	0.70	0.77	0.79	0.74	0.79	0.69	0.69	0.01	0.25	0.41	0.18	0.74	0.56	0.59	0.47	0.45
Tungnaá	0.44	0.38	0.28	0.44	0.47	0.38	0.27	0.36	0.37	0.31	0.02	0.83	0.75	0.18	0.41	0.30	0.47	0.72	0.72
Tungnaá- grunnrennsli	0.36	0.42	0.27	0.48	0.51	0.57	0.49	0.57	0.36	0.46	0.01	0.84	0.44	0.03	0.53	0.40	0.45	0.72	0.03
Tjaldkvísl	0.25	0.65	0.27	0.65	0.63	0.04	0.00	0.02	0.52	0.08	0.39	0.75	0.27	0.08	0.09	0.13	0.74	0.08	0.03
Jökulbráð	0.11	0.15	0.05	0.07	0.02	0.26	0.30	0.25	0.24	0.22	0.03	0.07	0.01	0.14	0.25	0.21	0.20	0.08	0.09
Lónakvísl	0.49	0.62	0.55	0.61	0.59	0.50	0.35	0.45	0.59	0.55	0.27	0.53	0.18	0.49	0.67	0.62	0.45	0.58	0.43
Veðiv-hraun	0.37	0.22	0.26	0.31	0.37	0.57	0.58	0.58	0.34	0.48	0.05	0.51	0.40	0.52	0.40	0.37	0.59	0.51	0.46
Jökulheimar	0.32	0.06	0.37	0.09	0.11	0.61	0.67	0.66	0.32	0.39	0.22	0.34	0.36	0.06	0.61	0.34	0.59	0.49	0.51
Hágöngur	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.05	0.01	0.42	0.30	0.04	0.00	0.11	0.05	0.00	0.01