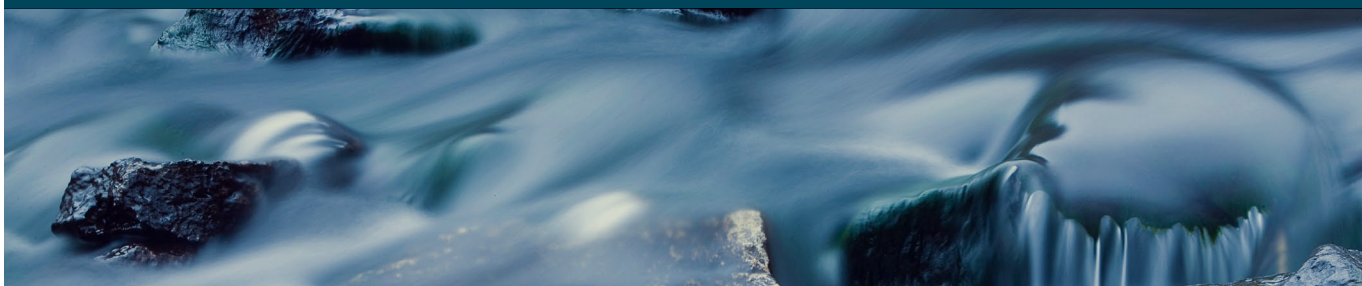


LV-2016-038



Landsvirkjun



Greining á grunnvatnsmælingum á Þjórsár- og Tungnaárvæði 2015

Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2016-038

Dags: mars 2016

Fjöldi síðna: 127

Upplag: 3

Dreifing:

- Birt á vef LV
- Opin
- Takmörkuð til

Titill: Greining á grunnvatnsmælingum á Þjórsár- og Tungnaárvæði 2015

Höfundar/fyrirtæki: Davíð Egilson/Veðurstofa Íslands

Verkefnisstjóri: Andri Gunnarsson /Landsvirkjun Davíð Egilson/Veðurstofa Íslands

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar:

Útdráttur:

Rannsóknin byggir greiningu á tímaröðum frá 44 mælistöðvum Landsvirkjunar innan Þjórsár- Tungnaár-svæðisins, auk tveggja annarra sem staðsettir eru í Heiðmörk og Skjalbreiðarhrauni. Alls var því um að ræða 46 mælistaði sem sundurliðast í 28 mælistaði fyrir grunnvatn, 5 mælistaði lónhæðar og 13 mælistaði fyrir rennsli. Flestar mæliraðirnar spönnuðu tímabilið 1985–2014, en nokkrar náðu lengra aftur. Samband milli grunnvatnshæðar, lónhæðar og rennslis voru könnuð og helstu áhrifaþættir varðandi grunnvatnsstöðuna metnir. Breyting á grunnvatnshæð vegna tilkomu mannvirkja var könnuð og lagt var mat á þéttingu bergs með tíma vegna jökulframburðar. Lágrennsli í Tungnaá var greint með aðfallsgreiningu. Þessi rannsókn staðfestir á margan hátt fyrirbyggjandi þekkingu á grunnvatnskerfum innan Þjórsár- Tungnaár-svæðisins þar sem mælingar ná til. Hins vegar dregur hún fram nauðsyn þess að afla frekari þekkingar á austurhluta svæðisins. Einkanlega þarf að horfa til þess, sakir mikils náttúrlegs breytileika í veðurfari, hvort lágstaða Tungnaár sé ekki önnur og lægri í vatnsrýrum árum en var þegar upphaflegt grunnvatnslíkan var kvarðað. Bent er á mikilvægi þess að afla frekari þekkingar á austur og norðurhluta vatnasviðsins og lagðar fram tillögur þar að lútandi, auk almennra tillagna um rannsóknir á svæðinu í heild.

Lykilorð: Þjórsá, Tungnaá, rennsli, grunnvatn, VHM96, Maríufoss, Þórisvatn, Þórisós, Vatnsfell, Sigalda, Hrauneyjar, Sultartangi, Búrfell, grunnvatnsmælingar, lágrennsli, leki, rennslismælingar

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Andri Gunnarsson

Skýrsla nr. LV-2016-038
VÍ-2016-002



Greining á grunnvatnsmælingum á Þjórsár- og Tungnaárvæði 2015

Efnisyfirlit

Myndaskrá.....	4
Töfluskrá.....	6
Inngangur.....	7
1.1 Markmið.....	7
1.2 Útfærsla.....	8
2 Gögn og gagnameðhöndlun.....	8
2.1 Gögn.....	8
2.2 Gagnameðhöndlun.....	12
3 Lýsing á aðstæðum – yfirlit.....	16
3.1 Náttúrulegur breytileiki.....	16
3.2 Almennt um vatnajarðfræði Þjórsár- og Tungnaárvæðisins.....	20
3.3 Samantekt um grunnvatn á svæðinu.....	25
4 Umfjöllun um einstök svæði.....	27
4.1 Aðrennsli að Þórisvatni.....	27
4.1.1 Almenn lýsing.....	27
4.1.2 Samantekt um svæðið.....	35
4.2 Þórisós- og Köldukvíslarstífla.....	36
4.2.1 Almenn lýsing.....	36
4.2.2 Samantekt.....	41
4.3 Þórisvatn – Vatnsfell.....	41
4.3.1 Almenn lýsing.....	41
4.3.2 Samantekt.....	45
4.4 Sigalda Hrauneyjarfoss.....	46
4.4.1 Almenn lýsing.....	46
4.4.2 Langvarandi áhrif þéttingar í Króks- og Hrauneyjarfosslóni.....	52
4.4.3 Samantekt.....	56
4.5 Sultartangi Búrfell.....	57
4.5.1 Búrfell.....	57
4.5.2 Samantekt.....	60

5	Úrkoma og lágmarksrennsli	61
5.1	Tengsl úrkomu og vatnshæðar	61
5.2	Aðfallsgreining á Maríufossi	64
6	Niðurstaða og tillögur	65
6.1	Almennt	65
6.2	Samantekt um markmiðin	69
6.3	Tillögur	69
	Heimildir	71
	Viðauki I. Dæmi um mæliraðir á nokkrum stöðum	74
	Viðauki II. Aðgreining rennslisþátta	79
	Viðauki III. Langtímabreyting á vatnshæð og rennsli	126

Myndaskrá

Mynd 1.	Þjórsár Tungnaárvæðið – staðsetning mælistaða.	9
Mynd 2.	Dæmi um framsetningu á mæligögnum frá einstökum mælistöðum.....	13
Mynd 3.	Mæliröð úr Hraunvötnum. Búið er að skipta upp í árstíðabreytingu, hneigð og leif...	14
Mynd 4.	Tengsl grunnvatnsstöðu milli JV-2 og JV-3.	15
Mynd 5.	Úrkoma á Íslandi fyrir árabilið 1971–2000	16
Mynd 6.	Lega helstu lindasvæða og þáttur grunnrennslis í mörgum stærstu vatnsföllum landsins.....	17
Mynd 7.	Valdir mælistaðir fyrir grunnvatnshæð á Miðhálandi- og SV-landi.....	18
Mynd 8.	Grunnvatnshæð sunnan og SV lands. Náttúrulegur breytileiki.	19
Mynd 9.	Lega rannsóknarsvæðisins.	20
Mynd 10.	Almenn yfirlitsmynd yfir jarðfræði Þjórsár Tungnaárvæðisins.	21
Mynd 11.	Skýringar á jarðfræðitáknum	22
Mynd 12.	Myndun móbergshryggja við gos undir jökli.	23
Mynd 13.	Einkennisþversnið fyrir Tungnaárhraunin.. ..	24
Mynd 14.	Úr sögu Tungnaár nálægt Sigöldu	25
Mynd 15.	Afmörkun undirsvæða.. ..	27
Mynd 16.	Borholur á aðrennslissvæði Þórisvatns	28

Mynd 17. Náttúrulegur breytileiki í vatnshæð og áhrif frá Þórisvatnsmiðlun.	30
Mynd 18. Fylgni vatnsstöðu í JV-3 við aðrar mælistöðvar.	31
Mynd 19. Almanaksdagar við a) hámark eða b) lágmark grunnvatnsstöðu.....	32
Mynd 20. Fylgni milli vatnshæðarbreytinga JV2- JV-3, JV-4 og Hraunvötnum.....	33
Mynd 21. Aðrennsli Þórisvatn – áhrif af mannvirkjum.	35
Mynd 22. Staðsetning mælistaða við Þórisós Köldukvíslarstíflu.....	36
Mynd 23. Vatnshæð á mælistöðum við Þórisós	38
Mynd 24. a) Fylgni milli mánaðarlegrar vatnsstöðu í Sauðafellslóni og vatnsstöðu í nálægum mælistöðum. b) Samanburður á vatnshæð í Þórisóslóni og Sauðafellslóni.	39
Mynd 25. a) Tengsl milli vatnsstöðu í Sauðafellslóni og O-3. b)Tengsl milli vatnsstöðu í Þórisóslóni og O71.	39
Mynd 26. Helstu mælistaðir í kringum Vatnsfell.....	41
Mynd 27. Búðarháls Vatnsfell, einfaldað jarðlagasnið	42
Mynd 28. Kassarit af breytilegri vatnshæð í Þórisvatni Vatnsfelli og borholum í móbergsmyndunum þar í grennd.	43
Mynd 29. Fylgni vatnsborðsbreytinga í Þórisvatni og borholunum í kringum Vatnsfell og norðan vatnsins.....	44
Mynd 30. Vatnshæð i borholum umhverfis Þórisvatn miðað við fasta lónhæð 573–573.5 m y.sj	45
Mynd 31. Sigalda Hrauneyjarfoss afstöðumynd	46
Mynd 32. Vatnajarðfræðilega aðstæður við Sigöldu fyrir mannvirkjagerð	47
Mynd 33. Sigalda Hrauneyjarfoss breytileg vatnshæð með tíma.....	49
Mynd 34. Tengsl milli mælistaða við Sigöldu Hrauneyjar árin 2006–2014.	50
Mynd 35. Áhrif Sigöldulóns á grunnvatnshæð.	51
Mynd 36. Breytileg vatnshæð í borholum umhverfis Sigöldu miðað við fasta lónhæð 497–498 m y.sj.	52
Mynd 37. Tengsl breytingar í rennsli í MW-1 við vatnsstöðu í nærliggjandi mannvirkjum	53
Mynd 38. Áhrif af Krókslóni Rennsli í skurðum MW-1 – MW-4 neðan Sigöldustíflu.....	54
Mynd 39. Rennsli í skurðum MW-1–MW-4 við stöðuga vatnshæð í Krókslóni 497–498 m y.sj.	55
Mynd 40. Vatnsborðsbreyting í holu X eftir tilkomu Hrauneyjalóns.	56

Mynd 41. Sigalda Hrauneyjar grunnvatnsstraumar og fylgnihlutfall (r^2) grunnvatnshæðar í III miðað við aðra mælistaði..	57
Mynd 42. Búrfell Sultartangi afstöðumynd.....	58
Mynd 43. Búrfell, Sultartangi. Vatnshæð yfir tíma.....	59
Mynd 44. Tengsl LD 13 við aðra mælistaði yfir árabilið 2006–2014.....	59
Mynd 45. Staðbundin úrkoma á völdum stöðum yfir árabilið 1995–2011	61
Mynd 46. Árleg úrkoma í mm/ári og sem frávik frá meðaltali á mismunandi stöðum á vatnasviði Þjórsár-Tungnaár.....	62
Mynd 47. Samanburður á árlegri meðalvatnshæð og meðalúrkomu við valda mælistaði.	63
Mynd 48. Fjöldi lágrennslisdaga við Maríufoss.....	64
Mynd 49. Maríufoss meðalmánaðarrennsli des–apríl yfir árabilið 1988–2014.	65
Mynd 50. Aðfallsferill Tungaár fyrir árin 1994–2014.	66
Mynd 51. Rannsóknarsvæðið yfirlit. Tillaga um frekar rannsóknir.....	67
Mynd 52. Dreifing ársrennslis í Lónakvísl og Maríufossi	68

Töfluskrá

Tafla 1. Þjórsár Tungnaárvæðið. Tímaspönn mæliraða.....	10
Tafla 2. Þjórsár Tungnaárvæðið – mælistaðir.....	11
Tafla 3. Mælistaðir norðaustan Þórisvatns.	28
Tafla 4. Skýringargildi r^2 milli JV-2 og JV-3 yfir mismunandi tímabil.....	34
Tafla 5. Mælistaðir við Þórisós og Köldukvíslarstíflu	37
Tafla 6. Samband vatnshæðar í borholum við Sauðafellslón og Þórisós..	40
Tafla 7. Mælistaðir við Þórisvatn --Vatnsfell.	43
Tafla 8. Mælistaðir við Sigöldu og Hrauneyjarfoss.	48
Tafla 9. Mælistaðir við Búrfell Sultartanga.....	57

Inngangur

Vatn á Þjórsár- Tungnaárvæðinu hefur verið nýtt til orkuframleiðslu frá árinu 1969. Samfara því hafa átt sér stað miklar breytingar á farvegum þar sem vatni hefur verið veitt að virkjanastöðum og lón mynduð. Breyttir farvegir og nýmynduð lón hafa haft umtalsverð áhrif á grunnvatnsrennsli og grunnvatnshæð um svæðið enda eru jarðmyndanir þar að stórum hluta nútímahraun og móbergsmýndanir sem eru mjög lek. Einkanlega eru það miðlanirnar í Þórisvatni og Sigöldu sem hafa haft veruleg áhrif á framrennsli grunnvatns og eins eru áhrifin vel merkjanleg við Hágöngulón. Ríkur grunnvatnspáttur í vatnsföllum er veruleg auðlind hvað varðar virkjanir því hann dregur úr þörf á miðlun og getur aukið rekstraröryggi.

Grunnvatnshæð hefur verið vöktuð í tengslum við þessar orkuframkvæmdir, en með mismunandi tilgang í huga. Elstu mælingarnar ná aftur til 1970 en þær hafa aukist stórlega að magni og gæðum eftir því sem tímanum hefur undið fram. Upphafleg sjónarmið varðandi vöktun á grunnvatnshæð á þessum stöðum hafa efalítið verið að fylgjast með öryggi mannvirkja og áhrifum af tilteknum mannvirkjum eða vatnsvegum á grunnvatnsstöðu. Þar hefur verið leitað eftir svörum við spurningum eins og hvort tilkoma stórra lóna orsaki leka og hvort lekaleiðir þéttist með tíma. Samhliða hefur verið unnið að því að fá frekari skilning á hvernig grunnvatnsstraumar renna fram milli svæða og jarðmyndana. Á síðari árum hafa sjónir manna beinst að hugsanlegum langtímabreytingum í vatna og veðurfari, hvort sem rekja má þær til náttúrunnar sjálfrar eða áhrifa mannsins á loftslag og veður. Slík þekking er mikilvæg við að nýta auðlindina á sem hagkvæmastan og sjálfbærastan hátt.

Tinna Þórarinsdóttir Veðstofu Íslands (VÍ), Oddur Sigurðsson VÍ, Birgir Jónsson Háskóla Íslands (HÍ), Andri Gunnarsson Landsvirkjun (LV), Egill Axelsson, LV, Vilbergur Þorsteinsson LV og Sigurður Páll Ásólfsson LV lásu yfir handritið í heild. Snorri Páll Snorrason VERKÍS fór yfir kaflann um Vatnajarðfræði og Halldór Björnson VÍ um Gagnameðhöndlun. Þeim er öllum þakkað fyrir uppbyggilegar og gagnlegar ábendingar. Hins vegar eru allar villur og annað sem betur má fara á ábyrgð höfundar.

1.1 Markmið

Markmið verkefnisins var að vinna úr mælingum á grunnvatnshæð og tengdum mælingum á Þjórsár-, og Tungnaárvæði og leggja mat á hverjir eru helstu áhrifaþættir varðandi breytilega grunnvatnsstöðu yfir tíma.

Í verksamningi kom fram að niðurstaða þess ætti að vera a.m.k. þrjúþætt:

- Skýrari þekking á grunnvatnskerfum innan Þjórsár Tungnaárvæðisins.
- Tilgangur með rekstri hveðrar grunnvatnsmælistöðvar yrði skýrður.
- Ráðgefandi varðandi framtíðarvöktun.

Nánari útfærsla skyldi miða að því að greina milli skammtíma- og langtímabreytinga í grunnvatnshæð og rennsli. Samband milli hola eða mælistaða og svæða yrði kannað. Á grundvelli þess

yrði metið hverjir væru helstu áhrifaþættir varðandi grunnvatnsstöðuna. Þá var kallað eftir afstöðu til þess hvort viðkomandi mælistaður gagnaðist við að gefa svör við þeim spurningum sem eftir er leitað og mat á því hvar og hvernig upplýsingar vantaði til að auka þekkingu á viðfangsefninu.

1.2 Útfærsla

Í ljósi markmiða verkefnisins voru eftirfarandi þættir kannaðir sérstaklega:

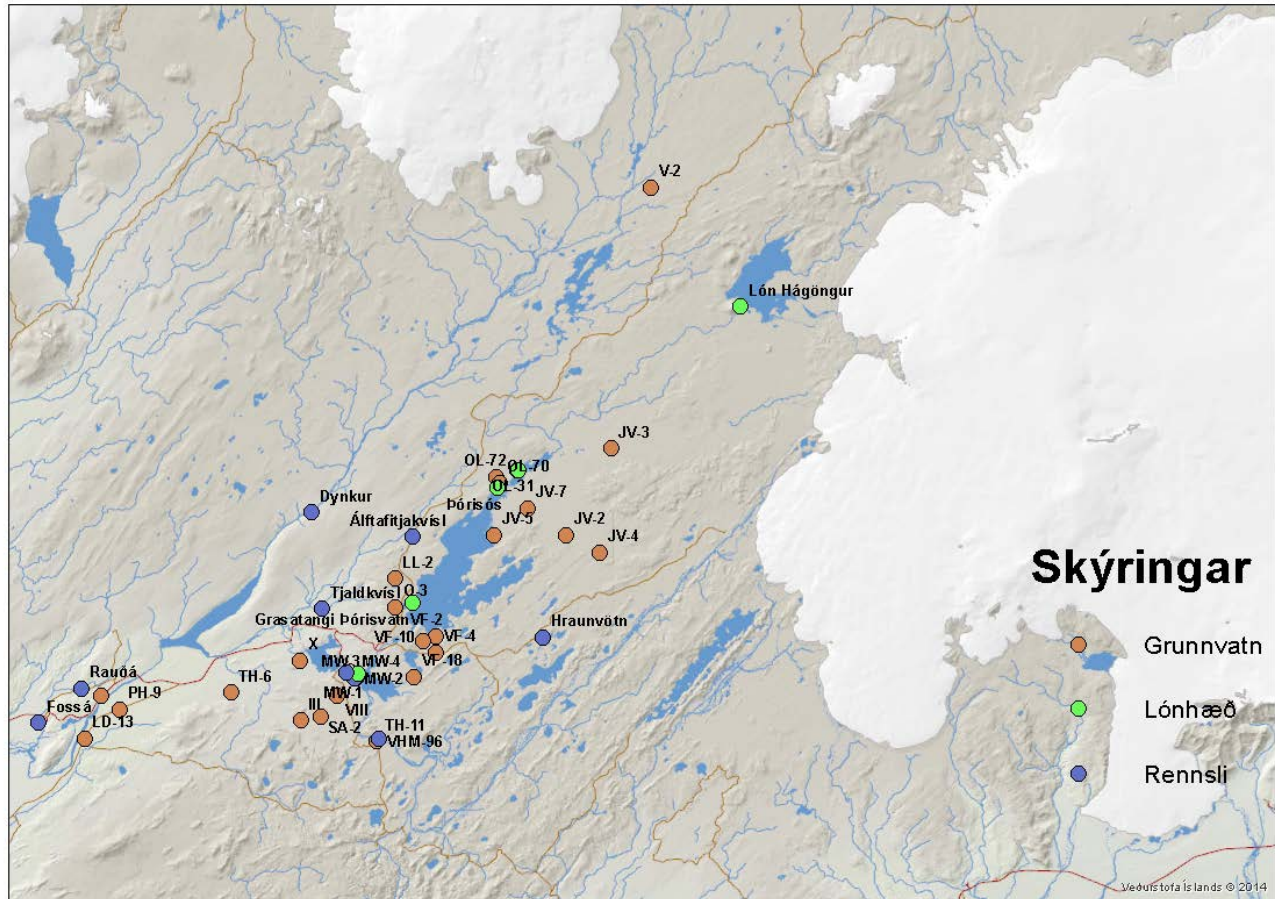
- Eðli auðlindarinnar einkanlega:
 - tengsl grunnvatnshæðar og rennslis milli mælistaða
 - langtíma og skammtímabreytingar í grunnvatnshæð
 - líkleg lágstaða grunnvatns við Tungnaá.
- Áhrif mannvirkja
 - Breyting á grunnvatnshæð og rennsli.
 - Þétting jarðlaga með tíma vegna áhrifa jökulframburðar.
- Hvort í einhverju mætti bæta þekkingu okkar á auðlindinni.

2 Gögn og gagnamedhöndlun

2.1 Gögn

Rannsóknin byggir á tímaröðum frá 44 mælistöðvum Landsvirkjunar innan Þjórsár- Tungnaársvæðisins. Staðsetning mælistöðvanna er sýnd á mynd 1 og eru elstu mæliraðirnar frá 1961.

Þar fyrir utan var litið til tímaraða úr tveimur borholum annarri í Heiðmörk og hinni í Skjaldbreiðarhrauni sem notaðar voru til viðmiðunar. Alls var því um að ræða 46 mælistaði sem sundurliðast í 28 mælistaði fyrir grunnvatn, 5 mælistaði lónhæðar og 13 mælistaði fyrir rennsli.



Mynd 1. Þjórsár Tungnaárvæðið – staðsetning mælistaða.

Mæliraðirnar ná yfir árabilið, 1961–2014 eins og sést á töflu 1. Þar kemur vel fram að flestar þeirra, eða 27, eiga upphaf sitt á árabilinu 1980–1985. Raunar hófust mælingar fyrr í sumum þeirra en þessi ártöl gefa til kynna. Hins vegar fylgdu þau gögn ekki í þeim skráum sem afhentar voru við gerð verkefninsins. Þá verður að vekja athygli á því að mælingar batna verulega og verða mun tíðari um eða fyrir aldamót þegar farið er að nota sjálfvirka mæla í stað handmælinga.

Tafla 1. Þjósár Tungnaársvæðið. Tímaspönn mæliraða.

Tímabil		Fjöldi nýrra mæliraða
Frá	Til	
1.1.1960	31.12.1964	1
1.1.1965	31.12.1969	4
1.1.1970	31.12.1974	2
1.1.1975	31.12.1979	8
1.1.1980	31.12.1984	19
1.1.1985	31.12.1989	9
1.1.1990	31.12.1994	0
1.1.1995	31.12.1999	2
1.1.2000	31.12.2004	1
1.1.2005	31.12.2009	0
1.1.2010	31.12.2014	0

Tafla 2 gefur nánari upplýsingar um mælistaðina, staðsetningu þeirra, viðmiðunartímabil og hvað er vaktað. Um er að ræða 44 staði innan Þjósár Tungnaársvæðisins og tvo aðra til samanburðar

Tafla 2. Þjórsár Tungnaársvæðið – mælistaðir.

Heiti	Staður	Hnit		Viðmiðunartímabil ¹		Hvað vaktað
		E	N	Upphaf	Lok	
Grasatangi Þórisvatn	Þórisvatn	501239.0	415081.0	1971-12-31	2014-12-31	Lónhæð
JV-3 Þórisvatn	Þórisvatn	523865.5	432669.9	1981-10-31	2014-12-31	Grunnvatn
JV-2 Þórisvatn	Þórisvatn	518732.1	422782.3	1982-09-30	2014-12-31	Grunnvatn
JV-4 Þórisvatn	Þórisvatn	522590.1	420824.0	1984-10-31	2014-10-31	Grunnvatn
JV-5 Þórisvatn	Þórisvatn	510543.8	422792.2	1984-10-31	2014-10-31	Grunnvatn
JV-7 Þórisvatn	Þórisvatn	514360.9	425823.3	1984-10-31	2014-10-31	Grunnvatn
O -3 Þórisvatn	Þórisvatn	499267.3	414647.1	1980-01-31	2014-10-31	Grunnvatn
OL-30 Þórisvatn	Þórisvatn	513199.3	430223.1	1984-07-31	2014-10-31	Grunnvatn
OL-31 Þórisvatn	Þórisvatn	513205.6	430245.0	1984-07-31	2014-10-31	Grunnvatn
OL-72 Þórisvatn	Þórisvatn	510719.0	429393.6	1984-11-30	2014-10-31	Grunnvatn
OL-70 Þórisvatn	Þórisvatn	511131.6	428809.8	1984-11-30	2014-10-31	Grunnvatn
VF-2 Vatnsfell	Vatnsfell	503884.5	411275.0	1969-07-31	2014-10-31	Grunnvatn
VF-4 Vatnsfell	Vatnsfell	503870.3	409452.2	1969-06-30	2014-10-31	Grunnvatn
VF-10 Vatnsfell	Vatnsfell	502485.0	410735.1	1969-07-31	2014-10-31	Grunnvatn
VF-18 Vatnsfell	Vatnsfell	501401.0	406685.3	1969-10-31	2014-10-31	Grunnvatn
TH-11 Sigalda	Sigalda	497160.9	399343.0	1977-01-31	2014-10-31	Grunnvatn
SA-2 Sigalda	Sigalda	490723.9	402180.6	1980-11-30	2014-10-31	Grunnvatn
III Sigalda	Sigalda	488542.9	401723.1	1987-02-28	2014-10-31	Grunnvatn
VIII Sigalda	Sigalda	492627.2	404555.6	1987-02-28	2014-10-31	Grunnvatn
TH-6 Hrauneyjar	Hrauneyjar	488340.1	408498.7	1977-01-31	2014-10-31	Grunnvatn
TH-9 Hrauneyjar	Hrauneyjar	484349.7	406368.1	1977-01-31	2014-10-31	Grunnvatn
X Hrauneyjar	Hrauneyjar	480547.1	404900.2	1980-12-31	2014-06-30	Grunnvatn
PH-45 Búrfell	Búrfell	465814.1	404517.0	1983-01-31	2014-12-31	Grunnvatn
PH-9 Búrfell	Búrfell	467954.3	403003.4	1980-07-31	2014-10-31	Grunnvatn
LD-13 Búrfell	Búrfell	463866.4	399644.9	1977-02-28	2014-10-31	Grunnvatn
LL-2 Búrfell	Búrfell	499221.0	417861.2	1984-11-30	2014-12-31	Grunnvatn
VHM-59 Ytri Rangá	Ytri Rangá	434077.0	373971.0	1961-09-30	2014-09-30	Rennsli
Sigöldufoss	Sigalda	493679.0	407158.0	1983-01-31	2014-12-31	Rennsli

Framhald á næstu síðu.

¹ Viðmiðunartímabilið er byggt á gögnum um mánaðarmeðaltal vatnshæðar. Dagsetningar eru því miðaðar við lok þess mánaðar sem mælingar hófust eða þeim lauk.

VHM-96	Sigalda	497379.1	399627.1	1988-11-30	2014-12-31	Rennsli
Tjaldkvísl	Búðarháls	490855.3	414416.5	1975-06-30	2014-12-31	Rennsli
Rauðá	Búrfell	463567.1	405334.4	1984-03-31	2014-12-31	Rennsli
Hjálp	Búrfell	458584.1	401461.8	2002-09-30	2014-12-31	Rennsli
Álftafitjakvísl	Þórisvatn	501221.1	422625.5	1984-10-31	2014-12-31	Rennsli
Sigöldulón	Sigalda	495002.0	407063.0	1976-11-30	2014-11-30	Lónhæð
MW-1 Sigalda	Sigalda	494939.0	406754.0	1986-01-31	2014-12-31	Rennsli
MW-2 Sigalda	Sigalda	494830.0	406599.0	1986-01-31	2013-09-30	Rennsli
MW-3 Sigalda	Sigalda	494779.0	406540.0	1986-01-31	2014-11-30	Rennsli
MW-4 Sigalda	Sigalda	494646.0	406520.0	1986-01-31	2013-09-30	Rennsli
Dynkur	Sultartangi	489784.7	425395.3	1988-10-31	2014-12-31	Rennsli
Hágöngulón	Hágöngur	538604.4	448813.8	1998-07-31	2014-12-31	Lónhæð
Hraunvötn	Sigalda	516047.4	411166.2	1982-10-31	2014-12-31	Grunnvatn
Þórisós	Þórisvatn	510859.4	428216.9	1976-11-30	2015-01-31	Lónhæð
Sauðafellslón	Þórisvatn	513310.9	430244.4	1977-08-31	2014-12-31	Lónhæð
V-2 Kvislaveita	Kvíslaveita	528399.7	462355.9	1985-01-31	2014-10-31	Grunnvatn

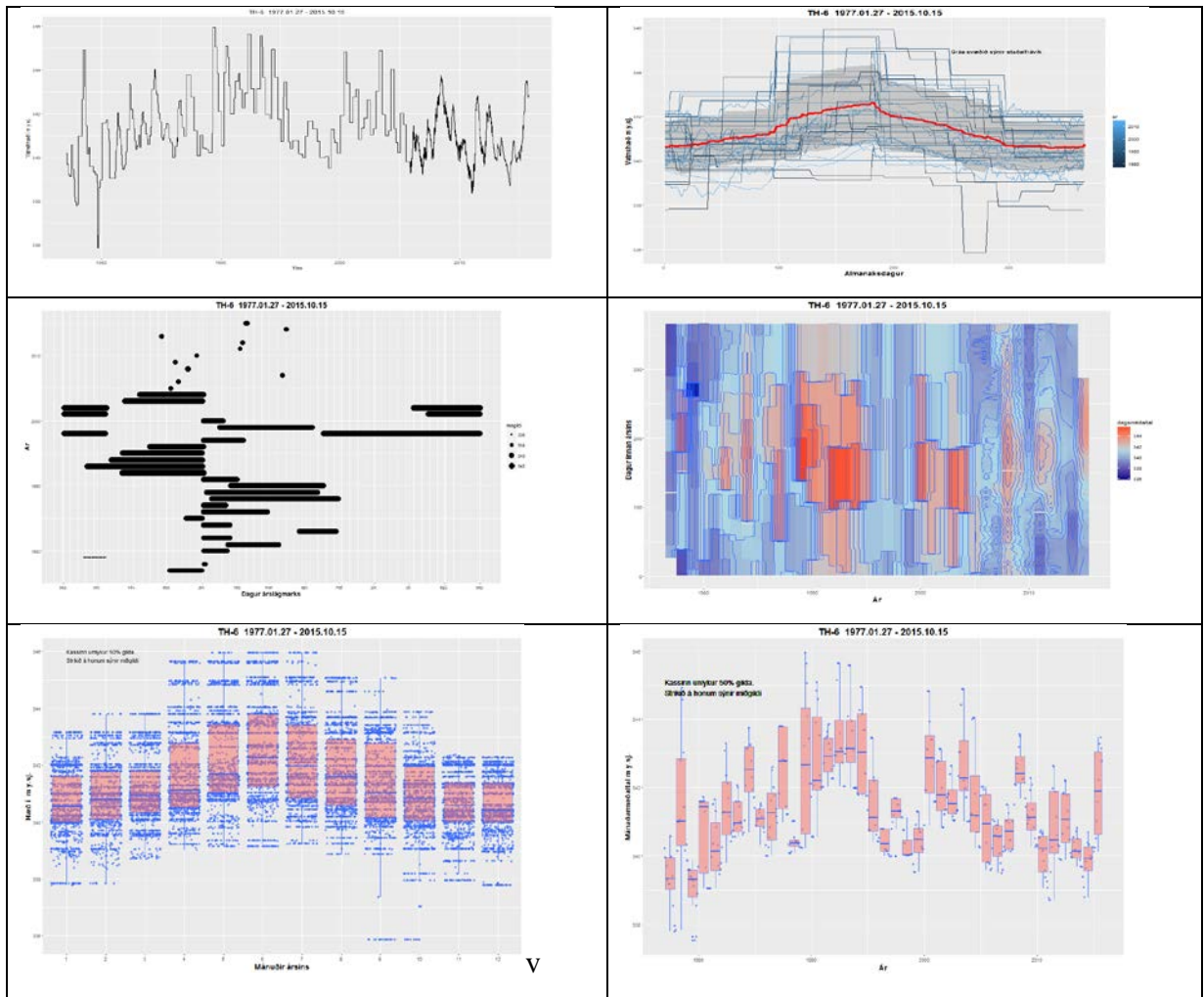
Samanburðarstaðir

Heiti	Staður	Hnit		Mælitímabil		Hvað vaktað
		E	N	Upphaf	Lok	
B2107-Berhóll	Heiðmörk	366969.0	400215.0	1972-11-30	2013-10-31	Grunnvatn
VH-02 Þingvellir	Þingvellir	419306.0	439447.0	1996-09-30	2011-10-31	Grunnvatn

Dæmi um gagnaraðirnar er að finna í Viðauka I.

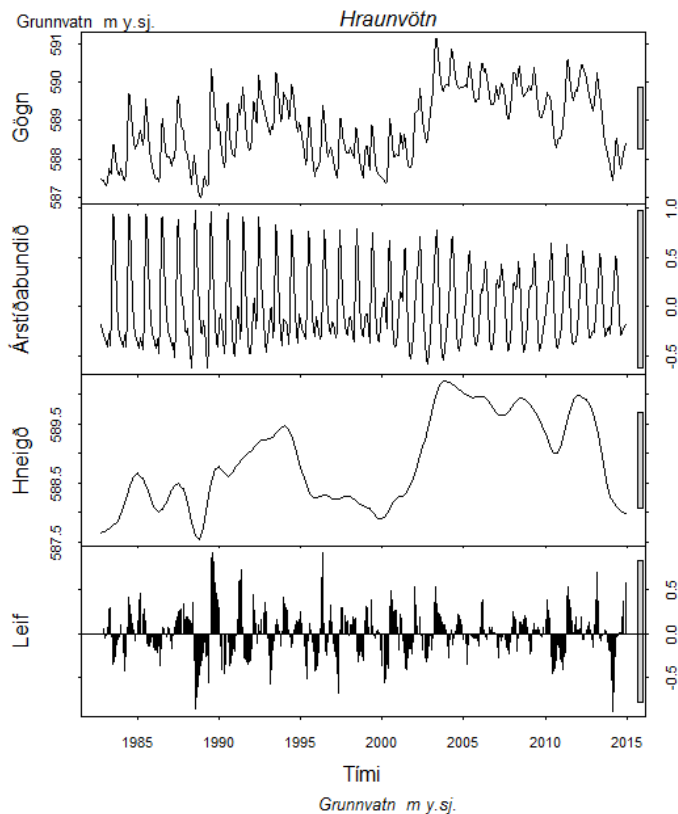
2.2 Gagnamedhöndlun

Gagnaraðirnar voru lesnar inn í þar til gert forrit og almennir eiginleikar hvernar raðar skoðaðir. Hér má nefna atriði eins og meðalgrunnvatnsstöðu eða meðalrennsli eins og við á, tímasetningu og mæligildi. Mynd 2 sýnir dæmi um þau atriði sem unnt er að skoða í hverri mæliröð en raunar eru kostirnir mun fleiri.



Mynd 2. Dæmi um framsetningu á mæligögnum frá einstökum mælistöðum: a) mæliferill; b) mánaðarleg vatnsstaða yfir tímabilið; c) tími lægstu vatnsstöðu; d) dagleg vatnsstaða eftir árum og almanaksdegi; e) kassarit af mánaðarlegri vatnsstöðu; f) kassarit af árlegri vatnsstöðu.

Kassaritin þarfnast nokkurrar skýringar þar sem þau sýna gögnin með nokkuð öðrum hætti en venja er og vísað er til þeirra síðar. Kassinn afmarkar 50% mæligildanna. Strikið í miðjunni er miðgildi mælingarinnar en ekki meðaltal. Helmingur gildanna í kassanum er í neðra kvartili neðan við miðgildið og helmingur ofan þess í efra kvartili. Lóðréttu línurnar sýna þau 25% sem falla ofan eða neðan við kassann. Mæligildi sem eru lengra frá efra eða neðra kvartili en nemur 1.5 sinnum lengd kassans eru alla jafna skilgreind sem útlagar og merkt með punkti. Þessi framsetning dregur úr áhrifum útlaga í mæliröðunum sem geta komið fram við meðaltalsreikninga. Hún auðveldar sýn á breytileika í mælingum, hve dreifð gögnin eru og hvort dreifingin er skekkt.



Mynd 3. Mæliröð úr Hraunvötnum sem búið er að skipta upp í árstíðabreytingu, hneigð og leif. Grái ferhyrningurinn lengst til hægri í hverjum ramma sýnir sömu spönn milli þátta. Árstíðabreytingin er hlutfallslega minni en langtímahneigðin.

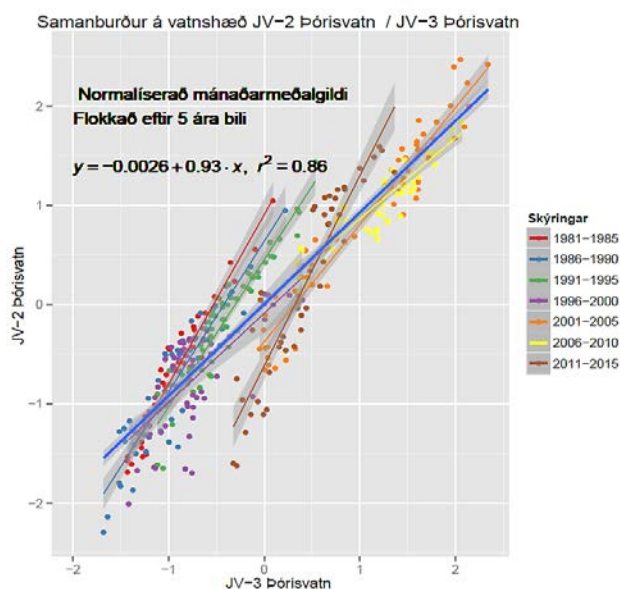
Líkt og mynd 2 ber með sér sjást skammtíma-, árstíða og langtímabreytingar sem hugsanlega ná yfir ár eða áratugi. Reynt var að lesa þessar breytingar í sundur með STL undirforritinu sem er til í R. Það forrit greinir ferlilinn í sundur í þrjá aðgreinda þætti: hneigð þ.e. langtímatilhneigingu; árstíðabreytingar; og leifina sem eftir er. Forritið byggir á tölfræðiaðferð sem nefnd er LOESS. Nafnið sem er dregið af „locally weighted scatter plot smooth“ vísar til þess að í stað þess að fella aðhvarfslínu minnstu kvaðrata í gegnum heildarsafnið er þýðið brotið niður í minni einingar. Aðhvarf innan hvers hóps er reiknað og niðurstaðan notuð til að byggja upp tölfræðilegt samband milli hópanna (Cleveland, Cleveland, McRae, & Terpenning, 1990; W. S. Cleveland, 1979). Inntaksstærðin er mæliröð með mánaðarmedalgildum en dæmi um úttakið er sýnt á mynd 3. Það getur kostað umtalsverða vinnu að ganga úr skugga um að leifin innihaldi ekki árstíðabreytingar og leiðréttu fyrir því. Þar sem markmiðið í verkefninu var að leita sérstaklega eftir langtímabreytingum, en ekki í hvaða mæli árstíðabundnir þættir breytast var notuð sama stilling í forritinu $s.windows = 7$. Myndir fyrir hverja einustu mæliröð sem er sundurgreind með þessum hætti er að finna í Viðauka II Aðgreining rennslisþátta.

Einn mikilsverðasti þáttur könnunar sem þessarar er að bera saman fylgni milli mismunandi mæliraða svo unnt sé að meta hvað á saman. Við þann samanburð voru borin saman mánaðargildi

hverrar mæliraðar gagnvart öðrum röðum. Gildin voru stöðluð með því að draga meðaltal raðarinnar frá mæligildinu og deila með staðalfrávikni hennar.

$$x_{new} = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Slík stöðlun miðar að því að tímaraðirnar hafi sama meðaltal (0) og staðalfrávik (1). Mæliröð hvers staðar var borin saman við alla aðra mælistaði til að meta hvort tengsl væru þar á milli. Raunar verður að hafa þann fyrirvara að mæliraðirnar eru margar hverjar ekki fullkomlega sambærilegar. Vatnshæð á mörgum mælistöðum hefur verið sírituð í áratugi meðan handmælt hefur verið í mörgum borholum fram undir aldamótin. Við þessu var brugðist með tvennum hætti: a) Við samanburðinn voru notuð mánaðargildi í stað dagsgilda og eðlilega var öllum eyðum sem voru í annarri hvorri mæliröðinni sleppt; b) Kannað var hvort fylgnisambandið breyttist verulega þegar byrjað var að sírita tiltekinn mælistað. Það gerðist t.d. í holum III, TH-6 og TH-9. Þegar verið var að fjalla sérstaklega um þessa tilteknu staði voru fylgnireikningarnir afmarkaðir frá árinu 2006 þegar síritun þeirra hófst.



Mynd 4. Tengsl grunnvatnsstöðu milli JV-2 og JV-3. Bláa breiða strikið sýnir fylgni yfir allt mælitímabilið en þau grennri fylgni innan fimm ára tímabila.

Vitað var að aðstæður kynnu að hafa þróast með mismunandi hætti á mælitímanum. Til að mynda hefur grunnvatnshæð aukist til muna víða þar sem stíflumannvirki hafa verið reist, meðan tilkoma þeirra hefur ekki haft nein áhrif á aðra mælistaði. Af þessum sökum var tímaröðin brotin upp í 5 ára tímabil og kannað hvort mismunandi tengsl hefðu verið að þróast milli þeirra. Dæmi um slíkt er sýnt á mynd 4 þar sem sambandið milli vatnsstöðu í JV-2 og JV-3 gjörbreytist milli tímabilanna 1996–2000 og 2001–2005 við tilkomu Hágöngulóns. Staðsetningu þessara hola má sjá á mynd 1, en mun nánar verður fjallað um þetta í kaflanum Aðrennsli. Talið var nægjanlegt

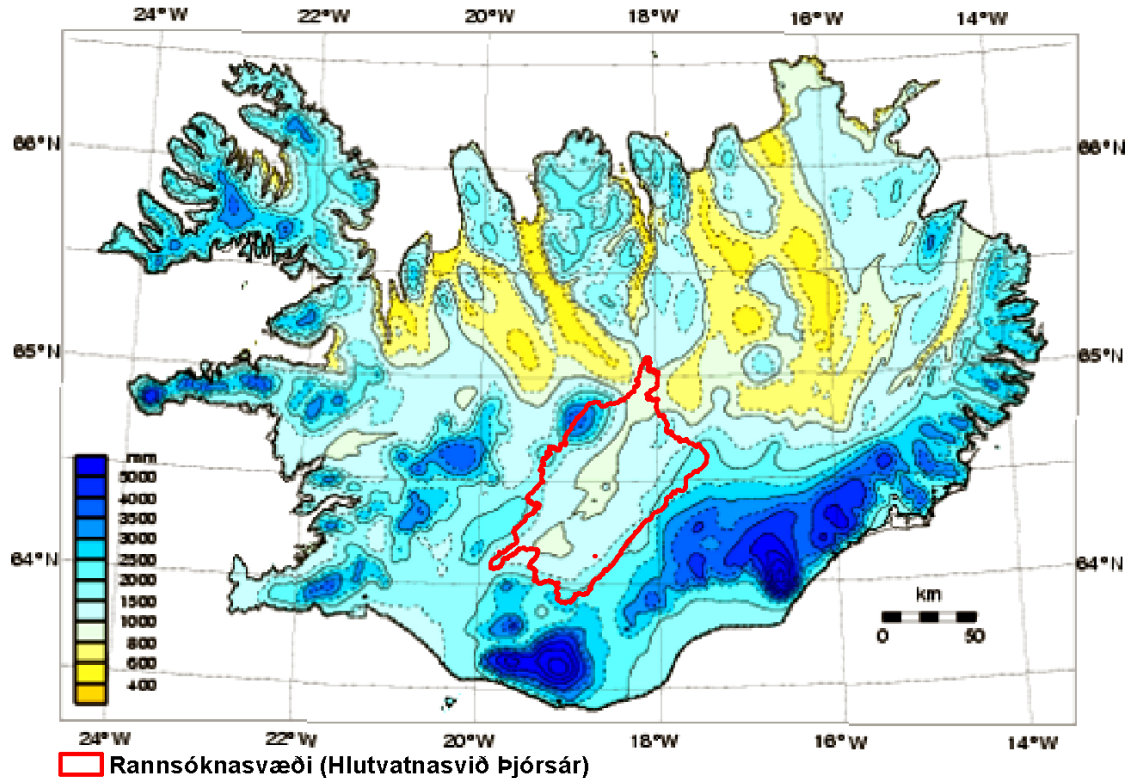
að brjóta tímaröðina upp í 5 ára tímabil til að fá yfirsýn en þegar ástæða var til var auðvelt að skoða breytingarnar yfir styttra tímabil.

3 Lýsing á aðstæðum – yfirlit

3.1 Náttúrulegur breytileiki

Það kallast írennsli þegar vatn af yfirborði jarðar hripar niður og verður að grunnvatni. Slíkt gerist þar sem yfirborðslög eða berggrunnur eru það lek að vatnið á auðveldla leið niður til grunnvatns. Írennslið er úrkomuvatn en einnig leysingarvatn hvort sem það er frá snjófyrningum eða jöklaþráð.

Mynd 5 sýnir dreifingu úrkomu yfir landið á árabílinu 1971–2000 og er hlutvatnasvið Þjórsár Tungnaár merkt sérstaklega.

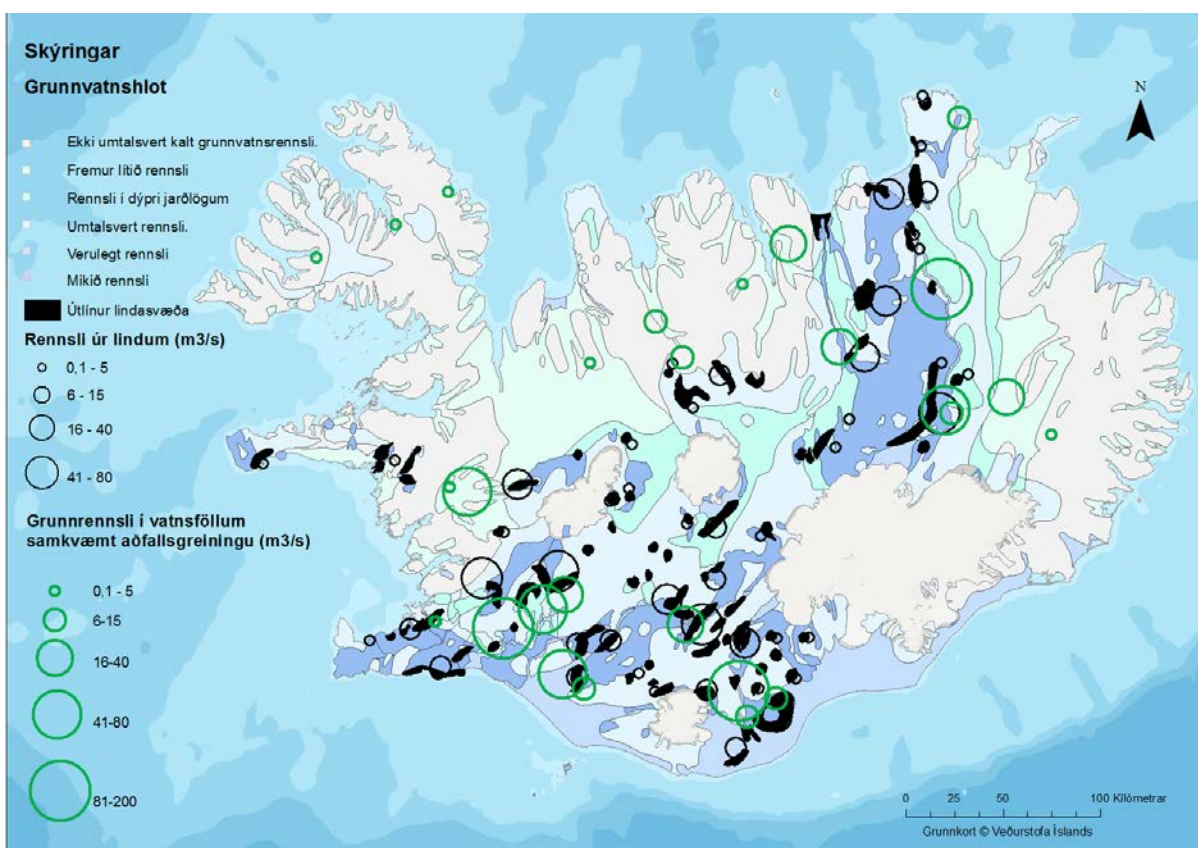


Mynd 5. Úrcoma á Íslandi fyrir árabílið 1971–2000 (Crochet o.fl., 2007; T. Jóhannesson o.fl., 2007).

Grunnvatnið safnast fyrir í undirliggjandi jarðlögum og myndar samfelldan grunnvatnsflöt. Það fer síðan eftir rúmmáli og vatnsrýmd jarðlaganna hversu stór grunnvatnsgeymirinn getur verið.

Lekt jarðlaganna ræður hins vegar hversu auðveldlega vatnið rennur til og frá grunnvatnsgeyminum.

Grunnvatnið sígur alla jafna hægt undan þyngdaraflinu í átt til sjávar og kemur víða fram sem lindir, og er vel þekkt að það komi fram sem lindir í stöðuvötnum, vatnsföllum eða jafnvel neðan-sjávar. Víða um land eru svæði með þykkum og groprum jarðlögum frá síðjökul- og nútíma sem geyma mikið grunnvatn. Auk þess liggja höggunarsprungur í gegnum mörg þessara svæða sem, stækkar aðrennslissvæðið og þar með rýmd grunnvatnsgeymisins, eykur lekt þeirra og skapar forsendur fyrir miklu lindastreymi. Mynd 6 sýnir legu helstu lindasvæða og þátt grunnrennslis í mörgum stærstu vatnsföllum landsins.

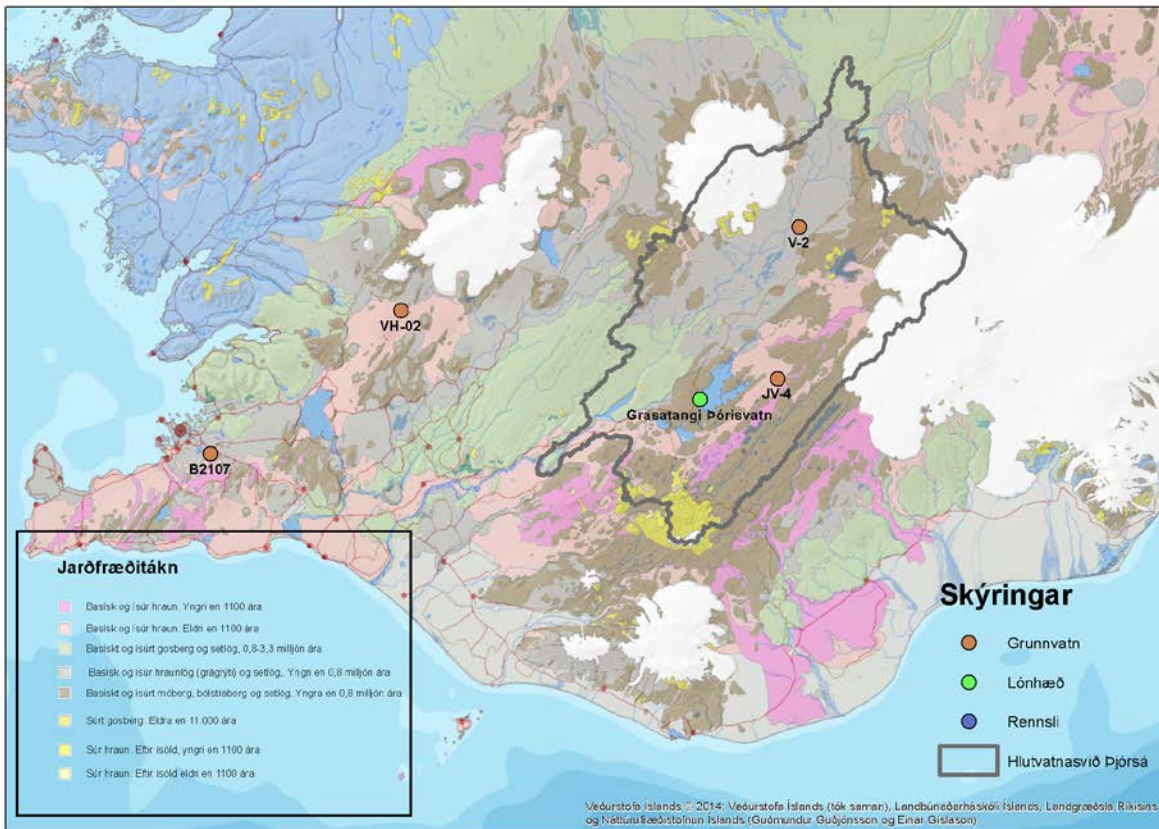


Mynd 6. Legu helstu lindasvæða og þáttur grunnrennslis í mörgum stærstu vatnsföllum landsins (Davíð Egilson & Gerður Stefánsdóttir, 2014).

Á myndinni kemur fram að grunnvatnsrennslið er að langmestu leyti afmarkað við eldvirkni-beltið. Svörtu hringirnir á myndinni sýna mat á lindarennslinu byggða á vettvangsskoðun, en þeir grænu eru afrakstur greiningar á grunnrennsli við rennslismælistöðvar. Myndin dregur vel fram að lindir og grunnvatnsrennsli eru mjög áberandi á Þjórsár- Tungnaárvæðinu. Sakir þess að jarðlög leiða vatn mun tregar en þegar það rennur fram á yfirborði dregur verulega úr augnabliks og dægursveiflum hvað varðar vatnshæð eða rennsli í samanburði við yfirborðsvatn.

Aftur á móti getur breytileikinn verið umtalsverður þegar lítið er til lengri tíma bæði innan árs, milli ára og áratuga.

Mynd 7 sýnir staðsetningu valdra grunnvatnsmælistaða á Miðhálandinu og SV landi og á mynd 8 sést að grunnvatnshæð þessara staða breytist með tíma.

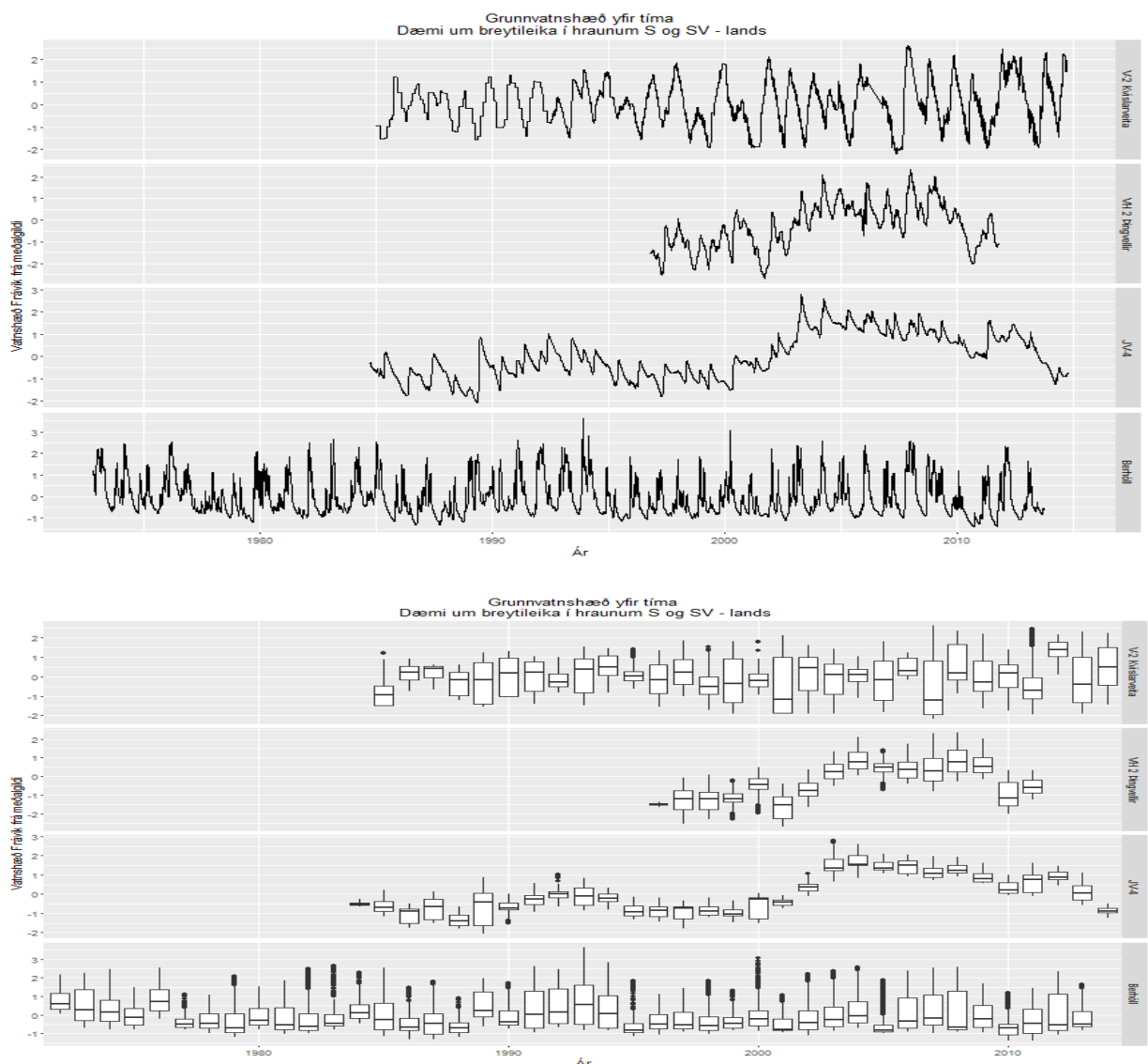


Mynd 7. Valdir mælistaðir fyrir grunnvatnshæð á Miðhálandi- og SV-landi.

Efri hluti myndar 8 sýnir daglega grunnvatnsstöðu eins og hún mældist, sem frávik frá meðalgildi. Á neðri hluta myndarinnar er hins vegar svonefnt kassarit sem skýrt er á bls 13 (sjá mynd 2). Vert er að vekja athygli á mun í breytileika á borholunni við Berghól og V-2 annars vegar og VH-2 og JV-4 hins vegar: Borholan V-2 sem er í Kvíslaveitum er í grágrýtismynduninni frá ísöld. Hún stendur í tiltölulega þéttu bergi með lítilli rýmd. Borholan við Berghól er í Heiðmerkurhrauninum nálægt þeim stað þar sem lindarvatn rennur fram og myndar Suðurá. Vatnshæð í báðum þessum holum breytist talsvert yfir árið og þær svara nokkuð hratt úrkomu og leysingu. Vatnsstaðan getur haldist nokkuð lík milli 1–3 ára og greina má undirliggjandi áratugabreytingar þó veikar séu. Lítil lekt, rýmd eða nálægð við útrennsli gerir það að verkum að geymslurýmið í jarðlögum er svo lítið að umframvatn rennur fljótt fram þannig að áratugabreytingar hverfa. Breytileikinn innan hvers árs er því mjög mikill. Öðru máli gegnir varðandi vatnsstöðu í holunum sem standa á hraunum ofan við Þórisvatn JV-4 og VH 2 á

Þingvöllum. Þar er breytileikinn mun minni sem gefur sterklega til kynna að nægileg rýmd sé í jarðlögunum til að dempa breytingar í vatnshæð, jafnvel langtímasveiflur.

Þá kemur nokkuð áberandi fram á myndinni að umtalsverðar áratugabreytingar eru í grunnvatnshæð í þessum holum. Breytingar eru samstíga og virðast fylgja úrkomudreifingunni (Crochet o.fl., 2007). Meginþáttur írennslisins virðist því vera nokkuð sambærilegur á hraunum ofan Þingvalla og norðaustan Þórisvatns. Hann orsakast af langtímabreytingum í veðurfari – úrkomu, hita og leysingu – samfara því að jarðlög og jarðgrunnur eru með svipuðum hætti á báðum stöðum.

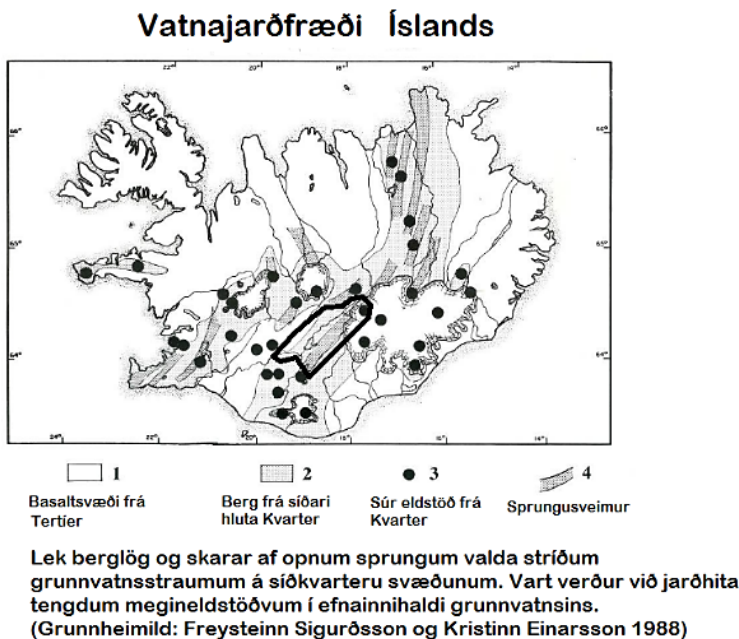


Mynd 8. Grunnvatnshæð sunnan og SV lands. Náttúrulegur breytileiki.

Hinar miklu áratugabreytingar í grunnvatnshæð svo nemur rúmlega tveimur staðalfrávikum í meðaltali eins og sést á mynd 8a gera það að verkum að það getur skipt máli varðandi nýtingu grunnvatnsins hvort verið er að nýta það á vatnsríku eða vatnsrýru ári.

3.2 Almenn um vatnajarðfræði Þjórsár- og Tungnaárvæðisins

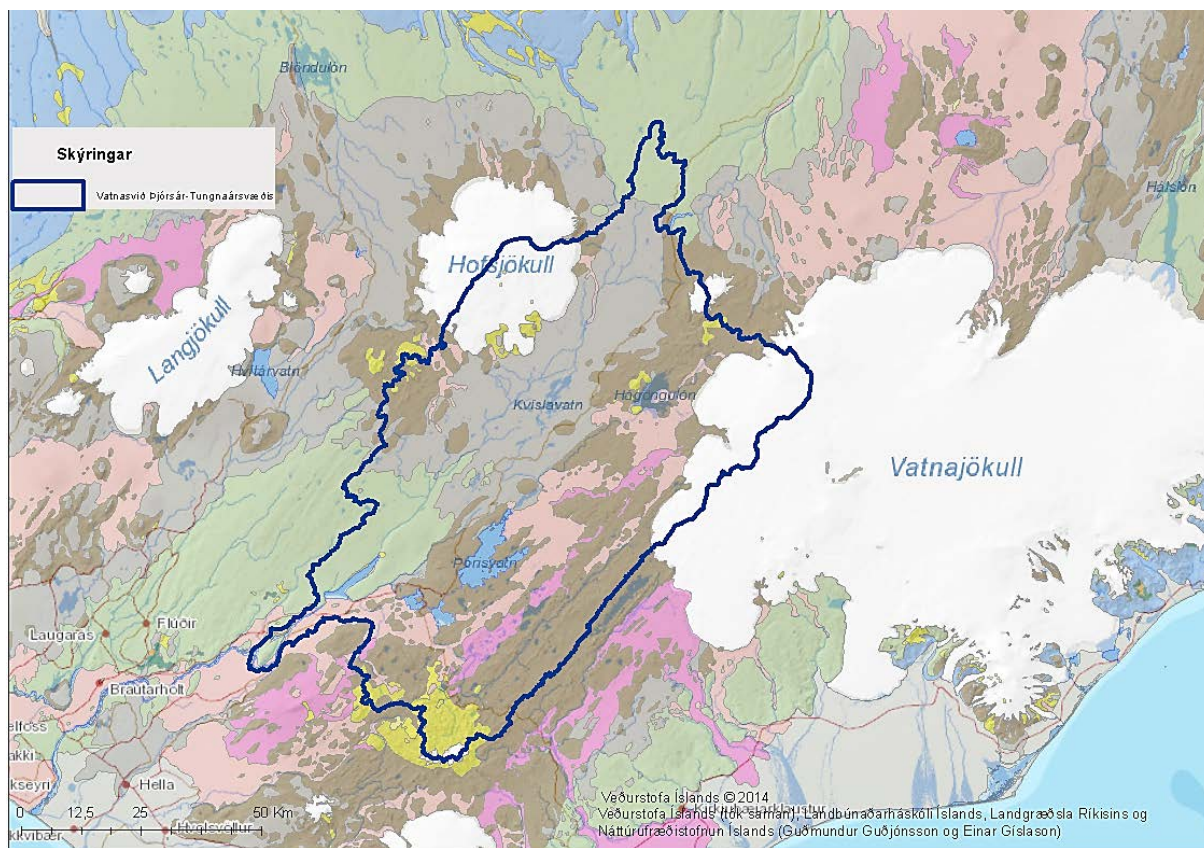
Þjórsár- Tungnaárvæðið liggur við vesturhluta eystra gosbeltisins, sjá mynd 9. Rannsóknarsaga þess er löng og viðamikil. Hún er samtengd hugmyndum sem uppi voru hverju sinni um hvernig vatnsföllin skyldu nýtt til raforkuframleiðslu, við hönnun og byggingu mannvirkja og síðan mannvirkja- og rekstrareftirlit. Til er ógrynni heimilda sem fjalla um vatnajarðfræði Þjórsár- og Tungnaárvæðisins með einum eða öðrum hætti. Til að mynda hafa verið gefin út sjö jarðgrunns- og berggrunnskort, öll í mælikvarða 1:50.000 af svæðinu öllu (sjá Ingibjörg Kaldal & Elsa G. Vilmundardóttir; Guðrún Larsen, 1986; Ingibjörg Kaldal; Elsa G. Vilmundardóttir; Guðrún Larsen, 1990, 1999, 2001; Ingibjörg Kaldal & Ingibjörg Kaldal; Elsa G. Vilmundardóttir; Guðrún Larsen, 1986; Ingibjörg Kaldal & Skúli Víkingsson, 1991, 1993) og fimm vatnafarskort (Árni Hjartarson & Freysteinn Sigurðsson, 1990, 1991; Árni Hjartarson, 1986, 1988, 1994) auk afrennsliskorts sem gert var af landinu öllu (Jónsdóttir, 2008). Í greinargerðinni er vísað til nokkurra þeirra rita sem gefa almennt yfirlit, en ítarlegri ritalista er að finna í bókasafni Landsvirkjunar.



Mynd 9. Lega rannsóknarsvæðisins.

Á þessum slóðum móta jarðmyndanir tengdar eldvirkni og gliðnun lands mjög rennsli grunnvatnsins og hvernig það berst fram. Hér er átt við hvernig grunnvatnið rennur fram og hve mikið vatn rúmast í grunnvatnsgeymum (Freysteinn Sigurðsson & Kristinn Einarsson, 1988). Líkt og

kemur fram á mynd 9 mynda megineldstöðvar eins konar kjarna og liggja langir sprungusveimar í NA–SV stefnu frá þeim. Þeir eru mikilvægur hluti af eldstöðvakerfinu. Þessir sprungusveimar, eru yfirleitt mjög vel vatnsleiðandi. Það stafar bæði af ríkjandi höggunarsprungum en samhliða því eru móbergshryggirnir hinar fornu eldstöðvar frá ísöld úr sama eldstöðvakerfi. Þeir liggja því í sömu stefnu og höggunarsprungurnar.



Mynd 10. Almenn yfirlitsmynd yfir jarðfræði Þjórsár Tungnaársvæðisins. Skýringar á jarðfræðitáknum, sjá mynd 11.

Á vatnasviði Þjórsár Tungnaár er að finna jarðmyndanir tengdar fornum megineldstöðvum sem skornar eru af sprungusveimum (mynd 10). Þessar myndanir eru að hluta til huldar af yngri myndunum sem hafa lagst yfir þær. Við vesturjaðar vatnasviðsins eru jarðmyndanir frá því fyrir síðasta jökulskeið en á meginhluta þess eru jarðmyndanir frá síðasta jökulskeiði og nútíma áberandi á yfirborði. Móbergshryggir sem eru sundurskornir langs af höggunarsprungum eru áberandi í landslaginu. Nútímahraun hafa runnið eftir að jökla leysti og lagst upp að móbergshryggjunum og jafnvel kaffært þá. Höggunarsprungur ná undir Tungnaár-, Sylgju- og Köldukvísjarjökla. Leysingavatn frá þessum jöklum getur því átt greiða leið niður í grunnvatnið.

Berg frá fyrri og miðhluta síðustu ísaldar sem er að finna á vesturhluta svæðisins er yfirleitt orðið nokkuð þétt vegna holu og sprungufyllinga, sem væntanlega stafar að mestu af varmaáhrifum megineldstöðvanna. Gosvirkninni hefur fylgt jarðhiti. Um bergið hefur runnið jarðhitavatn með

uppleystum efnum sem hafa smámsaman fallið út og þétt holur og sprungur í berginu. Hins vegar er veruleg óregla í upphleðslunni sem ekki sést á yfirborði. Til að mynda er erfitt að geta sér til um legu og tilvist eldri höggunarsprungna og móbergsmyndana sem eru grafnar í jarðlagastaflanum. Þess vegna getur verið erfitt að segja til um lekaleiðir almennt. Áhrif brotalína og misgengja geta verið á hvorn veginn sem er: Sé brotasvæðið nægilega opið rennur grunnvatn hratt fram eftir brotalínunum og myndar lægð í grunnvatnsborðið. Hins vegar geta brotalínur einkum í ummynduðu bergi og í grennd við megineldstöðvar verkað sem stemmir og hindrað rennsli þvert á þær (Birgir Jónsson, 1983).

Jarðfræðitákn

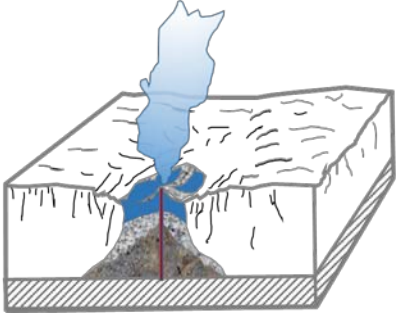
- Basísk og ísúr hraun. Yngri en 1100 ára
- Basísk og ísúr hraun. Eldri en 1100 ára
- Basískt og ísúrt gosberg og settlög, 0,8-3,3 milljón ára
- Basísk og ísúr hraunlög (grágrýti) og settlög. Yngri en 0,8 milljón ára
- Basískt og ísúrt móberg, bólstraberg og settlög. Yngri en 0,8 milljón ára
- Súrt gosberg. Eldra en 11.000 ára
- Súr hraun. Eftir ísöld, yngri en 1100 ára
- Súr hraun. Eftir ísöld eldri en 1100 ára

Mynd 11. Skýringar á jarðfræðitáknum.

Berg frá síðasta hluta ísaldar og nútíma sem er ráðandi fyrir austur hluta vatnasviðsins er það ungt að það hefur lítið þétt vegna útfellinga. Lekt bergsins er því bundin við upphaflegar lekaleiðir, þ.e. eftir bólstraberginu í kjarna móbergshryggja, í lagmótakarga, í stuðlasprungum hrauna eða karga þeirra.

Myndun móbergshryggja við gos undir jökli

Við snöggkælingu kviku vegna snertingar við vatn myndast þrýstingur vegna gassins sem er í henni og það leitar út.



- Þegar innri þrýstingur er minni en ytri – myndast bólstraberg sem hleðst upp við gosrásina.
- Eftir því sem fjallið byggist upp minnkar ytri þrýstingur vatnsins. Kvikan sundrast og bólstrabrotaberg myndast ósjaldan í hlíðum bólstrabergshrúgunnar.
- Þegar ytri þrýstingur er sem næst horfinn sundrast kvikan og verður að gjösku eða ösku.
Þar sem gosvirknin er breytileg meðan á henni stendur getur öllu þessu ægt saman

Algennt er að ysta lag móbergshryggja sem er oftast gjall og aska ummyndist vegna varmans í fjallinu og veðrunar og myndi sem næst vatnshelda kápu.

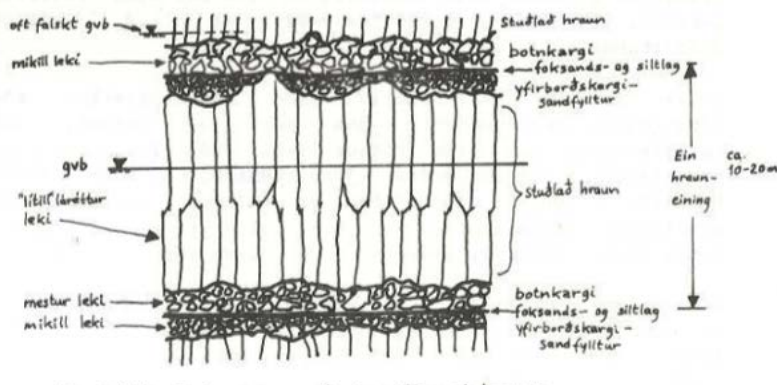
Móbergshryggir geta verið með góða vatnsleiðni, einkanlega langs eftir þeim og eftir stefnu brotalína.

Mynd 12. Myndun móbergshryggja við gos undir jökli.

Móbergsmýndanir. Mynd 12 skýrir hvernig móbergsmýndanir verða til. Á henni kemur fram að innan sömu myndunar getur ægt saman bólstrabergi, bólstrabrotabergi, innskotshleifum úr kubbabergi, örfinni ösku og gjalli. Þar við bætist enn eitt flækjustigið. Þar sem móbergshryggir eru myndaðir undir jökli hafa jökull og vatn víða rofið þessar mýndanir eftir að eldvirkninni lauk. Roföflin hafa sett af sér set sem ósjaldan liggur á móberginu. Setið getur verið í formi t.d. sandsteins, siltsteins, völubergs og jökulbergs. Flestar setmýndanir sem tengjast jökulrofi og setmyndun eru lítið vatnsleiðandi ef frá eru taldar höggunarsprungur og flögun í bergi. Flögun er væntanlega afleiðing samspils álags ísaldarjökulsins og síðan fargléttingar við jökulleysingu. Almennt séð geta móbergshryggir verið vel leiðandi, en eins og áður hefur komið fram er það bundið höggunarsprungum og bólstra- eða kubbabergi. Vatnið í móbergshryggjum rennur margfalt auðveldar langs eftir gosmynduninni og sprungunni sem myndaði hana, en þvert á þá stefnu. Hins vegar er grunnvatn í móbergshryggjum einangrað frá grunnvatni sem um nútímahraun renna meðal annars vegna veðrunarkápu sem vísað er til á mynd 12. Þessi munur milli grunnvatns í móbergsmýndunum og nútímahraunum er vel merkjanlegur þegar lítið er til vatnsborðsbreytinga, efnainnihalds eða hitastigs (sjá t.d. P. Jóhannesson, Arnalds, Egilson, & Jónasson, 1978; Jónasson & Guðmundsson, 1978; Jónasson, Egilson & Hólmjárn, 1978).

Tungnaárhraunin eru mjög einkennandi fyrir vatnafar á Þjórsár–Tungnaárvæðinu. Mikið hefur verið um þau skrifað og verður að nefna bæði einkar góða greiningu Guðmundar Kjartanssonar (1961), og eins tímamótaverk Elsu. G Vilmundardóttur (1977). Tungnaárhraunin eru gífurleg að umfangi og það elsta og fyrsta nær frá Veiðivatnalægðinni og niður að strönd í Flóa. Árið 2002 voru gerðar þyngdarmælingar á hraunasvæðinu austan Þórisvatns og að Tungnaá. Líkanreikningar byggðir á þeim sýna að þykktir nútímahraunanna þar eru nærri því að vera 50 m að meðaltali. Hins vegar nær heildarþykktin um 100 m á nokkrum stöðum þar sem aðhald er af

móbergsfjöllum (Magnús T. Guðmundsson & Þórdís Högnadóttir, 2002). Aldursgreining gefur til kynna að hraunið sé 8.500 ára og rúmfang þess 24,9 km³. Það er því rúmmálmesta hraun sem runnið hefur á jörðinni á nútíma (Árni Hjartarson, 2011). Tungnaárhraunin eru afar lek. Lárétt lekt þeirra getur vel verið tífalt meiri en sú lóðrétt. Ástæður þessa liggja að miklum hluta til í uppbyggingu þeirra eins og skýrt er á mynd 13.



Mynd 13. Einkennisþversnið fyrir Tungnaárhraunin. Heimild Birgir Jónsson, 1983.

Efst er alla jafna yfirborðskargi með hraunbrotum sem algengt er að sjá. Hins vegar hafa oft liðið aldir eða þúsundir ára milli hraungosanna svo yfirborðið er mjög víða fyllt af vikri, foksandi eða fokmold. Miðhluti hraunanna er alla jafna nokkuð heilsteyptur og stuðlaður. Lekt hans er því sjaldnast mikil nema í hraunjöðrum og í gegnum stuðlasprungur. Botnkargi þessara hrauna er hins vegar hriplekur. Það stafar af því að þegar hraunið rennur fram steypast berghellur og hraunbrot undir hraunið. Þar sem ekkert set fyllir í botnkargann eftir að hraunið hefur staðnæmst verður hann yfirleitt mjög opinn og vel leiðandi.

Loks er vert að minnast á eitt atriði sem virðist mjög einkennandi fyrir aðstæður sem þessar. Undir lok ísaldar varð mikil leysing meðan ísaldarjökullinn var að hörfa. Leysingarvatn fann sér farveg í átt til sjávar. Við endurtekin gos leituðu hraunin eðlilega eftir auðveldustu rennslisleiðum og fylgdu því ósjaldan farvegum sem fyrir voru. Við það hröktust árnar út á hraunið eða grófu sér nýja leið milli hrauns og hlíðar. Guðmundur Kjartansson lýsir þessu einkar lifandi í skýrslu til raforkumálastjóra (1961).

Saga Tungnaár nálægt Sigöldu skal nú rakin í höfuðdráttum :

Fyrir meira en 8 þúsund árum rann Tungnaá vestur um breiðan, hraunlausan dal milli Dyngna og Valafells að sunnan og Vesturbjalla, Sigöldu (fremri), Sporðöldu og Búðarháls að norðanverðu. Nánar verður ekki til tekið með fullri vissu, hvar farvegur hennar lá, en þó tel ég sennilegt, að það hafi verið sunnan við Melfell, Hraun-eyjarfell og "Langöldu".

Fyrir h. u. b. 8 þúsund árum rennur fyrsta Þjórsárhraunið fram dalinn og alla leið til sjávar. Árfarvegurinn fyllist hrauni langt upp á bakka og áin finnur sér nýjan, sem liggur hærra, ýmist með jöðrum hraunsins eða ofan á því.

Fleiri Þjórsárhraun renna sömu leið, leika ána á sama hátt og þekja hvert annað að mestu leyti. Út úr einu þeirra, því sem hér er kallað X og mun vera hið 2., 3. eða 4. í röðinni, teygist tota inn í dalkrika, sem skerst norður frá aðaldalnum inn á milli Vesturbjalla og Sigöldu. En meginstraumur hraunsins náði sennilega allt niður í ofanverða Landsveit.

Mynd 14. Úr sögu Tungnaár nálægt Sigöldu. Guðmundur Kjartansson, 1961.

Í farvegum var mikið af gegnsósa sandi og vikri sem þessi vatnsföll báru fram. Þegar hraun rennur um slíkar aðstæður brotnar bergið upp og neðsti hlutinn verður afar gropinn. Þessu til viðbótar hafa sjálfir farvegirnir mikið til þést vegna jökulleirsins. Þetta hvort tveggja skapar forsendur til að grunnvatnið leitaði sér leið í botnkarga yngri hrauna en ofan á til þess að gera þéttum botni sem eldri farvegir höfðu myndað. Þarna myndast því aðstæður fyrir að vatnið renni fram í umtalsverðu magni neðanjarðar í afmörkuðum rásum. Nærtækt dæmi er í Holuhrauni en til eru mýmörg önnur.

3.3 Samantekt um grunnvatn á svæðinu

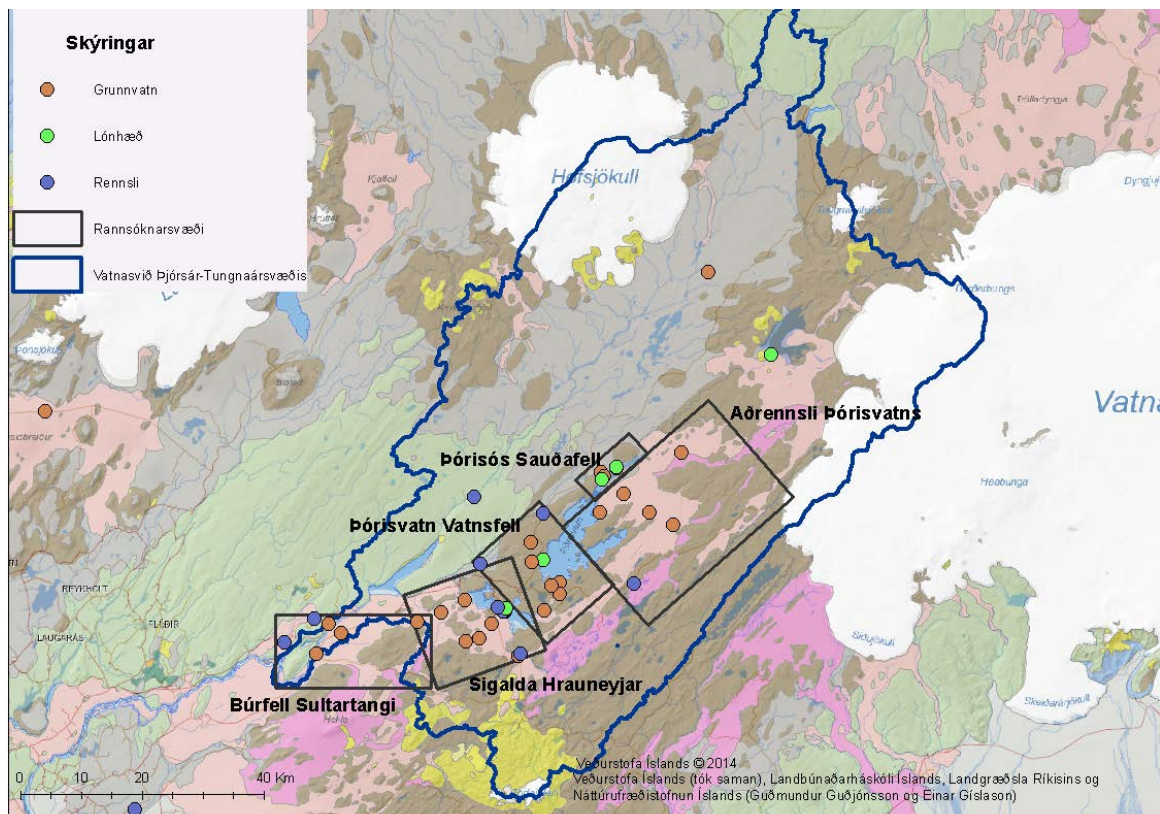
Úrkoma og leysingarvatn á alla jafna greiða leið niður í jarðlögin og safnast þar fyrir sem grunnvatn. Það rennur fram ýmist eftir stefnu móbergshryggjanna eða í karga hraunanna. Oft á tíðum eru vatnsveitarnir verulega aðskildir þannig að hiti í grunnvatni í móbergsmýndunum er víða merkjanlega frábrugðinn hita í grunnvatninu sem liggur í hrauninum og eins er breyting á vatnsborði umtalsvert dempaðri í móbergsmýndunum en í hrauninum. Í einhverjum tilvikum getur verið um að ræða áhrif frá jarðhita sem orsakar hærri hita grunnvatns í móberginu, en nærtækari skýring er að vatnið í móberginu hafi haft mun lengri viðkomu heldur en vatnið í hrauninum. Sakir tregara írennslis á kalt leysingavatn og úrkoma ekki jafn greiða leið niður í móbergið eins og niður í hraunin. Auk þess er alla jafna mjög lítil vatnsleiðni í grennd við fornar megineldstöðvar. Á Þjórsár- Tungnaásvæðinu verkar megineldstöðin við Torfajökul eins og eins konar stemmir svo grunnvatnið sem rennur fram í Veiðivatnalægðinni fann sér leið til vesturs.

Helstu skýringar á því er að kvikan berst djúpt að í megineldstöðvunum og safnast oft fyrir í kvikuþrær sem liggja á nokkru dýpi. Þar skilur kvikan sig í sundur og léttasti hlutinn s.s. sá súrasti situr efst. Varminn í eldstöðinni hitar grunnvatnið sem þar er og bergið ummyndast af

hita. Við gosvirkni rennur kvikan úr þrónum annað hvort til yfirborðs eða neðanjarðar eftir gangasveimunum. Þegar slíkt gerist getur eldstöðin sigið eða hrunið ofan í þróna og askja myndast. Samfara því myndast hringsprungur umhverfis megineldstöðina sem ganga þvert á sprungusveiminn. Líkt og áður hefur verið getið hafa mjög viðamiklar rannsóknir verið gerðar á grunnvatnsástandinu á Þjórsár- Tungnaárvæðinu. Birt hafa verið yfirgripsmikil rit auk jarðfræðikorta sem ná yfir berggrunn, jarðgrunn og vatnafar. Auk þeirra sem nefnd hafa verið hér að framan má nefna að Verkfræðistofan Vatnaskil hefur unnið líkan sem líkir eftir grunnvatnshæð og rennsli á hverjum tíma. Inntaksstærðir í líkönin eru m.a. veðurgögn og upplýsingar um lekt, misleitni og geymslurými í mismunandi jarðlögum (Verkfræðistofan Vatnaskil, 1985, 1988, 2002b, 2010). Heildarmyndin er að mörgu leyti skýr en eðli máls samkvæmt ná líkön og hugmyndir manna að lýsa aðstæðum best þar sem nægileg vitneskja er fyrir hendi. Þess vegna er gagnlegt að skoða hvert svæði fyrir sig og meta þær upplýsingar sem liggja fyrir.

4 Umfjöllun um einstök svæði

Mynd 15 sýnir jarðfræðikort sem nær yfir vatnasvið Þjórsár – Tungnaár og eru þau svæði auðkennd sem fjallað verður um sérstaklega. Vestasti hlut þess er byggður upp úr jarðlögum frá fyrri- og miðhluta síðustu ísaldar sem merkt eru með gráum og grænum lit.



Mynd 15. Afmörkun undirsvæða. Skýringar á jarðfræðitáknum, sjá mynd 11.

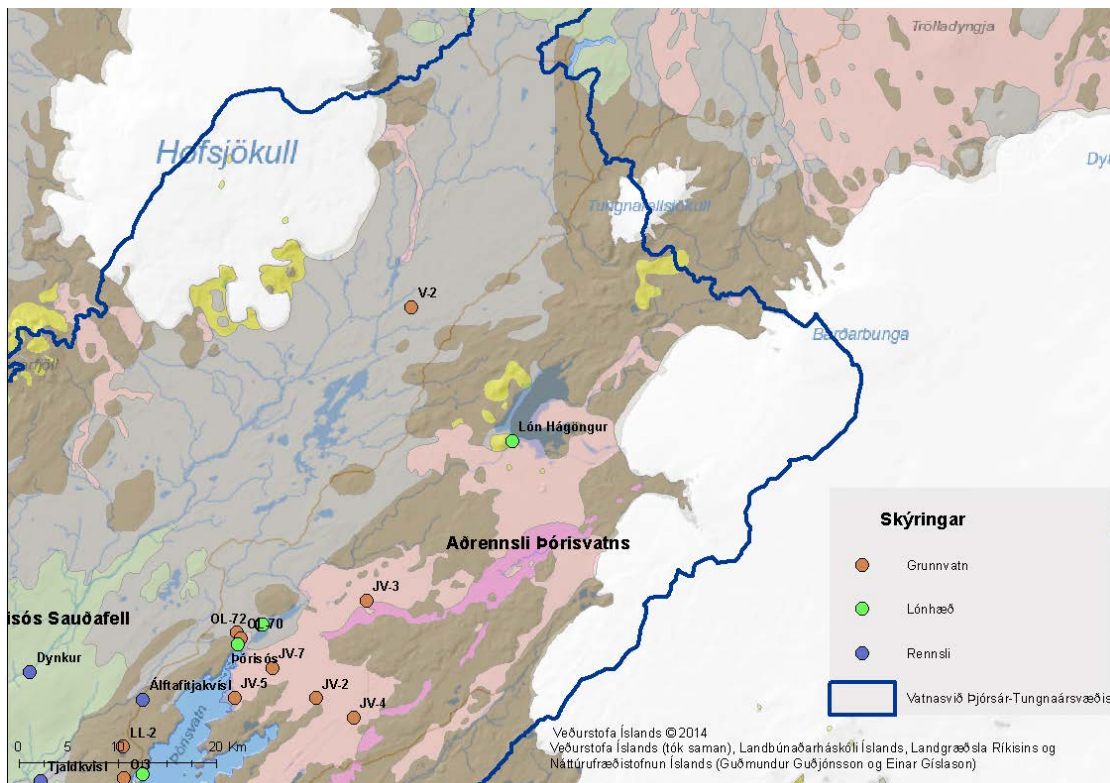
Eins og fram kemur í kaflanum hér að ofan (bls. 21) eru þessi jarðlög alla jafna vel þétt ásamt því að á þeim getur verið umtalsverð gróðurþekja. Gegnumgangandi er þar óverulegt grunnvatn enda rennur mest af úrkomu og leysingu fram á yfirborði. Lekustu jarðlögin eru frá síðasta jökuskeiði og nútíma og eru merkt með brúnu og bleiku á kortinu. Þar eru helstu mannvirkin. Samhliða því eru áhrifin af mannvirkjagerðinni mest, og best fylgst með grunnvatni. Hér að neðan verður fjallað um einstök svæði.

4.1 Aðrennsli að Þórisvatni

4.1.1 Almenn lýsing

Jarðlög á efsta hluta Þjórsár- Tungnaársvæðisins greinast annars vegar í tiltölulega þétt berg frá fyrri- og miðhluta síðustu ísaldar og hins vegar í berg frá síðjökul og nútíma. Mynd 16 sýnir

staðsetningu helstu mælistaða ásamt legu þeirra í jarðmyndunum, upplýsingar um mannvirkin er að finna í töflu 3.



Mynd 16. Borholur á aðrennslissvæði Þórisvatns. Skýringar á jarðfræðitáknum, sjá mynd 11.

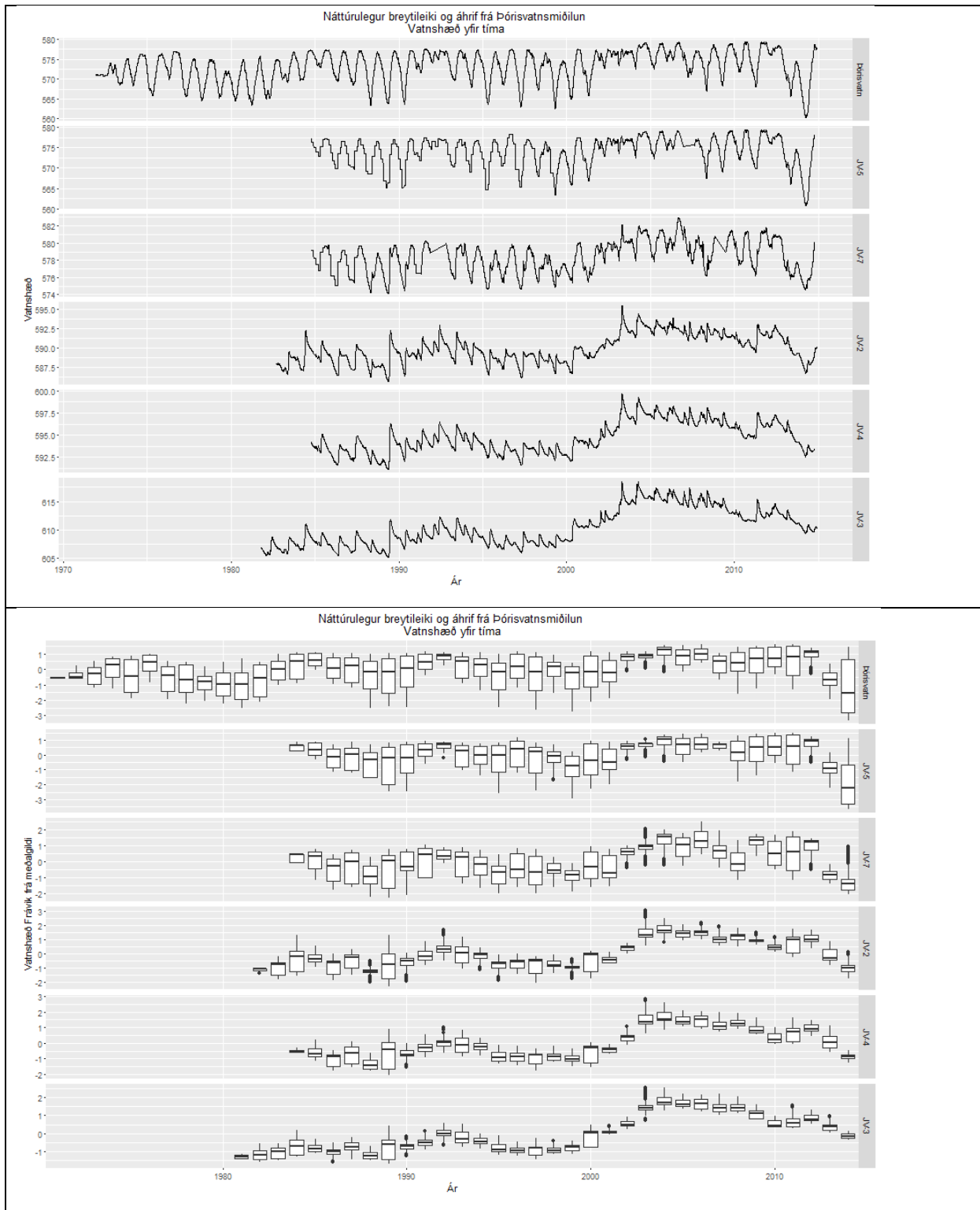
Tafla 3. Mælistaðir norðaustan Þórisvatns.

Staður	Kenninafn	Mæliaðferð	Mannvirki	Jarðmyndun	Markmið vöktunar
Lón Háögungur	Hágöngulón	Lónhæð	Vatnshæðarmælir	Móberg	Vatnsstaða í lóni
Hraunvötn	Hraunvötn	Grunnvatnshæð	Vatnshæðarmælir	Nútímahraun	Óröskuð grunnvatnsstaða
Grasatangi Þórisvatn	Grasatangi	Lónhæð	Vatnshæðarmælir	Móberg/Nútímahraun	Vatnsstaða í lóni
JV-3 Þórisvatn	JV-3	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Óröskuð grunnvatnsstaða
JV-2 Þórisvatn	JV-2	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Óröskuð grunnvatnsstaða
JV-4 Þórisvatn	JV-4	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Óröskuð grunnvatnsstaða
JV-5 Þórisvatn	JV-5	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Áhrif frá Þórisvatnsmiðlun
JV-7 Þórisvatn	JV-7	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Áhrif frá Þórisvatnsmiðlun

Í kaflanum Almennt um vatnajarðfræði Þjórsár- og Tungnaárvæðisins kom fram að langöflugasta grunnvatnsstreymið inn á Þjórsár-Tungnaárvæðið kemur úr NA. Írennslið sem skapar grunnvatnsstreymið nær undir jökul, að minnsta kosti að yfirborðsvatnaskilum en hugsanlega enn lengra til NA. Fram kemur hjá Magnúsi Tuma og Þórdísi (2002) að gjóskugígaröð svipuð Vatnaöldum sé grafin í 50–100 m þykkra hraunstafla við Heljargjá – og þar standi aðeins stærstu gígarnir uppúr. Þá sé grafinn hryggur undir Veiðivatnahrauni milli Gjáfjalla og Austurbotns, og framhald Útigönguhöfða virðist grafið í hraunin norðan hans.

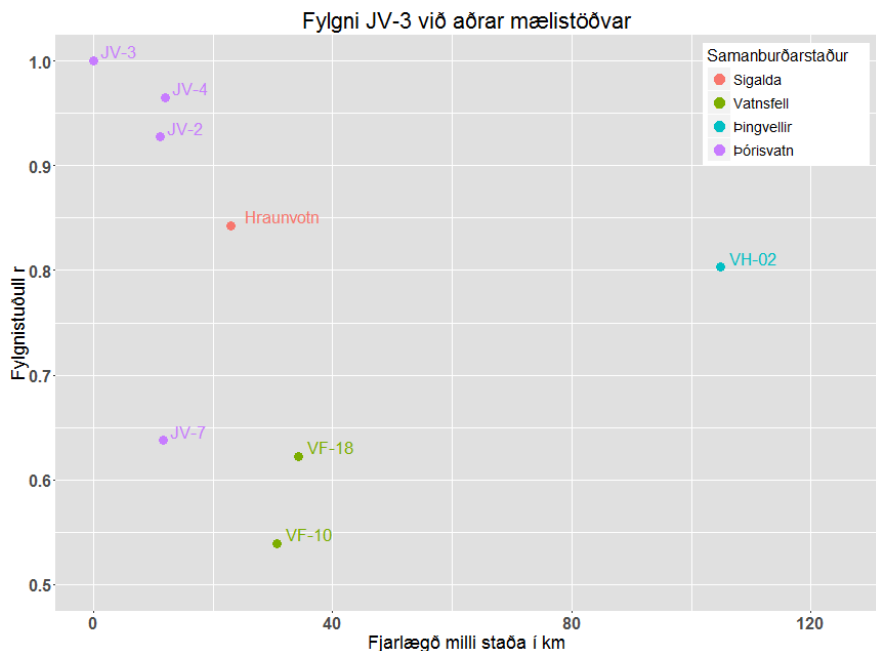
Grunnvatnsstraumarnir eru mjög stefnuháðir þar sem sprungurnar valda því að vatn á mun auðveldara með að renna í stefnu þeirra en þvert á þær. Þórisvatnsmiðlun var tekin í notkun árið 1973 og kemur berlega fram á mynd 17 að miðlunin hefur ótvírætt veruleg áhrif á grunnvatnsstöðu í hrauninum NA vatnsins þar sem grunnvatn rennur í átt að því. Þar sést vel, hvort sem lítið er til myndar 17a sem sýnir daglega grunnvatnshæð eða myndar 17b þar sem stöðluð meðalgrunnvatnshæð hvers mánaðar er dregin ásamt staðalfráviki, að grunnvatnshæð í borholum JV-5 og JV-7 fylgir vatnshæð í Þórisvatni í talsverðum mæli. Þarna er annars vegar um að ræða bakvatnsáhrif, þ.e. vatnsborð í þessum holum sem stendur hærra en vatnið hækkar við hækkanði stöðu í vatninu og hins vegar lækkar grunnvatnsborðið þegar vatnsborð Þórisvatns fer neðar en það var við náttúrulega stöðu. Breytileikinn í vatnshæð er mun minni í JV-2, JV-3 og JV-4 eins og sést í kassaritinu á mynd 17b, enda eru áhrif Þórisvatnsmiðlunarinnar sjálfrar þar hverfandi.

Mynd 18 sýnir að fylgni milli daglegrar grunnvatnsstöðu JV-3 og grunnvatnsstöðu eða rennslis við mismunandi mælistöðvar á svæðinu staðfestir enn frekar þessar niðurstöður. Mjög mikil fylgni er milli mánaðarlegrar grunnvatnsstöðu í JV-3 við mælistöðvarnar JV-2, JV-4 og Hraunvatna. Auk þess fylgist grunnvatnshæð á þessum mælistöðum mun betur að við grunnvatnshæð í VH-02 á Þingvöllum sem er í um 110 km fjarlægð en mælistaði sem standa mun nær, sjá einnig umfjöllun á bls 19.

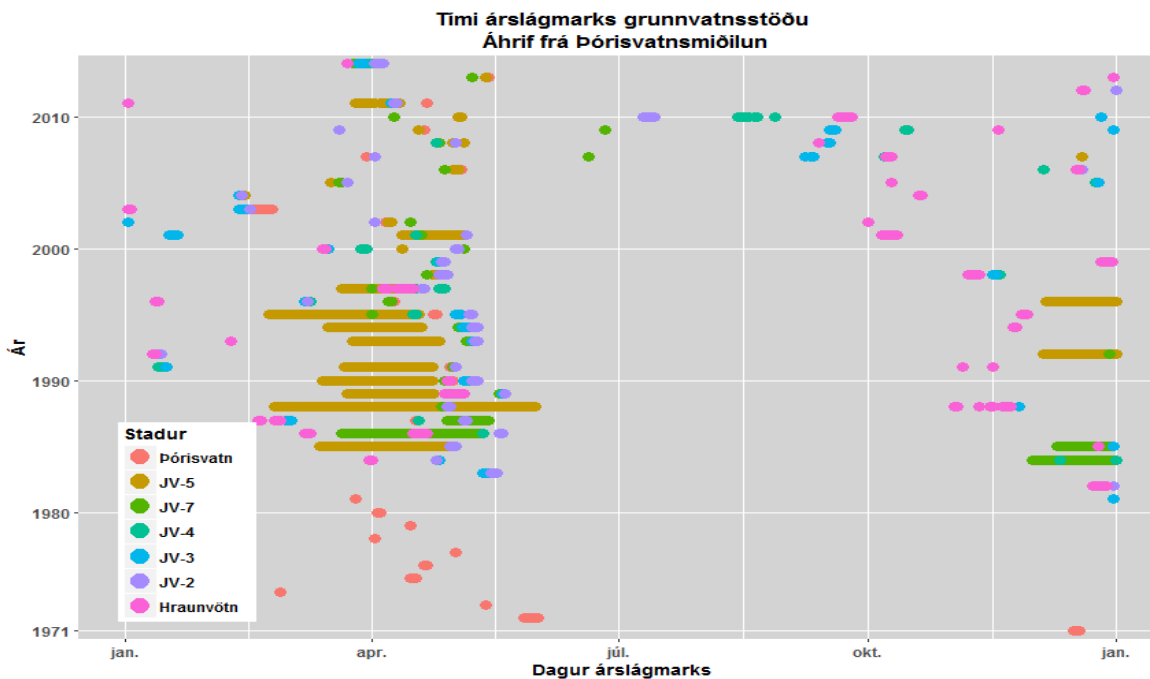
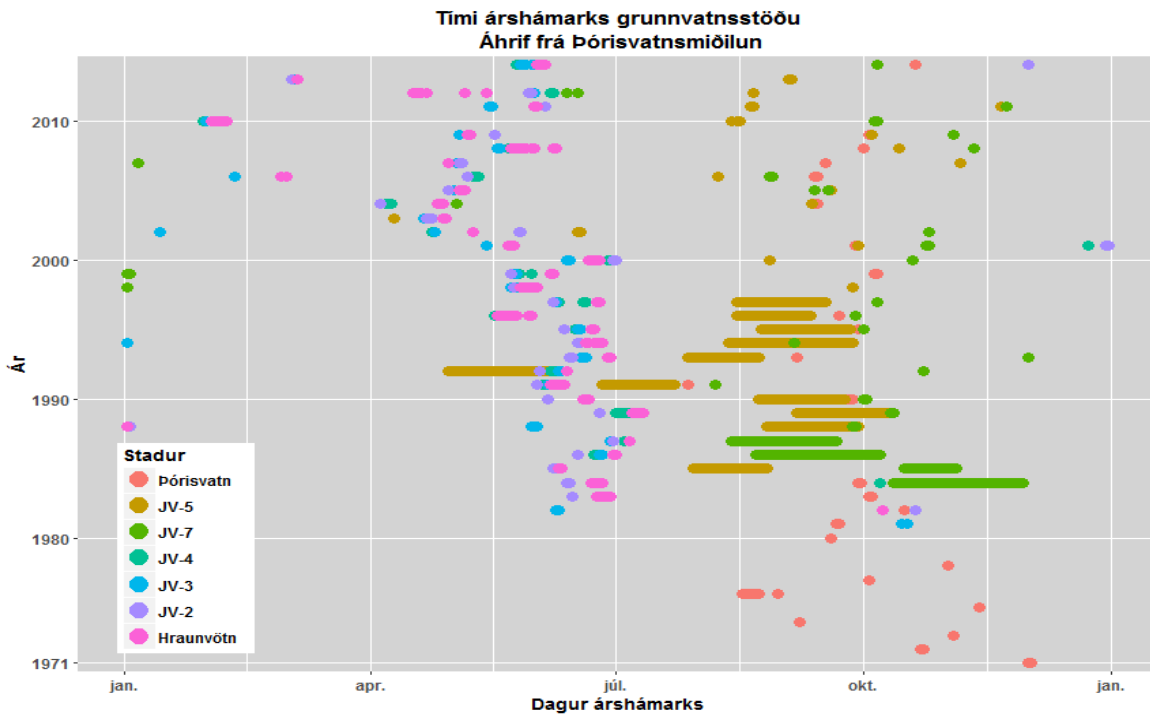


Mynd 17. Náttúrulegur breytileiki í vatnshæð og áhrif frá Þórisvatnsmiðlun.

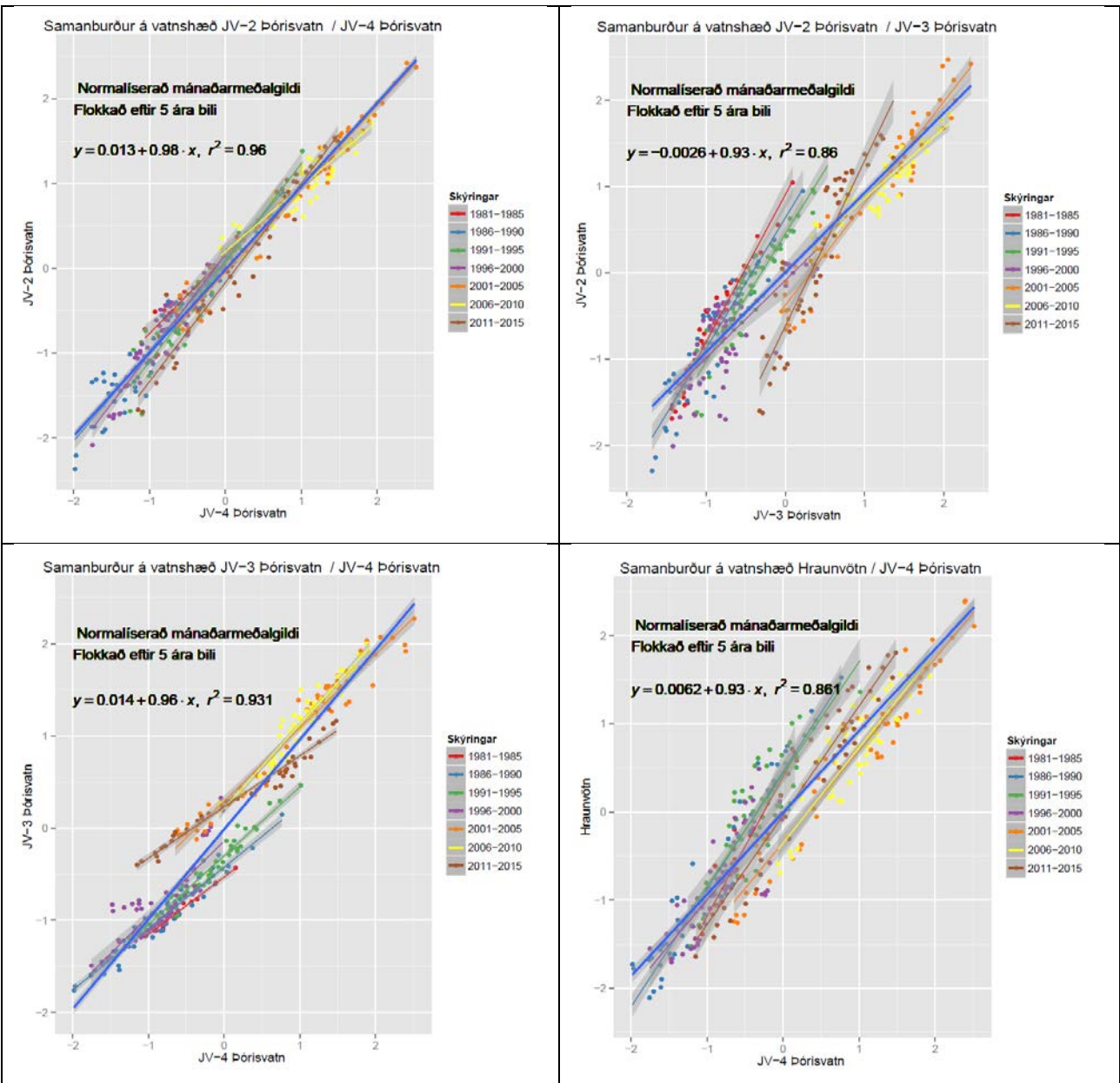
Mælingarnar sýna vel hversu stefnuvirkt grunnvatnsrennslið er. Fyrst vatnshæð í Þórisvatni hefur lítil sem engin áhrif á grunnvatnshæð í borholum JV-2, JV-3, JV-4 og Hraunvötnum hefur verið litið svo á að um fullkomlega aðgreinda strauma frá Þórisvatnsstraumnum sé að ræða. Frekari staðfesting fæst með að skoða dagsetningu hámarksvatnshæðar á umræddum mælistöðvum, sjá mynd 19. Þá sýna hitamælingar í borholum mismunandi hitastig grunnvatnsins sem rennir enn frekari stoðum undir þennan skilning (sjá t.d. Árni Hjartarson & Snorri P Snorrason, 1985).



Mynd 18. Fylgni vatnstöðu í JV-3 við aðrar mælistöðvar.



Mynd 19. Almanaksdagur við a) hámark eða b) lágmark grunnvatnsstöðu. a) Dagsetning hámarksvatnshæðar í borholum JV-2, JV-3, JV-4 og Hraunvötnum fylgist að, meira og minna óháð hámarksstöðu Þórisvatns, meðan vatnshæð í JV-5 og JV-7 fylgir mikið til vatnsstöðu í Þórisvatni. Áratugabreytingar á tímasetningu hámarksvatnshæðar eru vel merkjánlegar. b) Dagsetning lágmarksvatnshæðar á flestum mælistöðum nema Hraunvötnum fylgja lágmarki Þórisvatns.



Mynd 20. Fylgni milli vatnshæðarbreytinga JV2- JV-3, JV-4 og Hraunvötnum.

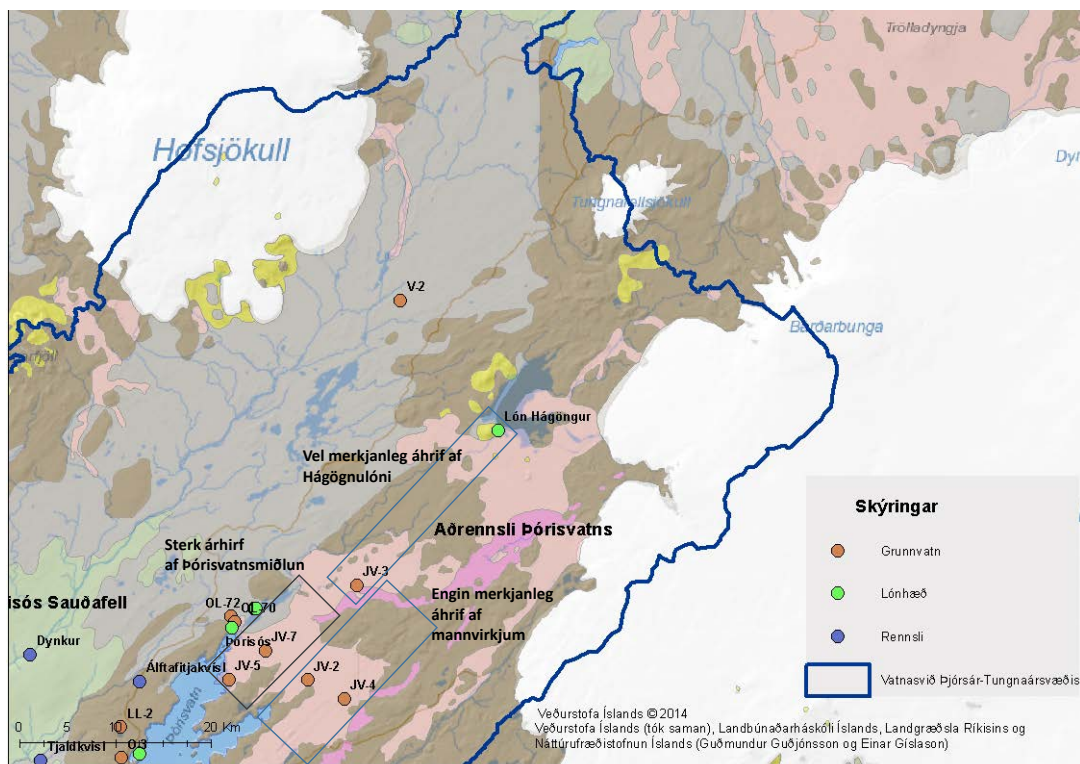
Mynd 20 sýnir tengsl grunnvatnshæðar í borholunum JV-2, JV-3 og JV-4 yfir það árabíl sem mælingar ná til. Fram kemur á bls. 15 að vatnshæðin er stöðluð þar sem meðalvatnshæð hefur gildið 0 en eitt staðalfrávik frá þeirri meðalhæð hefur gildið 1. Alla jafna er mjög góð fylgni milli mælinganna. Athygli vekur þó að hliðrun verður í tengslum milli JV-3 og JV-4 annars vegar og JV-3 og JV- 2 hins vegar á árabílinu milli 1996–2000 og 2001–2005. Það var á þessum tíma sem Hágöngumiðlun var byggð. Áhrifin af tilkomu hennar sjást vel í töflu 4 sem sýnir ljóslega hvernig skýringarhlutfallið r^2 milli JV-3 og JV-2 umbreytist á árabílinu 1996–2000 jafnframt því

sem stöðluð meðalvatnshæð í JV-3 eykst úr því að vera lægri, eða milli -0.3 til -0.5 í samanburði við JV-2 eftir tilkomu Hágöngumiðlunar yfir í að vera 0.1 til 0.4.

Tafla 4. Skýringarhlutfall r^2 milli JV-2 og JV-3 yfir mismunandi tímabil. Taflan sýnir staðlaða vatnshæð í JV-3 við staðlaða meðalhæð JV-2, þ.e. þegar JV-2 = 0 á mynd 17.

Tímabil	r^2	Vatnsstaða í JV-3 þegar meðalvatnsstaða JV-2 = 0
1981-1985	0.92	-0.557
1986-1990	0.85	-0.501
1991-1995	0.88	-0.315
<u>1996-2000</u>	<u>0.52</u>	-0.319
2001-2005	0.92	0.374
2006-2010	0.85	0.135
2011-2015	0.87	0.338

4.1.2 Samantekt um svæðið



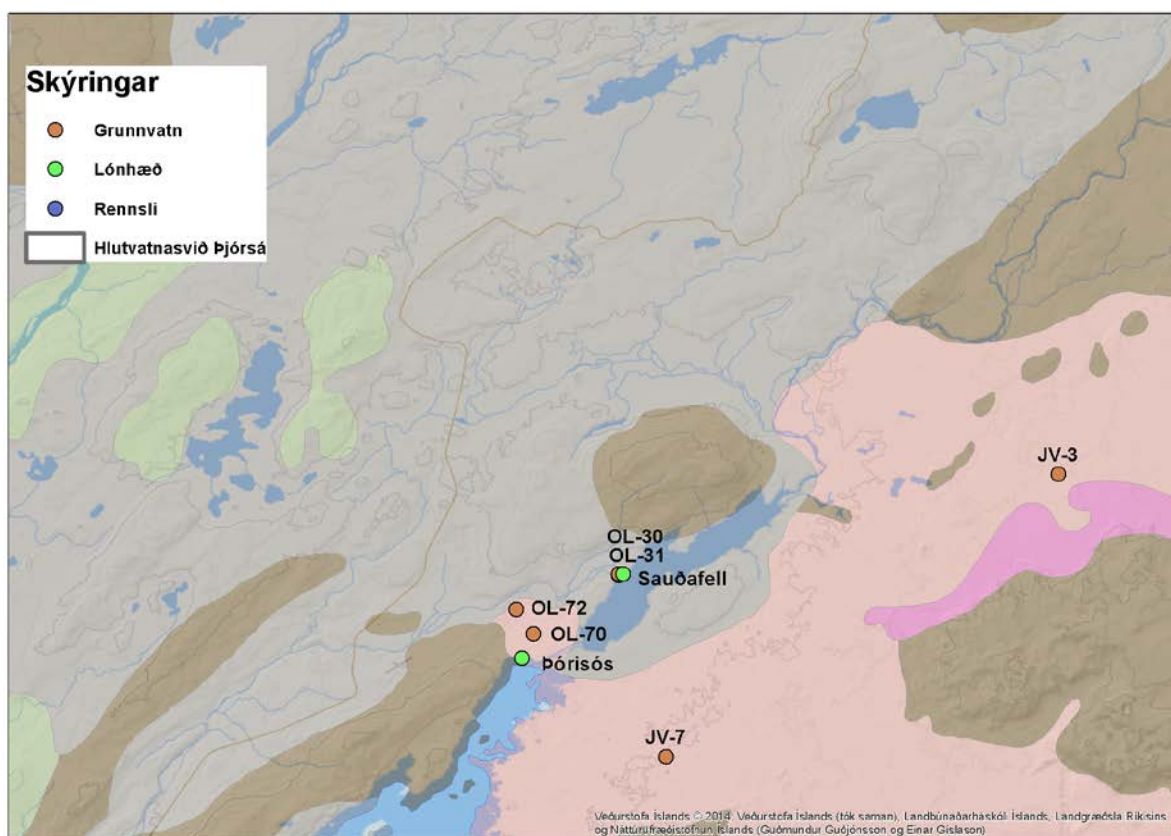
Mynd 21 dregur fram helstu atriði þessa kafla.

- Mikil misleitni í vatnsstreymi sem stafar af opnum höggunarsprungum og um leið legu og formi móbergsmýndananna orsakar það að Þórisvatnsmiðlunin hefur einungis áhrif á grunnvatnshæð í jarðlögum sem liggja á sömu sprungusveimum og Þórisvatnið sjálft. Sérstaka athygli vekur að vatnshæð í JV-2 breytist lítið með breytilegri lónhæð Þórisvatns sem gefur sterklega til kynna að vatnið sem rennur til Austurbotns verður ekki fyrir sambærilegum áhrifum af miðluninni og það sem rennur að vestan.
- Þar sem grunnvatnið rennur eins stefnuvirkt og greint er frá í a) eru yfirgnæfandi líkur á að sjálfstæður grunnvatnsstraumur eða straumar komi fram austar nær Tungnaárbotnum og í Tungnaárfjöllum við Breiðbak. Vikið verður að því síðar.
- Tilkoma Hágöngulóns hefur haft þau áhrif að vatnsstaða í JV-3 hefur hækkað að tiltölu umfram það sem sést í JV-2 og JV-4, sjá mynd 20. Væntanlega hefur hækkuð vatnsstaða í JV-3 aukið aðrennsli að Þórisvatni í einhverjum mæli.

4.2 Þórisós- og Köldukvíslarstífla

4.2.1 Almenn lýsing

Þarna er í raun um tvo aðgreinda staði að ræða. Stíflan við Þórisós er að mestu byggð á nútíma-hrauni og borholurnar staðsettar á því. Köldukvíslarstífla nær milli grágrýtismyndunar og móbergs (mynd 22). Frekari upplýsingar um mælistaðina er að finna í töflu 5. Væntanlega hafa holurnar við bæði mannvirkin verið hugsaðar til að fylgjast með leka undir stíflurnar og hvort unnt væri að sjá merkjanlegar breytingar í grunnvatnshæð með tilkomu lónanna og eftir að stíflur við þau voru hækkaðar. Mæliraðirnar ná yfir langan tíma og vel má sjá áhrif Þórisvatnsmiðlunar á vatnshæðina í umræddum holum (mynd 23). Vatnsstaða við Þórisós fylgir Grasetanga þegar vatn stendur ofar en u.þ.b. 572 m y.s.



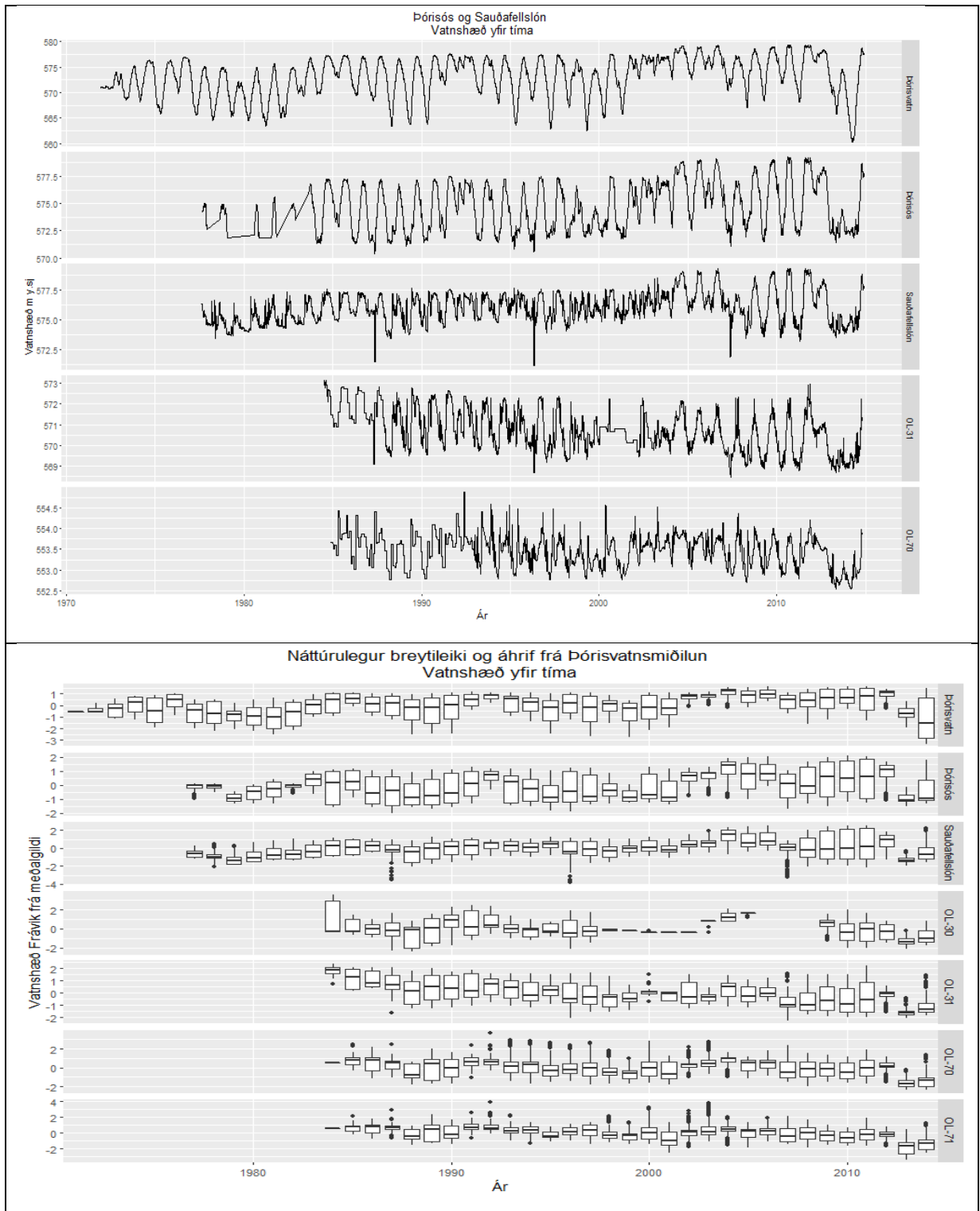
Mynd 22. Staðsetning mælistaða við Þórisós Köldukvíslarstíflu. Skýringar á jarðfræðitáknum, sjá mynd 11.

Samband milli vatnshæðar á mælistöðvunum sést skýrar á mynd 24 sem sýnir annars vegar fylgni vatnsstöðu, og hins vegar tengsl við breytilega vatnshæð Sauðafellslóns og Þórisóss. Tengsl vatnshæðar í Sauðafellslóni við vatnshæð í holunum sem standa nálægt lóninu eru nánast þau sömu og við vatnshæðina í holunum við Vatnsfell þrátt fyrir að fjarlægðin þar á milli sé yfir 15

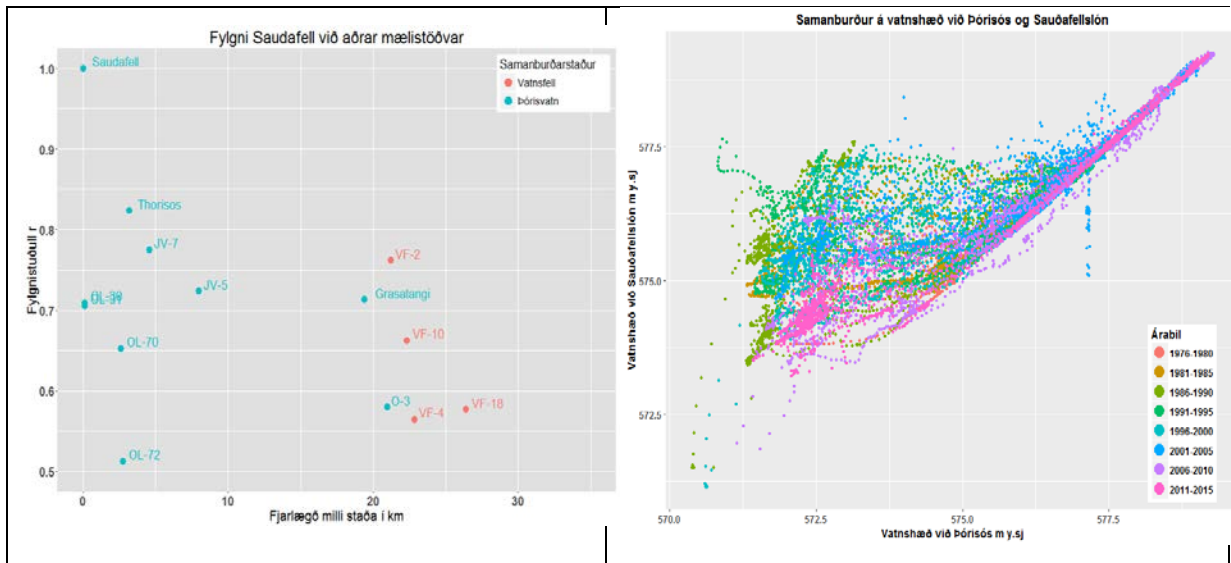
km. Væntanlega stafar það af því að vatnshæðin í öllum þessum holum ræðst að mestu af vatnsstöðunni í Þórisvatni. Af mynd 24b, sem sýnir samband vatnsstöðu í Sauðafellslóni og Þórisósi, má ráða að veruleg breyting hefur átt sér stað um árið 2000. Fram að þeim tíma hefur verið þröskuldur í Sauðafellslóni, en eftir að gerður var aukaskurður milli lónanna fylgir lónhæð Sauðafellslóns betur lónhæðinni í Þórisósi og þar með Þórisvatni.

Tafla 5. Mælistaðir við Þórisós og Köldukvíslarstíflu

Staður	Kenninafn	Mæliaðferð	Mannvirki	Jarðmyndun	Markmið með vöktun
Grasatangi Þórisvatn	Grasatangi	Lónhæð	Vatnshæðarmælir	Móberg/Nútímahraun	Vatnsstaða í lóni
OL-30 Þórisvatn	OL-30	Grunnvatn	Borhola	Móberg	Áhrif frá Þórisvatnsmiðlun
OL-31 Þórisvatn	OL-31	Grunnvatn	Borhola	Vatnsstaða í lóni	Áhrif frá Þórisvatnsmiðlun
OL-72 Þórisvatn	OL-72	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Áhrif frá Þórisvatnsmiðlun
OL-70 Þórisvatn	OL-70	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Áhrif frá Þórisvatnsmiðlun
Sauðafell	Sauðafell	Lónhæð	Vatnshæðarmælir		Vatnsstaða í lóni
Þórisós	Thorisos	Lónhæð	Vatnshæðarmælir		Vatnsstaða í lóni

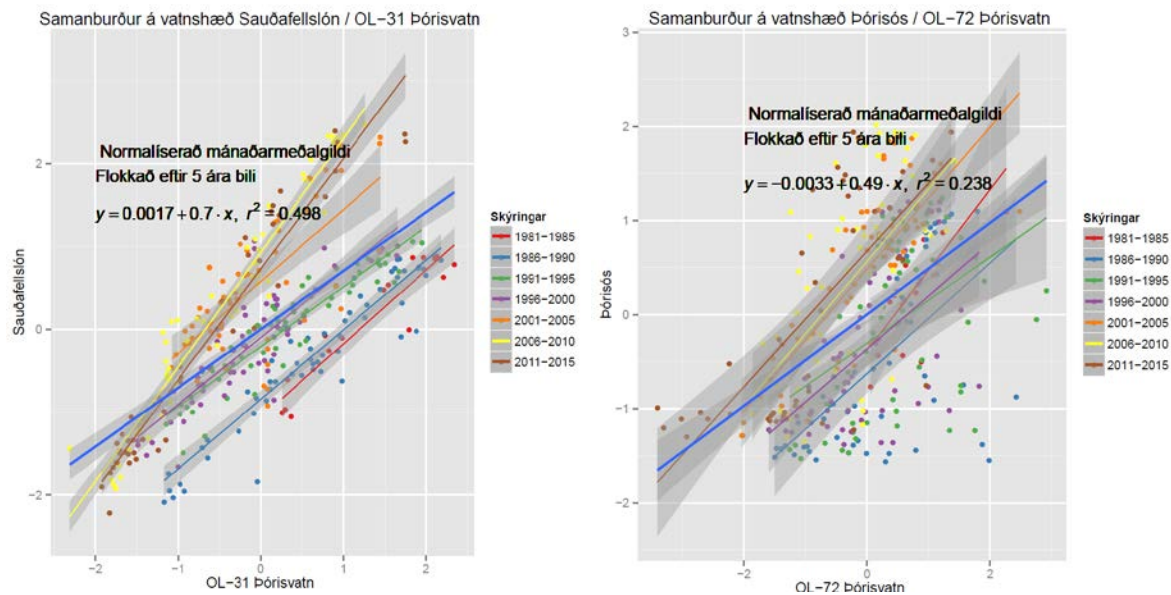


Mynd 23. Vatnshæð á mælistöðum við Þórisós. a) Vatnshæð í m y.sj. og b) Frávik frá meðalgildi.



Mynd 24. a) Fylgni milli mánaðarlegrar vatnsstöðu í Saudafellslóni og vatnsstöðu í nálægum mælistöðum. b) Samanburður á vatnshæð í Þórisóslóni og Saudafellslóni.

Tengsl milli vatnshæðar í hvoru lóni fyrir sig og nálægra borhola kom fram á mynd 25. Þar er vert að benda á tvö atriði. Almennt bendir vatnshæðin til þess að holurnar séu ekki í góðu sambandi við lónin, sem gefur sterklega til kynna að jarðlög séu þar þéttari en í hrauninum NA vatnsins. Útaf fyrir sig er slíkt rökrétt þar sem holurnar á þessum slóðum standa að hluta til í eldra bergi frá fyrri hluta ísaldar sem er til þess að gera þétt. Auk þess hafa þéttiaðgerðir og önnur mannvirkjagerð væntanlega einhver áhrif þar á.



Mynd 25. a) Tengsl milli vatnsstöðu í Saudafellslóni og O-3. b) Tengsl milli vatnsstöðu í Þórisóslóni og O71.

Tafla 6. Samband vatnshæðar í borholum við Sauðafellslón og Þórisós. Taflan sýnir staðlaða vatnshæð borholanna við staðlaða meðalhæð lónanna, þ.e. þegar hæð þeirra = 0 á mynd 24.

Samband OL-31 og Sauðafellslóns.

Tímabil	Skýringarlutfall r^2	Vatnsstaða í OL-31 við meðalvatnsstöðu Sauðafells= 0
1981-1985	0.88	
1986-1990	0.85	0.95
1991-1995	0.85	0.30
1996-2000	0.74	0.05
2001-2005	0.49	-0.36
2006-2010	0.94	-0.66
2011-2015	0.94	-0.56

Samband OL-72 og Þórisóss.

Tímabil	Skýringargildi r^2	Vatnsstaða í OL-31 við meðalvatnsstöðu Þórisóss = 0
1981-1985	0.52	0.62
1986-1990	0.37	0.59
1991-1995	0.19	0.51
1996-2000	0.28	0.16
2001-2005	0.60	-0.38
2006-2010	0.40	-0.44
2011-2015	0.52	-0.94

Þá er auðsætt að tengslin eru ekki mikil þegar litið er yfir heildartímamann sem mælingar hafa staðið. Hins vegar má rekja ákveðna þróun þegar mæliröðin er brotin upp í 5 ára tímabil, sbr mynd 25. Fylgni yfir hvert 5 ára tímabil er mun meiri en þegar litið er yfir heildina alla. Í tilfalli Sauðafellslón/OL-31 er Skýringarlutfall (r^2) hvers 5 ára tímabils yfir 0.73 að undanskyldu árabílinu 2001–2005 (tafla 6) og stafar væntanlega af framkvæmdum. Erfitt er að sjá sambærileg tengsl milli annarra borhola og lónhæðar. Vatnshæð í lónunum yfir hvert fimm ára tímabil

hækkar almennt séð meira en grunnvatnsstaðan í kring eftir 2000. Það gefur sterklega til kynna hægfara þéttingu í lónunum.

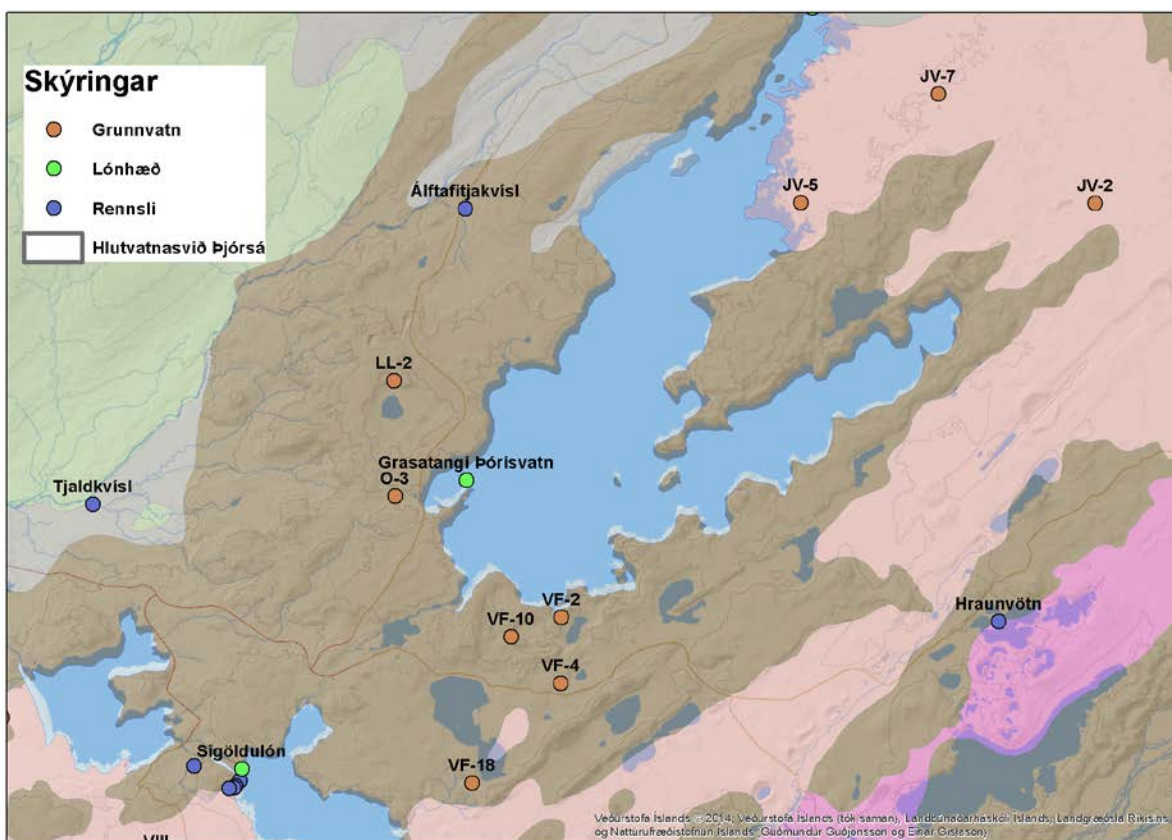
4.2.2 Samanekt

Mælistaðirnir við Sauðafell Þórisós hafa þann megintilgang að fylgjast með öryggi mannvirkja. Mikil umskipti verða í tengslum lónhæðar og ákveðinna mælistaða á árunum 2001–2005 sem væntanlega stafa af framkvæmdum sem þar voru. Greina má hægfara breytingu í sumum holum í þá átt að vatnsbotn lónanna sé að þéttast.

4.3 Þórisvatn – Vatnsfell

4.3.1 Almenn lýsing

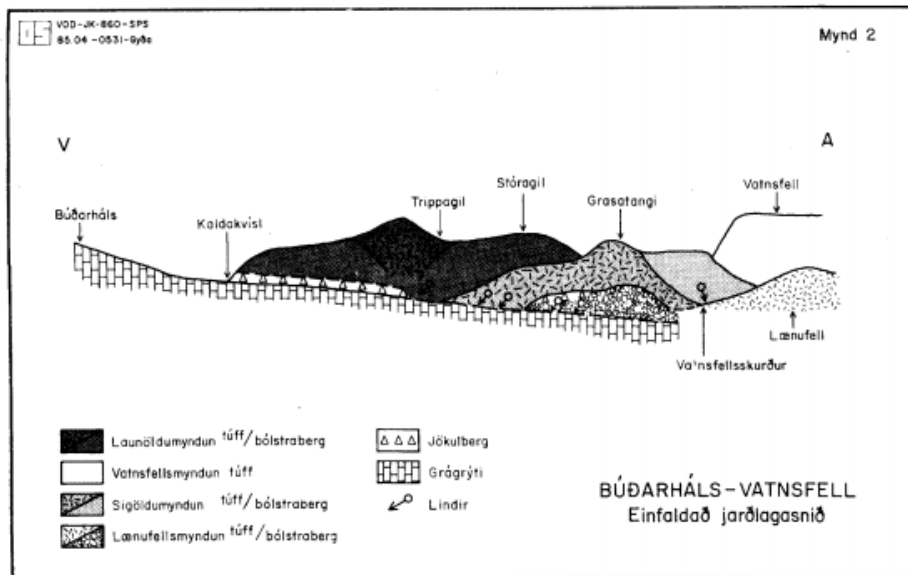
Meginhluti þeirra mælistaða sem hér verður fjallað um eru við SV hluta Þórisvatns, sjá mynd 26. Helstu upplýsingar um þá er að finna í töflu **Error! Reference source not found.** 7.



Mynd 26. Helstu mælistaðir í kringum Vatnsfell. Skýringar á jarðfræðitáknum, sjá mynd 11.

Þórisvatn liggur í lægð sem móbergsfjöll umlykja meira og minna á þrjá vegu en hraun liggja að því NA megin. Verulegt innrennsli af grunnvatni er inn í vatnið, annars vegar undan nútíma-hrauninum og hins vegar af lindasvæðinu sem stendur í móberginu við Austurbotna, sjá

kafla 4.1. Lektin í móberginu er alla jafna verulega minni en í nútímahraunum og stefnuháð. Þegar rennslisleiðin inn í móbergið er þvert á sprungustefnu myndar það meiri fyrirstöðu. Þar af leiðandi fellur grunnvatnsborð bratt í átt þar sem land er lægra: til Þóristungna á einn veg, Tungnaárkróks á annan og til Útkvíslarbotna á þann þriðja (sjá t.d. Árni Hjartarson, 1988).



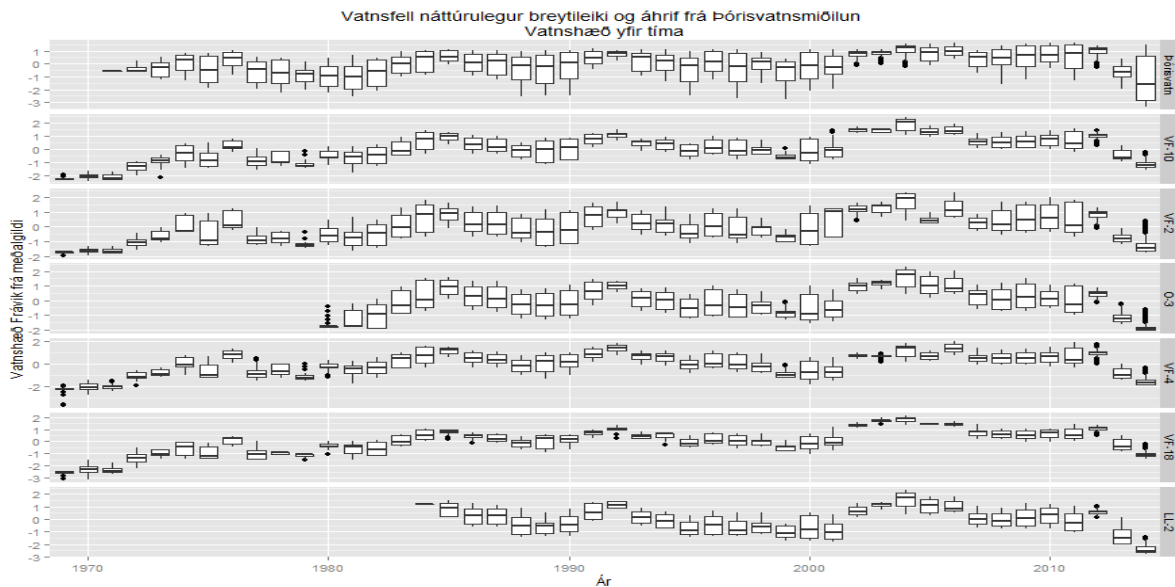
Mynd 27. Búðarháls Vatnsfell, einfaldað jarðlagasnið (Árni Hjartarson & Snorri P Snorrason, 1985).

Myndunarsaga Þórisvatns hefur efalítið verið mjög flókin. Móbergshryggirnir hafa ekki myndast í einum atburði heldur er um aðskiljanlegar myndanir að ræða sem hafa orðið til á mismunandi tíma, eins og sést á mynd 27 (Árni Hjartarson & Snorri P Snorrason, 1985). Það kemur fram hjá Árna og Snorra (1985) að Lænufellsmyndun ofan Krókslóns muni vera elst, þá komi Sigöldumyndun (áður nefnd Grasatangamyndun), Vatnsfellsmyndun og loks Launöldumyndun. Uppbygging og röðun móbergshryggjanna í kringum Vatnsfell getur skýrt að nokkru mismunandi svörun í grunnvatnshæð við breytilega vatnsstöðu í Þórisvatni þegar fjallað verður um mælingarnar hér á eftir.

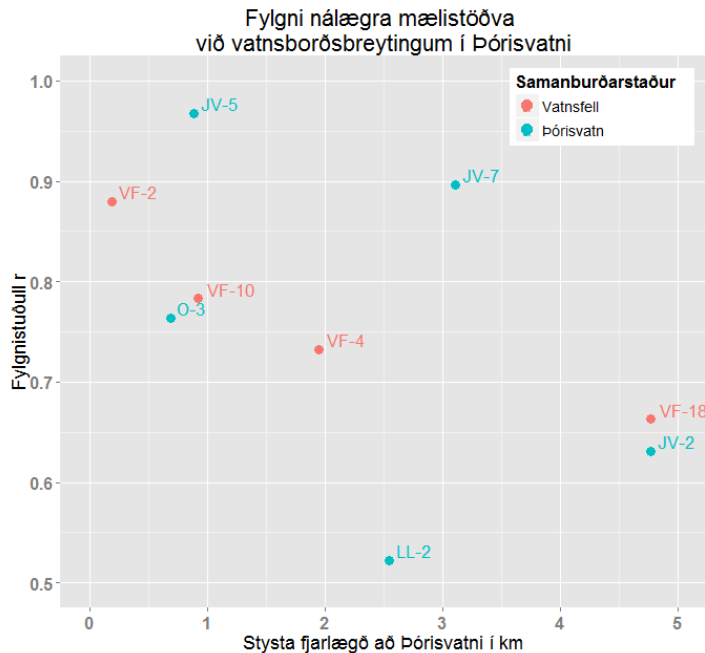
Mæliraðir í borholum við Vatnsfell eru sýndar sem kassarit á mynd 28 en mynd af mæliröðinni sjálfri er að finna í Viðauka I

Tafla 7. Mælistaðir við Þórisvatn -- Vatnsfell.

Staður	Kenninafn	Mæliaðferð	Mannvirki	Jarðmyndun	Markmið með vöktun
Grasatangi Þórisvatn	Grasatangi	Lónhæð	Vatnshæðarmælir	Móberg/Nútímahraun	Vatnsstaða í lóni
O -3 Þórisvatn	O-3	Grunnvatn	Borhola	Móberg	Áhrif af Þórisvatnsmiðlun
Álftafljókvisl	Álftafljókvisl	Rennsli	Vatnshæðarmælir	Móberg	Áhrif af Þórisvatnsmiðlun
VF-2 Vatnsfell	VF-2	Grunnvatn	Borhola	Móberg	Áhrif af Þórisvatnsmiðlun
VF-4 Vatnsfell	VF-4	Grunnvatn	Borhola	Móberg	Áhrif af Þórisvatnsmiðlun
VF-10 Vatnsfell	VF-10	Grunnvatn	Borhola	Móberg	Áhrif af Þórisvatnsmiðlun
VF-18 Vatnsfell	VF-18	Grunnvatn	Borhola	Móberg	Áhrif af Þórisvatnsmiðlun
LL-2 Þórisvatn	LL-2	Grunnvatn	Borhola	Móberg	Áhrif af Þórisvatnsmiðlun
Tjaldkvísl		Rennsli	Vatnshæðarmælir	Berg frá fyrri eða miðhluta ísaldar	Áhrif af Þórisvatnsmiðlun



Mynd 28. Kassarit af breytilegri vatnshæð í Þórisvatni Vatnsfelli og borholum í móbergsmyndunum þar í grennd.

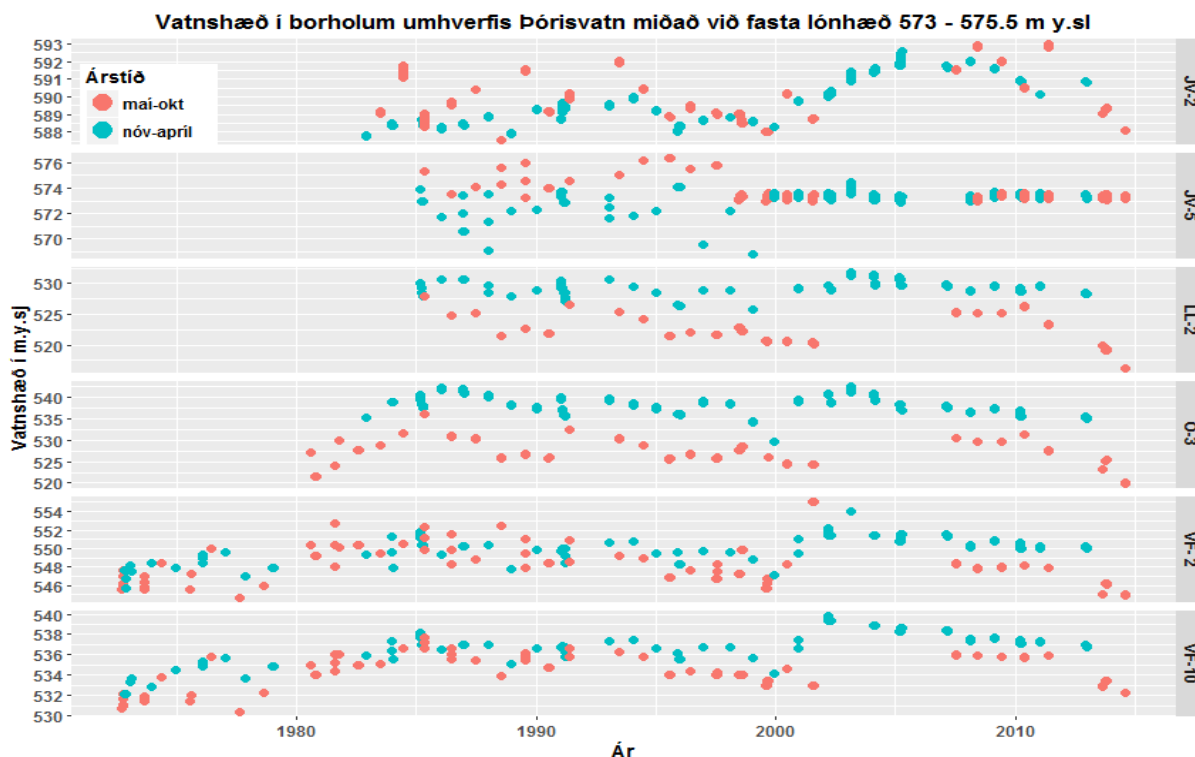


Mynd 29. Fylgni vatnsborðsbreytinga í Þórisvatni og borholunum í kringum Vatnsfell og norðan vatnsins.

Fylgni milli vatnsborðsbreytinga í Þórisvatni og annarra mælistaða kemur fram á mynd 29. Þar sést vel að fylgnin fellur með fjarlægð frá vatninu. Verulega munar á fylgni vatnsborðs í JV holunum sem eru í hrauninum NA vatnsins og VF holunum og O-3 sem eru í móberginu. LL-2 virðist vera mun einangraðri frá vatninu en aðrar holur. Þar er umalsvert meira um túff sem er mjög tregleiðandi.

Þar sem áhrif vatnsborðsbreytinga í Þórisvatni sem koma fram á mælistöðvunum eru mjög áberandi var kannað hvort unnt væri að einangra þau frá með því að teikna aðeins vatnsstöðu í þeim þegar lónhæð Þórisvatns er föst á bilinu 573–575.5 m y.s., eins og sýnt er á mynd 30. Áhrif hærri grunnvatnsstöðu frá árinu 2000 sem sjá má í JV-2/JV-4 og Hraunvötnum koma vel fram í öllum holum við Þórisvatn – Vatnsfell, en mismikið þó. Fram kom í kaflanum Aðrennsli að Þórisvatni að vatnsborð í JV-2 er óháð vatnsborði Þórisvatns og að hækkandi grunnvatnsstaða sem kom fram upp úr aldamótum og stafar af auknu írennsli vegna aukinnar úrkomu sést vel í holunni. Þar kom einnig fram að grunnvatnshæð í JV-5 fylgir mikið til vatnshæð í Þórisvatni. Áhrif hærri grunnvatnsstöðu sem varð eftir 2005 og sést vel í JV-2 virðast koma fram í öllum borholunum nema JV-5 sem fylgir vatnsborði Þórisvatns. Á mynd 30 er enn fremur greint milli þess hvort mæling á vatnsborði við fasta lónstöðu er tekin yfir sumartíma eða vetrartíma. Það sem vekur athygli er hve lengi borholur LL-2 og O-3 eru að svara hækkuninni í Þórisvatni eftir niðurdráttinn um veturinn, eins og sést á hinum „tvöfalda ferli“ á mynd 30. Hins vegar er svörunin nokkuð hröð í VF- holunum. Myndin rennir því frekari stöðum undir þá ályktun að grunnvatnið leiti auðveldar fram eftir höggunarsprungunum undir Þórisvatni en þvert á landmótunarformið eins og á sér stað við O3 og LL-2. Þá er ekki að sjá að tengsl milli vatnshæðar

Í Þórisvatni og umræddra borhola hafi breyst svo nokkru nemi yfir þau 40 ár sem miðlunin hefur starfað. Með öðrum orðum er ekki að sjá að nein þétting hafi átt sér stað vegna veitu Köldukvíslar inn í Þórisvatn. Það er raunar í samræmi við það sem fyrirfram var talið þar sem vatnið er mjög stórt og nánast ekkert gegnumstreymi er í Þórisvatni yfir sumartímann á meðan Kaldakvísl ber mestan aur inn í vatnið. Mestur hluti framburðarins er því líklegur til að sitja nærri Þórisósi.



Mynd 30. Vatnshæð í borholum umhverfis Þórisvatn miðað við fasta lónhæð 573–573.5 m y.sj

4.3.2 Samantekt

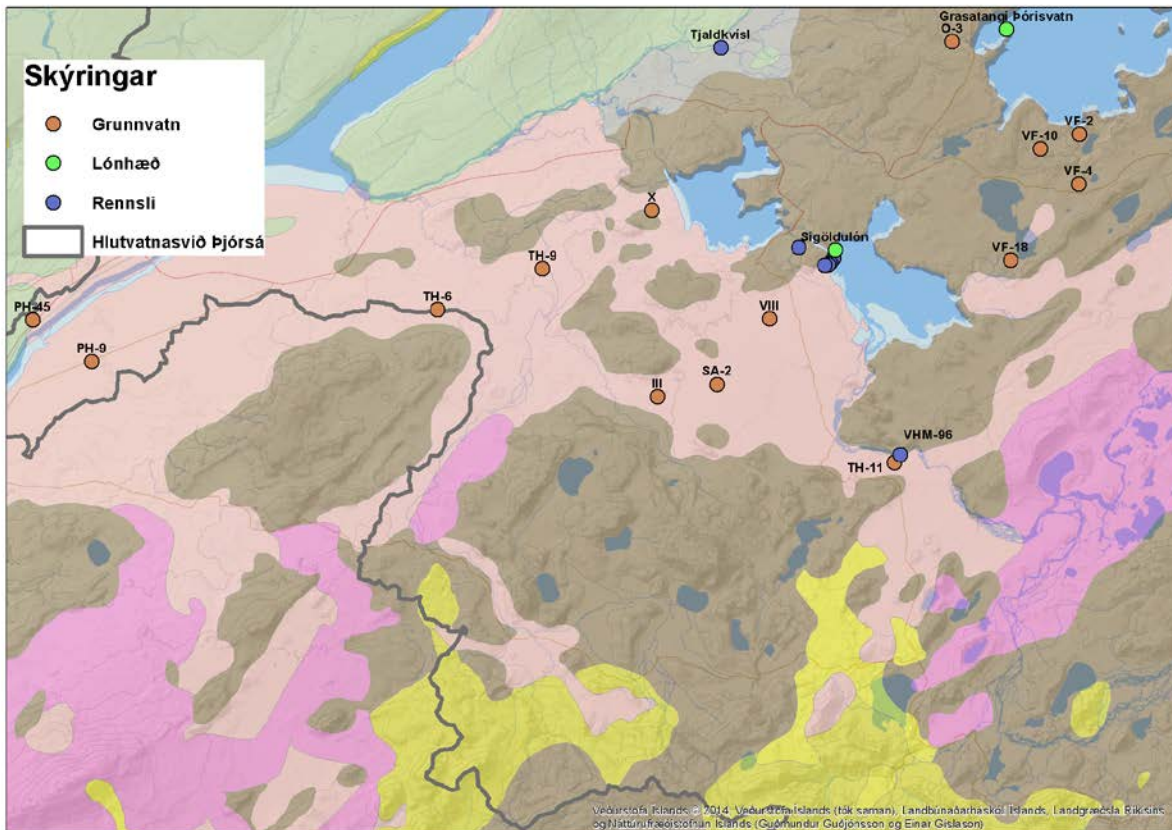
Draga má þessi atrið saman í:

- Vatnsstaða í Þórisvatni hefur veruleg áhrif á vatnsstöðu á öllum mælistöðum,
- Þegar búið er að einangra breytilega vatnshæð í Þórisvatni frá, má í flestum borholum greina áhrif frá breytilegu írennsli í sömu veru og er á mælistöðum í hraununum NA vatnsins.
- VF holurnar eru nærri sprungum sem ganga undir vatnið. Vatnshæð í þeim svarar breytingum hraðar en í holum þar sem rennslisleið er þvert á sprungustefnu.

4.4 Sigalda Hrauneyjarfoss

4.4.1 Almenn lýsing

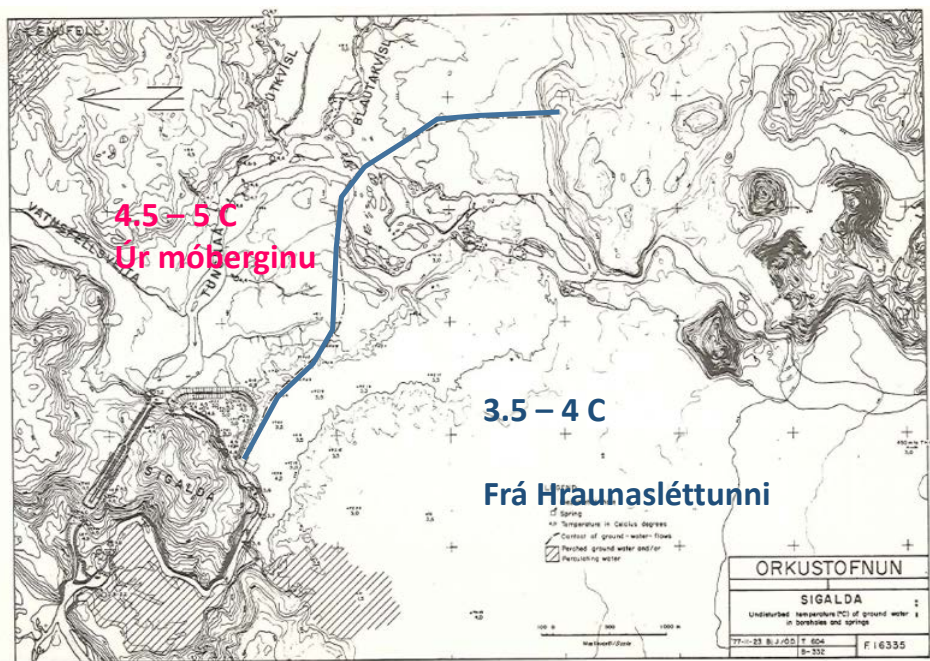
Svæðið í kringum Sigöldu og Hrauneyjarfoss er mótað af móbergsmýnduninni frá síðustu ísöld og Tungnaárhraunum sem runnu á nútíma eftir að ísa leysti eins og sést vel á mynd 31. Þá sýnir tafla 8 helstu mælistaði við Sigöldu og Hrauneyjarfoss. Móbergsmýndunin einkennist af löngum hryggjum sem eru skornir af höggunarsprungum. Nútímahraunin sem koma frá Veiðivatnalægðinni hafa leitað eftir auðveldustu rennislisleiðinni og fylgt lægðum á milli móbergsfjallanna.



Mynd 31. Sigalda Hrauneyjarfoss afstöðumynd. Skýringar á jarðfræðitáknum, sjá mynd 11.

Tungnaárhraunin hafa öll runnið um sundið við Bjalla þar sem mælistaðurinn Maríufoss (vhm 96) er merktur á mynd 31. Þaðan hafa þau runnið út á sléttuna við Tungnaárkrók þar sem Krókslón stendur og fylgt fallandi landhæð í átt að Þjórsá (Elsa G Vilmundardóttir, 1977). Miðað við það sem kemur fram í borholusniðum er rökrétt að álykta að elstu hraunin hafi runnið fram um hraunsundið þar sem hola III stendur. Væntanlega hafa þau fylgt eldri farvegi Tungnaár eða fyrirrennara hennar, enda auðveldasta rennislisleiðin. Eftir því sem hraunin hafa hlaðist upp á sléttunni hefur landhæð byggst upp og orðið það há að yngri hraunin fóru að renna í gegnum þau sund sem herra stóðu nærri borholum SA-2 og VII sem merktar eru á mynd 31. Eins og kemur

fram í kafla Almennt um vatnajarðfræði Þjórsár- og Tungnaárvæðisins eru miklar líkur á að grunnvatnið leiti fram eftir botnkarga hrauna sem liggja í eldri árfarvegum. Af þessu leiðir að verulegar líkur eru á að grunnvatnsstraumur sem fer um sundið við Bjalla leiti fram um hraunsundið við holu III. Þetta er í samræmi við grunnvatnslíkan Vatnaskila (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2010).



Mynd 32. Vatnajarðfræðilega aðstæður við Sigöldu fyrir mannvirkjagerð (P. Jóhannesson et al., 1978).

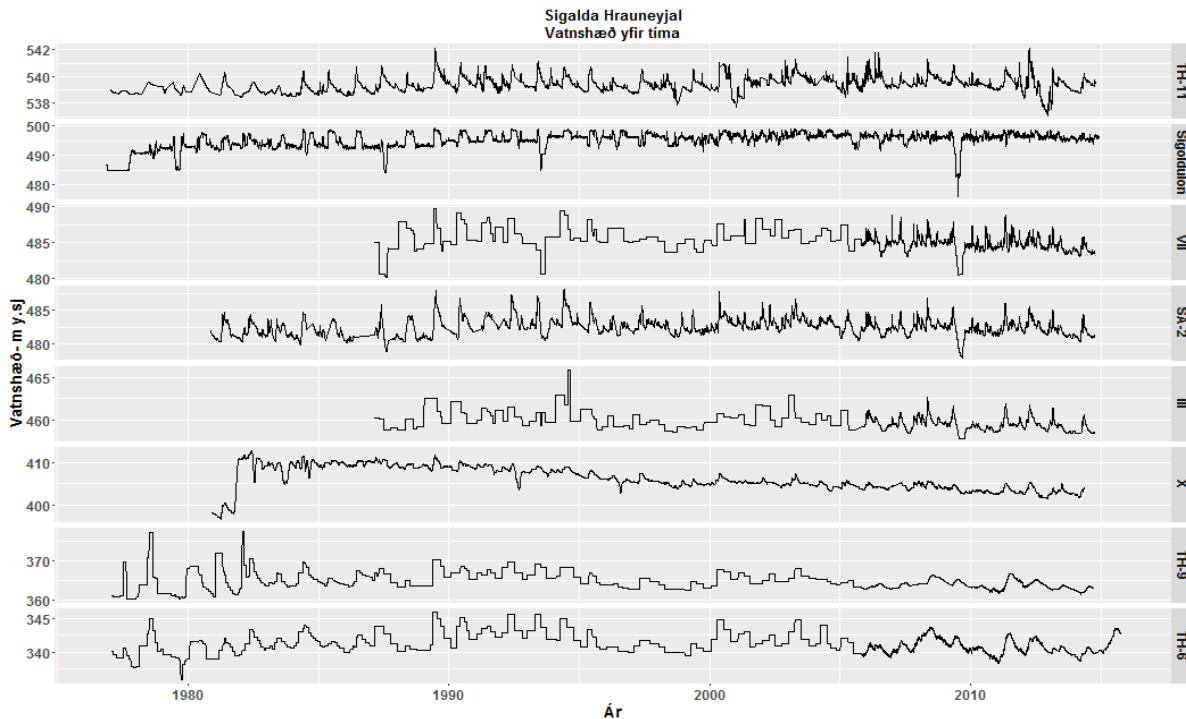
Fram kemur hjá Guðrúnu Larsen að í Vatnaöldugosinu árið 1100 hafi Tungnaá stíflast við Ljótapoll og myndað víðáttumikið uppistöðulón sem hafi brostið í einum atburði. Hann hafi orðið til þess að hið gamla Krókslón hafi yfirfyllst og áin brotið sig fram í gegnum Sigölduna og myndað hið mikla gljúfur sem þar er (Larsen, 1984).

Vatnajarðfræðin við Sigöldu og Hrauneyjarfoss var nokkuð vel könnuð áður en mannvirkjagerð hófst og auk þess var unnið að umtalsverðum rannsóknum á byggingartíma og árin eftir að rekstur virkjunarinnar hófst. Lindarvatn sem rann úr móberginu inn í Tungnaárkrók þar sem Krókslón stendur nú var talið vera um 3 m³/s. Ennfremur var talið að það kæmu samanlagt yfir 10 m³/s niður í Tungnaá frá Blautukvíslar og Útkvíslarbotnum. Auk þess voru lindir sem komu fram í Sigöldugljúfri taldar vera um 5 m³/s, sjá mynd 32.

Tafla 8. Mælistaðir við Sigöldu og Hrauneyjarfoss.

Staður	Kenninafn	Mæliaðferð	Mannvirki	Jarðmyndun	Markmið með vöktun
TH-11 Sigalda	TH-11	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Óröskuð grunnvatnsstaða
SA-2 Sigalda	SA-2	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Áhrif frá Krókslóni
III Sigalda	III	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Óröskuð grunnvatnsstaða/ Áhrif frá Krókslóni
VIII Sigalda	VIII	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Óröskuð grunnvatnsstaða Áhrif frá Krókslóni
MW-1 Sigalda	MW-1	Rennsli	Mælistífla	Nútímahraun	Leki úr Krókslóni
MW-2 Sigalda	MW-2	Rennsli	Mælistífa	Nútímahraun	Leki úr Krókslóni
MW-3 Sigalda	MW-3	Rennsli	Mælistífla	Nútímahraun	Leki úr Krókslóni
MW-4 Sigalda	MW-4	Rennsli	Mælistífla	Nútímahraun	Leki úr Krókslóni
Sigöldulón	Sigöldulón	Lónhæð	Vatnshæðarmælir	Móberg/ Nútímahraun	Vatnsstaða í lóni
VHM-96 Maríufoss	VHM-96	Rennsli	Vatnshæðarmælir	Nútímahraun	Rennsli Tungaár við Maríufoss
Sigöldufoss	Sigöldufoss	Rennsli	Vatnshæðarmælir	Móberg	Hjáveituvatn og leki
X Hrauneyjar	X	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Óröskuð grunnvatnsstaða Áhrif frá Hrauneyjalóni
TH-9 Hrauneyjar	TH-9	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Óröskuð grunnvatnsstaða
TH-6 Hrauneyjar	TH-6	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Óröskuð grunnvatnsstaða

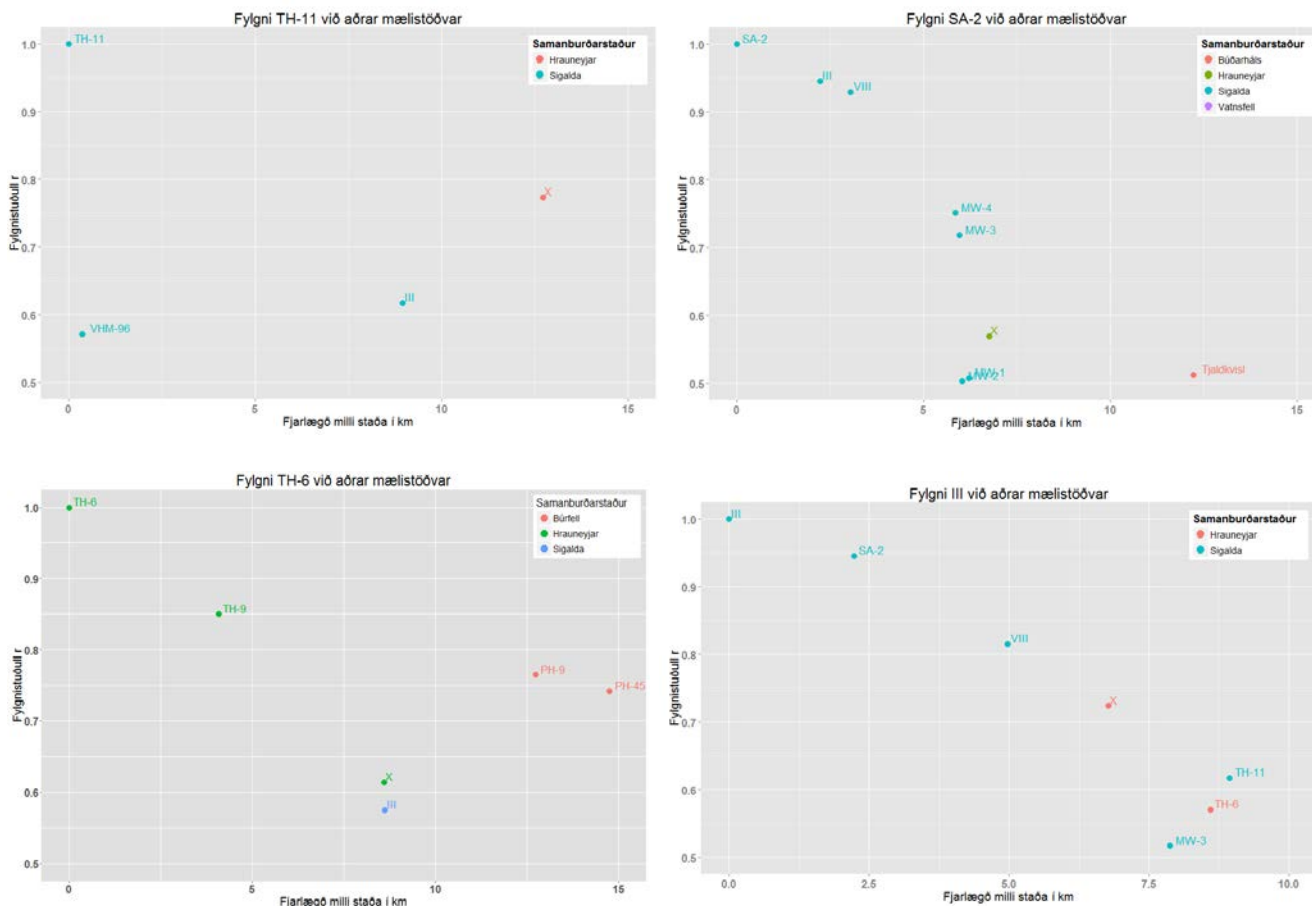
Yfirleitt er verulegur munur á grunnvatni sem er í móbergsmýndunum og hraunum eins og vikið er að á bls 25. Hitastig grunnvatns í móbergi er alla jafna hærra en þess sem er í hraunum, sbr mynd 32, og tekur minni árstíðabreytingum en grunnvatn í hraunum, t.d. (Jónasson et al., 1978). Þá eru breytingar á grunnvatnshæð mun dempaðri og meira hægbara í móbergsmýndunum t.d. (P. Jóhannesson et al., 1978).



Mynd 33. Sigalda Hrauneyjarfoss breytileg vatnshæð með tíma.

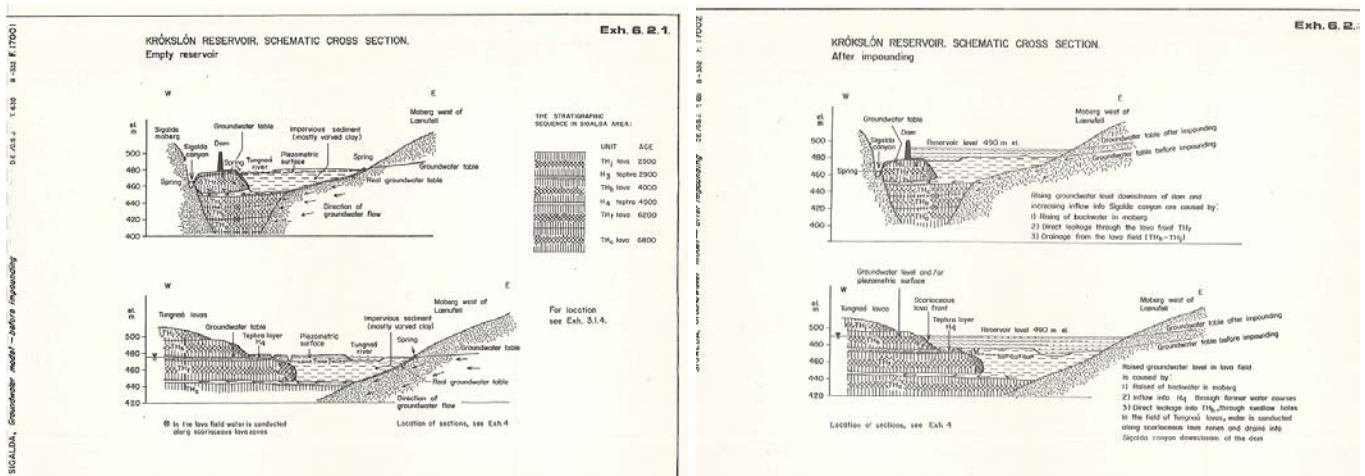
Helstu tímaraðir eru sýndar á mynd 33. Myndin sýnir ljóslega að gagnanna er aflað með mismunandi hætti. Margar holur hafa verið handmældar meðan aðrar eru með sírita. Slíkt hefur óhjákvæmilega áhrif á fylgnireikningana og endurspeglast þau í kassaritinu sem birt er í viðauka I. Í kafla 2.2 er fjallað stuttlega um annmarka fylgnireikninga við slíkar aðstæður. Eitt af markmiðunum var að meta áhrif tilkomu mannvirkjanna á svæðinu en hitt er að sjá langtímatengsl. Ljóst er af mynd 33 að gögn í borholum VII, III; TH-9 og TH-6 fram til loka árs 2005 eru það gróf að marklítið er að bera þau saman innbyrðis fyrr en eftir að byrjað var að sírita vatnsborð í þeim. Þá hafði Langölduveita sem rekin var um árabilið 1966–1976 veruleg áhrif á grunnvatnshæð í TH-9 (Haukur Tómasson, Helgi Gunnarsson, & Páll Ingólfsson, 1976). Þar fyrir utan verður að nefna áhrif Helliskvíslar sem á uppruna sinná Torfajökulssvæðinu og rennur norður fyrir Valafell. Hún átti það til á þessum árum í miklum flóðum að renna nærri TH-9 og að Langöldu. Í ljósi alls þessa voru tengsl grunnvatnshæðar yfir árabilið 2006–2014 skoðuð sérstaklega (mynd 34).

Þar kemur fram að vatnshæð í TH-11 sem er ofan áhrifasvæðis Krókslóns, er í sáralitlum tengslum við mælistaðina sem þar eru meðan tengsl vatnsborðsbreytinga í III og SA-2 við nálæga mælistaði eru nokkuð glögg.



Mynd 34. Tengsl milli mælistaða við Sigöldu Hrauneyjar árin 2006–2014.

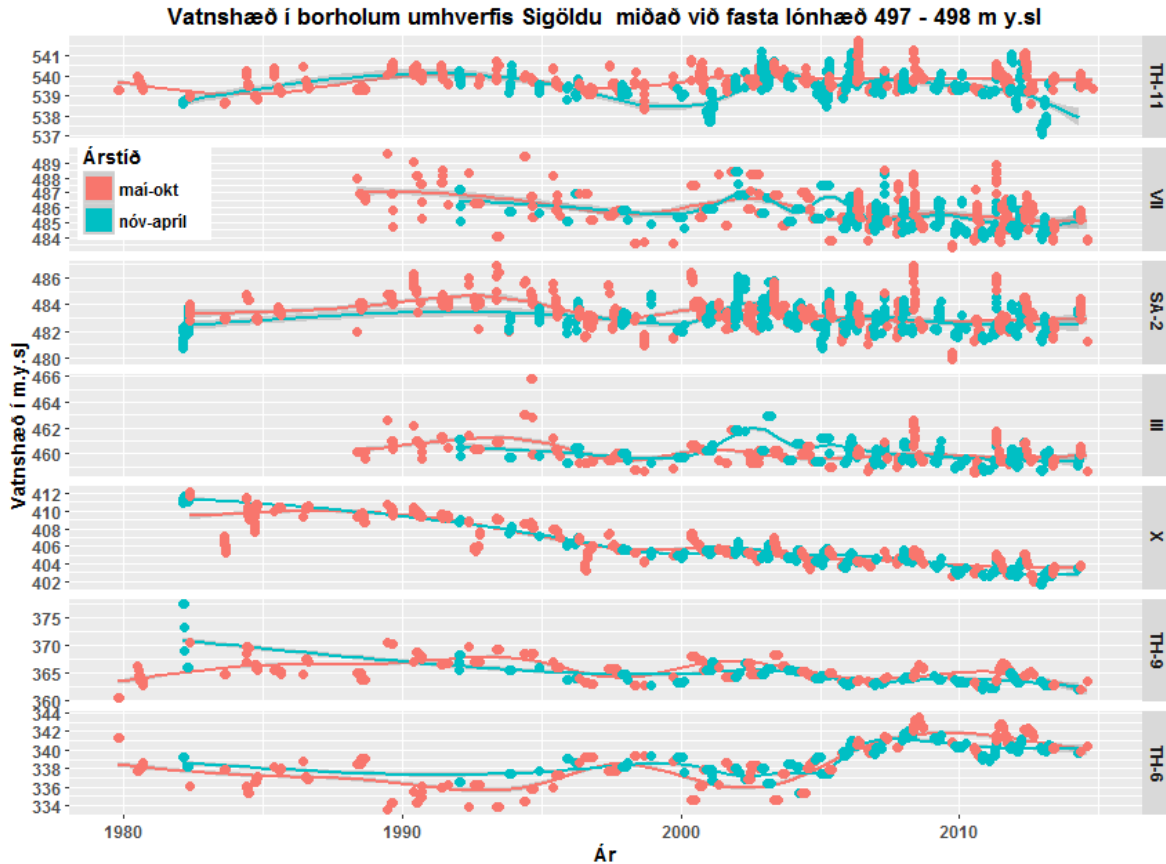
Tilkoma Krókslóns breytti mjög miklu varðandi grunnvatnshæð. Bæði var að vatn lak inn í gropið hraunið sem hélt að lóninu SV megin, en eins komu fram svokölluð bakvatnsáhrif í móberginu norðan við Krókslón þegar að vatnshæðin í lóninu varð hærri en lindirnar sem komu þar fram. Það orsakaði að vatnshæðin í móberginu hlaut að hækka þar til nýtt jafnvægi náðist, sjá mynd 35.



Mynd 35. Áhrif Sigöldulóns á grunnvatnshæð (P. Jóhannesson et al., 1978).

Umtalsverður leki kom fram í Sigöldugljúfri við stífluna. Lekinn var þegar mest lét um 20 m³/s. Skurðir MW-1 – MW4 voru grafnir vestan megin stíflu til að létta á grunnvatnsþrýstingnum sem vaxandi lónhæð orsakaði. Við fyllingu Krókslóns kom strax fram að grunnvatnshæð í grennd þess myndi mótast annars vegar af breytilegri stöðu Siguöldulóns en hins vegar af staðbundnu írennsli ásamt grunnvatnsstraumum sem lengra eru komnir.

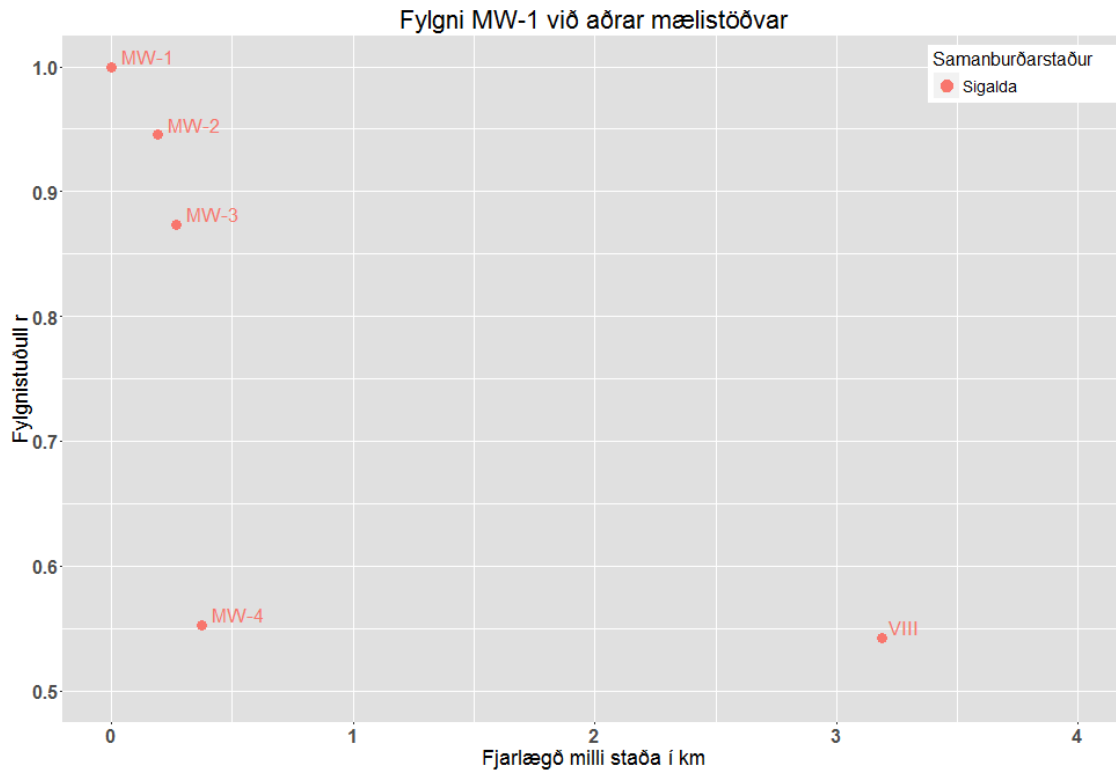
Í ljósi þessa var ákveðið að einangra áhrif af breytilegri vatnshæð Krókslóns með því að teikna einungis grunnvatnshæði í nálægum mannvirkjum sem mæld var við fasta lónhæð í Sigöldulóni 497–498 m y.s. sjá mynd 36. Það vekur athygli að hin mikla auking í vatnshæð sem sést í JV-2 eftir aldamótin og er talin stafa af breyttu veðurfari (sjá bls 20) kemur fram í holunum í Vatnsfell en sést ekki í holunum neðan Sigöldu. Sú hækkun í vatnshæð sem sést í Vatnsfelli, sjá kafla Þórisvatn – Vatnsfell, hefur annað hvort horfið við það að lindir hafa komið fram á yfirborði við norður jaðar Krókslóns eða aukið þrýstinginn neðar í jarðlögum, eins og sást í borholu E-10 (P. Jóhannesson, Arnalds, Egilson, & Jónasson, 1977). Auk þess sést vel á myndinni að vatnshæðarmælingar við sömu lónhæð að sumri og vetri falla vel saman, ólíkt því sem er í Vatnsfelli. Það er að vonum því í fyrsta lagi er lónhæð Krókslóns mikið til sú sama yfir árið en breytist ekki með árstíðum eins og gerist við Þórisvatn, og í annan stað eru hraunin mun lekari en móbergið og allar þrýstibreytingar koma þar hraðar fram.



Mynd 36. Breytileg vatnshæð í borholum umhverfis Sigöldu miðað við fasta lónhæð 497–498 m y.s.l.

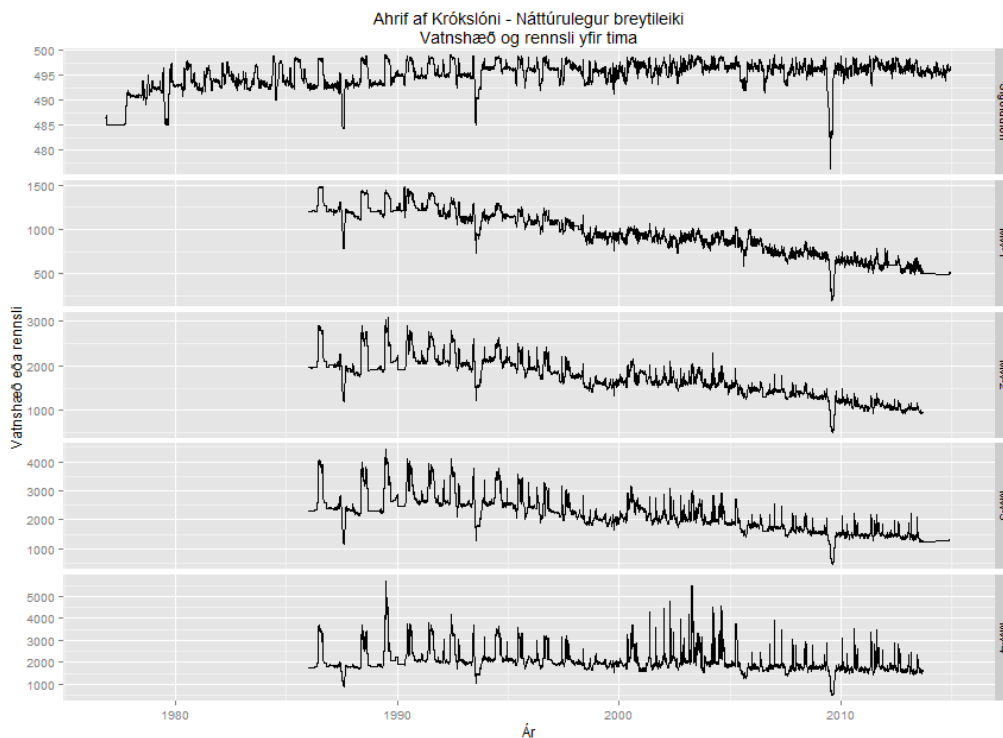
4.4.2 Langvarandi áhrif þéttingar í Króks- og Hrauneyjarfosslóni

Áður en ráðist var í Sigölduvirkjun var vitað að umtalsverður leki gæti orðið úr uppistöðulónum sem mynduð yrðu á Tungnaárhrauninum. Af þessum sökum fóru fram í undirbúningi þeirra framkvæmda umfangsmiklar rannsóknir við Langöldu til þess að öðlast þekkingu á hvernig unnt væri að bregðast við (Haukur Tómasson et al., 1976). Í ljósi þeirrar reynslu var gert ráð fyrir að mikill leki gæti komið fram í upphafi. Á hinn bóginn var einnig búist við að veruleg þétting yrði með tímanum þegar gruggugt jökulvatn bæri með sér aur inn í lekaleiðirnar og fyllti þórur og botnkarga þrátt fyrir að ekki væri ljóst hve langan tíma það tæki.



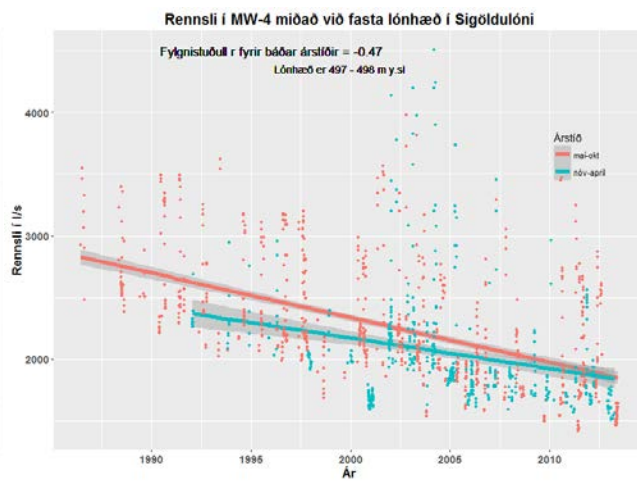
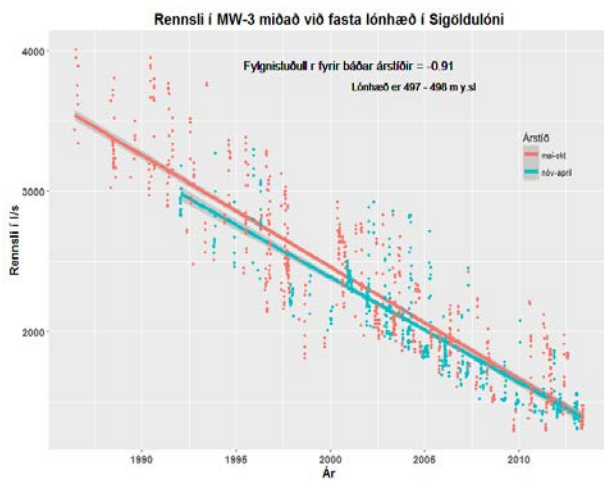
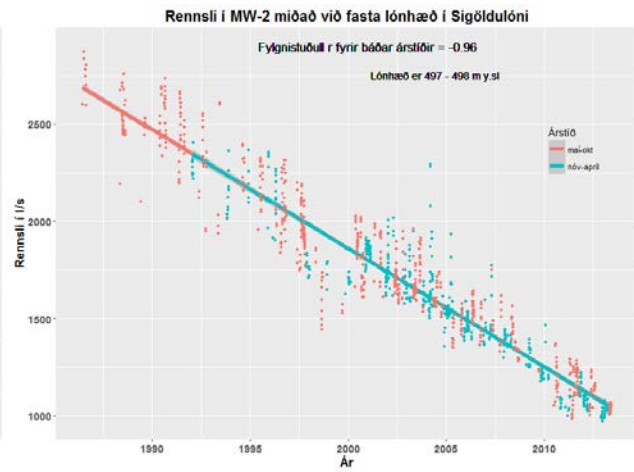
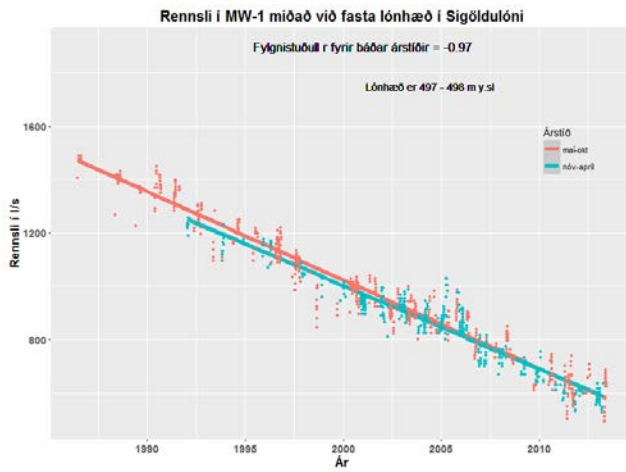
Mynd 37. Tengsl breytingar í rennsli í MW-1 við vatnsstöðu í nærliggjandi mannvirkjum. Mælingar ná frá 2006 fram til dagsins í dag.

Mynd 37 sýnir tengsl rennslis í skurðum MW- 1 – MW- 4 sem voru grafnir út neðan Sigöldustíflu þegar ljóst var að verulegur leki kom fram þar. Lekinn í MW-1 – MW-3 stjórnast að langmestu leyti af vatnshæð í Sigöldulóni, en í MW- 4 kemur einnig fram vatn sem er afrennsli af hraununum í kringum Tungnaárkrók. Varðandi það hve langan tíma tekur að þetta Krókslón er rétt að líta á mynd 38. Á henni sést glögglega að það hefur dregið stöðugt úr rennsli í skurðunum MW-1- MW-4 sem eru neðan stíflunnar frá því að Sigalda tók til starfa. Það bendir til verulegrar þéttingar.



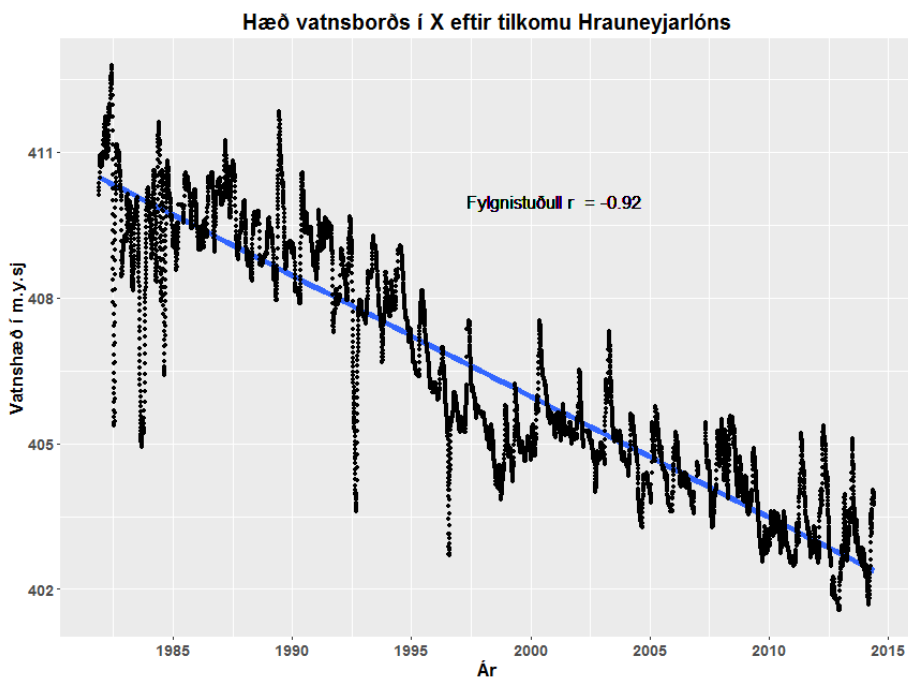
Mynd 38. Áhrif af Krókslóni Rennsli í skurðum MW-1 – MW-4 neðan Sigöldustíflu.

Þessi áhrif verða skýrari þegar áhrif breytilegrar lónhæðar eru einangruð með því að teikna rennslið við sömu lónhæð, sjá mynd 39. Áhrifin eru mest í MW-1 og 2 sem eru næst stíflunni en það dregur úr þeim þegar fjær dregur. Þessar niðurstöður eru í samræmi við efnamælingar á sýnum sem tekin voru úr skurðunum í tilraunaáfyllingu og gáfu til kynna að 90% vatnsins sem berst fram í MW-1 og MW-2 voru ættuð beint úr lóninu, en 70% vatnsins í MW-3 og MW4 (Jónasson & Guðmundsson, 1978). Nákvæmlega sömu þróun má sjá í Hrauneyjafosslóni. Lónfylling 18 okt 1981 hafði veruleg áhrif á vatnshæð í borholu X sem fór á stuttum tíma úr 397 m y.sj yfir 410 m y.sj. Eftir það hefur vatnshæðin verið fallandi með tíma (mynd 40). Leka-vandamálin í Hrauneyjum voru raunar engan veginn sambærileg það sem var í Sigöldu, enda vatnsdýpi Hrauneyjarlóns brot af því sem er í Krókslóni. Þá skiptir miklu að að við byggingu Hrauneyjarfossvirkjunar var búið að þeirri þekkingu sem aflað hafði verið með myndun Krókslóns og bergþéttingin því hönnuð öðruvísi.



Mynd 39. Rennsli í skurðum MW-1–MW-4 við stöðuga vatnshæð í Krókslóni 497–498 m y.s.j.

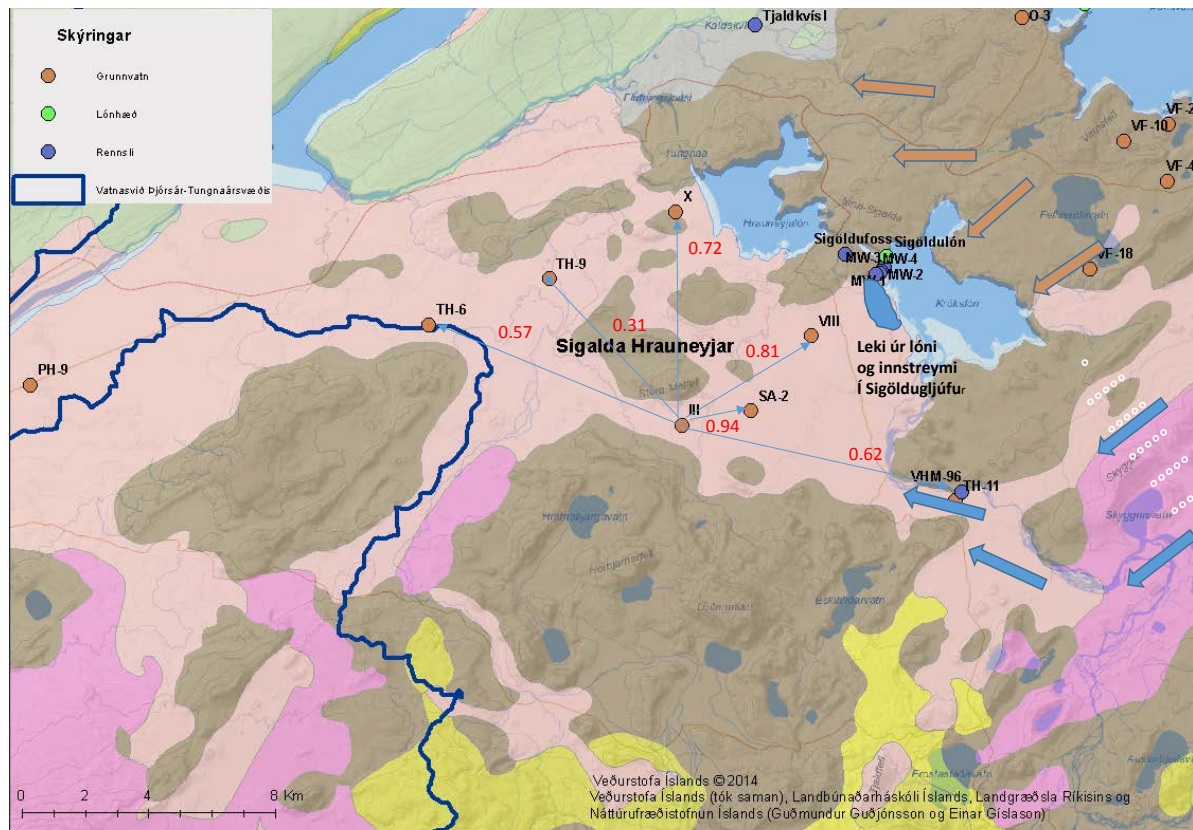
4.4.3 Samantekt



Mynd 40. Vatnsborðsbreyting í holu X eftir tilkomu Hrauneyjarlóns.

Mynd 41 sýnir helstu grunnvatnsstrauma við Tungnaárkrók, og þar sjást tengsl vatnshæðar í borholu III við nálæga mælistaði.

- Breytileikinn sem stafar af langtímabreytingu á írennsli sem er til staðar í hraununum norðaustan Þórisvatns og í Vatnsfelli er horfinn í Tungnaárkróki. Hann hefur horfið við það að lindir hafa komið fram á yfirborði við norðurjaðar Krókslóns eða aukið þrýstinginn neðar í jarðlögunum.
- Verulegt magn af grunnvatni kemur fram á yfirborði í Veidivatnalægðinni og við Krókslón. Það sem verður eftir í jarðlögunum rennur fram. Hluti þess skilar sér í Sigöldugljúfur ásamt leka úr Krókslóni en væntanlega heldur stærsti hluti þess áfram niður sundið þar sem borhola III er.
- Vekja ber athygli á því að helsta óvissan í þessari mynd er aðstreymi grunnvatns vestan við Veidivatnalægðina, sem verður nánast fjallað um í kaflanum Aðfallsgreining á Maríufossi.
- Merkja má verulega minnkun í leka bæði í Króks- og Hrauneyjarlóni sem stafar af því að jökulleir og sandur er að fylla sprungur og þórir.



Mynd 41. Sigalda Hrauneyjar grunnvatnsstraumar og fylgni hlutfall (r^2) grunnvatns-hæðar í III miðað við aðra mælistaði. Skýringar á jarðfræðitáknum, sjá mynd 11.

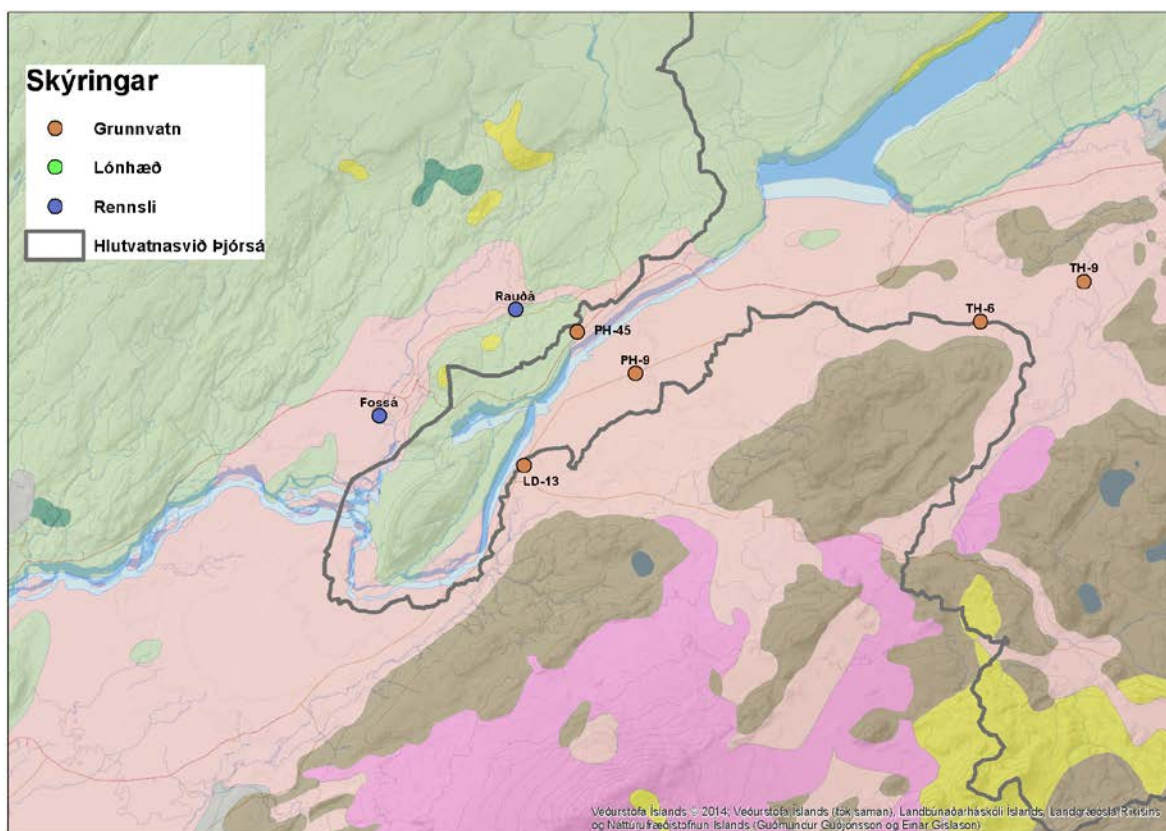
4.5 Sultartangi Búrfell

4.5.1 Búrfell

Tafla 9. Mælistaðir við Búrfell Sultartanga.

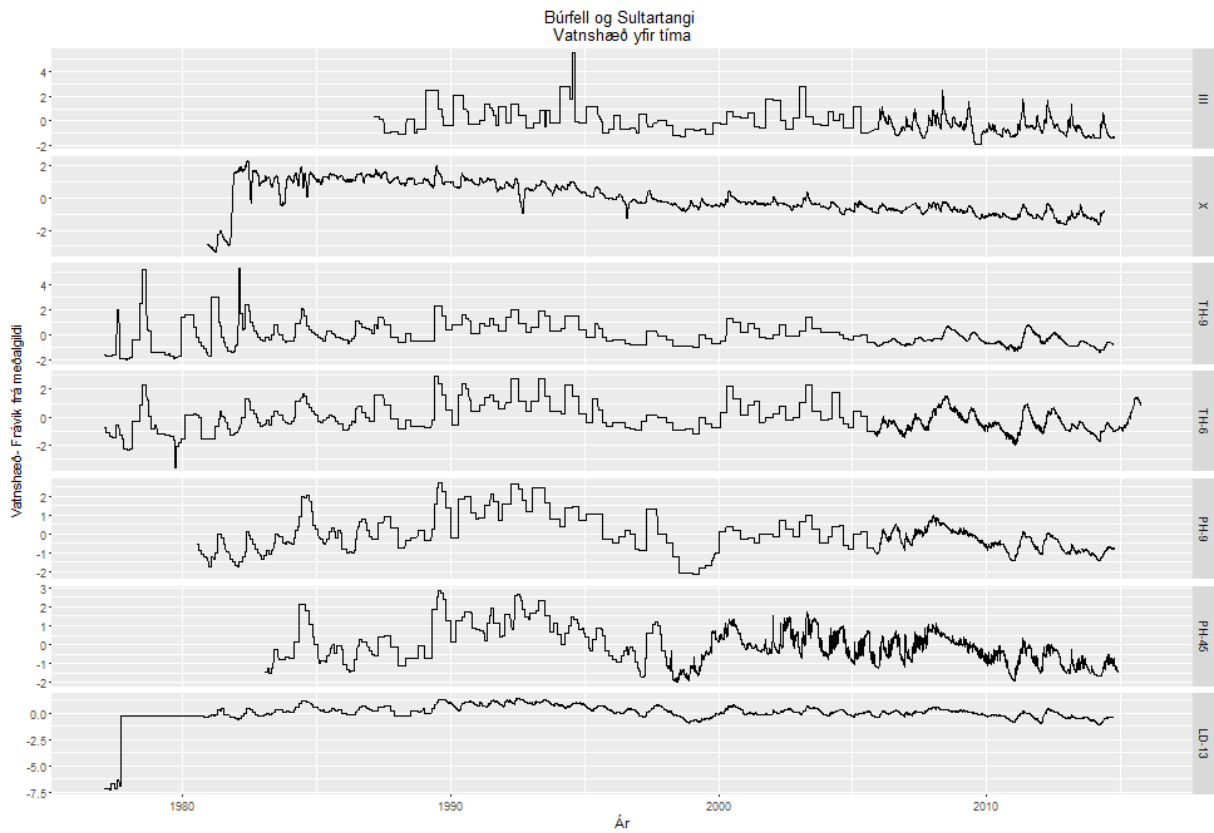
Staður	Kenninafn	Mæliaðferð	Mannvirki	Jarðmyndun	Markmið með vöktun
PH-45 Búrfell	PH-45	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Náttúrulegt rennsli
PH-9 Búrfell	PH-9	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Náttúrulegt rennsli
LD-13 Búrfell	LD-13	Grunnvatn	Borhola	Nútímahraun	Náttúrulegt rennsli
Fossá	Hjalp	Rennsli	Vatnshæðarmælir	Nútímahraun	Náttúrulegt rennsli
Rauðá	Rauda	Rennsli	Vatnshæðarmælir	Nútímahraun	Náttúrulegt rennsli
VHM-59 Ytri Rangá	VHM-59	Rennsli		Nútímahraun	Náttúrulegt rennsli

Neðsti hluti svæðisins nær yfir Búrfell og Sultartanga. Afstaðan er sýnd á mynd 42 og nánari upplýsingar um mannvirkin er að finna á töflu 9 og mæliraðirnar á mynd 43.

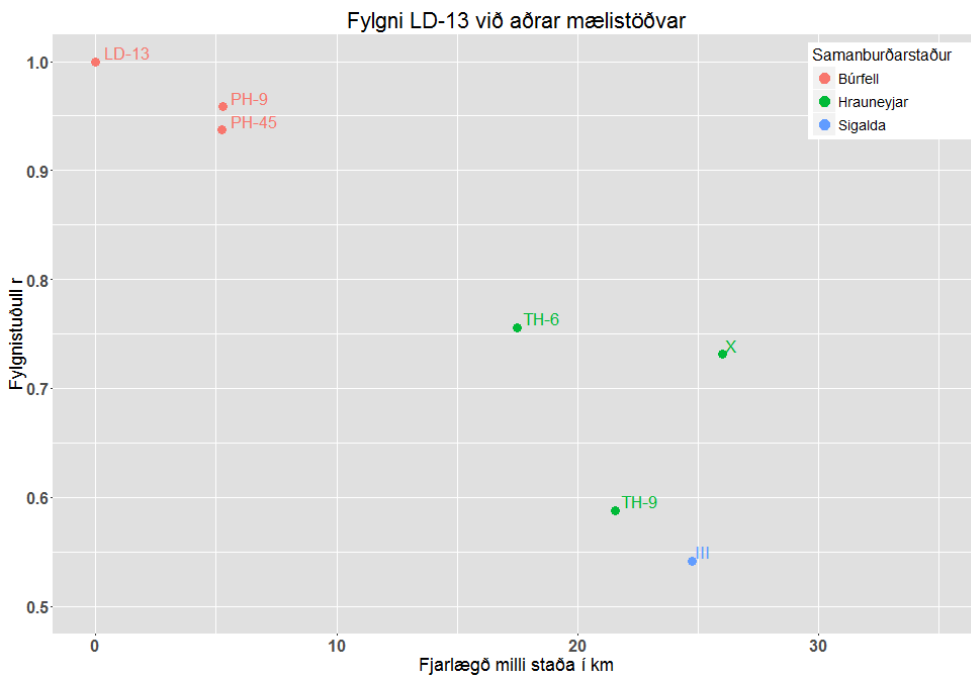


Mynd 42. Búrfell Sultartangi afstöðumynd. Skýringar á jarðfræðitáknum, sjá mynd 11.

Grunnvatnið er að miklu leyti aðrunnið úr hraunum austan til fyrir utan staðbundið írennsli. Sáralítill leki er frá Sultartangalóni enda liggur hraunið sem stíflan er á að mjög þykku vatnaseti, vatnsdýpi er til þess að gera lítið og þéttikjarni stíflunnar tengist við vatnasetið líkt og í Hrauneyjarfossstíflu. Eldra bergið vestan til og í Búðarhálsi er það þétt að mesta úrkoman rennur af á yfirborði. Mynd 44 sýnir tengsl LD 13 við aðra mælistaði. Umtalsvert írennsli er inn í hraunin milli III og TH – 6 og TH - 9 enda leitar þangað vatn af talsvert stóru vatnasviði. Þá er næsta ljóst að vatnaskil grunnvatns og yfirborðsvatns fara engan veginn saman heldur bendir flest til þess að allt grunnvatn í hrauninum vestan Sultartanga ásamt því sem kemur austan Valafells renni að upptökum Rangár.



Mynd 43. Búrfell, Sultartangi. Vatnshæð yfir tíma.



Mynd 44. Tengsl LD 13 við aðra mælistaði yfir árabilið 2006–2014.

Fram hefur komið að Þjórsárhraunin hafa runnið niður um Land í skarðinu milli Búrfells og Sauðafells (Elsa G. Vilmundardóttir, 1977; Árni Hjartarson, 2011). Þau hafa efallítið elt eldri farveg Þjórsár eða forvera hennar og fyllt í hann (Elsa G Vilmundardóttir, 1977). Mestar líkur eru á að grunnvatnsstraumurinn sé nokkuð afmarkaður í eldri farvegi árinna. Þá er einnig afar líklegt að grunnvatnið renni fram í mismunandi hæð, t.d. falskt grunnvatnsborð ofan á setinu milli hraunanna. Það er í samræmi við mælingar á grunnvatnshæð þegar verið er að bora þar sem fram kemur að grunnvatnshæð breytist eftir því sem borað er dýpra og í gegnum fleiri hraun.

Trúlegast eru upptakakvíslarnar við Rangárbotna hluti af eldri farvegi en Elsa bendir á að dalurinn sé dýpstur við Búrfell (Elsa G Vilmundardóttir, 1977) og þar af leiðandi upphaflegur farvegur Þjórsár.

4.5.2 Samantekt

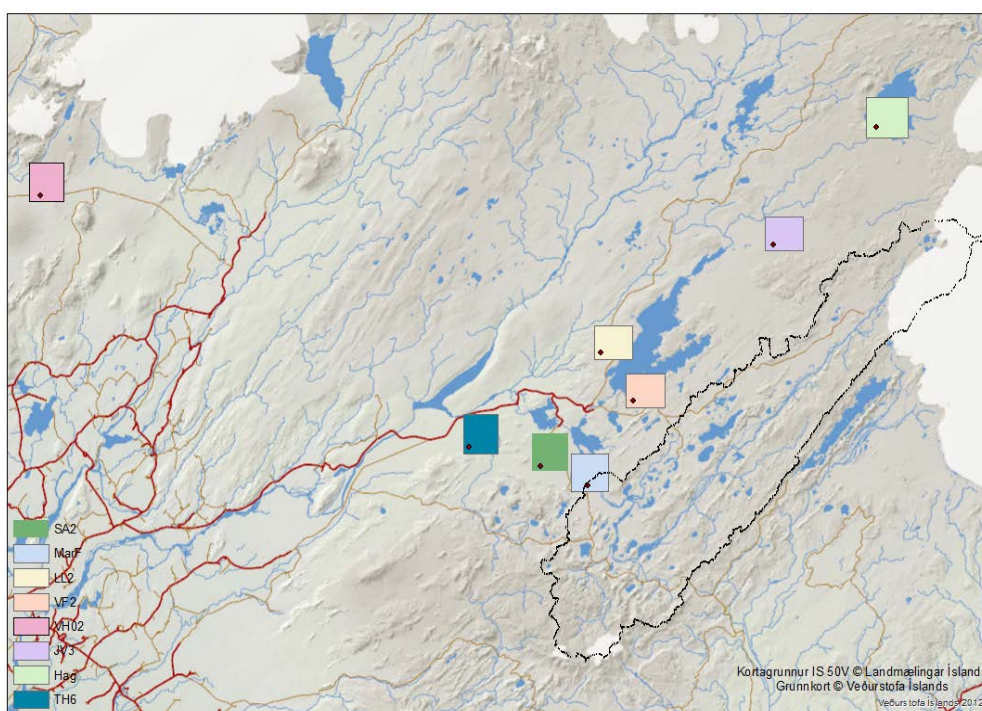
- a) Grunnvatnið er að miklu leyti aðrunnið úr hraunum að austan fyrir utan staðbundið írennsli.
- b) Mestar líkur eru á að grunnvatnsstraumurinn sem fer niður Land sé nokkuð afmarkaður við eldri farveg Þjórsár eða forvera hennar.
- c) Ekki er ólíklegt að upptakakvíslar Rangár séu hluti af eldri farvegi Þjórsár eða forvera hennar, en þó ekki þeim elstu.

5 Úrkoma og lágmarksrennsli

5.1 Tengsl úrkomu og vatnshæðar

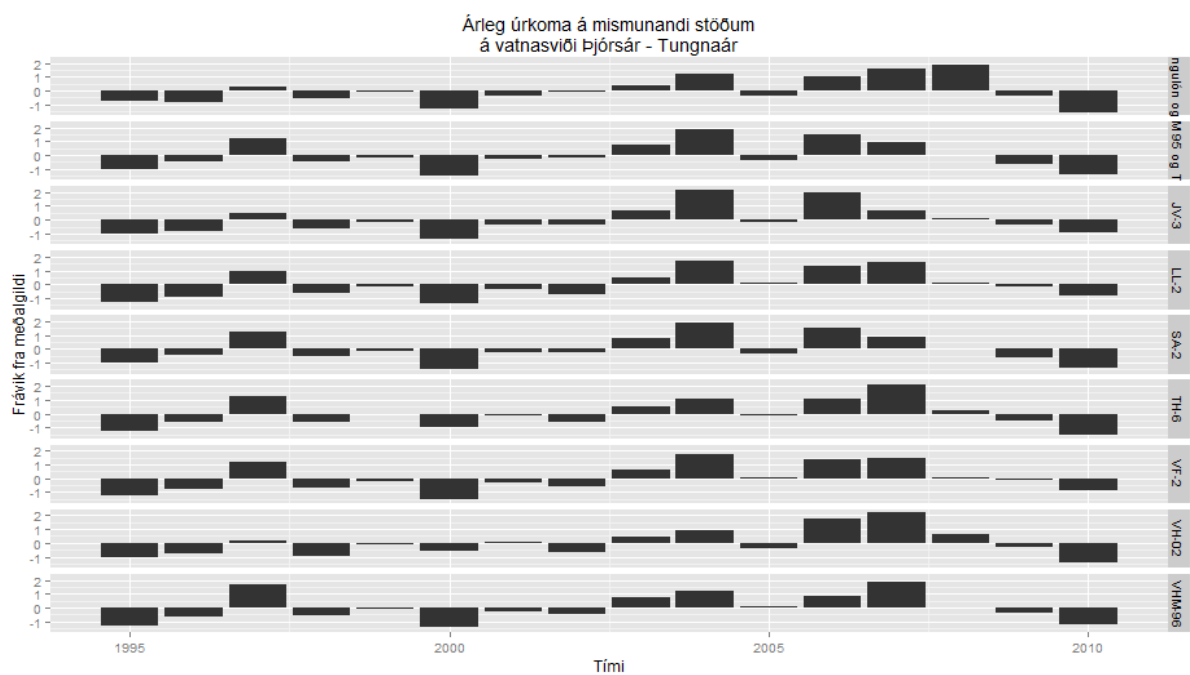
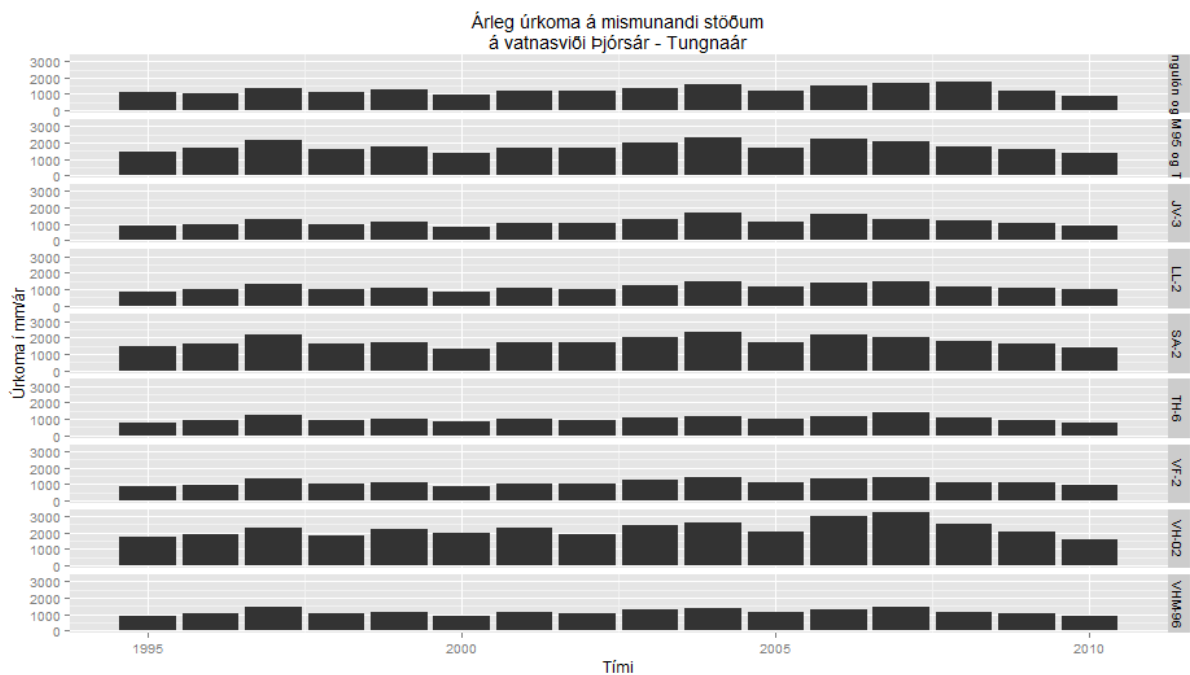
Philippe Crochet hefur unnið úrkomukort af landinu þar sem dagleg úrkoma er birt á 1 km neti (Crochet et al., 2007). Sú vinna hefur verið uppfærð með nýju gagnasafni (Crochet, 2013). Þess vegna er nærtækt að kanna hvort grunnvatnshæð á tilteknum mælistöðvum sé mikið undir áhrifum af írennsli nærri þeim, eða skýringanna sé að leita í flóknara samspili úrkomu og leysingar.

Mynd 45 sýnir staðsetningu á mælistöðvunum en mynd 46 ársúrkomuna sem tekin er úr gagnasafni (Crochet, 2013).

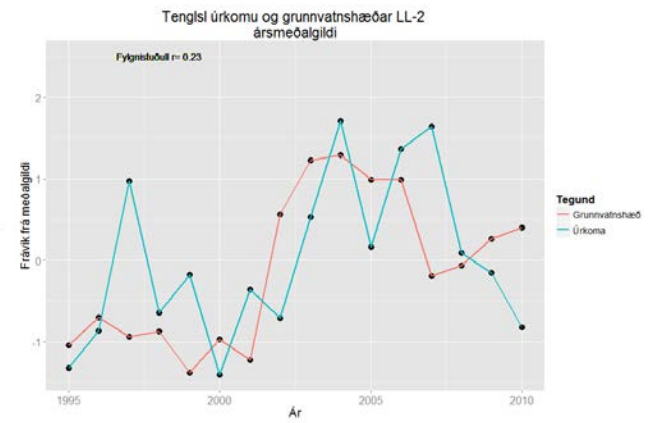
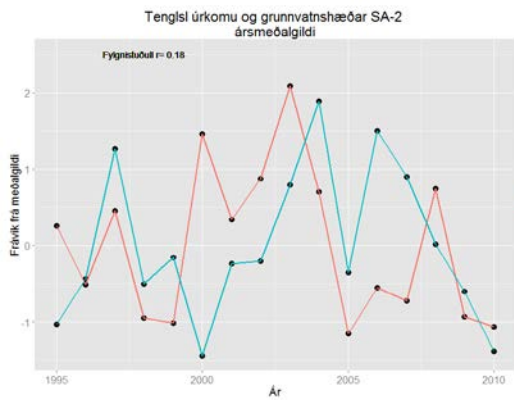
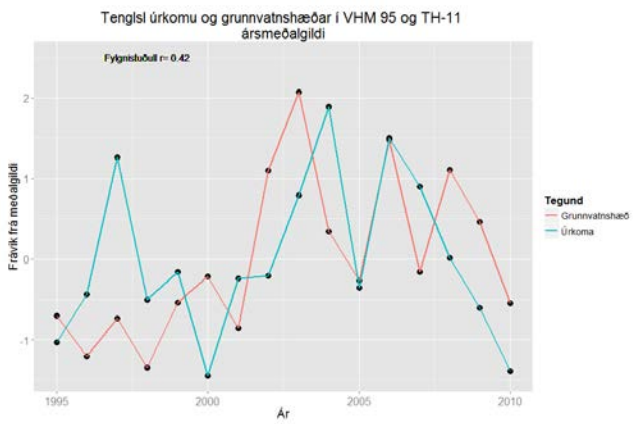
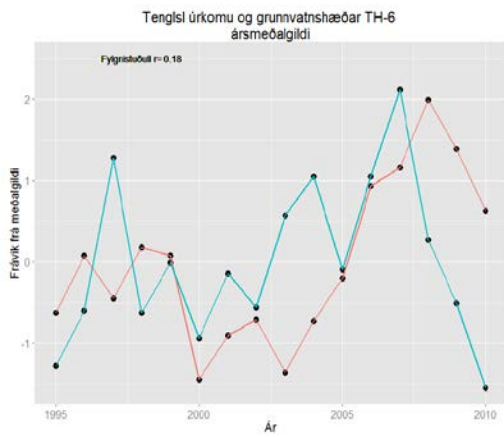
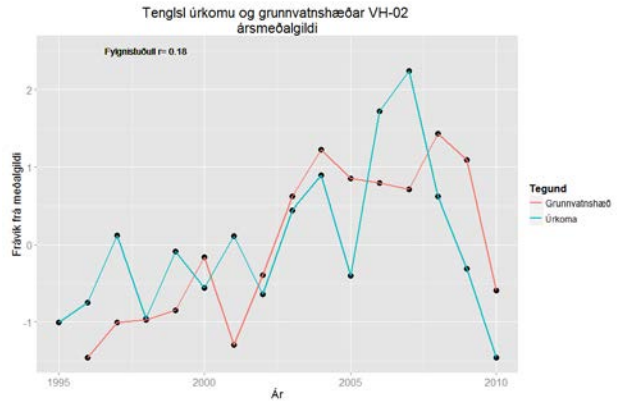
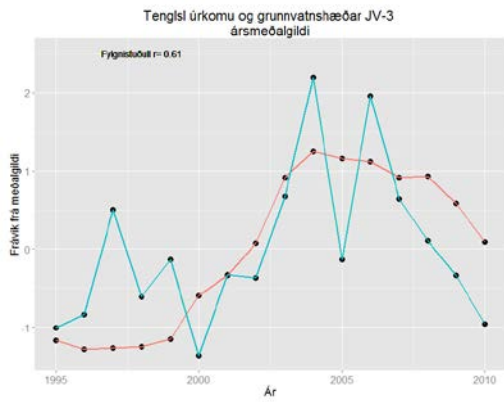


Mynd 45. Staðbundin úrkoma á völdum stöðum yfir árabilið 1995–2011. Byggt á gögnum Philippe Crochet (2013).

Líkt og sést á efri hluta myndar 46 er afar mikill munur á úrkomu eftir landhæð og legu meðan frávikin frá meðaltali á hverjum stað fylgjast meira að. Samanburður á milli árlegrar meðalúrkomu og meðalvatnshæðar sýnir ekki mikla fylgni (mynd 47). Rétt er að benda á að samanburðurinn er mjög takmarkaður. Hann nær eingöngu til úrkomu sem fellur nærri mælistaðnum en tekur ekki mið af jöklaleytingu eða áhrifum af lengra að komnu grunnvatni. Þess vegna er einungis unnt að draga þá ályktun að grunnvatnshæð á þessum stöðum stýrist af flóknari þáttum en einungis staðbundnu írennsli.



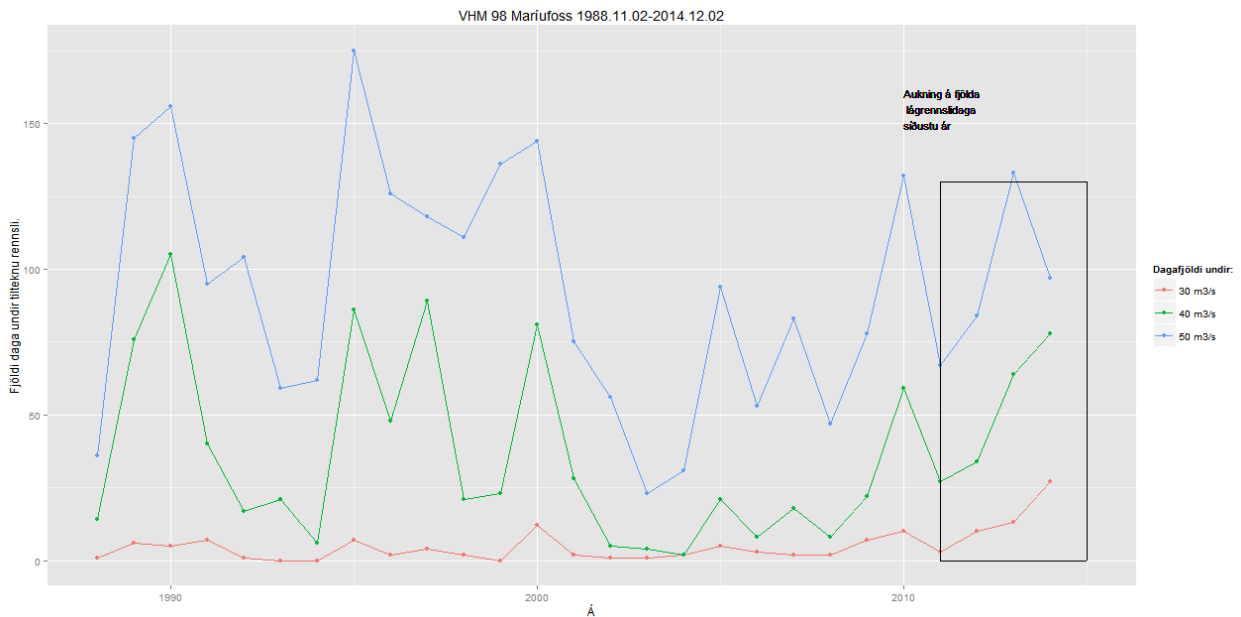
Mynd 46. Árleg úrkoma í mm/ári og sem frávik frá meðaltali á mismunandi stöðum á vatnasviði Þjórsár-Tungnaár.



Mynd 47. Samanburður á árlegri meðalvatnshæð og meðalúrkomu við valda mælistaði.

5.2 Aðfallsgreining á Maríufossi

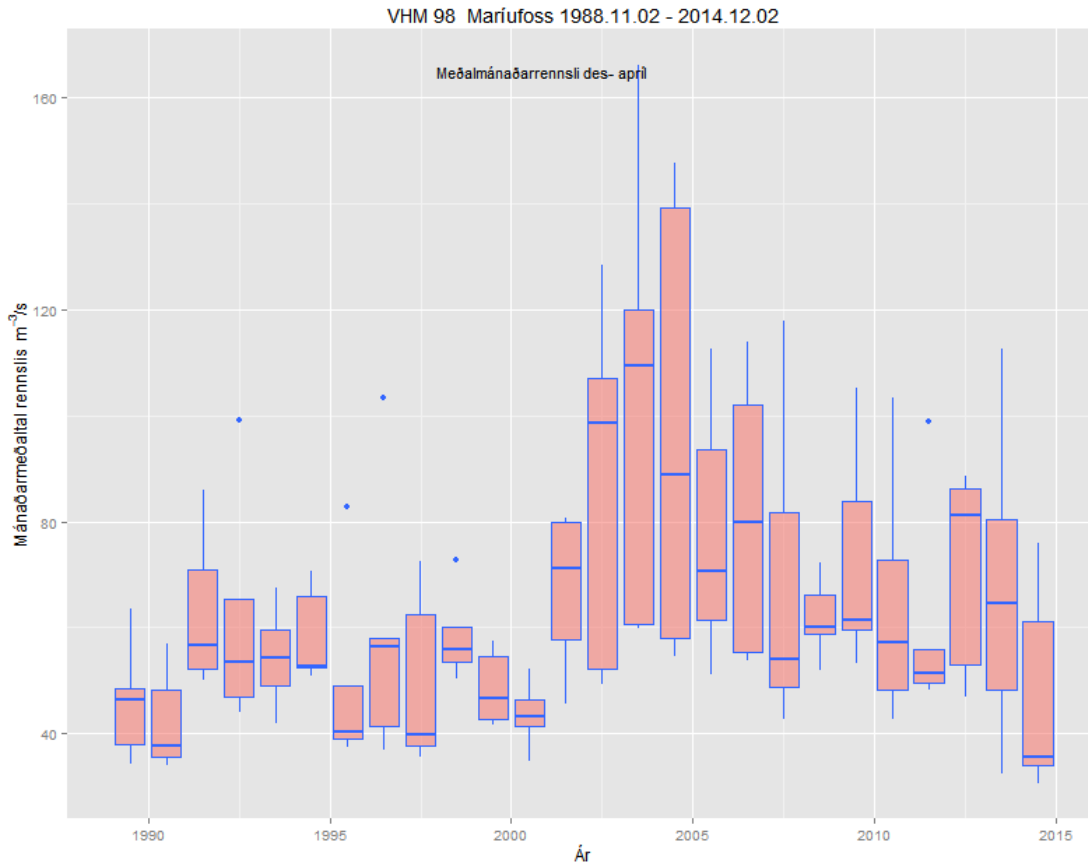
Það fylgir breytilegu írennsli í grunnvatnshlot að grunnvatnsrennsli frá þeim kann að vera verulega breytilegt eftir því hvernig árar. Þess vegna er mikilsvert varðandi þekkingu á grunnvatnshegðun innan Þjórsár- Tungnaársvæðisins að líta til þess hve mikið vatn rennur um Maríufoss við langvarandi þurrðir. Eitt af því sem þarf að huga að varðandi líkangerð almennt er fyrir hvaða tímabil líkanið er kvarðað. Það er vel þekkt við hermun vatnafræðilegra líkana að unnt er að ná góðri kvörðun yfir ákveðið tímabil meðan frávik kunna að vera veruleg yfir önnur. Fram hefur komið að miðað var við að rennsli við Maríufoss væri að lágmarki 50 m³/s þegar gert var líkan af mögulegu Tungnaárlóni í farvegi Tungnaár ofan við Veiðivötn (Vatnaskil, 2002, Verkfræðistofan Vatnaskil, 2009). Líkanið var kvarðað árið 2002 við mun vatnsríkari ár en tóku við þar á eftir og skynsamlegt að skoða hvort sú kvörðun gildi enn. Mynd 48 sýnir fjölda lágrennslisdaga yfir mælibilið 1989 og fram til ársloka 2014.



Mynd 48. Fjöldi lágrennslisdaga við Maríufoss.

Þar kemur ljóslega fram að síðustu ár hefur verið veruleg aukning í fjölda daga þar sem rennsli hefur verið undir 30–40 m³/s í samanburði sem var áratuginn 2000–2010. Kassarit af mánaðarlegu meðalrennsli mánuðina desember til mars draga fram að árið 2014 var meðalrennslið um 30 m³/s, mynd 49. Miðgildið liggur nærri neðri mörkum kassans sem gefur til kynna að stærsti hluti mælinganna liggja á því bili. Einstök daggildi eru heldur lægri.

Veðurstofan hefur til skamms tíma notað aðfallsgreiningu til að draga fram líklegt lágrennsli í vatnsföllum. Heildaraðfallsferillinn er fundinn með því að velja þá atburði þegar fallandi er í rennslisröðinni og raða einstökum atburðum saman. Lýsing á aðferðinni er t.d. í Lugten (2013) og Gerður Stefánsdóttir og Davíð Egilson (2014).



Mynd 49. Mariufoss meðalmánaðarrensli des-apríl yfir árabilið 1988–2014.

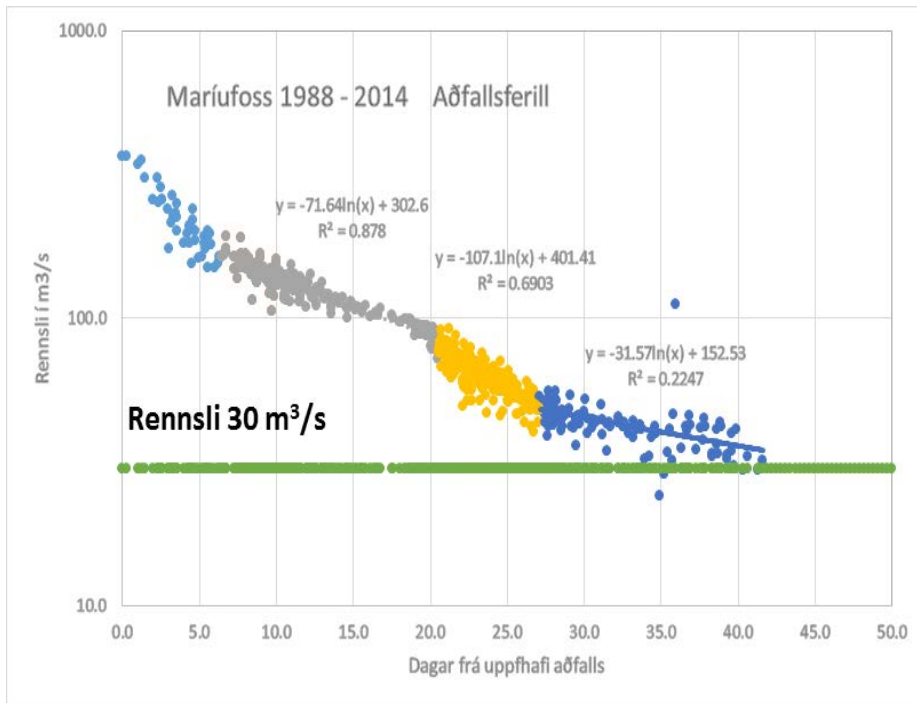
Mynd 50 sýnir niðurstöðu slíkrar greiningar. Þar kemur fram að aðfallsferilinn virðist endurspegla áhrif af rennsli úr a.m.k. fjórum vatnsveitum. Efri tveir ferlarnir tákna væntanlega mikið til beint afrennsli vegna úrkomu og leysingar. Neðri tveir ferlarnir sýna vatn með mun lengri viðstöðu, en við langvarandi þurrka dregur verulega úr getu vatnsveitanna til að miðla vatni. Miðað við að mælingar á lágrennsli séu áreiðanlegar er líklegt að lágrennsli við Mariufoss fari niður undir $30 \text{ m}^3/\text{s}$ þegar saman fara löng þurrkatímabil og árabil sem grunnvatnsstaða á svæðinu er almennt mjög lág. Í ljósi þessa er vert að kanna hvort ekki sé ráðlegt að huga að því að kvarða líkanið einnig fyrir vatnsrýrari tímabil.

6 Niðurstaða og tillögur

6.1 Almennt

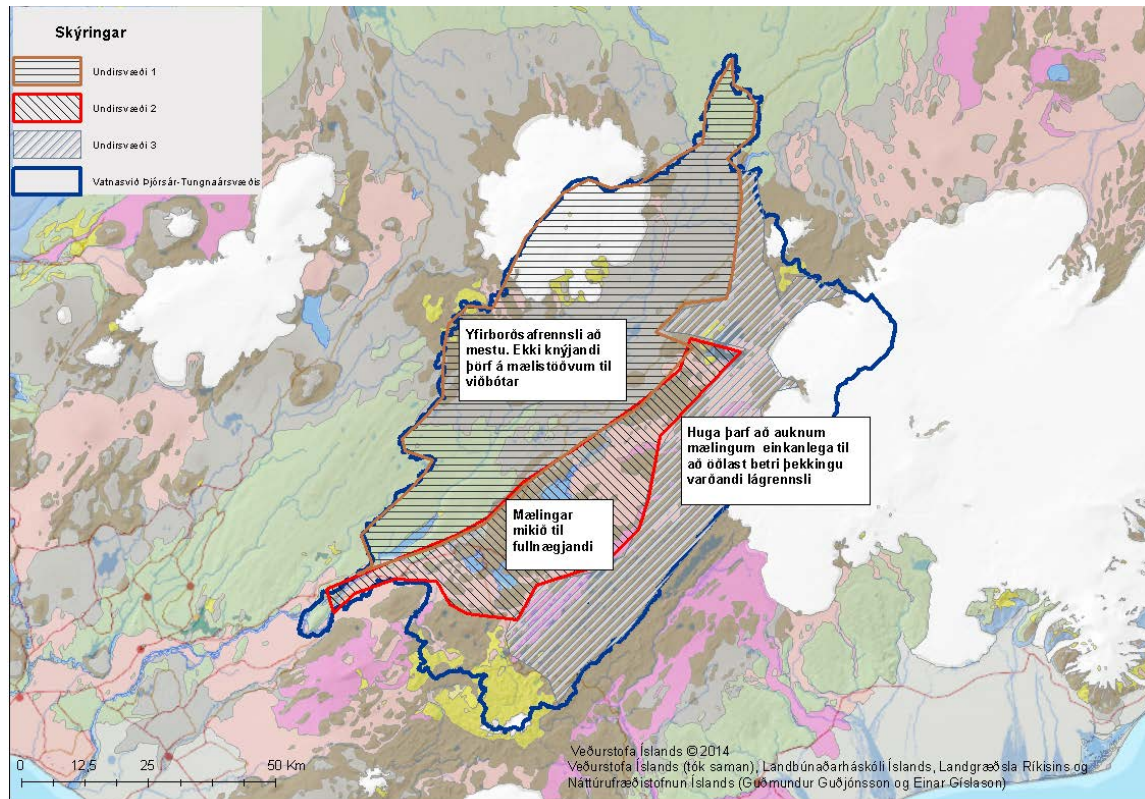
Rannsóknarsvæðið skiptist í megindráttum upp í þrjú undirsvæði eins og sýnt er á mynd 51. Vesturhluti þess sem er kallaður Undirsvæði 1 er að mestu á gömlu bergi. Bergið er ákaflega þétt

og lítið um írennsli til grunnvatns. Raunar eru þar nokkur lindasvæði og Þjórsárver þeirra tilkomumest. Afrennsli af þeim er hins vegar í Þjórsá en sáralítill hluti þess berst sem grunnvatn inn á aðrennslissvæði Þórisvatns. Ekki verður séð að nein knýjandi þörf sé á að bæta við grunnvatnsmælistöðvum á Undirsvæði 1.



Mynd 50. Aðfallsferill Tungnaár fyrir árin 1994–2014.

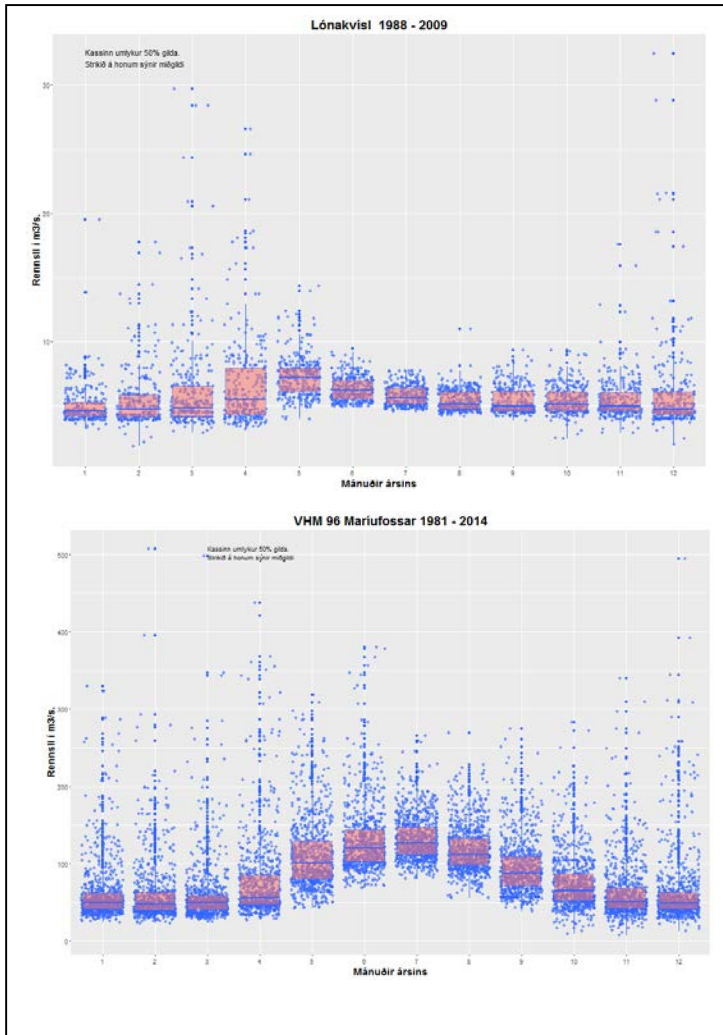
Nánast öll þau mannvirki sem fjallað hefur verið um í skýrslunni eru staðsett á því sem kallað er Undirsvæði 2. Þar er mikil misleitni í vatnsstreymi sem stafar af opnum höggunarsprungum og um leið legu og formi móbergsmýndananna. Áhrif af tilkomu Hágöngulóns, Þórisvatnsmiðlunar og Krókslóns sjást vel í gögnunum. Hin mikla misleitni orsakar það að þau áhrif ná aðeins til grunnvatnshæðar í þeim jarðmyndunum sem liggja á sömu sprungusveimum og uppistöðulónin. Þegar búið er að einangra breytilega vatnshæð í Þórisvatni frá, má í flestum borholum greina áhrif frá breytilegu írennsli í sömu veru og er á mælistöðum í hraununum NA vatnsins. Þau áhrif eru horfin neðan Krókslóns sem gefur til kynna að þau áhrif hafi komið fram í breytilegu lindarennsli í Tungnaá ofan við Tungnaárkrók þ.e. lægðarinnar við Krókslón. Lekinn úr Krókslóni skilar sér að mestu leyti í Sigöldugljúfur neðan stíflunnar. Umtalsverð þétting hefur átt sér stað í Krókslóni vegna jökulframburðar. Grunnvatnsstraumur sem berst fram austan við Þórisvatn tekur þverbeygju á svipuðum slóðum og Tungnaá sjálf. Hann fylgir nútímahraununum, fer um Sundið við Bjalla og þar niður eftir hraunsundi í átt að Valafelli og þaðan á hraunsléttuna milli Búðarháls og Valafells. Lausleg greining á staðbundinni úrkomu og grunnvatnshæð á Undirsvæði 2, sbr mynd 46, gefur til kynna að breytileg grunnvatnsstaða verði ekki skýrð eingöngu af staðbundnu írennsli heldur þurfi að líta til flóknari þátta.



Mynd 51. Rannsóknarsvæðið yfirlit. Tillaga um frekar rannsóknir. Skýringar á jarðfræðitáknum, sjá mynd 11.

Á Undirsvæði 2 hefur farið fram umfangsmikil vöktun og yfirsýn er góð. Þessi úttekt staðfestir á margan hátt fyrirliggjandi þekkingu á grunnvatnskerfum innan Þjórsár- Tungnaárvæðisins þar sem mælingar ná til. Þar spilar grunnvatnslíkan Vatnaskila höfuðhlutverk enda nær það að líkja ágætlega eftir vatnshæðarmælingum og rennsli þegar litið er til meðalrennslis í langan tíma. Mælingar eru mikið til fullnægjandi hvað varðar það að fylgjast með grunnvatni á Undirsvæði 2.

Undirsvæði 3 er austast á vatnasviðinu og nær norður fyrir Undirsvæði 2. Þar skortir verulega þekkingu sem getur haft mikil áhrif á rekstur virkjananna einkanlega við lágrennsli. Inntaksgögnin í líkanið eins og þeim er lýst er í skýrslunni *Tungnaárlón. Áhrif á Veiðivatnasvæðið* (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2009) þar sem miðað er við fast meðalrennsli $50 \text{ m}^3/\text{s}$ í Tungnaá við Maríufoss eru ekki raunhæf á tímum lágrennslis. Þar sem grunnvatnið rennur eins stefnuvirk og sést á Undirsvæði 2 eru yfirgnæfandi líkur á að sjálfstæður grunnvatnsstraumur eða straumar



Mynd 52. Dreifing ársrennslis í Lónakvísl og Maríufossi.

komi fram á Undirsvæði 3, þ.e. austar, nær Tungnaárbotnum og við Breiðbak sem er í fjallgarðinum milli Tungnaár og Langasjávar. Umtalsverð lindasvæði eru t.d. við Lónakvísl og ekki sjálfgefið að það vatn sé allt komið frá yfirborðsvatnasviði Tungnaár. Þetta grunnvatnsrennsli er næsta örugglega breytilegt en hugsanlega á annan hátt en það sem rennur fram vestar og á Undirsvæði 2, eins og mynd 52 sýnir. Þess vegna skiptir nokkru að setja tvær til fjórar mælistöðvar á hentugum stöðum á Undirsvæði 3 allt frá suðurhlutanum og norður til Gjálfjalla. Eins og vikið verður að í tillögum þyrfti að hafa góða greiningu á lágrennsli til að mæta öfgaatburðum eins og voru vorið 2014. Til að mynda gæti komið til greina að stilla líkanið af miðað við mismunandi forsendur s.s. meðalrennsli og síðan lágrennsli.

6.2 Samantekt um markmiðin

Í verksamningi sbr. kaflann um Markmið 1.1 kom fram að niðurstaða þess ætti að vera a.m.k. þriðjætt:

- Skýrari þekking á grunnvatnskerfum innan Þjórsár- Tungnaárvæðisins. Í þessu fólst að kanna samband milli hola og mælistaða og meta hverjir væru helstu áhrifaþættir varðandi grunnvatnsstöðuna. Breyting á grunnvatnshæð vegna mannvirkja var könnuð og lagt var mat á þéttingu bergs með tíma vegna jökulframburðar. Þessi greining staðfestir á margan hátt fyrirbyggjandi þekkingu á grunnvatnskerfum innan Þjórsár- Tungnaárvæðisins þar sem mælingar ná til. Þar spilar grunnvatnslíkan Vatnaskila höfuðhlutverk. Hins vegar dregur hún fram nauðsyn þess að afla frekari þekkingar á austurhluta svæðisins. Sakir mikils náttúrulegs breytileika í veðurfari þarf að horfa til þess hvort lágstaða Tungnaár sé ekki önnur og lægri en var þegar upphaflegt líkan var kvarðað. Þetta á einkum við þegar saman fara löng þurrkatímabil og ár þar sem grunnvatnsstaða er mjög lág, Í tillögum hér að neðan verður bent á mikilvægi þess að afla frekari þekkingar á Undirsvæði 3 sem spannar austur og norðurhluta vatnasviðsins. Gerð verður grein fyrir þeim tillögum hér á eftir.
- Tilgangur með rekstri hveurrar grunnvatnsmælistöðvar yrði skýrður. Tilgangur með rekstri hveurrar grunnvatnsmælistöðvar eins og hann er fram settur í viðeigandi töflum er skýr. Markmiðið er ýmist að hafa eftirlit með öryggi mannvirkja og rekja langtímaþróun varðandi þau, eða hafa yfirlit með auðlindinni sem slíkri og þeim breytileika sem þar kann að vera.

Strangt tiltekið má færa rök fyrir því að hætta síritun í nokkrum mælistöðvum þegar litið er til fylgni milli þeirra og annarra. Hins vegar er rétt að benda á að raunverulegur sparnaður við að leggja niður ákveðnar mælistöðvar í svo þéttriðnu neti er væntanlega ekki mikill þegar komið er á staðinn á annað borð. Slíkur sparnaður getur hæglega horfið, komi eitthvað uppá svo leita þurfi skýringa svo sem á langtímabreytingum á grunnvatnsrennsli vegna loftslagsbreytinga, eða einhverju sé ógnað hvað varðar öryggi mannvirkja.

- Ráð varðandi framtíðarvöktun
Gerð verður grein fyrir þeim tillögum hér á eftir í ljósi þess „Hvort eitthvað mætti bæta í þekkingu okkar á auðlindinni.“

6.3 Tillögur

Neðangreindar tillögur byggja á þeirri niðurstöðu að almennt séð sé mjög góð þekking á grunnvatnsauðlindinni þar sem mælingar eru fyrir hendi. Ennfremur er vestari hluti Þjórsár- Tungnaárvæðisins berg frá síðustu ísöld og alla jafna þétt svo ólíklegt er að viðbótarrannsóknir þar muni auka á þekkingu á auðlindinni svo nokkru nemi. Hins vegar má bæta þekkinguna og auka rekstraröryggi með því að auka mælingar austan og norðan við núverandi mælisvæði, eins og sýnt er á mynd 51.

Mikilvægi 1

1. Hvað snertir beinar aðgerðir varðandi grunnvatn þarf að auka þekkingu á lágrennsli við Maríufoss. Setja þarf niður mælingar á grunnvatnshæð eða rennsli eftir því sem við á og gerlegt er í Gjáfjöllum austan Hraunvatna, við Tungnaárfarveginn yfir til Lónakvíslar og þaðan suður til Jökulgilskvíslar, mynd 51.
2. Ákvarða grunnvatnshæð NA yfirborðsvatnaskila Þjórsár- Tungnaárvæðisins til að ganga úr skugga um hvar vatnaskil grunnvatnsins liggja. Væntanlega þarf nokkrar grunnar loftborholur til þess.
3. Greining á lágrennsli og þurrkum á helstu rennismælistöðum.
4. Rétt er að áréttu mikilvægi vinnu sem er ótengd þessu verki sem slíku. Hún varðar nauðsyn þess að hafa sem best veðurfarsgögn inn í líkanreikningum sem þessum. Verið er að ljúka endurkeyrslum á veðurfarspáttum með Harmonie veðurlíkaninu. Með tilkomu þess gagnasafns er betur hægt að segja til um úrkomu og leysingu. Nákvæmari upplýsingar um þessi atriði auka gildi allra líkanreikninga verulega. Það gæti verið hjálplegt að endurvinna samanburð um tengsl úrkomu og vatnshæð ar með nýju gagnasafni, sbr. kaflann Tengsl úrkomu og vatnshæðar.
5. Kanna hvort ekki sé rétt að nota tvenns konar stillingar á rennislíkönum sem notuð eru. Annað verði kvarðað við meðalrennsli vatnsárs en hitt við lágrennsli út frá niðurstöðu í lið 2. Þessi líkön verði keyrð samhliða svo rekstraraðilar fái tilfinningu fyrir óvissubili.

Mikilvægi 2

1. Skynsamlegt væri að setja niður borholur í grennd við upptakakvíslar Rangár svo unnt væri að fylgjast með hve mikið færi niður Land.
2. Gerð yfirborðs og grunnvatnslíkans sem næði yfir Þjórsár- Tungnaárvæðið ásamt Ytri- og Eystri-Rangá. Slíkt líkan ætti að geta náð utan um allt það grunnvatn sem hugsanlega ætti uppruna sinn á Tungnaár- Þjórsárvæðinu.
3. Til framtíðar er hugsanlegt til að auka skilning á grunnvatnsauðlindinni almennt að:
 - a. dýpka borholurnar III og TH-11 eða bora nýjar holur sem næðu dýpra. Kjarnagreina þær og mæla vatnsþrýsting í mismunandi hraunlögum. Tilgangurinn væri að ganga úr skugga um hvort grunnvatnið renni fram í mismunandi hæð. Sama gildir um mælingar í hraunsundinu við Bjalla þar sem TH 11 er.
 - b. bora a.m.k. 50 –100 m holu norðan Gjáfjalla til að átta sig á jarðlagaskipan og ganga úr skugga um túlkun þyngdarmælinganna sem vísað er til á bls 24.
 - c. Bora holu/holur í Tungnaárfjallgarðinum innan og utan yfirborðsvatnasviðs Tungnaár svo betur megi fylgjast með breytingum á grunnvatni.

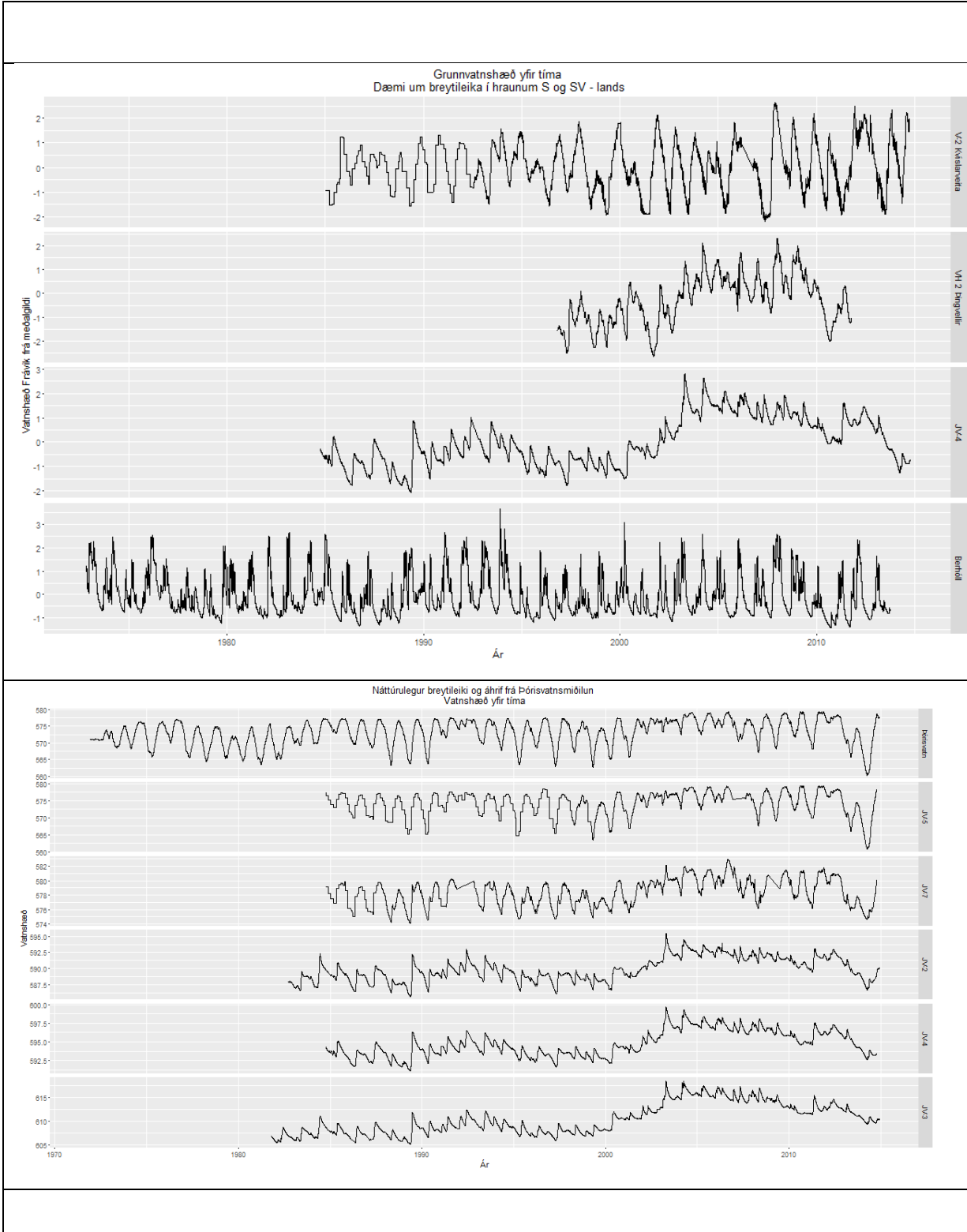
Heimildir

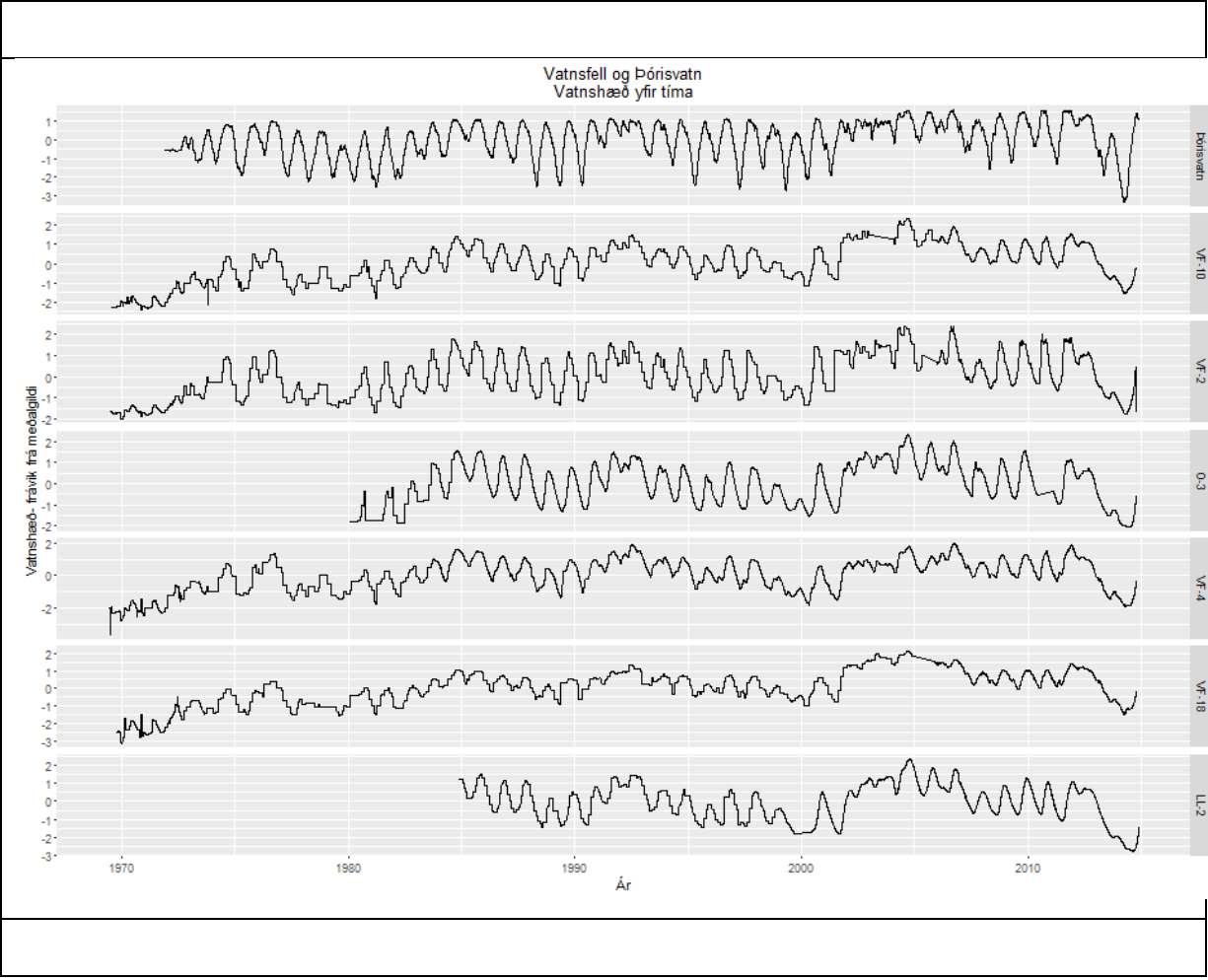
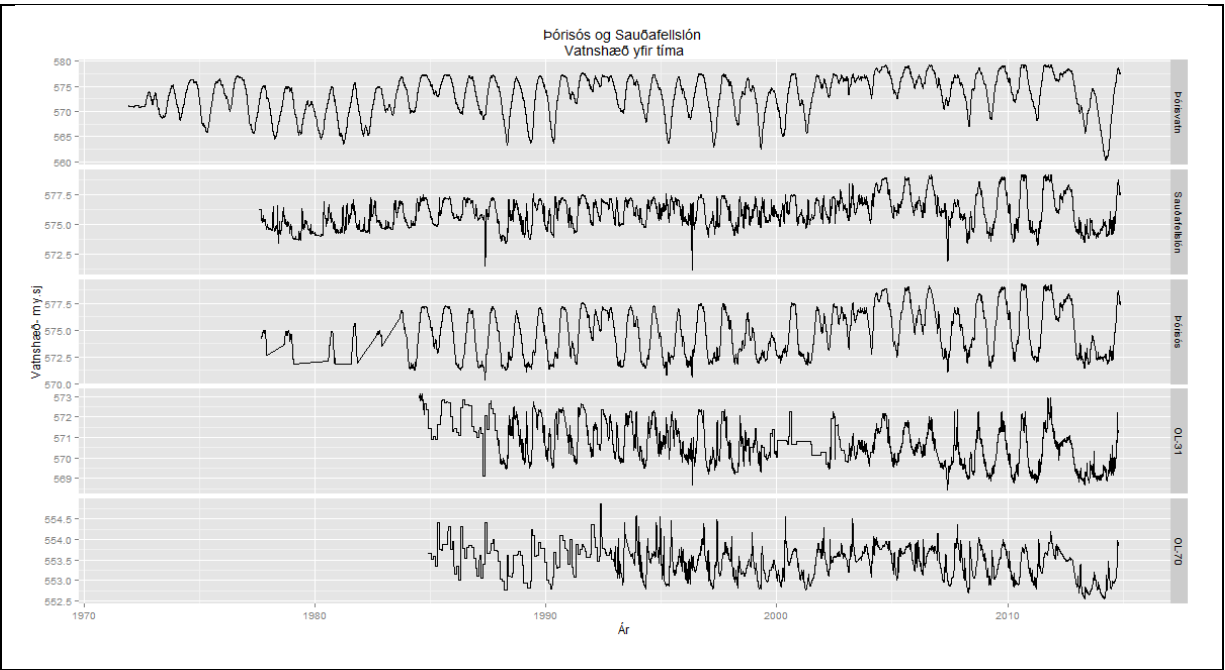
- Árni Hjartarson (1986). Búrfell – Langalda, vatnafarskort 3540 V. Reykjavík: Orkustofnun, Landsvirkjun.
- Árni Hjartarson (1988). Vatnafarskort, Sigalda-Veiðivötn, 3340 V. Reykjavík: Orkustofnun Landsvirkjun.
- Árni Hjartarson (1994). Vatnafarskort, Þjórsárver 1914 III, 1:50.000. Reykjavík: Landmælingar Íslands, Orkustofnun, Landsvirkjun.
- Árni Hjartarson (2011). Víðáttumestu hraun Íslands. Náttúrufræðingurinn, 81(1), 37–49.
- Árni Hjartarson & Snorri P Snorrason (1985). Þórisvatn. Bergrunnur, grunnvatn, straumar og lindir. Reykjavík. Sótt frá: <http://www.os.is/gogn/Skyrslur/OS-1985/OS-85028.pdf>.
- Árni Hjartarson & Freysteinn Sigurðsson (1990). Vatnafarskort, Botnafjöll, 1913 IV, 1:50.000. Reykjavík: Landmælingar Íslands, Orkustofnun, Landsvirkjun.
- Árni Hjartarson & Freysteinn Sigurðsson. (1991). Vatnafarskort, Kóngsás 1813 I, 1:50.000. Reykjavík: Landmælingar Íslands, Orkustofnun, Landsvirkjun.
- Birgir Jónsson (1983). Lektunaryfirlit. Kver með fróðleiksmolum um vatnajarðfræði, dæluþrófanir og lektun (bls. 73 – 84). Reykjavík: Orkustofnun OS-VOD83022/VOD-12 B.
- Cleveland, W.S. (1979). Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. J. Amer. Statist. Assoc, 74, 829–836.
- Cleveland, R.B. Cleveland, W.S., McRae, J.E. & Terpenning, I. (1990). STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on loess. Journal of Official Statistics vol. 6:1 1990.
- Crochet, P. (2013). Gridding daily precipitation with an enhanced two-step spatial interpolation method. Reykjavík: Veðurstofa Íslands Technical report: PC2013-01.
- Crochet, P., Jóhannesson, T., Jónsson, T., Sigurðsson, O., Björnsson, H., Pálsson, F. & Barstad, I. (2007). Estimating the spatial distribution of precipitation in Iceland using a linear model of orographic precipitation. Journal of Hyrometerology, 8(6), 1285–1306.
- Elsa G. Vilmundardóttir (1977). Tungnaárhraun Jarðfræðiskýrsla. Reykjavík: Orkustofnun OS-ROD 7702.
- Freysteinn Sigurðsson & Kristinn Einarsson (1988). Groundwater Resources of Iceland – Availability and Demand. Jökull, 38, 38 – 53.
- Gerður Stefánsdóttir & Davíð Egilson (2014). Vatnsformfræðilegir gæðapættir – yfirlit yfir úrvinnslumöguleika. Reykjavík: Veðurstofa Íslands greinargerð GSt/DE-2014-02.
- Haukur Tómasson, Helgi Gunnarsson, & Páll Ingólfsson (1976). Langölduveita. Rannsókn á tilraunalóni við Tungnaá. Reykjavík. Sótt frá: <http://www.os.is/gogn/Skyrslur/1976/OS-ROD-7642.pdf>
- Ingibjörg Kaldal; Elsa G. Vilmundardóttir & Guðrún Larsen (1986). Jarðgrunnskort, Sigalda-Veiðivötn 3340 J.. Reykjavík: Orkustofnun; Landsvirkjun.

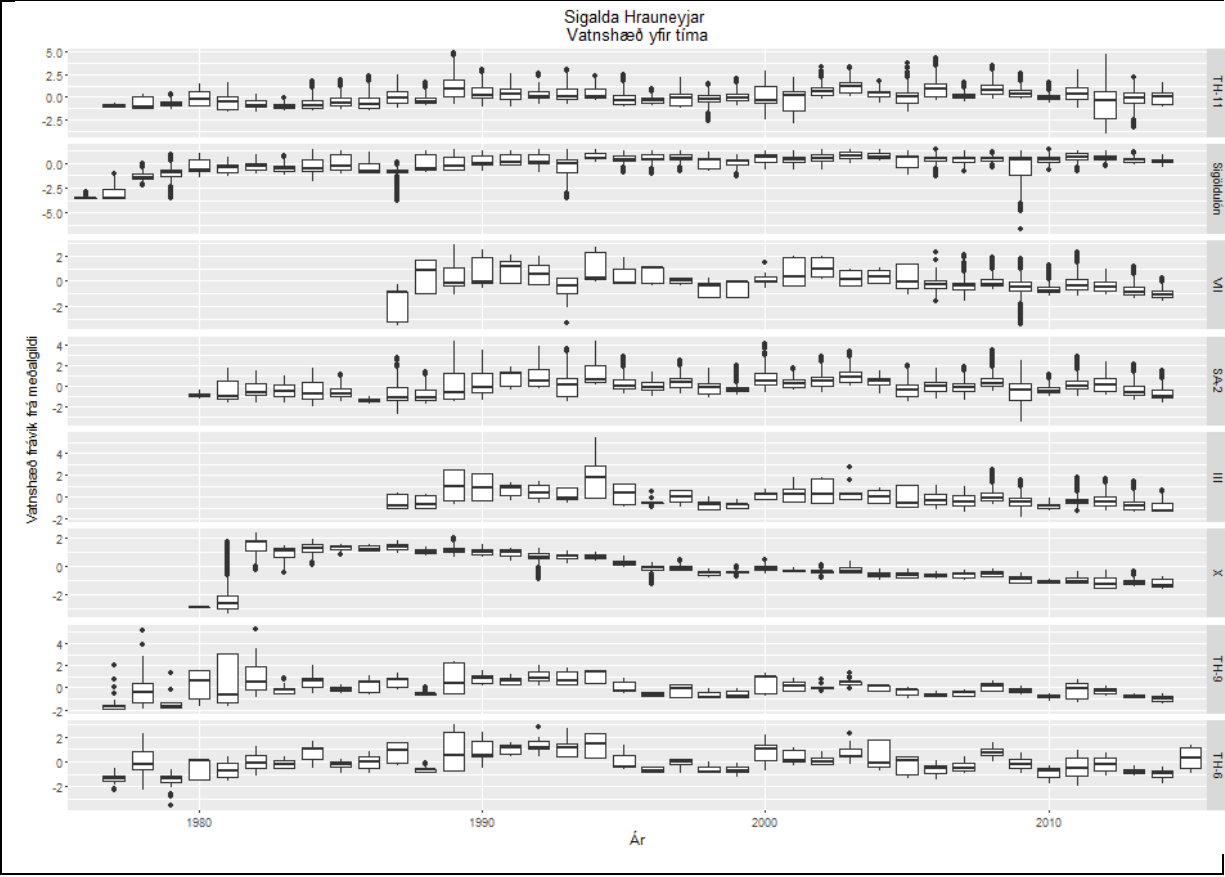
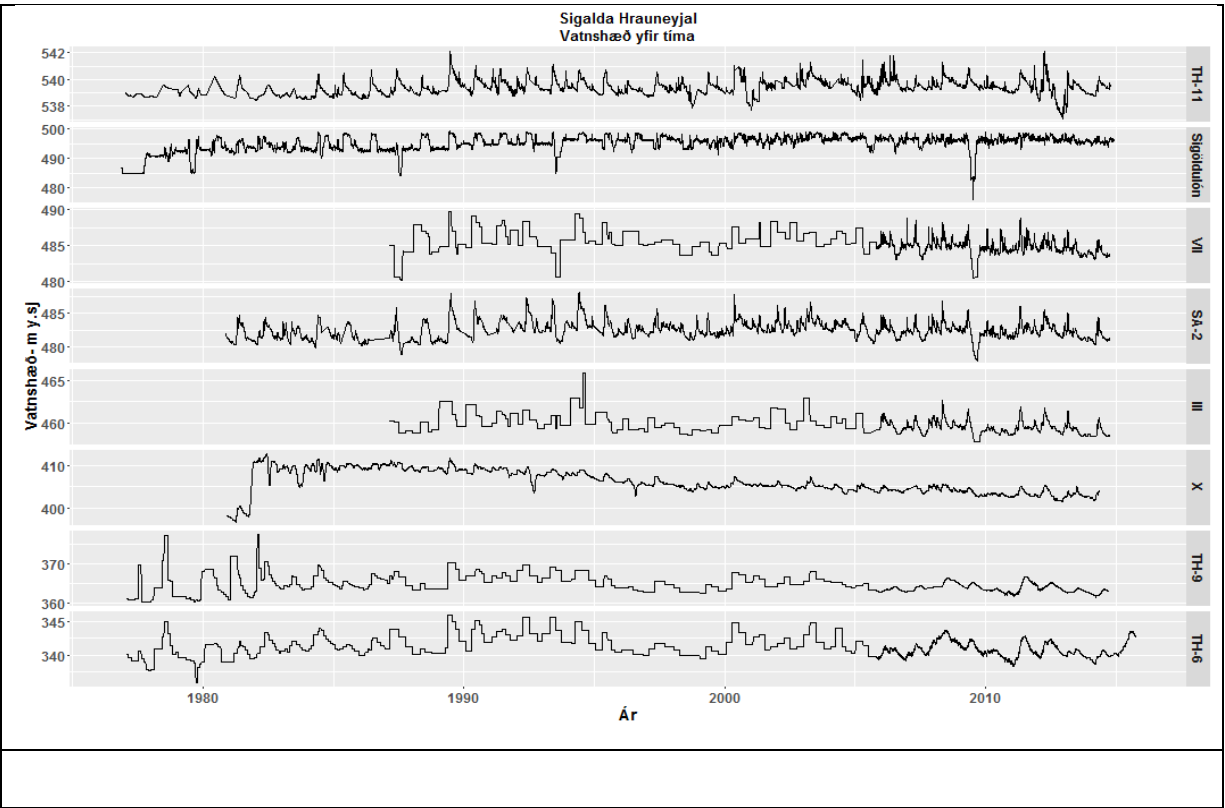
- Ingibjörg Kaldal; Elsa G. Vilmundardóttir & Guðrún Larsen (1990). Jarðgrunnskort, Botnafjöll 1913 IV J., Reykjavík.
- Ingibjörg Kaldal; Elsa G. Vilmundardóttir & Guðrún Larsen (1999). Jarðgrunnskort, Nyrðri Háganga 1914 II-J. Reykjavík: Landmælingar Íslands, Orkustofnun; Landsvirkjun.
- Ingibjörg Kaldal; Elsa G. Vilmundardóttir; Guðrún Larsen (2001). Jarðgrunnskort, Tungnaárjökull 1913 I-J, 1:50.000. Reykjavík: Landmælingar Íslands, Orkustofnun; Landsvirkjun.
- Ingibjörg Kaldal; Elsa G. Vilmundardóttir; Guðrún Larsen (1986). Jarðgrunnskort, Búrfell-Langalda 3540 J, 1:50.000. Orkustofnun og Landsvirkjun. Reykjavík: Orkustofnun; Landsvirkjun.
- Ingibjörg Kaldal & Skúli Víkingsson (1991). Jarðgrunnskort, Kóngsás 1813 I J, 1:50.000. Reykjavík: Landmælingar Íslands, Orkustofnun; Landsvirkjun.
- Ingibjörg Kaldal & Skúli Víkingsson. (1993). Jarðgrunnskort, Þjórsárver 1914 III J, 1:50.000. Reykjavík: Landmælingar Íslands, Orkustofnun; Landsvirkjun.
- Jóhannesson, P., Arnalds, S., Egilson, D. & Jónasson, B. (1977). Sigalda Hydroelectric Project. Summary of impounding data until November 1977 and reevaluation of the hydro-geological conditions. Reykjavík. Landsvirkjun.
- Jóhannesson, P., Arnalds, S., Egilson, D. & Jónasson, B. (1978). Sigalda Hydroelectric Project Summary of impounding data until November 1977 and reevaluation of the hydro-geological conditions. Volume II Exhibits. Landsvirkjun.
- Jóhannesson, T., Aðalgeirsdóttir, G., Björnsson, H., Crochet, P., Elíasson, E.B., Guðmundsson, S., Jónsdóttir, J.F., Ólafsson, H., Pálsson, F., Rögnvaldsson, Ó., Sigurðsson, O., Snorrason, Á., Sveinsson, Ó.G.B. & Thorsteinsson, Th. (2007). Effect of climate change on hydrology and hydro-resources in Iceland. Reykjavík: National Energy Authority, Rep. OS-2007/011.
- Jónasson, B., Egilson, D. & Hólmjárn, J. (1978). Groundwater and leakage studies for the Sigalda Project Southern Central Iceland. In III International Congress of Engineering Geology Madrid, Spain, September 4-8, 1978 (p. 22, 10 exhibitions). Reykjavik: Orkustofnun OS-ROD-7825.
- Jónasson, B. & Guðmundsson, S.R. (1978). Sigalda Hydroelectric Project Progress reporting on 3rd and 4th impounding Groundwater and leakage studies on basis of chemical analysis. Reykjavík: Landsvirkjun.
- Jónsdóttir, J.F. (2008). A runoff map based on numerically simulated precipitation and a projection of future runoff in Iceland / Une carte d'écoulement basée sur la précipitation numériquement simulée et un scénario du futur écoulement en Islande, Hydrological Sciences Journal, 53:1, 100-111, DOI: 10.1623/hysj.53.1.100.
- Larsen, G. (1984). Recent Volcanic History of the Veiðvötn fissure swarm, Southern Iceland - an approach to volcanic risk assessment. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 22, 33-58.
- Lugten, I.W. (2013). Application of the program HydroOffice 2010 on river discharge data in Iceland. Reykjavík: Greinargerð IWL/2013-01, Veðurstofa Íslands.

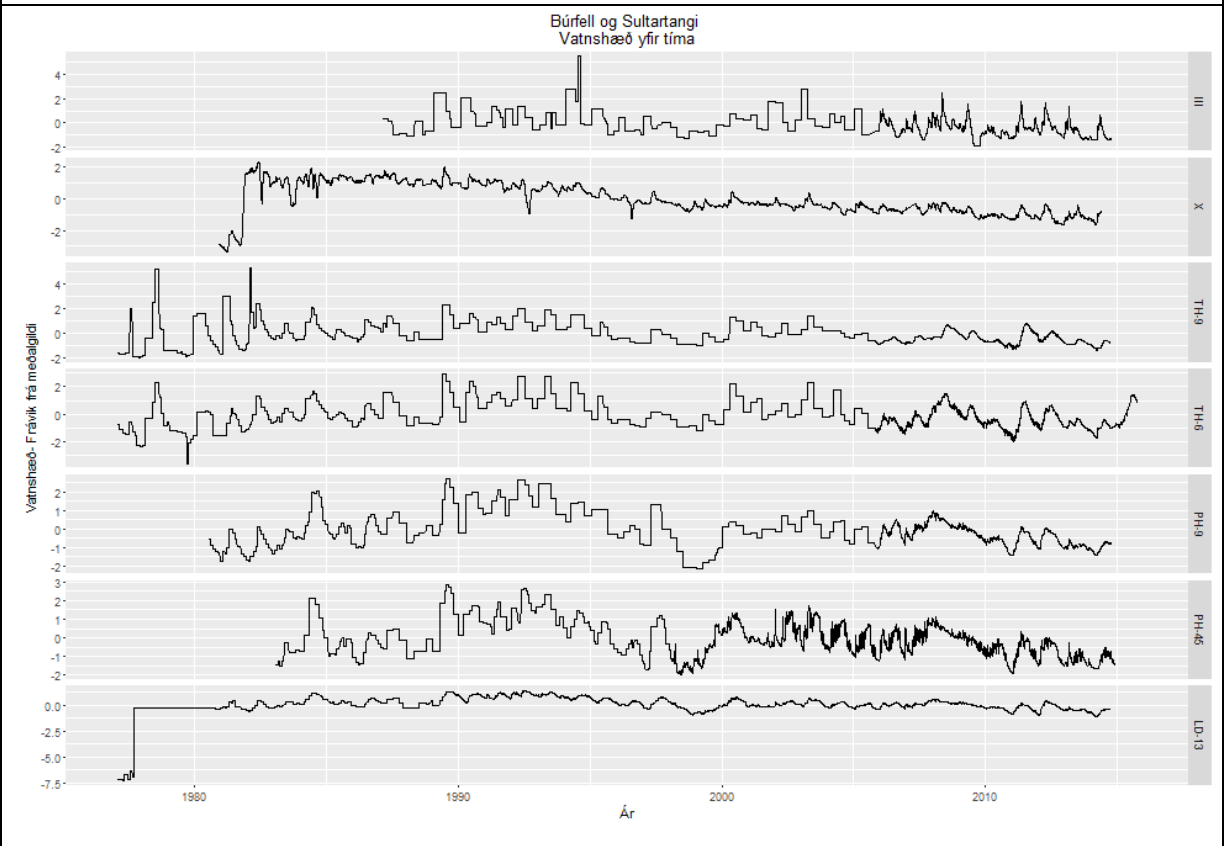
- Magnús Tumi Guðmundsson & Þórdís Högnadóttir (2002). Þykktir hrauna norðan og austan Þórisvatns. Niðurstöður þyngdarmælinga. Reykjavík: Raunvísindastofnun Háskólans. RH-29-2003. Unnið fyrir Landsvirkjun.
- Verkfræðistofan Vatnaskil (1985). Þórisvatn. Leki úr Þórisvatni. Reykjavík: Landsvirkjun.
- Verkfræðistofan Vatnaskil (1988). Þórisvatn. Rennsli og grunnvatnshæð á vatnasviði Köldukvíslar og Tungnaár. Myndir. Reykjavík: Landsvirkjun.
- Verkfræðistofan Vatnaskil (2002a). Þjórsár- Tungnaárvæði Rennslislíkan. Reykjavík: Landsvirkjun
- Verkfræðistofan Vatnaskil (2002b). Þórisvatn. Rennsli og grunnvatnshæð á vatnasviði Köldukvíslar og Tungnaár. Reykjavík: Landsvirkjun.
- Verkfræðistofan Vatnaskil (2009). Tungnaárlón Áhrif á Veiðivatnsvæðið. Reykjavík. Sótt frá: http://www.landsvirkjun.is/Media/Ahrif_a_veidivatnsvaedid_2009.pdf
- Verkfræðistofan Vatnaskil (2010). Þjórsár-Tungnaárvæði Endurskoðun rennslislíkans. Reykjavík: Landsvirkjun.

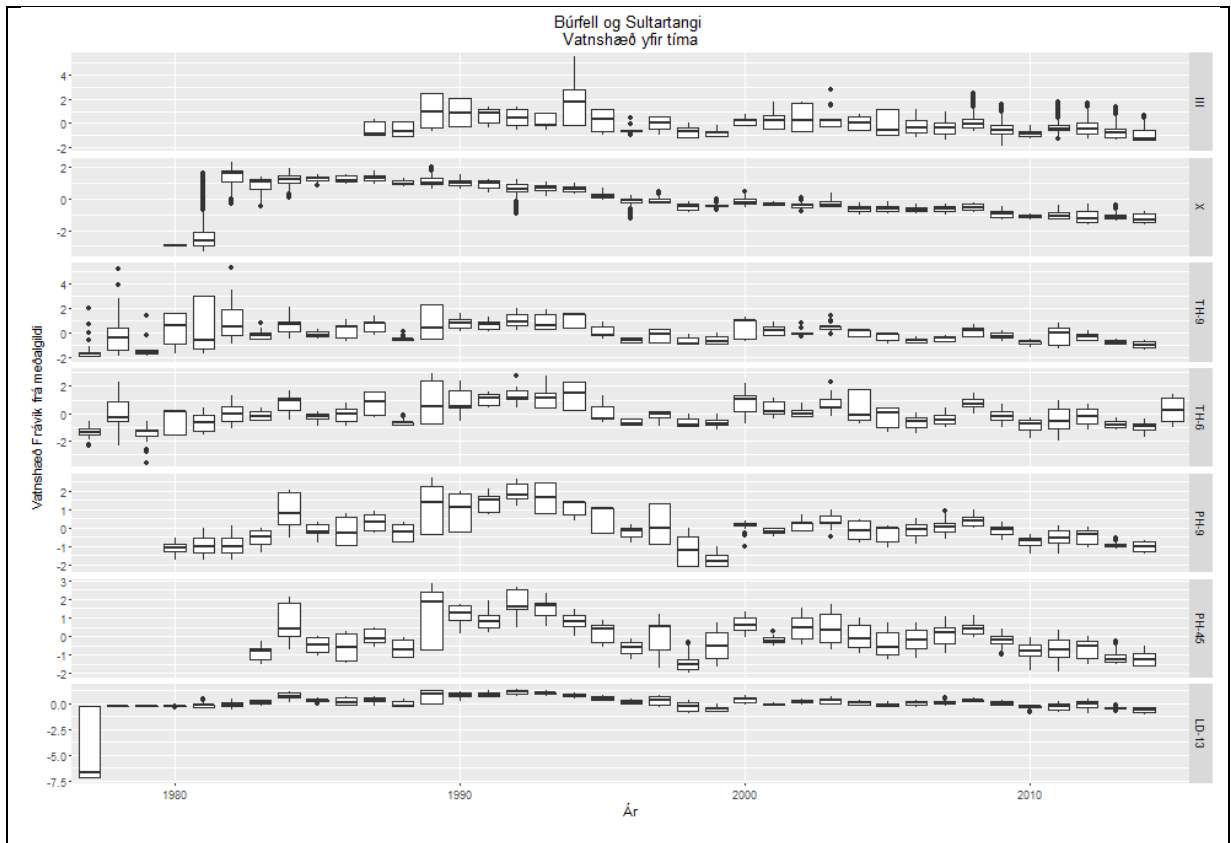
Viðauki I. Dæmi um mæliraðir á nokkrum stöðum











Viðauki II. Aðgreining rennslisþátta

Grasatangi Þórisvatn

Lónhæð m y.sj.

Gögn

575
570
565

Árstíðabundið

4
2
0
-2
-4
-6

Hneigð

576
574
572
568

Leif

4
2
0
-2
-4

1980

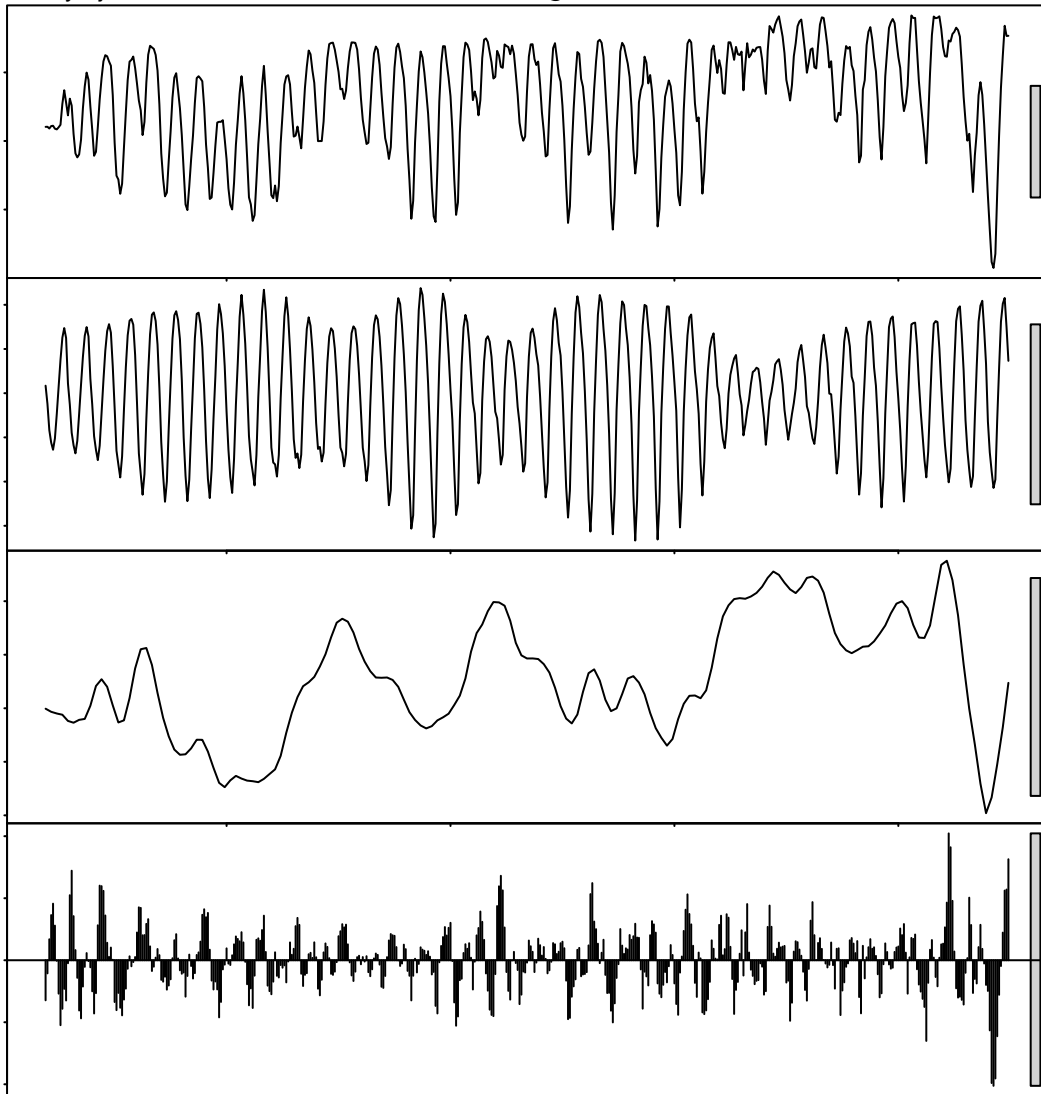
1990

2000

2010

Tími

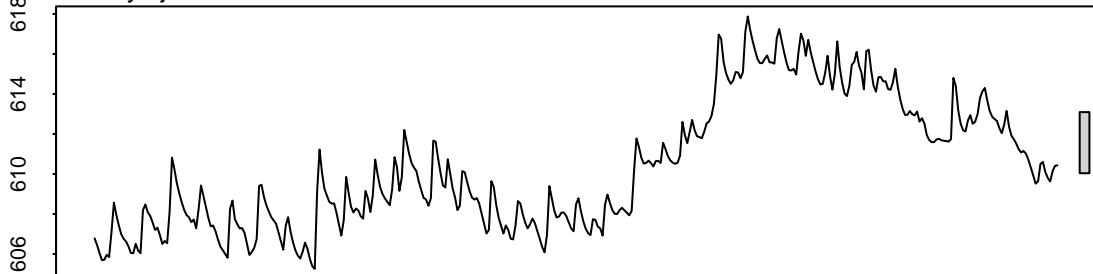
Lónhæð m y.sj.



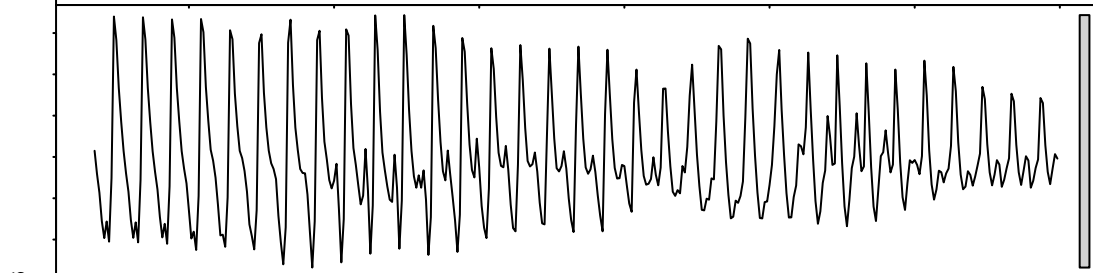
Grunnvatn m y.sj.

JV-3 Þórisvatn

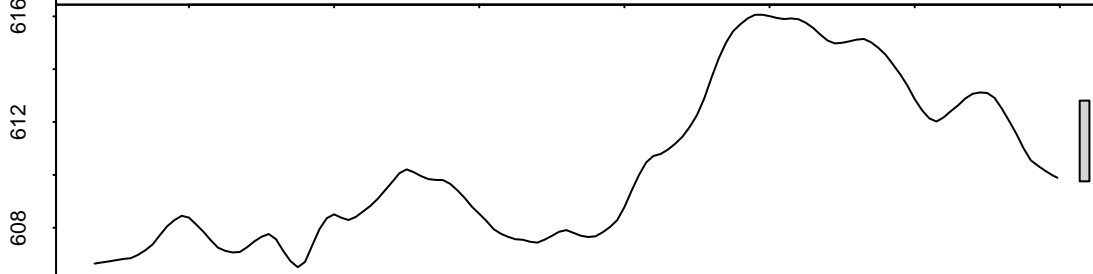
Gögn



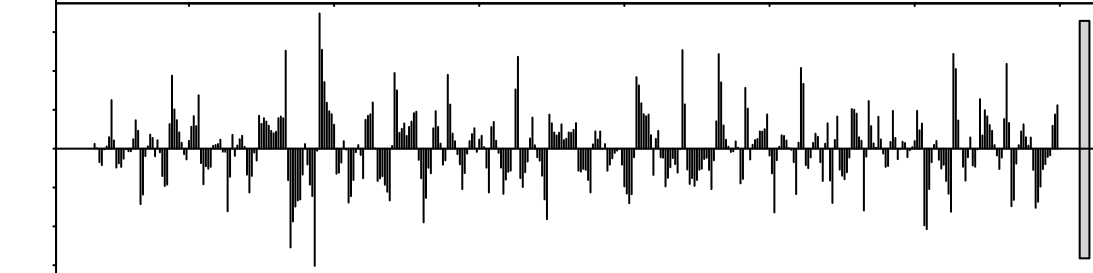
Árstíðabundið



Hneigð



Leif

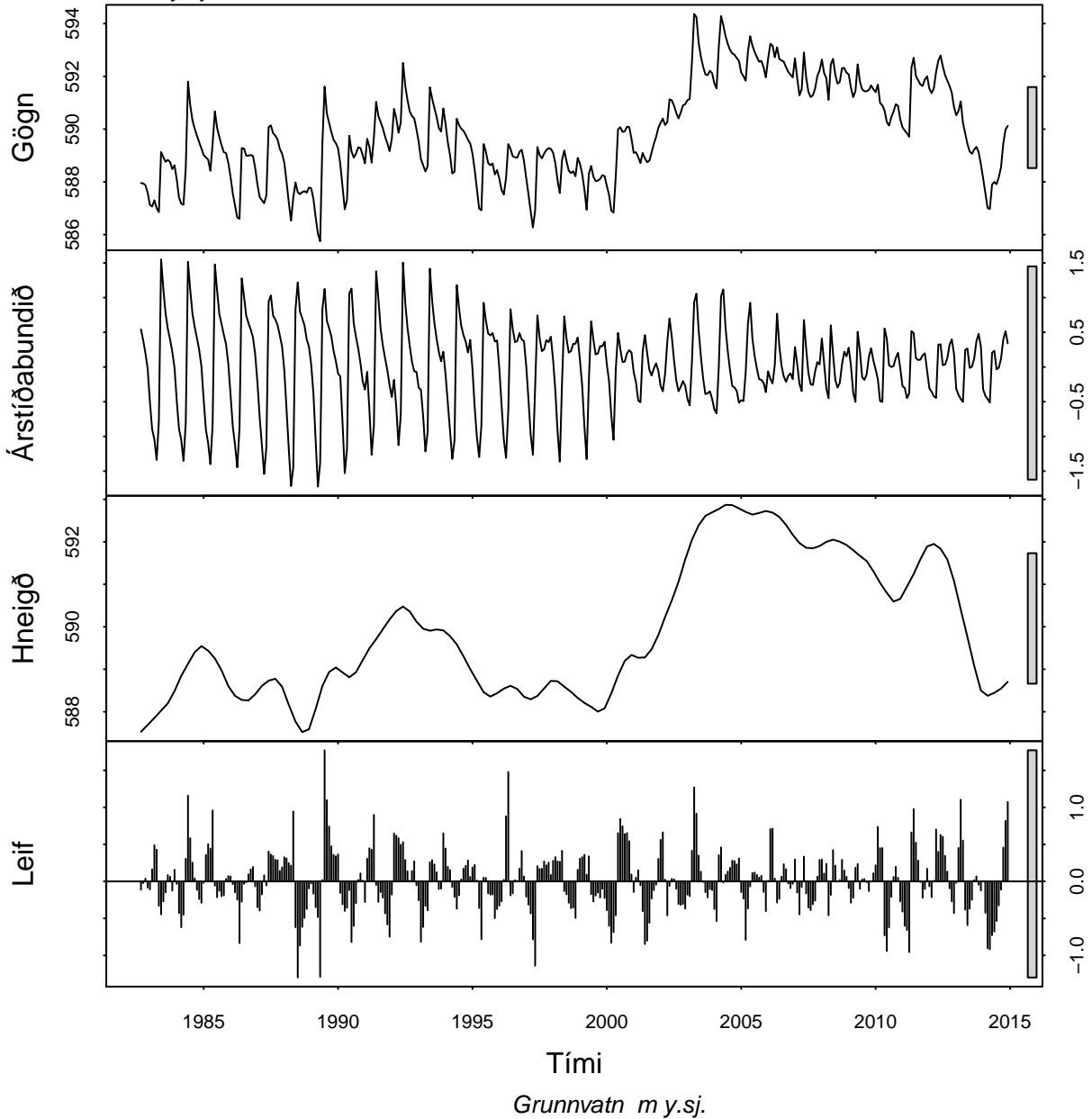


Tími

Grunnvatn m y.sj.

Grunnvatn m.y.sj.

JV-2 Þórsvatn



Grunnvatn m y.sj.

JV-4 Þórisvatn

Gögn

598
596
594
592

Árstíðabundið

1.0
0.5
0.0
-1.0

Hneigð

597
595
593

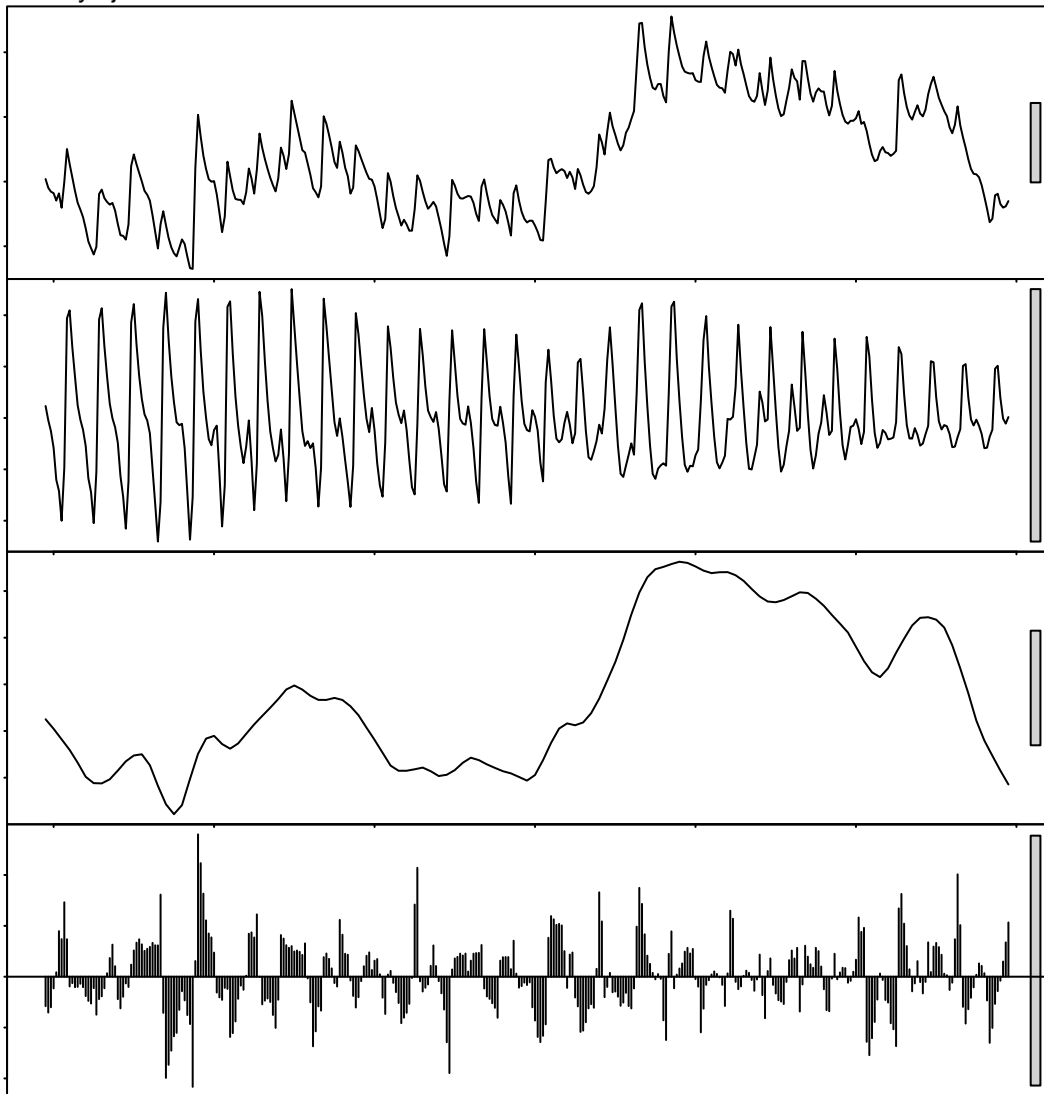
Leif

1.0
0.5
0.0
-1.0

1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015

Tími

Grunnvatn m y.sj.



Grunnvatn m y.sj.

JV-5 Þórisvatn

Gögn

575
570
565

Árstíðabundið

4
2
0
-2
-4
-6

Hneigð

576
574
572
570

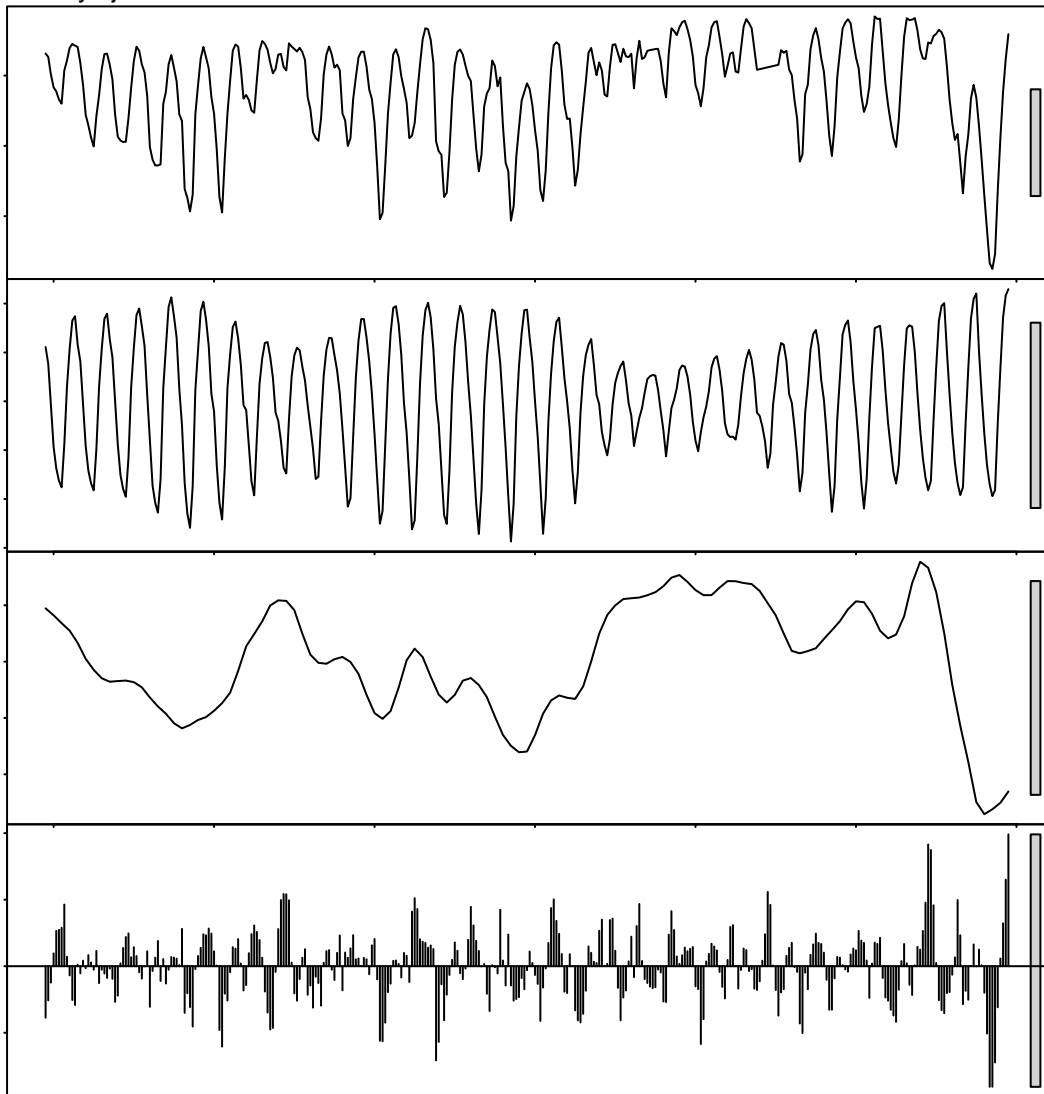
Leif

4
2
0
-2

1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015

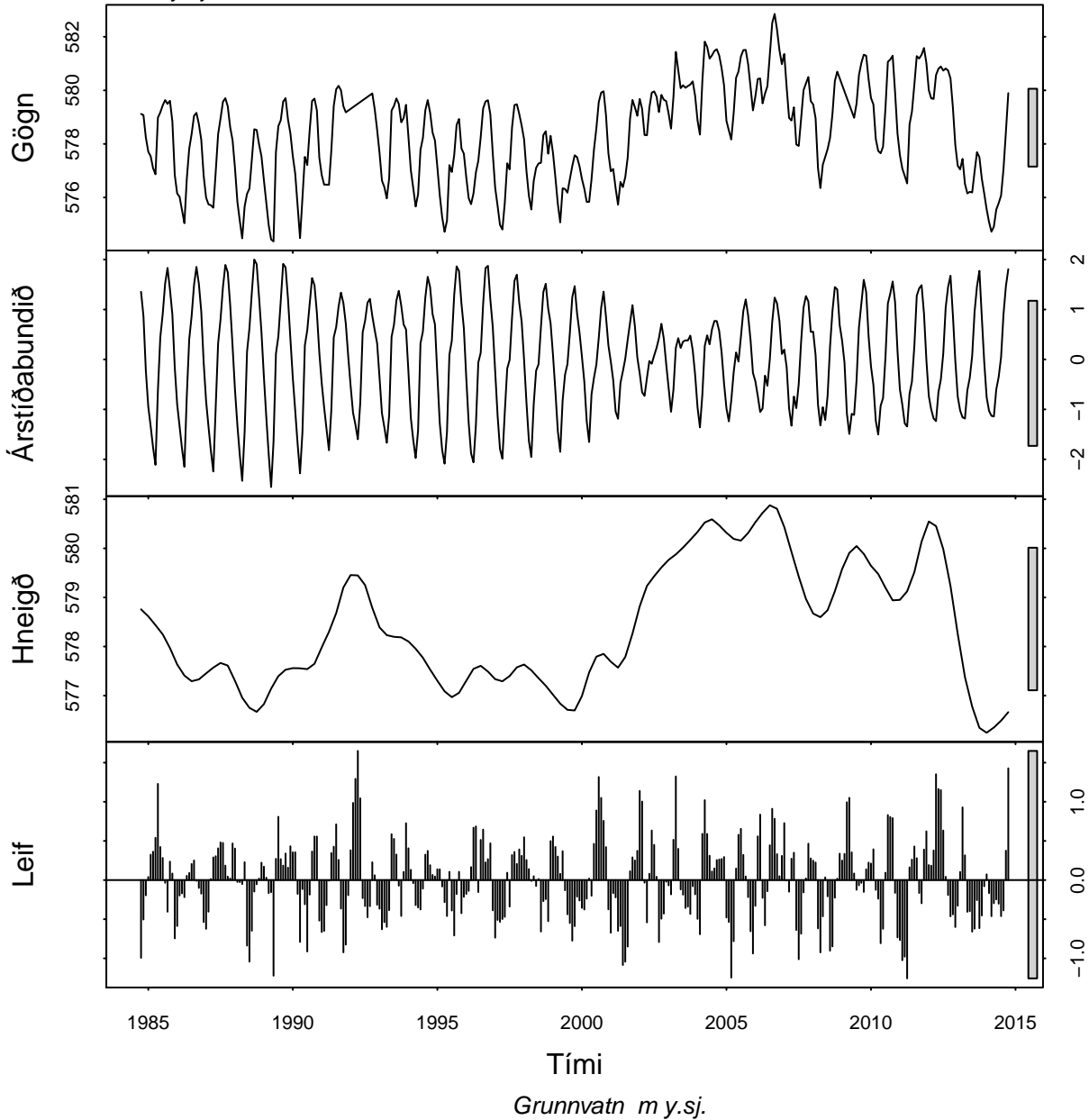
Tími

Grunnvatn m y.sj.



Grunnvatn m y.sj.

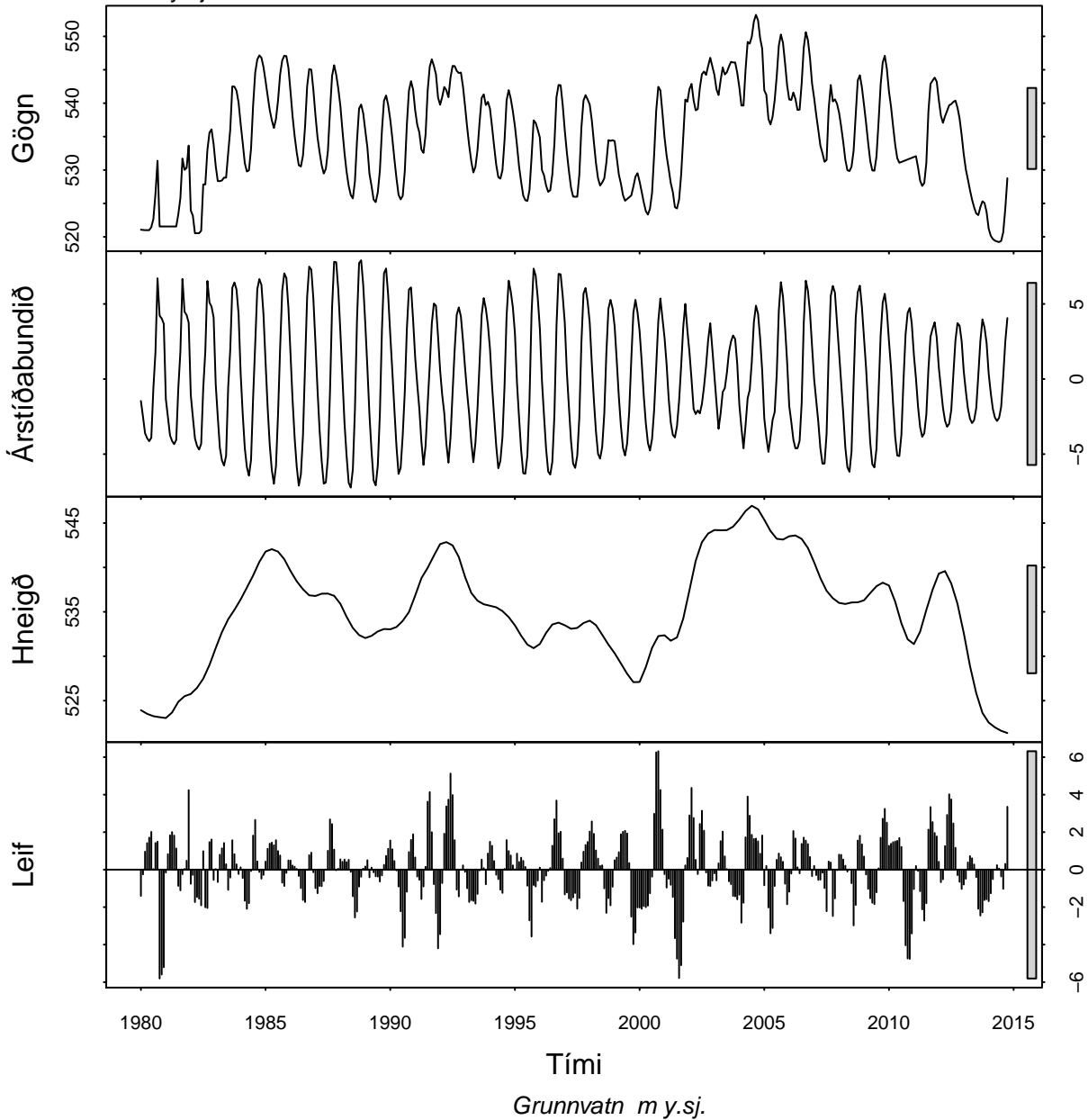
JV-7 Þórisvatn



Grunnvatn m y.sj.

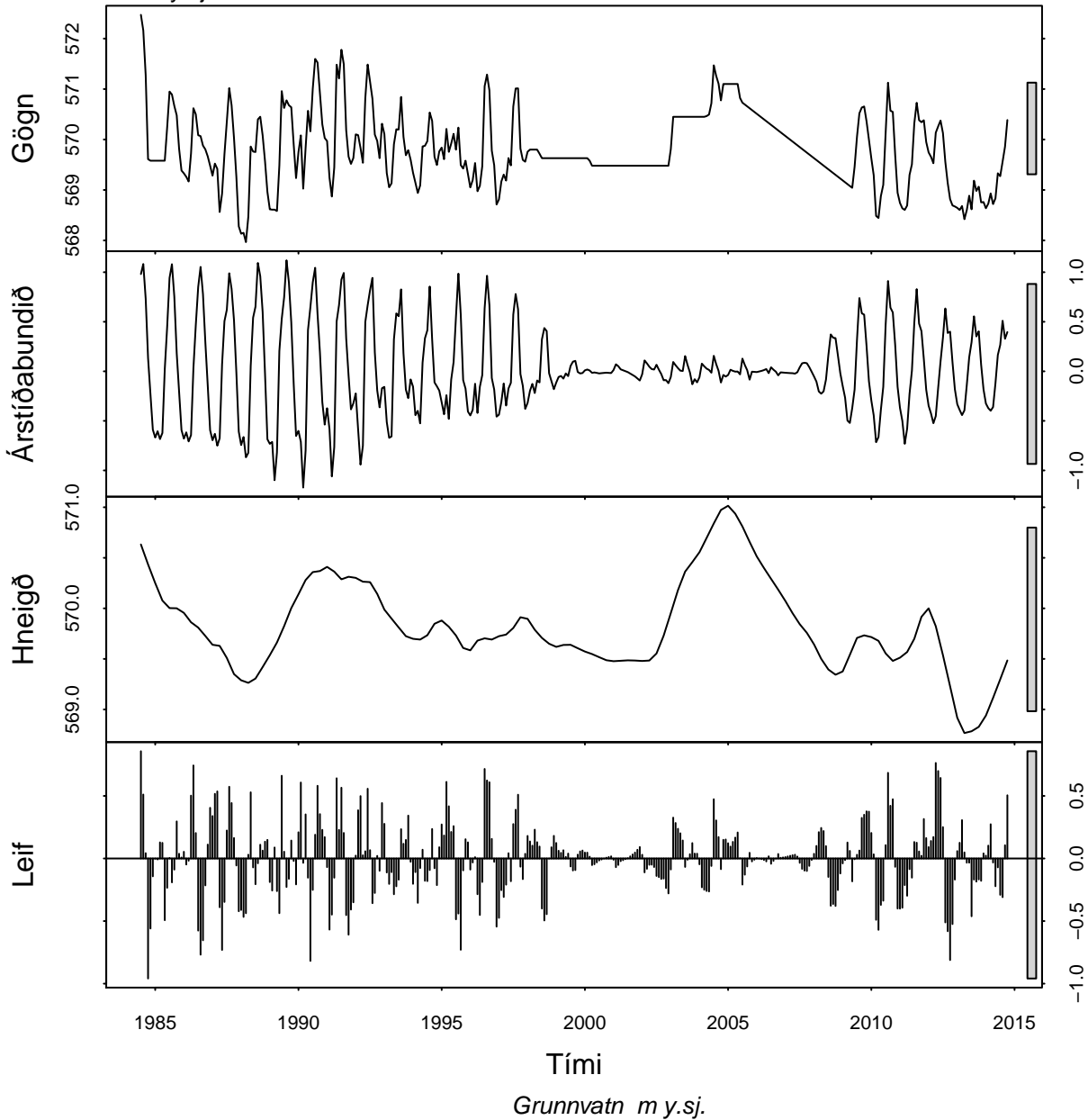
Grunnvatn m y.sj.

0 -3 Þórisvatn



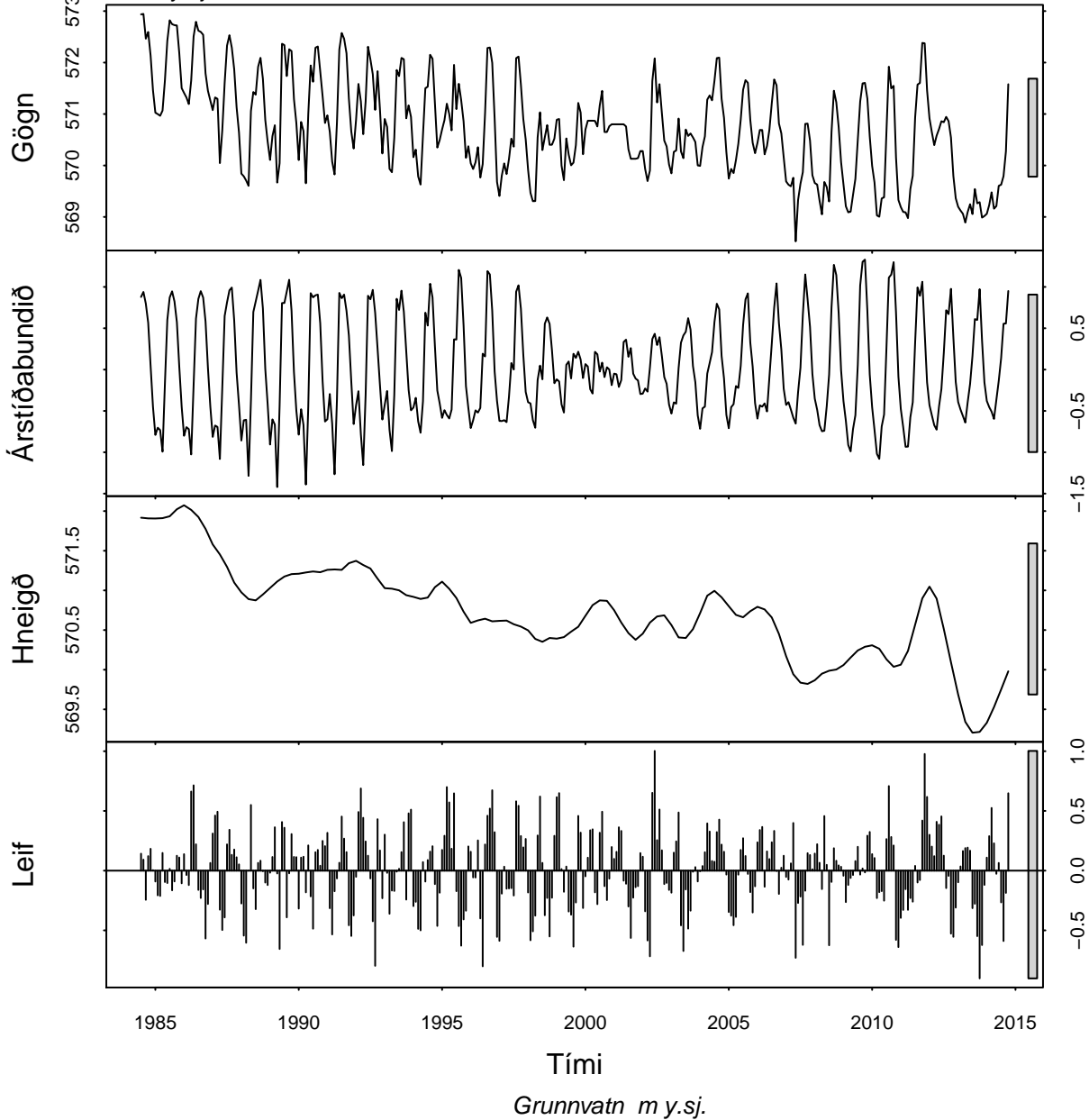
Grunnvatn m y.sj.

OL-30 Þórisvatn



Grunnvatn m y.sj.

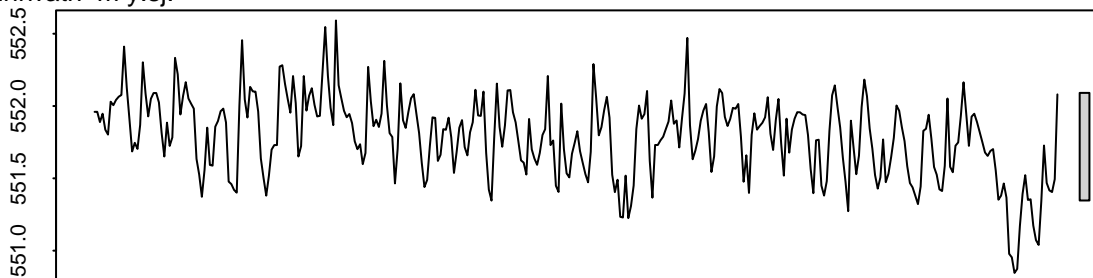
OL-31 Þórisvatn



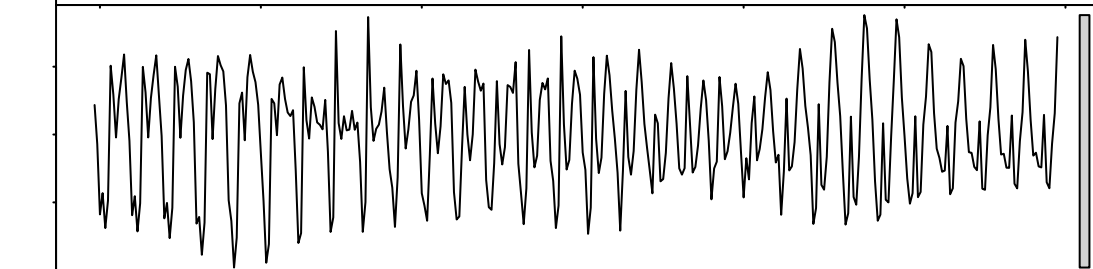
Grunnvatn m y.sj.

OL-72 Þórisvatn

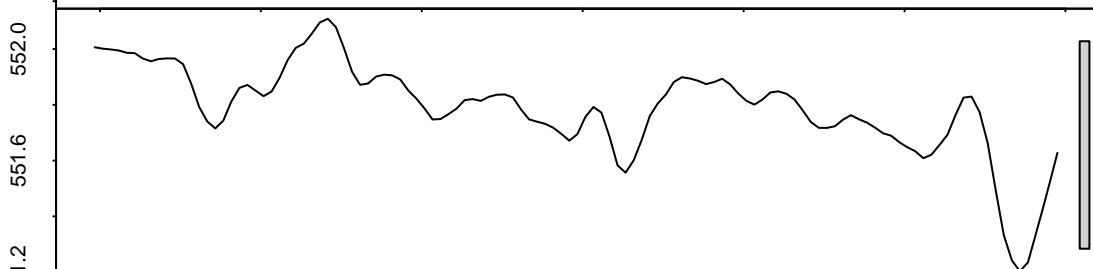
Gögn



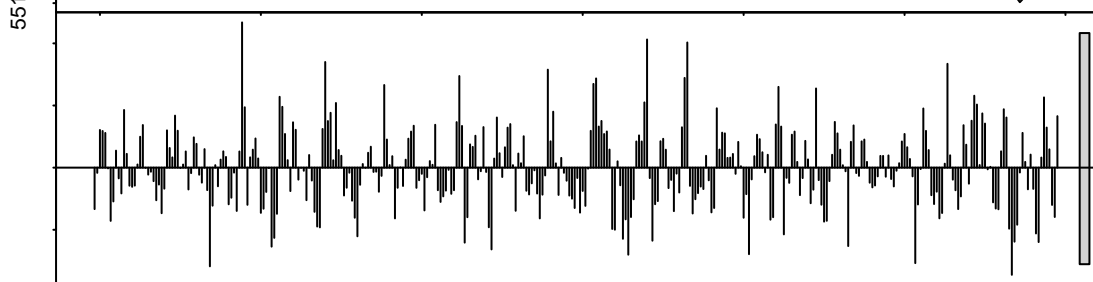
Árstíðabundið



Hneigð



Leif



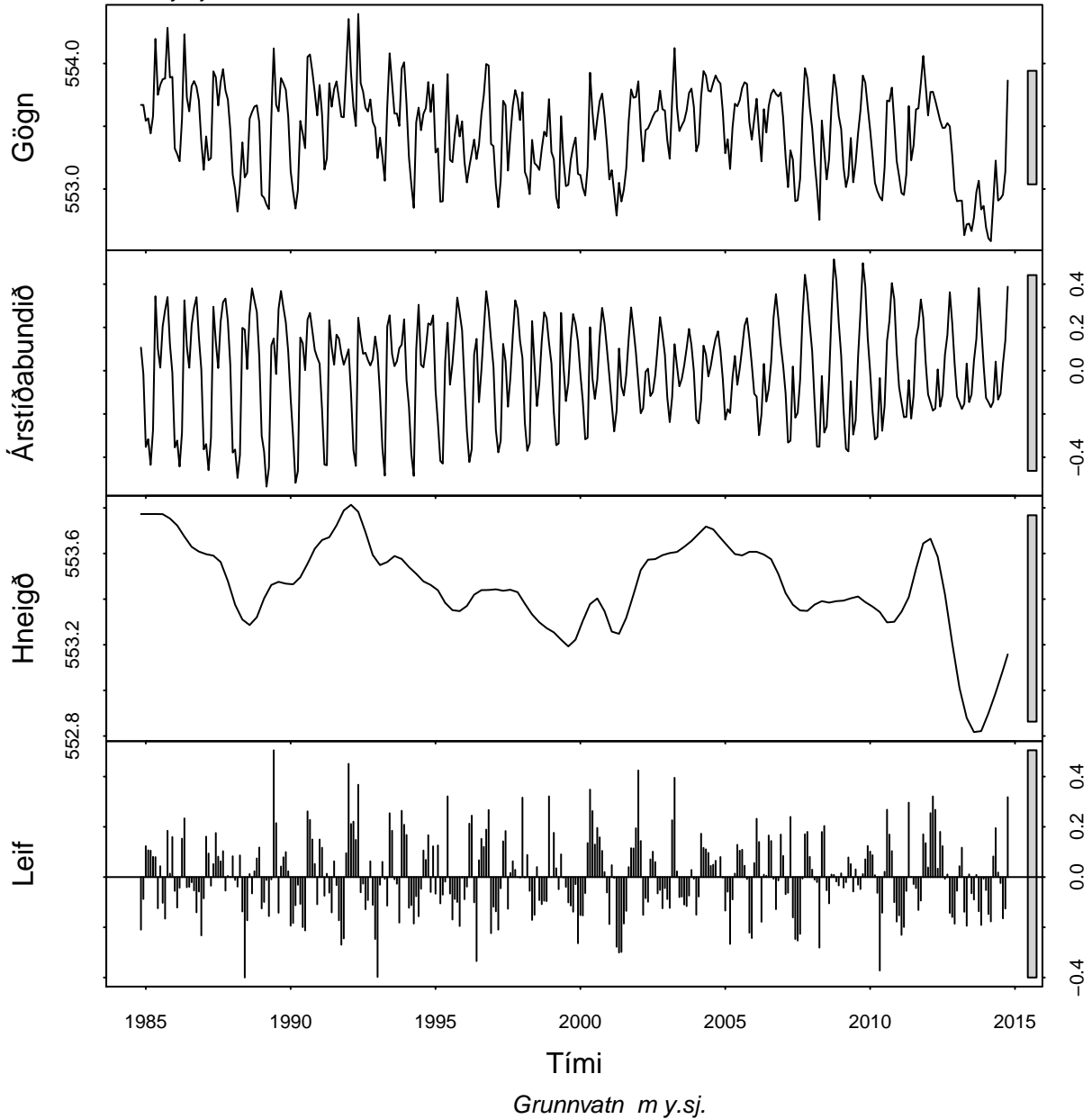
1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015

Tími

Grunnvatn m y.sj.

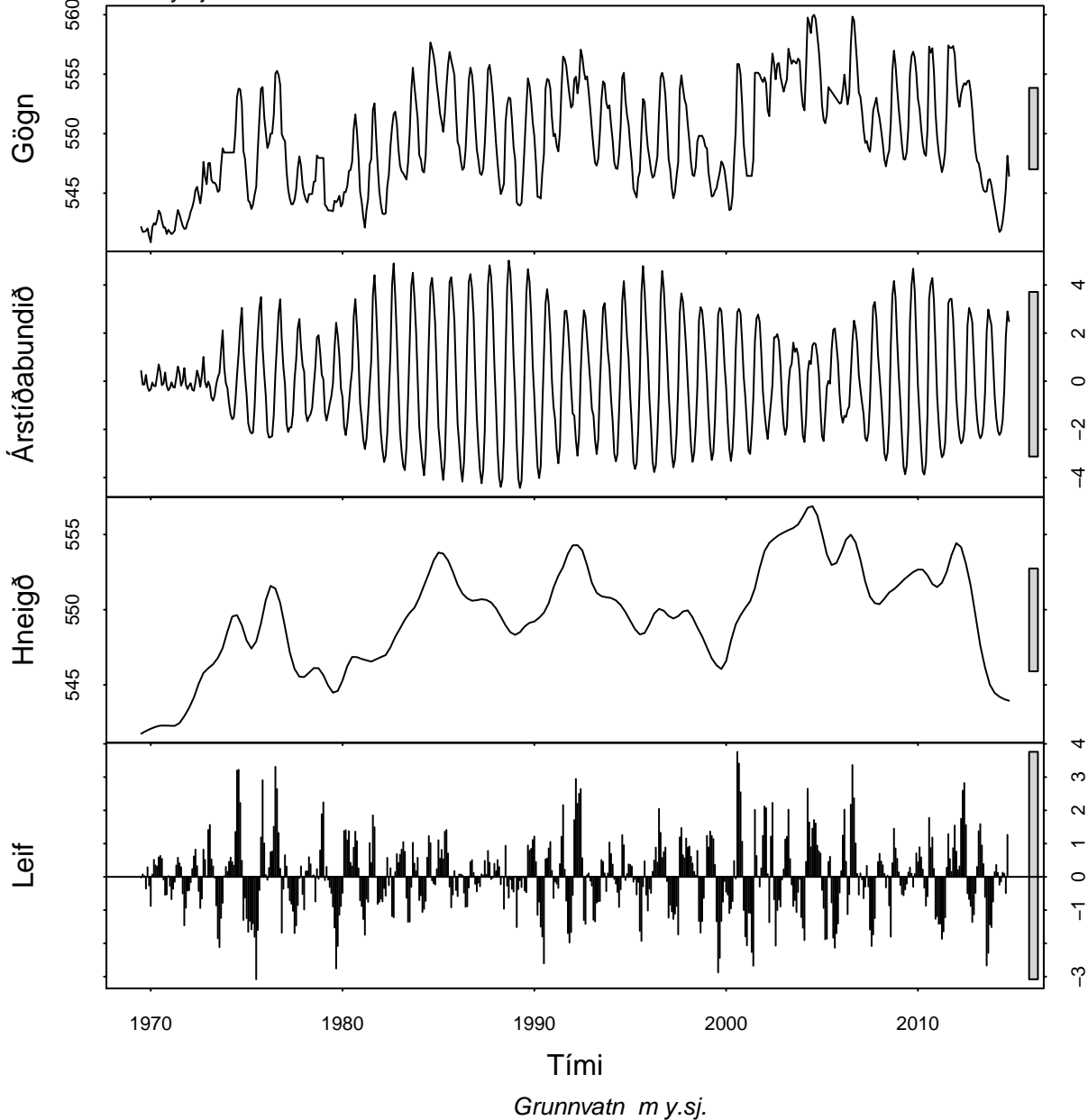
Grunnvatn m y.sj.

OL-70 Þórisvatn



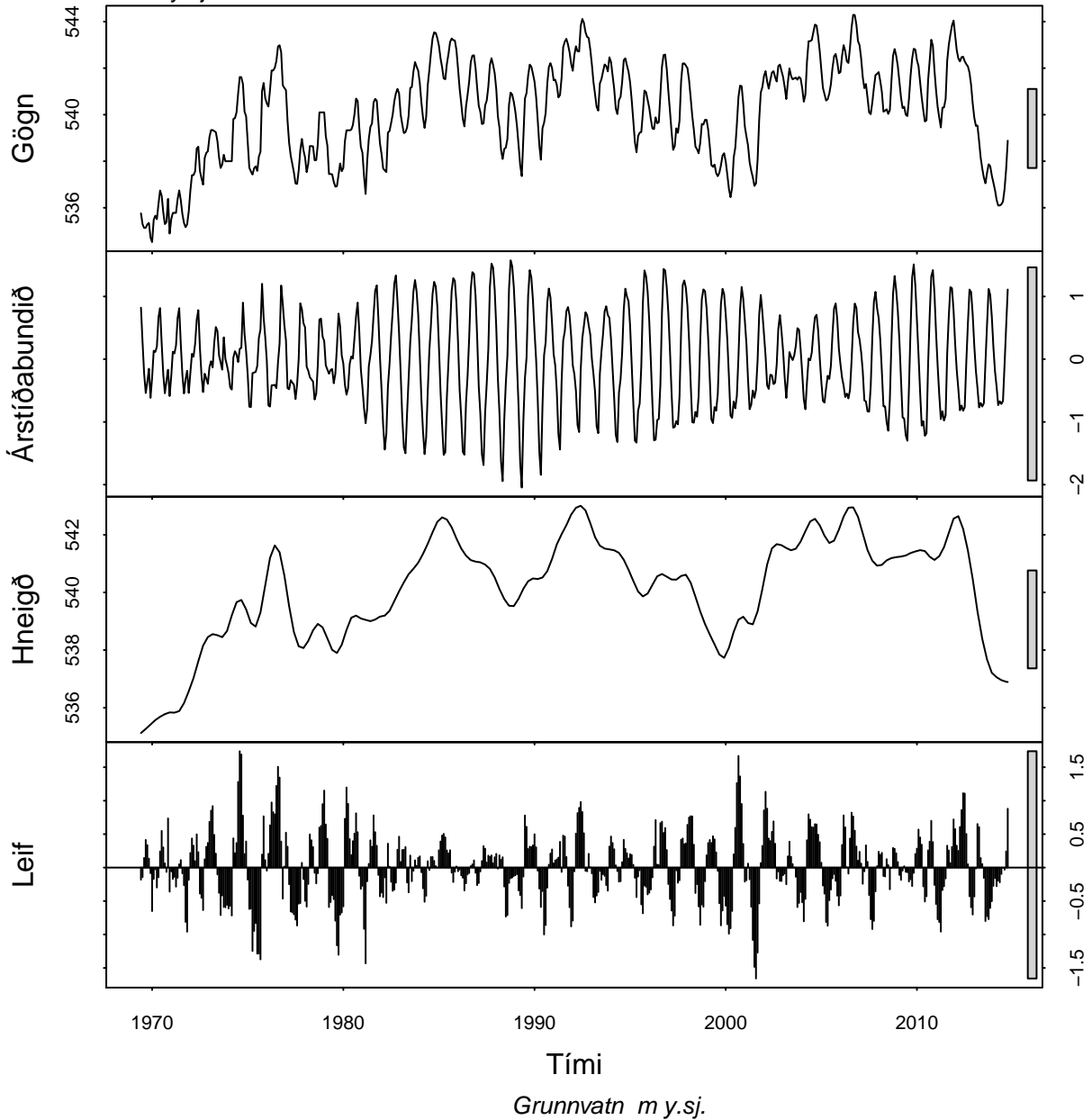
Grunnvatn m y.sj.

VF-2 Vatnsfell



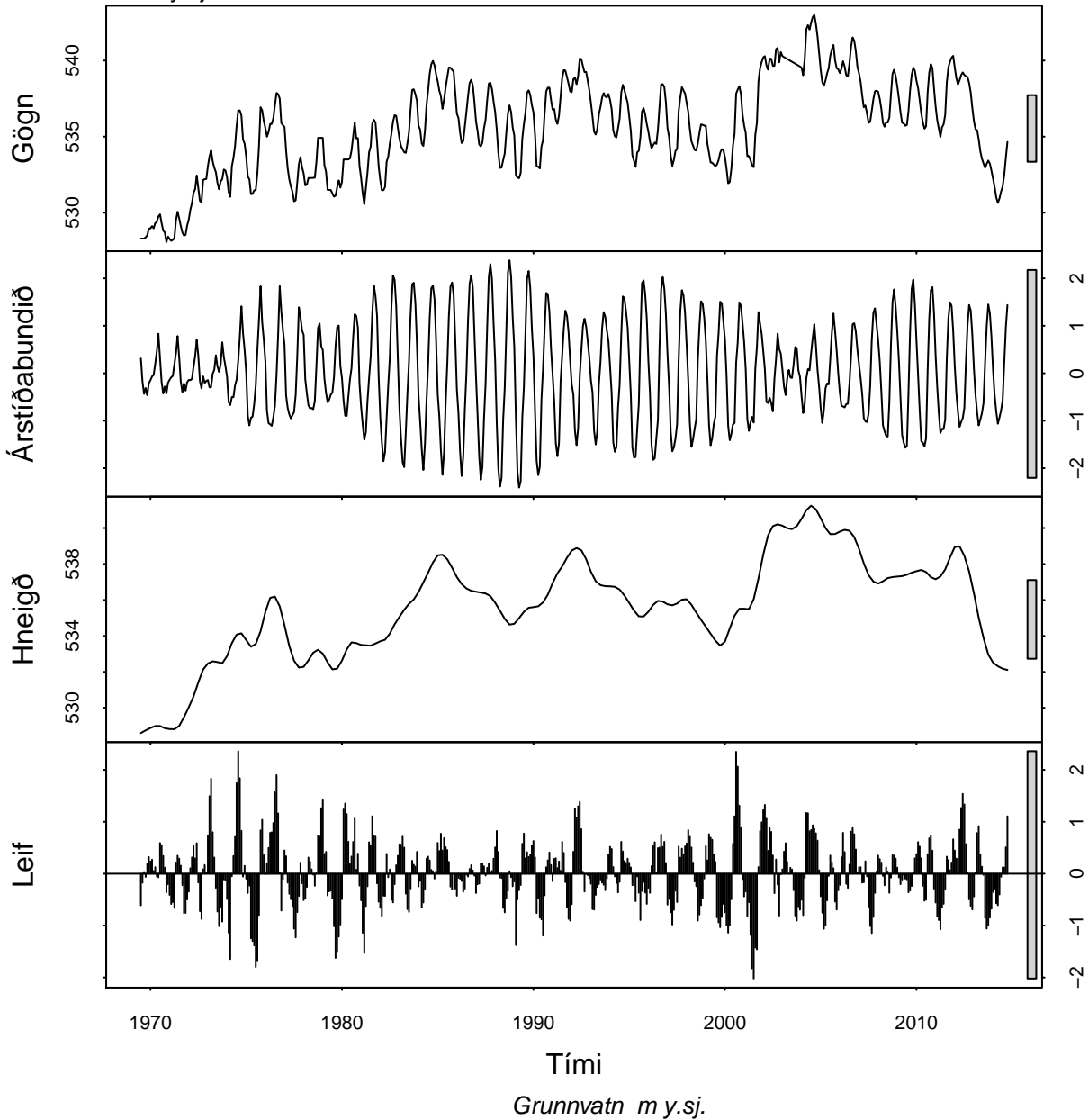
Grunnvatn m y.sj.

VF-4 Vatnsfell



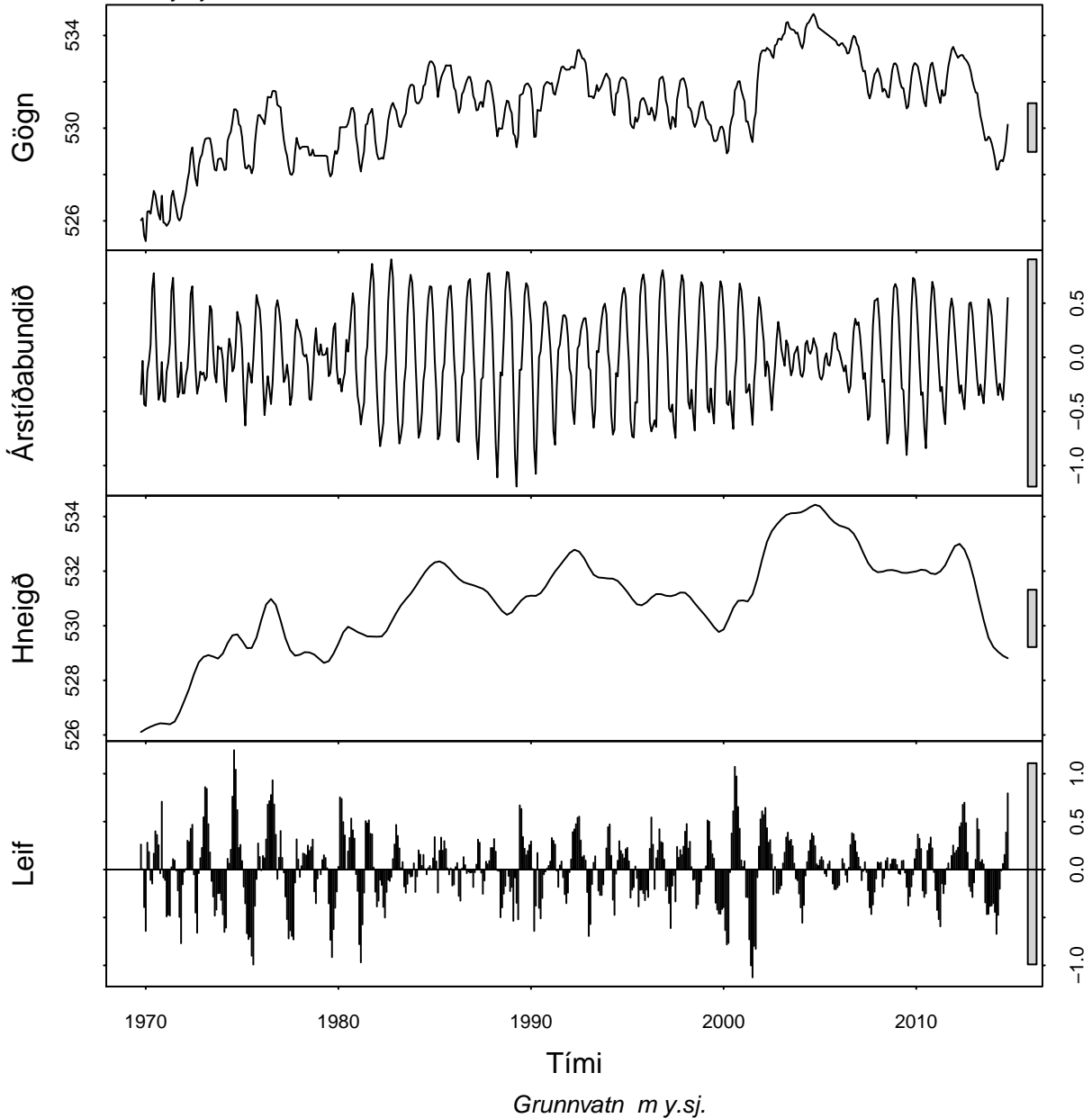
Grunnvatn m y.sj.

VF-10 Vatnsfell



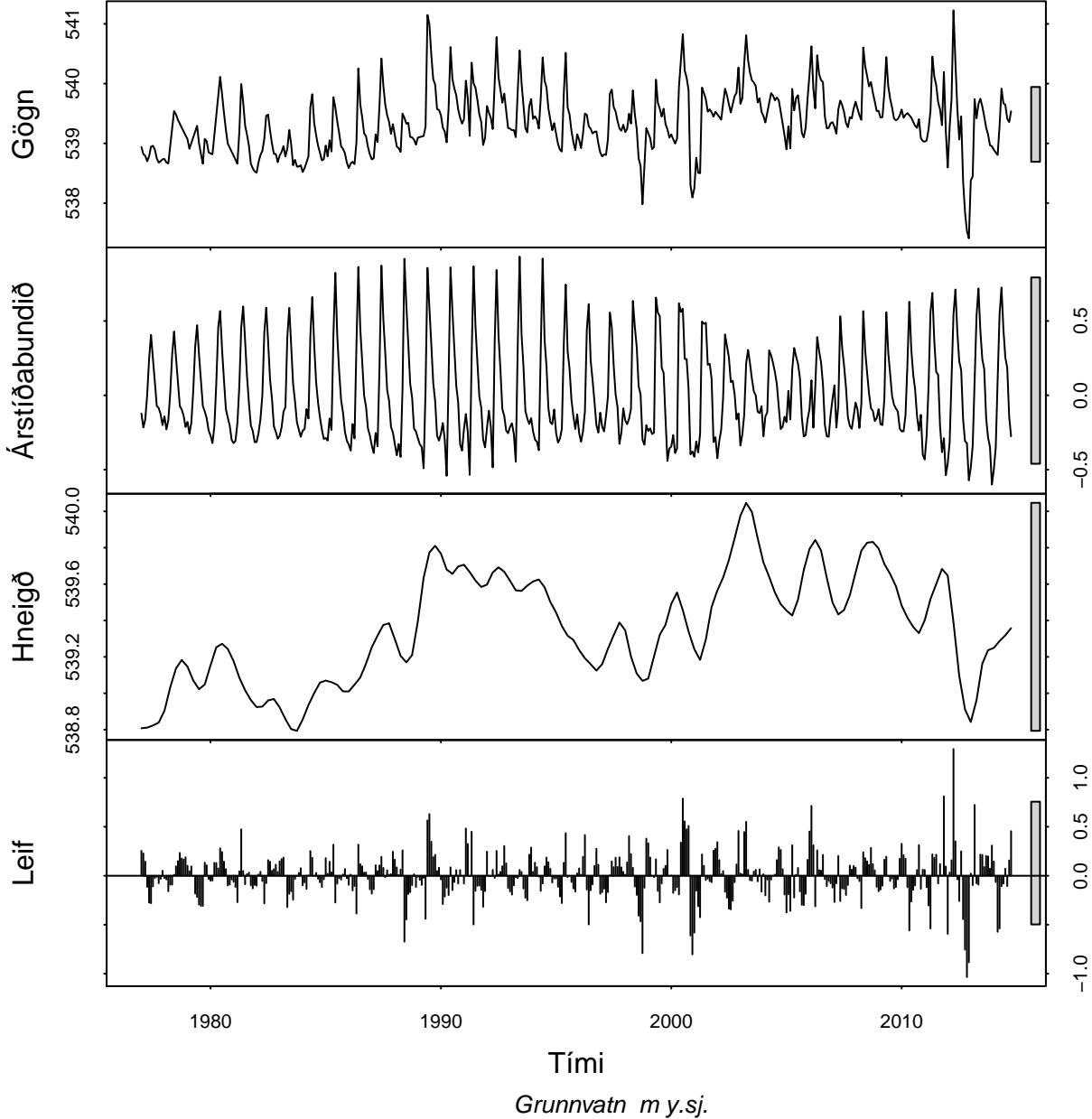
Grunnvatn m y.sj.

VF-18 Vatnsfell



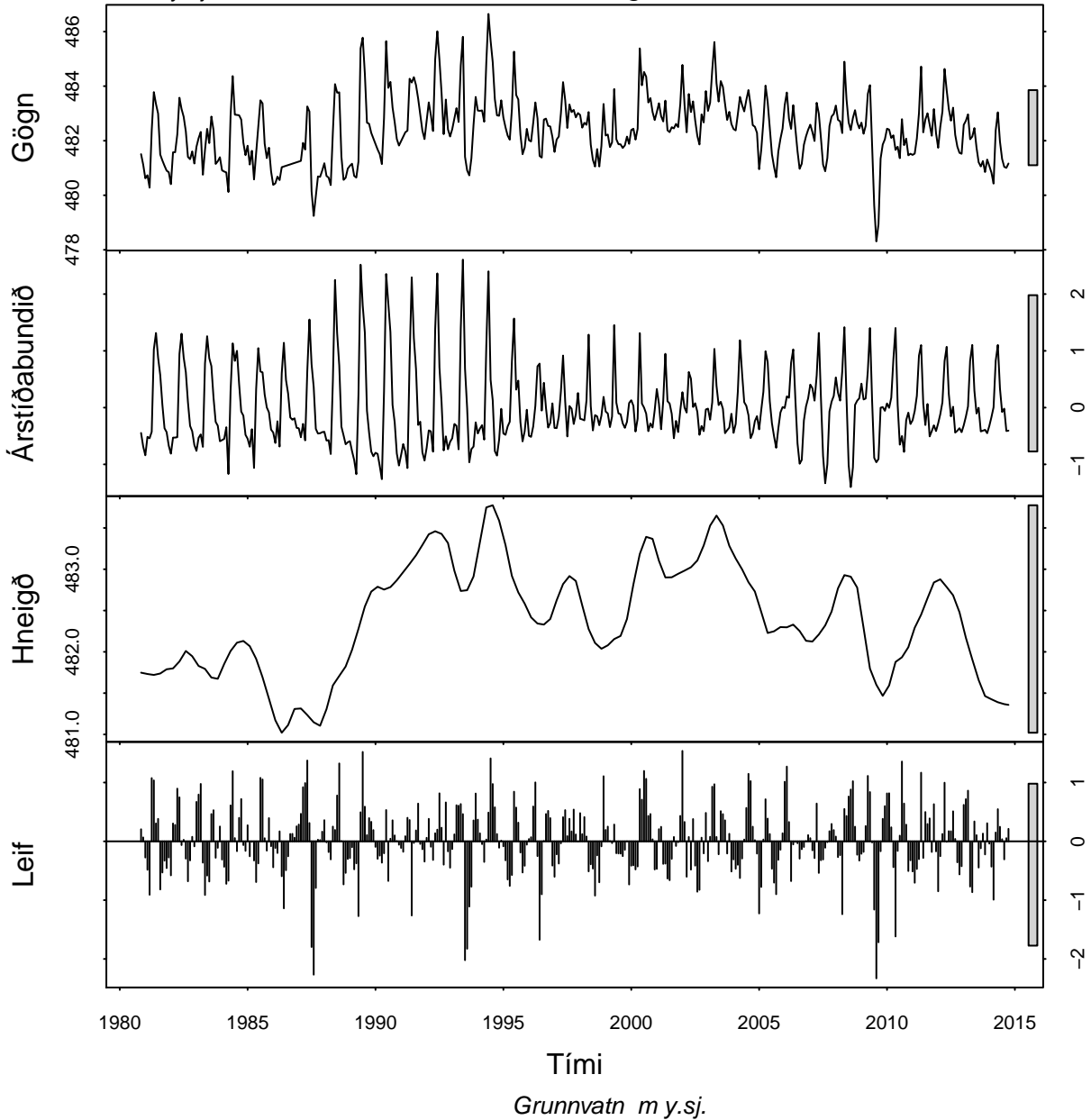
Grunnvatn m y.sj.

TH-11 Sigalda



Grunnvatn m y.sj.

SA-2 Sigalda



Grunnvatn m y.sj.

III Sigalda

Gögn

463
461
459

Árstíðabundið

1.0
0.5
0.0
-1.0

Hneigð

461.0
460.0
459.0

Leif

2.0
1.0
0.0
-1.0

1990

1995

2000

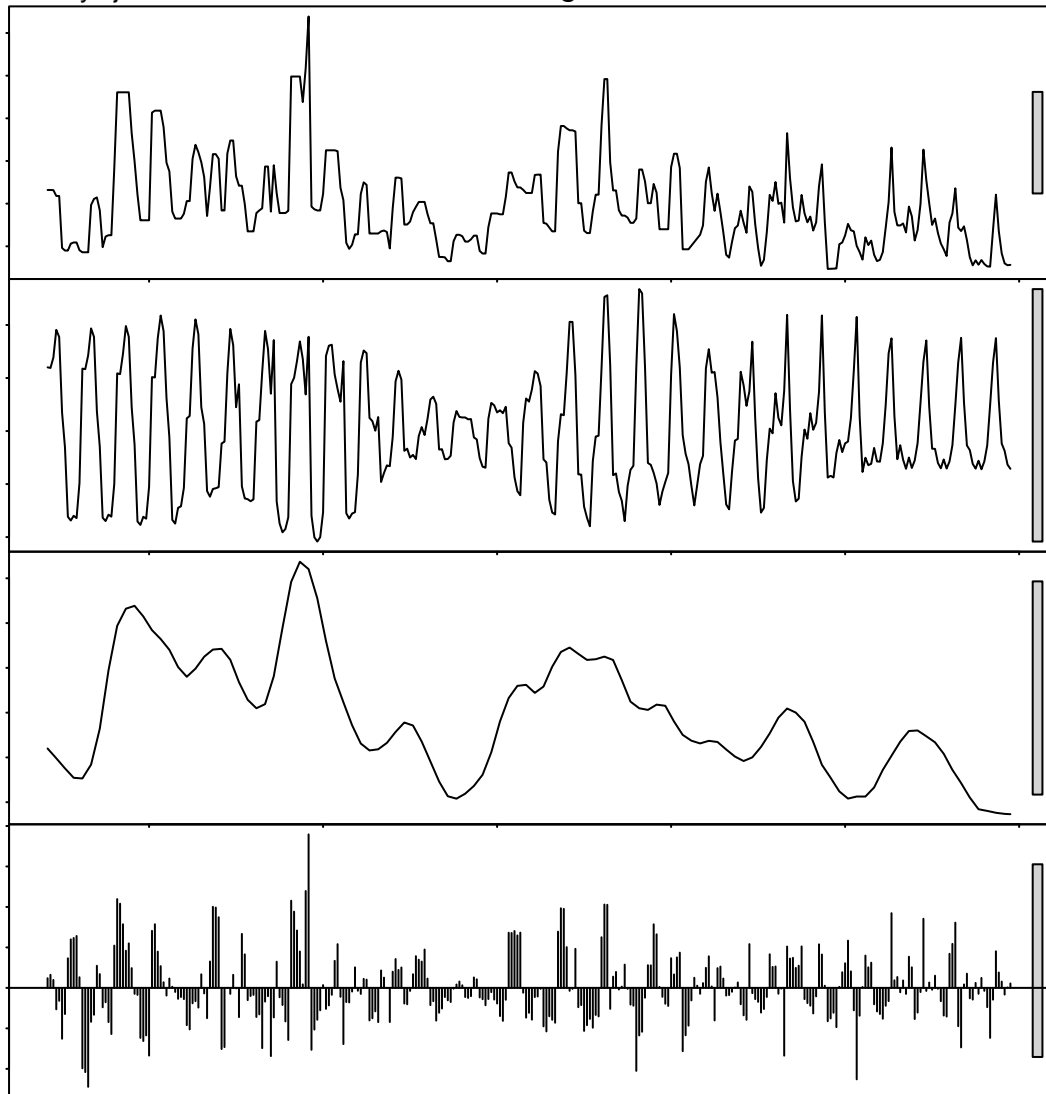
2005

2010

2015

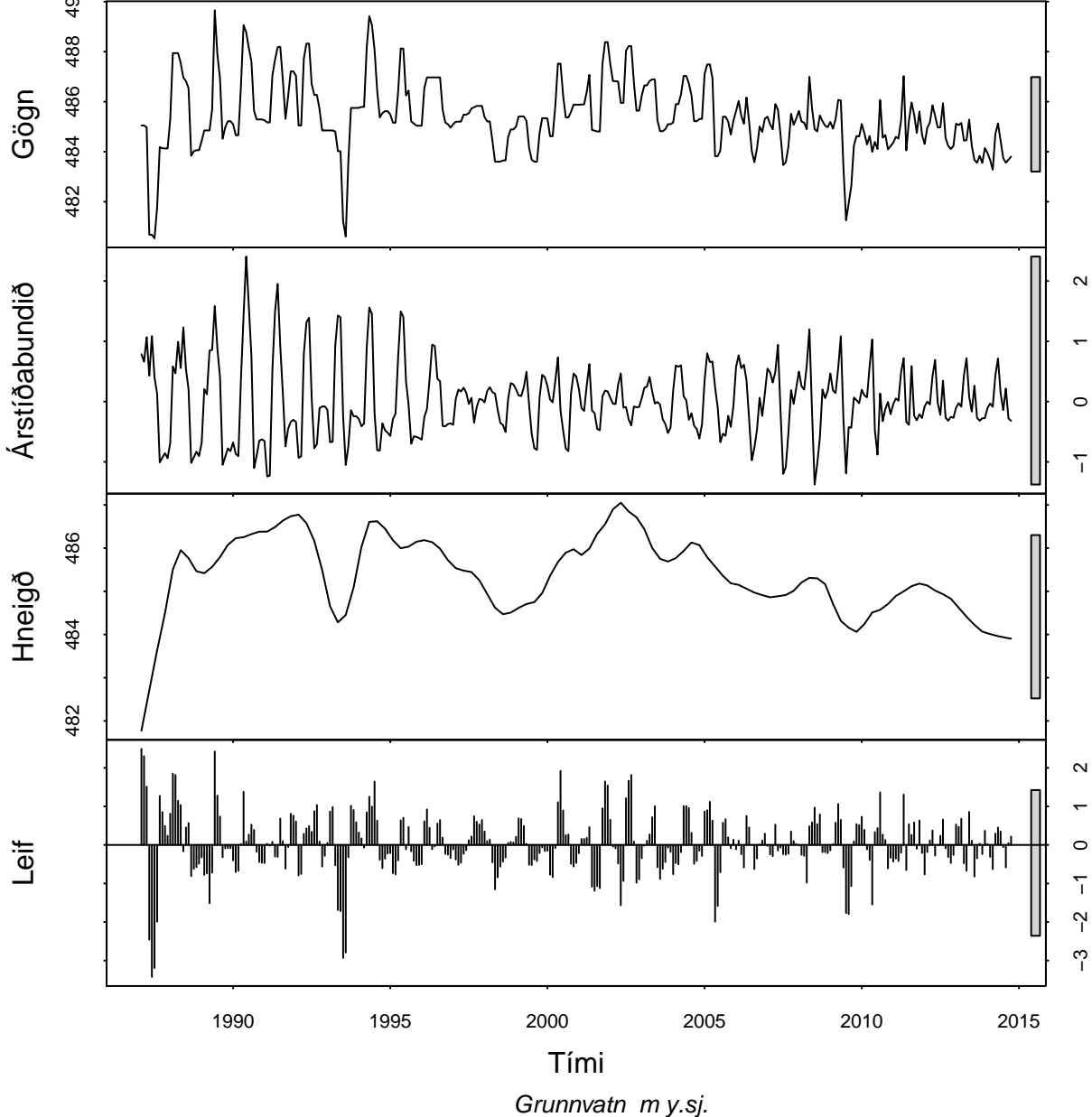
Tími

Grunnvatn m y.sj.



VIII Sigalda

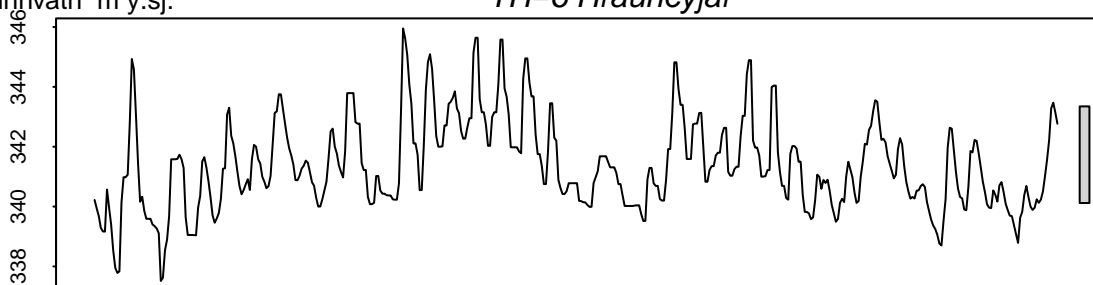
Grunnvatn m y.sj.



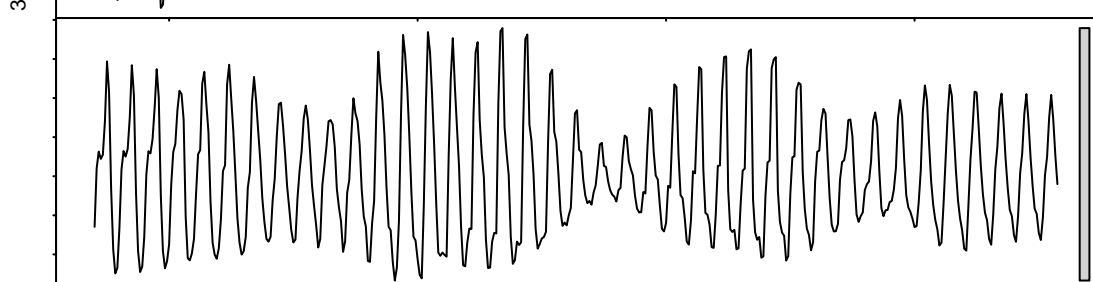
Grunnvatn m y.sj.

TH-6 Hrauneyjar

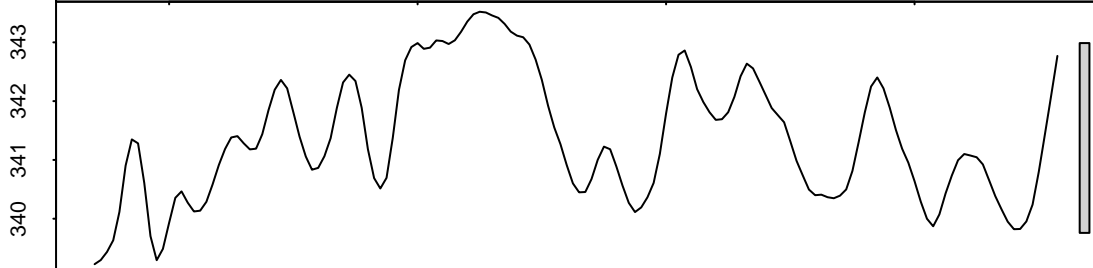
Gögn



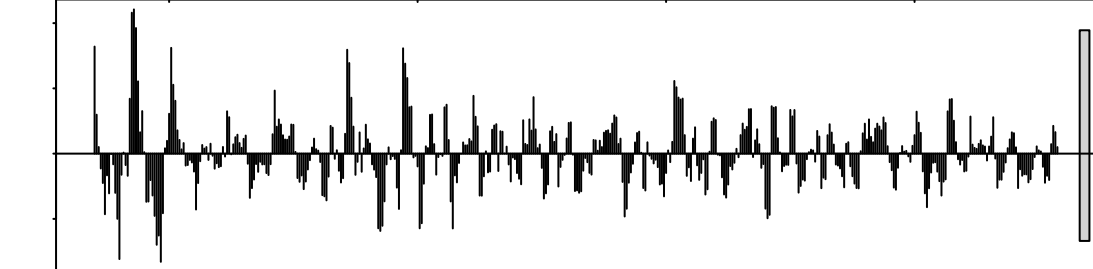
Árstíðabundið



Hneigð



Leif



1980

1990

2000

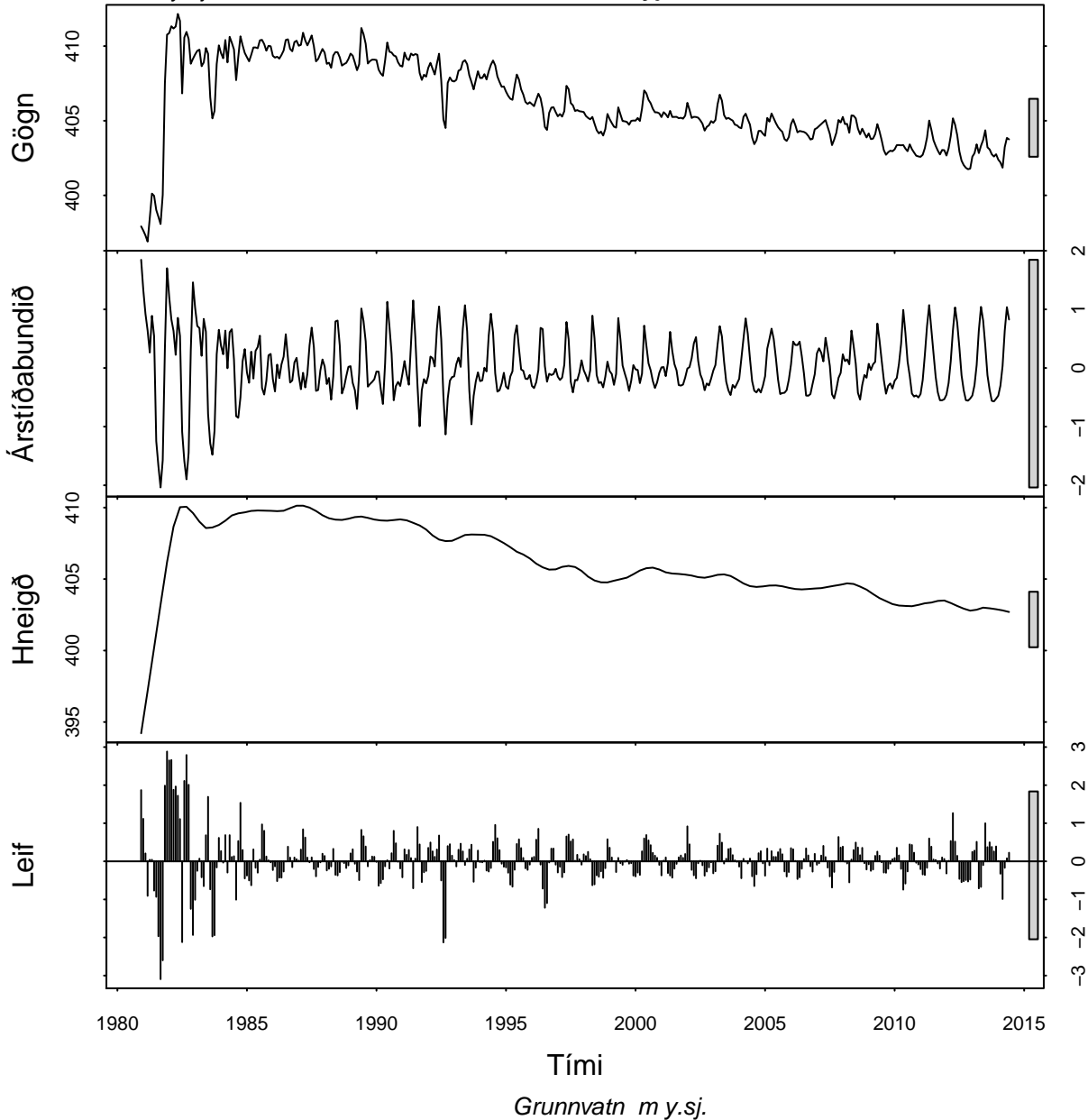
2010

Tími

Grunnvatn m y.sj.

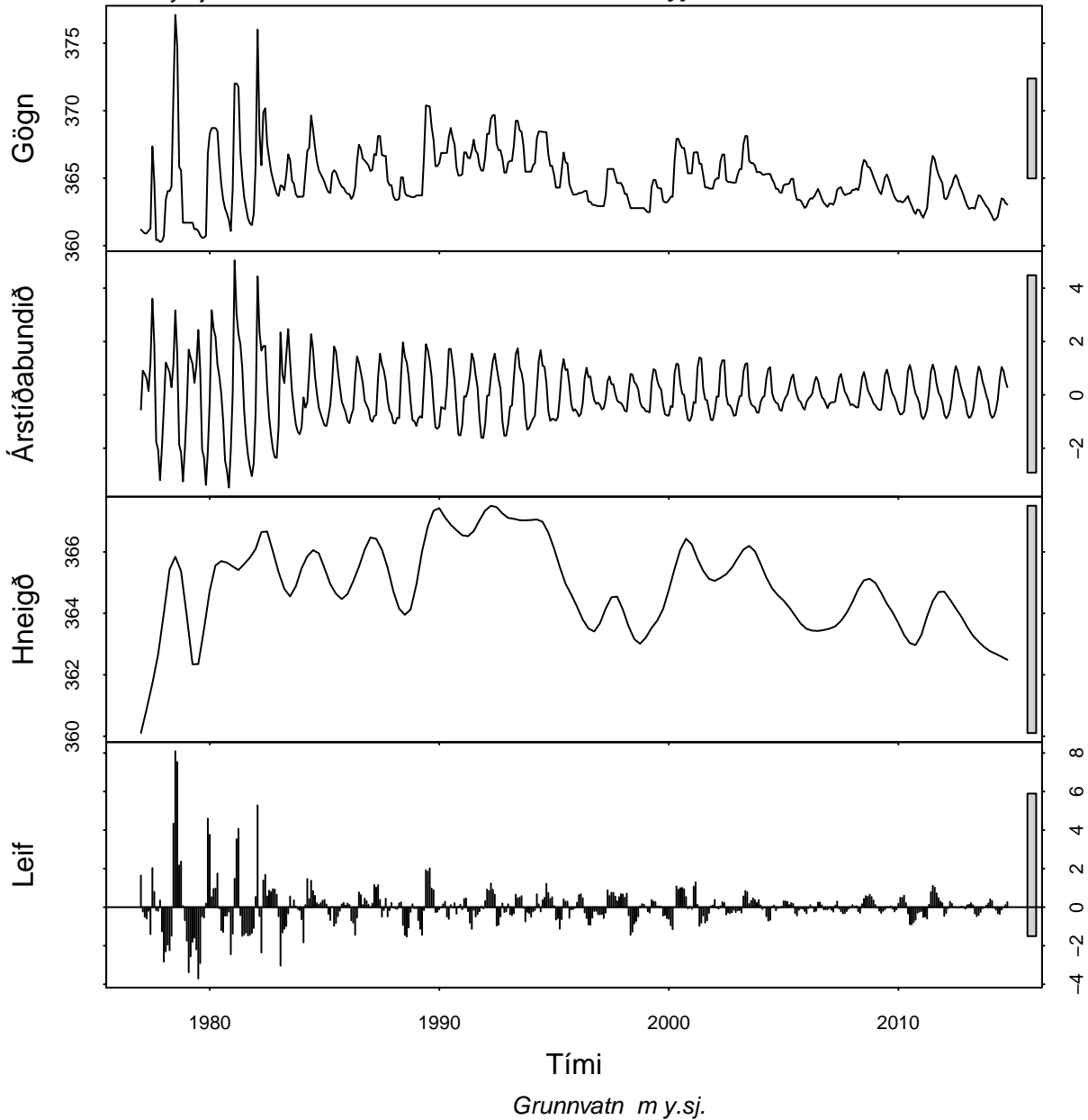
Grunnvatn m y.sj.

X Hrauneyjar



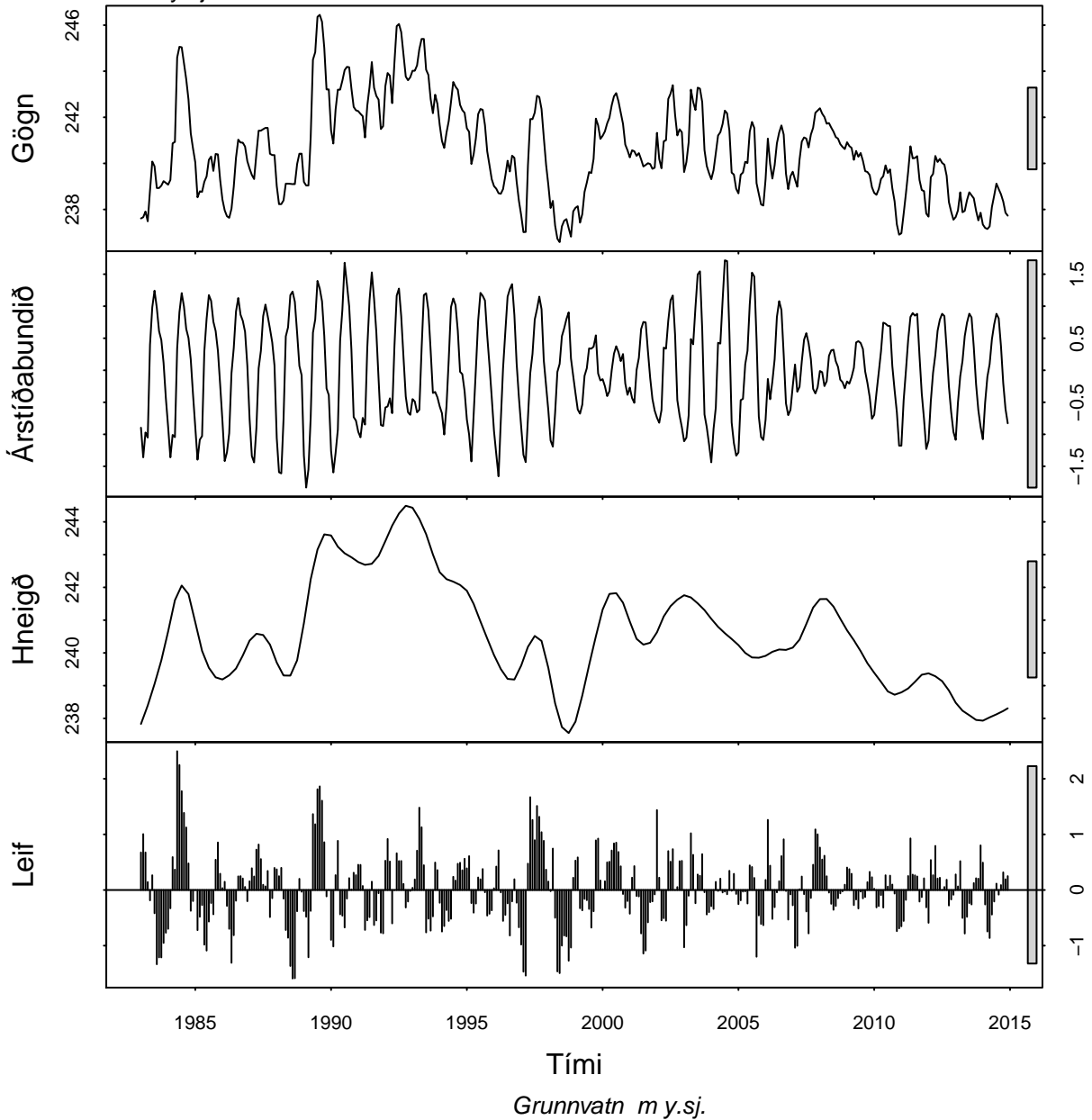
Grunnvatn m y.sj.

TH-9 Hrauneyjar



Grunnvatn m y.sj.

PH-45 Búrfell



Grunnvatn m.y.sj.

PH-9 Búrfell

Gögn

248
244
240

Árstíðabundið

2
1
0
-1
-2

Hneigð

248
244
240

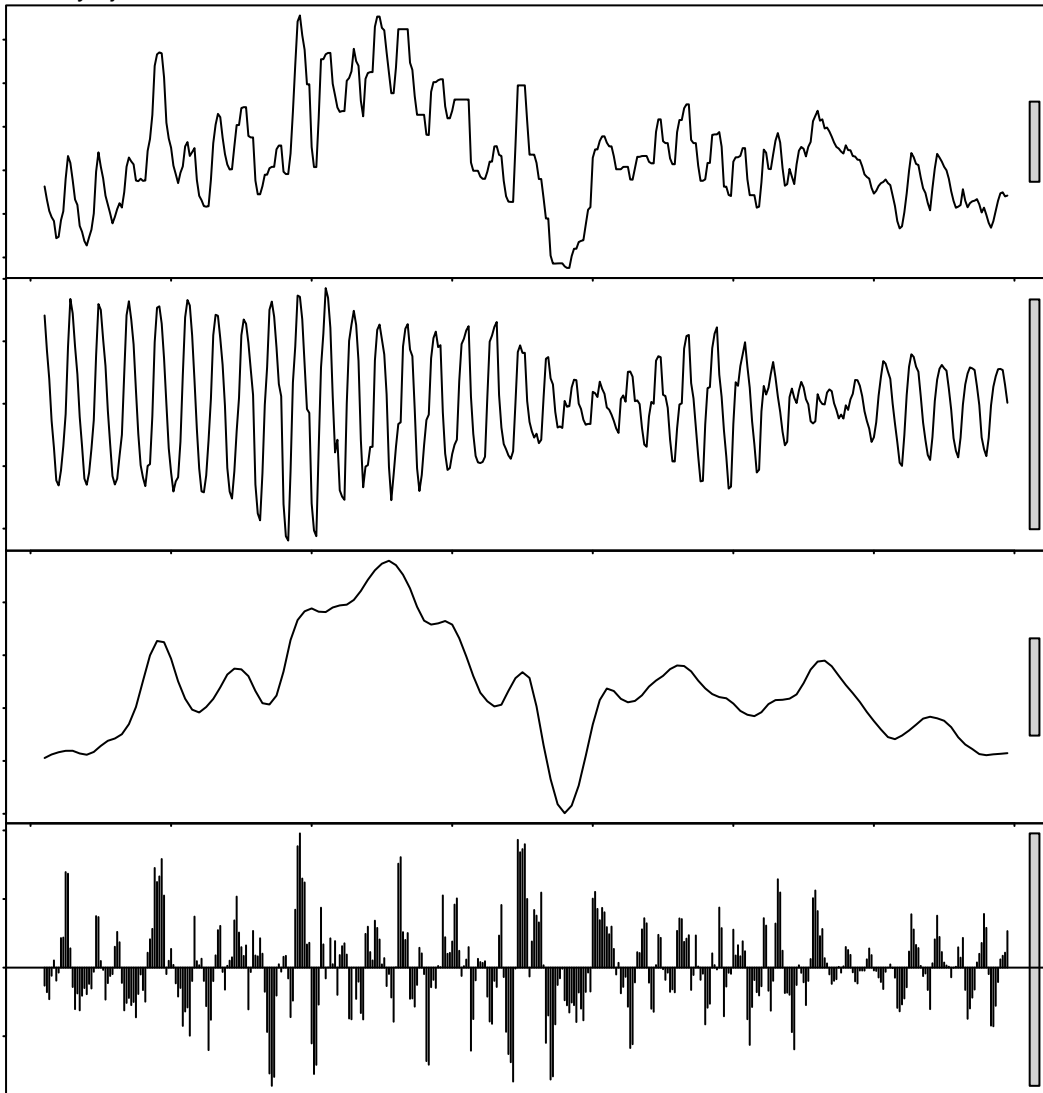
Leif

2
1
0
-1

1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015

Tími

Grunnvatn m.y.sj.



Grunnvatn m y.sj.

LD-13 Búrfell

Gögn

225
220
215
210

Árstíðabundið

0.5
-0.5
-1.5

Hneigð

220
215
210
205

Leif

4
2
0
-2

1980

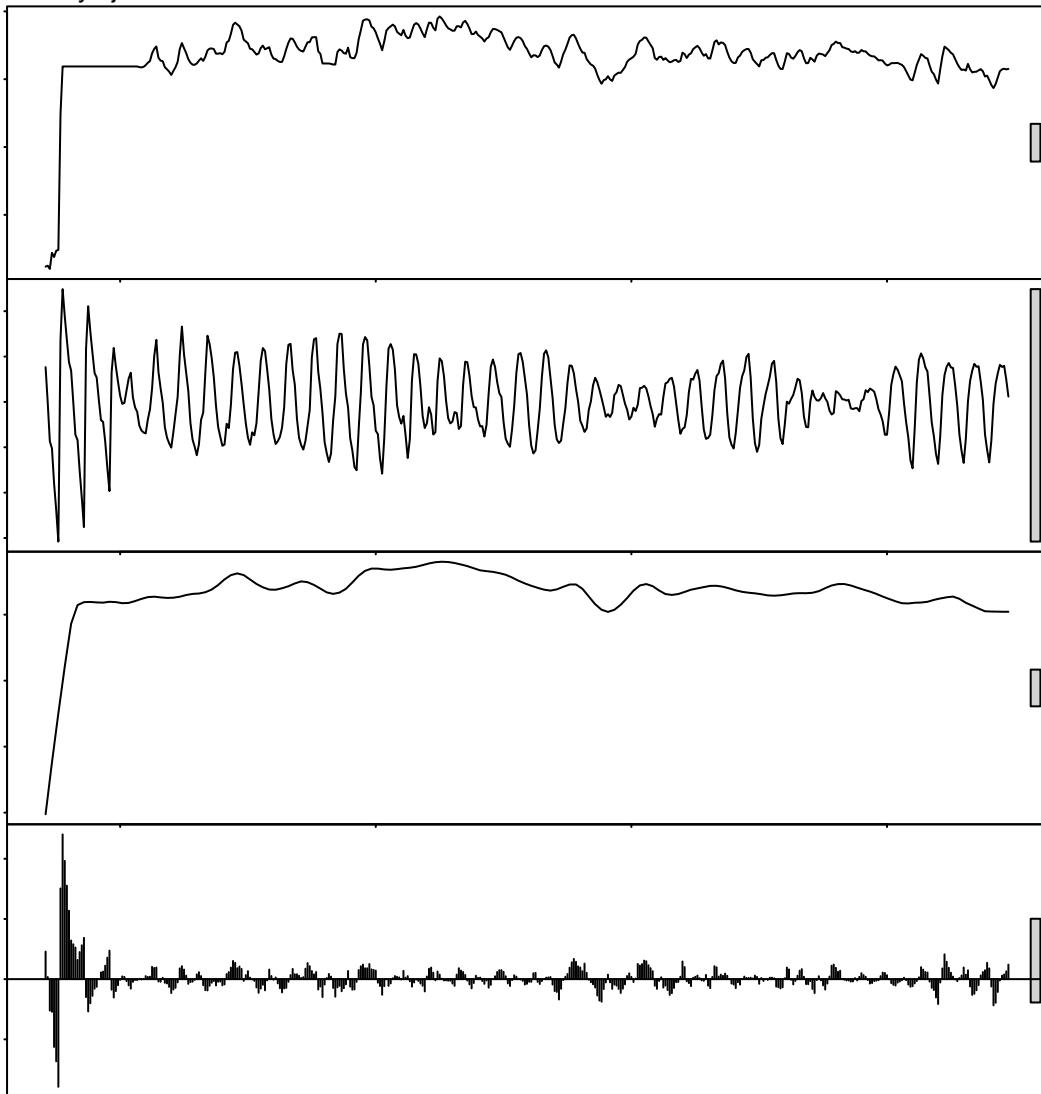
1990

2000

2010

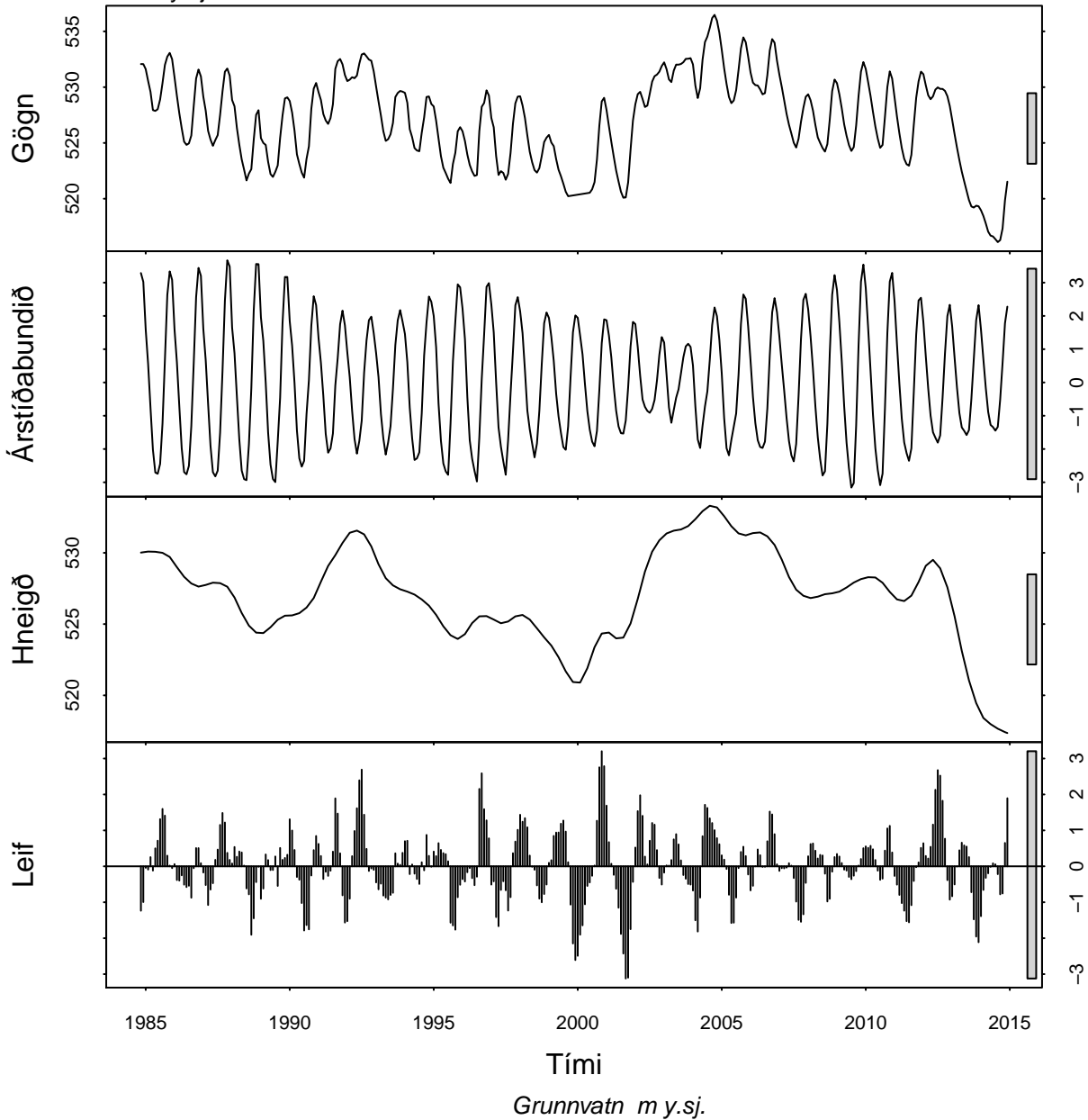
Tími

Grunnvatn m y.sj.



Grunnvatn m y.sj.

LL-2 Búrfell



Grunnvatn m y.sj.

VH-02 Þingvellir

Gögn

410
406
402

Árstíðabundið

2
1
0
-1
-2

Hneigð

409
407
405
403

Leif

2
1
0
-1
-2

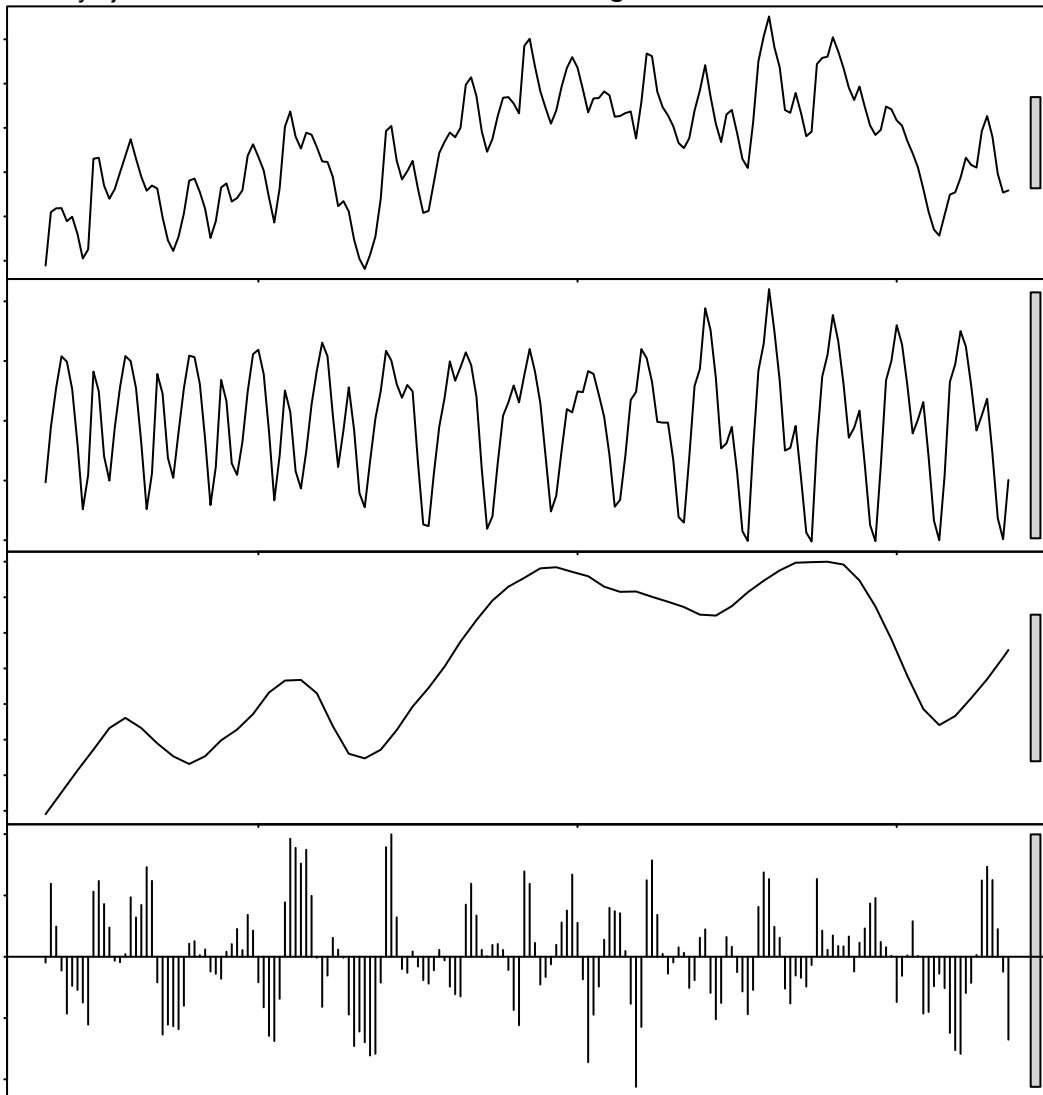
2000

2005

2010

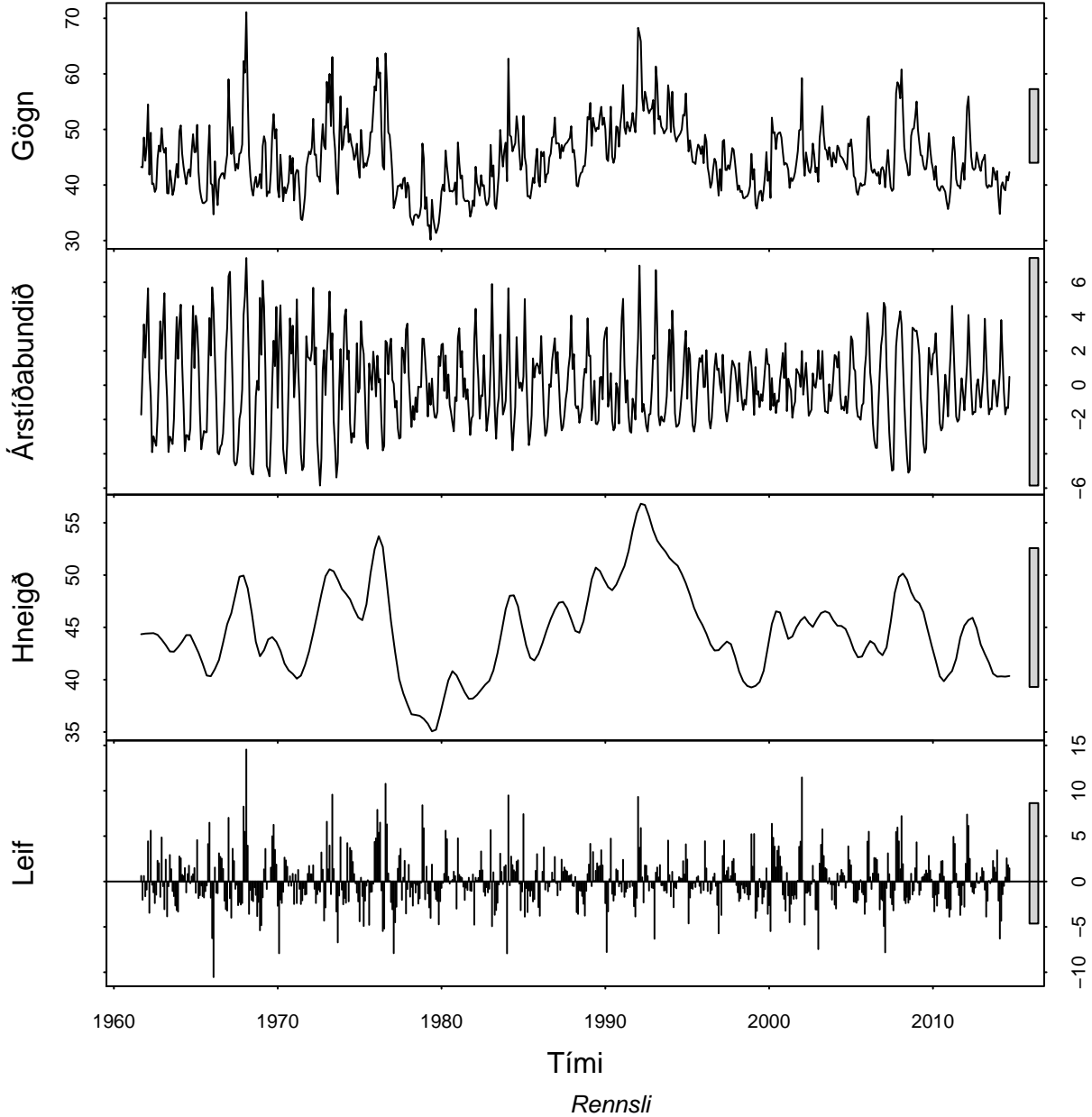
Tími

Grunnvatn m y.sj.



VHM-59 Ytri Rangá

Rennslí m^3/s



Rennslí m^3/s

Sigöldufoss

Gögn

150
100
50

Árstíðabundnið

60
40
20
0
-20

Hneigið

40
30
20
10

Leif

60
20
0
-40

1985

1990

1995

2000

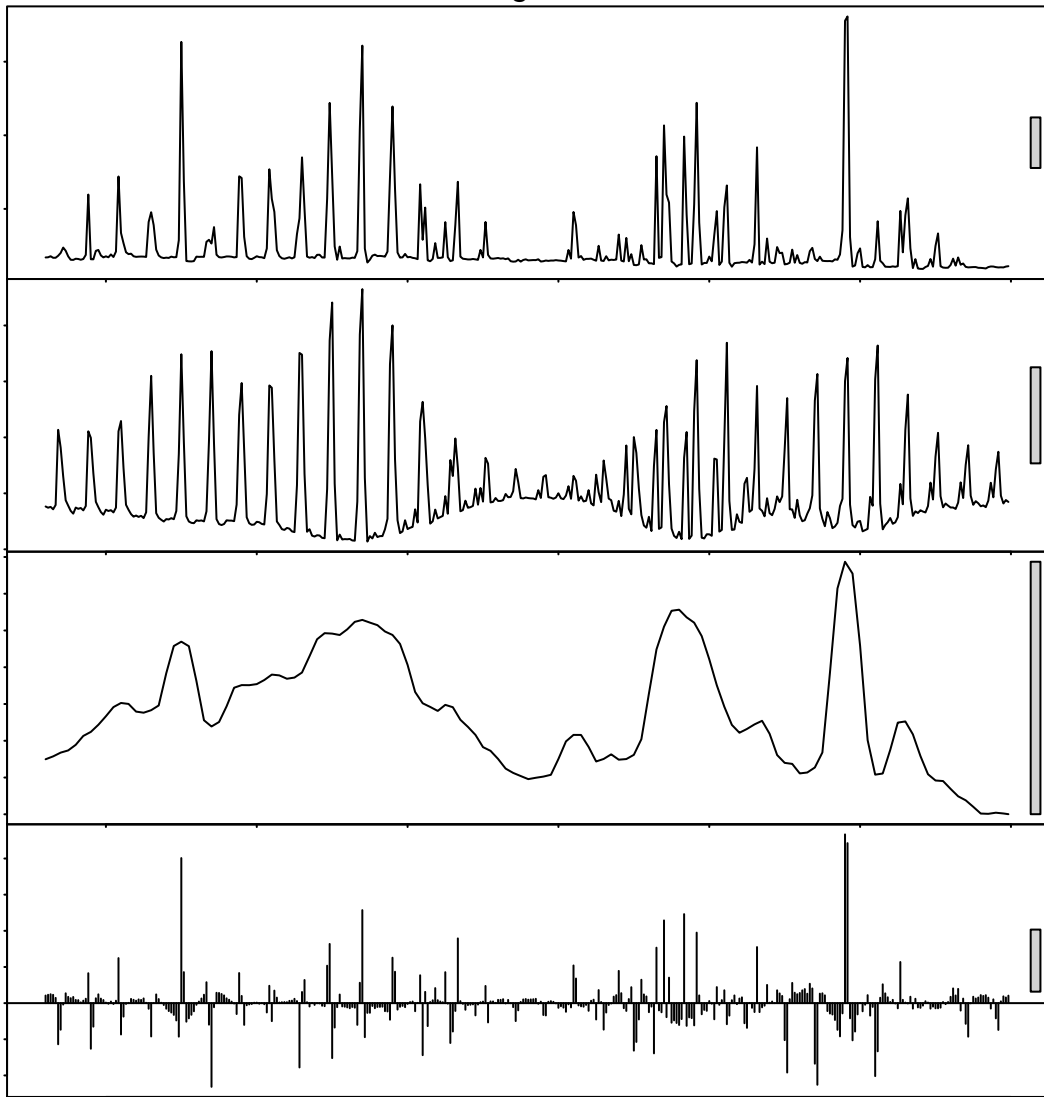
2005

2010

2015

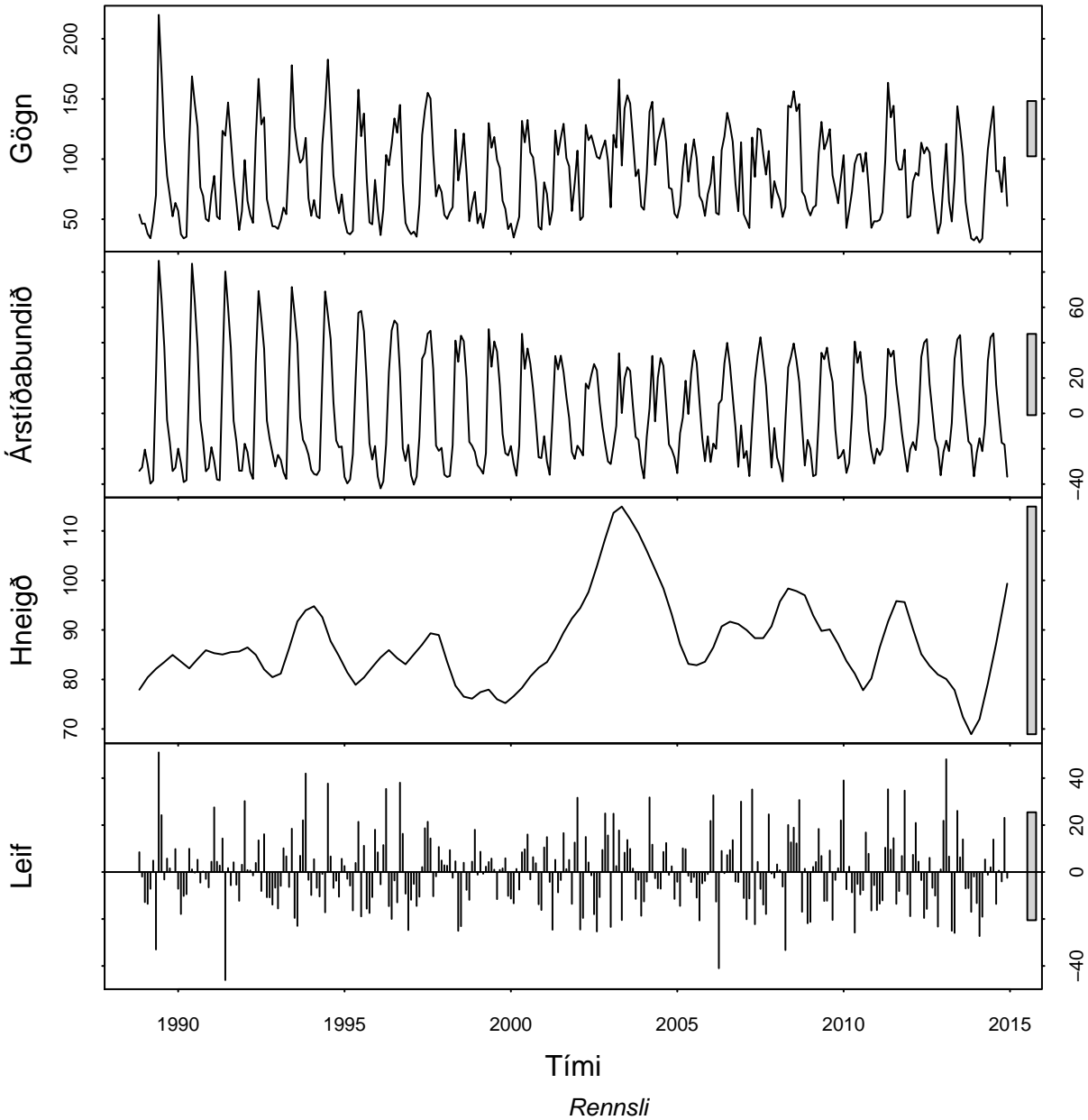
Tími

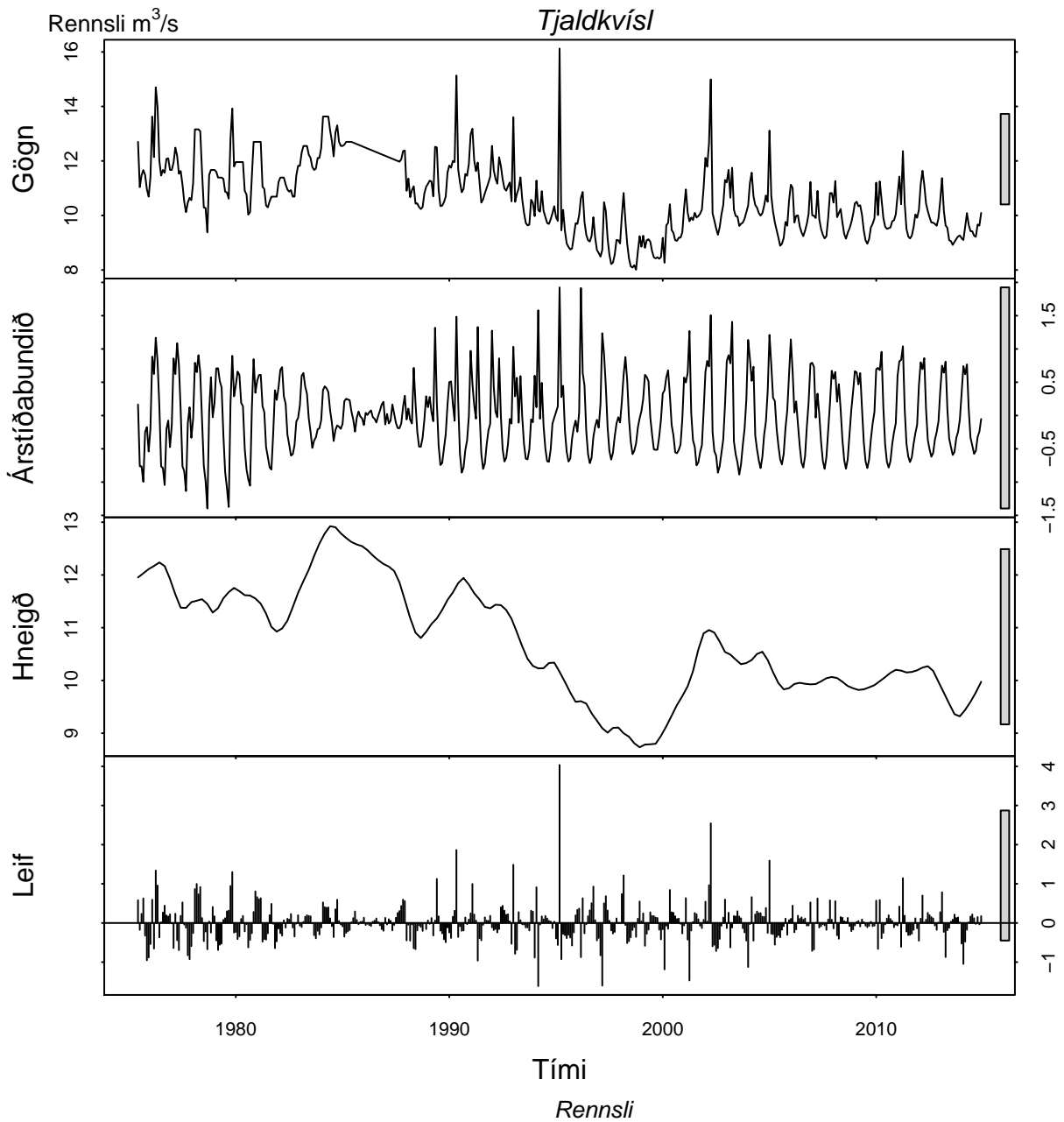
Rennslí



Rennslí m^3/s

VHM-96





Rennslí m^3/s

Rauðá

Gögn

Árstíðabundið

Hneigð

Leif

4
3
2
1

1.8
1.4
1.0

1.0
0.5
0.0
-0.5

1.5
1.0
0.5
-0.5

1985

1990

1995

2000

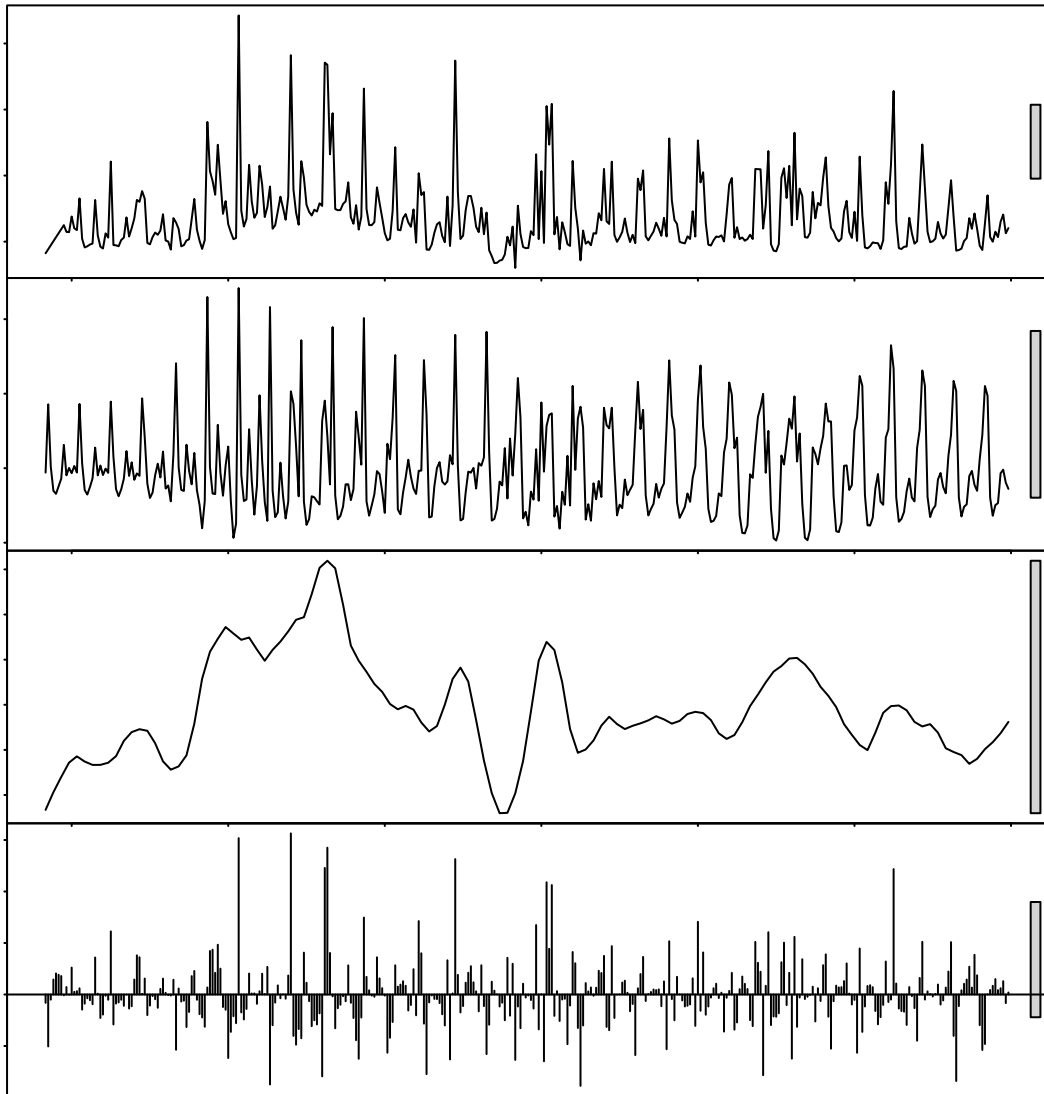
2005

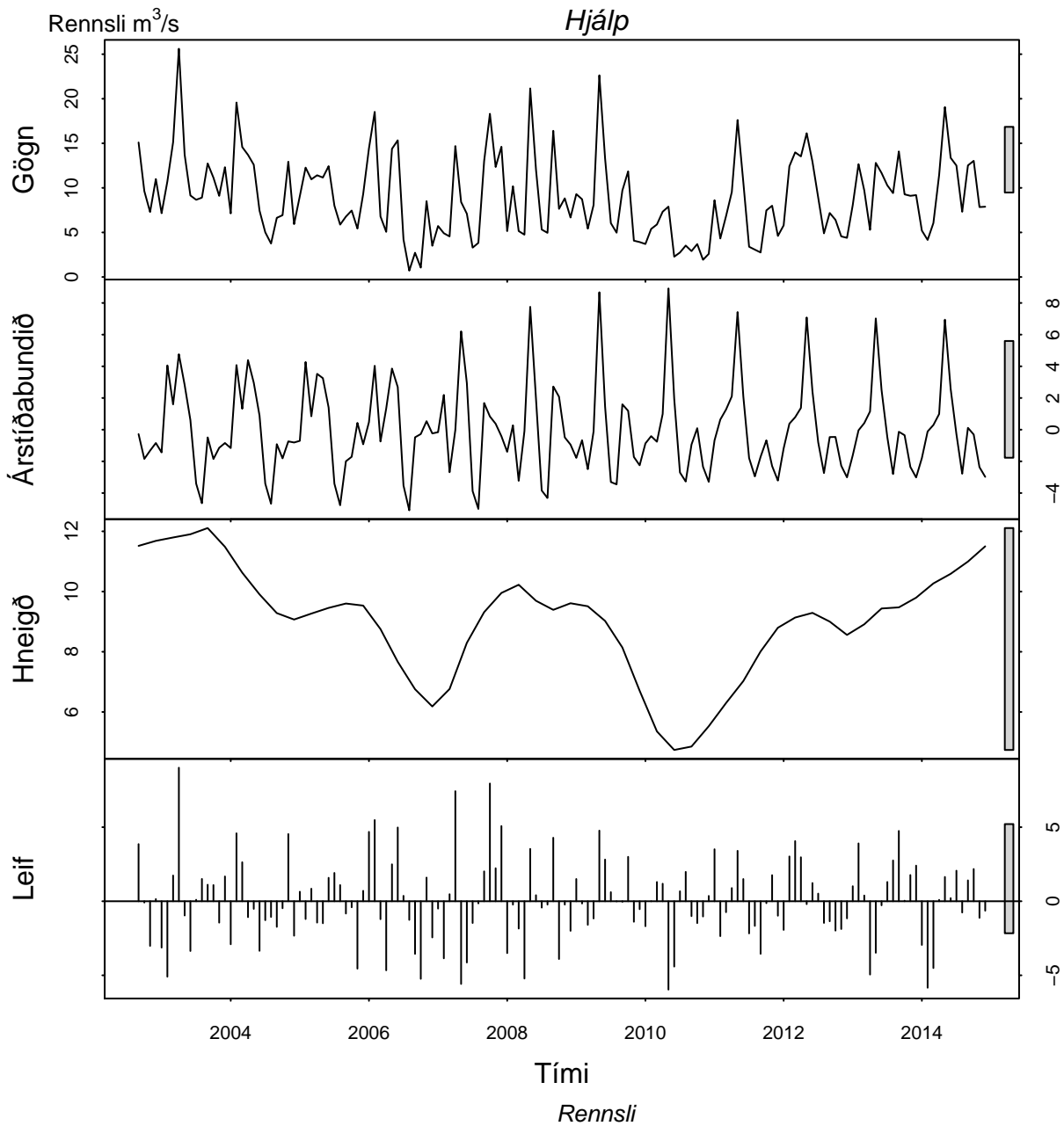
2010

2015

Tími

Rennslí





Rennslí m^3/s

Álftafitjakvísl

Gögn

2.5
1.5
0.5

Árstíðabundið

0.5
0.0
-0.5

Hneigið

2.0
1.5
1.0

Leif

1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5

1985

1990

1995

2000

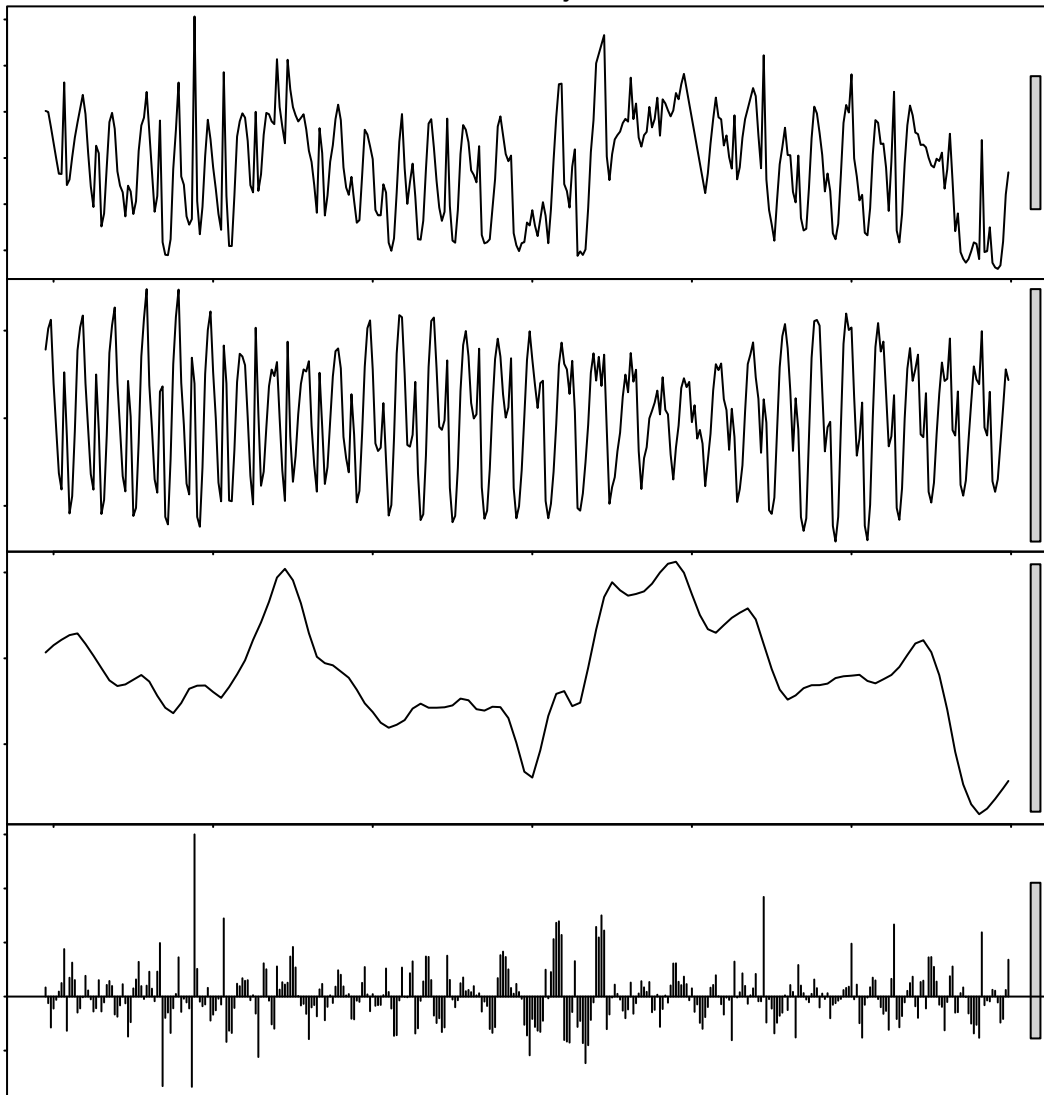
2005

2010

2015

Tími

Rennslí



Lónhæð m y.sj.

Sigöldulón

Gögn

495
490
485

Árstíðabundið

2
1
0
-1
-3

Hneigð

496
492
488
484

Leif

4
2
0
-4
-8

1980

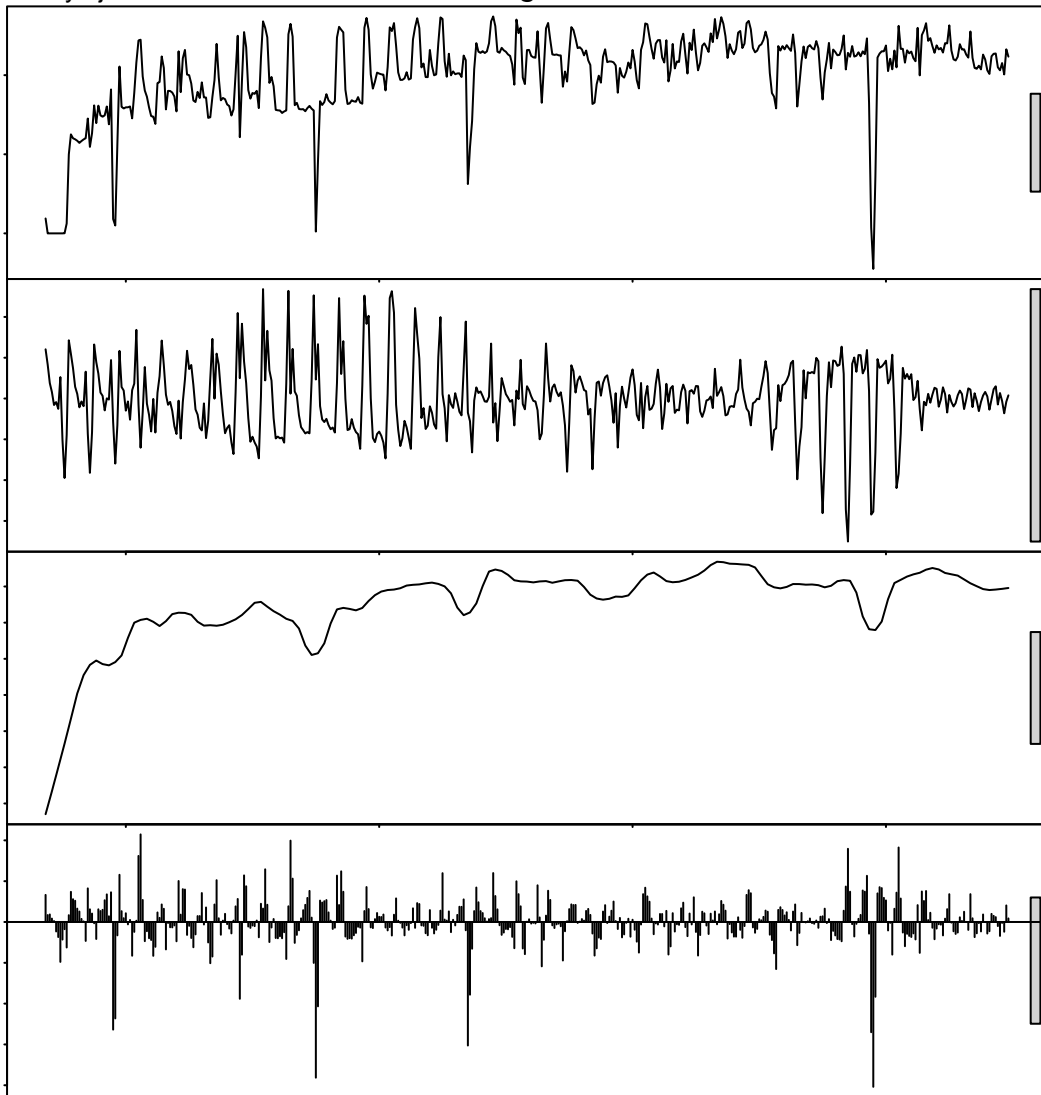
1990

2000

2010

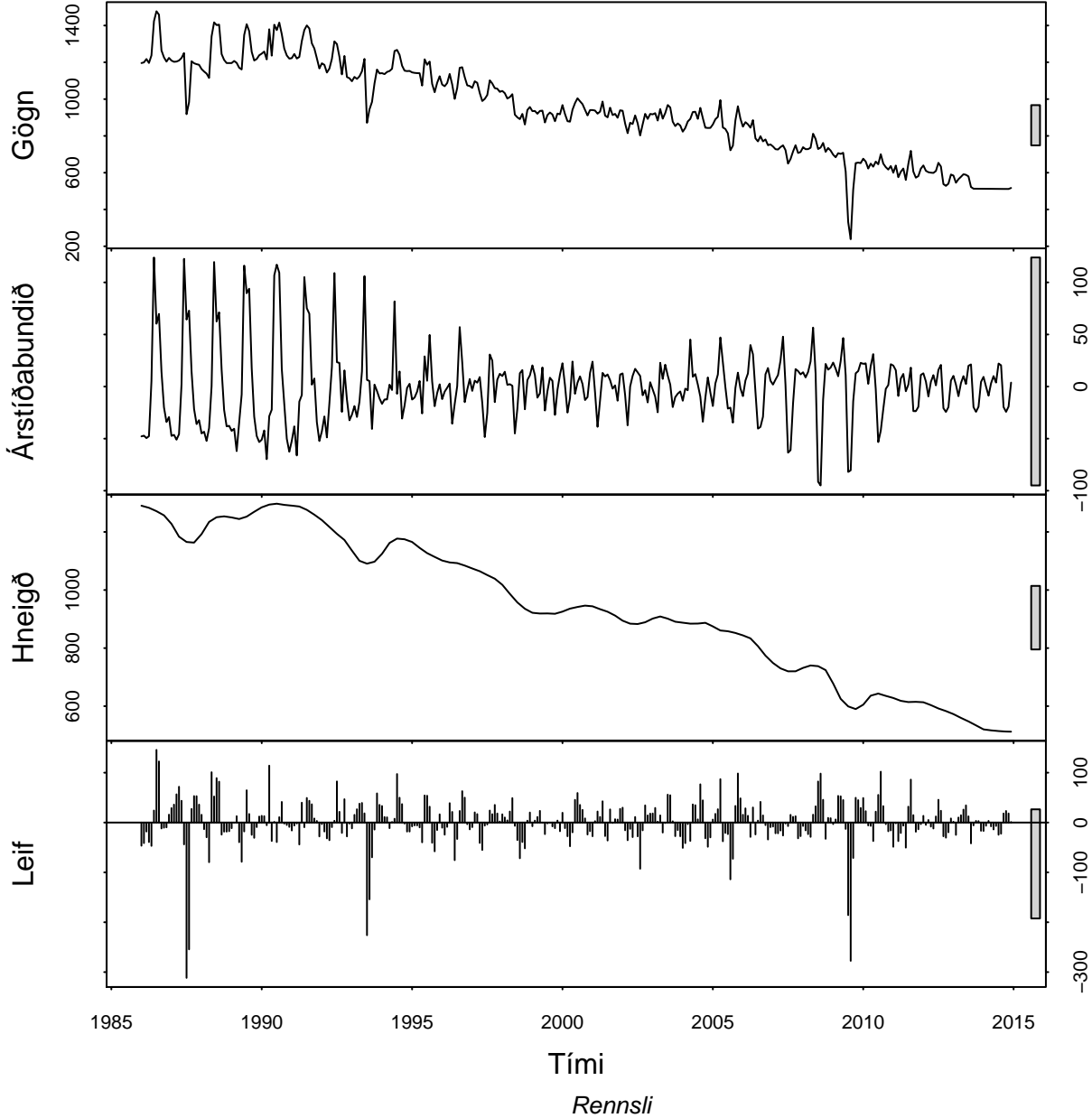
Tími

Lónhæð m y.sj.



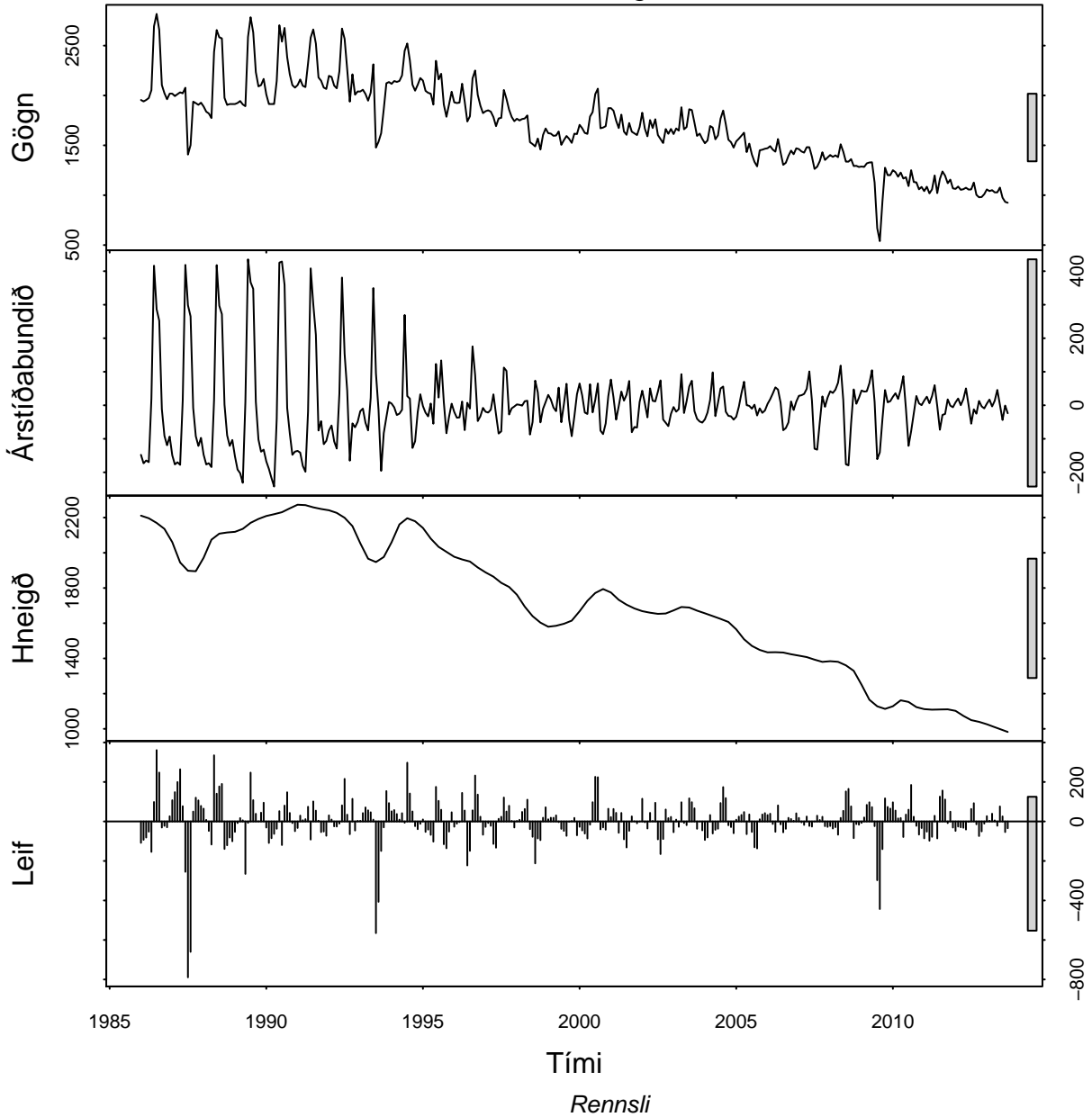
MW-1 Sigalda

Rennsli m^3/s



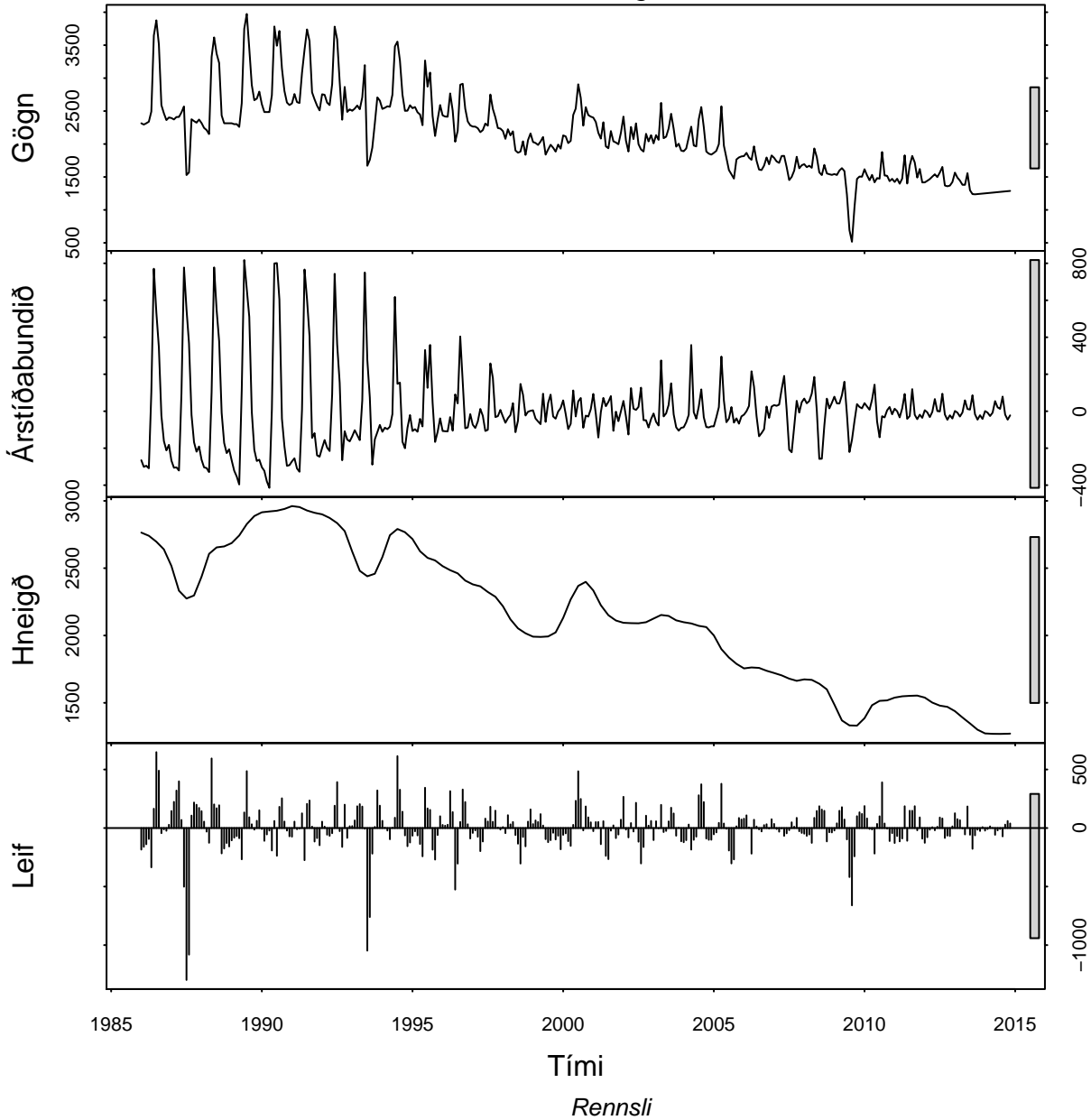
MW-2 Sigalda

Rennsli m³/s



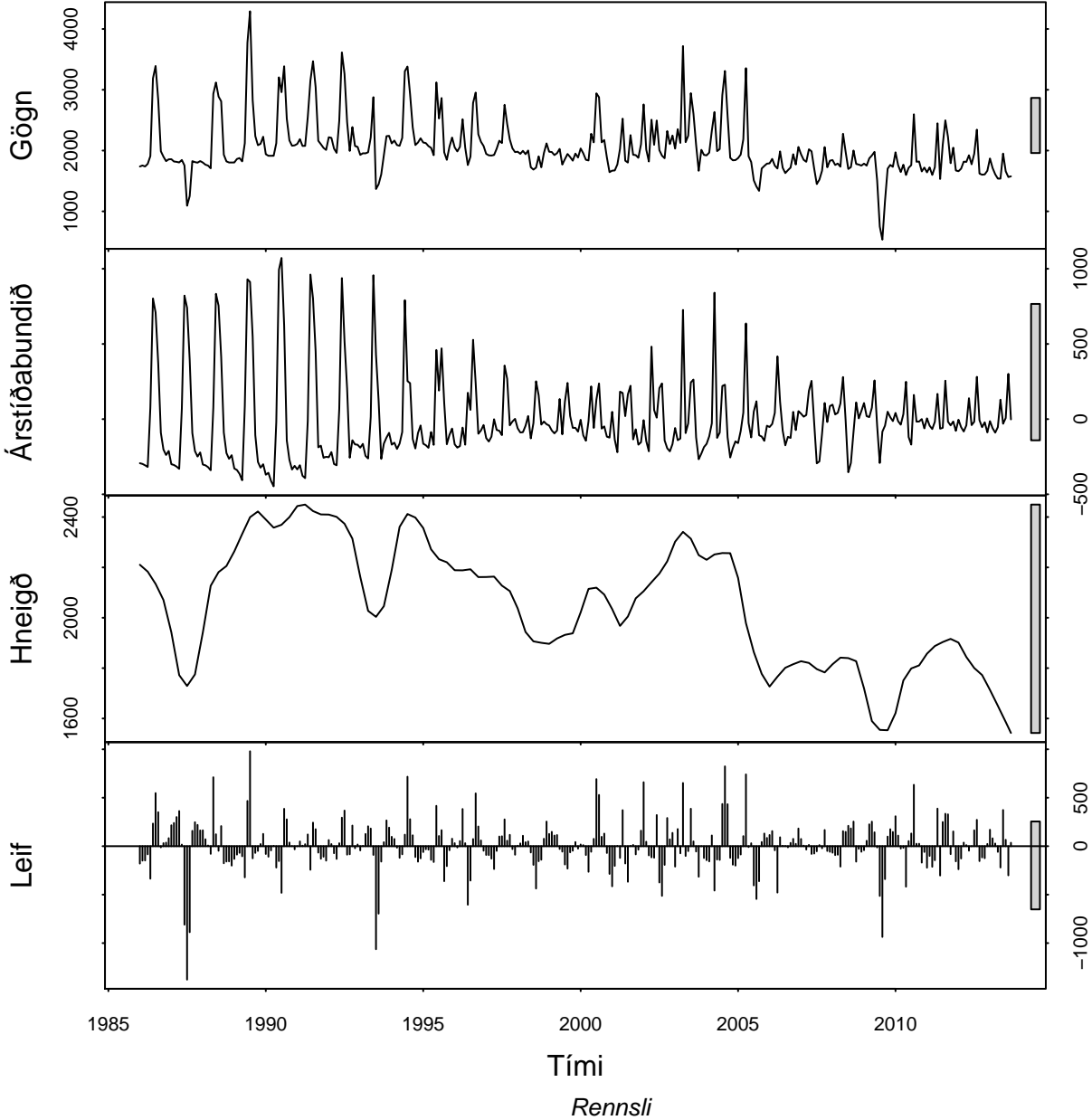
Rennslí m^3/s

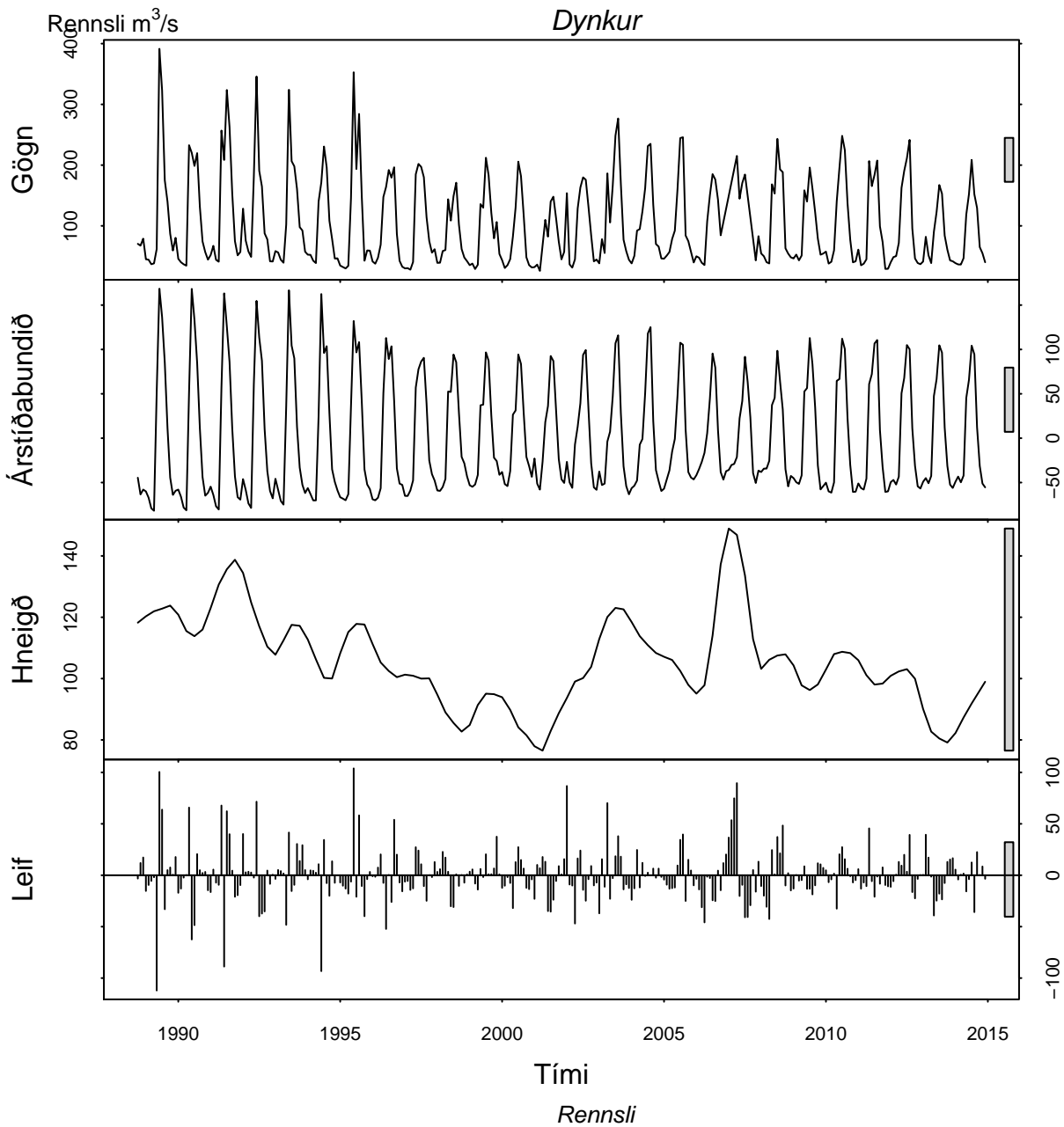
MW-3 Sigalda



MW-4 Sigalda

Rennsli m^3/s

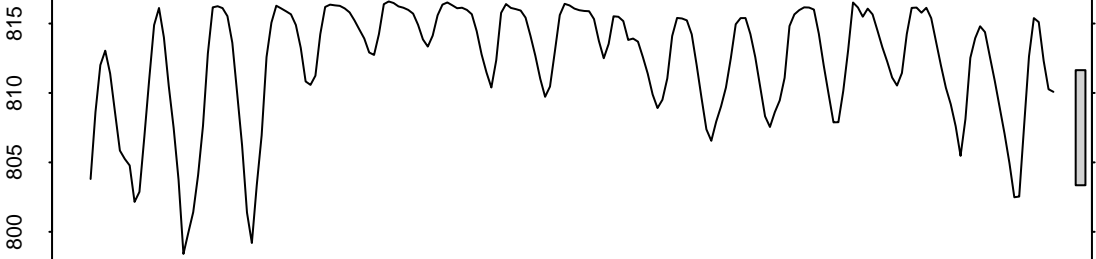




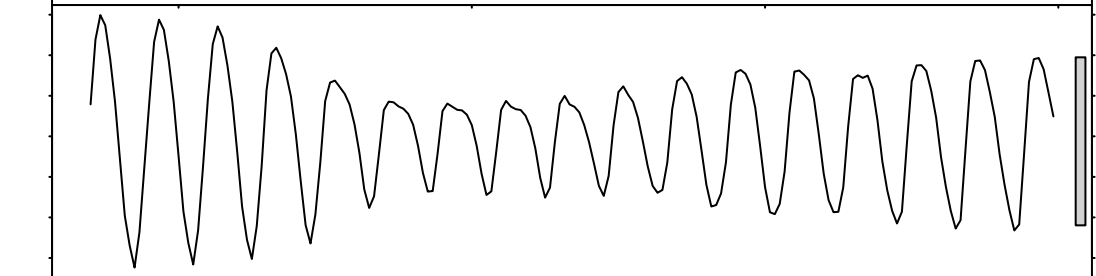
Hágöngulón

Lónhæð m y.sj.

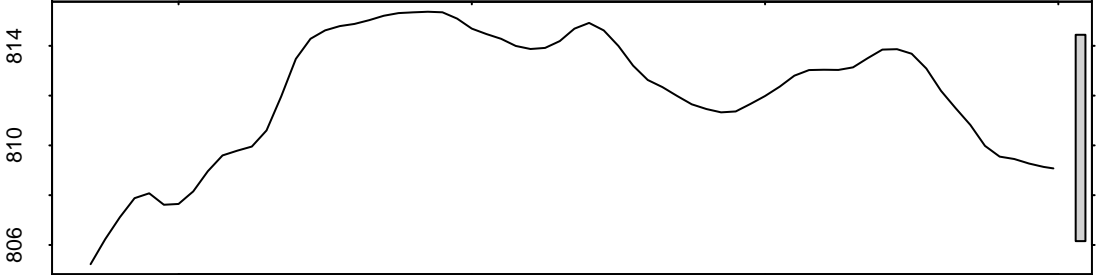
Gögn



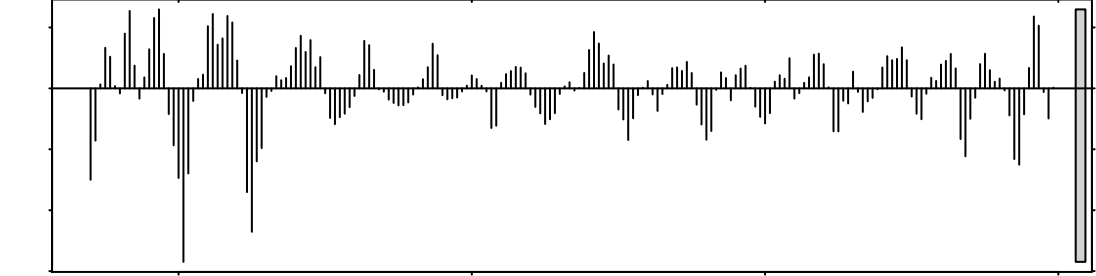
Árstíðabundið



Hneigð



Leif



2000

2005

2010

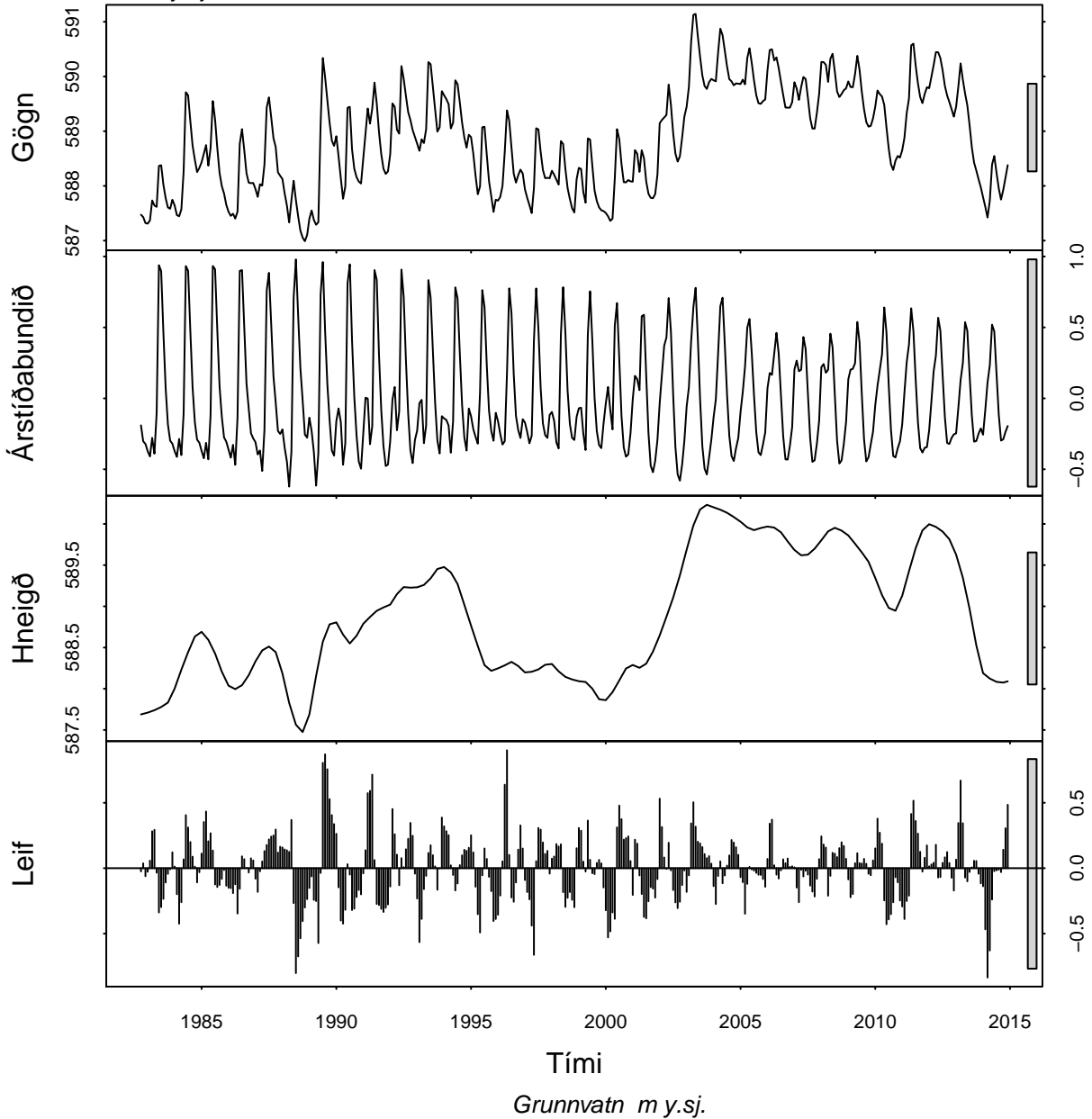
2015

Tími

Lónhæð m y.sj.

Grunnvatn m y.sj.

Hraunvötn



Lónhæð m y.sj.

Pórisós

Gögn

578
576
574
572

Árstíðabundið

3
2
1
0
-1
-2
-3

Hneigð

577
575
573

Leif

1
0
-1
-2

1980

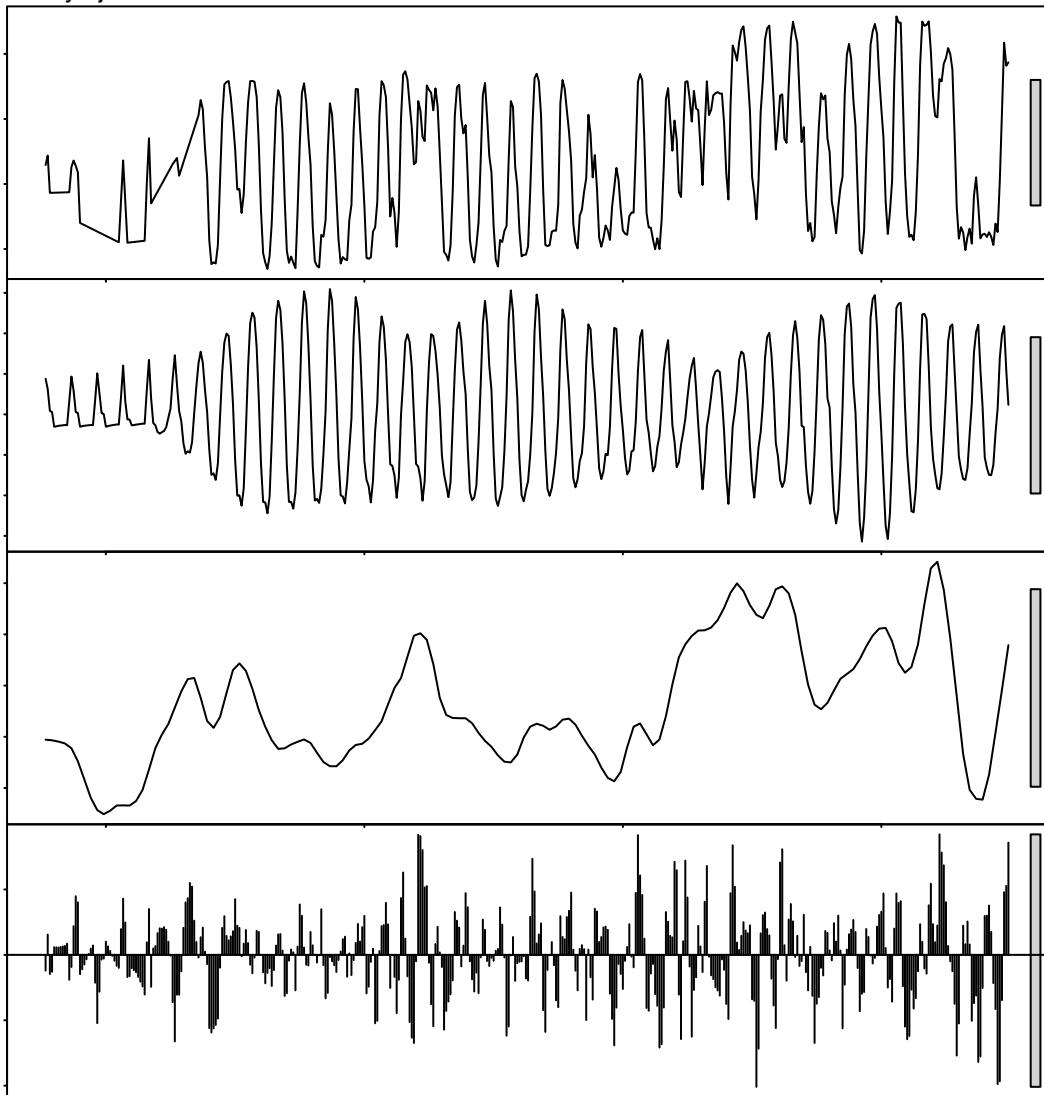
1990

2000

2010

Tími

Lónhæð m y.sj.



Lónhæð m y.sj.

Sauðafellslón

Gögn

578
576
574

Árstíðabundið

577.5
576.5
575.5
574.5

Hneigið

Leif

1980

1990

2000

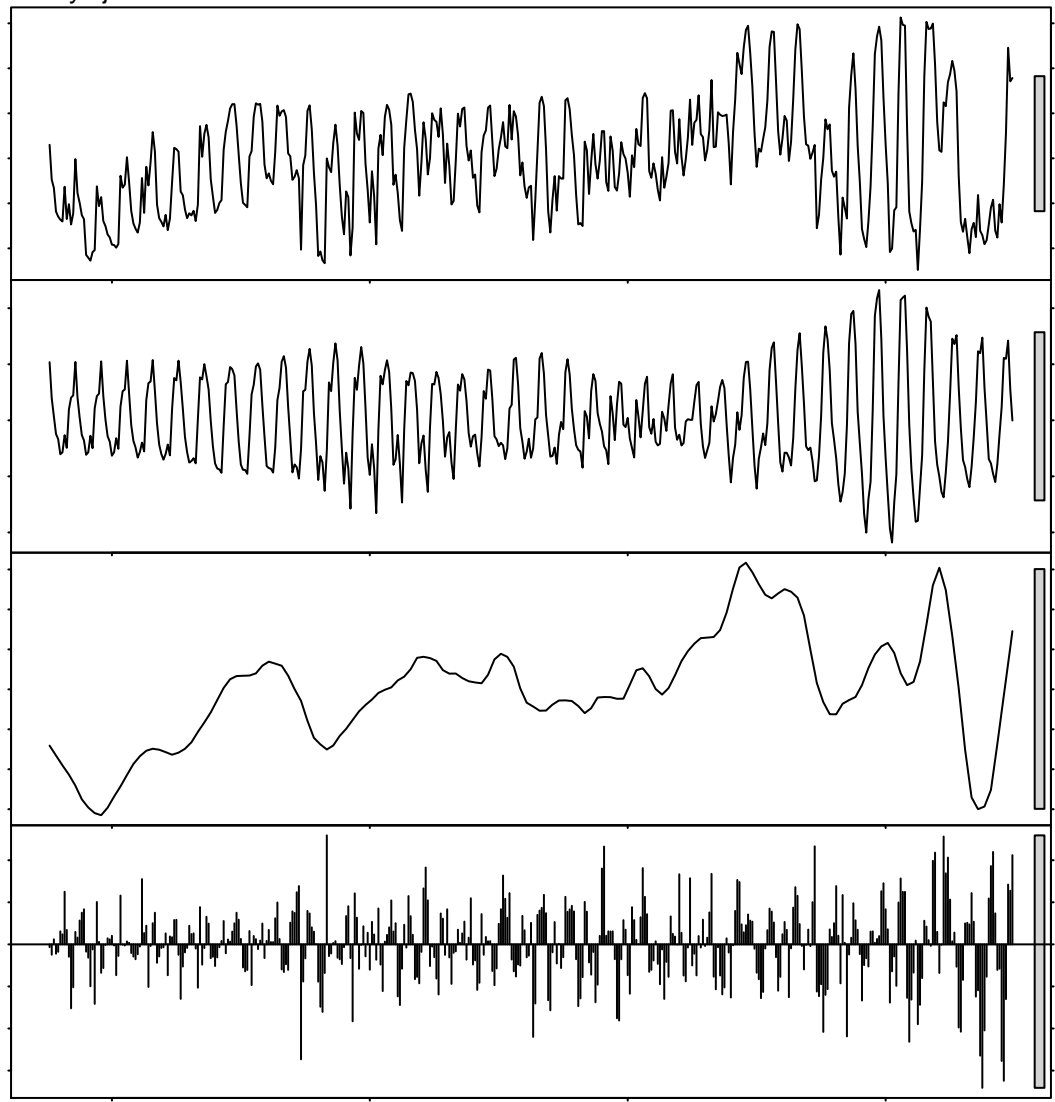
2010

Tími

Lónhæð m y.sj.

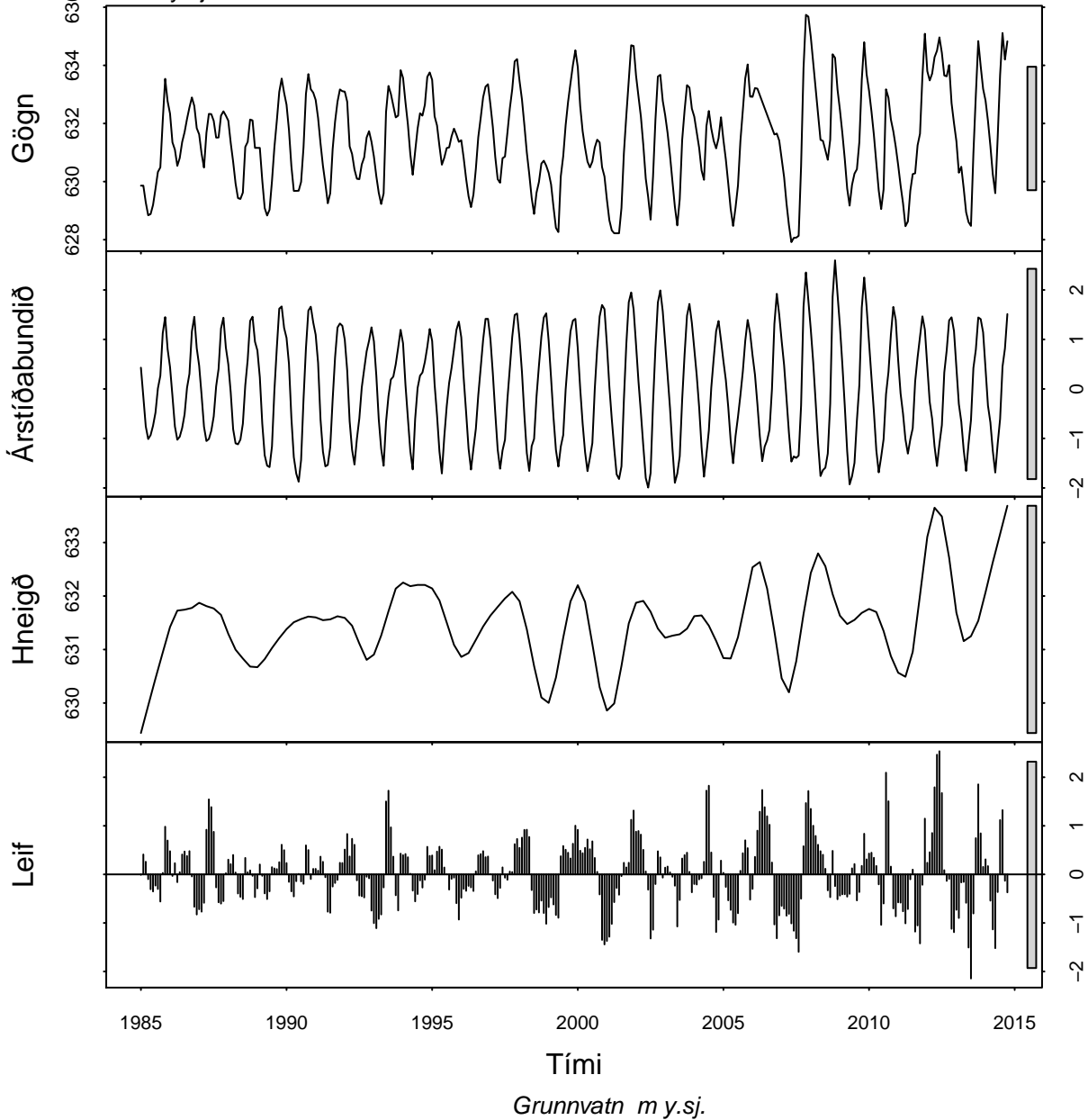
2
1
0
-1
-2

0.5
-0.5
-1.5



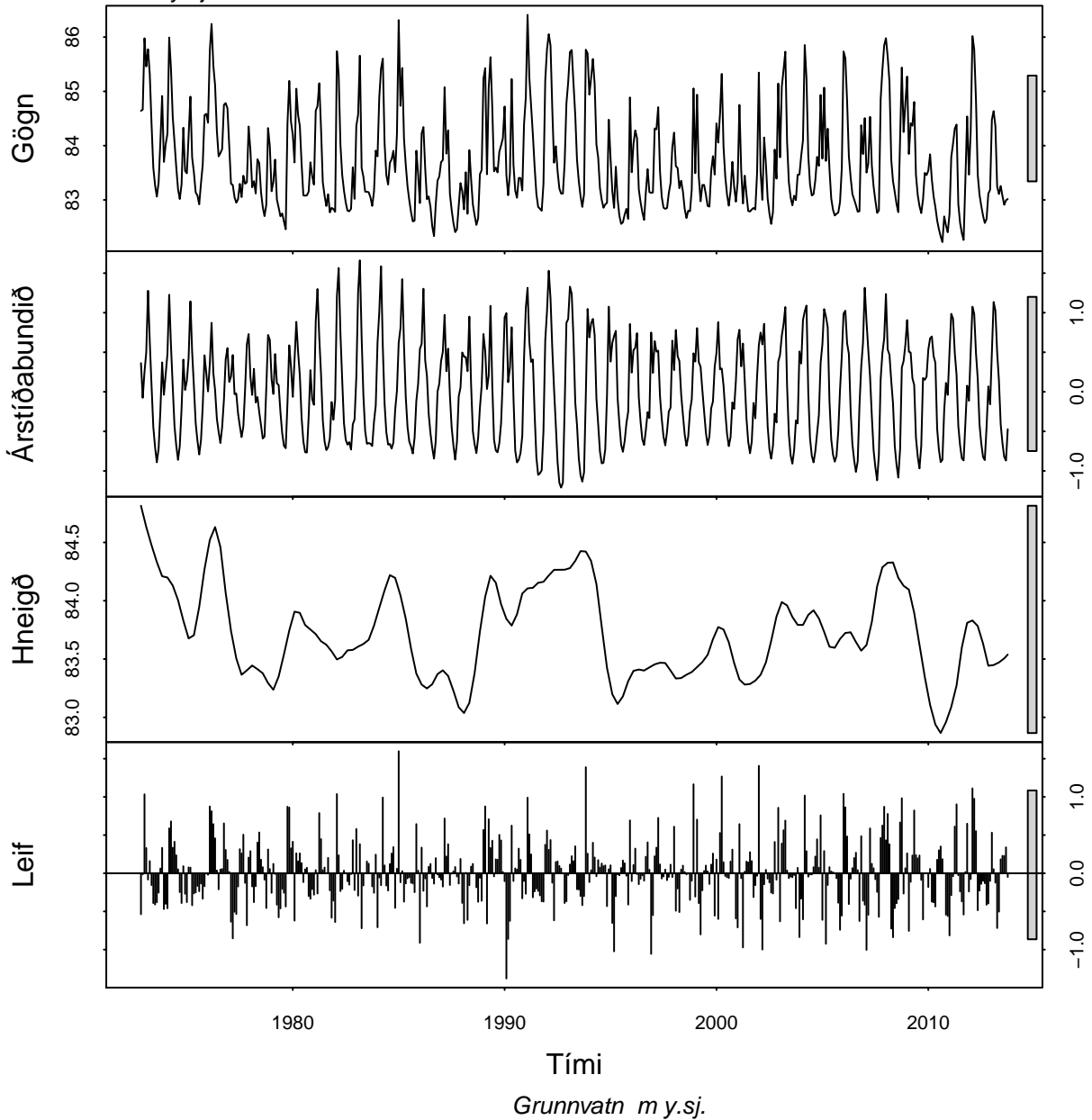
Grunnvatn m y.sj.

V-2 Kvíslaveita



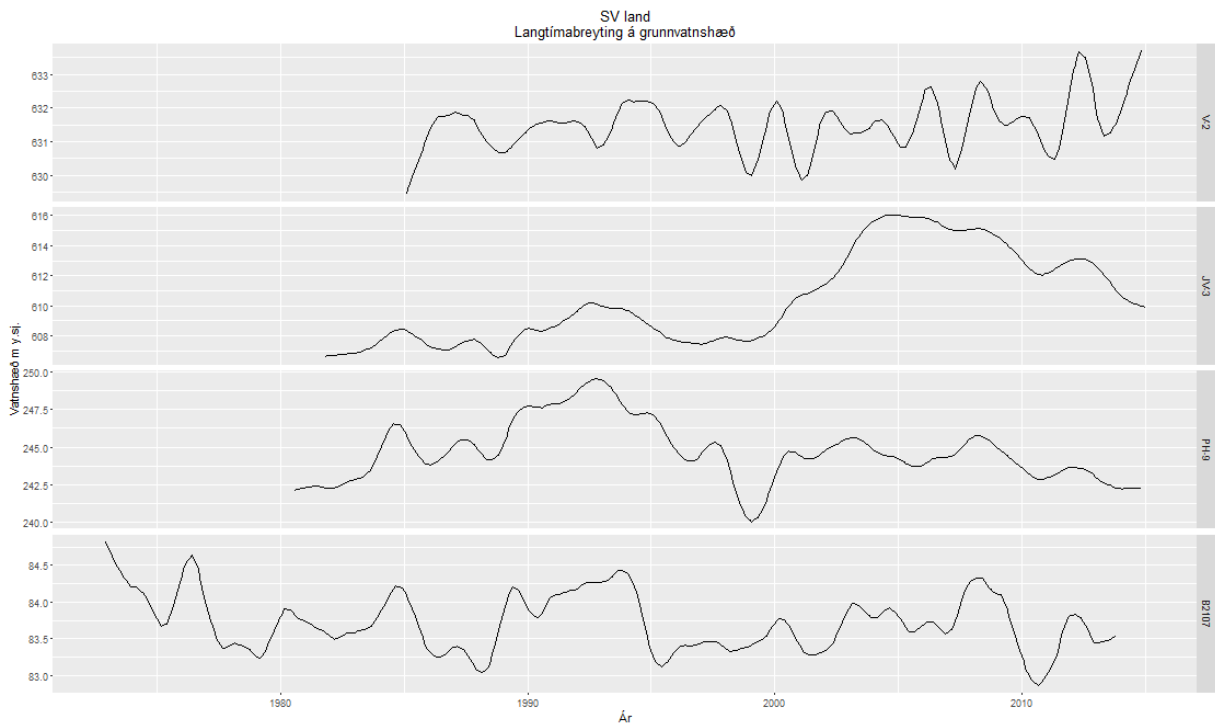
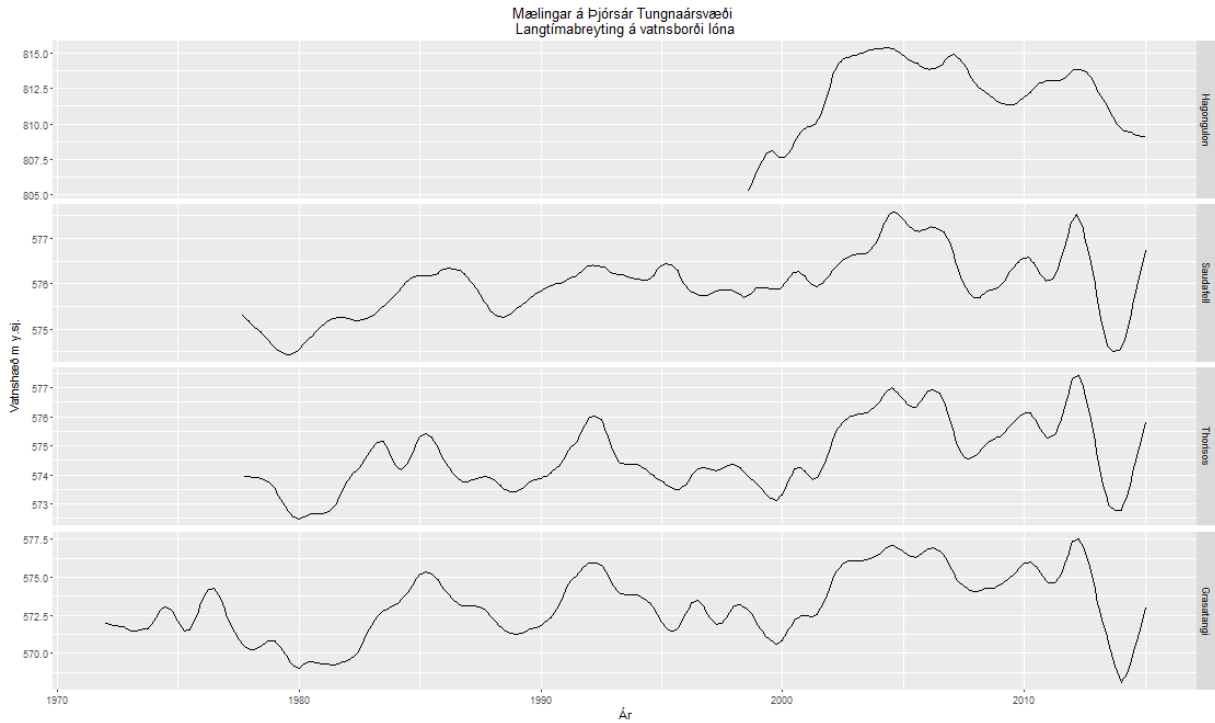
Grunnvatn m y.sj.

B2107-Berhóll

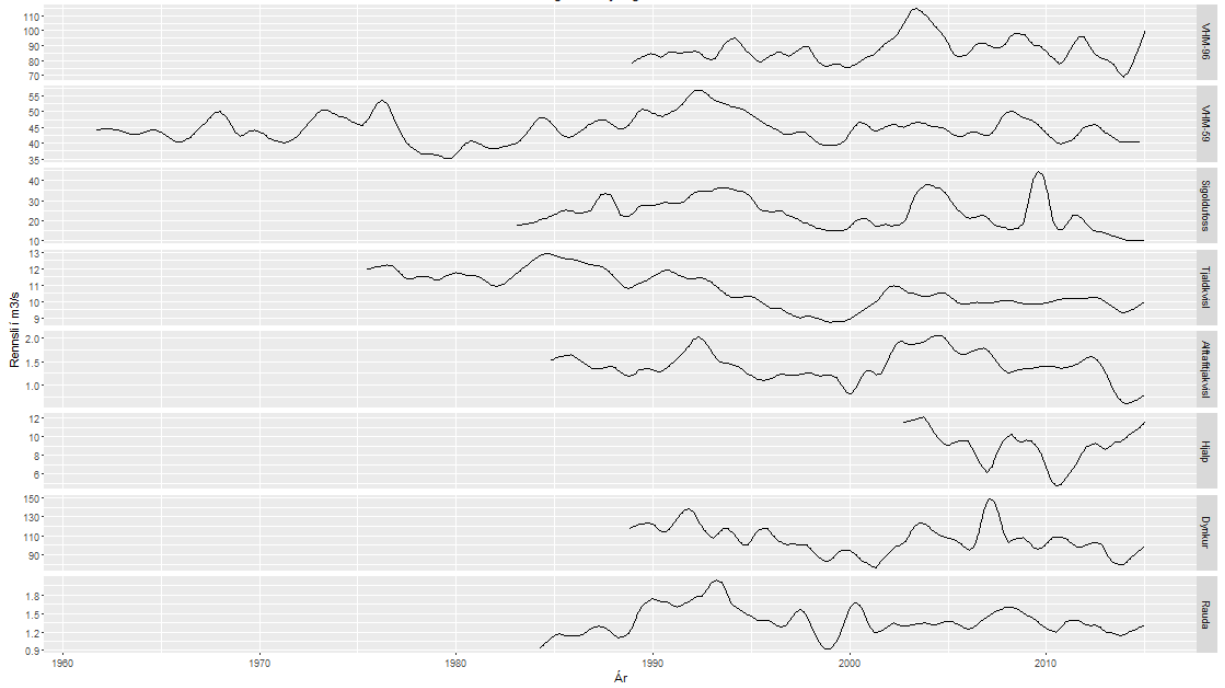


Viðauki III. Langtímabreyting á vatnshæð og rennsli

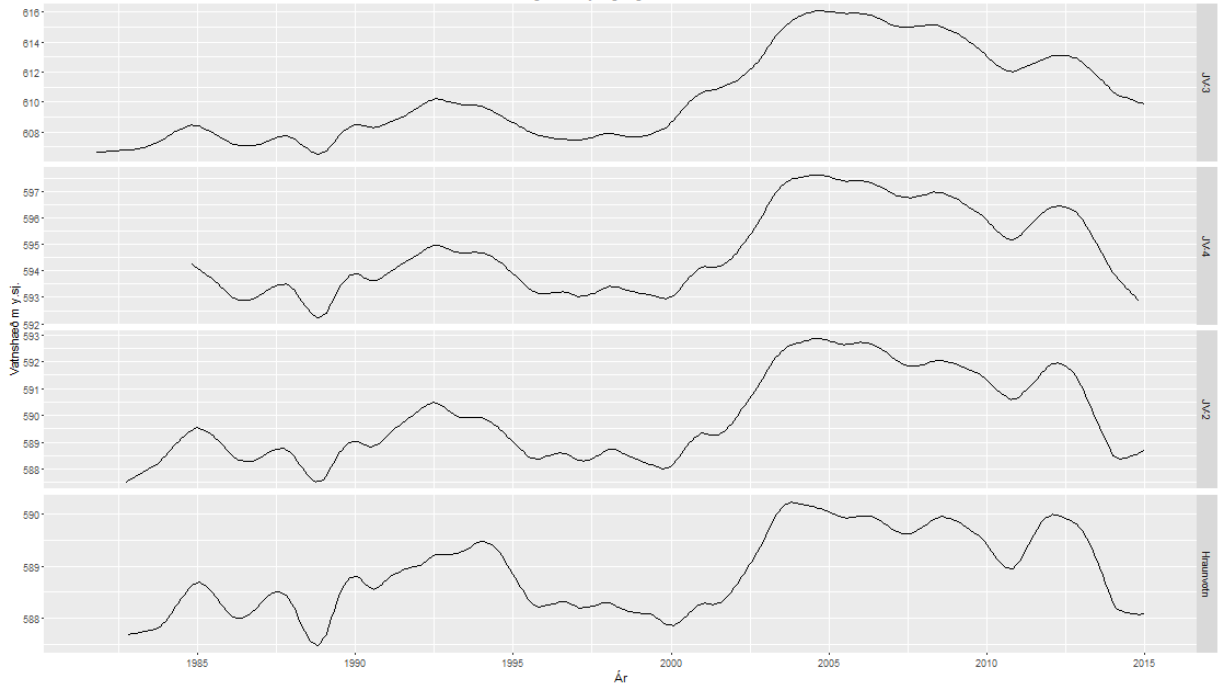
Eftirfarandi myndir sýna langtímabreytingu á vatnshæð við mismunandi holur.



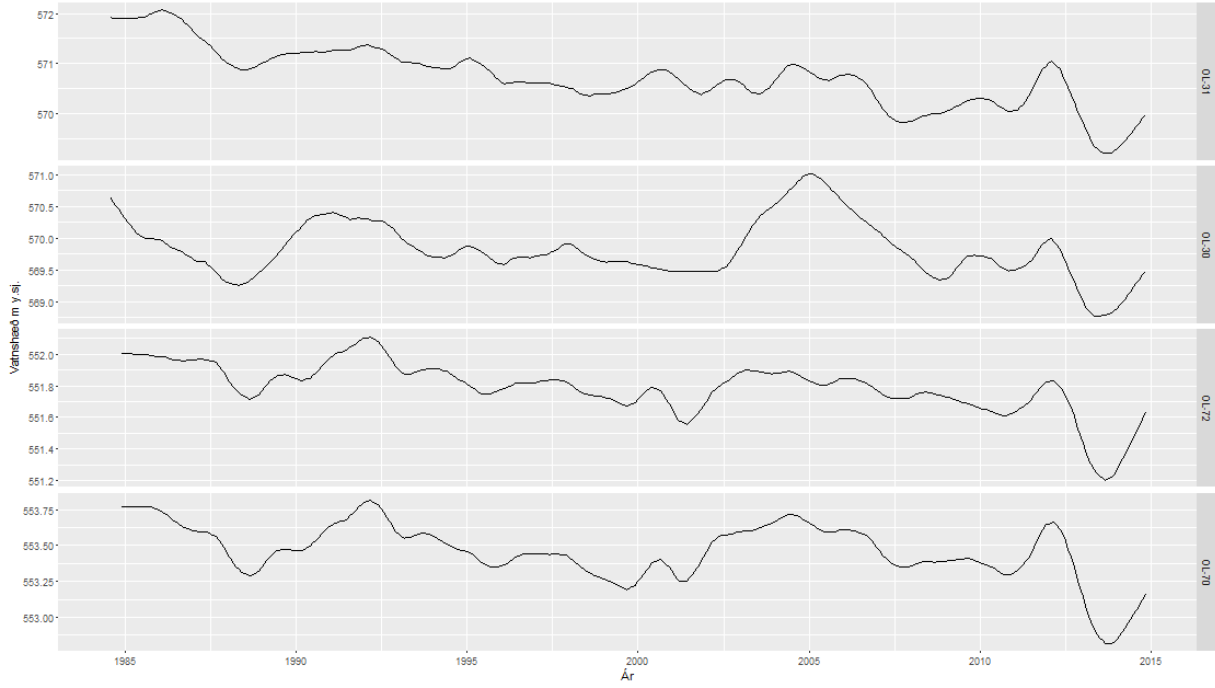
Rennslismælingar á Þjórsár Tungnaársvæði
Langtímabreytingar á rennsli



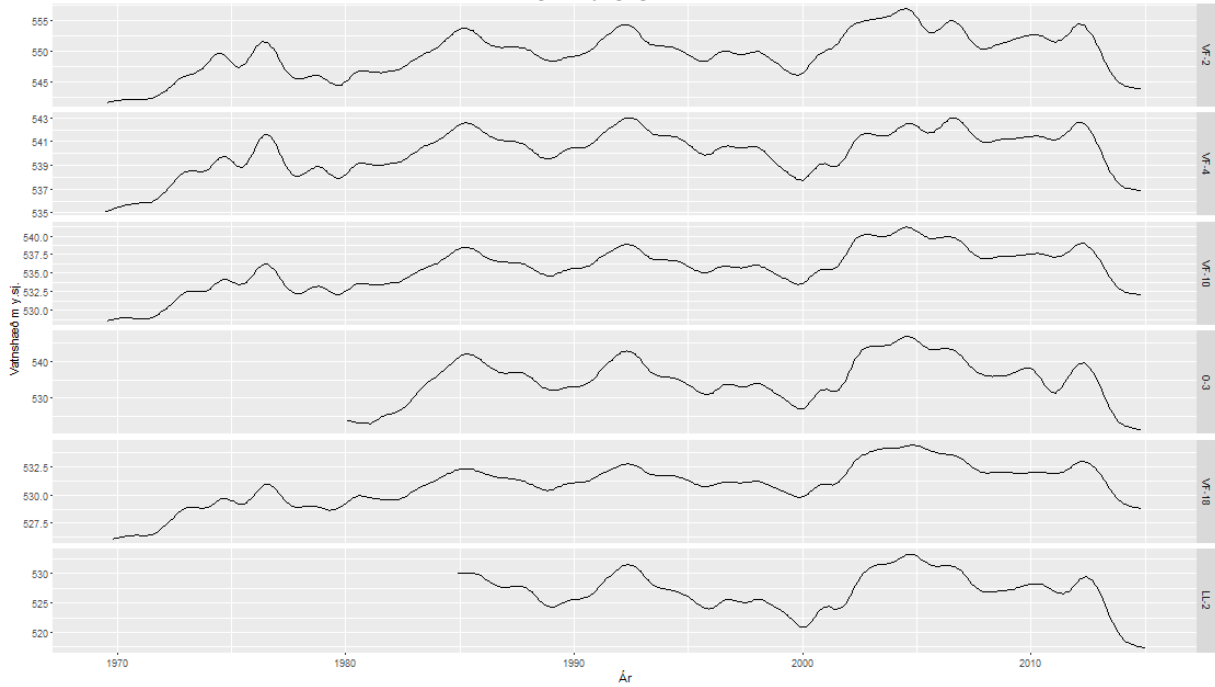
Aðrennsli að Þórisvatni
Langtímabreyting á grunnvatnshæð

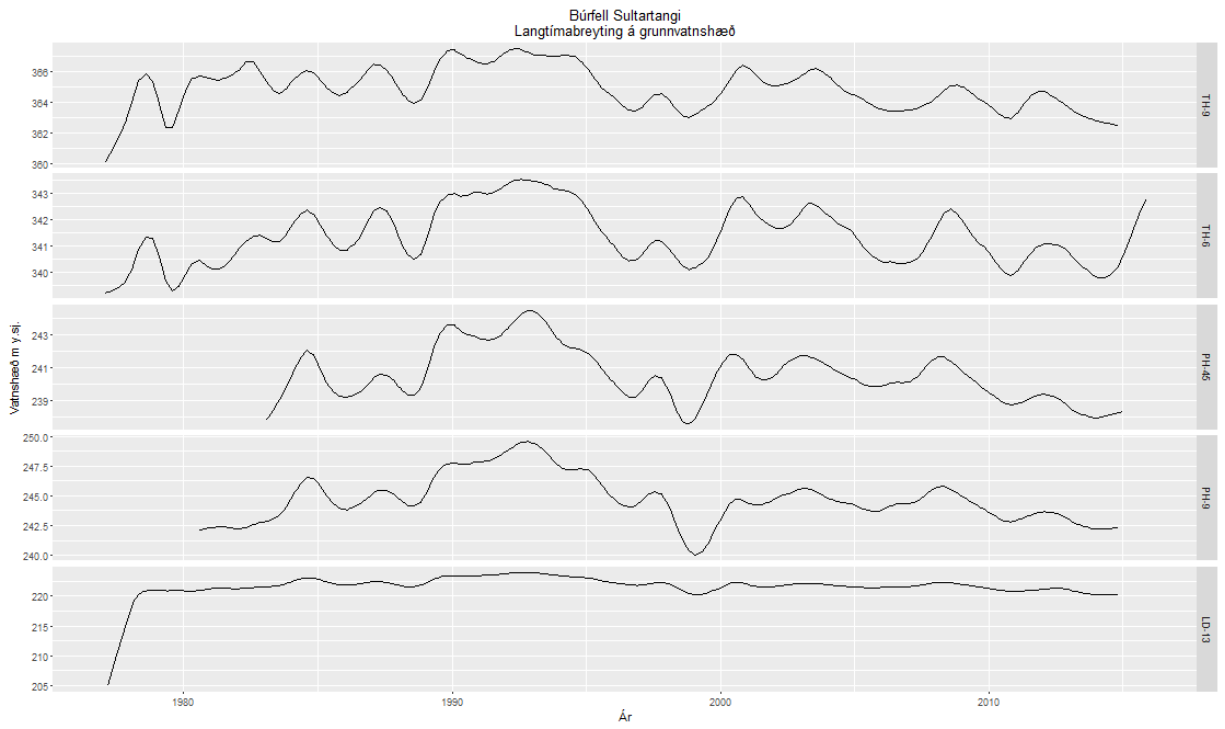
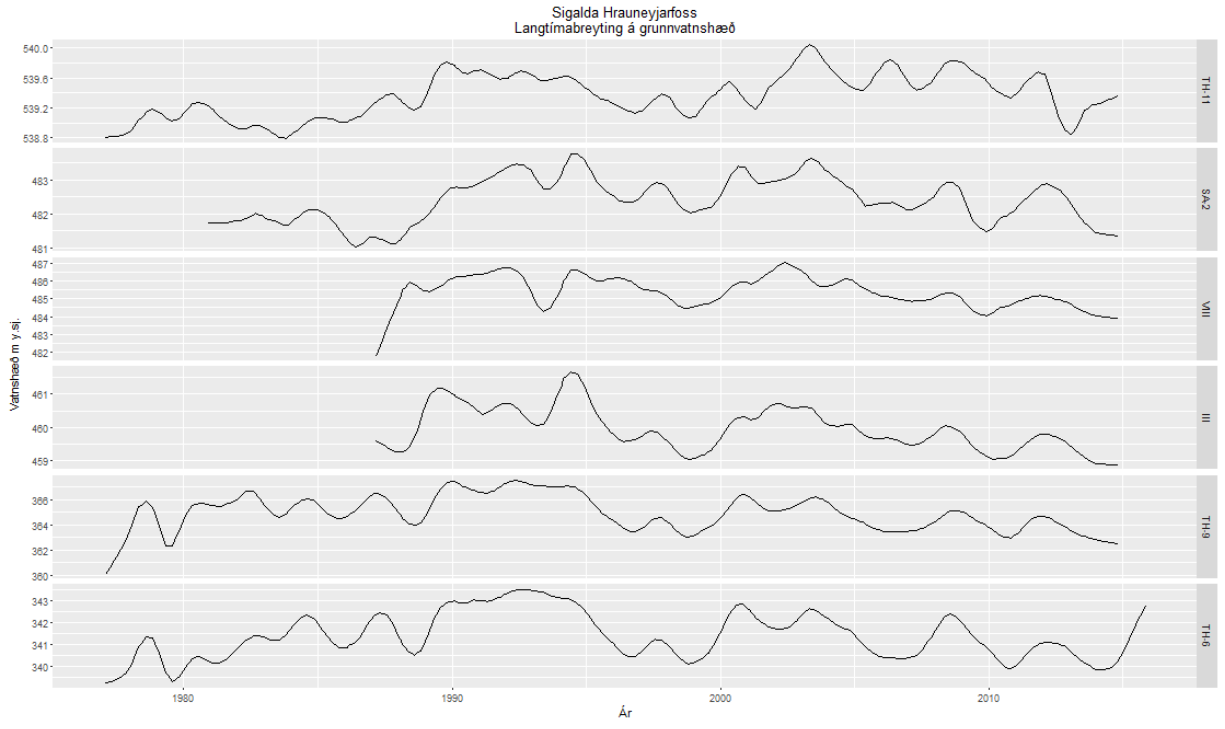


Pórisós Sauðafell
Langtímabreyting á grunnvatnshæð



Vatnsfell
Langtímabreyting á grunnvatnshæð







Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

