

Vatnafarskort af Reykjavík vestan Elliðaána

Blágrænar ofanvatnslausnir



Árni Hjartarson
Daði Þorbjörnsson

Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur

ÍSOR-2019/066

ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR

Reykjavík: Orkuáæður, Grensásvegi 9, 108 Rvk. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1699
Akureyri: Rangárvöllum, P.O. Box 30, 602 Ak. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1599
isor@isor.is – www.isor.is

Vatnafarskort af Reykjavík vestan Elliðaána

Blágrænar ofanvatnslausnir

Árni Hjartarson
Daði Þorbjörnsson

Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur

ÍSOR-2019/066

Desember 2019

Skýrsla nr. ÍSOR-2019/066	Dags. Desember 2019	Dreifing <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill Vatnafarskort af Reykjavík vestan Elliðaáa. Blágrænar ofanvatnslausnir		Upplag 3
		Fjöldi síðna 33
Höfundar Árni Hjartarson og Daði Þorbjörnsson		Verkefnisstjóri Daði Þorbjörnsson
Gerð skýrslu / Verkstig		Verknúmer 18-0190
Unnið fyrir OR		
Samvinnuaðilar		
Útdráttur Í tengslum við umræðu um innleiðingu blágrænna ofanvatnslausna í Reykjavík var ákveðið að uppfæra vatnafarskortin af höfuðborgarsvæðinu frá 1991 til 1997, þ.e. þann hluta sem nær yfir Reykjavík vestan Elliðaáa. Ekki var einungis um einfalda uppfærslu að ræða heldur einnig meiri nákvæmni, t.d. voru grunnvatnshæðarlínur þéttar úr 10 m millibili niður í 2 m bil. Dreagnar voru saman mælingar á grunnvatnshæð í öllum þeim holum á svæðinu sem unnt var að finna í gagnasöfnum og skýrslum. Í ljós kom að til að fá góða dreifingu á mæliholur og viðunandi mynd af grunnvatnshæðinni var nauðsynlegt að bora nýjar grunnvatnsholur á völdum stöðum. Níu holur voru boraðar í sept. 2019. Hið uppfærða kort byggist á mælingum í 71 borholu. Ýmsar mælingar voru gerðar í nýju borholunum, m.a. lektarmælingar. Síritar munu skrá breytingar á vatnsborði og hita í þeim á næstu árum. Fjallað er um grunnvatnshæð og sveiflur hennar, vatnshita í efstu lögum, hið tvöfalda grunnvatnskerfi undir borginni, lekt og lektareiginleika jarðlaga og þykkt grágrýtisins. Þegar horft er til blágrænna ofanvatnslausna og sjálfbærra fráveitukerfa er ljóst að grágrýtið er mikilvægasti viðtaki ofanvatnsins. Víða er alldjúpt niður á grunnvatnsborðið í grágrýtinu og það eykur á vægi þess. Gamla gosbergið er lítið eitt þéttara og hefur auk þess litla útbreiðslu. Fossvogs- og Elliðavogslög eru þétt og treg til að taka við ofanvatni. Jökulurð er almennt þétt en víðast hvar fremur þunn og hefur litla þýðingu hér. Strandset og manngerðar fyllingar eru aftur á móti lekar myndanir og geta haft umtalsverða þýðingu á ákveðnum svæðum. Þótt niðurstöðurnar bendi til þess að lekt bergs sé ekki meiri uppi á holtum en annars staðar eru holtin ákjósanlegur staður fyrir blágrænar ofanvatnslausnir vegna þess að þar geta bæði borholur og óvatnsmettað berg tekið við talsverðu vatnsmagni.		
Lykilorð Reykjavík, Elliðaár, blágrænar, ofanvatnslausnir, grunnvatn, grunnvatnsborð, grunnvatnshiti, lekt, lektarmælingar, lektarflokkar, slug test, ÍSOR, OR	Undirskrift verkefnisstjóra  Yfirfarið Heimir Ingimarsson	

Efnisyfirlit

1	Inngangur	7
2	Gagnasafnið	8
3	Dýpi á grunnvatn	15
4	Grunnvatnshiti	20
5	Tvöfalt grunnvatnsborð	22
6	Jarðlög og lektarflokkar vatnafarskortsins	23
7	Vatnaskil	25
8	Lekt í borholum	26
9	Lektarprófanir	28
10	Niðurstöður	32
11	Heimildaskrá.....	33

Töflur

Tafla 1.	Borholur sem boraðar voru vegna grænna ofanvatnslausna árið 2019	9
Tafla 2.	Grunnvatnsholur í Vatnsmýri og á flugvallarsvæðinu	11
Tafla 3.	Borholur með mældri grunnvatnshæð frá ýmsum tímum (40 stk.).....	13
Tafla 4.	Mæld lektargildi í grágrýti og fleiri bergtegundum í Reykjavík	27
Tafla 5.	Ídæling í GR-holurnar (slug test) 2. nóvember 2019.....	28
Tafla 6.	Niðurstöður lektarreikninga með aðferð Bouwers og Rice (1976)	30

Myndir

Mynd 1.	Í september 2019 voru boraðar 9 grunnvatnsholur, GR-1 til GR-9	9
Mynd 2.	Borholusnið í GR-1 til GR-9 teiknuð samkvæmt borskýrslum	10
Mynd 3.	Mæld grunnvatnshæð í 11 holum í Vatnsmýri og Hljómskálagarði 2014–2018.....	12
Mynd 4.	Grunnvatnsholur við Hlíðarenda og Reykjavíkflugvöll (map.is/os).	14
Mynd 5.	Mælingar gerðar í holu GR-6 við Stýrimannaskólann þann 1.11. 2019.	14
Mynd 6.	Nýtt vatnafarskort af Reykjavík.	16
Mynd 7.	Langsniðið A–B nær frá Fossvogi, yfir flugvallarsvæðið og Skólavörðuholt og endar í Rauðarárvík.	17
Mynd 8.	Langsniðið C–D nær frá Ánanaustum, yfir Landakotshæð, Miðbæinn, Skólavörðuholt, Krínglumýri, Réttarholt og inn í Elliðaárdal og þaðan yfir Breiðholtið	17
Mynd 9.	Fossvogssetið undir Gamla garði. Opnan er um 3 m há	18
Mynd 10.	Dýpi á grunnvatn í Reykjavík	19

Mynd 11. <i>SuDS-kort sem sýnir í grófum dráttum hvar sjálfbær fráveitukerfi henta vel og hvar að- stæður fyrir þau eru síðri</i>	19
Mynd 12. <i>Hitamælingar í nýju GR-holunum frá 1. október 2019</i>	21
Mynd 13. <i>Heitavatnsvinnsla á Laugarnessvæðinu og niðurdráttur í mæliholum OR 1985–2017</i>	22
Mynd 14. <i>Botn Reykjavíkurgrágrýtis</i>	24
Mynd 15. <i>Lektarflokkar á íslenskum vatnafarskortum</i>	25
Mynd 16. <i>Graf sem notað er til að ákvarða gildi á einingalausum stærðunum A, B og C</i>	30
Mynd 17. <i>Ádæling og mælingar í borholunni GR-3 á Skólavörðuholti 1. nóvember 2019.</i>	31
Mynd 18. <i>Ádæling í holu GR-2 við Réttarholtsskóla</i>	31

1 Inngangur

Í drögum að verkáætlun um blágrænar ofanvatnslausnir í Reykjavík frá 24.9.2018 kemur fram að í tengslum við umræðu um að innleiða blágrænar ofanvatnslausnir í Reykjavík og nágrannabyggðum var ákveðið að uppfæra vatnafarskortin af höfuðborgarsvæðinu sem voru gefin út á árunum 1991–1997. Margt hefur gerst síðan í borgarumhverfinu, götur og hverfi hafa breyst og landfyllingar hafa orðið til.

Í fyrsta áfanga skal fyrst og fremst horft til svæðisins vestan Elliðaáa og norðan Fossvogsdals. Ekki er einungis hugsað um einfalda uppfærslu, stefnt skal að meiri nákvæmni en á upphaflegu kortunum. Helstu markmið eru eftirfarandi:

- Grunnvatnshæðarlínur skal sýna með 2 m bili. Á fyrri kortum eru þær með 10 m bili.
- Vatnaskil skulu dregin upp í meiri upplausn en var á fyrri kortum.
- Lektarflokkum berggrunns og jarðgrunns skal fjölgað ef kostur er.
- Þykkt og útbreiðslu lausra jarðefna skal uppfæra í samræmi við nýjar upplýsingar
- Skerpt verður á rennislisleiðum yfirborðsvatns
- Uppfærð gatnakerfisþekja verður sýnd á kortinu

Til að unnt sé að þetta net grunnvatnshæðalína er nauðsynlegt að finna heppilegar borholur með góðri dreifingu á svæðinu til að mæla vatnsborð. Holurnar þurfa að vera grunnar (<100 m) og lítið fóðraðar og síðast en ekki síst aðgengilegar til mælinga. Hugsanlega þarf að mæla sumar af holunum inn, einkum holuhæð. Einnig má fá mælingar á grunnvatnshæð víðar en í borholum, t.d í djúpum húsgrunnum.

Óljóst er hvernig viðtakar jarð- og berggrunnurinn undir Reykjavík eru gagnvart regnvatni og öðru ofanvatni, þ.e. hversu miklu vatni gera megi ráð fyrir að svæði geti tekið við á tímaeiningu. Þetta ræðst fyrst og fremst af berglektinni (permeability). Hún er sýnd á vatnafarskortunum og út frá því ætti að vera hægt að reikna hversu hratt vatn hripar niður á hinum ýmsu stöðum. Gallinn er þó sá að upplausnin í kortinu er mjög gróf. Til dæmis er allt grágrýtið í einum flokki. Tiltölulega einfaldar tilraunir og mælingar í borholum og dæluprófanir (slug test) gætu skorið úr um hver breytileikinn er innan flokksins og hvort ástæða er til að greina hann upp.

Ávinningur verksins er ekki einungis nýtt og nákvæmt vatnafarskort af Reykjavík til að hafa upp á vegg.

- Kortið á að vera eitt af þeim grundvallargögnum sem nýtast við innleiðingu blágrænna ofanvatnslausna í Reykjavík og vera leiðbeinandi við gerð vatnafarslíkana bæði af svæðinu í heild og af afmörkuðum svæðum innan borgarinnar.
- Það á að auðvelda val á þróunarsvæðum þar sem blágrænar ofanvatnslausnir eru reyndar og aðlagðar að íslensku umhverfi.
- Það á að auka skilning á því hvernig viðtakar jarð- og berggrunnurinn undir Reykjavík eru og hversu miklu ofanvatni gera megi ráð fyrir að svæði geti tekið við á tímaeiningu.
- Það á að geta gefið tilfinningu fyrir því hvar aðstæður leyfa auðvelda innleiðingu blágrænna ofanvatnslausna í borginni og hvar útfærsla getur verið meira krefjandi vegna aðstæðna, s.s. lektar.
- Það á að auðvelda vinnu við að skilgreina rennislisleiðir yfirborðsvatns og hvar best er að meðhöndla það.

2 Gagnasafnið

Til að finna hæð grunnvatnsborðsins og draga jafnhæðarlínur á kort var fyrst og fremst stuðst við mælingar í grunnnum borholum (< 100 m). Einnig var á stöku stað stuðst við upplýsingar úr djúpum húsgrunnum og upplýsingar um grunnvatnsflóð í kjöllum húsa. Grunnvatnsborðið sveiflast upp og niður eftir árstíðum og tíðarfari (mynd 3). Mælingar í Vatnsmýri og þar í grennd á umliðnum árum sýna að þar er sveiflan innan við 2 m (Ágúst Guðmundsson og Sveinn Óli Pálmarsson, 2018). Þar sem land er hærra má búast við meiri sveiflum. Sjávarfallasveifla kemur fram í grunnvatninu næst strönd en nær yfirleitt ekki langt (Þórólfur H. Hafstað og Árni Hjartarson, 2004). Undantekning frá því er í miðbænum en þar gætir sjávarfalla í grunnvatni milli hafnarinnar og Reykjavíkurtjarnar. Þetta hafa menn séð í húsgrunnum en engar beinar mælingar hafa verið gerðar á sjávarfallaáhrifunum þar. Kortið miðar við meðalgrunnvatnshæð.

Í Reykjavík kemur ótruflað grunnvatnsborð einungis fram í grunnum holum og best er að þær séu ekki mikið fóðraðar. Í dýpri holum fara lokaðir veitar á meira dýpi að hafa áhrif. Dæling úr djúpum borholum Orkuveitunnar hefur valdið þrýstilækkun í jarðhitakerfunum undir borginni, sem kemur fram í því að vatnsborð í mæliholum hefur dregist niður og er víða á tuga metra dýpi. Um þetta er fjallað nánar í 6. kafla. Töflur 2 og 3 sýna þær holur sem traustar grunnvatnsmælingar fengust úr. Allmargar grunnvatnsholur eru í Vatnsmýrinni og þar í grennd sem fylgst hefur verið með á síðustu árum (mynd 4) (Ágúst Guðmundsson og Sveinn Óli Pálmarsson, 2018). Gögn eru til úr 31 holu þar. Þar fyrir utan voru furðu fáar holur sem hægt var að komast í til mælinga. Einungis 7 slíkar holur fundust. Hins vegar eru til gamlar mælingar úr 24 holum til viðbótar sem styðjast má við. Sums staðar hafa aðstæður þó breyst verulega frá því mælingarnar voru gerðar. Alls voru þetta því 62 holur. Þetta kann að virðast góður fjöldi en gallinn er sá að þær eru óheppilega dreifðar. Mikill meirihluti þeirra er í Vatnsmýrinni. Níu eru á litlum bletti við Laugarveg og Hverfisgötu. Vöntun var á holum uppi á hæðum og ásum borgarinnar.

Ákveðið var að bæta úr þessu og bora nokkrar grunnvatnsathugunarholur á völdum stöðum til mælinga á grunnvatnsstöðu og grunnvatnssveiflum og fleiri þáttum. Í september 2019 voru því boraðar 9 grunnvatnsholur víða um borgina. Það var jarðborinn Hrímnir frá Ræktó sem notaður var í verkið. Dýpi þeirra er á bilinu 12–36 m og holuvídd er 5½". Holurnar fengu ein-kennisstafina GR-1 til GR-9 (tafla 1, myndir 1 og 5 og borholusnið á mynd 2). Gagnasafnið allt telur því 71 holu.

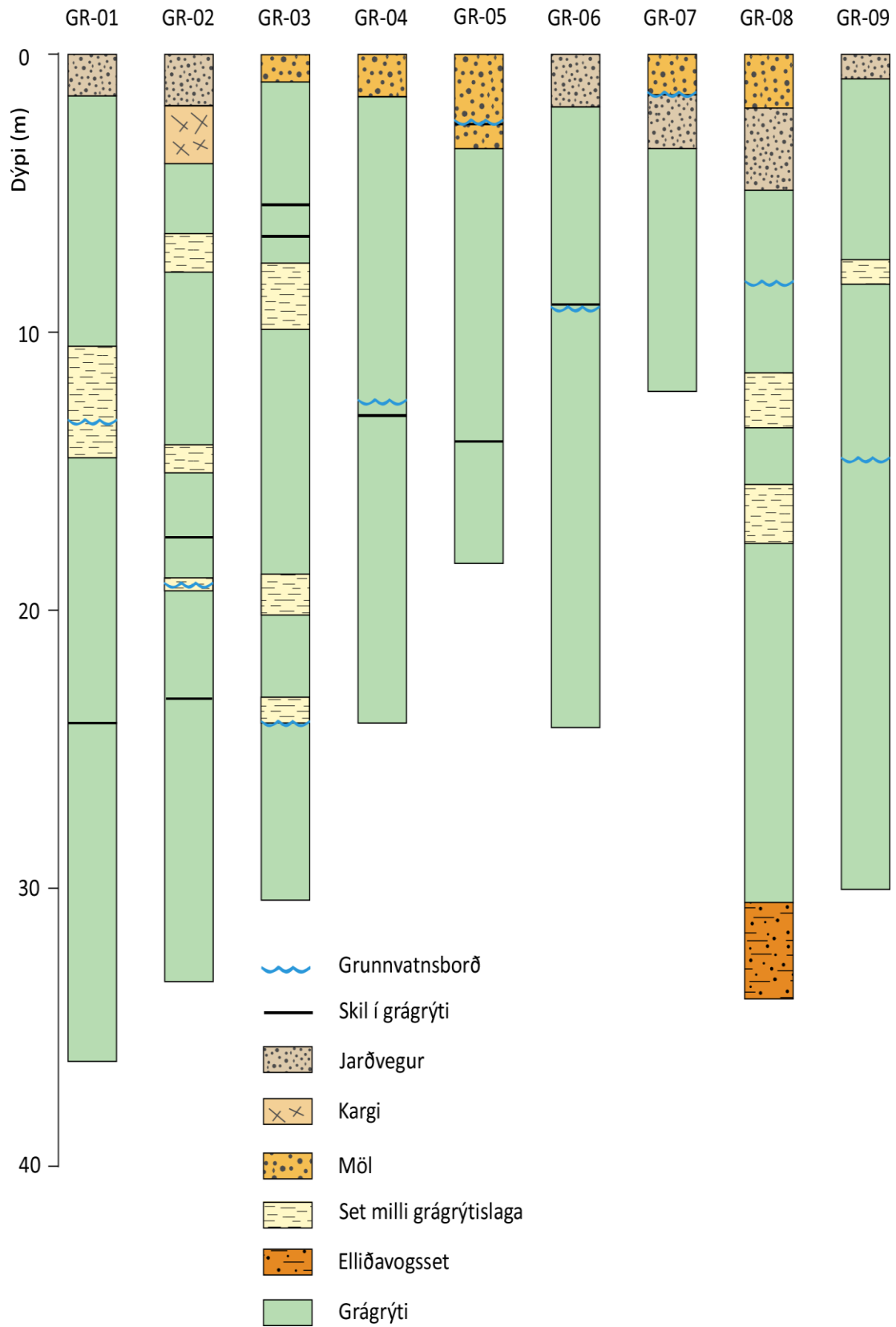
Síritar voru settir í allar nýju holurnar sem nema grunnvatnshæð og grunnvatnshita. Holustútar eru lágir, sums staðar í jarðhæð. Ádælingarprófanir (slug-test prófanir) voru gerðar í þeim öllum þannig að dælt var á þær vatni og þær fylltar. Síðan var fylgst með vatnsborðinu síga í fyrra horf (sjá kafla 9).

Tafla 1. Borholur sem boraðar voru vegna grænna ofanvatnslausna árið 2019.

Nr.	Hola	Staður	Dýpi m	Fóðringar-dýpi m
3301	GR-1	Efra-Breiðholt við Hraunborg	35,8	3
3302	GR-2	Réttarholt nálægt Réttarholtsskóla	32,95	6
3303	GR-3	Skólavörðuholt bak við Hallgrímskirkju	30	3
3304	GR-4	Stýrimannaskólinn við vatnstanka	24,1	3
3305	GR-5	Laugardalur sunnan við Grasgarðinn	17,75	6
3306	GR-6	Landakotshæð	24	3
3307	GR-7	Sóltún	12	6
3308	GR-8	Ármúli	33,5	6
3309	GR-9	Laugarás, Norðurbrún	29,7	3



Mynd 1. Í september 2019 voru boraðar 9 grunnvatnsholur, GR-1 til GR-9, víðsvegar um Reykjavík. Hér er verið að gera mælingar í holu GR-3 á Skólavörðuholti.



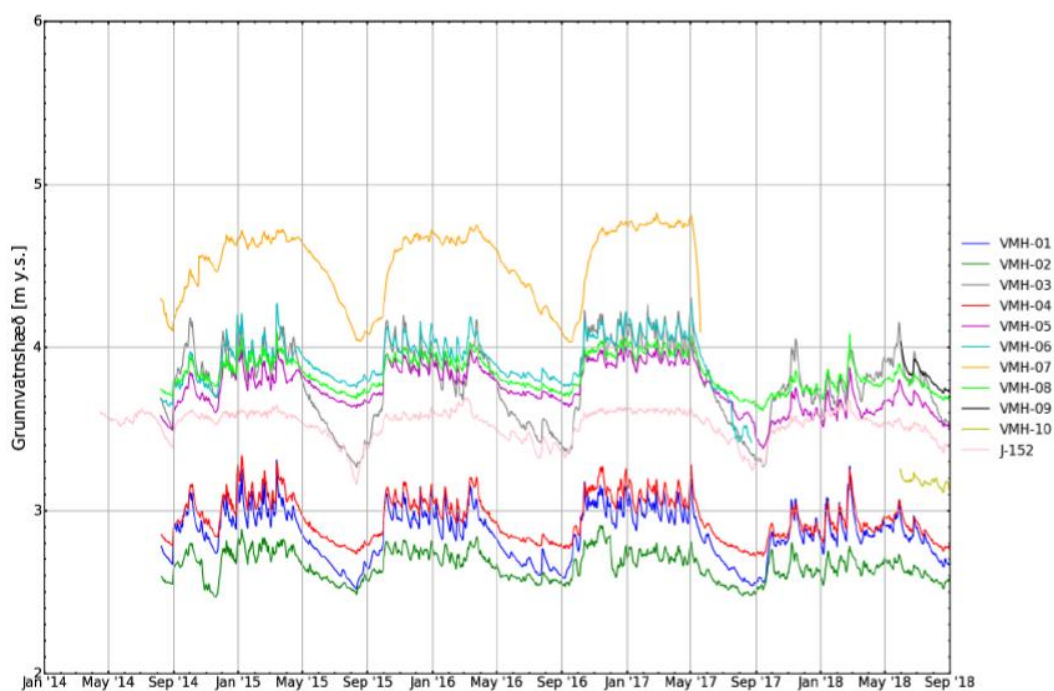
Mynd 2. Borholusnið í GR-1 til GR-9 teiknuð samkvæmt borskýrslum.

Tafla 2. Grunnvatnsholur í Vatnsmýri og á flugvallarsvæðinu. Ekki eru aðgengilegar mælingar úr öllum holunum. Grunnvatnsstaða er gefin þar sem mælingar hafa fundist (þ.e. í 31 holu).

Staður	Heiti	Borár	x	y	z	Dýpi (m)	Grv. Dýpi (m)	Grv. hæð (m y.s.)
2831	GW-01	1988	356672,3	407100	5,01			
2832	GW-02	1988	356867,1	406987,2	7,48	10,3		5,7
2833	GW-03	1988	357211,8	406738,4	11,54			
2834	GW-04	1988	357369,4	406624,9	12,81			
2835	GW-05	1988	357141,6	406517,2	13,61			
2836	GW-06	1988	357227,2	405802,1	11,49	5,5		7,6
2837	GW-07	1994	357106,5	406009,3	10,65			
2838	GW-08	1994	357075,4	405636,5	8,47			
2839	GW-09	1994	356878,2	405689,3	6,87			
2840	GW-10	1994	356929,5	405937,8	9,75			
2841	GW-11	1994	356807,4	406213,8	11,74	1,3		10,6
2842	GW-12	1994	356582,7	406341,2	10,96	1,1		
2843	GW-13	1994	356192,7	406558,0	7,55	1,3		
2844	GW-14A	1994	356064,4	406752,7	5,14			3,6
2830	GW-15	1994	356415,1	406563,3	10,39			
2846	GW-16	1994	356895,4	406455,1	13,41	1,5		12 ??
2847	GW-17	1994	356886,5	406725,6	11,0			
2848	GW-18	1994	357018,2	406764,3	10,86	1,9		10,3
2849	GW-19	1994	357001,3	407141,6	6,61			
2850	GW-20	2014	357095,7	407005,7	9,80	6,0		7,5
2851	GW-21	2014	357179	406746,3	11,47	6,0		8,8
2852	GW-22	2014	357296,9	406104,3	11,26	8,5		9,1
2781	VMH-01	2014	356743,4	406104,3	10	4,2		
2782	VMH-02	2014	356848,6	407584,7	3,73	6,0		2,6
2783	VMH-03	2014	356669,9	407527,2	5,53	6,8		
2784	VMH-04	2014	356818,7	407472,6	4,8	6,0		2,8
2785	VMH-05	2014	356532,9	407298,4	5,17	9,0		3,7
2786	VMH-06	2014	356450,3	406968,2	6,96	9,0		3,8
2787	VMH-07	2014	356582,1	407091,3	5,80	9,0		4,1
2788	VMH-08	2014	356815,7	407238,2	4,79	6,0		
2789	VMH-09	2014	356444,4	406823,6	7,4	7,1		
2790	VMH-10	2018	356647,1	407074,9	6,12	13,2		
3717	NU-01	2014	356952,4	407311,0	6,29	8,0	1,74	4,56
3718	NU-02	2014	357049,9	407203,6	8,56	8	3,35	5,21
3719	NU-03	2014	357157,6	407093,5	9,65	7,0		6,4
3632	NLC-02	2011	357375	407014	12,20	3,6		5,7

Tafla 2. (Frh.)

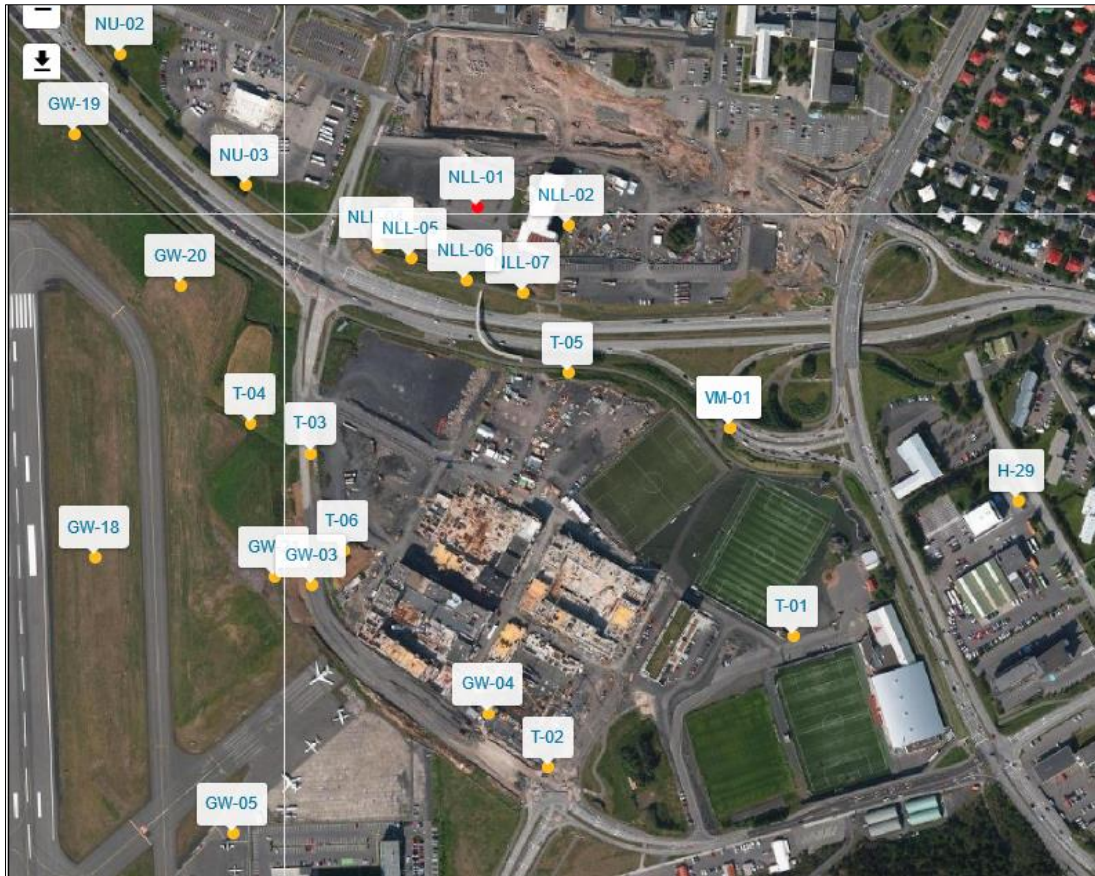
Staður	Heiti	Borár	x	y	z	Dýpi (m)	Grv. dýpi (m)	Grv. hæð (m y.s.)
3631	NLC-G2	2011	357117,5	407087,5	7,3	1,9		
	NLC-04	2011	357472,4	407002,3	11,80	3,2		
2771	NLL-01	2011	357303,7	407089,4	12	8		8,4
2772	NLL-02		357475,5	407056,3	12,3	5,65		10,0
3711	T-01	2014	357648,2	406825,5	15,64	15	0,76	14,88
3712	T-02	2014	357498,8	406607,9	15,20	11,0	2,00	13,2
3713	T-03	2014	357218,3	406886,2	10,13	9,5	1,96	8,17
3714	T-04		357182,0	406901,9	9,52	7,2	1,57	7,95
3715	T-05	2014	357443,8	406937,0	13,9	12,0	3,62	10,28
3716	T-06	2014	357239,4	406765,7	12,73	15,0	3,90	8,83
3752	T-07		357318,5	406598,8		5,5		10,0
3753	T-08	2015	357323	406880,4	11,25	14,0		8,4
3754	T-09	2015	357323	406827,2	11,69	13,5		8,5
3755	T-10	2015	357393,7	406682,4	13,75	11,5		10,7
3756	T-11		357506,4	406766,7	14,37	11,3		
3757	T-12	2018	357233,5	406970	10,39	7,5		
	J-152	2011	356680,8	407207,8	4,17	2,5		3,4
3741	HB-01	2001	357660	407045		11,0		



Mynd 3. Mæld grunnvatnshæð í 11 holum í Vatnsmýri og Hljómskálagarði á árabílinu 2014–2018 (Ágúst Guðmundsson og Sveinn Óli Pálmarrsson, 2018). Árleg vatnsborðssveifla er víðast í kringum 0,5 m.

Tafla 3. Borholur með mældri grunnvatnshæð frá ýmsum tímum (40 stk.).

Nr.	Holunafn	Borár	Dýpi m	X	Y	Z	Meðal- dýpi á gvb m	Meðal- gvb m y.s.
1611	SG-01	2007	40	359795	408647	11	2,3	8,7
1612	SG-02	2007	50	360130	408538	20	3,5	16,5
1613	SG-03	2007	57	360478	408290	24	6,9	17,1
1614	SG-04	2007	60,2	360830	408064	12	1,2	10,8
1617	SG-07	2007	50,2	361253	407519	17,5	10,1	7,4
1620	SG-10	2007	20,1	359583	408626	6	2,4	3,6
1622	SG-12	2007	38,8	361247	407271	19	4,1	14,9
2964	MK-01	1994	9,7	358847,1	406557,2	37,43	3,10	34,3
2965	MK-02	1994	9,7	358886,4	406651,3	37,34	3	34,34
3021	MM-01	1958	60	359300,1	405801,2	46	1,5	44,5
4211	PS-01	1955	80	358256,4	406411,5	38,98	1,2	37,78
5201	LH-1	2008	31,1	357802	407450	19,902	9,4	10,5
5202	LH-2	2008		357662	408029	16,092	4,29	11,8
5203	LH-3	2008	24,7	357796	407506	14,716	5,82	8,9
5211	BO-1	2008	20	357927	407872	12,935	2,34	10,6
5212	BO-2	2008	21,8	357921	407407	14,816	4,32	10,5
5213	BO-03	2008	15,2	357955	407963	9,809	2,01	7,8
5214	BO-04	2008	18,8	357899	407966	12,376	5,37	7
5215	BO-05	2008	15,8	357989	407460	5,93	1,53	4,4
5216	BO-06	2008	15,8	357901	407482	5,55	0,65	4,9
1272	FV-01	1955	52,2	358619	405540	27	0	27
403	HS-03	1967	100	356175,9	408757	6	3	3
1291	HS-04	1967	101	355780,5	407100,3	1,5	1,5	0
4112	EH-02	1992	50,2	361305	407110	20	3,7	16,3
3301	GR-01	2019	35,8	362875,879	403306,271	92,698	13,21	79,488
3302	GR-02	2019	32,95	360615,251	405336,882	55,694	19,06	36,634
3303	GR-03	2019	30	357584,501	407558,154	35,755	24,12	11,635
3304	GR-04	2019	24,1	358738,736	407205,884	44,63	12,73	31,9
3305	GR-05	2019	17,75	360447,378	406872,165	18,832	2,73	16,102
3306	GR-06	2019	24	356573,098	408340,082	20,038	9,28	10,758
3307	GR-07	2019	12	358795,167	407785,907	12,657	1,72	10,937
3308	GR-08	2019	33,5	359527,893	407087,231	37,61	8,04	29,57
3309	GR-09	2019	29,7	360430,802	407783,430	40,955	14,81	26,145
483	AL-02	1971	12,82	361544,5	405000,8	10,18	0,85	9,3
3911	TU-01	1958	24,75	359423,7	407548,2	17,30	1,7	15,6
	Hrísat.	2018	?	359659	408264	5	1,5	3,5
4164	AK-01	1986	56	356831	408146	3,1		1,84
2601	RK-01	1987	45	356890	408219	3,1		1,92
2976	SK-06	2003	21	359507	408587	4,0	5,5	-1,5
2921	LN-01	1958	41	359506,81	408785,91	7,4	3,0	4,4



Mynd 4. Grunnvarnsholur við Hlíðarenda og Reykjavíkurlflugvöll (www.map.is/os).



Mynd 5. Mælingar gerðar í holu GR-6 við Stýrimannaskólann þann 1.11. 2019.

3 Dýpi á grunnvatn

Mælingar sýna að grunnvatnsborðið í Reykjavík endurspeglar hæðir og lægðir í landslaginu í stórum dráttum eins og vænta mátti, enda er það meginregla (mynd 14). Grunnvatnsborðið er þó mun jafnara en landslagið. Djúpt er á það undir hæðum en grunnt í lægðum. Það er úrkoman á svæðinu og írennsli sem heldur vatnsborðinu uppi. Langt að komnir grunnvatnsstraumar eru ekki fyrir hendi. Sem dæmi má nefna borholuna GR-6 á Landakotshæð sem boruð var í september 2019. Holan er í um 20 m hæð yfir sjó. Dýpi á grunnvatn mældist um 8,5 m og þar með var grunnvatnsborðið í 11,5 m yfir sjó. Það er fyrst og fremst úrkoman á Landakotshæðinni og írennsli hennar niður í jarðlögin og hið hæga streymi grunnvatnsins sem heldur grunnvatnsborðinu uppi. Meðaltalsúrkoman í Reykjavík frá síðustu aldamótum hefur verið tæpir 900 mm á ári samkvæmt gögnum Veðurstofunnar.

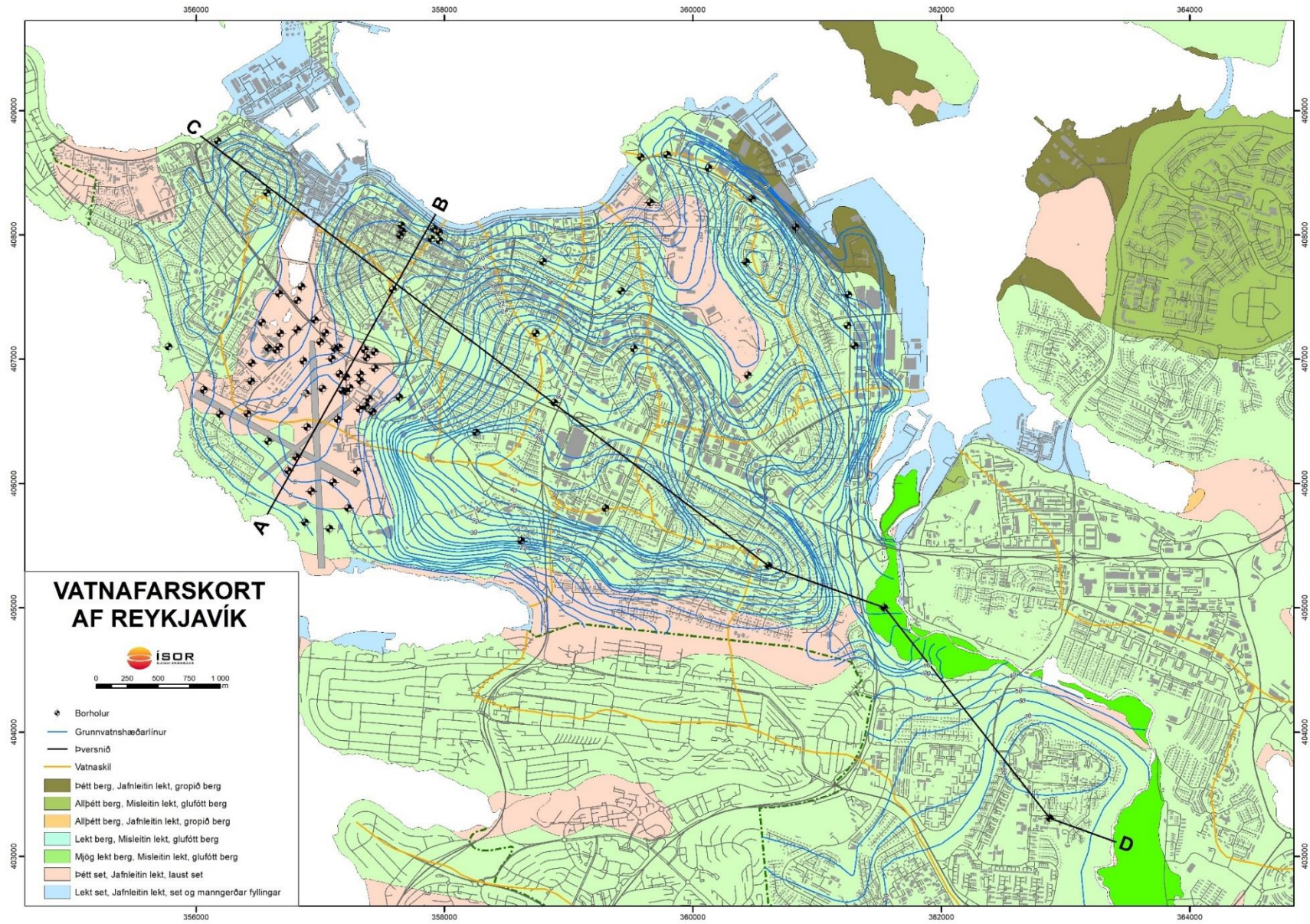
Almennt er grunnvatnsborð undir borginni ekki í náttúrulegu ástandi, því hefur verið raskað með alls kyns framkvæmdum. Afrennsli á yfirborði er miklu meira en var en við óraskaðar aðstæður. Grunnvatnsborð er því lægra nú en áður en byggðin reis. Húspök, malbikuð plön og götur steypa af sér vatninu og veita því fram á yfirborðið og út í sjó en niðurrennsli minnkar að sama skapi.

Dýpi á grunnvatnsborð í þeim holum sem mældar voru leikur á bilinu 0–4 m. Minnst er það í votlendi, s.s. í Vatnsmýri og innarlega í Laugardal, þar sem það er víða við yfirborð, en uppi á hæðum er dýpra á það. Mesta dýpi á grunnvatn mælist í einni af nýju grunnvatnsholunum, GR-3 á Skólavörðuholtinu, en þar er grunnvatnsborðið á um 24 m dýpi (11 m y.s.). Ekki er gott að segja hvernig á því stendur að það er svona lágt. Holan GR-4 við Stýrimannaskólann ætti að vera sambærileg. Hún er álíka hátt yfir sjó og álíka langt frá strönd en þar eru einungis 12 m niður á grunnvatnsborðið. Það er ekki síður athyglisvert í þessu sambandi að grunnvatns-hæð við Reykjavíkflugvöll, sunnan við Skólavörðuholtið, er í svipaðri hæð og undir holtinu sjálfu, eða í um 10 m y.s. Þessi afbrigðilega grunnvatnsstaða kemur vel fram á þversniðunum á myndum 7 og 8. Hugsanleg skýring er sú að írennsli til grunnvatns sé hlutfallslega minna á Skólavörðuholtinu en í öðrum hverfum borgarinnar. Það þýðir að meira tapast af úrkomunni með beinu afrennsli á yfirborði og í fráveitulögnum en annars staðar. Við flugvöllinn tapast lítið af úrkomunni burt og þar er einnig mun þéttara undirlag því ágegndræp setlög, Fossvogslögin, þekja svæðið.

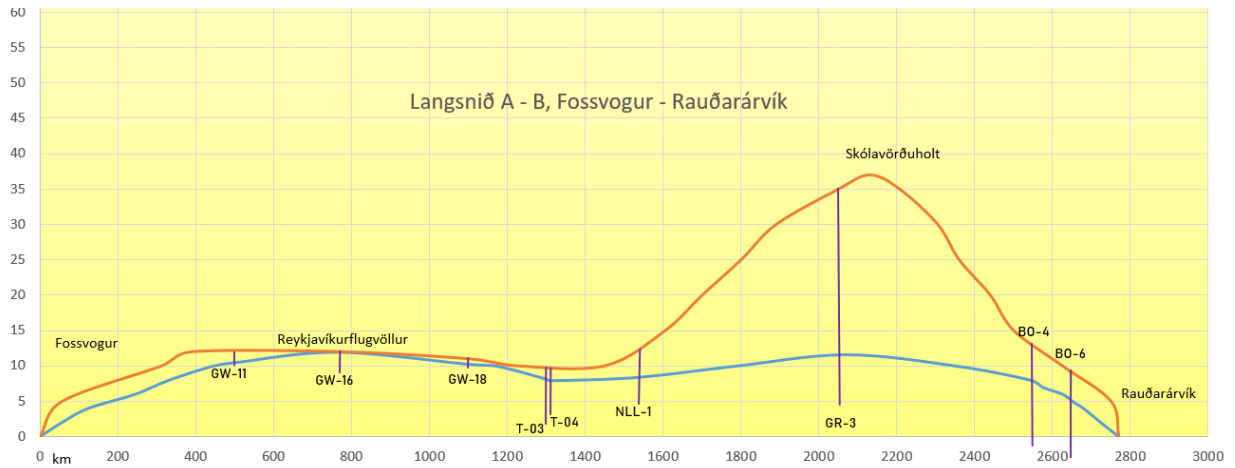
Í borholunni GR-2 nálægt Réttarholtsskóla eru um 18,5 m niður á grunnvatnið. Í holu MM-1 við Útvarpshúsið var dýpi á grunnvatnið aðeins 1,5 m fyrst eftir að hún var boruð. Einungis ein mæling er til úr henni og hún er frá árinu 1958 en þá var lítið farið að byggja á svæðinu. Þarna er hugsanlega vísbending um að grunnvatnsborð hafi lækkað verulega eftir að byggðin reis.

Dæmi er til um sjálfrennsli úr borholu. Það er í holunni FV-1 í Fossvogi, austan við Fossvogskirkjugarð, sem boruð var 1955 og var 52 m djúp. Vatn seytleði upp úr henni fyrst eftir borun, um 1 l/mín. Aðeins ein gömul mæling er til í gagnagrunni ÍSOR. Holan finnst ekki lengur.

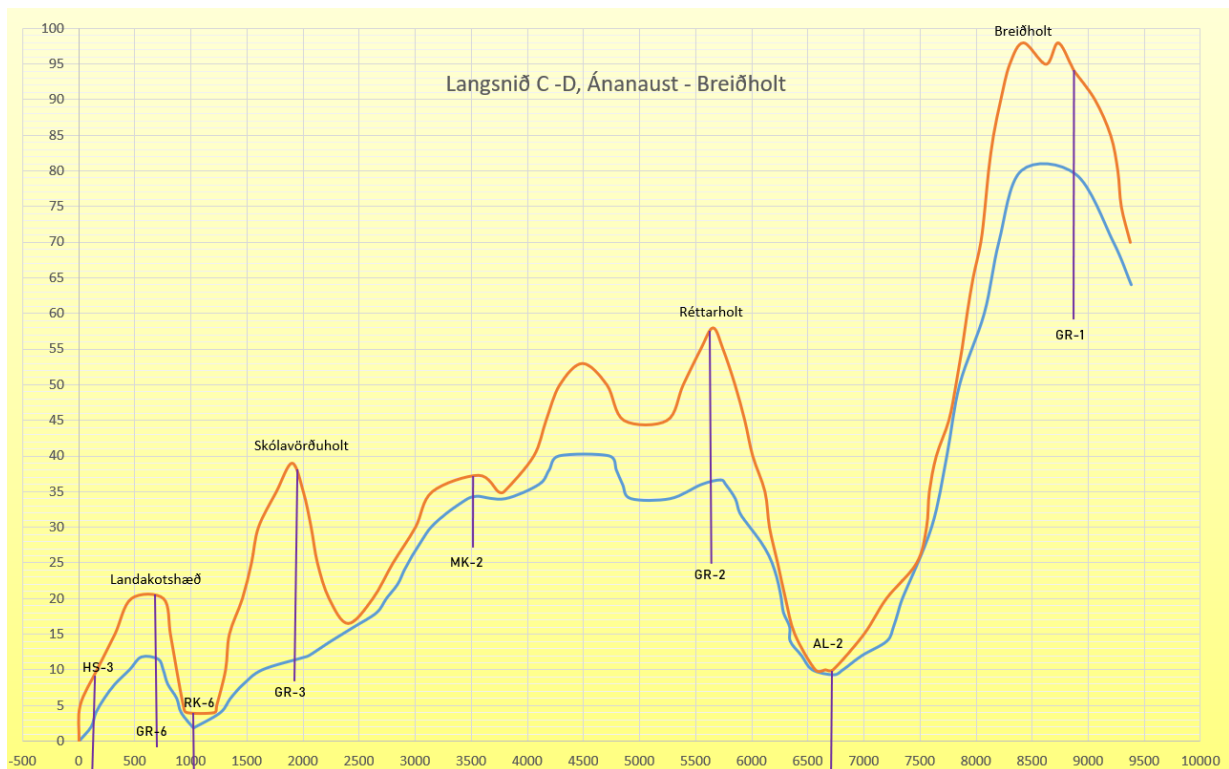
Grunnvatnsborðið rís hátt á Grensási og myndar aflangan hrygg með stefnu nálægt austur-vestur í samræmi við landslagið og nær rúmlega 40 m hæð yfir sjó. En hæst rís það í Breiðholti og nær þar yfir 80 m hæð.



Mynd 6. Nýtt vatnafarskort af Reykjavík.



Mynd 7. Langsniðið A–B nær frá Fossvogi, yfir flugvallarsvæðið og Skólavörðuholt og endar í Rauðaravík. Rauða línan táknar yfirborð lands en bláa línun grunnvatnsborð. Borholur eru sýndar með lóðréttum línum. Hér sést að grunnvatnið er sem næst við yfirborð undir flugvellinum en undir Skólavörðuholti er verulega djúpt á það.



Mynd 8. Langsniðið C–D nær frá Ánanaustum, yfir Landakotshæð, Miðbæinn, Skólavörðuholt, Kringlumýri, Réttarholt og inn í Elliðaárdal og þaðan yfir Breiðholtið. Rauða línan táknar yfirborð lands en bláa línun grunnvatnsborð. Borholur eru sýndar með lóðréttum línum. Grunnvatnsborðið endurspeglar yfirborðið í grófum dráttum nema undir Skólavörðuholti.

Nokkur orð um grunnvatnshæðarkortið (á mynd 6 og stærra aftast í skýrslunni):

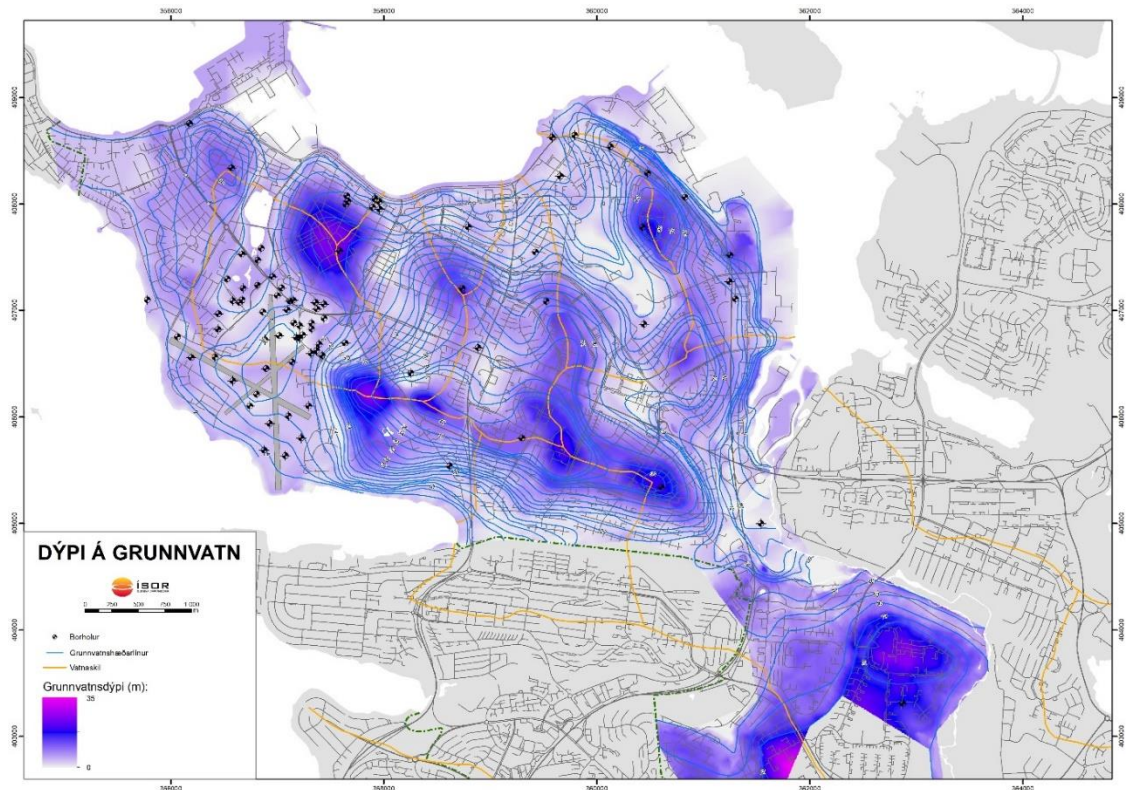
Á grundvelli grunnvatnshæðarmælinganna í töflum 2 og 3 reyndist gerlegt að draga grunnvatnshæðarlínur með tveggja metra bili á öllu svæðinu frá Grandahverfi og austur að Sundum. Neðsta línan, tveggja metra grunnvatnshæðarlínan, var þó ekki dregin nema á stöku stað vegna óvissu um stöðu og hegðun grunnvatnsflatarins næst strönd. Þar eru sjávarföll víða farin að hafa umtalsverð áhrif.

Í Breiðholti þótti hins vegar ekki verjandi að draga jafn þéttar línur og annars staðar. Þar er í raun aðeins á einni holu að byggja, þ.e. nýju borholunni GR-1. Engar grunnvatnsmælingar fundust í eldri holum. Í Breiðholti sýnir kortið því grunnvatnshæðarlínur með 10 m millibili.

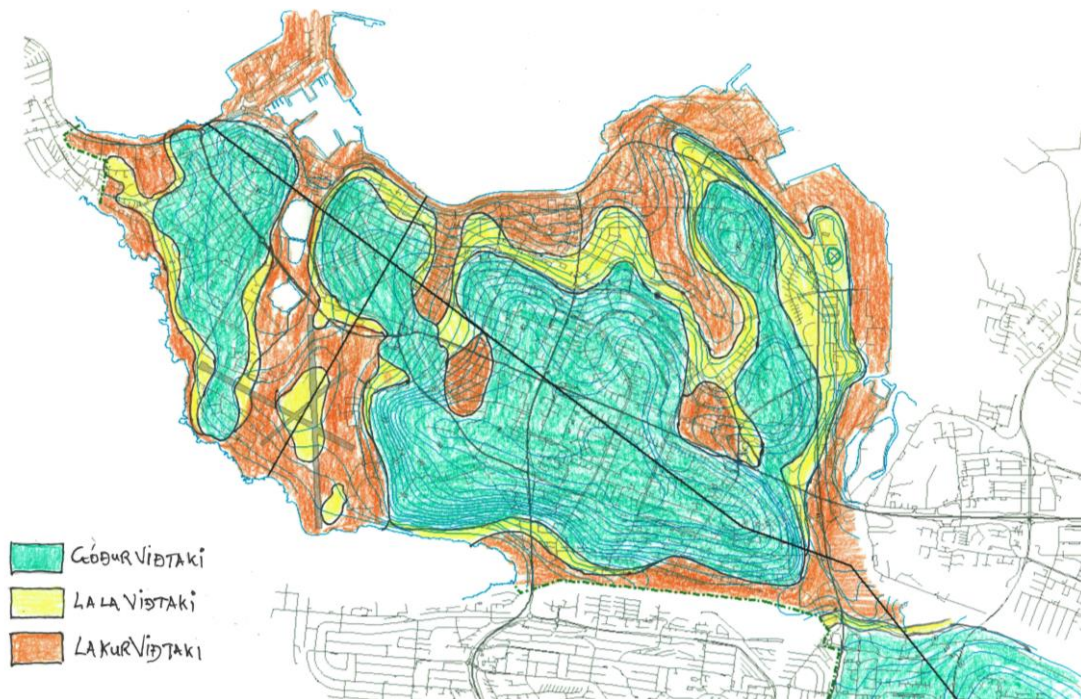
Mynd 10 sýnir dýpi á grunnvatnsborðið. Þar hefur grunnvatnshæðin verið dregin frá landhæðinni. Í skipulagi sem stefnir að sjálfbæru fráveitukerfi (sustainable drainage system SuDS), sem er hluti af blágrænum ofanvatnslausnum, hefur stundum verið stuðst við þá þumal-fingursreglu að þær henti vel þar sem dýpi á grunnvatn er meira en 5 m en miður vel þar sem dýpið er minna en 3 m. Á bilinu 3–5 m fer það eftir ýmsum aðstæðum hvort sjálfbær fráveitukerfi henti (BGS, 2020). Mynd 11 sýnir þessa skiptingu í grófum dráttum. Þar er jarðlögum skipt í þrjá flokka eftir því hversu góður viðtaki fyrir ofanvatn þau teljast. Góður viðtaki er þar sem dýpi á grunnvatn er > 5 m og jarðlög eru þokkalega vel lek. Lakur viðtaki er þar sem dýpi á grunnvatn er < 3 m, eða þar sem jarðlög eru mjög þétt. Oft fer það saman.



Mynd 9. Fossvogssetið undir Gamla garði. Opnan er um 3 m há. Neðst sést í Reykjavíkurgrágrýtið. Ofan á það leggst lagskipt Fossvogsset með skeljaleifum. Dökki hlutinn í miðjunni er mjög þéttur. Neðst í horninu t.v. glittir í grunnvatn.



Mynd 10. Dýpi á grunnvatn í Reykjavík. Kortið byggist á sömu grunnvatnsgögnum og kortið á mynd 6. Hér er grunnvatnshæðin dregin frá landhæðinni. Hún er fengin úr landhæðarlíkani höfuðborgarsvæðisins.



Mynd 11. SuDS-kort sem sýnir í grófum dráttum hvar sjálfbær fráveitukerfi henta vel og hvar aðstæður fyrir þau eru síðri. Góður viðtaki er þar sem dýpi á grunnvatn er > 5 m og jarðlög eru þokkalega vel lek. Lakur viðtaki er þar sem dýpi á grunnvatn er < 3 m og/eða mjög þétt lög.

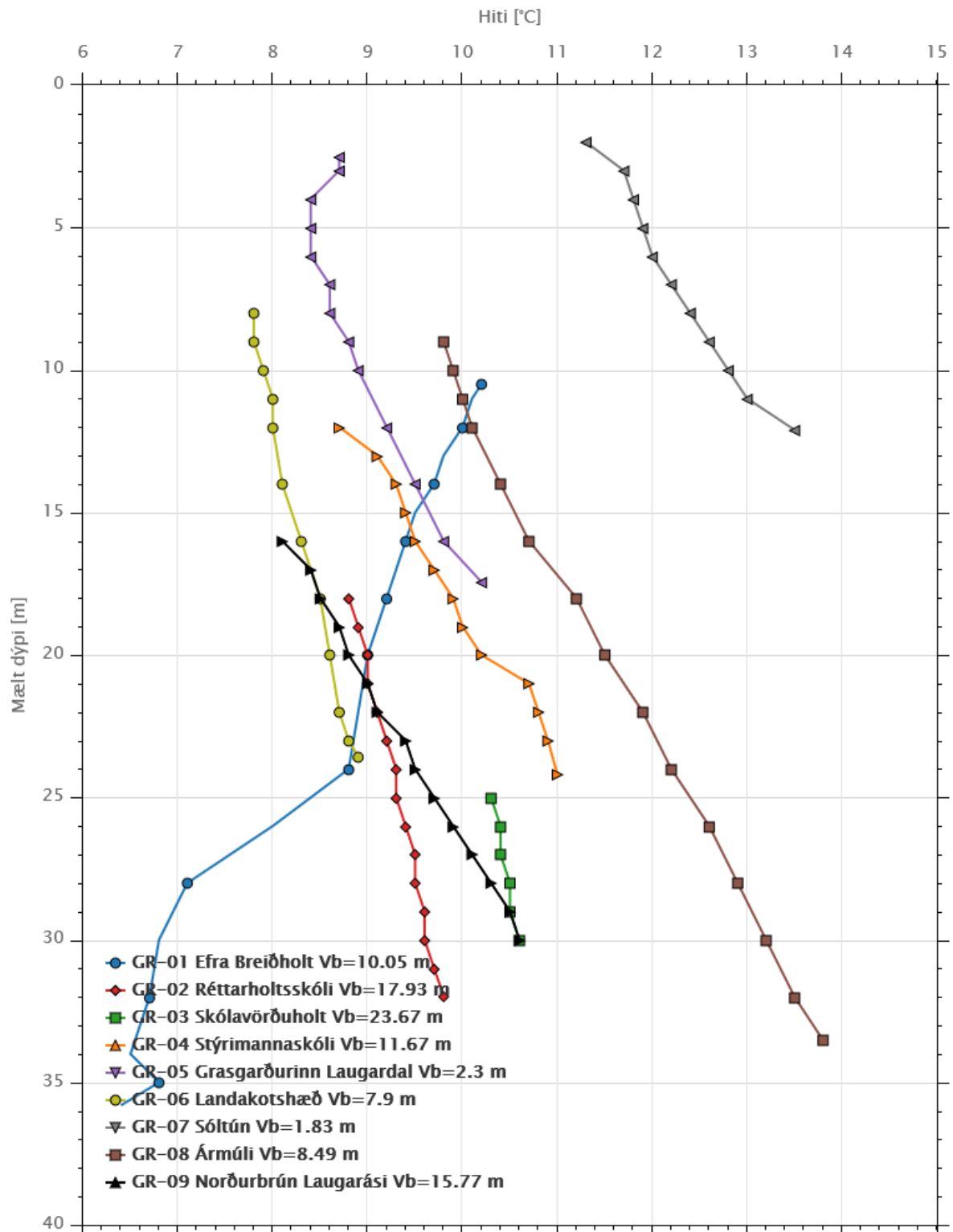
4 Grunnvatnshiti

Búast má við að árstíðabundnar hitasveiflur komi fram í efstu 2–4 m grunnvatnsins. Þar fyrir neðan endurspeglar hitinn langtímameðalhita á yfirborðinu. Þegar komið er niður fyrir 10 m tekur hitinn að hækka í samræmi við jarðhitastigulinn. Víða eru þó undantekningar frá þessu, t.d. þar sem jarðhiti hefur áhrif allt til yfirborðs. Síðan geta mannleg umsvif haft áhrif, svo sem leki frá lögnum eða affall, snjóbræðslukerfi og jafnvel gólfhitun.

Í nóvember 2019 var grunnvatnshiti mældur í 16 holum vítt og breitt um Reykjavík. Þá reyndist grunnvatnshitinn vera um 8,8°C við yfirborð að jafnaði. Hlýindi sumarsins voru greinilega enn til staðar í grunnvatninu. Mynd 12 sýnir hitamælingar úr GR-holunum. Jafnaðarhiti í efstu lögum grunnvatns í Reykjavík, þar sem jarðhitaáhrifa gætir ekki, virðist vera um 8°C.

Meðallofthiti í Reykjavík á undanförunum 10 árum hefur verið 5,4°C samkvæmt upplýsingum frá Veðurstofunni. Meðalhiti sjávar við Reykjavík er aftur á móti um 7°C. Það er óvænt að sjá grunnvatnshitann þetta háan en ekki verður fjallað nánar um það hér.

Í GR-holuhópnum skera tvær holur sig úr, það eru GR-1 í Efra-Breiðholti og GR-7 í Sóltúni (mynd 12). Holan GR-1 í Breiðholti er með viðsnúinn hitaferil, hún er heitust efst en kólnar niður á við. Nærtækasta skýringin á þessu er líklega sú að þarna sé leki frá hitaveitulögnum eða affall hitaveituvatns á ferðinni. Holan GR-7 í Sóltúni er heitasta holan í hópnum. Þar koma vafalítið fram jarðhitaáhrif frá jarðhitasvæðinu í Laugardal enda stutt á milli. Holan GR-3 á Skólavörðuholti sker sig raunar einnig úr. Hún er ekki einungis með mesta dýpið niður á grunnvatnsborð heldur er hún einnig sú hola sem hefur lægstan hitastigul. Hitastigulsferillinn er hins vegar svo stuttur að óvarlegt er að ráða mikið í hann. Aðrar holur eru tiltölulega eðli-
legar og fátt um þær að segja.

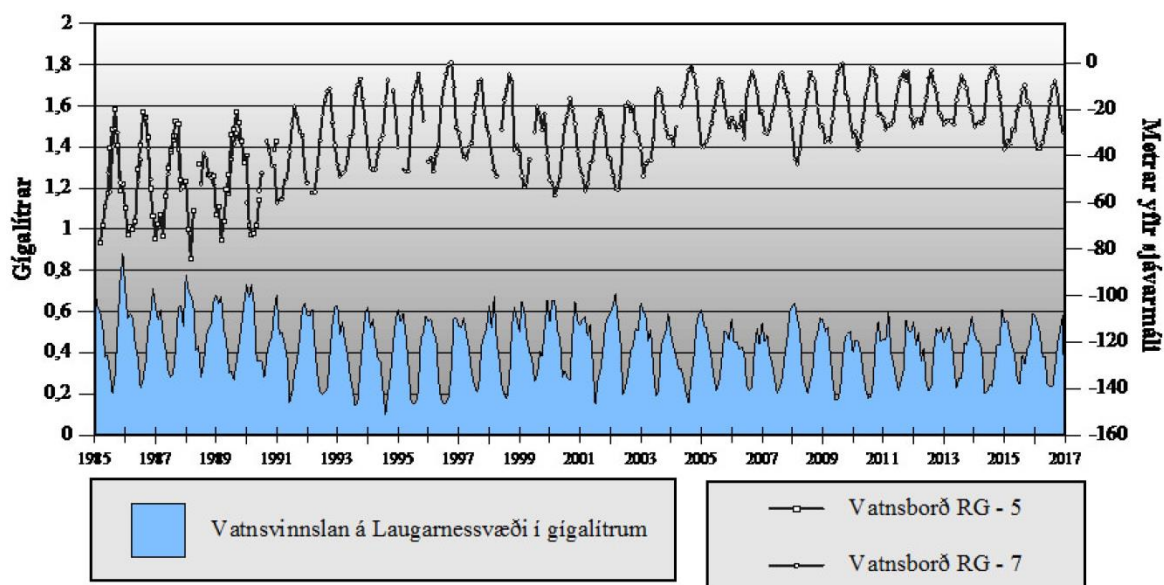


Mynd 12. Hitamælingar í nýju GR-holunum frá 1. október 2019. GR-1 í Breiðholti og GR-7 í Sóltúni skera sig úr.

5 Tvöfalt grunnvatnsborð

Vatnsborðsmælingar í borholum leiða í ljós að í djúpum holum er grunnvatnsborðið á miklu meira dýpi en í grunnum holum. Svo er að sjá sem tvöfalt grunnvatnsborð sé undir mestallri borginni. Neðra grunnvatnsborðið er víða marga tugi metra undir sjávarborði. Þetta er ekki náttúrulegt ástand og hlýtur að stafa af dælingu úr djúpum vinnsluholum Orkuveitunnar. Þetta hefur lengi verið vitað (Grétar Ívarsson, 2017). Úrdælingin er meiri en aðrennslið. Það veldur þrýstilækkun í jarðhitakerfinu undir borginni, sem kemur fram sem niðurdráttur í dýpri holum. Niðurdrátturinn er meiri að vetri en á sumri vegna meiri dælingar yfir vetrarmánuðina. Grynri holur ná yfirleitt ekki niður í jarðhitakerfið. Á milli kalda grunnvatnsins nálægt yfirborði og heitara og djúpstæðara grunnvatns virðast vera þétt lög sem hindra samgang þar á milli. Hér er sem sagt um að ræða tvo mismunandi veita (aquifers) sem aðskildir eru af þéttu lagi (aquiclude). Efri veitirinn er opinn og kaldur en neðri veitirinn er lokaður (confined aquifer) og víða heitur. Þéttu lögin sem aðskilja veitana eru líklega Elliðavogslögin. Þau eru víðast úr þéttu, þykku seti og koma fram í flestum holum sem boraðar eru í gegnum grágrýtið. Grágrýtið er ungt og fremur lekt en undir Elliðavogslögunum er mun eldri og þéttari jarðlagastafli.

Svo virðist sem niðurdrátturinn komi ekki fram í grunnum holum (< 50 m) en í dýpri holum (>100 m) er hann greinilegur (mynd 13). Þessi niðurdráttur sést í holum á öllu Reykjavíkursvæðinu frá Geldinganesi og að minnsta kosti vestur á Skólavörðuholt og í Nauthólsvík. Víða er hann á bilinu 20–60 m. Sem dæmi má nefna að í holu H-32 á gatnamótum Grensásvegar og Miklubrautar var grunnvatnsborð á um 62 m dýpi í október 2018. Það eru 28,5 m undir sjávarmáli. Í holunni HS-36 innan við Nauthólsvík var grunnvatnsborðið í 61 m þann 20. mars 2019 en það er um 46 m undir sjávarmáli. Þetta er reyndar furðu mikið því langt er í dæluholur Orkuveitunnar.



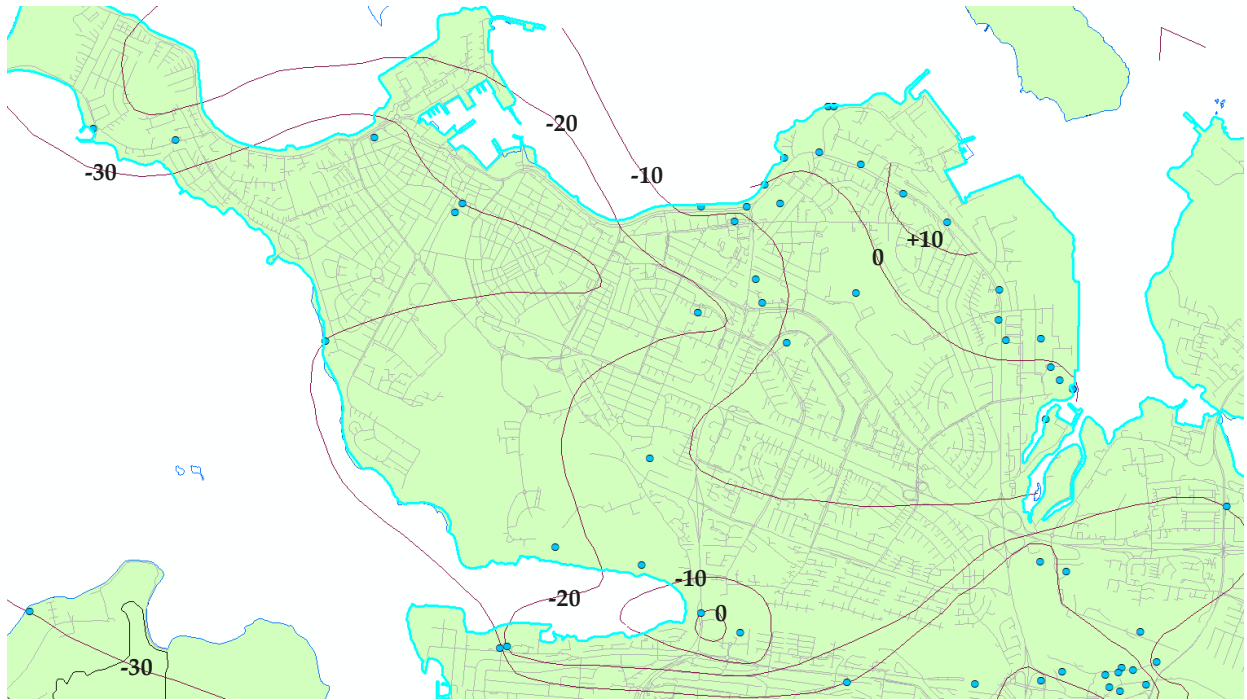
Mynd 13. Á línuritinu sést heitavatsvinnsla á Laugarnessvæðinu og niðurdráttur í mæliholum Orkuveitunnar þar í grennd á árabílinu 1985–2017. Þegar úrdæling var mest fór vatnsborðið niður í -90 m. Á síðari árum er úrdæling hóflegri og þá sveiflast vatnsborðið oft frá -30 m til 0 m eftir árstíðum. Þessar sveiflur koma ekki fram í grunnum holum. (Mynd frá Grétari Ívarssyni, 2017).

Vitað er um niðurdrátt í a.m.k. einni grunnri holu. Það er í holunni SK-6 við ströndina á mótum Kirkjusands og Laugarnestanga. Hún er aðeins 21 m á dýpt. Vatnsborðið í henni mælist um 1,5 m neðan við meðalsjávarborð. Við náttúrulegar aðstæður getur grunnvatnsborð ekki staðið lægra en meðalsjávarborð. Úrdæling í nágrenninu og niðurdráttur af hennar völdum er skýringin á þessu. Þótt holan sé grunn nær hún bæði niður úr grágrýtinu og Elliðavogslögunum og er því undir áhrifum frá neðri veitinum í berggrunni Reykjavíkur (Þórólfur H. Hafstað og Árni Hjartarson, 2004). Þetta fyrirbrigði er vel þekkt á jarðhitasvæðum. Í Laugardalnum kom það fram strax og dæling úr borholum hófst fyrir Hitaveitu Reykjavíkur en þá þornuðu hinir náttúrulegu hverir í dalnum. Reynslan sýnir að ef dælingu er hætt um nokkurn tíma fer að streyma úr gömlu laugunum á ný.

Gera má ráð fyrir millirennslu milli veitanna tveggja, þ.e. rennslu úr þeim efri í þann neðri, um sprungur og borholur sem ekki eru fódraðar niður í gegnum grágrýtið. Þetta hefur lítið verið skoðað en er þó verðugt rannsóknarefni.

6 Jarðlög og lektarflokkar vatnafarskortsins

Ráðandi berg efst í berggrunni Reykjavíkur er grágrýti. Þetta er dyngjubasalt, um 200.000 ára, óholufyllt og ferskt en farið að þéttast vegna leirfyllinga í glufum og holum. Þykkt og botnhæð grágrýtisins hefur verið skoðað í fjölmörgum borholum. Yfirleitt er auðvelt að sjá skil grágrýtisins og undirliggjandi jarðlaga í borholum vegna þess hversu ólík þau eru. Botnhæð grágrýtisins gefur til kynna hvernig landslagi var hátt áður en það huldi svæðið. Mynd 14 sýnir þetta og gefur um leið til kynna hversu stór veitir (aquifer) grágrýtið er. Í stórum dráttum má segja að landi hafi hallað til vesturs. Undir vesturhluta borgarinnar er botn grágrýtisins víða á um 20–35 m dýpi undir sjávarmáli. Undir austurhlutanum liggur grágrýtisbotninn hærra og er t.d. nálægt sjávarmáli í Laugarnesi og undir Laugardal. Grágrýtið hefur runnið eftir grunnri lögð úr austri og til sjávar í Vesturbænum og utanverðan Skerjafjörð. Þykkt grágrýtisstaflans er á bilinu 0–100 m innan borgarmarkanna. Inn við Sund er grágrýtið horfið en þar er mun eldra og þéttara berg, svokallað Viðeyjarberg. Þetta er mest móberg og innskotsberg sem ættað er frá Viðeyjareldstöðinni, sums staðar talsvert holufyllt. Elliðavogslögin eru á milli þessara bergmyndana. Þetta eru allþykk (20–30 m) og þétt setlög af fjölbreyttri gerð, völuþberg, sandsteinn, siltsteinn og jökulberg. Skeljar og gróðurleifar finnast víða í þeim. Þau sjást einungis á yfirborði við Elliðavog en koma mjög víða fram í borholum.



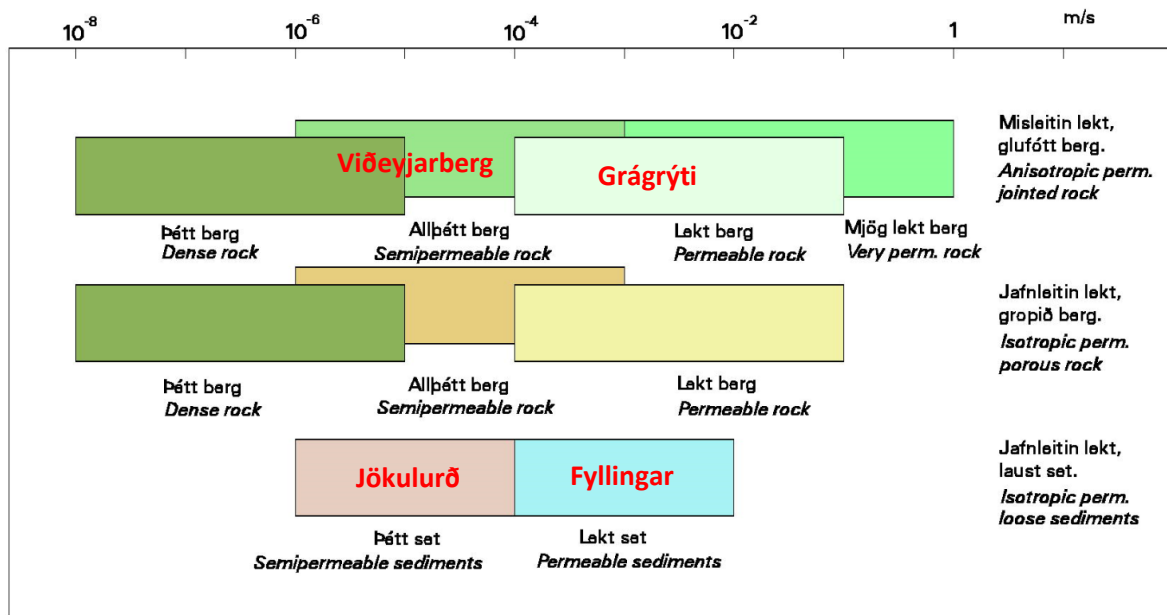
Mynd 14. Botn Reykjavíkurgrágrýtis. Eins og sjá má er kortið byggt á mörgum borholusniðum (bláir hringir eru borholur). Undir Vesturbænum er botn grágrýtisins víða á um 20–35 m dýpi undir sjávarmáli. Undir austurhluta borgarinnar liggur botninn hærra og er nálægt sjávarmáli í Laugarnesi og undir Laugardal. Hæð eða höll er undir Fossvogsdal. Þykkt grágrýtisstaflans er á bilinu 0–100 m innan borgarmarkanna

Fossvogslögin eru ofan á grágrýtinu. Þau eru innst í Fossvogi og teygja sig inn í Fossvogsdal. Þau eru einnig við Nauthólsvík, undir Reykjavíkurlflugvelli, Vatnsmýri og á Háskólasvæðinu. Þau eru allþétt og víða nokkurra metra þykkt og hafa töliverð áhrif á vatnafarið. Lekasta bergið er síðan Elliðavogshraunið í Elliðaárdal en það lendir að mestu utan rannsóknarsvæðisins.

Laus jarðlög ofan á berggrunninum hafa víða vatnafarslega þýðingu. Leku, lausu jarðlög eru af tvennum toga. Þetta eru malarríkt sjávarset undir Miðbænum milli Tjarnarinnar og gömlu hafnarinnar og manngerðar fyllingar víða meðfram ströndinni. Þéttu, lausu jarðlög eru mest jökulruðningur. Hann er inn af Eiðisvík, í Vatnsmýri og þar í grennd, í Laugardal og í Fossvogsdal. Hann er óvíða það þykkur að hann skipti máli í vatnafarslegu tilliti.

Mynd 15 sýnir lektarflokka á íslenskum vatnafarskortum. Þar er einnig sýnt hvar bergtegundir í berggrunni Reykjavíkur lenda í flokkunarkerfinu. Grágrýtið er flokkað sem lekt berg með misleitna lekt. Viðeyjarbergið er hins vegar allþétt berg. Lausu jarðlög fara í tvo flokka. Jökulurðin er talin vera þétt set en manngerðar fyllingar og strandset eru sett í leka flokkinn.

LEKTARFLOKKAR HYDROGEOLOGICAL CLASSIFICATION



Mynd 15. Lektarflokkar á íslenskum vatnafarskortum. Litþekjur á vatnafarskortum sýna lekt jarðlaganna en gefa minni upplýsingar um gerð þeirra eða uppruna að öðru leyti. Í berggrunni eru tvær litaraðir og ein fyrir laus jarðlög. Efsta litaröðin er notuð fyrir berggrunn þar sem lárétt lekt er mun meiri en sú lóðrétta eins og gerist í hraunastafla og í reglulega lagskiptum jarðlögum. Þar er lektin misleitit (anisotropic permeability). Miðröðin er fyrir berg þar sem lektin er tiltölulega jöfn bæði í lárétta og lóðrétta stefnu (isotropic permeability) eins og víða gerist í móbergi, bólstrabergi og kubbabergi. Báðar litaraðirnar enda í sama dökkmosagræna litnum, sem táknar þétt eða lítt vatnsleiðandi berg. Neðsta litaröðun er fyrir laus jarðlög. Þar táknar ljósblár litur lek jarðlög en ljósbrúnn litur þétt jarðlög. Rauðar merkingar sýna hvar berggrunnur Reykjavíkur lendir (Myndin er byggð á myndum Freysteins Sigurðssonar og Jóns Ingimarssonar (1990) og Árna Hjartarsonar o.fl. (1992).

7 Vatnaskil

Í verklýsingu (sjá 1. kafla) er sagt að skerpt verði á rennislíðum yfirborðsvatns. Það er gert með því að sýna helstu vatnaskil á svæðinu og afmarka vatnasvið. Á kortinu eru 6 vatnasvið afmörkuð og vatnaskil þeirra sýnd.

- Vatnasvið Reykjavíkurtjarnar, 2,4 km²
- Vatnasvið Norðurmýrar (Rauðarár), 1,47 km²
- Vatnasvið Fúlalækjar, 1,88 km²
- Vatnasvið Laugardals, 2,26 km²
- Vatnasvið Elliðaáa (lítið brot vatnasviðsins)
- Vatnasvið Fossvogs, 2,65 km²

Vatnasvið Elliðaáanna er langstærsta vatnasviðið innan borgarmarkanna og teygir sig upp í Bláfjöll. Einungis lítið brot af því er innan rannsóknarsvæðisins.

8 Lekt í borholum

Eitt af markmiðum verkefnisins var að fjölga lektarflokkum vatnafarskortsins ef kostur væri. Þá var einkum verið að hugsa um lekt grágrýtisins. Á vatnafarskortinu af höfuðborgarsvæðinu lendir grágrýtið allt í einum og sama lektarflokknum.

Lektarflokkun jarðlaga er einn mikilvægasti þátturinn í vatnafarslegri kortlagningu. Jafnframt er það sá þáttur sem oft er hvað erfiðast að meta. Innrennsli vatns í jarðlög byggir upp vatnsþrýsting sem síðan veldur grunnvatnsstreymi. Geta jarðmyndunar til að leiða vatn nefnist *lekt* (*hydraulic conductivity*). Hún er tjáð með lektarstuðlinum K .

Af skilgreiningunni leiðir að $K = \text{vatnsmagn/flatarmál/tími} \Rightarrow K = \text{m}^3/\text{m}^2/\text{s} \Rightarrow K = \text{m/s}$.

Vatnsleiðni (*transmissivity*) jarðlags er mælieining á það vatnsmagn sem farið getur um ákveðið jarðlag á tímaeiningu við ákveðinn þrýsting. Leiðnin er tjáð með leiðnistuðlinum T . Hann er ekkert annað en lektarstuðullinn K margfaldaður með þykkt lagsins, þ: $T = K\cdot b$. Vatnsleiðnin T hefur mælieininguna m^2/s .

Lu (*Lugeon unit*) er önnur mælieining á lekt sem mikið hefur verið notuð við lektarprófanir á borholum héraendis. Tæknilega er þetta hagkvæm eining en fræðilega ekki eins góð. Mælingarnar eru miðaðar við borholur og eru oftast gerðar í lok borunar með svokölluðum pakkara og dælu.

1 Lu = Lugeon unit = 1 l/mín. /m í 76 mm víðri holu við þrýstinginn 10 kg/cm². Eitt Lugeon (Lu) samsvarar lektinni $1,2 \times 10^{-7}$ m/s.

Menn hafa fengist nokkuð við að umreikna Lu-gildi yfir í K-gildi (Stuðull, 1989; Bjarni Bjarnason, 1983). Frá fræðilegu sjónarmiði er fátt því til fyrirstöðu en í reyndinni er það erfitt. Vandamálið liggur í því að við borun í jarðlög sest borsvarf á holuveggi og þrýstist út í glufur og sprungur bergsins. Þannig á sér stað þétting og lektarmælingar sýna nánast alltaf of lág gildi. Þetta skiptir litlu máli við innbyrðis samanburð á lekt í borholum en þegar á að yfirfæra lektarmælingarnar á óröskuð jarðlög, sem teygja sig yfir stór svæði, koma vankantarnir í ljós.

Þetta vandamál kemur þó ekki að mikilli sök í umfjöllun um blágrænar regnvatnslausnir. Þar skiptir lekt í borholum meira máli en lekt í óröskuðum jarðlagastafla.

Lektarmælingar hafa verið gerðar í allmörgum borholum í Reykjavík. Tafla 4 sýnir niðurstöður mælinga í 27 holum. Þar af eru 12 í grágrýti eða grágrýti og kubbabergi. Taflan sýnir að Reykjavíkurgrágrýtið er með mismunandi lekt frá einum stað til annars. Lektargildin eru á bilinu 3–42 Lu.

- Lágú gildin < 10 Lu endurspeglar þétt grágrýti, móberg og innskotsberg.
- Miðgildin 10–30 Lu sýna blöðrótt grágrýti.
- Hágildin > 30 Lu stafa hugsanlega af opnum sprungum í grágrýtinu.

Niðurstaða þessarar samantektar er sú að lektarmælingarnar eru of sundurleitar til að réttlætlanlegt sé að byggja lektarskiptingu á þeim.

Tafla 4. Mæld lektargildi í grágrýti og fleiri bergtegundum í Reykjavík

Hola	Bergtegund	Dýpisbil (m)	LU	K (m/s)	Heimild
BO-1	Mest grágrýti	7,3-15,7	7	$8,2 \times 10^{-7}$	Mannvit, 2009
BO-1	Kubbað grágrýti	11,5-20,4	6	$6,7 \times 10^{-7}$	Mannvit, 2009
BO-2	Grágrýti	4,4-15-8	13	$1,6 \times 10^{-6}$	Mannvit, 2009
BO-2	Grágrýti og kubbaberg	12,2-21,8	5	$6,1 \times 10^{-7}$	Mannvit, 2009
BO-3	Grágrýti og kubbaberg	6,7-15,2	10	$1,2 \times 10^{-6}$	Mannvit, 2009
BO-4	Grágrýti og kubbaberg	7-20	12	$1,6 \times 10^{-6}$	Mannvit, 2009
BO-5	Grágrýti og kubbaberg	6,3-15,8	3	$4,0 \times 10^{-7}$	Mannvit, 2009
BO-6	Grágrýti og kubbaberg	3,5-15,8	5	$6,6 \times 10^{-7}$	Mannvit, 2009
LH-1	Grágrýti	10,3-15,8	38	$4,3 \times 10^{-6}$	Mannvit, 2009
LH-1	Grágrýti og kubbaberg	15,7-30,8	18	$2,6 \times 10^{-6}$	Mannvit, 2009
LH-2	Grágrýti	4,1-12,7	11	$1,4 \times 10^{-6}$	Mannvit, 2009
LH-2	Grágrýti	12,1-20,0	42	$5,2 \times 10^{-6}$	Mannvit, 2009
LH-3	Grágrýti	4,3-12,7	39	$4,9 \times 10^{-6}$	Mannvit, 2009
LH-3	Grágrýti og kubbaberg	13,4-24,6	7	$9,5 \times 10^{-7}$	Mannvit, 2009
RK-1	Kubbaberg + set	15-56	3	$4,0 \times 10^{-7}$	Birgir Jónsson, 1988
AK-1	Kubbaberg + set	19-33	35	$2,0 \times 10^{-6}$	Birgir Jónsson, 1988
SG-1	Innskotsberg	20-40	5,3		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-2	Innskotsberg	38-51	13		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-3	Móberg og innskotsberg	40-57	9,0		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-3	Móberg og innskotsberg	20-57	11,0		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-4	Innskotsberg	41-60	5,3		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-4	Innskotsberg	20-60	3,8		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-5	Móberg og innskotsberg	40-60	1,0	$1,2 \times 10^{-7}$	Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-6	Móberg og innskotsberg	77,4-89,4	2,0		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-6	Móberg og innskotsberg	59,4-89,4	2,1		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-6	Móberg og innskotsberg	44,4-89,4	2,2		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-7	Innskotsberg	28-51	3,7		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-7	Grágrýti, setberg, innskot	10-51	3,8		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-8	Móberg	63-85	6,9		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-8	Móberg	42-85	4,1		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-8	Móberg	21-85	2,9		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-9	Móberg	40-51	4,0		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-9	Móberg	30-51	2,4		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-9	Móberg	19-51	4,3		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-10	Grágrýti og Viðeyjarberg	6-20	9,2		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-11	Móberg	60-78,4	1,0		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-11	Móberg	40-78,4	1,1		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-11	Móberg	22-78,4	2,8		Árni Hjartarson o.fl., 2007
SG-12	Grágrýti, setberg, innskot	9-38,8	5,8		Árni Hjartarson o.fl., 2007
ÁN-2	Grágrýti	7-74	5	$6,1 \times 10^{-7}$	Stuðull, 1989
ÁN-3	Grágrýti og setberg	7-64	4	$4,8 \times 10^{-7}$	Stuðull, 1989
ÁN-5	Grágrýti	4-40	6	$6,7 \times 10^{-7}$	Stuðull, 1989

9 Lektarprófanir

Lektarprófanir voru gerðar gerðar á öllum GR-holunum (myndir 17 og 18) 1. nóvember 2019. Þær voru ekki gerðar með úrdælingu eins og algengast er heldur með ídælingu. Vatnskar, sem tók 1000 l, var sett á pallbíl og farið á hverja holu og þær fylltar af vatni. Síðan var fylgst með því hvernig holurnar jöfnuðu sig og hversu langan tíma það tók vatnsborðið að síga í þá stöðu sem það var í fyrir ádælinguna. Síritarnir sem settir voru í holurnar strax eftir borun skráðu vatnsborðsbreytingarnar. Í töflu 5 eru helstu mælitölur sýndar, svo sem grunnvatnsborð fyrir ádælingu, rennslið úr vatnskeri í holurnar, tíminn sem það tók þær að fyllast og hve mikið vatnsmagn þurfti til að fylla þær. Í aftasta dálki er sýnt hversu hratt vatnsborðið hækkar í hverri holu við ádælingu, því hraðar sem það hækkar því þéttari er holan.

Tafla 5. Ídæling í GR-holurnar (slug test) 2. nóvember 2019.

Hola	Staður	Gvb. (m)	Rennsli (l/s)	Fylling sek.	Vatnsmagn (l)	Hækkun vatnsborðs (mm/s)
GR-1	Efra Breiðholt við Hraunborg	10,05	1,75	75	132	134
GR-2	Réttarholt	17,93	1,7	345	610	52
GR-3	Skólavörðuholt	23,67	1,86	159	289	149
GR-4	Stýrimannaskólinn	11,67	1,11	162	165	72
GR-5	Laugardalur sunnan Grasagarðs	2,30	?	20	38,3	115
GR-6	Landakotshæð	7,90	1,53	66	98	119
GR-7	Sóltún	1,83	1,52	18,8	30	97
GR-8	Ármúli	8,49	1,37	77	104	110
GR-9	Laugarás, Norðurbrún	15,77	1,68	167	280	94

Augljóst er að lektargildin í holunum eru mjög mismunandi þótt þær séu allar í grágrýti. Hér sker ein hola sig verulega úr en það er GR-2 við Réttarholtsskóla. Hún tók við miklu meira vatni en hinar holurnar og í henni hækkaði vatnsborðið hægst. Hugsanlega sker sprunga holuna. Ekki er þó vitað um neina sprungu á yfirborði á þessum slóðum.

Ýmsar aðferðir eru þekktar við ákvörðun á lekt bergs (e. hydraulic conductivity) með ádælingu vatns (slug test). Við ákvörðun lektar í kringum rannsóknarholurnar var notast við aðferð Bouwer og Rice (1976). Aðferðin var hönnuð fyrir ákvörðun um lekt í opnum veitum (e. unconfined aquifers) en hana má þó einnig nota í lokuðum veitum. Aðferðin hentar einnig vel hvort sem holur ná að öllu leyti eða einungis að hluta í gegnum vatnsveitinn. Við ákvörðun um lekt með aðferð Bouwers og Rice er notast við eftirfarandi jöfnu:

$$K = \frac{r_e^2 \ln(R_e/R)}{2L_e} \frac{1}{t} \ln\left(\frac{H_0}{H_t}\right)$$

Þar sem:

K er lekt (e. hydraulic conductivity)

r_e er radíus fóðringar

R er radíus holu án fóðringar

R_e er raunradíus þess hluta svæðisins umhverfis holuna sem verður fyrir áhrifum vatnshæðar-breytinga

L_e er lengd opinna holu

H_0 er upphafsvatnsborð

H_t er vatnsborðslækkun á tilteknum tíma

t er tíminn sem líður frá því að $H=H_0$

Þar sem erfitt er að ákvarða R_e og þar með hlutfallið $\ln(R_e/R)$ með beinum hætti er það ákvarðað með eftirfarandi jöfnum þar sem L_w er lengd vatnsmettaðs hluta holunnar.

$$\ln \frac{R_e}{R} = \left[\frac{1,1}{\ln\left(\frac{L_w}{R}\right)} + \frac{A + B \ln\left[\frac{h - L_w}{R}\right]}{L_w/R} \right]^{-1}$$

$$\ln \frac{R_e}{R} = \left[\frac{1,1}{\ln\left(\frac{L_w}{R}\right)} + \frac{C}{L_e/R} \right]^{-1}$$

Fyrri jafnan er notuð ef hluti veitisins er ekki vatnsmettaður en sú seinni í tilvikum þegar veitirinn er vatnsmettaður. Gildi fyrir A, B og C eru ákvörðuð út frá ferlum sem sýndir eru á mynd 16.

Við ákvörðun um lekt eru vatnsborðsbreytingar teiknaðar á semi-lógaritmískt graf þar sem lógaritminn af vatnshæðarbreytingunni er teiknaður á lóðrétta ásinn en tími á lárétta ásinn. Hallatala beinnar línu á milli einhverja tveggja punkta á grafinu er svo notað til að ákvarða $(1/t)\ln(H_0/H_t)$. Niðurstöður ákvörðunar á lekt og leiðni er að finna í töflu 6.

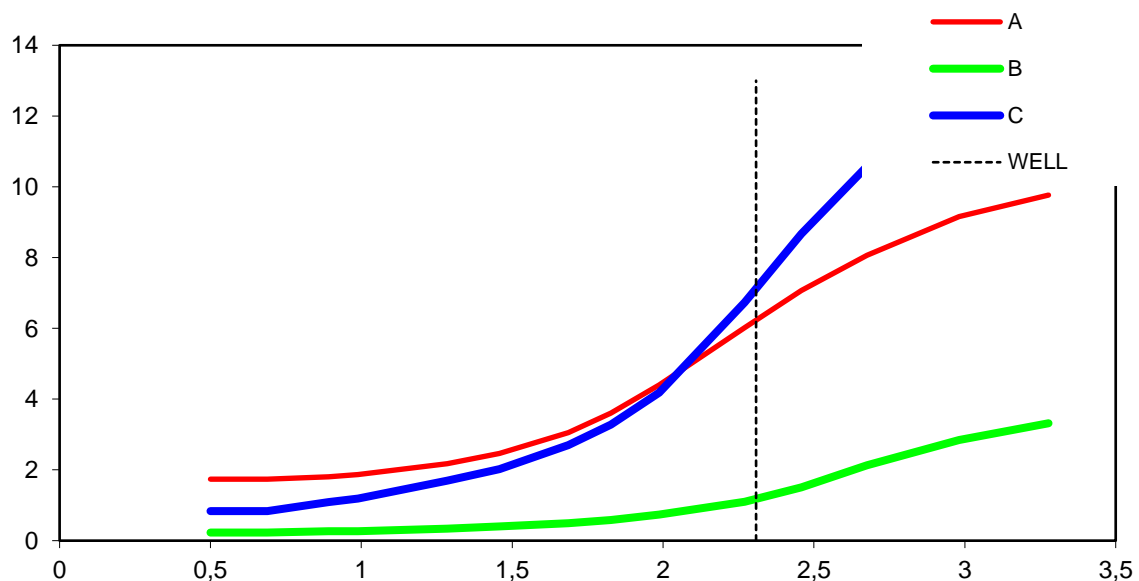
Við mælingar á holu GR-2 fór vatnsprýstingur tímabundið yfir þau mörk sem síritandi vatnshæðarnemi réð við. Af þeim sökum vantar um þrjár mínútur í gagnasafnið en á þeim tíma féll vatnsborð frá holutoppi niður á um 9 m dýpi. Þess ber að geta að fyrir prófunina var ótruflað vatnsborð á 17,93 m dýpi. Af þessum sökum var ákvörðun um lekt miðuð vatnsborðsbreytingar sem fall af tíma frá 9,02 m dýpi. Talið er að þessi nálgun gefi ásættanlegt mat á lekt bergs umhverfis holuna en hugsanlegt er að hún hefði reiknast önnur ef vatnsborðsbreytingar í gegnum alla holuna hefðu verið teknar með í matið.

Eins og sjá má í töflu 6 er lekt mest við Réttarholtsskóla (GR-2), við Stýrimannaskólann á Hátegi (GR-4), í Sóltúni (GR-7) og á Laugarási (GR-9). Þá gefa niðurstöðurnar einnig vísbendingu um ágæta lekt við Gerðuberg í Efra-Breiðholti (GR-1). Minnst var lektin við Ármúla (GR-8). Sú hola sker sig reyndar úr og sýnir lægstu lekt sem mælst hefur á svæðinu (tafla 4).

Tafla 6. Niðurstöður lektarreikninga með aðferð Bouwers og Rice (1976).

Hola	Lekt (hydraulic conductivity) (m/s)	Transmissivity (m ² /s)	Lu
GR-1	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	1,5
GR-2	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	40
GR-3	$4,9 \cdot 10^{-7}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	4,1
GR-4	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$	10
GR-5	$4,9 \cdot 10^{-7}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	4,1
GR-6	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	2,1
GR-7	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$8,1 \cdot 10^{-4}$	18,3
GR-8	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$8,4 \cdot 10^{-6}$	0,1
GR-9	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$7,8 \cdot 10^{-4}$	15

Ágætt samræmi virðist vera á milli lektar sem ákvörðuð er með Lu-einingum og sýnd er í töflu 4 og niðurstöðum þessara mælinga. Ekki er augljóst hvað ræður lekt grágrytisins á þeim stöðum þar sem hún var könnuð. Segja má að tvennt komi á óvart. Annars vegar hversu lítil lektin er við Ármúla og hversu góð hún er við Sóltún þar sem stutt er niður á grunnvatnsborð. Það er því ljóst að holt og ásar innan borgarlandsins eru ekki endilega með meiri lekt en þau svæði sem liggja neðar í landinu. Ef niðurstöðurnar úr töflu 6 eru bornar saman við mynd 15 sést að lektin virðist minni en búast hefði mátt við. Engu að síður virðist lekt Reykjavíkurgrágrytisins almennt vera heppileg fyrir blágrænar ofanvatnslausnir. Eins og sjá má á myndum 6, 7 og 8 er alldjúpt niður á grunnvatn uppi á holtum innan borgarlandsins. Þótt niðurstöður þessarar rannsóknar bendi ekki til þess að lekt bergs sé meiri uppi á holtum en annars staðar eru holtin ákjósanlegur staður fyrir blágrænar ofanvatnslausnir vegna þess að þar er grágrytið hvað þykkast og bæði borholur og óvatnsmettað berg geta tekið við talsverðu vatnsmagni.



Mynd 16. Graf til að finna gildi á einingalausum stærðunum A, B og C sem notaðar eru til að ákvarða $\ln(Re/R)$.



Mynd 17. Ádæling og mælingar í borholunni GR-3 á Skólavörðuholti þann 1. nóvember 2019.



Mynd 18. Ádæling í holu GR-2 við Réttarholtsskóla. Daði Þorbjörnsson, Sigrún Tómasdóttir og Bjarni Reykr Kristjánsson.

10 Niðurstöður

Dregnar voru saman allar tiltækar mælingar á grunnvatnshæð sem gerðar hafa verið í borholum á svæðinu á síðustu áratugum. Boraðar voru 9 nýjar grunnvatnsholur til að fylla upp í eyður, bæði landfræðilegar eyður og þekkingarlegar eyður. Gagnasafnið, sem þannig varð til, telur 71 borholu. Í sumum þeirra hefur grunnvatnsborð verið skráð með síritum, í öðrum með nokkrum stökum mælingum og í enn öðrum er einungis ein stök mæling til. Á grundvelli gagnasafnsins voru grunnvatnshæðarlínur með tveggja metra millibili dregnar á kort. Í Breiðholti er þó einungis til mæling úr einni holu. Þar þótti því ekki verjandi að draga þéttari grunnvatnshæðarlínur en með 10 m millibili.

Lektarmælingar í borholunum, bæði gamlar og nýjar, sýna að lekt grágrytisins er mjög misjöfn frá einum stað til annars. Vonast hafði verið eftir því að sjá mætti einhverja reglu í dreifingu lektargildanna þannig að unnt væri að skipta lektarflokkum berggrunnsins betur upp en gert var á eldri vatnafarskortum. Engin slík regla kom í ljós. Lekt og leiðni Reykjavíkurgrágrytisins virðist almennt vera heppileg fyrir blágrænar ofanvatnslausnir.

Þegar horft er til blágrænna ofanvatnslausna í Reykjavík er ljóst að grágrytið er langmikilvægasti viðtaki ofanvatnsins. Það hefur víða allgóða lekt. Útbreiðsla þess og þykkt eykur mjög á mikilvægi þess. Gamla gosbergið (Viðeyjarbergið) er lítið eitt þéttara og hefur auk þess litla útbreiðslu. Hörðu setlöggin (Fossvogs- og Elliðavogslög) eru talin þétt og treg til að taka við ofanvatni en beinar lektarmælingar hafa ekki verið gerðar í þeim. Jökulurð er almennt þétt og víðast hvar fremur þunn og hefur ekki mikla þýðingu í þessu tilliti. Strandset og manngerðar fyllingar eru aftur á móti lekar myndanir og geta haft umtalsverða þýðingu á ákveðnum svæðum, einkum í Miðbænum. Há grunnvatnsstaða í þeim dregur úr vægi þeirra í vinnu við blágrænar ofanvatnslausnir. Alldjúpt er niður á grunnvatn uppi á holtum innan borgarlandsins. Þótt niðurstöður þessarar rannsóknar bendi til þess að leiðni og lekt bergs sé ekki meiri uppi á holtum en annars staðar í borginni eru holtin ákjósanlegur staður fyrir blágrænar ofanvatnslausnir vegna þess að þar er grágrytið þykkast og þar geta bæði borholur og óvatnsmettað berg tekið við talsverðu vatnsmagni.

11 Heimildaskrá

- Ágúst Guðmundsson og Sveinn Óli Pálmarsson (2018). *Staða vatnafars í Vatnsmýri*. Minnisblað MB-18.24, Verkfræðistofan Vatnaskil, 19 bls.
- Árni Hjartarson, Einar Gunnlaugsson, Freysteinn Sigurðsson, Jón Jónsson og Kristján Sæmundsson (1992). *Vatnafarskort, Elliðavatn 1613 III - SV, 1:25.000*. Landmælingar Íslands, Orkustofnun, Hafnarfjarðarbær, Garðabær, Kópavogsbær, Seltjarnarnesbær og Reykjavíkurborg.
- Árni Hjartarson, Eiríkur Freyr Einarsson, Kjartan Thors, Kristján Ágústsson, Matthías Loftsson og Þorsteinn Egilson (2007). *Sundagöng. Rannsóknir á jarðgangaleið Sundabrautar árið 2007*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR 2007/034. 53 bls. + kort
- BGS (2020). *What are SuDS and how do they work?* Sótt 20. desember 2019 af: www.bgs.ac.uk/research/engineeringGeology/urbanGeoscience/SUDS/what.html
- Birgir Jónsson (1988). *Nýbygging Alþingis. Jarðfræðiskýrsla*. Orkustofnun, OS-88002/VOD-01 B, 18 bls.
- Bjarni Bjarnason (1983). *Búrfell II. Aðrennslisskurður, stöðvarinntak og stöðvarhúsgrunnur. Kjarnaborun 1983*. Orkustofnun, OS-83059/VOD-29 B, 21 bls.
- Bouwer, H. og Rice, R. C. (1976). A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. *Water Resources Research* 12, 423–28.
- Freysteinn Sigurðsson og Jón Ingimarsson (1990). *Lekt íslenskra jarðefna. Í Vatnið og landið*. Reykjavík, 121–128.
- Grétar Ívarsson (2017). *Hitaveita Reykjavíkur. Vatnsvinnslan og efnafræði vatnsins*. Skýrsla 2017-013. Orkuveita Reykjavíkur.
- Mannvit (2009). *Baron- and Listaháskóli Site. Reykjavík Ground Investigation. Geotechnical Report*. Mannvit Engeneering, 56 bls.
- Stuðull (1989). *Urðunarstaður í Álfsnesi. Skýrsla um jarðfræðirannsóknir*. 23 bls. Stuðull.
- Þórólfur H. Hafstað og Árni Hjartarson (2004). *Jarðsjávarvinnsla í Reykjavík. Sjóholur við Kirkjusand*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2004/001. 30 bls.