



NAUSTAVÖR Í KÓPAVOGI

Rannsóknir og grundun





NAUSTAVÖR Í KÓPAVOGI

RANNSÓKNIR OG GRUNDUN

VERKNÚMÉR:	05123001	DAGS.:	2021-02-23
UNNIÐ FYRIR:	BYGG	NR.:	197797
VERKEFNISSTJÓRI:	PRP		
HÖFUNDAR:	Pálmi R. Pálmason Verkís, Gunnar Þorláksson BYGG, Guðjón Þór Ólafsson BYGG.		
RÝNT AF	PRG		
DREIFING:	BYGG		

1 Aðfararorð

Verkís og fyrirrennari þess hefur verið ráðgefandi um grundun á Naustasvæði í Kópavogi frá því Björgun hf. hóf að fylla þar upp úr síðustu aldamótum. Fyllingarsvæðið er um 500 m langt, allt að 200 m breitt og liggur nokkuð samsíða Kársnesbraut, sjá mynd 1.

Svæðið náði frá landi um 150 m eða svo út í sunnanverðan Fossvog. Þá voru þarna laus botnlög almennt 4-5 m þykk, einkum fingert set, mis-skeljaríkur finsandur og sylti. Fyllt var yfir svæðið með mól sem dæluskip Björgunar Sandey vann af sjávarbotni, einkum úr Kollafirði, en að einhverju leyti einnig úr Engeyjarri. Í fyrstu var fyllt austast á svæðinu, nokkurn veginn í fulla breidd 100 – 150 m og þannig óx fyllingarsvæðið til vesturs. Mólinni var í fyrstu dælt upp að fjöru, en eftir að yfirborð fyllingarinnar náði upp úr sjó var dælt á það. Þannig varð nokkur aðskilnaður í fyllingunni því „fleytið“ rann einkum vestur af fyllingunni út í sjó. Þegar á leið þurfti að gera nokkurra metra djúpa rennu inn í fyllinguna svo unnt væri með sæmilegu móti að koma fyllingarefni úr skipinu nægilega langt upp á fyllinguna. Allan þennan hluta vinnunnar annaðist Björgun hf. og naut eftir atvikum aðstoðar verktaka.

Þegar skipulag lá fyrir voru byggingarreitir á fyllingunni fergðir. Fargið var einkum mól sem síðar nýttist annars staðar á svæðinu. Sigplötur voru settar á nokkrum stöðum á fyllingunni áður en fergt var, til þess annars vegar að greina sigráða svo segja mætti hvenær óhætt væri að fjarlægja fargið og hefja þar byggingu húsa, en hins vegar hvert líklegt heildarsig yrði á svæðinu og hvort það yrði breytilegt frá einum stað til annars.

Sigplötum var m.a. komið fyrir á lóð húsa nr. 52-58 líkt og við fergingu annarra lóða og grannt fylgst með sigi í botnlögunum. Ólíkt öðrum lóðum, þar sem sig var nokkuð jafn yfir alla lóðina, var sig mismikið á lóðinni; minnst syðst og vestast en jókst bæði til norðurs og austurs, en þykkt lausu botnlaganna jókst þangað. Sigmælingar bentu þannig til þess annars vegar að sig þarna tæki hlutfallslega langan tíma og hins vegar að líkur á mismunasigi húsa á lóðinni væru nokkrar. Því þótti ljóst að nota þyrfti aðrar aðferðir á þessari lóð en gert hafði verið á lóðum þeim sem þegar hafði verið byggt á.

Í fyrstu var kannað hvort þjöppun næðist með tveimur 13-15 t titurvölturum sem valta mundu samhliða og samtímis. Í slíkum völturum er unnt að stilla titringstíðni. Þetta var reynt, en ekki náðist nægilegur titringur í dýpstu botnlögunum svo þjöppun næðist. Því varð annað að koma til. Hér er þess jafnframt að geta að í NA-horni lóðarinnar er dýpst á fast, þ.e. lausu lögin þykkust, svo einhvers konar djúppjöppun þurfti þar. Líklega hafði „innsiglingarrenna“ Sandeyjar verið þarna og endurfyllst af fíngerðasta fleytinu þegar dælt var inn á fyllinguna austar.

Í ljósi þessa mælti Verkís með djúppjöppun með “titurstaur”, aðferð sem hafði m.a. skilað góðum árangri í grunni Þjórsárstíflu í Kvíslaveitu skömmu fyrir síðustu aldamót. Aðferðin leiddi til viðunandi þjöppunar lausu botnlaganna í stíflugrunninum.

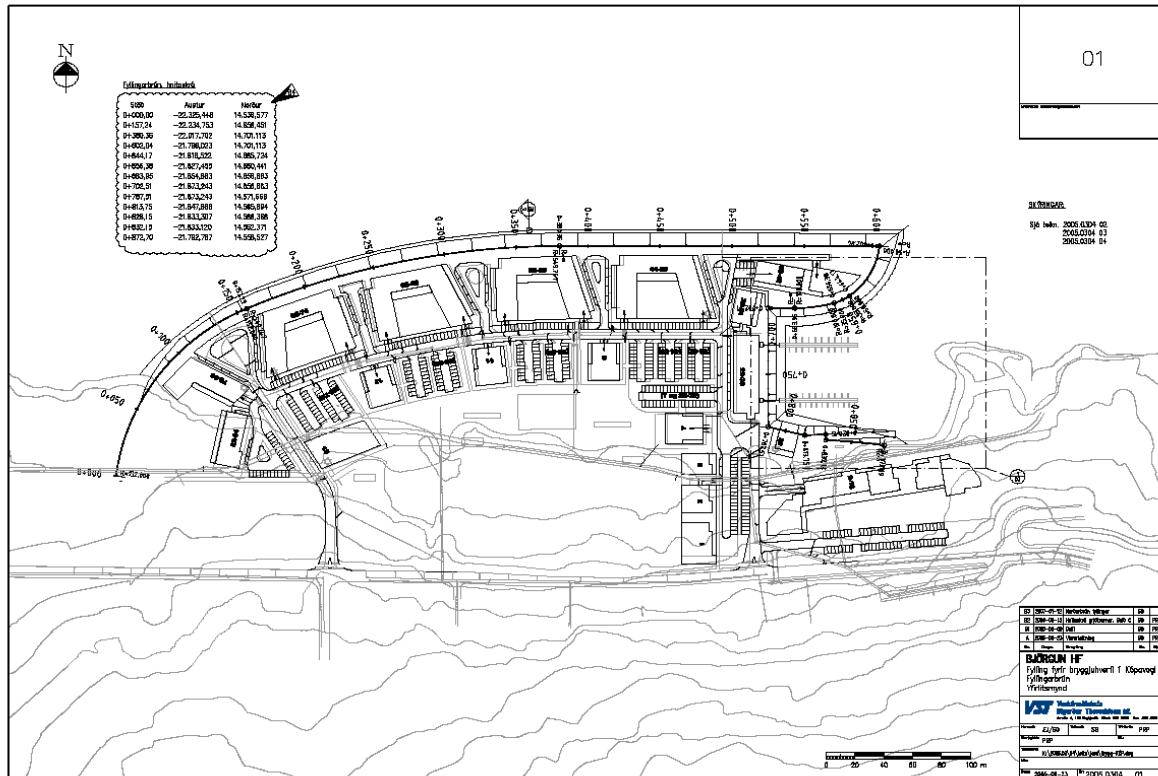
Þar sem viðkomandi tæki, krani, titurhamar, og H-biti með ásoðnum „eyrum“ voru tiltæk á vormánuðum var ákveðið að reyna og sjá hvernig til tækist, hvort viðunandi þjöppun næðist.

Í greinargerð þessari eru tekin saman helstu gögn um aðgerðir á lóð Naustavarar 52-58 svo sem; upplýsingar um lausu botnlögin í lóðinni og fergingu þar, sigmælingar, boranir, vatnshæðarmælingar í rörum er ná niður úr botnlögunum, völtun og djúppjöppun ásamt líklegum áhrifum umræddra aðgerða. Eitt helsta áhyggjuefnið var að djúppjöppun kynni að valda ysjun í lausu botnlögunum.

Miðað var við að húsalengjan í Naustavör 52-58 yrði grunduð á fyllingunni og þá þannig að húsið sem er U-laga hvíldi á þykkri ríkulega járnbentri botnplötu sem tengd væri áhvílandi veggjum á þann hátt að samverkun yrði milli botnplata og veggja. Grunnurinn er þannig líkastur „steinnökkva“ og svo stífur að álag á grunninn verður sem jafnast og þannig dregið úr möguleikum og líkum á mismunasigi milli einstakra húshluta. Allar lagnir eru í nökkvanum sem einfaldar framkvæmdirnar umtalsvert.

Mikil og affærasæl samvinna var með þeim sem að verkinu komu sem skilaði góðri framkvæmd og mjög viðunandi árangri að því er best verður séð.

Helstu þátttakendur í framkvæmdinni voru: Gunnar Þorláksson, Einar Már Steingrímsson, Guðjón Þór Ólafsson og fjölmargir aðrir hjá BYGG svo og ýmsir frá Verkis.



Mynd 1 Björgun hf. Fylling fyrir bryggjuhverfi Naustahverfi í Kópavogi. Fyllingarbrún, Yfirlitsmynd.

Efnisyfirlit

1	Aðfararorð	i
	Efnisyfirlit	iii
	Yfirlit yfir myndir	iii
	Yfirlit yfir töflur	iii
2	Jarðlög á svæðinu	1
2.1.1	Sigeiginleikar – áætlaðir	2
2.1.2	Skúfstyrkur – áætlaður	2
3	Jarðlög í grunni N52-58	4
4	Boranir	5
5	Grunnur N52-58, farg og sig	7
6	Aðgerðir til að flýta sigi	8
6.1	Djúppjöppun, reikningslegar forsendur.....	8
6.2	Árangur þjöppunar í N52-58 grunni – hönnun undirstaðna.....	10
6.3	Veður.....	11
7	Vatnsþrýstingsmælingar	12
8	Tæknilegar upplýsingar um framkvæmdirnar	14
8.1.1	Helstu tæki	14
8.1.2	Tækjaskrá	14
9	Samantekt	15

Yfirlit yfir myndir

Mynd 1	VST hf. Teikn. 2005.0304 01, dags. 2005-06-23. Björgun hf. Fylling fyrir bryggjuhverfi Naustahverfi í Kópavogi. Fyllingarbrún, Yfirlitsmynd.....	ii
Mynd 2	VST hf. Teikn. 2005-0304-3, dags. 2006-03-07. Björgun og BYGG. Laus jarðlög og fylling í Kópavogi, 3-vídd.	2
Mynd 3	Lóðir við Naustavör, hús nr. 52-58 eru auðkennd bleik á lit.	4
Mynd 4	Sýnir vatnshæðarmæla sem settir voru niður í janúar 2020. Sigplata var í hverju húshorni.....	5
Mynd 5	Snið A-A eftir austurhlið húss nr. 52-58.	6
Mynd 6	Snið B-B eftir vesturhlið húss nr. 52-58.	6
Mynd 7	Sigplötur í fargi á húsgrunni nr. 52-58.	7
Mynd 8	Sigmælingar á fargi í grunnum nr. 52-58.	7
Mynd 9	Titurhamarinn á staurnum hangandi í krana.	8
Mynd 10	Djúppjöppun með titurstaur. Hér eru tvenn „eyru“, soðin hornrétt á bitann. Hvert eyra er tæpur 1 m á lengd, um 0,25 m breið stálplata við staurinn.	9
Mynd 11	Djúppjöppun með titurstaur. Nokkrar þjöppunarholur á svæðinu.....	9
Mynd 12	Veðurþættir sem Veðurstofan mældi við Bústaðaveg meðan á þjöppun stóð	11
Mynd 13	Vatnshæðarferillinn 30. janúar 2020. X-ásinn sýnir m y.s. en y-ásinn tíma	12
Mynd 14	Vatnshæð	13
Mynd 15	Vatnshæð	13

Yfirlit yfir töflur

Tafla 1	Dýpi borhola við Bryggjuhverfi í Kópavogi.....	1
Tafla 2	Niðurstöður rannsókna á sýnum.	1
Tafla 3	Sigeiginleikar notaðir í fyrstu sigreikningum.....	2
Tafla 4	Langtíma efniseiginleikar	3

2 Jarðlög á svæðinu

Fyrir lágu m.a. eftirfarandi upplýsingar um boranir, sýnatöku og niðurstöður rannsókna á sýnum úr lausu botnlagunum áður en fylling Björgunar hófst:

Tafla 1 Dýpi borhola við Bryggjuhverfi í Kópavogi.

Hola	Dýpi á hafsbotn [m]	Dýpi á fast [m]	Þykkt botnlags [m]
A	-4,0	-7,7	3,7
B	-3,5	-7,2	3,7
C	-4,0	-8,0	4,0
D	-4,5	-8,4	3,9
E	-3,9	-9,0	5,1

Staðsetning umræddra borhola er sýnd á mynd 2.

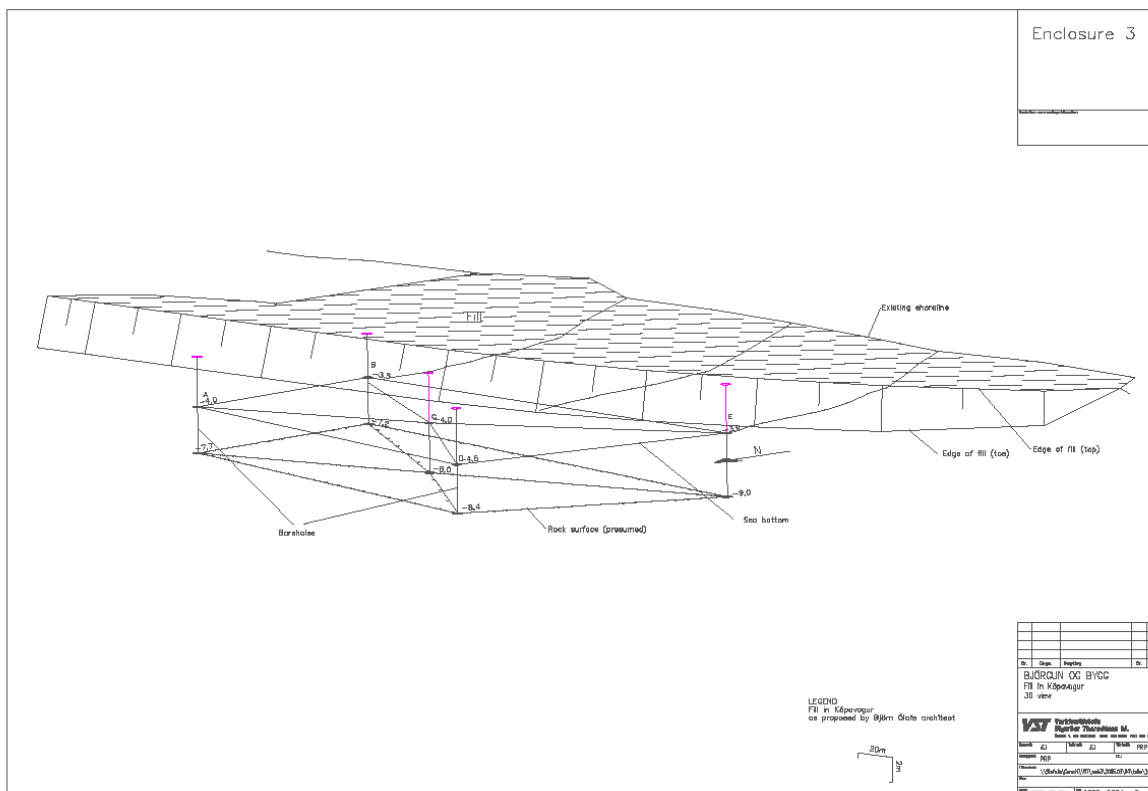
Niðurstöður borana leiddu í ljós að þykkt lausu botnlaganna utarlega á fyllingarsvæðinu væri almennt 4 til 5 m og ykist heldur eftir því sem fjær dregur landi.

Tafla 2 Niðurstöður rannsókna á sýnum.

Sýni	Dýpi [m]	Greining	Raki [%]	Rúmpýngd [kN/m ³]	Korna-rúmpýngd [kN/m ³]
A-1-1	-6,6	Grá sylti/leir, skeljabrot	80,7	14,8	-
A-2-1	-5,3	Grá sylti/leir, mjög mjúk skeljabrot	70,5	15,6	2,76
A-3-1	-4,1	Grá sylti/leir/sandur og skeljabrot	115,2	-	-
B-1-1	-5,5	Grá sylti/leir, skeljar og vottur af gróðurtrefjum. Þétt efni í öllum hólknunum.	116,4	13,8	2,56
B-2-1	-3,6	Dökkgrá/svört sylti/leir, vottur af fínum sandi og skeljabrot. Virðist lífrænt í bland	136,5	-	-
B-2-3	-4,5	Grá sylti/leir með skeljabrotum	86,2	14,6	-
C-1-1	-6,1	Grár leir/sylti með skeljabrotum af gróðurefnum, þétt efni í öllum hólknunum.	70,7	15,0	-
C-2-1	-4,1	Sendin sylti/leir með skeljabrotum	107,2	-	-
D-1-1	-6,7	Grár leir/sylti með skeljabrotum	78,8	14,8	-
D-2-1	-4,6	Sendin sylti/leir með skeljabrotum	65,6	-	-
E-1-1	-6,1	Grár þéttur leir/sylti með skeljabrotum	95,7	14,9	2,59
E-2-1	-3,4	Sendin svört efja. Rotnunarlykt	131,7	-	-

Sýnin þóttu benda ótvírætt til þess að setið þarna sé um flest líkt því sem algengt er við svipaðar aðstæður við innanverðan Faxaflóa þótt lagskipting væri að líkum ólík.

Þar sem sýnin voru röskuð fengust hvorki úr þeim einhlítar upplýsingar um sigeiginleika né skúfstyrk viðkomandi botnlaga. Hins vegar var álitid að niðurstöður þær sem fram koma í Töflu 2 nægðu t.þ.a. segja mætti með viðunandi vissu fyrir um líklegt sig á svæðinu undan fyrirhugaðri álagsaukningu sem og að með samanburði við önnur laus botnlög á Reykjavíkarsvæðinu fengist nægilega nákvæm vitneskja um skúfstyrksþætti lausu botnlaganna.



Mynd 2 Laus jarðlög og fylling í Kópavogi, 3-vídd.

2.1.1 Sigreikinleikar – áætlaðir

Sigreikinleikar fyllingarinnar voru því ákvarðaðir út frá samanburði við viðkomandi eiginleika úr prófunum á sýnum úr svipuðum botnlögum á Reykjavíkursvæðinu. Miðað var við að í sigreikningum yrði notuð aðferð N. Janbu og lagt til að eftirfarandi eiginleikar yrðu notaðir:

Tafla 3 Sigreikinleikar notaðir í fyrstu sigreikningum

Efni	Efniseiginleikar			
	Rúmþyngd [kN/m ³]	m-gildi	r _s [σ > p _c]	c _v [cm ² /mín.]
Fínsandur	17	20	500	1,0
Sylti	17	15	250	0,5

Þessi gildi eru trúlega nærri lagi og þá sem meðalgildi fyrir hvora jarðlagsgerð sem er. Að hinu er þó að gæta að jarðlögin þarna eru að því er virðist ekki einsleit, ýmist fínsandur eða sylti á stóru svæði heldur einhvers konar blanda þessara efnisgerða svo að mjög nákvæma þekkingu á þykkt og efnisgerð þyrfti svo ætti að vera unnt að segja með nákvæmni og vissu fyrir um hegðun botnlaganna undan álagi á einhverjum stað. Því þótti nærtækara og líklegra til viðunandi árangurs að fergja byggingarreitina og fylgjast grannt með sigi undan farginu sem var gert.

Af sjálfu leiðir að í sigreikningum þarf enn fremur að gera ráð fyrir sigi í sjálfri fyllingunni, en þar sem fyllingarmölin er fremur grófgerð kemur sig í henni fram jafnóðum og álag eykst.

Enn fremur þótti ljóst að leiðrétta þyrfti töluleg gildi efniseiginleika í ljósi niðurstaðna sigmælinga á hverjum stað.

2.1.2 Skúfstyrkur – áætlaður

Sýni úr lausu botnlögum voru röskuð, eins og nefnt er að framan, svo ekki fengust úr þeim einhlítar upplýsingar um skúfstyrk. Hann er því áætlaður annars vegar út frá því sem reynst hefur vera í

svipuðum jarðlögum á Reykjavíkursvæðinu og hins vegar út frá niðurstöðum stæðnireikninga sbr. áður útgefnar skýrslur.

Í fínefnaríkum jarðlögum flyst öll álagsaukning í fyrstu á vatn í efninu svo að vatnsþrýstingur hækkar sem veldur tímabundinni lækkun skúfstyrks þess. Með tímanum lagast viðkomandi vatnsþrýstingur að ríkjandi grunnvatnsstöðu og skúfstyrkurinn hækkar samsvarandi.

a) Á framkvæmdatíma

Á framkvæmdatíma er í fínefnaríkum jarðvegi gjarnan reiknað með svokölluðum “ódrenuðum” skúfstyrk og að hann sé 0,4xlóðrétt álag. Þetta var m.a. haft til hliðsjónar í fyrri stæðnireikningum okkar fyrir fyllingarbrúnina. Það reyndist hins vegar ofmat í ljósi þess að brúnin skeið fram.

Nær lagi virtist vera að „ódrenaður“ skúfstyrkur í lausu jarðlögum sé: $\tau = 20 \text{ kPa}$ þ.e. aðeins þriðjungur til helmingur þess sem að óreyndu hefði mátt ætla.

Því lögðum við til að miðað yrði á fyllingartíma (skammtímaálag) við að sá skúfstyrkur væri í óspjölluðum botnlögum á svæðinu.

b) Til langs tíma

Þótt botnlögin séu að hluta til siltarrík og því hlutfallslega þétt, eru inn á milli grófgerðari fínsandslög sem flýta fyrir sigi og aðlögun (útjöfnun) vatnsþrýstings. Því gerum við ráð fyrir að skúfstyrkur í lausu botnlögum hækki umtalsvert með tímanum. Hversu hratt það gerist er háð lekt og þykkt lausu botnlaganna á hverjum stað. Af þessu leiðir að til langs tíma ræðst staðbundinn skúfstyrkur þarna einkum af aðstæðum þ.e.a.s. af núningshorni í efninu og virku álagi.

Þannig reiknast t.d. skúfstyrkur til langs tíma á 6 m dýpt og 5 m undir grunnvatnsborði miðað við að meðalrúmpyngd sé 18 kN/m^3 og núningshorn 45° , en samloðun engin:

$$\tau = (18 \times 1 + 8 \times 5) \text{ tg } 45^\circ = 58 \text{ kPa}$$

Erfitt er að segja einhlítt um hversu langur tími þurfi að líða frá því að fyllt er yfir botnlög þar til slíkt ástand verði komið á, enda ótal breytistærðir ákvarðandi þar um.

Miðað við að meðallagþykkt syltar milli grófgerðra (sand)laga sé 2 m og að svonefndur sigstuðull c_v syltarinnar sé $0,5 \text{ cm}^2/\text{mín}$ tæki viðkomandi styrktaraukning um tvær vikur.

Þetta mætti t.d. staðfesta með því að fylgjast með lækkun vatnsþrýstings í botnlögum.

Lagt var til að við grundun á svæðinu verði miðað við gildi í Töflu 4.

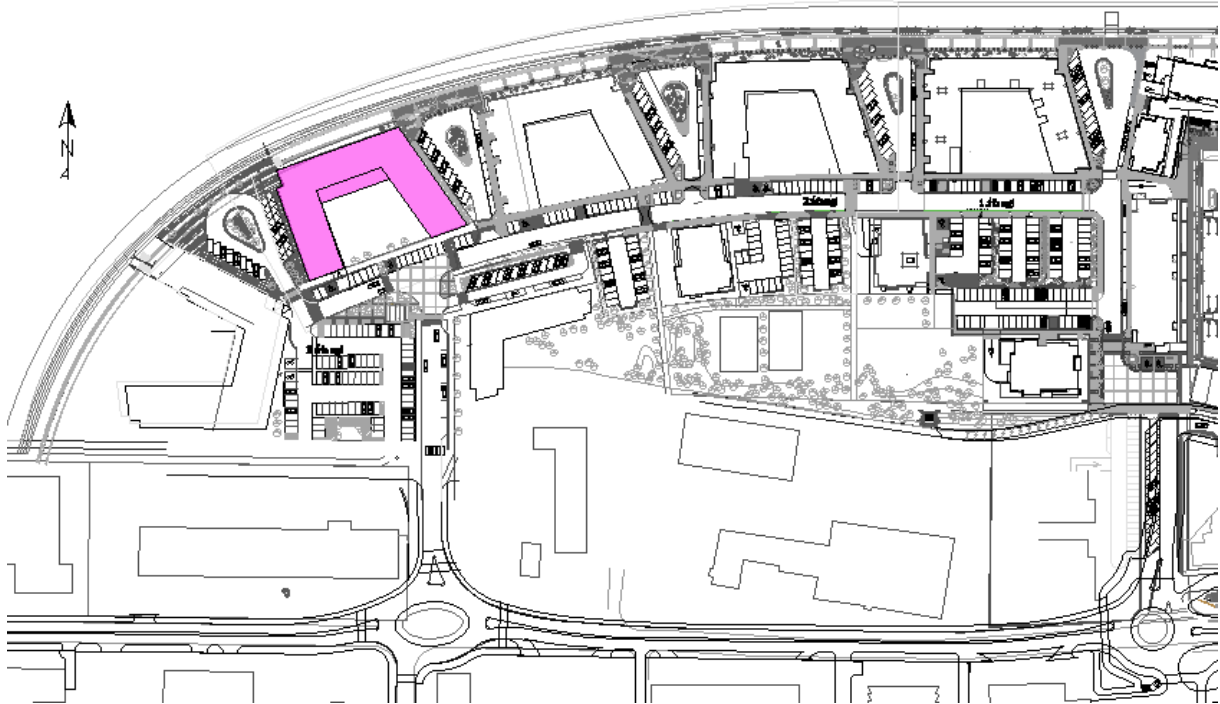
Tafla 4 Langtíma efniseiginleikar

Efni	Rúmpyngd [kN/m ³]	Fjaðurstuðull [kPa]	Samloðun [kPa]		Núningshorn [°]	
			Hágildi	Lággildi	Hágildi	Lággildi
Botnlag	17	5.000	25	10	30	25
Botnlag-fylling	17	6.000	0	0	35	30
Fylling	19	20.000	0	0	45	40

3 Jarðlög í grunni N52-58

Rannsóknir bentu ekki til annars en að hvoru tveggja, þ.e. sjávarbotni og undirliggjandi klapparborði, hallaði jafnt og fremur lítið út í Fossvog. Þannig er um 4 m sjávardýpt þegar komið er 150 m eða svo frá landi, en þar eru 8-9 m á fast.

Lóðin Naustavör 52-58 er næstvestasta lóðin í Bryggjuhverfinu á norðanverðu Kársnesi. Mynd 3 sýnir vestari hluta Naustavararsvæðisins.



Mynd 3 Lóðir við Naustavör, hús nr. 52-58 eru auðkennd bleik á lit.

Samkvæmt borunum eru botnlög á svæðinu almennt 4-5 m þykk, einkum fremur fingert set, mis-skeljaríkur fínsandur og sylti. Reyndar er þetta ekki einhlítt, því lausu botnlögin í N52-58 lóðinni eru sums staðar allmiklu þykkri auk þess sem þeim hallar miklu meira til NA en almennt er þarna.

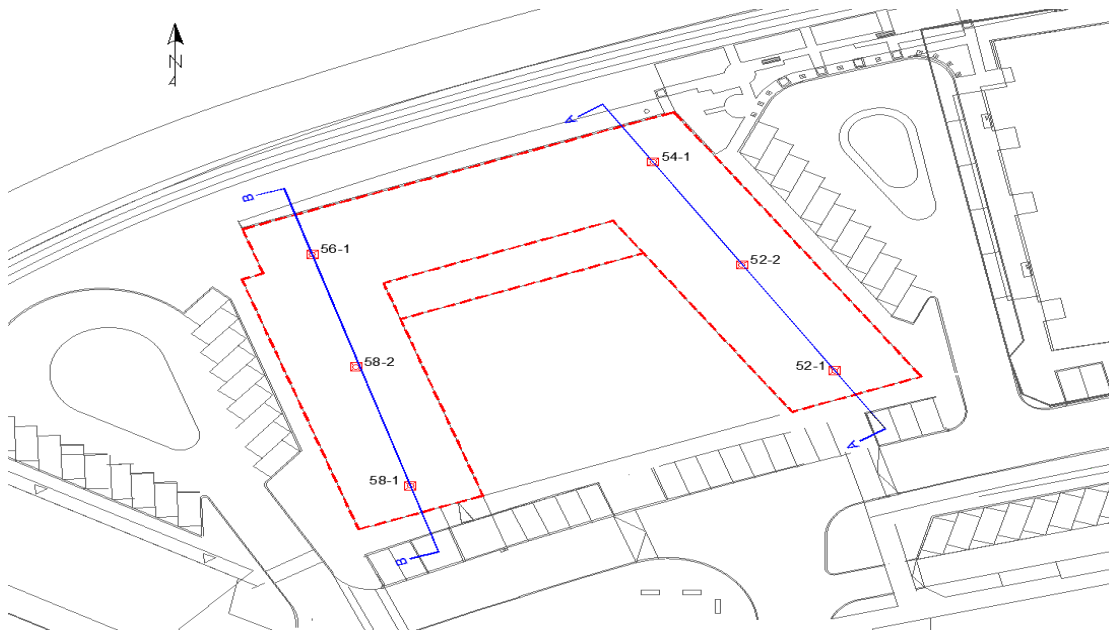
Björgun hf hóf að fylla á svæðið upp úr síðustu aldamótum. Fyllingarefnið var að mestu eða öllu leyti fíngerð, á köflum skeljarík, sendin mól úr námum þeim sem fyrirtækið nýtti þá í sjó. Mólinni fylgdi nokkuð af fínsandi og sylti, sem skildist mjög frá þegar efninu var dælt á land. Fíngerðasti efnishlutinn flaut vestur eftir fyllingunni eftir að hún náði upp úr sjó. Fleytið settist til ýmist vestarlega á henni eða rann í sjó fram. Vegna þessa eru líkur á einhverri lagskiptingu í fyllingunni og undirliggjandi botnlögum. Við upphaf framkvæmda á svæðinu var ströndin 150 m sunnar í Fossvogi en nú er.

4 Boranir

Þegar einsýnt þótti að frekari ráðstafana væri þörf til þess að komast hjá skaðlegu mismunasigi húsanna að Naustavör 52-58 var afraðið að kanna lausu botnlögin í grunninum frekar. Fyrirtæki Árna Kópssonar var fengið til þess að bora sex rannsóknarholur sem ná niður í gegnum lausu botnlögin. Sýni voru tekin í borholunum og jarðlagaskipting í þeim greind með 0,5 m nákvæmni eða svo. Vatnshæðarmælar voru settir í holurnar til þess að fylgjast eftir atvikum með vatnsþrýstingsbreytingum við þjöppun lausu botnlaganna.

Rannsóknir þessar leiddu í ljós að milli fyllingar og klappar og/eða jökulruðnings eru misþykk, fremur laus, misskeljarík fínsands- og syltarlög, svo sem og við mátti búast skv. niðurstöðum sigmælinga.

Að öðru jöfnu veldur slík lagskipting hvoru tveggja; auknum sighraða og styrk. Botnlögin eru þykkust í NA-horni grunnsins og þynnast þaðan til suðvesturs að því marki, að suðvestast í lóðinni eru þau, ef einhver þá óveruleg.



Mynd 4 Sýnir vatnshæðarmæla sem settir voru niður í janúar 2020. Sigplata var í hverju húshorni.

Malarfylling nær niður í 7,0 - 9,5 m dýpt. Undir henni er allt að 6,5 m þykkt laust (sjávar)set, einkum mis-skeljaríkur fínsandur og þunn syltarlög. Hér er hafður svigi í ljósi þess að hugsanlega er a.m.k. hluti lagsins fleyti.

Í nokkrum holum undir sjávarsetinu næst klöpp er 1 – 2,5 m þykkur jökulruðningur.

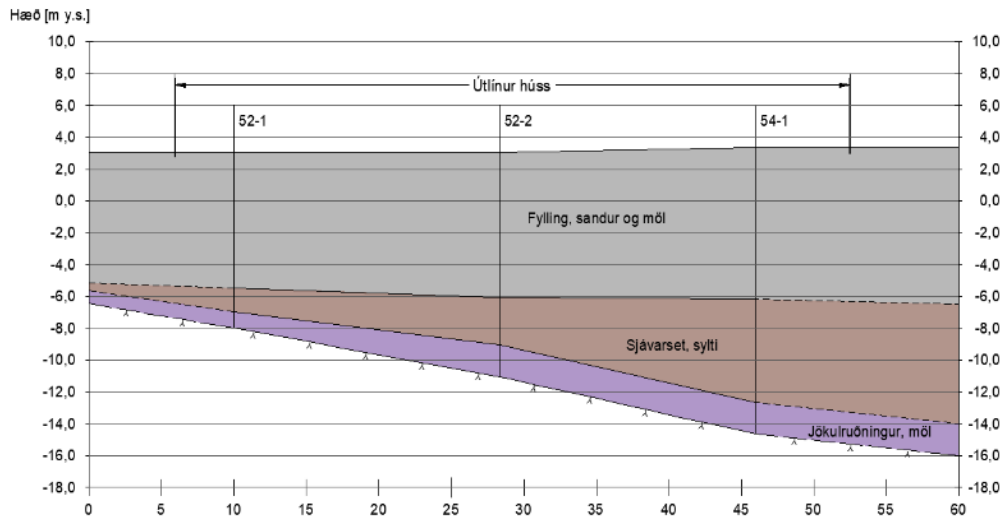
Dýpi á klöpp í lóðinni er mismikið, frá um 8 m niður í allt að 18 m og því þótti veruleg hættu á að húsið missigi yrði ekkert að gert. Þessi mikla dýpt á fast kom á óvart því fyrri rannsóknir bentu alls ekki til slíks.

Jafnframt er þess að gæta að syltarríka setið gaf tilefni til þess að lögin kynnu að ysast í verulegum jarðskjálfta.

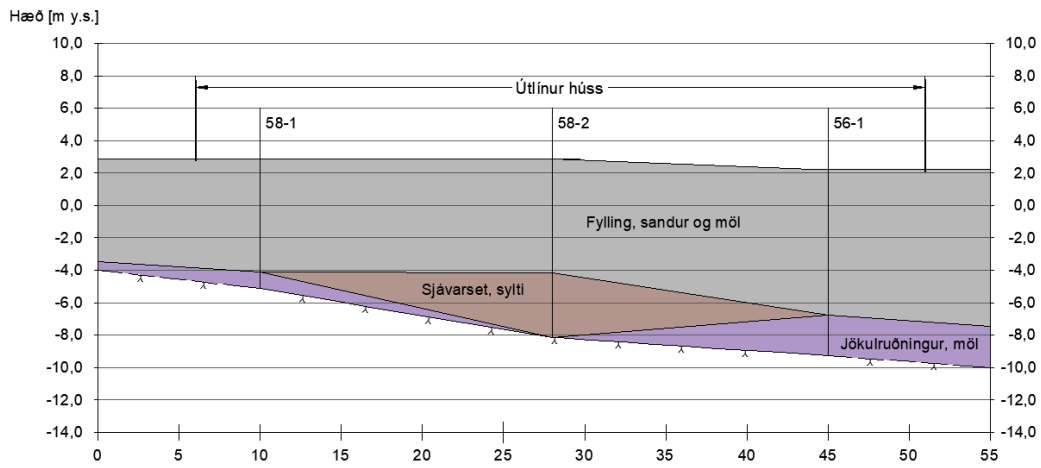
Helstu niðurstöður rannsókna sjást á myndum 5 og 6. Athygli vöktu breytileg jarðlög í lóðinni og hversu mismikil dýpt er þar á fast.

Því þótti nauðsynlegt að fylgjast grannt með áhrifum allra þjöppunaraðgerða í grunninum, hvort heldur væri sig, færsla eða vatnsþrýstingsbreytingar.

Sjá myndir 5 og 6.



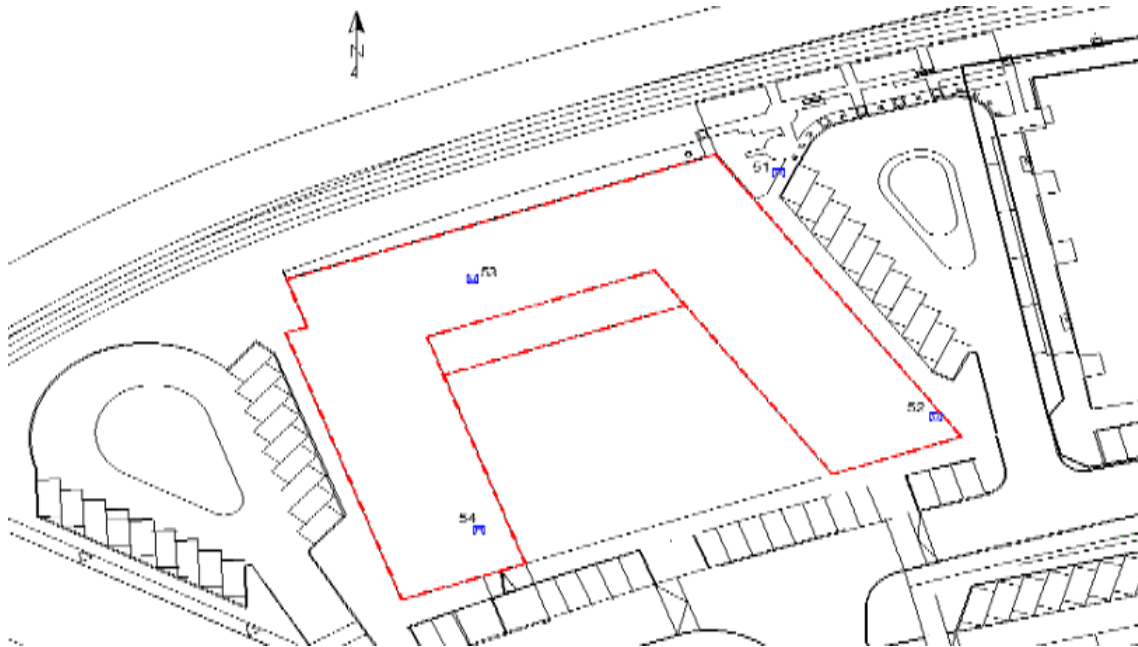
Mynd 5 Snið A-A eftir austurhlið húss nr. 52-58.



Mynd 6 Snið B-B eftir vesturhlið húss nr. 52-58.

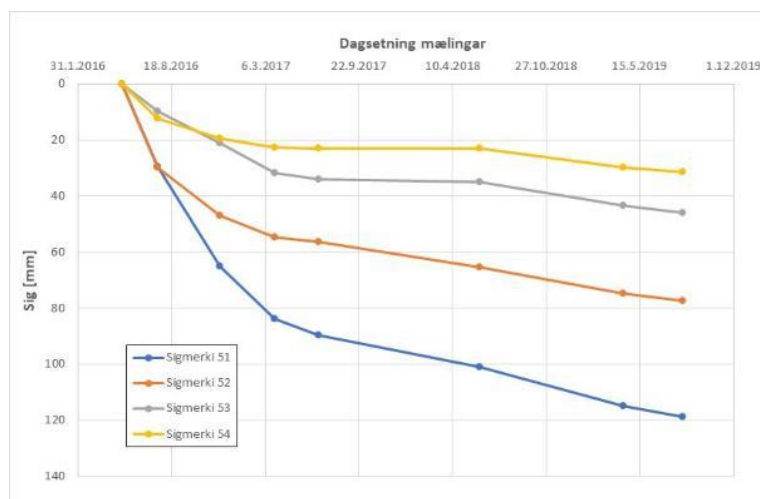
5 Grunnur N52-58, farg og sig

Til þess að botnlögin undir fyllingunni sigju varanlega var svæðið fergt vorið 2016. Fargið var almennt nokkuð umfram það álag sem verður frá áformuðum húsum á reitnum. Í fargið voru skömmu eftir að það komst á settar sigplötur, sem fyrst var mælt á í maí 2016. Sjá myndir 7 og 8.



Mynd 7 Sigplötur í fargi á húsgrunni nr. 52-58.

Á Mynd 8 eru niðurstöður mælinga á þær sigplötur sem auðkenndar eru á Mynd 7, en mælingar hófust sem fyrr segir um mitt ár 2016. Plöturnar hafa sigið mjög mismikið, frá um 30 mm plata 54, sem er í SV horni lóðarinnar, upp í um 120 mm, sigiplata nr. 51 í NA horninu. Hinar tvær sigplöturnar; nr. 52 í SA-horni og nr. 53 um mitt hús nr. 54, hafa einnig sigið umtalsvert.



Mynd 8 Sigmælingar á fargi í grunnum nr. 52-58.

Ólíkt sigi á öðrum lóðum á svæðinu sigu mælipunktur í lóðinni mismikið, sjá Mynd 8. Út frá þekkingu á aðstæðum við sigmælana, var áætlað hversu miklu heildarsigi mætti að óbreyttu búast við á hverjum stað miðað við svipað álag. Sigferlarnir bentu enn fremur til að mismunasig þarna yrði óviðunandi og að framhald sigs yrði þarna talsvert, hraðast fyrst, en síðar mundi hægja á því. Með tímanum drægi úr hvoru tveggja sikhraða og sigi.

Mesta sigið yrði í norðaustur horni lóðarinnar, minnkandi bæði til suðurs og vesturs.

6 Aðgerðir til að flýta sigi

Til þess að flýta frekara sigi í lausu botnlögunum í lóðinni var reynd djúppjöppun með titurvölturum. Áður var farg fjarlæggt og lóðin lækkuð í kóta +2,5 m eða svo í hæðarkerfi Reykjavíkurborgar. Við þjöppunina voru samtímis notaðir tveir 13-15 t titurvaltarar, sem ekið var löturhægt samhliða með aðeins örstutt milli valtaranna sem í fyrstu voru stilltir á hæstu titringstíðni. Allt kom þó fyrir ekki. Þetta skilaði lítilli sem engri þjöppun lausu laganna djúpt í grunninum svo það var aflagt. Annað varð að koma til svo ekki þyrfti að grunda húsin á staurum.

6.1 Djúppjöppun, reikningslegar forsendur

Innskot

Við þéttingu grunns Þjórsárstíflu í Kvíslaveitu þar sem eru hlutfallslega laus, fínsending, lek setlög, hafði náðst að þjappa og þétta stíflugrunninn með svokölluðum „titurestaur“. Þá eru gjarnan tvö eða fleiri eyru soðin hornrétt á H-bitu sem rekinn er niður í grunninn. Eyru þessi eru um 1 m langar og um 0,25 m breiðar stálplötur, tvær og tvær í hverri hæð sbr. meðf. Mynd 10. Bitinn er rekinn, með eða án titrings, í fulla dýpt og þar settur titringur á hann. Titringsurinn er gjarnan hafður á staurinum í nokkrar mínútur í hverri dýpt og hann því næst dreginn upp í um 1 m þrepum og látið titra í smá tíma, t.d. 5 mín. í hverju þrepi. Titringsurinn leiðist út í ofanefnd eyru sem orsaka titring í lausa jarðlaginu sem þjappast þannig. Beint áhrifasvæði titringsins nær þannig vel 1 m út frá staurinum auk þess sem titringsins gætir bæði upp og niður frá eyrunum og umhverfis staurinn.

Slíkur titurhamar er til héraðs og fékkst sá með skömmum fyrirvara leigður í framkvæmdina. Guðjón Þór Ólafsson jarðvinnuverkstjóri hjá BYGG útvegaði H-bitu og í samvinnu við Stefán formann verktaka þess sem á titurhamarinn gekk hratt að ganga frá umræddum tólum og tækjum í grunninum.

Hafist var handa við djúppjöppunina 25. mars 2020 og má segja að verkið hafi í heild gengið að óskum þrátt fyrir smávægilegar „hraðhindranir“ af ýmsum toga.

Titurstaurinn var mest um 19 m langur og hangir í krana, sjá meðf. mynd, rekinn um 18 m.



Mynd 9 Titurhamarinn á staurinum hangandi í krana.

Djúppjöppun hófst í grunninum undir austurálmú hússins. Fyrir hádegi var staurinn rekinn í SA hluta svæðisins, því næst var í NA hlutanum og loks í miðju austurálmú.

Eina vatnsbrýstingsútslagið sem varð vart þegar staurinn var fyrst rekinn niður var í mælum 52-2 og 54-1. Síðar um daginn hófst djúppjöppun á ný milli mæla 52-1 og 52-2.

Mesta útslagið var í mæli 52-2 og hélst það svo meðan þjappað var þarna til norðurs, þrátt fyrir að mælir 54-1 hafi verið næst þjöppuninni sem líklega bendir til mismunandi lektar innan jarðlaganna.



Mynd 10 Djúppjöppun með titurstaur. Hér eru tvö „eyru“, soðin hornrétt á bitann. Hvert eyra er tæpur 1 m á lengd, um 0,25 m breið stálplata við staurinn.



Mynd 11 Djúppjöppun með titurstaur. Nokkrar þjöppunarholur á svæðinu

Erfitt er að mæla einhlítt árangur þjöppunarvinnunnar en þó má nálgast hann með því t.d. að meta breytingu holrýmdar í lausu botnlögnum, og þá miðað við að sig í grunninum við framkvæmdina sé eingöngu vegna þess að lausu lögin þjappast saman og holrýmd í þeim minnki þar með.

Sé sem dæmi miðað við ástand þar sem þykkt lausra botnlaga hafi verið 2 m fyrir þjöppun og þau þjappast saman um 0,5 m fæst holrýmd n ákvörðuð út frá eftirfarandi líkingu:

$$n = 1 - (\gamma / (1 + w) \gamma_s)$$

Hér er:

n	holrýmd í lausu botnlögunum (tölugildi)
γ	(meðal)rúmpýngd í lausu botnlögunum hér: 15 kN/m ³ ,
w	(meðal)rakastig í lausa botnlögunum (tölugildi), hér: 70 %
γ_s	(meðal)kornarúmpýngd í lausu botnlögunum, hér: 28,0 kN/m ³

Holrýmd fyrir djúppjöppun:

Með því að setja tölugildi þessara efnispáttanna inn í líkinguna fæst að holrýmd í lausu botnlögunum sé 68,5 %.

Holrýmd eftir djúppjöppun:

Miðað við að botnlögin á tilteknum stað í grunninum hafi verið 2 m þykk og þjappast saman í 1,5 m. Þá reiknast holrýmd eftir þjöppun, án tillits til rakabreytinga, 58 % og meðalrúmpýngd þar eftir þjöppun 20 kN/m³. Reikningsleg holrýmd hefur samkvæmt því minnkað um 10 % við aðgerðirnar.

Á þessum niðurstöðum eru þó m.a. þeir annmarkar að við vitum að vatn þrýstist eitthvað út úr botnlögunum við þjöppunina svo rakastig eftir hana er í reynd nokkru lægra en það sem hér er notað og holrýmd eftir þjöppun því líklega nær 55 %.

Útreikningarnir sýna að okkar mati trúlegar niðurstöður og benda til þess að botnlögin hafi þjappast að því marki að sig í þeim undan húsinu verði takmarkað.

6.2 Árangur þjöppunar í N52-58 grunni – hönnun undirstaðna

Áhrif þjöppunar með tveimur titurvölturum á mismunandi tíðni á yfirborði grunnsins hefur væntanlega náð niður í gegnum fyllinguna og hún því býsna vel þjöppuð í heild.

Á hinn bóginn náðist ekki á þann hátt að þjappa lausu botnlögin alls staðar í grunninum jafnmikið, sbr. kaflann hér á undan. Lausu botnlögin eru samkvæmt borununum breytileg að þykkt, sjá jarðlagasnið, mest allt að 8 m.

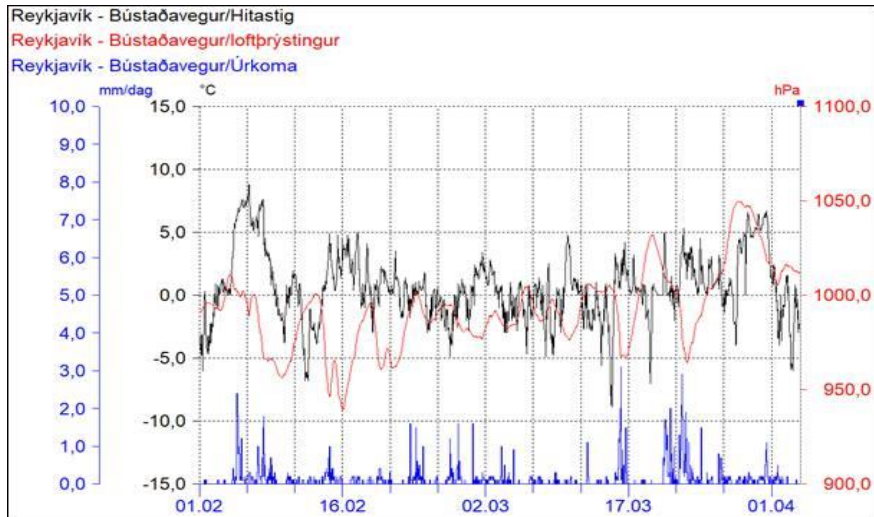
Að því er tekur til áhrifa af djúppjöppuninni er rétt að nefna að þegar reynt var að endurreka titurstaurinn á svæði sem áður hafði verið þjappað reyndist mjög erfitt að koma staurnum niður í gegnum þjappaða lagið.

Til góða kemur að álagið frá húsinu dreifist með aukinni dýpt og þess gætir því hlutfallslega minna þeim mun neðar sem er í grunninum.

Lögð var áhersla á að við hönnun undirstaðna yrði tekið tillit til aðstæðna með því að ganga svo frá steypu undirstöðunni að platan og neðsti hluti veggja yrði stíf heild, sem yfirfæri álag og jafni það sem best út.

6.3 Veður

Á ýmsu gekk í veðri á því rúmlega tveggja mánaða tímabil sem djúpbjöppun stóð yfir. Á umræddu tímabili gengu nokkrar lægðir yfir landssvæðið með tilheyrandi loftþrýstingsbreytingum, ofankomu og hitasveiflum. Veðrið er þó ekki álitnið hafa haft teljandi áhrif á vatnsþrýsting í borholunum.



Mynd 12 Veðurþættir sem Veðurstofan mældi við Bústaðaveg meðan á þjöppun stóð

Eftir því sem þjöppunin færðist nær sjó minnkaði útslagið í vatnshæðamælunum, sem bendir til þess að jarðlög fjær ströndu þarna séu lekari.

7 Vatnsprýstingsmælingar

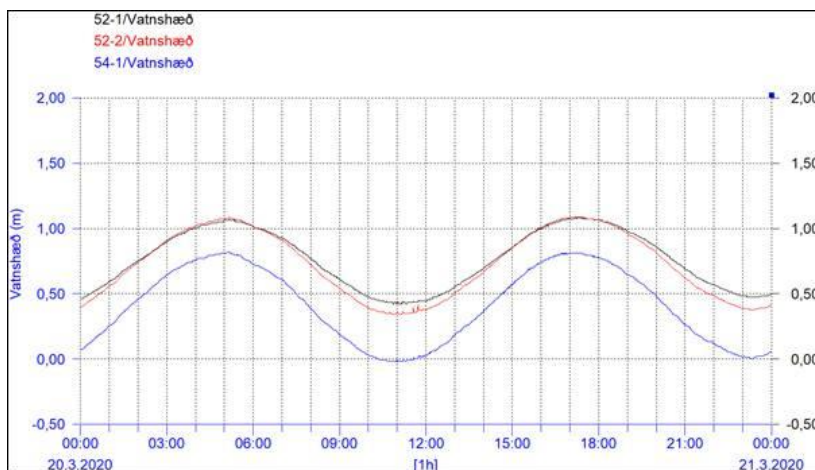
Grunnvatnsstaða í lóðinni stjórnast einkum af meðalsjávarstöðu í Fossvogi, þótt mikið tímabundið aðrennsli kunní að hafa þar áhrif. Fyrirfram var óttast að titringur sá sem þjöppun lausu jarðlaganna ylli leiddi til svo mikillar vatnsprýstingshækkunar þar að skúfstyrkur í lausu botnlögunum lækkaði hættulega mikið meðan slíkt ástand varði. Prýstingshækkun í jarðlögunum myndi á hinn bóginn hækka vatnsborð í borholunum sem kæmi fram í vatnshæðamælunum. Þá þóttu í versta falli vera líkur á að titringurinn ylli staðbundinni ysjun í lausu botnlögunum, hugsanlega með ógnvænlegum afleiðingum. Öryggis vegna var því nauðsynlegt að fylgjast grannt með vatnsprýstingi og breytingum á honum í botnlögunum við þjöppunina.

Í þessu skyni voru í janúar 2020 settir niður sex vatnshæðamælar dagana 27. og 28. janúar 2020. Nákvæmni mælanna er 1 cm. Mælarnir voru stilltir til að safna gögnum á 1-5 mínútna fresti, eftir því hvar þjöppun fór fram hverju sinni. Tveir mælar af þeim sex sem voru settir niður sendu niðurstöður beint til Verkíss þar sem forritið Hydras tók við gögnunum og teiknaði vatnshæðina upp, sjá mynd 14. Þannig mátti fylgjast með viðkomandi ástandi án þess að vitja mælanna.

Hinir fjórir mælarnir senda ekki upplýsingarnar heldur þarf að sækja gögnin í þá og lesa inn í Hydras. Mælar sem senda gögnin voru settir þar sem setið var þykkast.

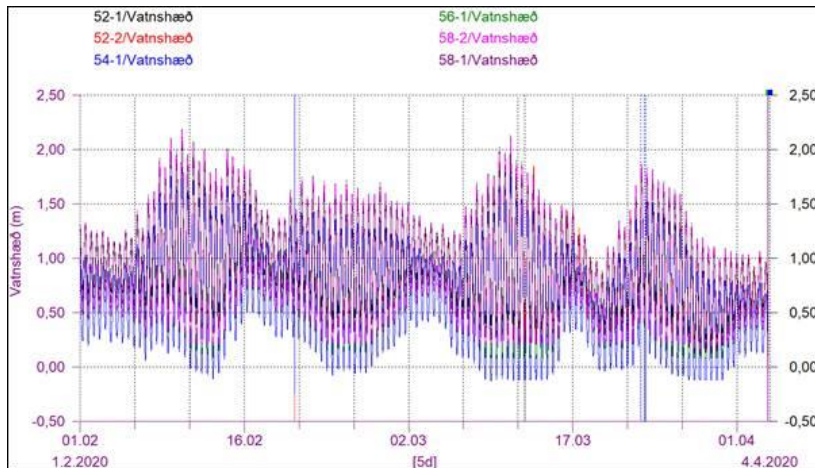
Vatnshæðafærslurnar í mælunum sýna m.a. glögg flóð og fjöru í Fossvogi og jafnframt stórstreymi og smástreymi, sjá Mynd 13, enda mælarnir eingöngu í 30-60 m fjarlægð frá sjó, og standa þar að auki í malarfyllingu sem sjórinn á næsta greiða leið um.

Sigplata var við hvern vatnshæðarmæli.



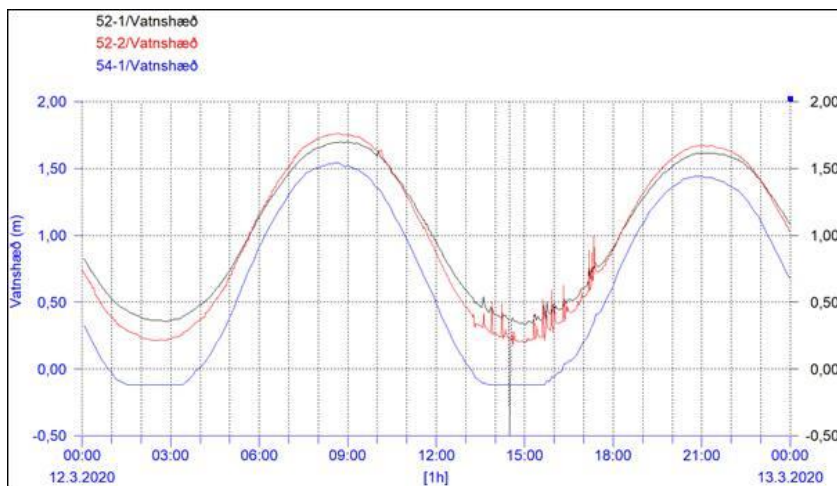
Mynd 13 Vatnshæðarferillinn 30. janúar 2020. X-ásinn sýnir m y.s. en y-ásinn tíma

Eftir því sem þjöppunin færðist nær sjó minnkaði útslagið í vatnshæðamælunum, sem bendir til þess að jarðlög fjær ströndu þarna séu lekari.



Mynd 14 Vatnshæð

Vatnshæð í þremur borholum undir austurálmum fyrsta sólarhringinn sem þar var djúppjappað. Vatnsborð í borholum sveiflaðist umtalsvert, en mismikið



Mynd 15 Vatnshæð

Vatnshæð undir austurálmum þegar norðausturhluti grunnins var djúppjappaður. Meginsveiflurnar endurspeglar flóð og fjöru.

Við þjöppun reis vatnshæð hratt í borholum þegar staurinn var rekinn, en féll hratt aftur. Yfirþrýstingur sem myndast við titringinn jafnaðist þannig hratt út og náði hvergi að byggjast upp svo nokkru nemi á hlutfallslega stóru svæði.

8 Tæknilegar upplýsingar um framkvæmdirnar

8.1.1 Helstu tæki

Valtarinn

Volvo SD 135B sem er 12.7 tonn.

Tromlan er 2,134 m á breidd, en 1,510 m að þvermáli.

Í djúppjöppun voru valtararnir stilltir á 32 Hz en á púða og yfirborði voru þeir stilltir á 24 Hz.

Við þjöppun bögglabergs (grús) í efsta lag undir hús var notuð tíðnin 26 Hz (hefðbundin í bögglabergi).

Djúppjöppun

Hamarinn er af gerðinni PVE 38E og vegur 7.5 tonn uppsettur.

„Eccentric moment“ (hjámiðjuvægi/miðflóttaafi): 38 kgm.

Max. centrifugal force (útsláttur): 1200 kN.

Biti í hamarinn (H-biti)

Bitinn sem var notaður er 30x30 að ummáli og fyrsti vængur 0, 60 m frá neðri enda.

Byrjað var að nota bitann 12 m langan og hann lengdur í 18 m þar sem grunnurinn er dýpstur.

Bitinn var svo stytur í 14 m þegar þjappað var vestar þar sem grynnra er á fast.

Á bitanum er 4 vængir (2x2 í hvorri hæð) uppsettir hornrétt á H-bitann.

Verklýsing í djúppjöppun

Bitinn var rekinn niður með um 2 m millibili. „Gígarnir“ sem mynduðust við þjöppun voru um 2 m í þvermál og um 0,5 m djúpir.

Þjöppun í hverri holu tók að meðaltali um 40 mín.

8.1.2 Tækjaskrá

Eftirtalin tæki voru í meira og minna mæli notuð við grunninn:

- Valtari: tveir Volvo SD135B.
- Dísilhamar: PVE 38E og með honum glussadæla sem telst með (eitt sett frá framleiðanda).
- „Búkollur“: BELL 30D og BELL 30E.
- Borun: Sérlega útbúin tæki frá Vatnsborun Árna Kópssonar.
- Vörubílar: tveir Volvo FH 13 "trailerar", tveir 4 öxla vörubílar Volvo FM 12 og Volvo FH 12 og nokkrir fleiri eftir atvikum.
- Gröfur: Volvo EW 160E (hjólagrafa), NEW HOLLAND 3.6 (hjólagrafa), HITACHI ZX 280 (beltagrafa), VOLVO EC 480 (beltagrafa).
- Mælitæki frá Verkís og Wolfram (gps, alstöð o.fl.).
- Mobile krani: Grove 5220 (220 tonna krani).
- Honda rafstöð, Top Con laserar, Ammann 700 kg þjappa, Atlas Copco 700 kg þjappa, Ammann 230 kg þjappa og Ammann 110 kg þjappa ásamt nokkrum fleiri smátækjum.

9 Samantekt

Í grein þessari eru dregnar saman upplýsingar um það helsta sem fram hefur farið á lóðinni Naustavör 52-58 sem vegna margháttaðra aðstæðna ríkjandi á lóðinni, einkum jarðfræðilegra og jarðtæknilegra krafðist býsna ítarlegra og umfangsmikilla kannana svo fyllsta öryggis væri gætt í hvívetna.

Mjög góð samvinna hefur verið með þeim sem að framkvæmdunum hafa komið, þ.e: starfsmönnum BYGG og starfsliði VERKÍSS, verkfræðilegra raðgjafa við aðgerðir á svæðinu.

Segja má að flest við framkvæmdir í grunninum hafi gengið snuðrulaust fyrir sig, þótt aðstæður þar séu um margt frábrugðnar t.d. þeim sem eru austar á Naustavararsvæðinu. Klapparyfirborði í grunninum hallar mest til austurs og er á um 8 til 18 m dýpt. Á klöppinni, sem er Reykjavíkurgrágrýti, er víða 1-2 m þykkt jökulruðningslag og ofan á því a.m.k. á hluta lóðarinnar laus, allt upp í um 10 m þykk, mis-skeljarík botnetslög, einkum sylti og fínsandur.

Að öllu samanlögðu verður a.m.k. enn ekki annað séð en að vel hafi tekist til með flest við grunn húsaraðarinnar Naustavör 52 – 58 í Kópavogi.