

**NESJAVALLA VIRKJUN  
ÁFANGI 4B  
STÆKKUN RAFSTÖÐVAR ÚR 76 Í 90 MW**

**Mat á umhverfisáhrifum**

**Október 2000**





## SAMANTEKT

Orkuveita Reykjavíkur áformar stækkun jarðvarmavirkjunar sinnar á Nesjavöllum í Grímsnes- og Grafningshreppi þannig að rafafli hennar aukist úr 76 MW, sem lagaheimildir eru fyrir um, í 90 MW. Framkvæmdirnar felast í borun vinnsluhola til gufuöflunar, tengingar þeirra við gufuveitu virkjunarinnar og stækkun dælustöðvar fyrir kalt vatn við Grámel. Með þessu móti næst full nýting á gufuhverflum virkjunarinnar.

Markmið Orkuveitu Reykjavíkur með þessari stækkun er að mæta á hagkvæman hátt aukinni eftirspurn eftir raforku bæði til stóriðju og til almennrar raforkunotkunar iðnaðar og heimila.

Kostirnir við þessa stækkun eru lítið rask, þar sem verið er að fullnýta þegar byggða virkjun, og hagkvæmni. Á Nesjavöllum hefur Orkuveita Reykjavíkur og áður Hitaveita Reykjavíkur rekið jarðvarmaorkuver frá 1990 og 60 MW<sub>e</sub> rafstöð var gangsett þar 1998. Jarðhitarannsóknir á Hengilssvæðinu hafa staðið yfir í marga áratugi og er virkni jarðhitans á svæðinu vel þekkt.

Nesjavellir eru utan verndarsvæða, en skammt frá Þingvallavatni, sem er á náttúruminjaskrá og mikil náttúruperla. Þá liggur fyrir Alþingi frumvarp til laga um verndun vatnasviðs Þingvallavatns og eru Nesjavellir innan þess.

Framtíðarborsvæði á Nesjavöllum eru afmörkuð á deiliskipulagi sem og vegstæði að þeim og lagnaleiðir fyrir safnæðar. Ekki er hægt að staðsetja holur nákvæmar, en gert ráð fyrir að af þessum takmörkuðu borsvæðum megi nýta vinnanlegan jarðhita á svæðinu öllu með stefnuborunum. Til að fullnýta hverfla virkjunarinnar er talið að þurfi að tengja 2-3 vinnsluholur til viðbótar við þær 10 vinnsluholur sem nú eru nýttar. Stækka þarf gufuveitu virkjunarinnar, bæta við lokahúsi, gufuháfi og nýrri aðveituæð fyrir gufu og stækka dælustöð fyrir kalt vatn. Á næstu 30 árum þarf að bora samtals 5-6 borholur til viðbótar til að viðhalda 90 MW raforkuframléiðslu vegna þrýstilækkunar og kólnunar svæðisins.

Meginniðurstöður mats á umhverfisáhrifum eru að rask verður lítið. Við gerð deiliskipulags voru náttúruminjar kortlagðar og verður þeim hlíft með svokölluðum verndarsvæðum. Engar fornminjar eða söguminjar eru á framkvæmdasvæðinu.

Talið er að jarðhitageymir Nesjavalla þoli vel að rafmagnsframléiðsla verði aukin í 90 MW auk a.m.k. 200 MW sem framléiða má af varma. Þá er ljóst að afköst heitavatnsframléiðslu mun aukast með tímanum fremur en hitt meðan meiri óvissa ríkir um rafmagnsframléiðslu að 30 árum liðnum.

Gróður var rannsakaður af Náttúrufræðistofnun og fundust engar sjaldgæfar plöntur á svæðinu og ekki er talið að sjaldgæf gróðurlendi fari til spillis. Gróðurkort verður tilbúið í lok október 2000. Fuglalíf var kannað af Náttúrufræðistofnun og fundust engar sjaldgæfar tegundir og ekki er talið að fuglalíf truflist. Vöktun á gróðurfari og fuglalífi verður komið á.

Hávaði frá borun og blásandi borholum mun verða nokkur, en er tímabundinn og ekki yfir mörkum fyrir næstu byggð. Rekstur núverandi virkjunar hefur ekki haft áhrif á hveravirkni og ólíklegt að svo verði vegna þessarar stækkunar. Litlar breytingar eru taldar verða á lífríki hvera, en það er svipað og víðar á Hengilssvæðinu.

Áhrif á ferðaþjónustu munu verða lítil vegna þessarar stækkunar. Búið er við eflingu þeirrar starfsemi á Nesjavöllum þar sem ferðamönnum er þjónað m.a. vegna verndarsvæða náttúruminja og bættra upplýsinga um náttúrufar á svæðinu. Áhrif á samfélag á svæðinu verða óveruleg, þar sem engin breyting er fyrirhuguð á rekstrarfyrirkomulagi orkuversins vegna stækkunarinnar.

Sjónræn áhrif verða fyrst og fremst á framkvæmdatíma, á meðan á borun, blæstri borhola og lagningu safnæða stendur. Að framkvæmdum loknum mun þurfa staðkunnuga til að sjá breytinguna þar sem frágangur við holur, safnæðar og aðveituæð verður með sama hætti og áður hefur verið. Borstæði, vegir og safnæðar verða felldar að landslagi eins og kostur er og sáð í vegslóða meðfram safnæðum.

Áhrif aukinnar losunar koldíoxíðs verða lítil. Árleg losun landsmanna á koldíoxíði eykst um 0,13%. Brennisteinsvetni dreifist um stórt svæði og oxast líklega í brennistein sem fellur til jarðar og nýtist sem áburður. Orkuveita Reykjavíkur mun engu að síður taka þátt í alþjóðlegu verkefni til að lágmarka mengun vegna jarðhitanytingar. Jafnframt mun við vöktun á gróðurfari fylgst með áhrifum af rekstri orkuversins.

Talið er að áhrif affallsvatns verði lítil. Þynning vegna blöndunar við grunnvatn, efnahvörf við berggrunninn á leið til Þingvallavatns auk vindknúinnar blöndunar vatns í Þingvallavatni veldur því að uppleyst efni sem renna í vatnið frá Nesjavöllum blandast fljótt og þynnast. Niðurstöður rannsókna sýna engin merki um snefilefnamengun í lífríki Þingvallavatns sem rekja má til byggingar og reksturs orkuversins á Nesjavöllum. Engu að síður hefur Orkuveita Reykjavíkur ákveðið að hefja tilraunir með niðurrennsli affallsvatns niður í jarðhitageyminn og neðri grunnvatnskerfin.

Orkuveita Reykjavíkur ráðgerir að halda uppi reglubundnu eftirliti með jarðhitasvæðinu. Fylgst verður með hæðar- og þyngdarbreytingum á svæðinu, eftirlit verður með borholum, efnainnihaldi í borholuvökva, affallsvatni og í lindum við Þingvallavatn. Þá verður haldið áfram umhverfisvöktun með lífríki Þingvallavatns.

Mat það á umhverfisáhrifum sem fram kemur í þessari skýrslu er unnið undir verkstjórn Verkfræðistofu Guðmundar og Kristjáns hf. Haft var samráð við fjölmarga sérfræðinga vegna hennar m.a. hjá Orkustofnun, Orkuveitu Reykjavíkur, Líffræðistofnun Háskólans, Náttúrufræðistofnun, ráðgjafahóp virkjunarinnar og marga aðra.

## EFNISYFIRLIT

**SAMANTEKT** ..... i

**EFNISYFIRLIT** ..... iii

**I. ALMENNT YFIRLIT** ..... 1

1. INNGANGUR.....	1
1.1. <i>Almennt</i> .....	1
1.2. <i>Markmið</i> .....	1
1.3. <i>Saga Nesjavalla</i> .....	5
1.4. <i>Virkjun jarðhita á Nesjavöllum</i> .....	5
1.5. <i>Aðrir virkjunarkostir</i> .....	6
1.6. <i>Höfundar skýrslu</i> .....	7
1.7. <i>Kynning á framkvæmdum</i> .....	8
2. LÝSING FRAMKVÆMDAR .....	9
2.1. <i>Inngangur</i> .....	9
2.2. <i>Staðsetning framkvæmdasvæðis</i> .....	9
2.3. <i>Lýsing framkvæmdar</i> .....	15
2.4. <i>Vinnslurás virkjunar</i> .....	22
2.5. <i>Tímaáætlun framkvæmda</i> .....	27
3. STAÐHÆTTIR.....	29
3.1. <i>Inngangur</i> .....	29
3.2. <i>Landslag</i> .....	29
3.3. <i>Jarðfræði</i> .....	29
3.4. <i>Veðurfar</i> .....	37

**II. UMHVERFISÞÆTTIR; ÁHRIF FRAMKVÆMDA OG REKSTURS...** 39

4. INNGANGUR.....	39
5. SKIPULAG OG LANDNOTKUN .....	39
5.1. <i>Lýsing</i> .....	39
5.2. <i>Áhrif framkvæmda</i> .....	40
5.3. <i>Niðurstöður</i> .....	40
6. JARÐHITAVINNSLA OG ORKUFORÐI.....	41
6.1. <i>Inngangur</i> .....	41
6.2. <i>Orkuforði</i> .....	41
6.3. <i>Massabreytingar</i> .....	45
6.4. <i>Umhverfisáhrif borana</i> .....	46
7. GRÓÐURFAR.....	51
7.1. <i>Inngangur</i> .....	51
7.2. <i>Núverandi staða</i> .....	51
7.3. <i>Niðurstöður</i> .....	52
8. FUGLALÍF.....	55
8.1. <i>Inngangur</i> .....	55
8.2. <i>Núverandi staða</i> .....	55
8.3. <i>Niðurstöður</i> .....	55

9.	HVERAÖRVERUR.....	57
9.1.	<i>Inngangur</i> .....	57
9.2.	<i>Núverandi staða</i> .....	57
9.3.	<i>Niðurstöður</i> .....	57
10.	LÍFRÍKI ÞINGVALLAVATNS.....	59
10.1.	<i>Inngangur</i> .....	59
10.2.	<i>Lýsing</i> .....	59
10.3.	<i>Niðurstöður</i> .....	61
11.	VATNAFAR.....	63
11.1.	<i>Inngangur</i> .....	63
11.2.	<i>Lýsing</i> .....	63
11.3.	<i>Áhrif aukinnar vinnslu</i> .....	64
11.4.	<i>Niðurstöður</i> .....	65
12.	NÁTTÚRUMINJAR.....	67
12.1.	<i>Lýsing</i> .....	67
12.2.	<i>Áhrif framkvæmda og vinnslu</i> .....	67
12.3.	<i>Niðurstöður</i> .....	68
13.	FORN- OG SÖGUMINJAR.....	69
13.1.	<i>Inngangur</i> .....	69
13.2.	<i>Lýsing</i> .....	69
13.3.	<i>Niðurstöður</i> .....	70
14.	UMFERÐ .....	71
14.1.	<i>Núverandi ástand</i> .....	71
14.2.	<i>Áhrif framkvæmda og reksturs</i> .....	71
14.3.	<i>Niðurstöður</i> .....	71
15.	HÁVAÐI.....	73
15.1.	<i>Núverandi ástand</i> .....	73
15.2.	<i>Áhrif framkvæmda og reksturs</i> .....	74
15.3.	<i>Niðurstöður</i> .....	74
16.	ÚTIVIST OG FERÐAMENN.....	75
16.1.	<i>Inngangur</i> .....	75
16.2.	<i>Núverandi staða</i> .....	75
16.3.	<i>Áhrif framkvæmda og reksturs</i> .....	76
16.4.	<i>Niðurstöður</i> .....	76
17.	EFNAHAGSLEG OG FÉLAGSLEG ÁHRIF.....	77
17.1.	<i>Núverandi ástand</i> .....	77
17.2.	<i>Áhrif framkvæmda og reksturs</i> .....	77
17.3.	<i>Niðurstöður</i> .....	77
18.	AFFALLSVATN OG ÁHRIF Á GRUNNVATN.....	79
18.1.	<i>Inngangur</i> .....	79
18.2.	<i>Núverandi fráveita kælivatns</i> .....	79
18.3.	<i>Núverandi fráveita þéttivatns og skiljuvatns</i> .....	79
18.4.	<i>Áhrif aukinnar vinnslu</i> .....	85
18.5.	<i>Tilraunir til niðurrennslis</i> .....	88
18.6.	<i>Niðurstöður</i> .....	89

19.	LOSUN JARÐHITAGASTEGUNDA.....	91
19.1.	Almennt.....	91
19.2.	Núverandi losun jarðhitagastegunda.....	92
19.3.	Undirbúningur mótvægisáðgerða.....	95
19.4.	Áhrif aukinnar vinnslu.....	96
19.5.	Niðurstöður.....	97
20.	SJÓNRAEN ÁHRIF.....	99
20.1.	Lýsing.....	99
20.2.	Áhrif framkvæmda og reksturs.....	99
20.3.	Niðurstöður.....	100
21.	EFNISNÁM OG FÖRGUN ÚRGANGS.....	101
21.1.	Núverandi efnisnáma.....	101
21.2.	Efnisnám á framkvæmda- og rekstrartíma.....	101
21.3.	Núverandi förgun úrgangs.....	101
21.4.	Förgun úrgangs á framkvæmdatíma.....	101
22.	HÆTTUMAT.....	103
22.1.	Inngangur.....	103
22.2.	Almennt.....	103
22.3.	Neyðartilvik.....	103
22.4.	Mat á áhættu.....	103
22.5.	Niðurstöður.....	104

### III. NIÐURSTÖÐUR OG HEIMILDIR.....105

23.	INNGANGUR.....	105
24.	NIÐURSTÖÐUR MATS Á UMHVERFISÁHRIFUM.....	105
25.	VÖKTUN OG EFTIRLIT.....	109
25.1.	Eftirlit með jarðhitasvæðinu.....	109
25.2.	Eftirlit með breytingum á landi við vinnslu.....	109
25.3.	Eftirlit með lífríki.....	109
25.4.	Eftirlit með grunnvatni.....	109
25.5.	Eftirlit með breytingum á frárennsli.....	109
25.6.	Aðrir þættir.....	109
26.	HEIMILDIR.....	111

### MYNDIR

MYND 1	NESJAVELLIR Í GRAFNINGI. AFSTÖÐUMYND.....	3
MYND 2.	AFMÖRKUN FRAMKVÆMDASVÆÐIS I.....	11
MYND 3.	AFMÖRKUN FRAMKVÆMDASVÆÐIS II.....	13
MYND 4.	BORSTÆÐI.....	15
MYND 5.	ÞVERSNÍÐ AF STEFNUBORAÐRI HOLU.....	17
MYND 6.	BORHOLA Á NESJAVÖLLUM.....	18
MYND 7.	FRÁGANGUR SAFNÆÐA.....	19
MYND 8.	SKILJUSTÖÐ ÁSAMT LOKAHÚSI I OG GUFUHÁFUM.....	20
MYND 9.	DÆLUSTÖÐ VIÐ GRÁMEL, SÉÐ ÚR NORÐRI.....	21
MYND 10.	GUFUNOTKUN VIÐ RAFMAGNSFRAMLEIÐSLU MEÐ MISMUNANDI KÆLIVATNSHITA. ..	22
MYND 11.	VINNSLURÁS FYRIR ORKUVERIÐ Á NESJAVÖLLUM.....	25
MYND 12.	YFIRLITSMYND AF NESJAVÖLLUM.....	28
MYND 13.	SKÝRINGAR VIÐ JARÐFRÆÐIKORT.....	31

MYND 14. JARÐFRÆÐIKORT AF NESJAVALLASVÆÐINU.....	33
MYND 15. JARÐHITAKORT AF NESJAVALLASVÆÐINU. ....	35
MYND 16. VINDRÓS FYRIR NESJAVELLI.....	37
MYND 17. REIKNAD HEILDARRENNSLI ÚR NESJAVALLASVÆÐINU 1975-2030.....	42
MYND 18. REIKNAD MEÐALVERMI ÚR NESJAVALLASVÆÐINU 1975-2030. ....	42
MYND 19. REIKNADUR HRÁVARMÍ UPP ÚR NESJAVALLASVÆÐINU 1975-2030. ....	43
MYND 20. REIKNAD RENNSLI 190°C SKILJUVATNS 1975-2030. ....	43
MYND 21. REIKNAD RENNSLI HÁPRÝSTIGUFU 1975-2030.....	44
MYND 22. GRÓÐURKORT AF NESJAVÖLLUM.....	53
MYND 23. ÞVERSNID GRUNNVATNSKERFA Á NESJAVÖLLUM (HJALTI FRANZSON 2000) .....	64
MYND 24. YFIRLITSMYND AF NESJAHRAUNI (GESTUR GÍSLASON 1995). ....	80
MYND 25. SPÁ UM HITADREIFINGU GRUNNVATNS Í NESJAHRAUNI.....	86
MYND 26. LOSUN GRÓÐURHÚSAGASTEGUNDA VIÐ NÝTINGU MISMUNANDI ORKUGJAFNA. ....	92
MYND 27. STYRKUR H <sub>2</sub> S Á NESJAVÖLLUM 1992 (GESTUR GÍSLASON 1992) .....	94
MYND 28. LOSUN JARÐHITAGASTEGUNDA Á NESJAVÖLLUM. ....	97

## TÖFLUR

TAFLA 1.1. ÁFANGASKIPTING NESJAVALLAVIRKJUNAR.....	1
TAFLA 1.2. HÖFUNDAR SKÝRSLU.....	7
TAFLA 6.1. EFNAINNIHALD BENTONÍTLEIRS.....	47
TAFLA 10.1. STREYMI AFFALLSVATNS FYRIR OG EFTIR STÆKKUN.....	59
TAFLA 15.1. HLJÓÐSTIG Á VIRKJUNARSVÆÐI.....	73
TAFLA 16.1. FJÖLDI GESTA Í ORKUVERINU Á NESJAVÖLLUM. ....	76
TAFLA 18.1. STYRKUR HELSTU EFNA Í SKILJUVATNI OG Í LINDUM VIÐ ÞINGVALLAVATN.....	81
TAFLA 18.2. DÆMIGERT SNEFILEFNAINNIHALD SKILJUVATNS.....	82
TAFLA 18.3. STYRKUR NOKKURRA SNEFILEFNA Í SKILJUVATNI OG Í LINDUM VIÐ ÞINGVALLAVATN.....	83
TAFLA 18.4. DÆMIGERT EFNAINNIHALD SKILJUVATNS OG ÁÆTLAD EFNAFLÆÐI. ....	87
TAFLA 19.1. DÆMIGERT GASINNIHALD GUFU OG ÁÆTLAD EFNAFLÆÐI. ....	92
TAFLA 19.2. STYRKUR SO <sub>2</sub> Á NOKKRUM JARÐHITASVÆÐUM Á ÍSLANDI.....	95
TAFLA 19.3. FÖRGUNARAÐFERÐIR BRENNISTEINSVETNIS, KOSTIR OG GALLAR. ....	96
TAFLA 24.1. NIÐURSTÖÐUR MATS Á UMHVERFISÁHRIFUM.....	105

## VIÐAUKAR

- Viðauki 1. Greiningar á snefilefnum í vatni við strönd Þingvallavatns. Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins 2000.
- Viðauki 2. Könnun á snefilmálmum í nokkrum lífverum í Varmagjá í Nesjavallahrauni og við Vatnskot. Könnun III. Líffræðistofnun Háskólans 2000.
- Viðauki 3. Gönguleiðir á Hengilssvæðinu. Hitaveita Reykjavíkur 1997.

## I. ALMENNT YFIRLIT

### 1. INNGANGUR

#### 1.1. Almennt

Í þessari skýrslu er fjallað um mat á umhverfisáhrifum vegna stækkunar jarðvarmaorkuvers á Nesjavöllum í Grafnings- og Grímsneshreppi.

Framkvæmdaaðili er Orkuveita Reykjavíkur, sem áformar að auka afkastagetu rafafls um 14 MW, úr 76 MW í 90 MW, aukning afkastagetu varmaafls er úr 150 MW í 200 MW. Þessi stækkun er nefnd áfangi 4b. Framkvæmdasvæðið er sýnt á mynd 1.

Áfangaskiptingu virkjunarinnar er lýst í eftirfarandi töflu:

**Tafla 1.1. Áfangaskipting Nesjavallavirkjunar.**

Orkuver	1. áfangi	2. áfangi	3. áfangi	Áfangi 4a.	Áfangi 4b.
Tekið í notkun	1990	1995	1998	07/2001	<b>11/2001</b>
<b>Varmastöð</b>	100 MW	150 MW	200 MW	150 MW	<b>200 MW</b>
<b>Rafstöð</b>	-	-	60 MW	76 MW	<b>90 MW</b>

Heimildar til útgáfu virkjanaleyfis var aflað með lögum frá Alþingi nr. 60/1981 og það staðfest með lögum nr. 74/1990. Samkvæmt þessum lögum var ráðherra heimilað að veita Hitaveitu Reykjavíkur (nú Orkuveitu Reykjavíkur) virkjanaleyfi til að reisa 76 MW raforkuver á Nesjavöllum. Iðnaðarráðherra veitti Hitaveitunni virkjanaleyfi fyrir 60 MW raforkuvirkjun árið 1998. Þessi virkjun hóf framleiðslu raforku sama ár. Nú liggur fyrir sú ákvörðun að stækka virkjunina í 76 MW eins og heimild er fyrir í fyrrgreindum lögum og síðan áfram í 90 MW fáist til þess tilskildar heimildir. Samkvæmt bréfi umhverfisráðuneytis er 70-80 MW virkjun undanþegin mati á umhverfisáhrifum.

Sú framkvæmd sem hér er fjallað um er matsskyld samkvæmt 5. grein í lögum um mat á umhverfisáhrifum sem samþykkt voru á Alþingi 13. maí s.l., samanber 2. grein í 1. viðauka laganna.

#### 1.2. Markmið

Markmið Orkuveitu Reykjavíkur með stækkun orkuversins á Nesjavöllum er að mæta, á hagkvæman hátt, aukinni eftirspurn almennings og atvinnuvega eftir raforku.

Eftir stækkun álversins í Straumsvík, stækkun járnblendiverksmiðjunnar á Grundartanga og byggingu álvers Norðuráls á Grundartanga hefur orkumarkaður á Íslandi vaxið mikið. Fyrirhuguð er stækkun álvers Norðuráls og hugsanleg er bygging álvers í Reyðarfirði. Þessi verkefni ásamt almennri aukningu á raforkunotkun gera frekari virkjanir til raforkuframleiðslu nauðsynlegar til að mæta þessari eftirspurn.



**Mynd 1 Nesjavellir í Grafningi. Afstöðumynd.**



### 1.3. Saga Nesjavalla

Fyrst er vitað um byggð á Nesjavöllum 1817 er nýbýli var reist þar frá Nesjum. Hugsanlegt er talið að þar hafi verið búið fyrir þó ekki séu til um það heimildir. Þorleifur Guðmundsson bóndi á Nesjum byggði neðst á Völlum, en síðar var bærinn fluttur nærri efst á Vellina (Birna Gunnarsdóttir og Orri Vésteinnsson 1997).

Búskapur byggðist alla tíð á sauðfjárrækt auk hlunninda af veiði. Á árunum 1940-1962 var starfrækt gróðurhúsabýlið Hraunprýði. Vegna útfellinga úr vatninu var kalt vatn leitt í gegnum spírala í einum hvernum og þaðan til gróðurhúsanna (Sigurður Kristinsson og Kristján Sæmundsson 1996).

Hitaveita Reykjavíkur kaupir Nesjavelli fyrir hönd Reykjavíkurborgar árið 1965 með afsali sem dagsett er 22. apríl 1965 og telst jörðin vera 2740 ha.

Til er samningur um nýtingu jarðarinnar til ábúðar milli ábúenda og Hitaveitu Reykjavíkur frá 1989. Um það leyti lagðist hefðbundinn búskapur af á Nesjavöllum og jörðin var friðuð fyrir beit.

Vinnubúðir verktaka við byggingu orkuversins voru reistar í námunda við Nesjavallabæinn. Þar er nú rekin gistiaðstaða ásamt veitingasölu (Gísli Gíslason og Yngvi Þór Loftsson 1997).

### 1.4. Virkjun jarðhita á Nesjavöllum

Hugmyndir um virkjun jarðhitans á Nesjavallasvæðinu eru ekki nýjar af nálinni. Elstu heimildir um slíkar hugmyndir eru af fundi Verkfræðingafélags Íslands 17. nóvember 1926 þar sem Jón Þorláksson, forsætisráðherra, flutti erindi um virkjun jarðhitans í Henglinum (Jón Þorláksson 1926).

Allmiklar rannsóknir fóru fram á jarðhita og jarðfræði Hengilsins á árunum frá 1947-1965. Eftir að Hitaveitan kaupir Nesjavellina fyrir hönd Reykjavíkurborgar fara rannsóknir af stað af fullum krafti á Nesjavallasvæðinu. Fyrstu rannsóknarborholurnar eru boraðar á Nesjavöllum 1965 (Gísli Gíslason og Yngvi Þór Loftsson 1997).

Ákvörðun um virkjun á Nesjavöllum er tekin á fundi borgarstjórnar Reykjavíkur 20. nóvember 1986 (Hitaveita Reykjavíkur 1987).

Í fyrsta áfanga virkjunarinnar voru orkumestu holurnar virkjaðar til að framleiða um 600 l/s af 80°C heitu vatni. Virkjunin á Nesjavöllum var formlega gangsett 29. september 1990.

Í öðrum áfanga virkjunarinnar var athyglinni enn beint að varmanum eingöngu, enda var raforkumarkaðurinn á landinu mettaður. Stækkun í 150 MW þ.e. úr 600 í 900 l/s af 80°C heitu vatni var tekin í notkun 1994.

Í október 1998 var 3. áfangi tekinn í notkun, með honum hófst framleiðsla raforku á Nesjavöllum. Uppsett rafafli er 60 MW og varmaafli var einnig aukið, nú í 200 MW (Claus Ballzus og fleiri 2000a).

Orkuveita Reykjavíkur hefur hafist handa við áfanga 4a, sem felst í aukningu rafafli úr 60 í 76 MW eins og heimild er fyrir í lögum. Í áfanganum felst að fullnýta þá gufu sem fyrir hendi er. Þegar boraðar vinnsluholur verða tengdar gufuveitu, skiljustöð stækkuð, rafstöðvarhús stækkað og bætt við þriðja gufuhverflinum. Ekki nást full afköst á gufuhverflum við þennan áfanga og afköst varmastöðvar minnka á meðan full rafmagnsframleiðsla er.

Í þessari skýrslu er fjallað um þá ráðagerð Orkuveitu Reykjavíkur að auka rafafli úr 76 MW í 90 MW, áfanga 4b. Í áfanganum felst að auka gufu til ráðstöfunar til að fullnýta afköst rafstöðvar og varmastöðvar samtímis. Boraðar verða 2-3 vinnsluholur og tengdar gufuveitu,

lögð verður ný aðveituæð fyrir gufu frá skiljustöð að stöðvarhúsi, byggt nýtt lokahús ásamt gufuháfi og dælustöð fyrir kalt vatn stækkuð.

### 1.5. Aðrir virkjunarkostir

Sá virkjunarkostur sem að framan er lýst byggir á að nýta mannvirki og orkuvinnslusvæðið á Nesjavöllum betur en nú er gert.

Þetta hefur eftirfarandi kosti

- að fullnýta vél- og rafbúnað sem fyrir hendi er.
- Lítið rask þar sem verið er að virkja á svæði sem nú þegar er nýtt til orkuframleiðslu og verður væntanlega um langa framtíð.
- Hagkvæm virkjun.
- Stuttur framkvæmdatími.

Önnur stærð eða tilhögun varðandi þennan áfanga á því ekki við.

Aðrir kostir við orkuöflun eru:

- Jarðhitavirkjun á Ölkelduhálsi og Hellisheiði. Yfirborðsrannsóknunum vegna jarðhitarrannsóknanna er lokið. Boraðar hafa verið tvær rannsóknarholur, önnur á Ölkelduhálsi, en hin við Kolviðarhól. Umhverfisáhrif yrðu líklega svipuð fyrir hverja framleidda kíló-wattsstund og á Nesjavöllum.
- Vatnsaflsvirkjanir. Allmargar vatnsaflsvirkjanir eru í undirbúningi. Almennt er talið að umhverfisáhrif þeirra séu tiltölulega lítil, miðað við marga aðra kosti. Galli við vatnsaflsvirkjanir er mikið land sem fer undir miðlunarlón og langur undirbúnings- og framkvæmdatími.

**1.6. Höfundar skýrslu**

Hér er getið þeirra er komu að gerð skýrslunnar. Fjölmargar góðar ábendingar og athugasemdir komu frá ýmsum umsagnaraðilum og starfsmönnum Orkuveitu Reykjavíkur og VGK hf. Auk þess var aflað efnis úr skýrslum fjölmargra sérfræðinga á ýmsum sviðum.

**Tafla 1.2. Höfundar skýrslu.**

<b>Starfsmaður/nafn</b>	<b>Starfsheiti</b>	<b>Fyrirtæki</b>
<b>Verkefnisstjórn</b>		
Claus Ballzus	Verkfræðingur	VGK hf.
Einar Gunnlaugsson	Jarðfræðingur	Orkuveita Reykjavíkur.
Ingólfur Hrólfsson	Verkfræðingur	Orkuveita Reykjavíkur.
<b>Verkefnisstjóri</b>		
Teitur Gunnarsson	Verkfræðingur	VGK hf.
<b>Aðrir sérfræðingar sem lögðu til efnis í skýrsluna.</b>		
Benedikt Steingrímsson	Eðlisfræðingur	Orkustofnun.
Dóra Hjálmarsdóttir	Verkfræðingur	VST hf.
Finnur Kristinsson	Arkitekt	Landslag ehf.
Grímur Björnsson	Jarðfræðingur	Orkustofnun.
Gunnar I. Gunnarsson	Tæknifræðingur	Rafteikning hf.
Gunnar Steinn Jónsson	Líffræðingur	Hollustuvernd ríkisins.
Hjalti Franzson	Jarðfræðingur	Orkustofnun.
Jakob Kristjánsson	Örverufræðingur	Líffræðistofnun Háskólans.
Kristbjörn Egilsson	Líffræðingur	Náttúrufræðistofnun Íslands.
Orri Vésteinsson	Fornleifafræðingur	Fornleifastofnun Íslands.
Ómar Sigurðsson	Verkfræðingur	Orkustofnun.
Reynir Vilhjálmsson	Arkitekt	Landslag ehf.
Sigurður S. Snorrason	Líffræðingur	Líffræðistofnun Háskólans.

### 1.7. Kynning á framkvæmdum

Í byrjun verksins í febrúar 2000 var óskað funda með umsagnaraðilum. Þar var verkefnið kynnt og leitað eftir þeim þáttum sem viðkomandi umsagnaraðili vildi leggja áherslu á í matsferlinu. Þeir aðilar sem fundað var með eru:

- Skipulagsstofnun.
- Náttúruvernd ríkisins.
- Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Hollustuvernd ríkisins.
- Orkustofnun.
- Sveitarstjórn Grímsnes- og Grafningshrepps.
- veiðimálastofnun.
- Þjóðminjasafn Íslands.

Þann 11. maí 2000 var boðað til skoðunarferðar um fyrirhugað framkvæmdasvæði á Nesjavöllum og samráðsfundar að því loknu. Auk ofangreindara aðila var einnig boðið fulltrúum frá Veiðistjóra, Náttúruverndarnefnd Árnassýslu, Umhverfis- og heilbrigðisnefnd Reykjavíkur, Heilbrigðiseftirliti Reykjavíkur og Borgarverkfræðingi. Á fundinn mættu 21 fulltrúar ofangreindra stofnana auk höfunda deiliskipulags og verkefnishóps um mat á umhverfisáhrifum virkjunarinnar.

Á fundinum komu fram fyrirspurnir um:

- hugsanleg áhrif affallsvatns á berggrunninn, grunnvatnið og lífríki Þingvallavatns.
- rannsóknir á gróðurfari, áhrifum brennisteinsvetnis á það og vöktun gróðurfars.
- þungmálmamengun frá virkjuninni, í vatni og lofti.
- vinnslugetu svæðisins, endingu þess og hvenær OR þyrfti að vera tilbúin með næsta vinnslusvæði.

Sérstakur kynningarfundur með Heilbrigðiseftirliti Suðurlands, þar sem einnig voru rædd starfsleyfismál, var haldinn 9. júní 2000.

Þann 4. júní var opið hús á Nesjavöllum, þar sem framkvæmdirnar voru kynntar og gerð grein fyrir tillögu Orkuveitu Reykjavíkur að áætlun um mat á umhverfisáhrifum. Jafnframt var tekið við ábendingum og athugasemdum. Um 100 manns sóttu þessa kynningu.

Þegar skýrslan hefur verið lögð fram og auglýst af Skipulagsstofnun verður almenningi boðið með svipuðum hætti að Nesjavöllum og niðurstöður matsins kynntar.

Þann 3. júní var opnað svæði á heimasíðu Verkfræðistofnu Guðmundar og Kristjáns þar sem tillaga að matsáætlun var gerð aðgengileg þeim sem vildu og opnað fyrir ábendingar og athugasemdir. Þessi síða hefur verið opin á meðan á matsferlinu stóð og fólki því gefist stöðugt tækifæri á að koma skoðunum sínum á framfæri. Þessi skýrslan er einnig kynnt á þessi svæði með sama hætti.

## 2. LÝSING FRAMKVÆMDAR

### 2.1. Inngangur

Í þessum kafla er fjallað um fyrirhugaðar framkvæmdir við jarðvarmavirkjunina á Nesjavöllum s.k. áfanga 4b. Kafli 2.4., sem fjallar um vinnslurás virkjunarinnar, byggir á grein eftir Claus Ballzus, Hrein Frímannsson, Gunnar Inga Gunnarsson og Ingólf Hrólfsón, sem lögð var fram á ráðstefnunni World Geothermal Congress 2000 (Claus Ballzus og fleiri 2000b).

Framkvæmdin felst í að auka rafafli virkjunarinnar úr 76 í 90 MW með því að auka gufuöflun úr 140 kg/s í um 173 kg/s. Helstu þættir framkvæmdarinnar eru:

- Gerð borstæða og vega að þeim.
- Borun vinnsluhola.
- Tenging vinnsluhola við gufuveitu.
- Lagning nýs safnæðastofns frá efra svæði að skiljustöð.
- Tengingar á skiljustöðvarsvæði og nýtt lokahús með gufuháfi.
- Ný aðveituæð fyrir gufu frá skiljustöð að stöðvarhúsi.
- Stækkun dælustöðvar fyrir kalt vatn við Grámel.

Hvorki er nauðsynlegt að stækka byggingar orkuversins né bæta við vélbúnað í rafstöðinni. Núverandi háspennulína frá virkjuninni að spennistöð við Korpu og aðveituæð fyrir heitt vatn að geymum á Reynisvatnsheiði eru nægjanlegar.

### 2.2. Staðsetning framkvæmdasvæðis

Framkvæmdasvæðið er á Nesjavöllum í Grafnings- og Grímsneshreppi, sjá mynd nr. 1. Svæðisskipulag fyrir Þingvalla-, Grímsnes- og Grafningshrepp frá 1996 og Landnýtingaráætlun jarða Reykjavíkur í Grafningi og Ölfusi frá 1997 gera ráð fyrir orkuvinnslu á Nesjavöllum.

Í deiliskipulagi á Nesjavöllum eru fyrirhugaðir vegir, borsvæði og lagnaleiðir afmarkaðar á orkuvinnslusvæðinu. Þó er gert ráð fyrir að nýta önnur svæði, ef þörf krefur, með stefnuborunum af þegar afmörkuðum borsvæðum.

Vegna landfræðilegra aðstæðna á vinnslusvæðinu á Nesjavöllum eru tiltölulega fáir staðir sem til greina koma undir borstæði. Einnig þarf að taka tillit til annarra vinnsluhola á svæðinu. Staðsetningu fyrirhugaðra borsvæða má sjá á deiliskipulagsupprætti, sjá mynd 2.

Vinnsluholurnar þarf að tengja við gufuveitu virkjunarinnar og stækka hana. Fyrirhugaðar vinnsluholur verða staðsettar á núverandi borsvæðum eða framtíðar borsvæðum eftir niðurstöðum rannsókna, sjá mynd 2. Þar má einnig sjá fyrirhugaða staðsetningu vega að borsvæðunum og lagnaleiðir.

Auk áðurgreindra vinnsluhola og tengingu þeirra við gufuveitu, þarf að leggja nýjan safnæðastofn frá efri hluta svæðisins, byggja nýtt lokahús við skiljustöð ásamt nýjum gufuháf, leggja nýja aðveituæð frá skiljustöð að stöðvarhúsi og stækka dælustöð fyrir ferskvatn við Grámel. Staðsetningu skiljustöðvar, lokahúss ásamt gufuháfi, aðveituæðar og stöðvarhúss má sjá á deiliskipulagsupprætti, sjá mynd 3. Staðsetningu dælustöðvar má sjá á mynd 24. Framkvæmdasvæðið má einnig sjá á myndum 8, 9 og 12.



**Mynd 2. Afmörkun framkvæmdasvæðis I.**



**Mynd 3. Afmörkun framkvæmdasvæðis II.**



## 2.3. Lýsing framkvæmdar

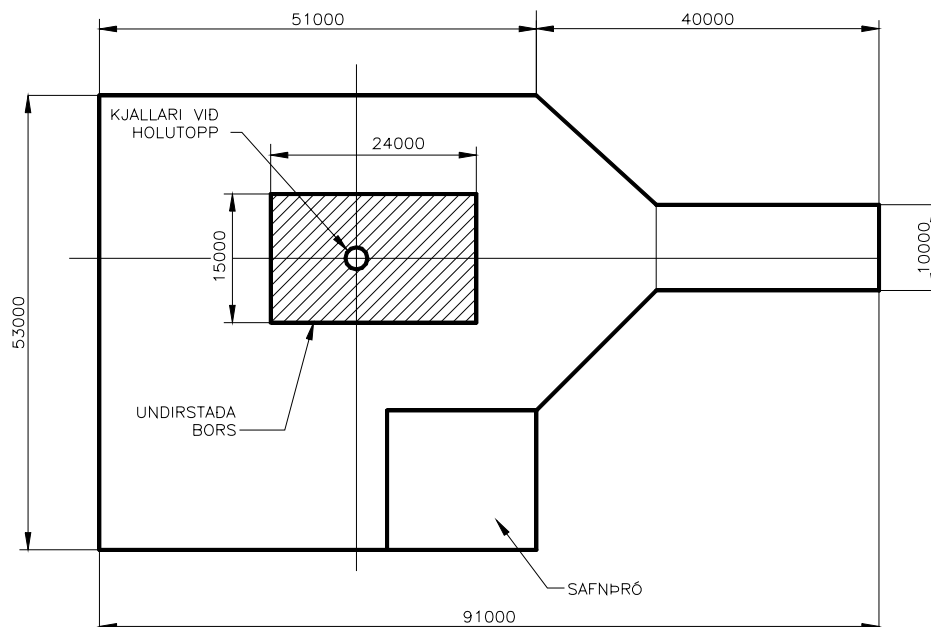
### 2.3.1. Vegalagning, borstæði og námur

Frá núverandi vegslóðum á vinnslusvæðinu verða lagðir nýir slóðar að fyrirhuguðum borsvæðum. Á þessum borsvæðum er fyrirhugað að hafa fleiri en eitt borstæði og bora þaðan með stefnuborunum. Reynt hefur verið að fella nýja vegslóða sem best að landslagi til að jarðvegsröskun verði sem minnst.

Fjögur borsvæði hafa verið afmörkuð vegna áfanga 4b (sjá myndir 2 og 12):

- Borsvæði A, er staðsett umhverfis borholu NG 8. Þar voru boraðar rannsóknarholurnar NJ 21 og NJ 22 sumarið 2000. Að þessu svæði var kominn vegur. Þarna er pláss fyrir fleiri holur.
- Borsvæði B, er staðsett á flöt ofan við Nesjalaugagil. Gert er ráð fyrir að vegur og safnæð verði lögð frá borstæði holu NJ 20.
- Borsvæði C, er staðsett upp á hjallanum suðaustan við borsvæði A. Gert er ráð fyrir að vegur og safnæð verði lögð frá borsvæði B.
- Borsvæði D, er staðsett á flöt efst á Kýrdalsbrúnum. Gert er ráð fyrir að vegur verði lagður frá borstæði NJ 17, en safnæð verði lögð frá borsvæði A.

Á borsvæðinu þarf að útbúa borstæði fyrir borinn og fylgihluti hans. Gert er ráð fyrir sömu hönnun og á öðrum borstæðum á Nesjavöllum. Stærð borstæða er ca. 3.200 til 3.400 m<sup>2</sup>. Gera má ráð fyrir að um 2.000-2.500 m<sup>3</sup> af fyllingarefni þurfi í hvert borstæði. Steyptir kjallarar um 1,5 m að dýpt eru byggðir utanum efstu fóðringu holanna. Á mynd 4 má sjá teikningu af borstæði og fyrirkomulagi við það. Frárennslislögn liggur frá dælukari borsins í sérstaka safn- eða svarfþró. Safnþróin er byggð fyrir skolvatnið sem frá holunum berst. Í hana safnast borsvarf, borleðja og steypueðja sem frá holunum berst og botnfellur þar.



Mynd 4. Borstæði.

Allt efni til borstæðanna verður flutt að úr námu við Stangarháls á Nesjavöllum eða efni endurnýtt úr fyrri borstæðum. Við gerð borstæða og allar framkvæmdir sem þeim tengjast verður þess vandlega gætt að valda sem minnstu jarðraski.

### 2.3.2. Borun vinnsluhola

Holur geta verið lóðréttar eða stefnuboraðar. Á Nesjavöllum er fyrirhugað að stefnubora fleiri en eina holu af hverju borsvæði í þeim tilgangi að stækka vinnslusvæðið og minnka rask. Þegar þetta er gert er borað á ská út frá borstæðinu, sjá skýringu á mynd 5. Vinnsluholurnar verða boraðar af einhverju af fyrirhuguðum borsvæðum samkvæmt deiliskipulagsupphætti (sjá mynd 2). Nú er verið að bora 2 stefnuboraðar rannsóknarholur á Nesjavöllum, holur nr. 21 og 22 til að kanna jarðhitasvæðið til suðurs inn undir Hengilinn. Þær eru boraðar eins og allar fyrri rannsóknarholur á svæðinu. Reynist hagkvæmt að tengja þær við gufuveitu virkjunarinnar, má nýta þær sem vinnsluholur. Ef þær heppnast vel nægja þær fyrir stækkun virkjunarinnar til að byrja með. Á næstu 30 árum var talið að bora þyrfti 2-3 holur til viðbótar, en nú er það talið vanmat og samtals þurfi 5-6 vinnsluholur til viðbótar vegna breytinga sem verða kunna á vinnslusvæðinu. Sjá kafla 6.2. um orkuforðann.

Til að stefnubora vinnsluholur af þessari dýpt sem fyrirhugaðar eru á Nesjavöllum kemur nú ekki annar bor til greina en jarðborinn Jötunn. Borinn vegur samtals 435 tonn og er fluttur í 24 hlössum. Borinn er fluttur á dráttarbíl með tengivagni sem er samtals 40 tonn. Bornum og fylgihlutum hans er komið fyrir á borstæðinu. Efnisflutningar vegna borunarinnar eru einnig umtalsverðir.

Vatn er notað við borun til kælingar og skolunar á borsvarfi upp úr holunni. Vatn verður lagt að borstæðinu frá borvatnsveitu virkjunarinnar með plastlögn sem lögð verður ofanjarðar og fjarlægð þegar borunum lýkur.

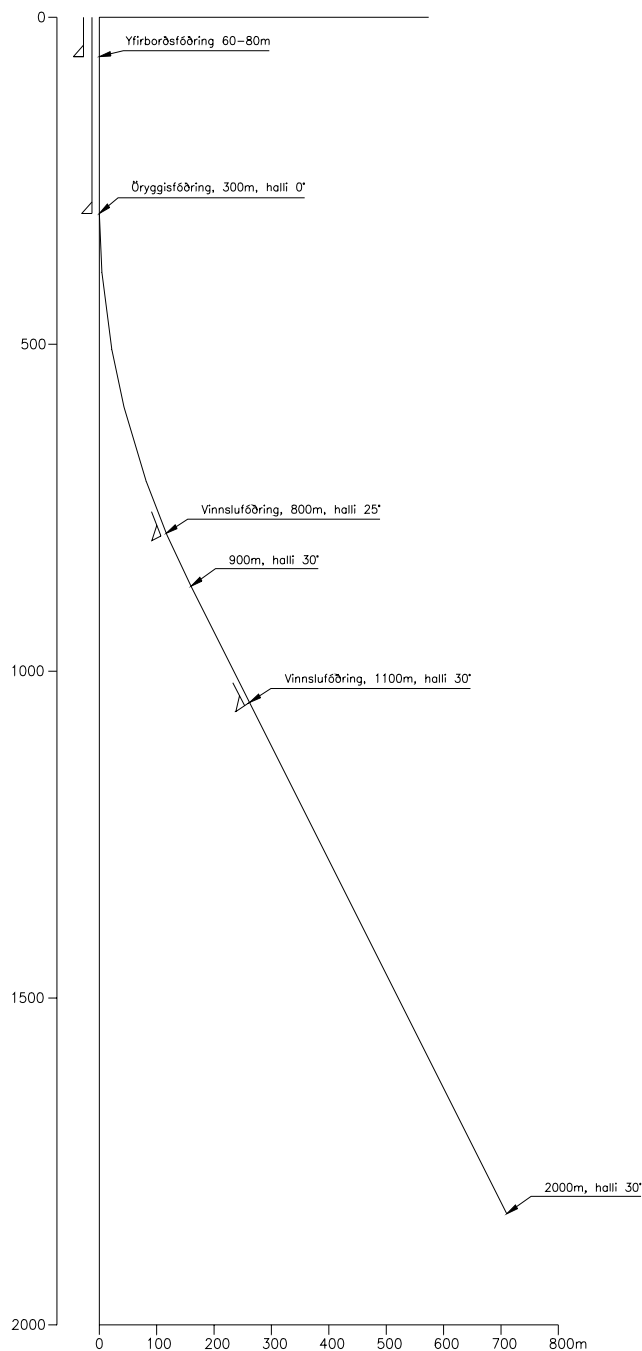
Þegar borað er fyrir öryggisfóðringu er borvatnið oft blandað borleir og vítissóða til að skola borsvarfi upp úr holunni. Þessi blanda er nefnd borleðja eða gel. Borleðjan flytur borsvarfið mun betur upp holuna en hreint vatn. Þegar borleðja er notuð er henni hringrásað aftur niður í holuna og vatni frá borvatnsveitu veitt beint í frárennsli á meðan.

Hugsanlegt er að gos verði í holunni, ef borað er í mjög heitar æðar á litlu dýpi. Til að hemja holuna getur þá þurft að laga borleðju með hárrí eðlisþyngd. Er þá búin til borleðja úr baríti (baríumsúlfati) sem er eðlisþyngt efni og næst þá eðlisþyngd 1,4-1,8 g/cm<sup>3</sup> á borleðjunni.

Magn borsvarfs er áætlað, þar sem nokkuð af borsvarfi tapast út í spungur í jarðlögum sem borað er í gegnum. Rúmmál losaðs bergs við borun 2000 m djúprar holu eins og á Nesjavöllum er nálægt 190 m<sup>3</sup>. Lausrúmmál þess er um 20% meira, en ætla má að aðeins um 2/3 þess eða um 150 m<sup>3</sup> skili sér uppúr holunni.

Þrenns konar fóðringar eru notaðar í háhitaholur. Efst og grynnt þeirra er yfirborðsfóðring, sem nær niður á 60-90 m dýpi. Hún er steipt föst áður en aðalborun hefst. Þegar borað hefur verið niður á um 300 m dýpi, er öryggisfóðringu komið fyrir og hún steipt föst. Eftir frekari borun niður á um 800 m dýpi er vinnslufóðringu komið fyrir og hún er einnig steipt föst.

Við steypingu fóðurröra er notuð steypa, sem blönduð er á staðnum. Þurrefnið í steypuna er Portlandsement frá Sementsverksmiðjunni hf., ásamt innfluttum kísilsalla, perlusteini og bentónítleir. Þessu er blandað saman í þunna sementsefju, sem dælt er niður um borstangir og flæðir síðan upp meðfram fóðurrörum að utanverðu. Steypingu er hætt þegar steypan kemur upp utan við fóðringuna. Gert er ráð fyrir að nota þurfi um 130 tonn af þurrefni við steypingu í meðal háhitaholu. Blöndun þurrefna og vatns fer fram í lokaðri hringrás og fer því mjög lítið efni út í umhverfið.



**Mynd 5. Þversnið af stefnuboraðri holu.**

Þegar borað hefur verið í endanlegt dýpi (u.þ.b. 2000 m), er raufaður stálleiðari hengdur neðst í vinnslufóðringuna og nær hann niður að botni holunnar. Þetta er gert til þess að holan falli ekki saman þegar hún byrjar að blása og jafnframt til að hindra grjótlug upp úr holunni meðan á blæstri stendur. Þegar leiðaranum hefur verið komið fyrir í holunni er borinn fluttur af staðnum. Gert er ráð fyrir að öll borframkvæmdin við hverja holu taki um 50 daga. Að því loknu er komið fyrir blástursbúnaði á holuna. Er þar um að ræða hljóðdeyfi til að taka við gufu og vatni meðan holan blæs. Jafnframt verður sett yfir holuna hús til að verja holutopp og

búnað fyrir veðri og jafnframt hindra að fólk fari sér að voða við holuna. Á mynd 6 er sýnt hvernig holur á Nesjavöllum líta út á þessu stigi framkvæmdar.

Allt efni og búnaður sem ekki tengist nýtingu holunnar verður hreinsaður af staðnum, dæluar tæmt og efni þaðan fjarlæggt. Frá hverri holu getur borsvarfið verið um 150 m<sup>3</sup>. Hefð er fyrir því að ganga frá borsvarfi að borun lokinni á borstæðinu. Borstæðið er lagfært þannig að það falli sem best að umhverfinu og sáð í sárin. Önnur leið við frágang borsvarfs er urðun á urðunarstað sunnan stöðvarhúss, nálægt malarnámu við Stangarháls.

Fjallað er um umhverfisáhrif borana í kafla 6.4.

### 2.3.3. Blástur og rekstur vinnsluhola

Fyrst eftir borun er holan látin hitna. Upphitun fer þannig fram að holan er látin standa um tíma á meðan bergið hitar upp skolvatnið sem er í holunni og úti í berginu næst henni eftir að borun líkur. Á meðan á þessu stendur er holan lokuð og umhverfisáhrif engin.



Emil Þór

**Mynd 6. Borhola á Nesjavöllum.**

Upphleyping holunnar getur verið með ýmsu móti, allt eftir hegðun hennar. Öflugar borholur byggja upp þrýsting þannig að ekki þarf annað að gera en opna fyrir loka til að koma þeim í blástur. Aðrar holur standa þrýstingslausar með vatnsborð niður á nokkur hundruð metra dýpi. Þannig holur þarf að hjálpa í blástur. Oft nægir að dæla í þær lofti og hleypa því síðan af aftur. Í því tilfalli ýtir loftið vatninu niður þar sem það hitnar. Í öðrum tilfellum þarf að ausa köldu vatnssúlunni ofan af holunni. Þessar aðgerðir hafa lítil sem engin áhrif á umhverfið.

Reglulegt eftirlit verður haft með holunum og holubúnaði. Að loknum borunum, upphleypingu og blæstri er borholan tekin í notkun, annað hvort sem vinnsluhola eða sem mæli-hola. Ef holan er talin hæf sem vinnsluhola er hún tengd með safnæð við gufuveitu virkjunarinnar.

Fjallað er um umhverfisáhrif vegna upphleypingar og blásturs í kafla 6.4.

#### 2.3.4. Safnæðar

Ein safnæð mun liggja frá hverri borholu að safnæðastofni, sem leiðir jarðhitavökvann til skiljustöðvar. Ef fleiri en ein hola er á sama borsvæði næst nokkur sparnaður í safnæðum frá viðkomandi borsvæði. Lengd safnæða fer eftir aðstæðum. Almennt þarf að gera ráð fyrir jöfnum halla safnæða og safnæðastofna frá borholu í átt til skiljustöðvar til þess að varna hættu á vatnshamri vegna tvífasarennslis í lögnum. Jafnframt þarf almennt að vera vegslóði meðfram safnæðum vegna viðhalds. Reynt verður að halda jarðraski í lágmarki og sá í vegslóða meðfram safnæðum. Sjá mynd 7.

Safnæðastofn verður lagður frá borsvæði við holu NJ-21 að skiljustöð. Safnæðastofninn mun liggja samsíða núverandi safnæðastofni niður brekkuna að skiljustöð.



Mynd 7. Frágangur safnæða.

#### 2.3.5. Skiljustöð og lokahús

Í skiljustöð verða eftir stækkun í 76 MW<sub>e</sub> tvær forskiljur og átta gufuskiljur. Gufan sem skilin er frá skiljuvatninu í gufuskiljunum fer ýmist um aðveituæð gufu að stöðvarhúsi eða að lokahúsi þar sem umframgufu er hleypt í gegnum stjórnloka til lofts um gufuháf. Skiljuvatnið sem skilið er frá gufunni í gufuskiljunum fer ýmist um aðveituæð skiljuvatns að stöðvarhúsi eða að lokahúsi þar sem umframskiljuvatni er hleypt í gegnum stjórnloka til gufuháfs, þar sem hluti þess gufar upp en afgangurinn fer til fráveitu.

Til að tryggja að allt skiljuvatn komist frá stöðinni eftir stækkun úr 76 í 90 MW<sub>e</sub> verður bætt við stjórnloka fyrir skiljuvatn og nýjum gufuháf. Þessum búnaði verður komið fyrir í lokahúsi 2, sem byggt verður við hlið lokahúss 1. Það verður 120 m<sup>2</sup> (600 m<sup>3</sup>) að stærð eins og lokahús 1. Sjá núverandi skiljustöð ásamt lokahúsi 1 með gufuháfum á mynd 8.



**Mynd 8. Skiljustöð ásamt lokahúsi 1 og gufuháfum.**

### **2.3.6. Aðveituæð**

Núverandi aðveituæðar eru tvær, ein fyrir gufu og önnur fyrir skiljuvatn. Á aðveituæð fyrir gufu eru nú tvær rakaskiljur til að tryggja að vatn komist ekki inná hverfla rafstöðvar.

Vegna stækkunar úr 76 í 90 MW<sub>e</sub> þarf að leggja nýja aðveituæð fyrir gufu frá skiljustöð að stöðvarhúsi. Á þessari aðveituæð verða tvær rakaskiljur eins og þeirri sem fyrir er. Nýja aðveituæðin verður lögð samsíða núverandi aðveituæðum fyrir skiljuvatn og gufu milli skiljustöðvar og stöðvarhúss um 450 m vegalengd. Aðveituæðin verður stálpípa, 1000 mm í þvermál, einangruð með steinull og klædd með áklæðningu eins og núverandi lagnir.

### **2.3.7. Stækkun kaldvatnsdælustöðvar**

Vegna þessarar aukningar á afköstum virkjunarinnar er nauðsynlegt að auka dælingu á köldu vatni frá Grámel. Aukningin á dælingunni er úr um það bil 1100 kg/s í um það bil 1700 kg/s. Til þess að ná þessari aukningu þarf að bæta við einni dælu og húsi yfir hana. Núverandi dælustöð verður stækkuð um 6 m til norðurs, úr 7 í 8 einingar. Sjá mynd 9.



**Mynd 9. Dælustöð við Grámel, séð úr norðri.**

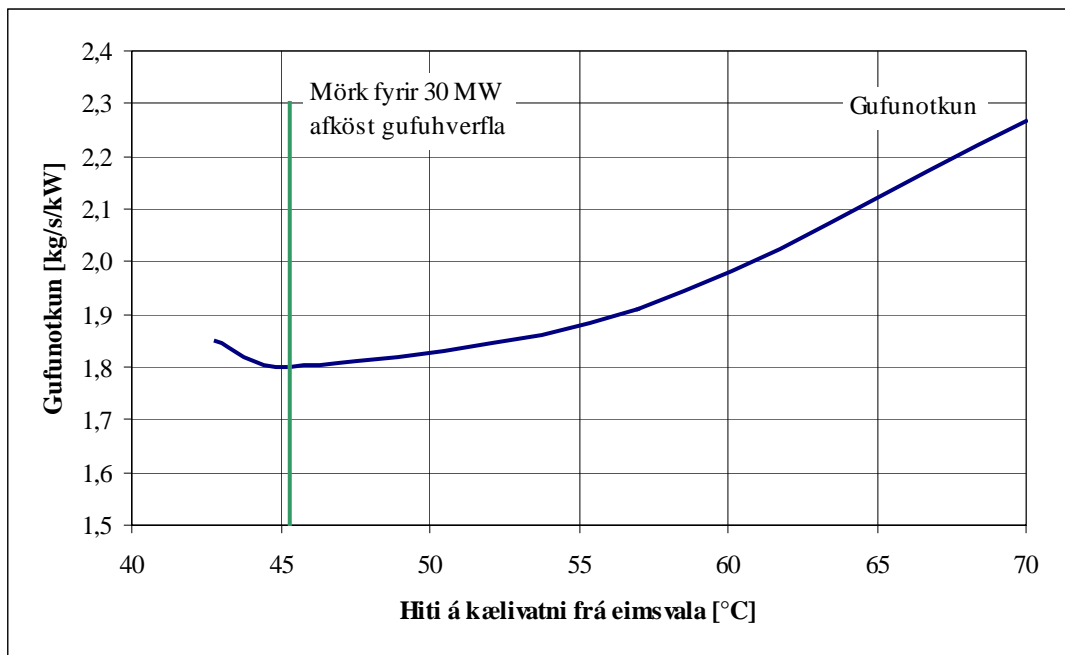
### **2.3.8. Orkuver**

Engar breytingar verða á rafstöð, varmastöð eða flutningskerfum rafmagns eða vatns til viðskiptavina. Fyrirhugaðar breytingar felast í því að fullnýta afkastagetu gufuhverflana sem fyrir eru.

## 2.4. Vinnslurás virkjunar

Sjá vinnslurás virkjunarinnar á mynd 11 og yfirlitsmynd af orkuvinnslusvæðinu á mynd 12.

Mynd 11 sýnir valið jafnvægisástand í rekstri virkjunarinnar, en virkjunin hefur sveigjanleika hvað gufunotkun, raforku- og varmaframleiðslu varðar. Þegar lítil varmaþörf er á sumrin má þannig minnka vinnsluna úr jarðhitasvæðinu án þess að minnka raforkuframleiðsluna að sama skapi. Þetta er gert með því að breyta hita kælivatns. Mynd 10 sýnir gufunotkun hverfla við mismunandi hita kælivatns frá eimsvala. Því kaldara sem kælivatnið er, þeim mun meira eykst rúmmál gufunnar, sem streymir frá hverflinum og takmarkar þetta reksturinn. Minnsta mögulega gufunotkun fyrir gufuhverfil á Nesjavöllum fæst með því að hafa kælivatn frá eimsvala um 45°C.



Mynd 10. Gufunotkun við rafmagnsframleiðslu með mismunandi kælivatnshita.

Afköst gufuveitu eftir 3. áfanga virkjunarinnar, þ.e. 60 MW<sub>e</sub>, eru 140 kg/s. Virkjunaráfangi 4a byggist á því að bæta við búnaði, sem gerir kleift að framleiða sem mest rafmagn úr þessari gufu. Eins og fram kemur hér að ofan þarf þá að velja kælivatnshita sem er 45°C. Samhliða þessu takmarkast afl hvers 30 MW hverfils við tæp 26 MW eða samtals um 76 MW fyrir þrjá hverfla sömu gerðar. Eins og áður sagði heimilaði Alþingi iðnaðarráðherra að veita Hitaveitu Reykjavíkur virkjunarleyfi til 76 MW rafmagnsframleiðslu á Nesjavöllum með lögum nr. 60/1981. Orkuveita Reykjavíkur ákvað því 1999 að skipta næsta virkjunaráfanga, áfanga 4, í tvennt:

- Í fyrri hluta verður rafmagnsframleiðsla aukin sem mest með þeirri gufu, sem til ráðstöfunar er. Hámarksrafmagnsframleiðsla verður 76 MW. Þessi áfangi er kallaður 4a.
- Í seinni hluta verður gufuöflun aukin þannig að full afköst fái á alla þrjá gufuhverfla virkjunarinnar. Að því loknu verður hámarks rafmagnsframleiðsla 90 MW. Þessi áfangi er kallaður 4b og fjallar þessi skýrsla um hann.

### 2.4.1. Gufuveita.

Jarðhitavökva frá borholum er safnað saman með safnæðum í eina skiljustöð, sem staðsett er um 450 m frá orkuverinu. Gufu/vatnsblandan er flutt tiltölulega langa vegalengd. Nú er lengst frá holu 14, þar sem safnæðin er 2,2 km, en þessi vegalengd fer eftir staðsetningu borsvæða. Þetta fyrirkomulag gufuveitu er hagstætt vegna landslagsins og hlutfallslega mikillar gufu í blöndunni. Á hverjum holutoppi er loki sem stýrir streymi frá þeirri holu.

Hluti vatnsins sem er í gufunni er skilinn frá í forskiljum áður en tvífasastreymið fer inná átta gufuskiljur. Þessi háttur var valinn í stað fjölgunar gufuskilja þegar vatn fór að aukast og vermi að lækka í jarðhitavökvanum. Bæði gufuþrýstingi og vatnsflæði er stýrt í skiljustöðinni. Umframgufu og umframskiljuvatni er hleypt út um 25 m háa gufuháfa, sem eru sambyggð skilja og hljóðdeyfir í einu tæki. Stjórnlokar stýra gufu- og vatnsstreyminu til háfanna. Þeir eru staðsettir í lokahúsum við hlið skiljustöðvar.

Frá skiljustöð er skiljuvatn og gufa leidd til orkuvers um aðveituæðar. Rakaskiljur eru í aðveituæðum fyrir gufu til að fjarlægja síðustu leifar vatns úr gufunni og til öryggis ef vatn kæmist af slysi í aðveituæðar frá skiljum í skiljustöð.

### 2.4.2. Kaldvatnsveita.

Dælustöð fyrir kalt vatn er staðsett við Grámel um 150 m frá Þingvallavatni. Ferskt grunnvatn er tekið úr 6 borholum. Þessar borholur eru 30 m djúpar og taka má 300-450 l/s úr hverri. Vatninu er dælt um það bil 6 km leið um kaldvatnsæð, sem liggur meðfram vegslóða frá Grámel, í tvo 1000 m<sup>3</sup> vatnsgeyma við stöðvarhúsið. Stöðvardælur dæla vatninu í gegnum eimsvala rafstöðvar, um skiljuvatnsvarmaskipta og til afloftara varmastöðvar.

### 2.4.3. Rafstöð.

Gufan streymir frá rakaskiljum inná gufuhverflana þrjá um stopploka og stjórnloka á hverri vél. Eimsvalahverflarnir eru af Mitsubishi gerð með 30 MW<sub>e</sub> afkastagetu hver. Hverflarnir eru átta þrepa og snúast 3000 snúninga á mínútu. Gufunotkun hvers hverfils er um 57 kg/s við inntaksþrýsting 12 bar<sub>a</sub> og eimsvalaþrýstinginn 0,2 bar<sub>a</sub>. Breyta má inntaksþrýstingi gufu milli 10 og 15 bar<sub>a</sub> og eimsvalaþrýstingi milli 0,1 og 0,35 bar<sub>a</sub> eftir þörfum á framleiðslu á heitu vatni.

Gufan frá hverflunum er leidd um stokk til eimsvalanna, sem eru röravarmaskiptar. Óþéttanlegar gastegundir eru fjarlægðar úr eimsvölunum með lofttæmidælum og veitt til lofts. Óþéttanlegt gas er um 0,5% af gufumagninu. Fjallað er um umhverfisáhrif jarðhitagastegunda í kafla 19. Gufan er kæld í eimsvölunum og breytist í þéttivatn, sem veitt er í grunna borholu við orkuverið. Hluti kælivatns frá eimsvölum er nýttur til framleiðslu á heitu vatni, en afgangnum er veitt í grunna borholu við stöðvarhús. Fjallað er um umhverfisáhrif þéttivatns og kælivatns í kafla 18.

Rafalarnir, sem eru 40 MVA og 11 kV hver, eru beintengdir á gufuhverfana. Þeir eru loftkældir, hver um sig í lokuðu rými þar sem loftinu er hringrásað í gegnum vatnskæla. Inn í rafalarymið er síðan blásið lofti til að halda yfirþrýstingi í rýminu. Segulmögnun rafalanna fer fram með svokallaðri burstalausri segulmögnun.

Frá afltengingum rafalanna eru leiddir strengir í aflrofaskápa þar sem miðjutenging vafninganna (N) eru tengd við jörð í gegnum viðnám og aflstrengirnir við varrofa (vélarrofa). Varrofinn er síðan tengdur við spennni (vélarspenni) einnig með strengjum.

Vélarspennarnir eru kældir með olú sem hringrásað er með dælu í gegnum vatnskæla og síðan í gegnum spenninn. Spennirinn hefur þrjú vöf og er aflgeta vafanna 40/40/16MVA, 132/11/11 kV. Pró í spennarymi getur tekið við allri olú spennanna, ef hún fer niður.

132 kV háspennurofabúnaðurinn, sem er gaseinangraður ( $\text{SF}_6$ ) og staðsettur innandyra, samanstendur af fimm rofasettum. Eitt fyrir hvern rafala, eitt fyrir teinasamtengingu og eitt fyrir raforkuflutning.

#### 2.4.4. Varmastöð.

Framleiðsla á heitu vatni fer fram í röravarmaskiptum í varmastöð virkjunarinnar. Tvær varmaskiptarásir eru fyrir hendi, sem hita forhitað vatn frá eimsvölunum í 88-90°C. Skiljuvatn er notað sem varmagjafi og er að því búnu veitt í Nesjavallalæk. Fjallað er um umhverfisáhrif skiljuvatns í kafla 18.

Frá varmaskiptunum er vatnið leitt til afloftara, þar sem uppleyst súrefni er hreinsað úr heitu vatninu með suðu við undirþrýsting. Að því búnu er smávegis af gufu, sem inniheldur brennisteinsvetni, blandað í vatnið sem tæringarvörn. Hámarksafköst varmastöðvar eru um 200 MW í varma.

Frá varmastöð er vatninu dælt með höfuðdælum til notenda, sjá kafla 2.4.8.

#### 2.4.5. Hjálarkerfi.

Raforkudreifikerfi orkuversins er 11 kV. Það eru fjögur 11 kV rofasett: tvö fyrir rafstöðina, eitt fyrir varmastöðina og eitt fyrir dælustöðina fyrir kalt vatn.

Þrjú dreifispennar eru fyrir 400 V riðstraumsraforkudreifingu í orkuverinu. Tvö aðalkerfin fyrir 400 V dreifinguna eru tengd saman með þriðja 400 V kerfinu sem tengt er við dísil vararafstöð.

Tvö aðskilin jafnstraumsdreifikerfi, 110 V og 24 V, eru notuð fyrir stjórn- og varnarbúnað orkuversins ásamt neyðarlýsingu. Rafgeymasett eru hönnuð til að reka stjórnþúnað í 10 klukkustundir og neyðarolíudælur hverflanna í 3 klukkustundir ef til straumleysis kemur.

Sérstaklega hefur verið vandað til upphitunar- og loftræstikerfis orkuversins. Allt loft til rýma með raf- og stjórnþúnaði er leitt um kolasúr til að hreinsa úr því brennisteinsvetni,  $\text{H}_2\text{S}$ . Hreinsað, þjappað loft er leitt til viðkvæms búnaðar sem staðsettur er utan þessara rýma.

#### 2.4.6. Stýrikerfi.

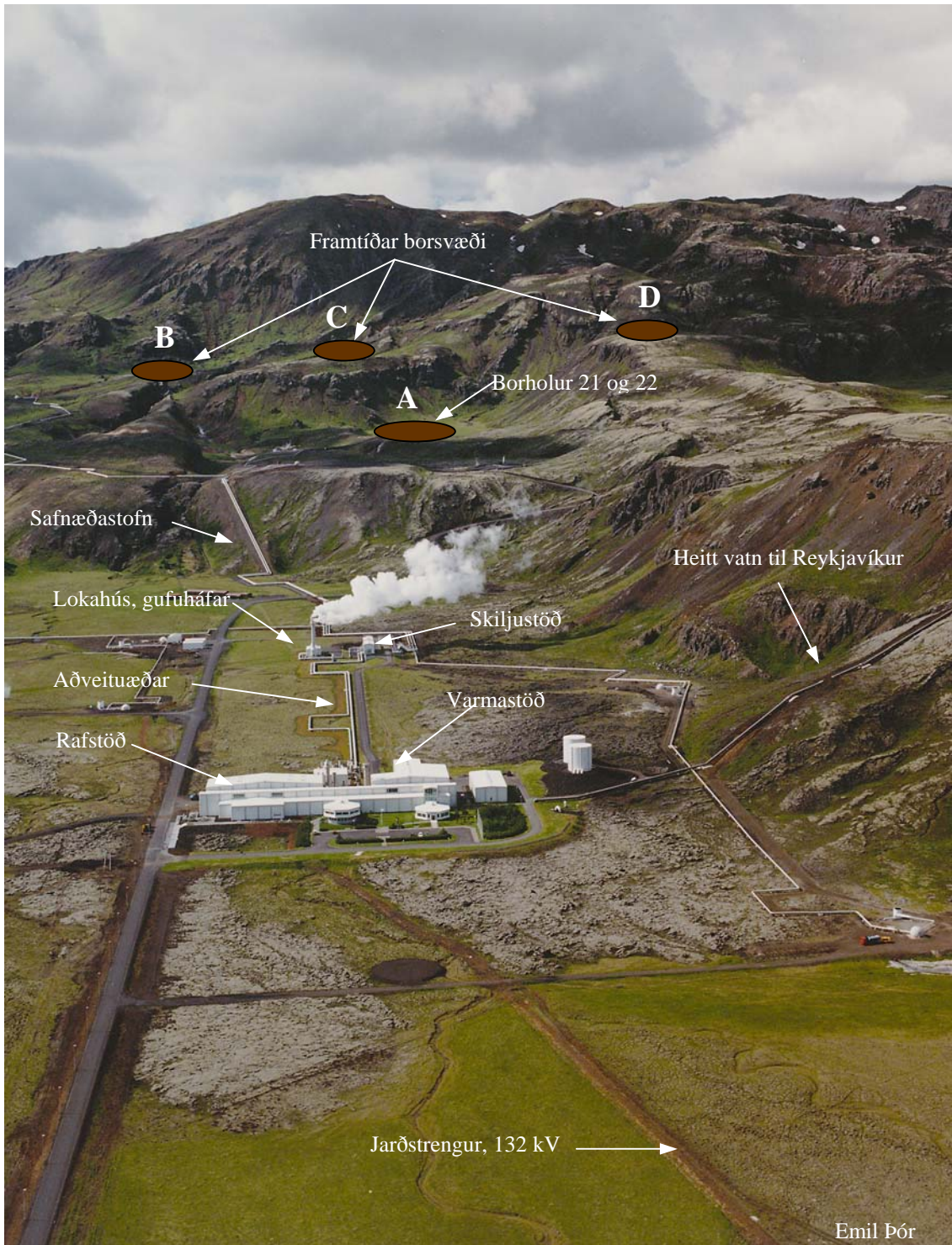
Iðntölvur stýra öllum kerfum í orkuverinu. Stýrikerfið fyrir rafstöðina er tvöfalt til öryggis.

Iðntölvakerfið er tengt kerfiráði, sem er hluti af aðalkerfiráði Orkuveitu Reykjavíkur. Í aðalstjórnstöðinni í Reykjavík er fylgst með kerfinu og því stjórnað allan sólarhringinn. Starfsmenn á Nesjavöllum hafa með höndum allt daglegt eftirlit með búnaði og viðhald orkuversins.

**Mynd 11. Vinnslurás fyrir orkuverið á Nesjavöllum.**







**Mynd 12. Yfirlitsmynd af Nesjavöllum.**

### 3. STAÐHÆTTIR

#### 3.1. Inngangur

Í eftirfarandi köflum er fjallað um staðhætti á Nesjavöllum og nágrenni. Þessir kaflar byggjast að mestu á skrifum Kristjáns Sæmundssonar (Sigurður Kristinsson og Kristján Sæmundsson 1996) í bókinni Hengilssvæðið. Gönguleiðir – Staðhættir - Jarðfræði.

#### 3.2. Landslag

Á vestanverðu Hengilssvæðinu er landslag mótað af gosmyndunum sem þar hafa hlaðist upp á síðasta jökulskeiði og á nútíma (þ.e. eftir ísöld). Austan til hafa roföflin hins vegar mótað það.

Laus jarðlög þekja sléttlendi þar sem ár og lækir hafa dreift framburði eða setlög safnast í gömul vatnsstæði sem síðar hafa ræst fram. Fjallshlíðar eru hvergi mjög skriðurunnar nema þar sem þykk hraunlög eru í brúnum eða fjöllin eingöngu úr bólstrabergi, því það molnar allt sundur við veðrun.

Úrkoma á Hengilssvæðinu er mikil, raunar með því mesta sem mælist á landinu síðan úrkomumælir var settur upp á Nesjavöllum. Austan við Sog er úrkoman minni, líklega svo munar helmingi miðað við Nesjavelli. Á vestanverðu Hengilssvæðinu eru stöðugar lindir og lækir einungis þar sem jarðlögin eru svo ummynduð að þau halda vatni. Annars sígur þar allt vatn í jörð eða renna stuttan tíma í leysingum.

Austan við Nesjavelli er lágur og breiður háls með bröttum, skriðurunnum misgengisstöllum, hverjum upp af öðrum að vestan, en aflíðandi móbergsklöppum að austan. Hann heitir Stangarháls. Þegar horft er yfir Stangarháls frá Hengli eða Kýrdalsbrúnum koma misgengin sérlega skýrt fram með skuggum sínum undir sól að sjá. Hæsta brekkan vestan í hálsinum er þó ekki til komin vegna misgengis, heldur er þar um að ræða vesturhlíðina á bólstrabergshrygg sem liggur eftir hálsinum endilöngum og myndar allan efri hluta hans.

Jarðhiti er mikill sunnan við Nesjavelli neðst í hlíðum Hengils. Þar heita Nesjalaugar og Köldulaugar og má segja að þar sé minna gert úr en efni standa til, því mest eru þetta gufu- og leirhverir. Reykjavíkurborg eignaðist Nesjavellina 1965 og sáu framsýnir menn þar fyrir sér orkulind fyrir borgina. Fyrstu könnunarholurnar voru boraðar 1965 en síðan hafa samtals verið boraðar 22 holur. Þegar horft er yfir Nesjavelli sjá menn þessar gufuholur á víð og dreif norðan undan Henglinum. Yfir gnæfir Hengillinn með Vörðuskeggja (um 800 m) og Nesjaskyggni (um 768 m) sem hæstu tinda.

Norðan Vörðuskeggja liggur Nesjavallavegur um Dyradal og þræðir eftir lægð sem verður milli Háhryggjar og Kýrdalshryggjar þar sem þeir standast ekki á. Á Kýrdalshrygg sést vel hvernig móberg og bólstraberg hefur hlaðist ofan og utan á hann beggja megin. Á Kýrdalsbrúnum hefur gosið fjórum sinnum á sömu mjóu gosreininni, tvisvar á ísöld, og þá móbergi og bólstrabergi, og tvisvar hraunum eftir ísöld. Við þessi gos hlóðst utan á Háhrygg að austan svo þar er nú bratt klif niður að Nesjavöllum, en lágur ás þeim megin sem veit að Háhrygg. Kýrdalur og Kýrgil eru í lægðinni á milli. Þótt ekki sjáist þess merki á yfirborði þá er aðaluppstreymi jarðhitakerfisins á Nesjavöllum tengt gosreininni í Kýrdalsbrúnum.

#### 3.3. Jarðfræði

Hengilssvæðið og umhverfi þess hefur verið rannsakað á undanförunum áratugum með nýtingu jarðvarma í huga (t.d. Kristján Sæmundsson 1967, Helgi Torfason o.fl. 1983, Axel Björnsson o.fl. 1985, Knútur Árnason o.fl. 1986, Gylfi Páll Hersir og fl. 1990). Sjá myndir nr. 13 og 14 (Kristján Sæmundsson 1995a) og mynd 15 (Kristján Sæmundsson 1995b).

Hengilssvæðið er í miðju vestra gosbeltinu, sem nær frá Reykjanesi og norður í Langjökul. Berggrunnur er að mestu móberg sem myndast hefur undir jökli á síðustu jökulskeiðum ísaldar. Á jöðrum svæðisins kemur blágrýti fram undan móberginu. Það sést t.d. í Jórukleif, Húsmúla og í Framgrafningi.

Móbergshryggir með NA stefnu ganga fram beggja megin við Nesjavalladal. Að vestanverðu eru það Kýrdalshryggur en austan megin Stangarháls. Kýrdalshryggur er úr dílóttu bólstrabergi og bólstrabreksíu, en Stangarháls úr dílasnaudu bólstrabergi.

Hengilssvæðið er með stærstu jarðhitasvæðum á landinu, eða um 100 km<sup>2</sup>. Það er a.m.k. þrískipt:

- Suðaustasti hluti þess er í Hveragerðiseldstöðinni. Ef nefna ætti eitthvert sérkenni þess, þá væru það kísilhverirnir í Hveragerði og á Reykjum, eða hinar fjölmörgu laugar sem spretta fram úr berghlaupunum í Grændal. Innan um eru gufuhverir sem gjarnan fylgja sprungum tengdum Suðurlandsskjálftum.
- Ölkelduhálssvæðið sker sig úr fyrir kolsýrulaugarnar sem eru í þyrpingu frá Ölkelduhálsi suður í Reykjadal norðan undir Molddalahnúkum. Norðan og sunnan við eru í framhaldi af þessari þyrpingu venjuleg gufuhverasvæði í Hverakjálka og við Hrómundartind.
- Loks er jarðhitasvæðið í Henglafjöllum. Það nær frá Nesjavöllum suðvestur í Hveradali og Hverahlíð. Í Henglafjöllum er jarðhitinn mestur og samfelldastur utan í Hengli alls staðar nema norðvestan megin. Þar er enginn jarðhiti. Fjallið sjálft er ummyndað af jarðhita nema norðvesturhlutinn. Suðvestur frá Hengli eru strjálar hveraþyrpingar. Brennisteinshverir eru mestir vestan til í Henglafjöllum þ.e. í Sleggjubeinsdölum og í krikanum sem gengur inn með Hengli norður úr Innstadal, en einnig er nokkuð um hann í Hveradölum og á Nesjavöllum.

(Sigurður Kristinsson og Kristján Sæmundsson 1996).

Hengilskerfið er yngst og virkast. Frá ísaldarlokum eru þekkt 4-5 sprungugos á þessu svæði. Síðast gaus fyrir um 2000 árum, er hraunið rann á Helligsheiði, og Nesjahraun í Grafningi. Þá gaus á 25 km langri sprungu, sem náði frá Eldborg undir Meitlinum, um Helligsheiði, Innstadal og norðaustur í Sandey í Þingvallavatni.

Gosprungur frá nútíma liggja um Kýrdalshrygg og vestan í Stangarhálsi. Rannsóknir gefa til kynna að gosið hafi þrisvar sinnum úr þessum gossprungum og þar af a.m.k. tvisvar vestan dalsins. Elst er sennilega sprungan vestan í Stangarhálsi og þaðan rann Stangarhálskraun. Aldur þess er nokkur þúsund ár. Yngri sprungurnar liggja eftir Kýrdalshrygg og runnu Nesja- og Hagavíkurhraun frá þeim. Aldursmunur Stangarhálskrauns og Hagavíkurhrauns er trúlegast lítill. Aldur Nesjahrauns er u.þ.b. 2000 ár. Nesja- og Hagavíkurhraun hafa runnið út í Þingvallavatn, trúlegast ofan af eldri myndunum.

Síðast voru umbrot í Hengilskerfinu árið 1789. Þá gliðnaði og seig spilda á sprungubeltinu, sem liggur yfir Dyrafjöll og Hestvík og þaðan norður yfir Þingvallavatn milli Almannagjár og Hrafnagjár, um 1-2 m.

Jökulgarðar og hjallar í Grafningi mynduðust í ísaldarlok fyrir um 12.000 árum. Þá náði jökulsporður að suðurenda Úlfjótsvatns. Þar fyrir sunnan var jökullón að hlíðum Grafningsfjalla. Hjallar og jökulgarðar standa eftir sem minjar um lónið og jökulinn í 165 m yfir sjó í Grafningi.

Hverir og laugar finnast í öllum þremur eldstöðvakerfunum, en þó mest í Hengilskerfi. Í landi Nesjavalla eru laugar við Nesjalaugagil og Köldulaugagil.

**Mynd 13. Skýringar við jarðfræðikort.**



**Mynd 14. Jarðfræðikort af Nesjavallasvæðinu.**



**Mynd 15. Jarðhitakort af Nesjavallasvæðinu.**

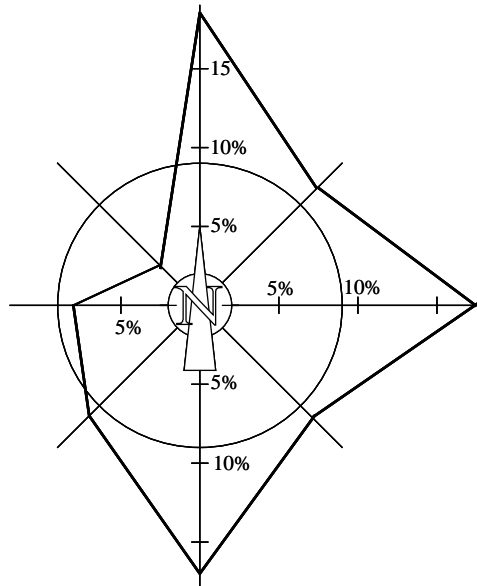


### 3.4. Veðurfar

Á vegum Hitaveitu Reykjavíkur og Veðurstofu Íslands hafa farið fram mælingar á veðurfari á Nesjavöllum frá 1985. Veðurathugun er gerð tvisvar á dag, þar sem mældur er hiti, hámarkshiti, lágmarkshiti og úrkoma og vindátt er skráð. Úrkomumælingar hafa verið nokkuð samfelldar þennan tíma, en síritandi hita- og vindhraðamælar hafa verið tengdir kerfiráði virkjunarinnar frá 1990. Eftirfarandi kafla byggist á upplýsingum úr kerfiráði virkjunarinnar og gögnum frá Veðurstofu Íslands.

Á Nesjavöllum er mjög úrkomusamt. Meðalúrkoma þau ár sem samfelldar mælingar liggja fyrir um er 2780 mm á ári, en það er ríflega þreföld meðalúrkoma í Reykjavík. Meðalúrkoma á Þingvöllum er 1340 mm á ári og á Heiðarbæ 1301 mm á ári (Veðráttan 1990-1997; Markús Á. Einarsson 1992).

Meðalvindhraði þann tíma sem mælingar ná til er 4,5 m/s en mesti vindur sem skráður hefur verið er 28,2 m/s. Til samanburðar er meðalvindhraði í Reykjavík 5,3 m/s og á Reykjum í Ölfusi 4,0 m/s (Veðurfar á Nesjavöllum 2000, Veðráttan 1990-1997).



Mynd 16. Vindrós fyrir Nesjavelli.

Meðalhiti frá því að mælingar hófust er 2,9°C. Þetta er töluvert lægra en meðalhiti á Írafossi, sem er 4,4°C og í Reykjavík, sem er 5,0°C, en í samræmi við meðalhita á Þingvöllum sem var 2,8°C á árunum 1974-1988. Hæsti skráði hiti á Nesjavöllum síðan mælingar hófust er 23,7°C þann 6. júlí 1997 og lægsti hiti er -18,7°C þann 7. mars 1998 (Veðráttan 1997; Markús Á. Einarsson 1992; Veðurfar á Nesjavöllum 2000).

Geta verður þess að mælingar tengdar kerfiráði virkjunarinnar eru ekki skráðar á sama hátt og mælingar á vegum Veðurstofu Íslands og því ekki alveg sambærilegar.



## II. UMHVERFISPÆTTIR; ÁHRIF FRAMKVÆMDA OG REKSTURS

### 4. INNGANGUR

Í þessum hluta er fjallað um helstu umhverfispætti á Nesjavöllum. Fjallað er um skipulag og landnotkun, jarðhita og orkuforða, náttúrufar og minjar, útivist og ferðamennsku og hættumat. Rakin eru þau áhrif sem vænta má af framkvæmdinni og rekstri stækkaðrar virkjunar og þær mótvægisáðgerðir sem til greina kemur að beita til að draga úr þeim áhrifum.

### 5. SKIPULAG OG LANDNOTKUN

#### 5.1. Lýsing

Jörðin Nesjavellir er í sameinuðu sveitarfélagi Grímsnes- og Grafningshreppa.

Gerð svæðisskipulags fyrir Þingvalla-, Grímsnes- og Grafningshreppa hófst 1987 og svæðisskipulagið 1995-2015 var samþykkt af skipulagsstjórn 23.10.1996 og staðfest af umhverfisráðherra 17.12. sama ár. Í skipulaginu er gert ráð fyrir orkuvinnslusvæði á Nesjavöllum í samræmi við fyrirætlanir Orkuveitu Reykjavíkur.

Þar segir um orkuvinnslu á Hengilssvæðinu: “...skal gæta ýtrustu varkárni varðandi hugsanlega röskun á lífríki vatnsins. Brýnt er að fylgst verði nákvæmlega með öllum umhverfisáhrifum þeirrar orkuvinnslu, sem þegar á sér stað á svæðinu” (Guðrún Jónsdóttir og fleiri 1996).

Vinna við gerð aðalskipulags fyrir Grímsnes- og Grafningshrepp er hafin og er áætlað að þeirri vinnu ljúki árið 2002 (Guðmundur Rúnar Svavarsson 2000).

Landnýtingaráætlun fyrir jarðir Reykjavíkur í Grafningi og Ölfusi var unnin fyrir Borgarskipulag, Borgarverkfræðing, Hitaveitu og Rafmagnsveitu Reykjavíkur og samþykkt 1997. Um er að ræða stefnumörkun Reykjavíkurborgar um landnotkun á jörðum í eigu borgarinnar í Grafningi. Þar er enn gert ráð fyrir orkuvinnslusvæði á Nesjavöllum í samræmi við fyrirætlanir Orkuveitu Reykjavíkur.

Þar segir m.a. um Þingvelli, Þjóðgarðinn og umhverfi: “Árið 1988 samþykkti Þingvallanefnd stefnumörkun í bygginga- og skipulagsmálum fyrir Þingvelli, Þjóðgarðinn og nánasta umhverfi hans. Þar kemur fram að lítið er á Grafning sem framtíðar ferðamannasvæði, sérstaklega hvað varðar afþreyingu tengdri nýtingu jarðhita.... Líta má svo á að á Grafningssvæðinu verði búið upp á ýmsa starfsemi sem óæskilegt er að staðsetja innan viðkvæms umhverfis Þingvallapjóðgarð.” (Gísli Gíslason og Yngvi Þór Loftsson 1997).

Vinna við gerð deiliskipulags á Nesjavöllum fór fram á vegum Orkuveitu Reykjavíkur árið 2000. Gert er ráð fyrir að skipulagið verði auglýst um leið og þessi skýrsla um mat á umhverfisáhrifum. Samkvæmt því er einungis um að ræða smávægilega breytingu á orkuvinnslusvæðinu, til þess að fella það betur að landslagi við Hengilinn. Jafnframt eru skilgreind verndarsvæði á orkuvinnslusvæðinu þar sem ekki á að hrófla við jarðfræðiminjum, sjá mynd 2.

Hitaveita Reykjavíkur keypti Nesjavallajörðina fyrir hönd Reykjavíkurborgar 1965. Hitaveitan (nú Orkuveita Reykjavíkur) hefur nýtt jörðina vegna undirbúnings og reksturs virkjunarinnar, sem nýtir jarðhitann á Hengilssvæðinu. Jafnframt hefur jörðin í vaxandi mæli verið nýtt til útivistar og gönguferða einkum vegna merkinga gönguleiða og útgáfu göngukorts og leiðarlýsinga. Til er samningur um ábúð á jörðinni milli ábúenda og Hitaveitu Reykjavíkur frá 1989. Jörðinni fylgir ekkert búmark og er hún friðuð fyrir beit.

Meðfram strönd Þingvallavatns eru 12 leigulönd fyrir sumarbústaði. Flestir samningarnir eru til 50 ára og gilda til 2013-2014, en þrír eru til 99 ára og gilda til 2063-2064. Vinnubúðir verktaka voru reistar í námunda við Nesjavallabæinn. Þar er nú rekið gisti- og veitingahúsið Nesbúð (Gísli Gíslason og Yngvi Þór Loftsson 1997).

Nesjavellir eru ekki á verndarsvæði eða svæði á náttúruminjaskrá. Áhrifasvæði Nesjavallavirkjunar er hins vegar talið ná til Þingvallavatns, sem er á náttúruminjaskrá (Nr.:743):

“*Þingvellir og Þingvallavatn, Þingvallahreppi, Grafningshreppi, Grímsneshreppi, Árnassýslu.*

- (1) *Þingvellir og land jarðanna Kárastaða, Brúsastaða, Svartagils og Gjábakka samkvæmt sérlögum nr. 59/1928. Þingvallavatn, ásamt eyjum og strandlengju umhverfis vatnið.*
- (2) *Þingvellir eru einstæður sögustaður, landslag stórbrotið og fágætt að jarðfræðilegri gerð. Þingvallavatn er lífauðugt vatn í sigdal og má þar m.a. finna fjögur afbrigði af bleikju.”*

(Náttúruvernd ríkisins 2000).

Sunnan Hengilsins er einnig svæði á náttúruminjaskrá (Nr.:752):

“*Hengilssvæðið, Ölfushreppi, Grafningshreppi, Árnassýslu.*

- (1) *Vatnasvið Grændals, Reykjadals og Hengladala ásamt Marardal og Engidal norðan Húsmúla. Að sunnan liggja mörk um Skarðsmýrarfjall, Orrustuhól og Hengladalsá að Varmá.*
- (2) *(2) Stórbrotið landslag og fjölbreytt að jarðfræðilegri gerð, m.a. jarðhiti.”*

(Náttúruvernd ríkisins 2000).

Frumvarp til laga um verndun Þingvallavatns og vatnasviðs þess var lagt fyrir 123. löggjafarþing (1998-1999). Þingskjal 946 - 576. mál. Frumvarpið er óafgreitt. Tilgangur frumvarpsins er að stuðla að verndun lífríkis Þingvallavatns og vatnasviðs þess. Verði frumvarpið að lögum verður óheimilt að gera nokkuð það innan verndarsvæðisins, sem spillt getur vatni eða mengað það, bæði yfirborðsvatn og grunnvatn. Þá mun hvers konar jarðrask, bygging mannvirkja, borun eftir vatni, taka jarðefna og vinnsla auðlinda úr jörðu og ræktunarframkvæmdir vera óheimilt nema með leyfi umhverfisráðherra eða sveitarstjórna í umboði hans (Alþingi, þskj. 946 – 546.mál, 1998-99).

## 5.2. Áhrif framkvæmda

Í tengslum við undirbúning fyrir áfanga 4 hefur verið unnið deiliskipulag fyrir orkuvinnslusvæðið á Nesjavöllum. Í þessu deiliskipulagi er landnotkun skipulögð á svæðinu umhverfis orkuverið á Nesjavöllum. Deiliskipulagið er gert í samræmi við fyrirliggjandi svæðisskipulag enda liggur aðalskipulag ekki fyrir. Ekki er talin þörf á að breyta svæðisskipulaginu vegna framkvæmdanna.

Framkvæmdasvæðið er ekki á náttúruverndarsvæði eða á svæði á Náttúruminjaskrá. Í deiliskipulagi er hins vegar tekin frá svæði til verndunar. Sjá kafla 12.

## 5.3. Niðurstöður

Framkvæmdin er á skipulögðu orkuvinnslusvæði. Framkvæmdin skerðir ekki náttúruverndarsvæði. Engar mótvægisáðgerðir eru taldar nauðsynlegar vegna skipulags og landnotkunar.

## 6. JARÐHITAVINNSLA OG ORKUFORÐI

### 6.1. Inngangur

Í þessum kafla er fjallað um jarðhitann og vinnslu hans. Gerð er grein fyrir forðafræðilegum líkanreikningum og mati á nýtanlegum jarðhitaafköstum. Þá er fjallað um áhrif vinnslunnar á landhæð og þyngd og að lokum fjallað um umhverfisáhrif af borunum og blæstri borhola.

### 6.2. Orkuforði

Þessi kafli byggist á greinargerð eftir Benedikt Steingrímsson, Grím Björnsson og Ómar Sigurðsson, Orkustofnun, sem samin er eftir skýrslu um endurkvarðað reiknilíkan af jarðhitageymi Nesjavallasvæðisins (Grímur Björnsson og fleiri 2000).

#### 6.2.1. Forðafræðilegt líkan

Þrívítt reiknilíkan, svonefnt hermílikan, var þróað fyrir jarðhitakerfið á Nesjavöllum á árabílinu 1984-2000. Líkanið byggir á hugmyndalíkani af jarðhitakerfinu og innri gerð þess, einkum hvað varðar aðstreymi vökva og varma að kerfinu og dreifingu hita og þrýstings. Þá er einnig tekið tillit til rennslisgagna úr borholum og þekkra þrýstibreytinga í kerfinu vegna vinnslu. Reiknilíkanið hefur verið þróað af Guðmundi Böðvarssyni við Lawrence Berkeley National Laboratory í Kaliforníu í nánú samstarfi við sérfræðinga Hitaveitu Reykjavíkur (nú Orkuveitu Reykjavíkur) og Orkustofnunar.

Þróun fyrstu gerðar hermílikansins og frumniðurstöðum er lýst í skýrslu frá 1987 (Guðmundur Böðvarsson 1987). Líkanið hermdi strax mjög vel upphafsástand jarðhitakerfisins og vinnslusögu borholanna fyrstu ár þeirra. Síðan 1987 hefur vinnsla vatns og gufu úr svæðinu verið skráð reglulega og grannt fylgst með því hvernig jarðhitakerfið og borholurnar svara stöðugri vinnslu. Fljótlega kom í ljós að reiknilíkanið frá 1987 spáði meiri breytingum í svæðisþrýstingi, en raun varð á. Í ljósi þessa var líkanið uppfært á árinu 1992. Nauðsynlegt reyndist að breyta rennsliseiginleikum líkansins, þótt sjálf grunnbygging þess, reikninetið, væri áfram það sama, enda var hugmyndalíkanið óbreytt (Guðmundur Böðvarsson 1993). Önnur uppfærsla líkansins var gerð á árinu 1998 og sú þriðja nú í ársbyrjun 2000 (Guðmundur Böðvarsson 1998; Grímur Björnsson og fleiri 2000). Í báðum þessum uppfærslum var einungis nauðsynlegt að gera smávægilegar líkanbreytingar.

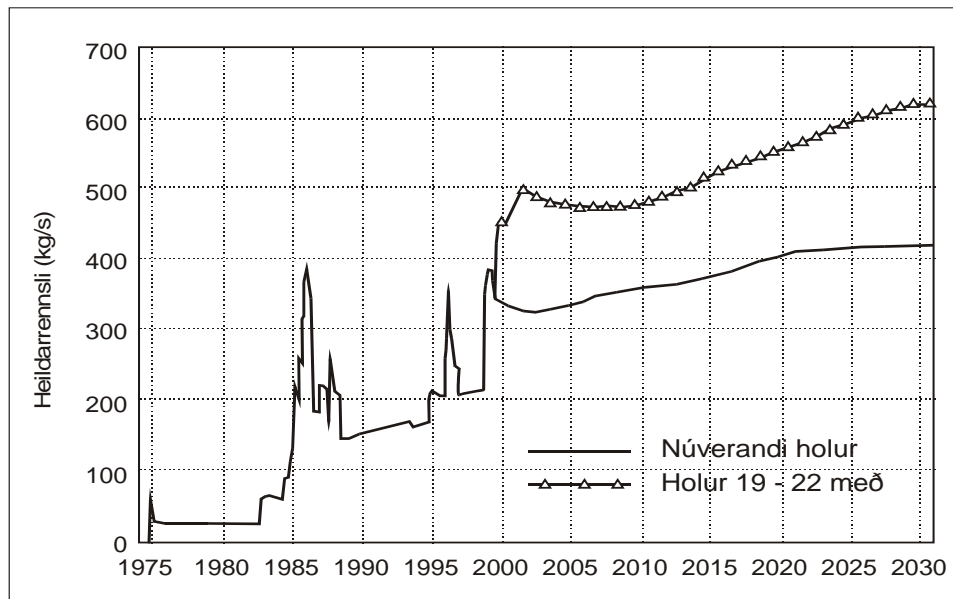
Vinnu við síðustu uppfærslu Nesjavallalíkansins er nýlokið. Líkanið er í öllum aðalatriðum hið sama og eldri útgáfur, en hermir nú upphafsástand Nesjavalla og öll tiltæk vinnslugögn til ársloka 1999. Hér á eftir verður fjallað um nýjustu niðurstöður hermireikninganna og einkum skoðuð framtíðarviðbrögð svæðisins til ársins 2030 fyrir tvö vinnslutilfelli:

Annars vegar spár um svæðisafköst, ef eingöngu verður unnið úr þeim holum sem nú eru tengdar orkuveri (holur 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14 og 16). Á myndum nefnt "*núverandi holur*".

Hins vegar spár um svæðisafköst ef holur 19, 20 sem fóru í blástur á árinu 1999 og að holur 21 og 22 fari í blástur um mitt ár 2000 og allar holurnar blási út spátímann. Á myndum nefnt: "*holur 19 - 22 með*".

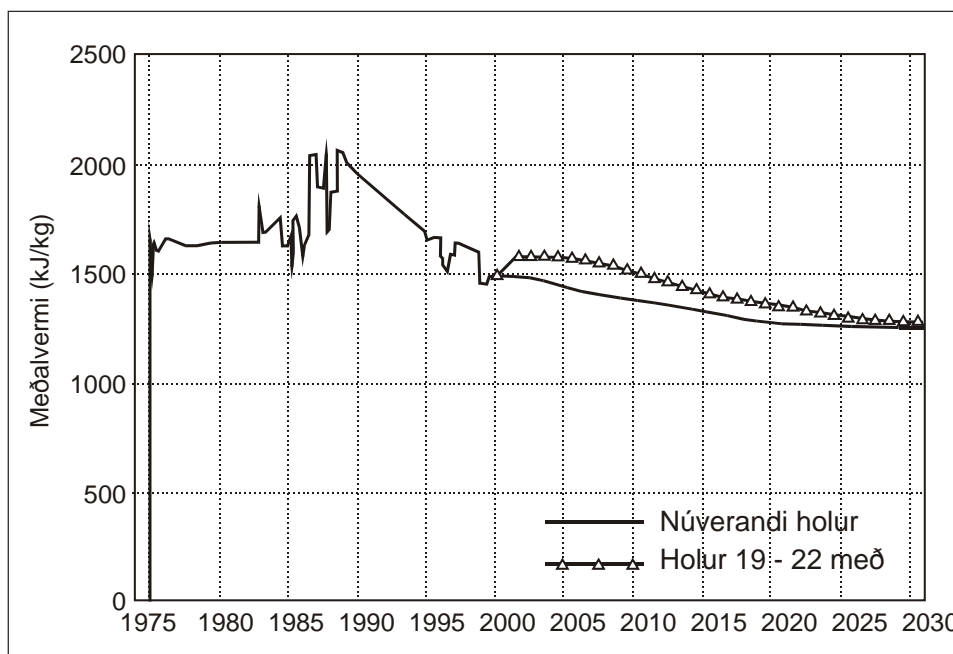
Mynd 17 sýnir reiknað heildarrennsli í kg/s upp úr öllum holum, bæði reiknaða fortíð og eins spár fram til 2030. Framan af vinnslusögunni eru áberandi toppar kringum árabílið 1985-1987 og síðan 1996 og veldur báðum prófun á borholum og upplýsingasöfnun um afkastagetu svæðisins. Vinnslan stekkur síðan upp haustið 1998 þegar nýja orkuverið fer í gang. Síðan sést í framtíðarspám að heildarrennsli helst stöðugt eða hægvaðandi út spátímann. Hermi-

reikningarnir sýna sígandi svæðisþrýsting út spátímabilið og er niðurdrátturinn í lok spátímans um 2-5 börum lægri ef holur 19-22 blása miðað við núverandi holublástur.



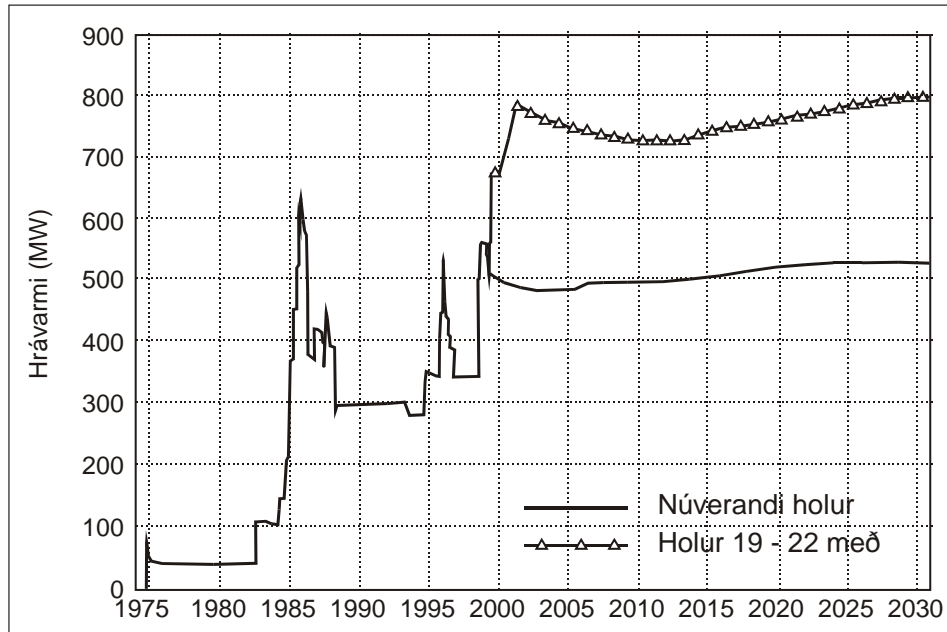
**Mynd 17. Reiknað heildarrensli úr Nesjavallasvæðinu 1975-2030.**

Mynd 18 sýnir meðalvermi reiknaða massaflaumsins á mynd 17. Áberandi eru stökk í vermi upp úr 1985-6 þegar hinar þurru holur 11, 13 og 16 fara að blása. Meðalvermið sígur svo niður á við í samræmi við blotnun þessara hola. Meðalvermið lækkar síðan seint á árinu 1998 þegar blautar holur númer 7 og 14 eru teknar í rekstur. Smáhækkun verður haustið 1999 er hola 19 fer í gang en á móti hamlar svo tiltölulega lágt vermi holu 20. Vermið er síðan furðu líkt milli spátílvikanna, þó almenna reglan sé sú að svæðið hneigist til hærra vermis í upphafi aukinnar vinnslu. Reiknast meðalvermið í lok spátímans á bilinu 1250-1300 kJ/kg. Það er ígildi 280-300°C vatnshita.



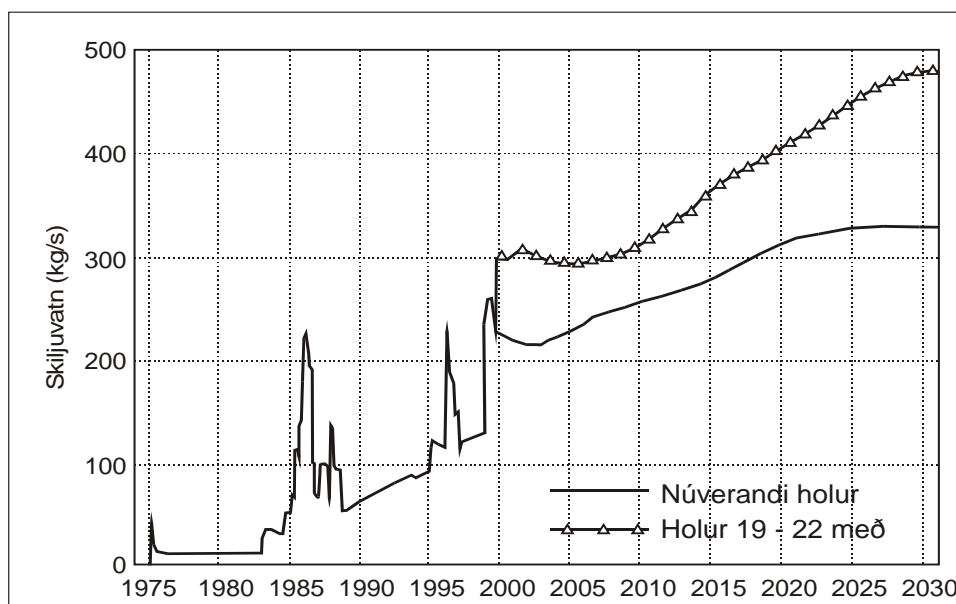
**Mynd 18. Reiknað meðalvermi úr Nesjavallasvæðinu 1975-2030.**

Á mynd 19 hafa svo gögnin á myndum 17 og 18 verið margfölduð saman og þannig reiknuð vinnsla hrávarma úr svæðinu. Hér sýnist almenna reglan að hvort tilvik skilar tiltölulega stöðugum varmastraum upp úr svæðinu. Nota má myndina til að slá á nýtni orkuversins. Er þá gert ráð fyrir að það skili 150-200 MW varma í húshitun og annað hvort 60 eða 90 MW rafmagns. Nýting upptekins varma verður þá á bilinu 30-50% eftir reikningsaðferð, sem er mjög góð nýtni miðað við jarðvarmavirkjanir almennt.



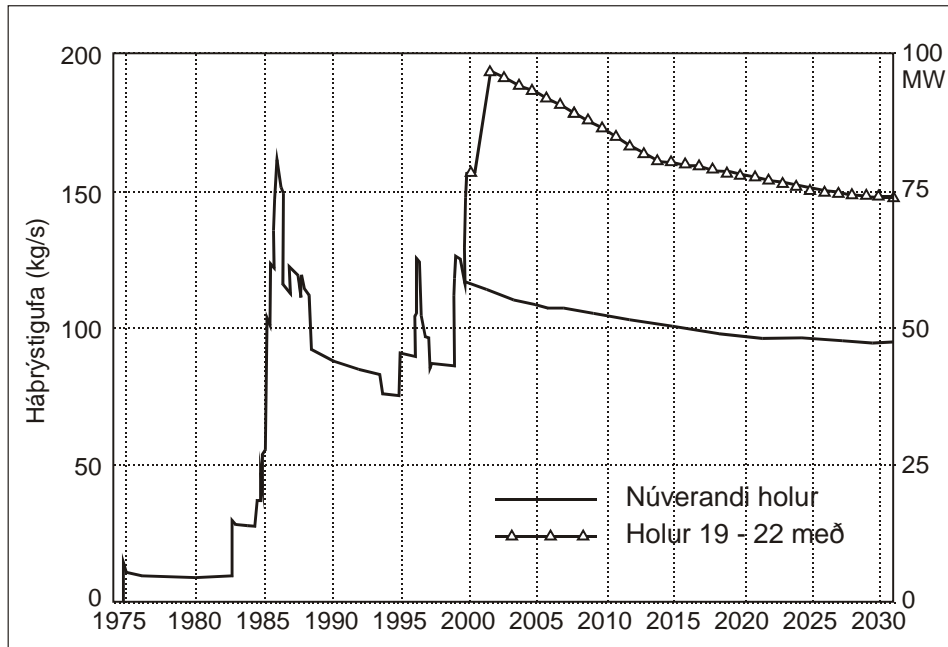
**Mynd 19. Reiknaður hrávarmi upp úr Nesjavallasvæðinu 1975-2030.**

Mynd 20 sýnir reiknað magn skiljuvatns til Nesjavallavirkjunar, miðað við að vatn og gufa séu skilin að við 12 bör. Spárnar sýna að skiljuvatnið eykst með tímanum sem er í samræmi við sígandi meðalvermið. Skiljuvatnið er 190°C heitt og sýnist því vel séð fyrir þörfum hitaveituhluta orkuversins allan spátímann. Mun afkastageta hans fremur aukast en hitt.



**Mynd 20. Reiknað rennsli 190°C skiljuvatns 1975-2030.**

Mynd 21 sýnir reiknað streymi háþrýstigufu úr Nesjavallaholum fram til ársins 2030. Spáð rennsli minnkar í öllum tilvikum og er ástæðan sú að rúmmál sjóðandi hluta svæðisins minnkar eftir því sem tíminn líður. Áfram er miðað við að skiljuþrýstingur sé 12 bör. Á hægri ás myndarinnar er svo sýnd áætluð rafmagnsframleiðsla miðað við að 2 kg/s háþrýstigufu þurfi til framleiðslu hvers MW.



Mynd 21. Reiknað rennsli háþrýstigufu 1975-2030.

Samkvæmt spánni nægir að tengja holur 19 og 20 við orkuverið svo núverandi orkuframleiðsla haldist allan spátímann. Eins að ef holurnar sem bora á í ár, holur 21 og 22, hitta í meðallekar æðar, duga þær með fyrri holum til að standa undir 90 MW raforkuframleiðslu í upphafi. Síðar á spátímanum verði hins vegar að bæta við 2-3 meðalholum. Hér er enn í gangi ákveðin bjartsýni um holufjölda og verður að gera ákveðinn fyrirvara um núverandi spár, að frumstæð aðferð er notuð til að meta innrennsli í borholur. Því er sá holufjöldi sem stendur undir spánum á myndum 17-21 vanmat og er gert ráð fyrir að bæta þurfi við fleiri holum á næstu 30 árum til að sjá við þeirri rýrnum. Í allt er spáð að 5-6 viðbótarholur þurfi á næstu 30 árum til að halda 90 MW raforkuframleiðslu og samsvarandi varmavinnslu.

### 6.2.2. Niðurstöður

Helstu niðurstöður af endurkvörðun reiknilíkans Nesjavalla og spár um afkastagetu jarðhitasvæðisins, eru eftirfarandi:

- Gerðar hafa verið spár um áhrif vinnslu á svæðið fram til ársins 2030. Er þá miðað við tvö tilvik: 1) að þær holur sem nú eru tengdar orkuverinu blási einar út spátímann, 2) að holur 19 og 20 frá 1999 og holur 21 og 22, sem bora á nú í sumar, blási jafnframt allan tímann.
- Almennar skilar hvort spátílik tilföllum jöfnum orkustraum fram til 2030, en meðalvermi vinnsluhola mun hins vegar síga niður á við. Fellur það úr núverandi u.þ.b. 1500 kJ/kg í 1250-1300 kJ/kg árið 2030. Þessi dölun mun koma fram í minnkandi magni háþrýstigufu með tímanum, en hægvaðandi magni 190°C heits skiljuvatns. Áframhaldandi keyrsla núverandi 200 MW varmaorkuvers samhliða 60-90 MW raforkuframleiðslu, skilar því gnægri orku til upphitunar á köldu vatni til hitaveitu, meðan lækkandi vermi er rafmagnsframleiðslunni í óhag, til lengri tíma lítið.

- Þá sýnist sem tenging hola 19 og 20 við orkuver nægi til áframhaldandi reksturs þess fram til ársins 2030 a.m.k. Stækkun í 90 MW rafmagns útheimtir borun hola 21 og 22 árið 2000, og síðan 5-6 viðbótarholur fram til ársins 2030 vegna þrýstilækkunar og kælingar í svæðinu.

Í heild sýnist því sem jarðhitageymir Nesjavalla þoli vel að rafmagnsframleiðsla þar verði aukin í 90 MW auk þeirra a.m.k. 200 MW sem framleiða má í varmaorkuverinu. Þrýstingur fellur hægt í svæðinu og eykst niðurdráttur einungis um 2-5 bör verði virkjunin stækkuð í 90 MW. Þá er ljóst að svæðið dugar áfram vel til heitavatsframleiðslu eftir árið 2030, meðan meiri óvissa ríkir um rafmagnshlutann vegna minnkandi hlutfalls háþrýstigufu með tímanum og kælingar í útjörðum svæðisins. Þá getur lækkað meðalvermi hola leitt til þess að lækka verði skiljuþrýsting á spátímanum.

### 6.3. Massabreytingar

Hitaveita (Orkuveita) Reykjavíkur hefur staðið fyrir viðamikilli vöktun varðandi breytingar á landi (landmælingar og þyngdarmælingar). Þær voru í fyrstu kostaðar af Orkuveitu Reykjavíkur vegna Nesjavalla og ríkinu vegna almennra upplýsinga um jarðfræðilegar breytingar á Hengilssvæði, en síðustu árin hefur Orkuveitan ein staðið fyrir þessari vöktun. Samandregnar niðurstöður um þessar mælingar má lesa í úrdrætti síðustu tveggja skýrsla frá Orkustofnun um þetta efni.

#### 6.3.1. Núverandi ástand

Í skýrslu frá Orkustofnun er gerð grein fyrir þyngdarmælingum á Nesjavalla - og Hengilssvæðinu til að fylgjast með hugsanlegum massabreytingum vegna jarðhitavinnslu Nesjavallavirkjunar (Hjálmar Eysteinnsson 1998). Mælingarnar eru gerðar fyrir Hitaveitu Reykjavíkur og er þeim ætlað að gefa upplýsingar um breytingar á vatnshæð í jarðhitasvæðinu á Nesjavöllum, þ.e. mismun þess magns of jarðhitavökva sem tekinn er upp og náttúrulegs innstreymis. Mælingarnar fóru fram sumarið 1998 og var þyngdarmælt í 94 fastmerkjum en áður hafði verið hæðarmælt í þeim. Mælingarnar 1998 eru bornar saman við eldri mælingar, allt frá 1990. Til 1994 var óveruleg breyting á þyngd á svæðinu, en þá mældist þyngdarlækkun að meðaltali 60  $\mu$ gal. Síðan eykst þyngdin aftur fram til 1998 um svipað gildi nema í fastmerkjum við Katlatjarnir, þar sem hún hafði aukist um 150  $\mu$ gal. Samkvæmt hæðarmælingum var hægfare sig um 4-5 mm/ári á virkjunarsvæðinu til 1994, en frá því ári til 1998 rís land um 56 mm (14 mm/ári) og mun meira í Þverárdal og á Ölkelduhálsi (21 mm/ári). Þessar breytingar í hæð og þyngd ná yfir stærra svæði og eru meiri en svo að hægt sé að rekja þær til massatöku á virkjunarsvæðinu. Telja verður líklegt að þær stafi af náttúrulegri jarðfræðilegri virkni á svæðinu, samfara aukinni skjálftavirkni.

Í skýrslu frá Orkustofnun í maí 2000 er greint frá GPS-mælingum (Gunnar Þorbergsson 2000). Mælt var í línunum meðfram vegum frá Mosfellsheiði að Nesjavallavirkjun, að Grafningsvegi og áfram austur fyrir Ölfusvatnsá. Einnig kringum virkjunina og þaðan yfir Ölkelduháls að Þjóðvegi 1 og loks frá Svínahrauni austur yfir Helligsheiði að Ölfusborgum. Niðurstöðurnar voru annars vegar bornar saman við mælingar eftir skjálftahrinu í júní 1998 og hins vegar við mælingar í júní 1999. Litlar breytingar hafa orðið 1999-2000, nema hvað land hefur sigið um tæpa 2 cm vestan og sunnan Nesjavallavirkjunar. Vatnsborð voru mæld við sjö hæðarmerki við Þingvallavatn og bornar saman við vatnsborðsmælingar 1994. Norðurendi vatnsins hefur sigið um 3 cm miðað við suðurendann á þessum sex árum.

#### 6.3.2. Niðurstöður

Meginniðurstöðurnar eru að landsig og massalækkun sem varð fyrir 1994 gekk ríflega til baka 1994 til 1998. Frá 1998 hafa litlar breytingar orðið. Land hefur sigið um 2 cm sunnan og

vestan virkjunarinnar. Jafnframt hefur norðurendi Þingvallavatns sigið um 3 cm miðað við suðurenda þess. Niðurstöður Orkustofnunar eru að þessar breytingar í hæð og þyngd nái yfir stærra svæði og eru meiri en svo að hægt sé að rekja þær til massatöku af virkjunarsvæðinu. Telja verði líklegt að þær stafi af náttúrulegri jarðfræðilegri virkni á svæðinu, samfara aukinni skjálftavirkni.

Af þessum sökum eru engar sérstakar mótvægisáðgerðir taldar nauðsynlegar. Orkuveita Reykjavíkur mun halda áfram vöktun svæðisins með því að láta fara fram reglulegar hæðar og þyngdarmælingar.

## 6.4. Umhverfisáætlir borana

### 6.4.1. Lýsing borana

#### Jarðrask.

Búast má við einhverju jarðraski vegna borana, en gert er ráð fyrir að bora 2-3 nýjar vinnsluholur vegna stækkunarinnar fljótlega en 5-6 síðar. Hugsanlega má nýta rannsóknarholur nr. 21 og 22 sem vinnsluholur og þarf þá ekki að bora strax. Útbúa þarf 3.200-3.400 m<sup>2</sup> borstæði fyrir hverja holu, leggja veg að hverju borstæði og tengja tilbúna holu við gufuveitu með safnæð. Til að halda jarðraski í lágmarki verður reynt að notast við sem fæst borsvæði með því að stefnubora fleiri en eina holu frá hverju borsvæði. Að borunum loknum verður borstæðið minnkað, snyrt og sáð í kanta og sár í umhverfi þess.

#### Borvatn.

Við borun vinnsluhola þarf vatn til kælingar og skolunar á borsvarfi upp úr holunni. Þetta vatn verður tekið frá borvatnsveitu Nesjavallavirkjunar. Gert er ráð fyrir að lögð verði vatnslögn frá vatnstökustað að borstað á meðan á borun stendur, en lögnin verði síðan fjarlægð að borun lokinni. Lögnin verði úr léttu efni þannig að lagning hennar valdi sem minnstu jarðraski.

Þegar ekkert eða lítið skoltap er í holunni kemur vatnið, sem notað er til kælingar við borun, með borsvarfið með sér upp úr holunni. Borvatnið sem frá bornum kemur er sigtað, grófasta borsvarfið skilið frá og fellur það á borstæðið við hlið dælukars og jafnað er úr því jafnóðum á borstæðinu. Fínni sandur er skilinn frá í sandskiljum (sýklónum). Við borun þarf um 30 til 40 l/s af vatni að staðaldri á borinn og í einstaka tilfellum allt að 60 l/s ef algert skoltap verður. Þegar þetta gerist kemur lítið eða ekkert vatn með borsvarf upp úr holunni og þá sagt að borað sé blint. Átt er við að ekkert er vitað um hvernig berg er verið að bora í gegnum. Slíkt skoltap verður oft þegar verið er að bora vinnsluhluta holunnar. Borvatn frá öllum fyrirhuguðum borsvæðum mun renna í Nesjavallalæk. Frá borsvæðum A og D mun vatn renna í vatnsveg sem á vorin tekur við leysingavatni og þaðan í Nesjavallalækinn. Frá borsvæðum B mun vatn renna beint í Nesjalahaugagil, en frá borsvæði B um vatnsveg leysingavatns í gilið.

#### Borleir.

Þegar borað er fyrir öryggisfóðringu er borvatnið oft blandað borleir og vítissóða. Búin er til borleðja til að skola borsvarfið upp úr holunni. Þegar borleðja er notuð er henni hringrásað um dælukar aftur niður í holuna. Borleirinn er hreinsaður náttúrulegur bentónítleir, sem er víða notaður sem hjálparefni við boranir og til þéttinga á stíflum og skurðum. Sjá samsetningu bentónítleirs í töflu 6.1 (Jarðboranir 2000). Leirinn telst skaðlaus (nontoxic). Gert er ráð fyrir að notkun geti orðið allt að 25 tonn af bentónítleir fyrir hverja holu. Meðalnotkun hefur þó verið nær 10 tonnum fyrir hverja holu.

**Tafla 6.1. Efnainnihald bentonítleirs.**

<b>Efni</b>	<b>Innihald</b>
	<b>%</b>
SiO <sub>2</sub>	58,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,8
CaO	0,4
MgO	2,6
Na <sub>2</sub> O	2,7
K <sub>2</sub> O	0,8
Glæðitap	6,5

**Steyping fódninga.**

Til steypingar fódninga þarf um 130 tonn af þurrefnum. Þetta eru Portlandsement, kísilsall og perlusteinn. Stálrör til fódninga á hverri holu eru: 60-80 m yfirborðsfóðring 18<sup>5/8</sup>", 300 m öryggisfóðring 13<sup>3/8</sup>", 800 m vinnslufóðring 9<sup>5/8</sup>" og 1200 m leiðari 7". Á tímabili inniheldur því vatnið einnig smávegis af sementsefju þegar steyp er

**Borsvarf.**

Við borstæðin er útbúin safnþró fyrir borsvarf. Umframvatni, sem ekki er notað aftur við skolun svarfs, er fleytt um yfirfall úr dælukari borsins í safnþróna. Í henni botnfallur fíngert svarf, borleðja þegar hún er notuð og steypueðja sem berst frá holunni í lok steypingar. Vatnið fer um yfirfall úr safnþrónni og er leitt í náttúrulegan vatnsveg eða læk. Búast má við að yfirfallsvatnið litist af fíngerðum jarðefnum þegar borað er í gegnum ákveðin jarðlög. Þegar boruð var rannsóknarhola á Ölkelduhálsi var sérstaklega fylgst með þessum þætti og áhrifum hans í Ölfusvatnsá. Ekki varð vart við skaðleg áhrif í ánni (Hafsteinn Gunnarsson 2000). Heildarmagn borsvarfs er áætlað um 150 m<sup>3</sup> fyrir hverja holu. Að borun lokinni verður jafnað yfir safnþróna.

Annar möguleiki á frágangi er að tæma safnþró að borun lokinni og urða borsvarfið á viðurkenndum urðunarstað að borunum loknum. Gert er ráð fyrir að nota urðunarstað á Nesjavöllum (sjá mynd 2), en leitað verður umsagnar Náttúruverndar ríkisins áður ef til þess kemur.

**Barít.**

Ef gos verður í holunni og útbúa verður leðju með hárrí eðlisþyngd til að hemja holuna þá er búin til borleðja úr baríti (baríumsúlfati) sem er eðlisþungt efni og næst þá eðlisþyngd á borleðjunni 1,4-1,8 g/cm<sup>3</sup>. Þessari borleðju er safnað í safnþróna að notkun lokinni eins og annarri borleðju. Gerð er krafa um að við borun séu tiltæk allt að 20 tonn af baríti, sem nægir til að fylla 500 m djúpa 12<sup>1/4</sup>" holu einu og hálfu sinni. Reynsla af notkun baríts á Nesjavöllum er sú að til þess hefur þurft að grípa við borun þrisvar sinnum við þær 22 holur sem boraðar hafa verið. Samtals hafa verið notuð 104 tonn af baríti í þessi skipti.

Baríum og sambönd þess eru á lista II b í reglugerð nr. 796 um mengun vatns og lista II í reglugerð nr. 797 um mengun grunnvatns og er því krafist starfsleyfis vegna losunar þess (Stjtið.B, Nr. 797/1999). Barít er hins vegar torleyst samband baríums og meðal annars gefið

sjúklingum innvortis við rannsóknir. Barít er náttúruleg steind sem myndast úr kvikuveissum, einkum í grennd við djúpbergssinnskot. Barít er mjög fágætt á Íslandi en hefur fundist á yfirborði í grennd við þrjár megineldstöðvar á Austurlandi (Kristján Sæmundsson og Einar Gunnlaugsson 1999). Nokkrar milljónir tonna eru unnin af baríti í heiminum á ári. Um 90% fer til borleðjugerðar, en einnig er barít notað við pappírsgerð og málningarframleiðslu (Büchner og fleiri 1989).

### **Önnur efni.**

Ýmis efni eru notuð við boranir auk þeirra sem áður er lýst. Jarðboranir hf., sem borað hafa borholurnar á Nesjavöllum, hefur gefið út handbók um stefnu sína í umhverfismálum (Jarðboranir hf. 2000). Auk stefnu fyrirtækisins í umhverfismálum eru þar að finna vinnulýsingar um meðferð úrgangsefna, olíu og hjálparefna, sem notuð eru á borsvæðum. Með þessum vinnulýsingum er stefnt að öruggri og skilvirkri meðhöndlun efnanna, bæði með tilliti til aðstæðna á vinnustað og umhverfis.

### **Hávaði.**

Reikna má með einhverjum hávaða við borunina, en hann fer þó sjaldnast yfir 90 dB(A). Eftir borun eru borholur venjulega látnar blása í um 6 mánuði. Frá borholu í blæstri má reikna með hávaða á bilinu 70-110 dB(A). Nokkur munur getur verið á hávaða milli einstakra hola eftir hlutfalli gufu og vatns. Niðurstöður mælinga sem gerðar voru við holu 19 á Nesjavöllum voru að 85 dB(A) mældist í 10 m fjarlægð og 78 dB(A) í 20 m fjarlægð. Fjallað er um umhverfis-áhrif af hávaða í kafla 15.

### **Jarðhitagastegundir.**

Gufan, sem holan blæs af sér, fer frá hljóðdeyfi út í andrúmsloftið eins og útstreymi úr gufu-augum á svæðinu og gufuháfum virkjunarinnar. Ef holan verður mjög öflug, má gera ráð fyrir að einhver vatnsúði berist með gufustróknum næst holunni. Gera má ráð fyrir að efnasamsetning gufunnar verði svipuð og frá öðrum holum á Nesjavöllum. Helstu gastegundirnar í gufunni eru koldíoxíð ( $\text{CO}_2$ ), brennisteinsvetni ( $\text{H}_2\text{S}$ ), vetni ( $\text{H}_2$ ) og köfnunarefni ( $\text{N}_2$ ). Brennisteinsvetni er sú gastegund, sem veldur hinni þekktu hveralykt. Þetta er eitruð gastegund og hættuleg ef styrkur hennar er ofan vissra hættumarka. Efnainnihald gufu frá nýjum borholum er að öllum líkindum svipað og frá öðrum borholum á Nesjavöllum. Reiknað er með að þetta gas fari út í loftið frá hljóðdeyfi á meðan á blæstri holunnar stendur. Sjá umfjöllun um umhverfisáhrif af losun jarðhitagastegunda í kafla 19.

### **Affallsvatn.**

Helstu áhrif af blæstri borhola eru vegna vatns og gufu í vökvanum, sem upp úr henni kemur. Upp koma sömu efni og streyma frá yfirborðsjarðhita á svæðinu. Blástur borholu eykur vatns- og gufustreymi. Vatnið verður leitt að vatnsvegi eða læk í nágrenni borstæðisins. Búast má við að hiti í lækjum næst útrenslinu hækki eitthvað næst holunni á meðan á þessu stendur. Jafnframt má búast við að styrkur uppleystra efna í lækjum aukist, einkum kísils. Því má búast við smávægilegum útfellingum kísils í lækjarfarvegum næst holunni. Affallsvatn frá öllum fyrirhuguðum borsvæðum mun renna í Nesjavallalæk. Frá borsvæðum A og D mun vatn renna í vatnsveg sem á vorin tekur við leysingavatni og þaðan í Nesjavallalækinn. Frá borsvæðum B mun vatn renna beint í Nesjalaugagil, en frá borsvæði B um vatnsveg leysingavatns í gilið.

#### 6.4.2. Niðurstöður

Dregið verður úr raski með því að fækka borsvæðum og bora fleiri en eina holu af hverju borsvæði með stefnuborun. Að borunum loknum verður borstæði og umhverfi þess snyrt. Svarfpró verður sett upp til að láta fíngert efni botnfalla. Yfirfallsvatni og affallsvatni við blástur verður veitt í náttúrulega vatnsveg eða lækjarfarvegi Nesjavallalækjar.

Við blástur úr öflugum holum getur jörð titrað næst þeim við vissar aðstæður. Að öðru leyti er ekki talið að blástur hafi áhrif á skjálftavirkni. Hljóðdeyfar verða settir við holur þegar þær eru láttnar blása.

Gufan, sem holan blæs af sér, fer frá hljóðdeyfi út í andrúmsloftið eins og útstreymi úr gufuaugum á svæðinu og gufuháfum virkjunarinnar. Ef holan verður mjög öflug, má gera ráð fyrir að einhver vatnsúði berist með gufustróknum næst holunni. Gera má ráð fyrir að efnasamsetning gufunnar verði svipuð og frá öðrum holum á Nesjavöllum. Hætta stafar aðallega af H<sub>2</sub>S þar sem það getur safnast saman á innilokuðum stöðum eða í lögðir. Lokað (læst) hús verður sett yfir holutoppa, til að hindra að fólk komist í borholukjallara, en þar getur eitnað brennisteinsvetni safnast fyrir.



## 7. GRÓÐURFAR.

### 7.1. Inngangur

Gróður Nesjavalla var kortlagður af Rannsóknarstofnun landbúnaðarins (RaLa) 1969, en haustið 1984 var kortlagningin endurskoðuð með tilliti til hugsanlegra breytinga og ástand gróðurs og jarðvegs kannað að ósk Umhverfismálaráðs Reykjavíkurborgar. (Rannsóknastofnun landbúnaðarins 1985). Árið 1990 gaf RaLa út gróðurkort af Hengils-svæðinu í kvarðanum 1:25.000, sem kostuð voru að hluta af Hitaveitu Reykjavíkur (Rannsóknastofnun landbúnaðarins 1990). Sjá mynd 22.

Vegna þessa verkefnis var leitað til Náttúrufræðistofnunar Íslands um mat á verndargildi gróðurfars á Nesjavallasvæðinu. Það var mat sérfræðinga Náttúrufræðistofnunar að fyrirbyggjandi gögn um gróðurfar væru ekki nægileg til að leggja mat á verndargildi þess. Auk þess hafði ekki verið leitað að fágætum plöntum á vinnslusvæðinu. Eftirfarandi kafli byggist á niðurstöðum RaLa frá 1985 og Náttúrufræðistofnunar 2000.

### 7.2. Núverandi staða

Við rannsóknir RaLa voru lögð út tvö mælingahólf í landi Nesjavalla, hvort um sig 1 x 2 km, þar sem tegundasamsetning helstu gróðurhverfa í hvoru hólfu var mæld. Rof voru talin á línunum innan hólfanna og metin virkni þeirra.

Í niðurstöðum RaLa segir m.a.:

*“Gróður á Nesjavöllum einkennist af mosapembum, graslendi, skóg- og kjarrlendi. Graslendi er lang mikilvægasta gróðurlendið á svæðinu með tilliti til beitar, þó að það sé þar rýrara en að meðaltali gerist fyrir graslendi hérlendis. Mosapembur eru í eðli sínu mjög léleg og viðkvæm gróðurlendi. Skóg- og kjarrlendi á jörðinni er mjög á undanhaldi, m.a. vegna beitar.*

*Jarðvegur á Nesjavallalandi er viðkvæmur og mikil jarðvegseyðing á sér þar stað, sérstaklega í hlíðum og efri hluta dalsins.”*

Í framhaldi af þessu var samið við ábúanda að selja Framleiðnisjóði landbúnaðarins fullvirðisrétt sinn til sauðfjárhalds haustið 1989 og hófst Vinnuskóli Reykjavíkur svo handa við uppgræðslu og skógrækt á vegum Hitaveitu Reykjavíkur í framhaldi af því.

Vegna skorts á upplýsingum til að leggja mat á verndargildi gróðurfars var gerður samningur við Náttúrufræðistofnun um rannsóknir á gróðurfari á Nesjavöllum í ársbyrjun 2000. Í verkefni Náttúrufræðistofnunar fólst:

- Að fara um svæðið og kortleggja gróður þess í mælikvarðanum 1:5000. Gróðurkort í þessum mælikvarða gefur greinargott yfirlit yfir gróðurlendin, stærð þeirra og umfang. Leggja mat á gildi gróðurlenda sem finnast á svæðinu og lagt á ráðin um hvernig komast megi hjá neikvæðum umhverfisáhrifum á þau.
- Að skrá háplöntur á svæðinu og leita uppi staði þar sem gróðurfari er sérstætt á einhvern hátt. Þessum stöðum og einstökum tegundum sem fágætar teljast verður lýst og gerð grein fyrir gildi þeirra á héraðs- og landsvísu.
- Tillögur um vöktun gróðurfars á svæðinu í framtíðinni.

Verkefnið var unnið snemmsumars. Niðurstöður skráningar háplantna og sérstæðs gróðurfars liggur nú fyrir, en gróðurkort og lokaskýrsla síðar á árinu. Þessi gögn munu svo nýtast við umhverfissvöktun þá sem fyrirhuguð er á Nesjavöllum í framtíðinni og til upplýsinga fyrir ferða- og útivistarfólk.

### 7.3. Niðurstöður

Við könnun á útbreiðslu háplantna á svæðinu og fundust um 100 tegundir. Engin þeirra telst vera sjaldgæf.

Ekki er lokið við teikningu gróðurkorts en ekkert bendir til þess af þeim gögnum sem Náttúrufræðistofnun hefur undir höndum að sjaldgæf gróðurlendi fari til spillis við framkvæmdir. Ólíklegt er að fleiri athugasemdir verði gerðar varðandi gróðurfar eftir að gerð gróðurkorts líkur nema þá smávægilegar.

Bent er á að á svæðinu er votlendi afar fágætt. Stærstu votlendisblettirnir sem fundist hafa eru beggja megin vegar nálægt vinnsluholu NV4. Lagt er til að þessum blettum verði ekki raskað meira en orðið er.

Í því skyni að vakta hvort orkuvinnslan á Nesjavöllum hafi áhrif á gróðurfar til lengri tíma litið verður gróðurfarsrannsóknnum haldið áfram. Tíðni athugana verður í samræmi við tillögur Náttúrufræðistofnunar Íslands. Tilgangurinn er að sjá hvort neikvæðra áhrifa verður vart svo hægt sé að grípa til sérstakra mótvægisáðgerða.

**Mynd 22. Gróðurkort af Nesjavöllum**



## 8. FUGLALÍF.

### 8.1. Inngangur

Rannsóknir á fuglalífi umhverfis Þingvallavatn eru mun veigaminni en t. d. rannsóknir við Mývatn. Viðamesta rannsóknin sem vitað er um eru athuganir Kjartans G. Magnússonar 1980-1989 (Kjartan G Magnússon 1992). Flestar þessar rannsóknir eiga það sammerkt að aðaláherslan hefur verið lögð á norðurhluta vatnsins. Kjartan athugaði þó einnig fuglalíf í landi Nesja, skammt frá Nesjavöllum. Þá hefur Náttúrufræðistofnun einnig rannsakað fuglalíf í landi Ölfusvatns í rannsóknarverkefni fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.

### 8.2. Núverandi staða

Þar sem engar skipulagðar rannsóknir hafa farið fram á fuglalífi á Nesjavöllum var gerður samningur við Náttúrufræðistofnun um rannsóknir á fuglalífi þar. Fuglalífið var skoðað tvisvar. Í fyrsta lagi voru fuglar taldir áður en snjóá leysti í og við volgu lækina og þannig aflað upplýsinga um vetrarfánuna. Í öðru lagi voru fuglar taldir að vori með sniðtalningu til að afla upplýsinga um varpfuglafánuna og þéttleika hennar. Gögn sem Náttúrufræðistofnun hefur aflað fyrir Orkuveitu Reykjavíkur um fuglalíf í landi Ölfusvatns voru notuð til samanburðar. Í þriðja lagi gerir Náttúrufræðistofnun tillögur um vöktun fuglalífs á svæðinu í framtíðinni.

Vettvangsvinnu við þetta verkefni er lokið, en lokaskýrslan mun verða tilbúin í októberlok. Þessi gögn munu svo nýtast við umhverfisvöktun þá sem fyrirhuguð er á Nesjavöllum í framtíðinni og til upplýsinga fyrir ferða- og útivistarfólk.

Fuglalíf á svæðinu hefur verið kannað og yfirlit komið yfir þær tegundir fugla sem halda til á svæðinu í lok veturs og að sumarlagi. Alls fundust 4 tegundir í vetrarlok en 16 að sumri, samtals 18 tegundir. Engin þeirra er sjaldgæf á landsvísu. Þéttleiki mófugla að sumri var í meðallagi, mestur í kvosinni þar sem orkuverið er, nánar afmarkað af Grafningsvegi í norðri, Stangarhálsi í austri, hlíðinni við sumarbústað í suðri og Fálkaklettum í vestri.

### 8.3. Niðurstöður

Engin þeirra 18 tegunda sem fundust við rannsóknir Náttúrufræðistofnunar á orkuvinnslu-svæðinu er sjaldgæf á landsvísu. Mestur þéttleiki mófugla er í kvosinni umhverfis orkuverið. Talið er ólíklegt að stækkun Nesjavallavirkjunar muni spilla fuglalífi á svæðinu.

Í því skyni að vakta hvort orkuvinnslan á Nesjavöllum hafi áhrif á fuglalíf til lengri tíma litið verður fuglalífsrannsóknum haldið áfram. Tíðni athugana verður samkvæmt tillögum Náttúrufræðistofnunar Íslands. Tilgangurinn er að sjá hvort neikvæðra áhrifa verður vart svo hægt sé að grípa til sérstakra mótvægisáðgerða.



## **9. HVERAÖRVERUR.**

### **9.1. Inngangur**

Vegna þessa verkefnis var haft samband við dr. Jakob Kristjánsson, rannsóknarprófessor í líftækni við Líffræðistofnun Háskóla Íslands, og hann beðinn um mat á sérstöðu hveralífríkis á vinnslusvæði Nesjavallavirkjunar. Eftirfarandi kafli byggir á svari Jakobs (Jakob K. Kristjánsson 2000).

### **9.2. Núverandi staða**

Ekki hafa miklar rannsóknir farið fram á lífríki hvera á Nesjavallasvæðinu en Jakob Kristjánsson hefur farið tvo leiðangra til að skoða svæðið og safnað nokkrum sýnum til ræktunar í annað skiptið. Mun meiri rannsóknir hafa farið fram á öðrum hverasvæðum á Hengilssvæðinu, t.a.m. í Grændal og á Ölkelduhálsi. Jakob hefur skoðað hverina nálægt veginum vestan við virkjunina, þar sem nú eru fyrir all margar borholur. Einnig hefur hann kannað lauslega hverasvæðin sem eru í giljunum í suðvestur frá Nesjavöllum í hlíðum Hengils. Ekki eru til neinar rannsóknir á hveralíffræði á svæðinu frá því fyrir virkjun en hveravirkni er mikil á öllu svæðinu og ekki virðist sem fyrri boranir hafi haft þar mikil áhrif til að draga úr henni.

Megingerðir hvera á þessu svæði eru súrir brennisteins- og leirhverir, ásamt gufuaugum (svonefnd solfatarasvæði). Lítið er um vatnshveri nema á stöku stað þar sem yfirborðs- eða grunnvatn rennur út í hverina, eins og í giljunum. Hverasvæði af þessum gerðum eru mjög algeng á öllu Hengilssvæðinu og ekki er ástæða til að ætla að hverasvæðin á Nesjavöllum séu neitt sérstök umfram önnur svipuð svæði þar um slóðir.

### **9.3. Niðurstöður**

Hverasvæðin á Nesjavöllum hafa enga sérstöðu hvað varðar lífríki umfram önnur sambærileg svæði á Hengilssvæðinu.

Talið er ólíklegt að fyrirhuguð stækkun virkjunarinnar breyti neinu um stöðu hveralífríkis umfram það sem nú er.

Þar sem hér er um litla aukningu að ræða m.v. núverandi virkjunarheimildir er ekki talin þörf á frekari rannsóknum eða gagnaöflun vegna málsins. Búist er við litlum áhrifum á lífríki hvera á Nesjavöllum.

Það er því ekki talin ástæða til að grípa til sérstakra mótvægisáðgerða.



## 10. LÍFRÍKI ÞINGVALLAVATNS.

### 10.1. Inngangur

Þessi kafli byggist á skýrslu Sigurðar S. Snorrasonar og Gunnars Steins Jónssonar. Sjá nánar í viðauka 2.

### 10.2. Lýsing

Í Nesjavallahrauni blandast affallsvatn frá orkuverinu á Nesjavöllum grunnvatni sem ættað er úr norðausturhlíðum Hengilsins. Þetta vatn kemur fram í lindum á mótum Nesjavallahrauns og Þingvallavatns og er eitt meginútrennslið að finna í Varmagjá sunnanvert í Þorsteinsvík. Auk þéttivatns og kælivatns kemur frá orkuverinu nokkuð magn skiljuvatns, en í því er talsvert af snefilmálmum sem komnir eru úr iðrum jarðar með jarðgufunni (Jón Ólafsson 1992). Rannsóknir Líffræðistofnunar sem hér greinir frá eru framhald athugana á snefilmálmum í lífríki Þingvallavatns sem fyrst voru gerðar 1989 og endurtekna árin 1994, 1995 og 1996. Frá þeim var greint í tveimur skýrslum sem unnar voru fyrir Hitaveitu Reykjavíkur (Sigurður S. Snorrason og Gunnar St. Jónsson, 1995 og 1996).

Meginniðurstöður framangreindra rannsókna voru að styrkur snefilmálma sé almennt lágur í Þingvallavatni og gildir það jafnt um Varmagjá og Vatnskot, sem er við norðurströnd vatnsins og ekki undir áhrifum jarðvarma. Það var því ekkert sem benti til þess að starfsemi á Nesjavallasvæðinu hefði leitt til mælanlegrar snefilmálmamengunar í lífríki í Þorsteinsvík og var styrkur mældra snefilmálma í lífverum innan marka er vænta má í hreinu umhverfi.

Þingvallavatn er mikil náttúruperla og því ber að gera ráðstafanir til þess að fyrirbyggja alla hugsanlega mengun vatnsins af mannavöldum. Reglulega hefur verið fylgst með efna-innihaldi affallsvatns og snefilmálmstyrk í lífríki vatnsins í næsta nágrenni linda í Varmagjá. Í skýrslu Sigurðar S. Snorrasonar og Gunnars St. Jónssonar (1996) var sérstaklega mælt með að sérstakar mælingar skyldi gera í kjölfar breytinga á Nesjavallasvæðinu er hugsanlega gætu leitt til mengunar.

Árið 1998 breyttist starfsemi orkuversins verulega en þá var hafin raforkuframleiðsla. Helstu breytingar á magni affallsvatns frá virkjuninni sem af þessu stafa voru aukning á skiljuvatni úr 100-120 kg/s í 250-260 kg/s en þéttivatn jókst úr um það bil 100 kg/s í 115 kg/s. Þá kom til allmikill afgangur af um 42°C heitu kælivatni frá túrbínunum, um 600-650 kg/s, sem er aðalástæða mikillar rennslisaukningar sem orðið hefur í affallinu.

Áætlað er að stækkun raforkuversins upp í leyfilegt hámark (76 MW) og frekari stækkun upp í 90 MW munu valda aukningu í affalli virkjunarinnar sem hér segir:

**Tafla 10.1. Streymi affallsvatns fyrir og eftir stækkun.**

	Við 76 MW afl	Við 90 MW afl
Skiljuvatn	260 kg/s	320 kg/s
Þéttivatn	140 kg/s	175 kg/s
Kælivatn, allt að	1100 kg/s	1300 kg/s

Þótt skiljuvatn myndi næstum þrefaldast við þessar breytingar verður að teljast nær útilokað að það gæti leitt til marktækrar snefilmálmamengunar í Þingvallavatni. Vindknúin blöndun vatns er hröð í Þingvallavatni þannig að vatn sem rennur úr smáum lindum undan Nesjahrauni blandast fljótt í vatnsbolnum og efni sem kunna að vera í meiri styrk í lindunum þynnast hratt.

Mælanleg áhrif yrðu takmörkuð við næsta nágrenni linda þar sem affallsvatnsins gætir. Vert er að fylgjast vel með því hvort hin mikla aukning kælivatns frá virkjuninni veldur aukningu í hita linda er renna í vatnið.

Með hliðsjón af þeim breytingum sem nú hafa orðið og fyrirhugaðar eru þótti rétt að gera eftirfarandi:

- 1) Endurtaka mælingar á snefilmálmum í lífríki í Varmagjá.
- 2) Gera mælingar á næringarsöltum og hita í affallsvatni og í lindum í Nesjavallahrauni.
- 3) Gera grunnúttekt á lífríki (gróður og fuglalíf) á Nesjavallasvæðinu.

Í maí 2000 voru sýni tekin af vatnabobba, síkjamara og seti í Vatnskoti og Varmagjá í Þorsteinsvík. Reynt var að veiða dvergbleikju en veiði var lítil sem engin og var sýnataka á dvergbleikju endurtekin á báðum stöðum í byrjun júlí. Vatnssýni voru tekin af skiljuvatni og vatni í lindum í Nesjahrauni í lok júní 2000 og send til SGAB Analytica í Svíþjóð. Niðurstöður þessara mælinga liggja nú fyrir.

Í heild sýna niðurstöður þær sem nú liggja fyrir engin merki um snefilmálmamengun í lífríki Þingvallavatns sem rekja mætti til byggingar og reksturs orkuversins á Nesjavöllum.

Í skýrslu frá 1996 var talið ráðlegast að túlka stærstan hluta þess breytileika í tíma og rúmi sem fram hafi komið í þessum mælingum og ekki gat talist til mæliskekkju sem náttúrulegan breytileika. Sumt af þessum náttúrulega breytileika er líklega kerfisbundinn, þ.e. hann fer eftir því hvaða lífverur eiga í hlut. Í þessum athugunum er hins vegar fyrst og fremst verið að grennslast fyrir um hvort einhverjar þær breytingar hafi orðið á styrk snefilmálma í lífríki Varmagjár sem rekja megi til umsvifa á Nesjavallasvæðinu og tengjast virkjun jarðvarma þar.

Þær niðurstöður sem nú liggja fyrir frá árinu 2000 benda almennt ekki til mikilla breytinga frá fyrri mælingum og mikið af breytileika milli ára má því líklegast rekja til tilviljanakennds, náttúrulegs breytileika. Erfitt er að greina slíkan breytileika í tíma fyrr en gögnum hefur verið safnað í lengri tíma. Hvað varðar kvikasilfur, blý og mangan virðist þó líklegt að um marktækar breytingar sé að ræða.

Áberandi hærra kvikasilfurmagn í vatnabobba í Vatnskoti (5 sinnum hærra) og Þorsteinsvík (tíu sinnum hærra) nú en mælingar sýndu árið 1995. Hugsanlegt er að þetta tengist lífsferli vatnabobbans en sýnin frá því í maí á þessu ári samanstanda að mestu af kynþroska sniglum sem deyja eftir tímgun. Sambærilegar breytingar er ekki að sjá í síkjamara og dvergbleikju, né í seti.

Mikill breytileiki í blýmagn, sérstaklega í Vatnskoti, í sýnum af mara og vatnabobba bendir til þess að víða megi finna staðbundna blýmengun á botni og er líklegast að það tengist blýsökkum eða blýteinum úr netum sem orðið hafa eftir í vatninu. Blýmagn í affallsvatni virkjunarinnar og í uppsprettum í Varmagjá er hins vegar lágt. Þónokkur breytileiki mældist einnig í manganstyrk í vatnamara í Vatnskoti.

Þær niðurstöður sem nú liggja fyrir um snefilmálma í lífríki Þingvallavatns undirstrika að til að unnt sé að greina náttúrulegan breytileika frá hugsanlegum áhrifum frá starfsemi Nesjavallavirkjunar er nauðsynlegt að byggja upp góðan gagnagrunn en eðlilegast er að slíkur gagnagrunnur verði til með reglubundnu eftirliti. Eftir því sem meira safnast af gögnum í grunninn verður auðveldara að beita tölfræðilegum aðferðum til að greina breytileikann og hugsanlegar orsakir hans.

Að mati Sigurðar S. Snorrasonar og Gunnars St. Jónssonar er mikilvægt að koma á fót virku umhverfiseftirliti á Þingvallavatni og nágrenni þess. Slíkt umhverfiseftirlit yrði þríþætt:

1. Mengunarvarnareftirlit með meðferð og losun mengunarefna.
  - a) Hafa yfirlit og eftirlit með meðferð, geymslu og förgun úrgangs og efna á svæðinu.
  - b) Hafa yfirlit yfir allar uppsprettur og magn losunar t.d. vegna jarðvarmavirkjunar eða losunar skólps.
  - c) Meta eða mæla dreifingu efna sem eru losuð.Þetta eftirlit verði framkvæmt í samráði við yfirvöld mengunarmála, sem einnig hafi yfirlit yfir losun annarra aðila.
2. Vöktun á beinum áhrifum losunar tiltekinna, mengandi efna.

Það verkefni sem greint hefur verið frá hér tekur til vöktunar af þessu tagi. Markmiðið er að mæla langtímabreytingar í styrk valinna efna í lífríkinu á stað þar sem hámarks áhrifa er að vænta. Að mati Sigurðar og Gunnars er þessum þætti umhverfiseftirlits eða vöktunar sinnt á fullnægjandi hátt hvað Þingvallavatn og Nesjavallavirkjun varðar.
3. Vöktun vistkerfis.

Í því felst vöktun á völdum lykiltegundum lífvera, auk efnafræðilegra og eða eðlisfræðilegra breyta sem hafa áhrif á vistkerfi. Markmiðið er að fylgjast með náttúrulegum breytingum í tíma t.d. stofnsveiflum lykiltegunda. Til lengri tíma litið má nýta slík gögn til að greina orsakir hugsanlegra langtíma breytinga og eftir atvikum meta hvort þær stafi af áhrifum tiltekinna umhverfisbreytinga eða einstakra framkvæmda. Með vistkerfisvöktun er leitast við að greina heildaráhrif allra álagsþátta þar sem uppsprettan er oftast af mannavöldum. Dæmi um slíka álagsþætti er losun næringarefna.

### 10.3. Niðurstöður

Þrátt fyrir allt að þreföldun skiljuvatns, frá því sem var áður en rafstöðin tók til starfa, er talið nær útilokað að það geti leitt til marktækrar snefilmálmengunar í Þingvallavatni.

Lagt er til að virku umhverfiseftirliti með vatninu og nágrenni þess verði komið á. Í fyrsta lagi með eftirliti með meðferð og losun mengandi efna. Í öðru lagi með vöktun á beinum áhrifum losunar tiltekinna, mengandi efna, eins og gert hefur verið. Í þriðja lagi með vöktun vistkerfis, en í því felst vöktun á lykiltegundum lífvera, auk efnafræðilegra og eða eðlisfræðilegra breyta sem hafa áhrif á vistkerfi.



## 11. VATNAFAR.

### 11.1. Inngangur

Í þessum kafla er byggt á skýrslum verkfræðistofunnar Vatnaskila um rennsli grunnvatns á Nesjavallasvæðinu (Snorri Páll Kjara og Davíð Egilsson 1986, Snorri Páll Kjara og Sigurður Lárus Hólm 2000) og efni frá Hjaltal Franzsyni, Orkustofnun.

### 11.2. Lýsing

Vatnasvið á Nesjavöllum er mjög lítið að flatarmáli 34,4 km<sup>2</sup>. Það er hins vegar mjög bratt og nær frá 100 m y.s. upp í 700 m y.s.

Hengillinn er víða mjög gróinn og berggrunnur hans yfirleitt mjög þéttur. Úrkoma sem fellur á vatnasviðið og leysing á þess vegna ekki greiðan gang niður í berggrunninn. Hluti úrkomunnar berst því í yfirborðsfarvegum inn yfir hraunið og hripar þar niður. Allnokkuð er um lindir í Henglinum. Koma þær efstu fram í um 570 m y.s. Þannig að útilokað er annað en að þær eigi uppruna sinn að rekja til úrkomu sem fellur á Hengilinn sjálfan (Snorri Páll Kjara og Davíð Egilsson 1986).

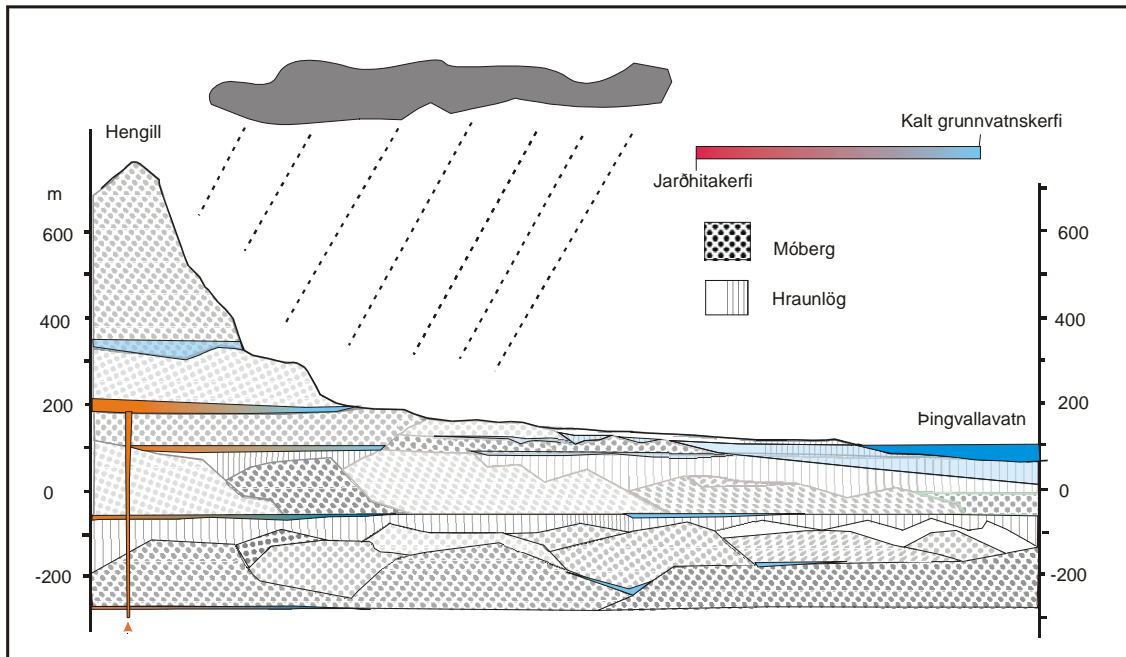
Afrennsli af austurhluta Hengilsins er að mestu í fjórum farvegum: Hengladalsá sem fellur í átt að Hveragerði, Ölfusvatnsá sem kemur fram í Ölfusvatnsvík í Þingvallavatni og loks í tveimur lækjum er falla til norðausturs í átt til Nesja- og Hagavíkurhrauna (Hvannagils- og Nesjavallalækir). Lækirnir hafa fremur lítinn lindarstofn en vaxa mjög við leysingu og úrkomu.

Hvannagilslækur rennur austan Stangarháls. Á þurrkatímum er rennsli hans lítið sem ekkert. Við leysingu og mikla úrkomu flennist hann langt út á Nesjahraun þar sem hann hverfur í hraunið. Sést flóðfarvegur hans vel á loftmyndum.

Nesjavallalækurinn rennur fram hjá orkuverinu á Nesjavöllum og í hann rennur skiljuvatn frá virkjuninni. Lækurinn fellur í hraunið um sprungu við mót þjóðvegur og afleggjara að Nesjavöllum, þar sem kallað hefur verið Lækjarhvarf. Lágrennsli Nesjavallalækjar áður en framkvæmdir hófust á Nesjavöllum var um 50 l/s en gat hæglega farið yfir 1000 l/s í leysingum (Snorri Páll Kjara og Davíð Egilsson 1986). Notuðu kælivatni og þéttivatni frá virkjuninni er veitt í borholur í tengslum við yfirborðsgrunnvatnið á svæðinu.

Í rennislíkani af vatnasviði Þingvallavatns er talið að streymi grunnvatns í Þingvallavatn á svæðinu frá Hestvík að Hagavík að báðum víkum meðtöldum sé um 9 m<sup>3</sup>/s. Af þessu rennsli er talið að 2 m<sup>3</sup>/s renni um 2 km ímyndað þversnið um Nesjahraun (Snorri Páll Kjara og Sigurður Lárus Hólm 2000).

Hluti jarðfræðirannsókna á Nesjavöllum hefur beinst að túlkunum á samspili vatnslektar og jarðlagaskipunar þar á meðal í kalda grunnvatnskerfinu (t.d. Hjalti Franzson 1988, Knútur Árnason o.fl. 1986). Á skematísku þversniði á mynd 23 er þetta samspil sýnt. Þar sést að jarðlagastaflinn skiptist í grófum dráttum upp í móbergsmýndanir, sem hlaðist hafa upp á jökulskeiðum, og eru þau skeið aðskilin sumstaðar af hraunlagastafla sem runnið hefur á hlýskeiðum. Reynslan hefur sýnt að þrátt fyrir háan poruhluta móbergsmýndana hafa þær yfirleitt fremur lága lekt. Lekt í jarðlagastaflanum virðist helst koma fram á mótum móbergsmýndana og hraunlagamyndana og svo á jöðrum einstakra móbergsmýndana.



**Mynd 23. Pversnið grunnvatnskerfa á Nesjavöllum (Hjalti Franzson 2000)**

Komið hefur í ljós að þrýstingur (vatnsborð) þessara vatnsæða ofan vatnsborðshæðar Þingvallavatns er breytilegur, sem bendir til að samband á milli þeirra sé tregt. Það bendir þá líka til að lekt í þéttriðnu lóðréttu sprunguneti, sem Nesjavellir státa af, nægir ekki til að viðhalda þrýstisambandi á milli einstakra vatnsæða. Gera má ráð fyrir að svipuð tregleiðandi tengsl séu á milli æða í kalda grunnvatnskerfinu neðan við 100 m y.s. Þótt vatnsborð (þrýstingur) samsvari vatnsborði Þingvallavatns.

Myndin sýnir á skematískan máta þessi lekabelti í grunnvatnskerfinu. Skipta má því í eftirfarandi þrjá hluta: Næst Henglinum, þar sem grynnt er á jarðhitakerfið, nær það að þrengja sér inn í kalda grunnvatnskerfið. Fjær Henglinum taka við kaldari og að hluta til tregtengd grunnvatnskerfi. Í þriðja lagi er grunnvatnskerfi sem tengist jarðlagamyndunum frá nútíma (Hagavíkur- og Nesjahraun). Það síðastnefnda tengist yfirborðs- og Þingvallavatni.

### 11.3. Áhrif aukinnar vinnslu

Þar sem grunnvatnsrennsli af Nesjavallassvæðinu er hluti af grunnvatnskerfi Þingvallavatns er rétt að gera stuttlega grein fyrir áhrifum vinnslunnar á grunnvatnsrennslið.

Á árunum 1992-1997 dældi Hitaveita Reykjavíkur að meðaltali 480 l/s af heitu vatni frá Nesjavöllum til Reykjavíkur og þar með út af vatnasvæði Þingvallavatns (Grétar Ívarsson 1999). Þessi dæling kemur til með að aukast í takt við aukna notkun á heitu vatni á veitusvæði Orkuveitu Reykjavíkur. Á árunum 1989-1998 var þessi aukning aðeins 0,1% á ári að jafnaði (Hitaveita Reykjavíkur 1999).

Þegar stækkun virkjunarinnar í 90 MW<sub>e</sub> verður lokið er gert ráð fyrir að dæling á köldu vatni frá Grámel verði allt að 1700 l/s. Af þessu vatni er gert ráð fyrir að meðaltali verði um 480 l/s dælt til Reykjavíkur eftir upphitun og afloftun, en allt að 1200 l/s fari aftur í borholu í tengslum við yfirborðsgrunnvatnið eftir að hafa nýst sem kælivatn. Auk þess er gert ráð fyrir að um 320 l/s af skiljuvatni renni í Nesjavallalækinn og um 175 l/s af þéttivatni frá virkjuninni renni í aðra borholu í tengslum við yfirborðsgrunnvatnið. Heildaráhrifin eru þau að meðaltali er jafnvægi milli þess vatns sem fer til Reykjavíkur og skilju- og þéttivatns frá virkjuninni.

Orkuveita Reykjavíkur hefur ákveðið að gera tilraunir með niðurrennsli affallsvatns annars vegar niður í tregtengdu grunnvatnskerfin neðan 100 m y.s. og hins vegar niður í jarðhita-geyminn. Ef til þess kemur að allt þéttivatn og skiljuvatn verði látið renna niður minnkar grunnvatnsstreymið á vatnasviði Þingvallavatns um að meðaltali 480 l/s.

Rennsli frá Þingvallavatni er mælt með rennslismæli í Soginu við Ásgarð. Þar hefur verið síriti síðan 1972 og er talinn vel áreiðanlegur. Samkvæmt mælingum Vatnamælinga Orkustofnunar er 22 ára meðalrennsli (1973-1995) við Ásgarð 112 m<sup>3</sup>/s (Vatnamælingar Orkustofnunar 2000). Samkvæmt líkani Vatnaskila er grunnvatnsstreymið beint í Sogið neðan Þingvallavatns en ofan Ásgarðs tæpir 6 m<sup>3</sup>/s. Samkvæmt því má ætla að útrennsli frá Þingvallavatni sjálfu sé um 106 m<sup>3</sup>/s (106 000 l/s) að jafnaði.

#### **11.4. Niðurstöður**

Eftir því hvort affallsvatn rennur niður eða ekki minnkar því útrennsli Þingvallavatns um 0,0 eða 0,5% vegna virkjunarinnar. Í þessu sambandi er rétt að benda á að óvissa í mælingum á rennsli Sogsins er áætluð 5-10% eða 5.300-10.600 l/s (Snorri Páll Kjara 2000). Breyting á rennsli Sogsins, ef til niðurrennslis kemur, er því langt innan skekkjumarka mælinga.



## 12. NÁTTÚRUMINJAR.

### 12.1. Lýsing

Við gerð landnýtingaráætlunar fyrir jarðir Reykjavíkur í Grafningi og Ölfusi 1997 var lýst verndarsvæðum, sem mikilvægt er að raska ekki eða breyta með mannvirkjagerð, sem rýrir gildi þeirra. Á Nesjavallajörðinni voru eftirfarandi svæði afmörkuð:

- Dyradalur, Sporhelludalur og Skeggjadalur. Dalverpi milli móbergshryggja. Sérstæðasti hluti Dyrarfjalla. Hinn forni Dyravegur lá um dalina og í gegnum Dyrnar í Dyradal. Í Sporhelludal eru greinilegar götur meitlaðar í móbergið eftir hófaklapp liðinna alda. Dyrnar og Sporhellan eru í flokki söguminja.
- Gígaröðin Fálkaklettur-Selklettur. Samfelld og margbreytileg gjallgígaröð, sú heillegasta og merkasta á norðanhluta Hengilssvæðisins. Söguminjar tengdar elsta bæjarstæði Nesjavalla og selsrústir undir Selklettum.
- Botnadalur, Illagil og Krummar. Sterkt landslagsrými í Botnadal og vel varðveittar minjar um búsetu. Samfelld kjarrlendi í Illagili og austan Krumma.
- Skógarhóll, Eldborg og Grámelur. Merkar gosminjar í Nesjahrauni, mosaklæddu og kjarrivöxnu hrauni með fagurlega löguðum eldgígum. Eldborg er fagurlega lagaður gervígur.
- Rauðstrýta og umhverfi. Kjarri vaxið og sprungið hraun með gíg og misgengi.
- Gíghólar austan Hveralækjar. Athyglisverðar gígmyndanir sem hafa varðveist á vinnslusvæði Nesjavallavirkjunar.
- Nesjalaugagil og Köldulaugagil. Litríkt jarðhitasvæði með útfellingum og mörgum gerðum hvera og lauga. Mikilfengleg árgljúfur með fossum. Svæðið hefur verið gert aðgengilegt með göngustígum. Er á vinnslusvæði orkuversins á Nesjavöllum.

(Gísli Gíslason og Yngvi Þór Loftsson 1997).

Við gerð deiliskipulags á orkuvinnslusvæðinu á Nesjavöllum og nágrenni þess eru þau svæði, sem eru innan vinnslusvæðisins, skilgreind nákvæmlega og stækkuð. Þær náttúruminjar og svæðin umhverfis voru valin með tilliti til vísinda-, fræðslu- og útivistargildis í samráði við Kristján Sæmundsson jarðfræðing hjá Orkustofnun. Einu mannvirkin sem leyfð verða innan þessara svæða eru göngustígar þar sem það á við. Sjá myndir 2 og 3.

Verndarsvæðin hafa verið kynnt fyrir Náttúruvernd ríkisins. Náttúrufræðistofnun Íslands tók að sér að yfirfara þessar tillögur og leggja mat á hvort hætta væri á að verðmætar náttúruminjar færu til spillis við framkvæmdirnar.

### 12.2. Áhrif framkvæmda og vinnslu

Fyrirhugaðar framkvæmdir eru utan verndarsvæðanna og er ekki búist við áhrifum á þau vegna framkvæmdanna.

Engar sýnilegar breytingar hafa orðið á virkni yfirborðsjarðhita í Köldulaugagili og Nesjalaugagili frá því að boranir hófust 1965. Talið er að aukin vinnsla breyti engu þar um.

Utan verndarsvæðanna, umhverfis holu 8 er yfirborðsjarðhiti aðallega sem heitir pollar sem gufa, sem á upptök sín grunnt í jarðhitakerfinu (100-150 m), hefur hitað upp. Við borun á þessu svæði gæti þessi virkni minnkað.

### **12.3. Niðurstöður**

Með friðun máttúruminja á orkuvinnslusvæðinu er leitast við að vernda þær og koma í veg fyrir að þær spillist.

## 13. FORN- OG SÖGUMINJAR.

### 13.1. Inngangur

Snemma árs 1997 hófst á vegum stofnana Reykjavíkurborgar fornleifaskráning á Hengilssvæðinu. Hitaveita Reykjavíkur og Rafmagnsveita Reykjavíkur kostuðu rannsóknirnar, en Árbæjarsafn hafði umsjón með verkefninu af hálfu Reykjavíkurborgar. Heimildakönnun gerði Birna Gunnarsdóttir og samdi hún ásamt Orra Vésteinsyni skýrslu um hana (Birna Gunnarsdóttir og Orri Vésteinsson 1997). Á grunni heimildakönnunarinnar gerði síðan Orri Vésteinsson vettvangskönnun á öllum minjastöðum í landi Nesjavalla og Ölfusvatns 1997 (Orri Vésteinsson 1997).

### 13.2. Lýsing

Skráðir voru 70 staðir á þessum tveimur jörðum, þar af 21 á Nesjavöllum. Hættumat var gert fyrir 36 af þessum stöðum vegna nálægðar við mannvirki. Tuttugu staðir töldust ekki í neinni hættu, þrettán staðir töldust í hættu þ.e. eru nærri athafnasvæðum eða rofsvæðum, en þrír staðir töldust vera í mikilli hættu, sem þýðir að þeir munu skemmast eða hverfa innan tíðar nema gripið sé til aðgerða.

Á Nesjavöllum töldust fimm staðir vera í hættu vegna ábúðar. Flestir staðir eru í hættu vegna trjáræktar, sem hefur aukist til muna, sérstaklega í landi Ölfusvatns. Á þremur stöðum eru minjar í hættu vegna vegagerðar, á tveimur vegna uppblásturs og einum vegna ölduróts frá Þingvallavatni (Orri Vésteinsson 1997).

Vegna þessa verkefnis var haft samband við Orra Vésteinsson og hann beðinn um að gera úttekt á fornleifum á orkuvinnslusvæði Nesjavallavirkjunar. Í svari Orra kemur fram að við vettvangskönnunina 1997 hafi verið gengið á alla staði þar sem vísbendingar voru um gömul mannvirki og einnig um þau svæði þar sem líklegt gat talist að fornleifar leyndust.

Ennfremur segir í svari Orra:

*“Engar fornleifar fundust á svæði því sem merkt er «orkuvinnslusvæði» í landnýtingaráætlun fyrir jarðir Reykjavíkurborgar í Grafningi og Ölfusi, en það er svæðið norðan og neðan við Nesjaskyggni, vestan við Ölfusvatnsskyggni og Stangarháls, austan við Kýrdalshrygg og sunnan við túnið á Nesjavöllum.*

*Eini minjastaðurinn sem líklega er inni á orkuvinnslusvæðinu er s.k. Brauðhver eða Brauðhola (ÁR-474:020 (hverinn) og ÁR-474:019 (kartöflugarður)), en núlifandi heimildamenn gátu ekki sagt með vissu hvar hann var. Talið var að hann hefði horfið við framkvæmdir Hitaveitu Reykjavíkur á svæðinu.”*

Þá segir einnig í svari Orra:

*“Aðrar fornleifar eru fjær orkuvinnslu svæðinu. Þær næstu eru ÁR-474:002-005, bæjarhóll, tvö útihússtaði og túngarður norðan við núverandi bæjarstaði Nesjavalla og vestan við Nesbúð, ÁR-474:014, Nesjavallarétt, vestan við núverandi bæjarstaði, og ÁR-474:011 leið frá Nesjavöllum á Dyraveg um Rauðuflog.*

*Örnefnið Kýrdalur bendir til að þar hafi kúrn verið beitt á sumrum og mætti því ætla að þar gæti leynst mannvirki því tengd t.d. stöðull eða vörslugarðar. Dalirnir voru vandlega kannaðir með þetta í huga en ekkert fannst sem benti til fornra mannvirkja þar.” (Orri Vésteinsson 2000).*

### **13.3. Niðurstöður**

Engar fornleifar hafa fundist á orkuvinnslusvæði virkjunarinnar og eini minjastaðurinn sem líklega er inná orkuvinnslusvæðinu er s.k. Brauðhver. Núlifandi heimildarmenn gátu ekki sagt með vissu hvar hann var.

## **14. UMFERÐ**

### **14.1. Núverandi ástand**

Aðalaðkoma að Nesjavöllum er um Grafningsveg frá Írafossvirkjun, sem nú hefur verið byggður upp á milli Írafossvirkjunar og Þingvallavegar. Veginum er haldið opnum allt árið frá Írafossi að Nesjavöllum.

Nesjavallavegur um Mosfellsheiði til Reykjavíkur er gerður af Orkuveitu Reykjavíkur vegna Nesjavallaæðar. Vegurinn er með bundnu slitlagi og opinn yfir sumartímann. Frá Nesjavallavegi liggur hliðarrein að útsýnisstað á Konungsbrún. Þar eru bílastæði og greið leið inn á merкта gönguleið um útivistar- og orkuvinnslusvæðið.

Þriðja leiðin er um Þjóðveg 36 yfir Mosfellsheiði (Þingvallaveg) og Grafningsveg að Nesjavöllum. Þessi leið er með bundið slitlag alla leið. Þegar Nesjavallavegur er lokaður á vetrum vegna snjóá er þetta stysta leiðin úr Reykjavík.

Frá Grafningsvegi liggur heimreið að Nesjavöllum. Heimreiðin er opin að rúmgóðum bílastæðum við Nesbúð og stöðvarhúsið og að starfsmannahúsi ásamt Nesjavallabænum. Sunnan við gatnamótin við Nesjavallabæ er gert ráð fyrir hliði, sem hægt verður að loka að næturlagi og á stórhelgum til að auðvelda vörslu á svæðinu. Við stöðvarhús og Konungsbrún eru einnig hlið til að loka fyrir almenna umferð á orkuvinnslusvæðinu.

Innan orkuvinnslusvæðisins liggja vegslóðar að efnisnámu, urðunarsvæði, borholum og öðrum mannvirkjum. Þessir vegslóðar eru lokaðir fyrir almennri bílaumferð. Gönguleiðir um svæðið eru merktar og alltaf opnar.

### **14.2. Áhrif framkvæmda og reksturs**

Þessum framkvæmdum mun fylgja einhver hávaði og umferð vinnuvéla og vörubíla um vinnusvæðið tímabundið á meðan á framkvæmdum stendur. Sú umferð og hávaði er að mestu bundin við vinnslusvæði virkjunarinnar, þar sem almenn umferð er ekki heimil.

Borun mun af veðurfarsástæðum á Nesjavöllum fara fram að sumri. Flutningar á efni til borunar, byggingarefni og efni til gufuveitu, flutningar starfsmanna verktaka munu að hluta fara fram um Nesjavallaveg á meðan hann er opinn vegna snjóá, en að hluta um Þjóðvegi um Mosfellsheiði og Grafning. Þessi umferð ætti ekki að trufla almenna umferð um þessa vegi.

### **14.3. Niðurstöður**

Þrátt fyrir að gert sé ráð fyrir talsverðum flutningum á búnaði, efni og starfsfólki vegna framkvæmdanna, er um tímabundið ástand að ræða og auk þess dreifast flutningarnir á nokkurn tíma og á mismunandi leiðir. Það eru því engar mótvægisáðgerðir fyrirhugaðar vegna umferðar.



## 15. HÁVAÐI

### 15.1. Núverandi ástand

Við rekstur jarðvarmaorkuvers eins og á Nesjavöllum má reikna með að af og til þurfi að bora nýjar vinnsluholur til viðhalds gufustreymi til orkuversins eftir því sem eldri holur ganga úr sér. Jafnframt eru holur sem tengdar eru gufuveitu prófaðar og aflmældar árlega. Við þær aflmælingar eru holurnar láttnar blása í nokkra daga. Annar hávaði frá rekstri er einkum frá skiljustöðvarsvæði þar sem umframgufu er veitt til lofts um stjórnloka og gufuháf.

Hávaði við borun getur orðið talsverður. Hávaðamæling var gerð á Jötni, stærsta bor Jarðborana hf., af Vinnueftirlitinu árið 1978 og mældist á borpalli 85-90 dB og 65-70 dB við vinnuskúra bormanna. Sumarið 2000 voru þrjár nýjar rafstöðvar ( $3 \times 700$  hö) teknar í notkun á Jötni, í stað þeirra gömlu sem mældust með 110-120 dB hávaða. Nýju rafstöðvarnar eru í gámum með hljóðeinangrun og er uppgefinn hávaði af vélaframleiðanda 92 dB í 2 m fjarlægð. Dælur og borstrengur eru knúnar af rafmótorum sem eru mjög lágværir. Hávaðinn mun því almennt mælast lægri frá bornum eftir breytinguna. Reikna má með að hávaði við borunina fari sjaldnast yfir 90 dB(A).

Eftir borun eru borholur venjulega láttnar blása í um 6 mánuði. Frá borholu í blæstri má reikna með hávaða á bilinu 70-110 dB(A). Nokkur munur getur þó verið á hávaða milli einstakra hola eftir hlutfalli gufu og vatns.

Sumarið 2000 voru gerðar mælingar á hávaða við virkjunina á Nesjavöllum. Niðurstöðurnar voru eftirfarandi:

**Tafla 15.1. Hljóðstig á virkjunarsvæði.**

Staður	Skýring	Hljóðstig dB(A)
Norðan stöðvarhúss	Mjög háð vindi	40-50
Við veg vestan skiljustöðvar	Um 60 m frá gufuháf	67
Í skiljustöð	Mestur hávaði að utan	57
Í lokahúsi við gufuháf	Um 1 m frá stjórnloka	92
Hola 19 í blæstri	Í um 10 m fjarlægð	85
Hola 19 í blæstri	Í um 20 m fjarlægð	78

Í framhaldi þessara mælinga var líklegt hljóðstig reiknað fyrir útsýnispall við Konungsbrún og fyrir næstu sumarhús. Notast var við hefðbundnar aðferðir við útreikninga (Piercy and Embleton 1979 og Eyjólfur Sæmundsson 1995). Reiknað hljóðstig á útsýnispalli við Konungsbrún (sjá mynd 2) var 62 dB(A). Reiknað hljóðstig við sumarhús í Hagavík (sjá mynd 1), sem er í 5-6 km fjarlægð frá virkjuninni, var minna en 30 dB(A), en þar getur landslag haft veruleg áhrif á niðurstöðuna.

Niðurstöður mælinga á hávaða á útsýnispalli við Konungsbrún voru 64-65 dB(A). Hávaði var mældur í landi Hagavíkur, við norðurenda Lómatjarnar (sjá mynd 1) í 4-5 km fjarlægð frá virkjuninni. Þar mældust 27-30 dB(A) þegar hola 19 og 20 blésu og borun stóð yfir á holu 21. Veðuraðstæður við mælingarnar voru ákjósanlegar, hæg SV gola og þurr, en skýjað.

Mælingarnar fóru fram að kvöldlagi þegar litlar truflanir voru frá öðrum hljóðgjöfum (VGK 2000).

Samkvæmt reglugerð nr. 933 um hávaða má hávaði í íbúðabyggð ekki fara yfir 50 dB(A) að degi, 45 dB(A) að kvöldi og 40 dB(A) að næturlagi. Fyrir sumarhúsabyggð eru kröfurnar enn strangari eða 40 dB(A) að degi og 35 dB(A) á kvöldin og á nóttunni (Stjttíð.B, Nr. 933/1999). Miðað við þessar mælingar er mjög ólíklegt að hávaði vegna blásandi borhola eða borunar verði meiri en reglugerð kveður á um nema í algerum undantekningar tilfellum.

### **15.2. Áhrif framkvæmda og reksturs**

Fyrirhuguð framkvæmd er sambærileg við framkvæmdir sem verið hafa á Nesjavöllum undanfarin ár. Reksturinn er, eftir að framkvæmdum líkur, sambærilegur við núverandi rekstur. Að framkvæmdum loknum verður væntanlega boruð ein vinnsluhola á 5-6 ára fresti að meðaltali. Framkvæmdir við borun taka almennt 4-6 vikur við hverja holu, þannig að um tímabundið vandamál er að ræða.

Mælingar við fyrri framkvæmdir og við núverandi rekstur sýna að hávaði mun tímabundið geta farið yfir þau mörk sem sett eru um hávaða á iðnaðarsvæði innan orkuvinnslusvæðisins. Einkum á þetta við um borstæði þegar borun stendur yfir og nálægt borholum á meðan á blæstri stendur.

### **15.3. Niðurstöður**

Telja verður ólíklegt að hávaði fari yfir sett mörk við næstu byggð vegna fjarlægðar.

Hávaði innan orkuvinnslusvæðisins getur tímabundið farið yfir þau mörk sem miðað er við um iðnaðarsvæði. Gera verður kröfu um að þeir sem vinna innan þessa svæðis noti viðeigandi varnarbúnað. Við allar holur verða settir hljóðdeyfar sem gufunni verður beint í á meðan á blæstri stendur.

Ferðamenn hafa almennt skamma viðdvöl á virkjunarsvæðinu og oftast á útsýnispalli þar sem hávaði er ekki varasamur. Það er því ekki talin ástæða til mótvægisáðgerða vegna þeirra.

## 16. ÚTIVIST OG FERÐAMENN

### 16.1. Inngangur

Í eftirfarandi kafla er stuðst við greinar um uppgræðslu og útivist, sem birst hafa í ársskýrslum Hitaveitu Reykjavíkur (Hitaveita Reykjavíkur 1997, 1998, 1999), en einnig er stuðst við upplýsingar sem birtar hafa verið á heimasíðu Orkuveitu Reykjavíkur (Orkuveita Reykjavíkur 2000a).

### 16.2. Núverandi staða

Á Hengilssvæðinu má finna flest það sem þrýðir íslenska náttúru. Þar má nefna áhugavert landslag, hvera- og gígasvæði, ósnortið víðerni, fjölbreytt gróðurfar, ár og stöðuvötn.

Með vegagerð frá Reynisvatnsheiði um Dyrafjöll að Nesjavöllum hefur opnast ný leið fyrir íbúa á höfuðborgarsvæðinu að Hengilssvæðinu. Vegur um Grafning hefur verið stórbættur og hefur orkuverið og umferð um Nesjavallaveg væntanlega flýtt fyrir þeim framkvæmdum.

Með tilkomu Nesjavallavegar hefur akstursvegalengd á Hengilssvæðið styst verulega og tengsl þess við þéttbýlið á höfuðborgarsvæðinu batnað. Ætla má að Hengilssvæðið muni njóta vaxandi vinsælda í framtíðinni sem útiveru- og gönguland íbúa við sunnanverðan Faxaflóa, enda fljótfarið að því að vestan eftir akvegi með bundnu slitlagi austur um Mosfellsheiði.

Hitaveita Reykjavíkur hefur á ýmsan hátt stuðlað að bættri aðstöðu fyrir ferðafólk á Hengilssvæðinu öllu og sérstaklega á Nesjavöllum.

Hitaveita Reykjavíkur styrkti útgáfu bókar um gönguleiðir, staðhætti og jarðfræði Hengilssvæðisins á vegum Ferðafélags Íslands 1996 (Sigurður Kristinsson og Kristján Sæmundsson 1996). Þá gaf Hitaveita Reykjavíkur út kort yfir gönguleiðir á Hengilssvæðinu 1997. Sjá viðauka 3.

Frá árinu 1989 hefur Hitaveita Reykjavíkur gengist fyrir verulegu átaki í uppgræðslu og skógrækt á jörðum Reykjavíkur í Grafningi. Unnar hafa verið um 600 000 vinnustundir og plantað vel yfir hálfri milljón skógarplantna, mest birki. Unnið hefur verið að jöfnun og uppgræðslu rofabarða á Nesjavöllum síðan 1989 og Ölfusvatni síðan 1990. Landgræðslan er komin vel á veg og má segja að búið sé að stöðva flestallar rofskemmdir neðan við 250-300 m hæð á þessum jörðum. Ennþá eru svæði ofar í landinu sérstaklega í dölum Dyrafjalla sem vinna þarf betur. Um það bil 730 hektarar lands eru á mismunandi stigi í uppgræðslu á báðum jörðunum. Skógrækt á afmörkuðum svæðum þar sem þess er gætt að raska ekki náttúru- eða söguminjum mun auka fjölbreytni útivistarmöguleika á láglandi.

Meira en 140 km af gönguleiðum hafa verið merktar með stikum og vegprestum og sett upp greinargóð fræðslukort um jarðfræði svæðisins. Í ráði er að á næstu árum verði áhugaverðar náttúruminjar sem og valdar menningarminjar á svæðinu merktar, þannig að almenningur geti ferðast um svæðið á eigin forsendum án annarrar leiðsagnar en þeirrar sem felast í góðum merkingum í landinu og góðum gönguleiðakortum. Á sjö stöðum á Hengilssvæðinu hafa verið gerð bílastæði þar sem hentugt er að hefja gönguferðir. Á þessum stöðum eru upplýsingatöflur með uppdráttum sem sýna gönguleiðir á Hengilssvæðinu og fjarlægðir á milli staða. Á fræðsluleiðum er komið fyrir upplýsingum þar sem er að finna fróðleik um náttúrufar, sögu og jarðfræði.

Reiðleið meðfram Grafningsvegi hefur verið stikuð og sett upp aðhöld fyrir hross á tveimur stöðum meðfram leiðinni. Annað er í Botnadal þar sem heppilegt er að á í dalverpinu og hitt er við vegamótin að Ölfusvatni í skjólgóðri dalkvos. Á báðum stöðum eru borð og bekkir fyrir hestamenn þar sem þeir geta tyllt sér niður á meðan hestarnir hvílast.

Þá hefur Hitaveitan sett upp gönguskála í Engidal vestan Hengilsins og í Reykjadal suðaustan Hengilsins. Skálarnir eru öllum opnir endurgjaldslaust allt árið um kring. Skálarnir hafa stórbætt allt öryggi í fjallaferðum á þessum slóðum og útivistarfólk hefur sýnt þakklæti sitt með skráningu í gestabækur skálanna og með því að ganga afar vel um (Hitaveita Reykjavíkur 1999).

Hátt á þriðja þúsund skólanema hafa þannig verið í sumarvinnu á vegum Orkuveitu Reykjavíkur á útivistarsvæðunum í Grafningi frá 1989.

Nú þegar um tíu ár eru liðin frá gangsetningu Nesjavallavirkjunar er ljóst að hún hefur haft veruleg áhrif á útivist og ferðamennsku á svæðinu í kringum Hengil.

Á Nesjavöllum hefur Hitaveita Reykjavíkur í mörg ár tekið á móti ferðamönnum, jafnt hópum sem einstaklingum, sem vilja skoða virkjunina. Þar er veitt fræðsla um jarðfræði svæðisins, jarðhitann og virkjun hans á Nesjavöllum. Líkan af Nesjavöllum og Henglinum ásamt veggspjöldum með skýringarmyndum auk fræðslubæklinga gefa góða mynd af náttúrufari og virkjun jarðhitans þar. Móttaka ferðamanna á vegum Hitaveitunnar og síðar Orkuveitunnar á Nesjavöllum hefur laðað að tugþúsundir manna.

**Tafla 16.1. Fjöldi gesta í orkuverinu á Nesjavöllum.**

Ár	Fjöldi gesta
1996	10.240
1997	12.235
1998	14.851
1999	12.548

(Orkuveita Reykjavíkur 2000a).

Í Nesbúð, sem voru vinnubúðir verktaka við byggingu virkjunarinnar, er nú rekið gistihús og veitingasala. Rekstur Nesbúðar hefur bætt aðstöðu fyrir þá sem dvelja á svæðinu um lengri eða skemmri tíma. Þetta hefur hjálpað til við að auka ferðamannastraum til Nesjavalla. Vinsælt er að leggja í gönguferðir frá Nesbúð eða enda þær þar. Þá hefur farið í vöxt að halda árshátíðir, fundi og styttri ráðstefnur í Nesbúð og gefa þátttakendum kost á útivist um leið.

### 16.3. Áhrif framkvæmda og reksturs

Sú stækkun orkuversins, sem nú er rætt um, mun væntanlega hafa lítil áhrif á þessa ferðamennsku sem að ofan er lýst.

Hún mun hins vegar styrkja rekstur orkuversins og tryggja áfram bætta aðstöðu fyrir ferða- og útivistarfólk á svæðinu. Rannsóknir á náttúrufari sem gerðar verða vegna þessa mats á umhverfisáhrifum munu nýtast sem upplýsingar fyrir ferðamenn og útivistarfólk í framtíðinni. Við gerð deiliskipulags voru náttúruminjar afmarkaðar og mun framkvæmdin ekki skerða þær, né gönguleiðir að þeim.

### 16.4. Niðurstöður

Helstu áhrif stækkunarinnar á útivist og ferðamennsku á svæðinu eru talin frekar jákvæð, þar sem styrkari rekstur virkjunarinnar hjálpar til við að halda áfram því starfi sem hefur verið stundað undanfarin ár til að auðvelda almenningi aðgang að einu skemmtilegasta útivistarsvæði á SV-landi. Gögn sem aflað hefur verið vegna rannsókna á náttúrufari munu nýtast til gerðar upplýsingaefnis fyrir útivistar- og ferðafólk.

Ekki er talin ástæða til að grípa til sérstakra mótvægisáðgerða af þessum sökum.

## **17. EFNAHAGSLEG OG FÉLAGSLEG ÁHRIF**

### **17.1. Núverandi ástand**

Engin föst búseta er vegna reksturs orkuversins á Nesjavöllum. Starfsmenn koma akandi á staðinn frá heimilum sínum eða gista í starfsmannahúsi.

Að jafnaði eru tveir starfsmenn á vakt á Nesjavöllum. Þessir starfsmenn hafa aðstöðu í starfsmannahúsi á Nesjavöllum eftir vinnu og að næturlagi, en eru þá á bakvakt og kallaðir út ef eitthvað fer úrskeiðis í orkuverinu utan dagvinnutíma.

Á virkum dögum eru um 15 manns starfandi á vegum Orkuveitu Reykjavíkur á Nesjavöllum.

### **17.2. Áhrif framkvæmda og reksturs**

Efnahagsleg áhrif á framkvæmdatíma eru í aðalatriðum af fernum toga.

- Í fyrsta lagi vegna gerðar borplana og vegarslóða, en það verkefni verður boðið út.
- Í öðru lagi vegna borana, en það er verkefni sem Jarðboranir hf munu væntanlega sjá um.
- Í þriðja lagi vegna lagningar safnæða og gufuaðveituæðar, smíði og uppsetningar gufuháfs ásamt tengingum við skiljustöð, en þau verkefni verða boðin út.
- Í fjórða lagi vegna stækkunar dælustöðvar við Grámel sem einnig verður boðin út.

Ekki er ljóst hver félagsleg áhrif af framkvæmdinni verða í sveitarfélaginu, þar sem það fer talsvert eftir því að hve miklu leiti heimamenn koma að framkvæmdum, en það er háð niðurstöðu útboða.

Engar breytingar eru fyrirhugaðar á starfsmannafjölda orkuversins vegna þessarar stækkunar. Ekki er krafist fastrar búsetu á staðnum vegna starfa þar. Það er því ekki að búast við auknum kröfum um þjónustu af sveitarfélaginu vegna þessarar stækkunar orkuversins.

### **17.3. Niðurstöður**

Framkvæmdir við stækkun verða boðnar út í samræmi við reglur Orkuveitu Reykjavíkur. Ekki er ljóst hvaða einstaklingar, fyrirtæki og sveitarfélög munu hafa hag af þeim framkvæmdum sem fyrirhugaðar eru.

Engar sérstakar mótvægisáðgerðir eru taldar nauðsynlegar vegna þessa.



## 18. AFFALLSVATN OG ÁHRIF Á GRUNNVATN.

### 18.1. Inngangur

Affallsvatn frá orkuverinu, sem blandast grunnvatninu er upphitað kælivatn, þéttivatn og skiljuvatn.

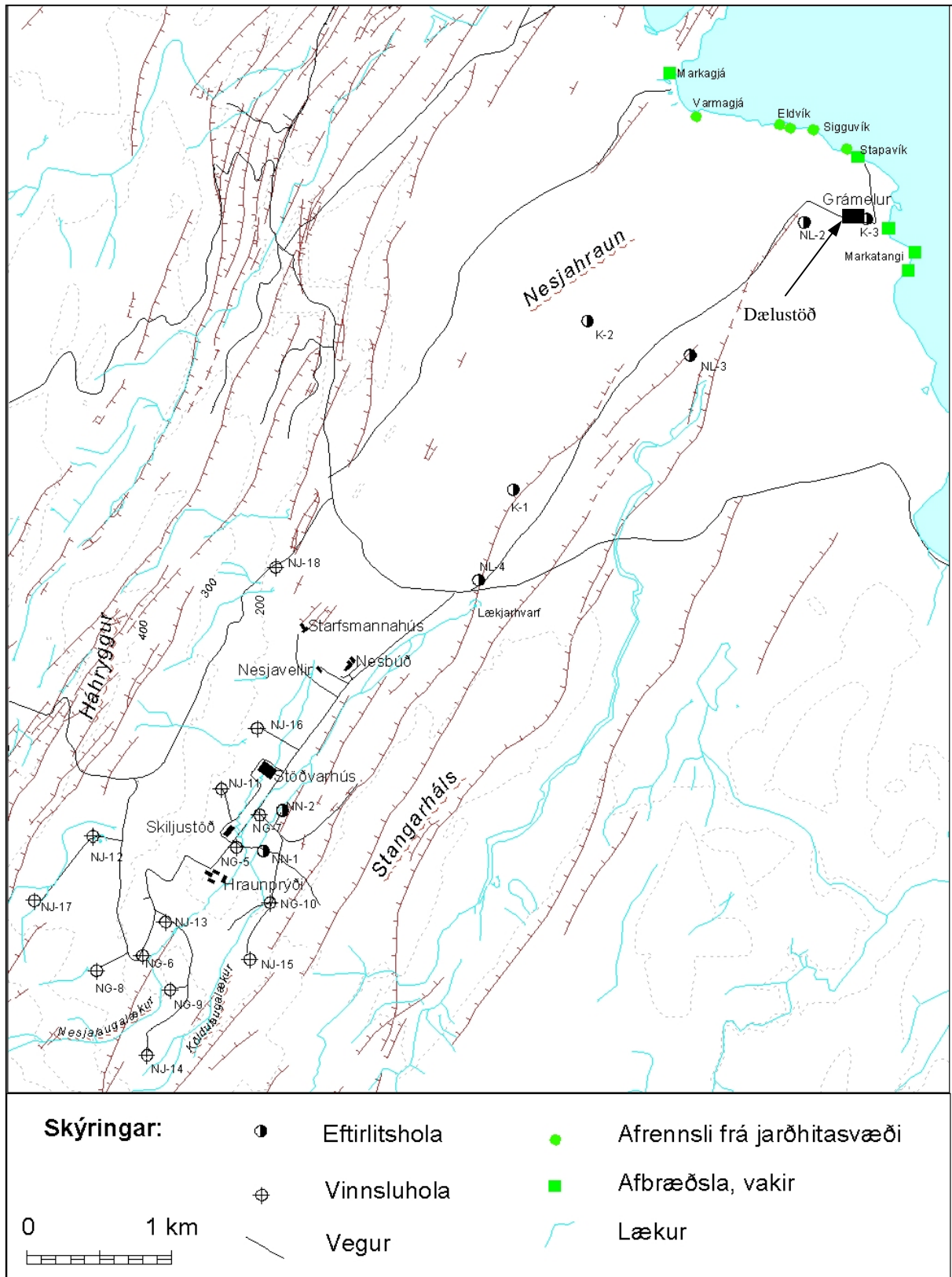
### 18.2. Núverandi fráveita kælivatns

Frá dælustöð við Grámel er dælt vatni til kælingar gufu í eimsvölum rafstöðvarinnar. Eftir stækkun í 76 MW verður þetta vatn allt að 1700 kg/s. Hluti vatnsins er hitaður meira í varmastöð og dælt til Reykjavíkur. Afgangurinn, sem er 50 til 60°C heitur, rennur í borholu sem er í tengslum við yfirborðsgrunnvatnið. Vatnsmagnið sem þarna rennur niður er breytilegt eftir upphitunarþörf á höfuðborgarsvæðinu. Það er frá 500 kg/s, þegar þörf fyrir heitt vatn er mest, uppí um 1200 kg/s þegar vatnsþörfin er lítil.

### 18.3. Núverandi fráveita þéttivatns og skiljuvatns

Jarðhitagufan, sem notuð er til að knýja gufuhverflana, er að þeirri notkun lokinni kæld og þétt í vatn, s.k. þéttivatn. Þessu þéttivatni, sem nú er um 140 kg/s, er fargað í borholu, sem er í tengslum við yfirborðsgrunnvatnið. Fyrir gangsetningu rafstöðvarinnar 1998 var gufan notuð til upphitunar vatns. Þá var talsvert af uppleystum gastegundum í þéttivatninu, eða allt að 400-500 mg/l H<sub>2</sub>S og 2200 mg/l CO<sub>2</sub> (Jón Ólafsson 1992). Við breytingar á virkjuninni 1998 var gufan hins vegar notuð til að knýja gufuhverflana svo þétt í eimsvölum. Við þetta var afgösun þéttivatns aukin þannig að nú inniheldur þéttivatnið aðeins um 10 mg/kg af H<sub>2</sub>S og um 10 mg/kg af CO<sub>2</sub>. Samkvæmt mælingum virðist brennisteinsvetnið oxast í sulfat (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), sem almennt er ekki talið skaðlegt umhverfinu í umræddum styrk. Þéttivatnið er að öðru leiti svipað eimuðu vatni og inniheldur nær engin uppleyst efni. Þéttivatnið inniheldur þó snefil af kvikasilfri (Hg) og arseni (As). Í mælingum á vegum Orkustofnunar (Kristján Sigurðsson 2000) mældist kvikasilfur 1400 ng/l þéttivatns (magn í jarðhitagastegundum meðtalið) en arsen minna en 0,2 µg/l. Þetta er í samræmi við fyrri rannsóknir (Jón Ólafsson 1992) þar sem kvikasilfur mældist frá 28 uppí 1430 ng/l þéttivatns og arsen yfirleitt undir 4 µg/l. Styrkur kvikasilfurs í lindum við Þingvallavatn mælist minni en 2,2 ng/l. Styrkur kvikasilfurs í ómengðu vatni í náttúrunni er talinn vera milli 1 og 3 ng/l.

Skiljuvatninu, sem fyrir stækkunina er um 260 kg/s, er hleypt í Nesjavallalækinn. Nesjavallalækurinn rennur framhjá Orkuverinu á Nesjavöllum og hverfur niður í Nesjahraun nálægt Grafningsvegi við svo kallað Lækjarhvarf. Á mynd 24 má sjá á afstöðumynd Nesjavallalæk, Lækjarhvarf, Nesjahraun með dælustöð fyrir kalt vatn við Grámel og sýnatökustaði vatns úr lindum við Þingvallavatn.



Mynd 24. Yfirlitsmynd af Nesjahrauni (Gestur Gíslason 1995).

Með skiljuvatni berst megin hluti þeirra uppleystu steinefna sem eru í jarðhitavökvanum.

Í eftirfarandi töflu má sjá styrk helstu efna í skiljuvatni, í vatni frá dælustöð við Grámel og í lindum í Þingvallavatni (Orkuveita Reykjavíkur 2000b, SGAB Analytica 2000, sjá viðauka 1). Í Varmagjá og Eldvík eru þekkt útrennsli af jarðhitasvæðinu og eru þær lindir undir áhrifum af frárennsli Nesjavallavirkjunar. Í Markagjá gæti jarðhitaáhrifa ekki og er styrkur efna þar keimlíkur styrk efna í lindum við vatnið almennt.

**Tafla 18.1. Styrkur helstu efna í skiljuvatni og í lindum við Þingvallavatn.**

Efni	Styrkur í skiljuvatni mg/l	Styrkur í vatni úr Varmagjá mg/l	Styrkur í vatni úr Eldvík mg/l	Styrkur í vatni úr Markagjá mg/l	Styrkur í fersku vatni frá dælustöð mg/l
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	807	49	64	14	40
Natríum (Na)	140	21,1	27,9	8,85	12,6
Kalíum (K)	29	3,31	3,81	0,906	1,5
Kalsíum (Ca)	0,2	14,8	14,1	5,72	8,1
Magnesíum (Mg)	0,005	6,72	6,93	3,9	4,7
Súlfat (SO <sub>4</sub> )	7,9	27,8	26,4	4,28	12,2
Ál (Al)	1,67	0,0154	0,349	0,0149	0,291

Sjá sýnatökustaði á mynd 24.

Nokkrar kísilútfellingar hafa verið í Nesjavallalæknum. Kísilinnihald vatns í Varmagjá sýnir greinilega jarðhitaáhrif, ekki er þó um varasaman styrk að ræða. Miðað við heildarmagn kísils sem berst í vatnið á ári (Jón Ólafsson 1992) er magn kísils frá Nesjavöllum aðeins lítið brot af því. Uppleysta brennisteinsvetnið, sem mælist um 73 mg/kg í skiljuvatni mælist ekki við Lækjarhvarf, þar sem Nesjavallalækurinn hverfur niður í hraunið. Þetta er talið stafa af oxun í brennistein (S), súlfat (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) eða að gasið rjúki út í loftið. Aukinn styrkur súlfats í Varmagjá og Eldvík bendir til oxunar brennisteinsvetnis í súlfat í affallinu. Ál er eina efnið í töflu 18.1 sem er í hærri styrk í skiljuvatni en leyfður er í drykkjarvatni.

Innihald snefilefna í skiljuvatni var mælt frá einstökum borholum fyrir gangsetningu virkjunar 1983-1984, af skiljuvatni frá skiljustöð skömmu eftir gangsetningu 1991 (Jón Ólafsson 1992) og á þessu ári við undirbúning þessa mats (SGAB Analytica 2000, Kristján Sigurðsson 2000).

**Tafla 18.2. Dæmigert snefilefnainnihald skiljuvatns.**

(einingar eru 1000 falt minni en í töflu 18.1.)

Efni	Styrkur	Styrkur	Styrkur
	1983-4	1991	2000
	µg/kg	µg/kg	µg/kg
Köfnunarefni, NH <sub>3</sub> -N	60-96	163-236	
Fosfór, PO <sub>4</sub> -P	9,5-89		<5,00
Zink, Zn	1,3-15,2	1,2	1,94
Mangan, Mn	0,3-1,4	1,2	3,8
Nikill, Ni	0,1-0,5	1,3	0,123
Arsen, As	5,6-310	120	1,8-20,9
Kvikasilfur, Hg	0,002-0,051	0,261	<0,0022-0,020
Kadmín, Cd	0,004-0,008	0,05	<0,0050
Blý, Pb	0,03-0,28	0,09	<0,0300
Kopar, Cu	0,1-3,0	1,2	<0,100
Kóbolt, Co			<0,0050
Ál, Al			1670
Járn, Fe			51
Baríum, Ba			0,179
Króm, Cr			0,031
Molýbden, Mo			0,374
Strontíum, Sr			2,05

Í töflu 18.3. má sjá styrk nokkurra snefilefna í skiljuvatni, í vatni frá dælustöð fyrir kalt vatn við Grámel, í Varmagjá, Eldvík og í Markagjá (Hafrannsóknastofnun 2000, SGAB Analytica 2000, sjá viðauka 1). Í Varmagjá og Eldvík eru þekkt útrennsli af jarðhitasvæðinu og eru þær lindir undir áhrifum af frárennsli Nesjavallavirkjunar. Í Markagjá gætir jarðhitaáhrifa ekki og er styrkur efna þar keimlíkur styrk efna í lindum við vatnið almennt.

Tafla 18.3. Styrkur nokkurra snefilefna í skiljuvatni og í lindum við Þingvallavatn.

Efni	Styrkur í skiljuvatni µg/l	Styrkur í vatni úr Varmagjá µg/l	Styrkur í vatni úr Eldvík µg/l	Styrkur í vatni úr Markagjá µg/l	Styrkur í fersku vatni frá dælustöð µg/l
Fosfór, PO <sub>4</sub> -P	<5,00	71,3	74,4	37,7	43,1
Köfnunarefni NH <sub>4</sub> -N	#	<0,8*	<0,8*	<0,8*	<0,8*
Köfnunarefni NO <sub>3</sub> -N	#	49*	67*	90*	56*
Sink, Zn	1,94	<0,200	0,636	1,61	28,4
Blý, Pb	<0,0300	<0,0300	0,146	0,046	0,054
Kadmín, Cd	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Kopar, Cu	<0,100	0,56	1,02	0,567	1,6
Mangan, Mn	3,8	0,08	0,49	0,29	0,33
Nikkel, Ni	0,123	0,138	0,166	0,149	0,561
Kvikasilfur, Hg	<0,0022	<0,0022	<0,0022	<0,0022	<0,0022
Arsen, As	20,9	0,709	5,97	0,035	3,82
Króm, Cr	0,031	0,479	0,46	0,287	0,531

\* Samkvæmt mælingum Hafrannsóknarstofnunar. # Ekki mælanlegt með aðferðum Hafrannsóknarstofnunar.

Samkvæmt mælingum Orkustofnunar á kvikasilfri í skiljuvatni er styrkur þess um 20 ng/l (0,020 µg/l) (Kristján Sigurðsson 2000).

Í reglugerð um varnir gegn mengun vatns (Stjóð.B, Nr. 796/1999) eru tilgreind umhverfismörk fyrir fyrir málmana: kopar, sink, kadmín, blý, króm, nikkell og arsen í yfirborðsvatni til verndar lífríki. Þar eru auk þess sett umhverfismörk fyrir næringarefni fosfór og köfnunarefni. Hér á eftir verður gerð grein fyrir styrk þessara efna ásamt styrk kvikasilfurs í skiljuvatni og í lindum við Þingvallavatn.

Í skiljuvatni mældist fosfór (PO<sub>4</sub>-P) á árunum 1983-1984 á bilinu 9,5 til 89 µg/l í einstökum borholum. Samkvæmt nýjum mælingum er fosfór minni en 5 µg/l í vatni frá skiljustöð. Almenn er talið að fosfór bindist vel í jarðlögum, þó mælist meiri fosfór í Varmagjá og Eldvík en í skiljuvatni og í Markagjá. Líklegt innstreymi fosfórs í Þingvallavatn hefur verið metið (Jón Ólafsson 1992, Hákon Aðalsteinsson 2000). Samkvæmt þeim reikningum berast um 66-72 tonn af fosfór á ári í vatnið. Aukning á streymi fosfórs til Þingvallavatns vegna virkjunarinnar er talin vera óveruleg samanborið við áður nefnt magn.

Köfnunarefni á ammoníakformi mældist á árunum 1983-1991 frá 60 til 239 µg/l í skiljuvatni frá einstökum borholum og að meðaltali 131 µg/l. Ekki tókst að mæla það nú með þeim aðferðum sem beitt er hjá Hafrannsóknarstofnun. Köfnunarefni á ammoníakformi oxast auðveldlega í nítatform, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, sem er auðleyst og berst með grunnvatninu til Þingvallavatns, eins og sjá má í greiningum fyrir lindir við vatnið. Í vatnið berst einnig með grunnvatni köfnunarefni á nítatformi frá notkun áburðar, frá rotþróum og með úrkomu vegna köfnunarefnisoxíðmengunar í lofti. Líklegt innstreymi köfnunarefnis í Þingvallavatn hefur verið metið (Jón Ólafsson 1992, Hákon Aðalsteinsson 2000). Samkvæmt þeim reikningum

berast samtals um 140-150 tonn á ári af köfnunarefni í vatnið. Frá virkjuninni á Nesjavöllum er áætlað að berist nú um 1 tonn á ári af köfnunarefni í vatnið á ári.

Kvikasilfur, sem áður hefur mælst frá 2 til 261 ng/l (Jón Ólafsson 1992) í skiljuvatni, mælist nú undir greiningarmörkum eða minna en 2,2 ng/l hjá SGAB en 20 ng/l hjá Orkustofnun (Kristján Sigurðsson 2000). Styrkur kvikasilfurs í Varmagjá og Eldvík mældist 1991 á bilinu 0,9 til 8 ng/l (Jón Ólafsson 1992) en nú minni en 2,2 ng/l (SGAB 2000). Ekki er því um merkjanlega aukningu að ræða. Styrkur kvikasilfurs í ómengduðum vötnum á norðurslóðum er talinn 1 til 10 ng/l og opinber viðmiðunarmörk um vernd lífríkis í Kanada eru 12 ng/l (Sigurður S. Snorrason og Gunnar Steinn Jónsson 2000).

Arsen, sem mældist milli 5 og 310 µg/l í skiljuvatni á árunum 1983-1991 (Jón Ólafsson 1992), mælist nú 20,9 µg/l (SGAB Analytica 2000). Styrkur arsens í vatni í Varmagjá og Eldvík mældist 1984 (fyrir virkjun á Nesjavöllum) 0,6-0,7 µg/l en 1991 á bilinu 2,2-4,7 µg/l, sem benti til marktækrar aukningar (Jón Ólafsson 1992). Nú mældist styrkurinn á sömu stöðum á bilinu 0,7-6 µg/l. Í Svíþjóð er styrkur arsens í ómengduðu vatni talinn vera 0,1-0,4 µg/l og viðmiðunarmörk um vernd lífríkis í Kanada eru 50 µg/l (Sigurður S. Snorrason og Gunnar St. Jónsson 2000). Hér á landi er, samkvæmt gefnum umhverfismörkum fyrir arsen í yfirborðsvatni, lífríki talin stafa lítil hætta af arsenstyrk undir 5 µg/l (Stjtið.B, Nr. 796/1999).

Blý, sem mældist milli 0,03 og 0,54 µg/l í skiljuvatni á árunum 1983-1991 (Jón Ólafsson 1992), mælist nú minna en 0,03 µg/l (SGAB Analytica 2000). Styrkur blýs í Varmagjá og Eldvík 1984 á bilinu 0,05 til 0,06 µg/l, en á bilinu 0,03 til 0,10 µg/l 1991. Nýjar mælingar eru á bilinu <0,03 til 0,15 µg/l (SGAB Analytica 2000). Ekkert bendir því til marktækra breytinga við virkjun Nesjavallasvæðisins. Almennt er styrkur blýs í vatni á norðurslóðum minna en 1 µg/l, en í einstaka tilfellum mun hærri (Sigurður S. Snorrason og Gunnar St. Jónsson 2000). Hér á landi er, samkvæmt gefnum umhverfismörkum fyrir blý í yfirborðsvatni, lífríki talin stafa lítil hætta af blýstyrk undir 1 µg/l og mjög lítil hætta af blýstyrk undir 0,2 µg/l (Stjtið.B, Nr. 796/1999).

Kadmín, sem mældist milli 0,004 og 0,23 µg/l í skiljuvatni á árunum 1983-1991 (Jón Ólafsson 1992), mælist nú minna en 0,005 µg/l (SGAB Analytica 2000). Styrkur kadmíns í Varmagjá og Eldvík mældist 1984 á bilinu 0,004 til 0,006 µg/l en 1991 á bilinu 0,04-0,06 µg/l, sem gat bent til aukningar (Jón Ólafsson 1992). Nýjar mælingar sýna gildi undir 0,005 µg/l (SGAB Analytica 2000). Bakgrunnsgildi í ferskvatni eru talin 0,005-0,5 µg/l og viðmiðunarmörk til verndar lífríki í Kanada í mjúku vatni 0,2 µg/l (Sigurður S. Snorrason og Gunnar St. Jónsson 2000). Hér á landi er, samkvæmt gefnum umhverfismörkum fyrir kadmín í yfirborðsvatni, lífríki talin stafa lítil hætta af kadmínstyrk undir 0,1 µg/l og mjög lítil hætta af kadmínstyrk undir 0,01 µg/l (Stjtið.B, Nr. 796/1999).

Sink, sem mældist milli 1,3 og 15,2 µg/l í skiljuvatni á árunum 1983-1991 (Jón Ólafsson 1992), mælist nú 1,94 µg/l (SGAB Analytica 2000). Styrkur sinks í Varmagjá og Eldvík mældist 1984 á bilinu 0,2-0,3 µg/l, en 0,3-1,1 µg/l 1991. Nýjar mælingar sýna gildin <0,2-0,6 µg/l (SGAB Analytica 2000). Þessi gildi eru fremur lág miðað við vötn á norðurslóðum. Í Kanada eru viðmiðunarmörk til verndar lífríki 30 µg/l í mjúku vatni (Sigurður S. Snorrason og Gunnar St. Jónsson 2000). Hér á landi er, samkvæmt gefnum umhverfismörkum fyrir sink í yfirborðsvatni, lífríki talin stafa lítil hætta af sinkstyrk undir 20 µg/l og mjög lítil hætta af sinkstyrk undir 5 µg/l (Stjtið.B, Nr. 796/1999).

Kopar, sem mældist milli 0,1 og 3,0 µg/l í skiljuvatni á árunum 1983-1991 (Jón Ólafsson 1992), mælist nú minni en 0,1 µg/l (SGAB Analytica 2000). Styrkur kopars í Varmagjá og Eldvík mældist 1984 á bilinu 0,7-1,2 µg/l, en 1,2-1,5 µg/l 1991. Nýjar mælingar sýna gildin 0,56-1,2 µg/l (SGAB Analytica 2000), sem bendir ekki til neinna breytinga. Þessi gildi eru svipuð og í ómengduðum vötnum á norðurslóðum. Í Kanada eru viðmiðunarmörk til verndar

lífríki 2  $\mu\text{g/l}$  í mjúku vatni (Sigurður S. Snorrason og Gunnar St. Jónsson 2000). Hér á landi er, samkvæmt gefnum umhverfismörkum fyrir kopar í yfirborðsvatni, lífríki talin stafa lítil hætta af koparstyrk undir 3  $\mu\text{g/l}$  og mjög lítil hætta af koparstyrk undir 0,5  $\mu\text{g/l}$  (Stjttíð.B, Nr. 796/1999).

Nikkel, sem mældist milli 0,1 og 1,3  $\mu\text{g/l}$  í skiljuvatni á árunum 1983-1991 (Jón Ólafsson 1992), mældist nú 0,123  $\mu\text{g/l}$  (SGAB Analytica 2000). Styrkur nikkels í Varmagjá og Eldvík mældist 1984 á bilinu 0,1-0,2  $\mu\text{g/l}$ , en 0,1  $\mu\text{g/l}$  1991. Nýjar mælingar sýna gildin 0,14-0,15  $\mu\text{g/l}$  (SGAB Analytica 2000), sem bendir ekki til neinna breytinga. Hér á landi er, samkvæmt gefnum umhverfismörkum fyrir nikkel í yfirborðsvatni, lífríki talin stafa mjög lítil hætta af nikkelstyrk undir 0,7  $\mu\text{g/l}$  (Stjttíð.B, Nr. 796/1999).

Króm, var ekki mælt í skiljuvatni eða í lindum við Þingvallavatn í rannsóknum á árunum 1983-1991 (Jón Ólafsson 1992). Það mældist nú 0,031  $\mu\text{g/l}$  í skiljuvatni (SGAB Analytica 2000). Styrkur króms í Varmagjá og Eldvík mældist nú 0,46-0,48  $\mu\text{g/l}$  (SGAB Analytica 2000). Hér á landi er, samkvæmt gefnum umhverfismörkum fyrir króm í yfirborðsvatni, lífríki talin stafa lítil hætta af krómstyrk undir 5  $\mu\text{g/l}$  (Stjttíð.B, Nr. 796/1999).

## 18.4. Áhrif aukinnar vinnslu

### Upphitað kælivatn.

Við stækkun virkjunarinnar úr 76 í 90 MW mun meðaldæling kælivatns frá Grámel aukast um u.þ.b. 200 kg/s. Þetta vatn hefur sömu efnasamsetningu og grunnvatnið sem það blandast en er heitara. Hugsanlega mun þetta leiða til hækkandi hita linda við Þingvallavatn. Í nýlegu reiknilíkani hefur Verkfræðistofan Vatnaskil (Snorri Páll Kjaran og Sigurður Lárus Hólm 2000b) reiknað hitadreifingu vegna aukningar affallsvatns, sjá mynd 25. Í forsendum er gert ráð fyrir að skiljuvatni og þéttivatni sé fargað saman í yfirborðsgrunnvatn nálægt holu NJ-18, en kælivatni í svelg við stöðvarhús. Niðurstaða líkanreikninga sýnir að hiti í lindum við Þingvallavatn gæti farið yfir 30°C úr 15-20°C.

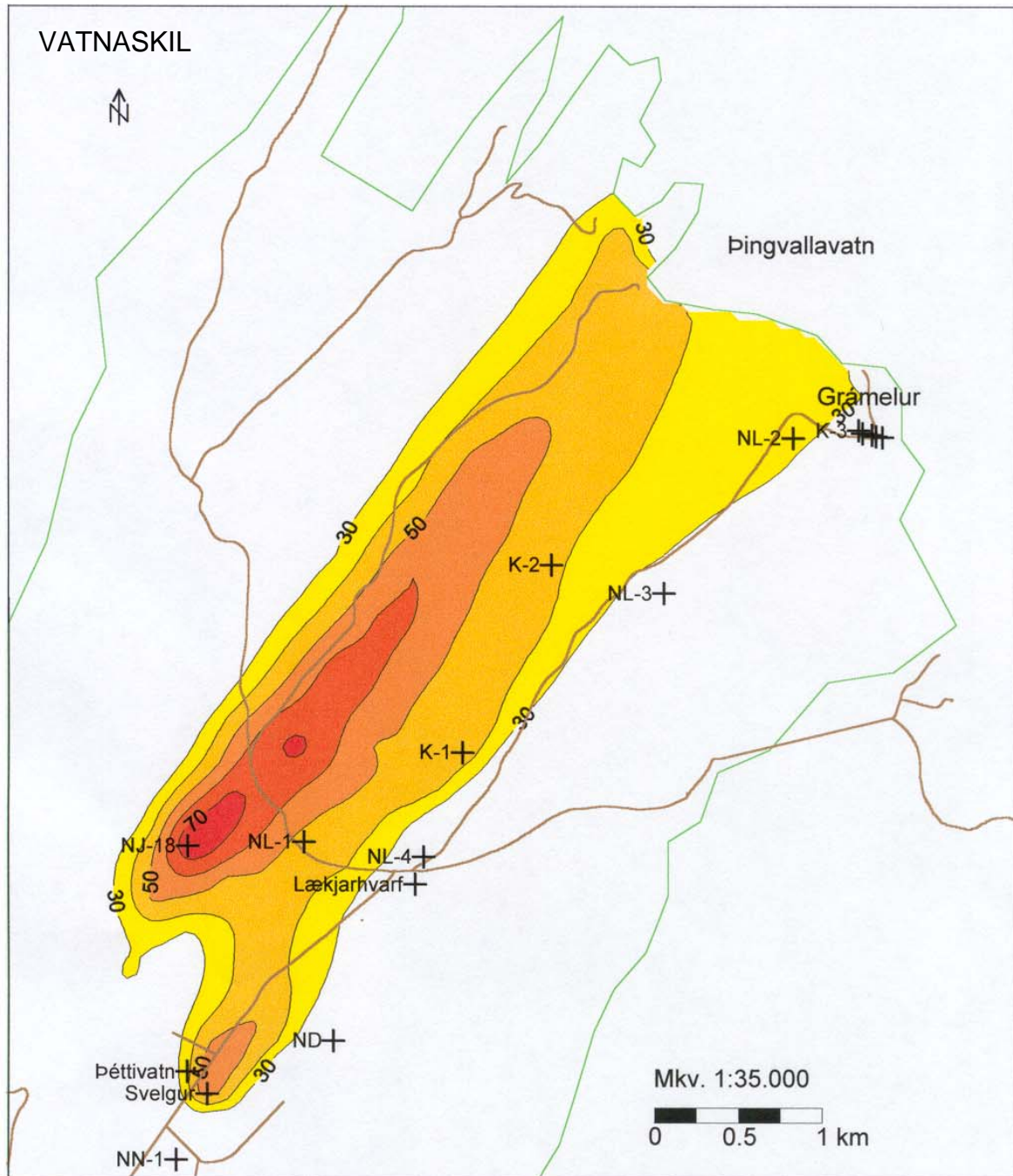
### Þéttivatn.

Við stækkun virkjunarinnar úr 76 í 90 MW mun þéttivatnsmagn aukast úr um 140 kg/s í um 175 kg/s. Gert er ráð fyrir óbreyttri losun þéttivatns þ.e. í borholu í tengslum við yfirborðsgrunnvatnslög. Eins og áður sagði er þéttivatn frá virkjuninni nær laust við uppleyst efni. Kvikasilfur gæti verið í styrk allt að 1400 ng/l eins og nú. Engrar aukningar kvikasilfurs hefur þó orðið vart í lindum við Þingvallavatn síðan virkjunin tók til starfa 1990 og er styrkur þess við greiningarmörk eða neðar.

### Skiljuvatn.

Við stækkun virkjunarinnar úr 76 í 90 MW mun skiljuvatn aukast úr u.þ.b. 260 kg/s í um 320 kg/s miðað við meðalvermi jarðhitavökvans sé 1500 kJ/kg. Þegar svæðið fer að kólna má búast við minnkandi vermi og þar með auknu skiljuvatnsstreymi, sjá kafla 6.2. Samkvæmt líkani Orkustofnunar af jarðhitakerfinu á Nesjavöllum er gert ráð fyrir að skiljuvatn aukist um rúmlega 1% á ári næstu 30 ár og verði allt að 480 kg/s árið 2030.

Samkvæmt mælingum Hitaveitu Reykjavíkur og Orkuveitu Reykjavíkur hefur styrkur helstu efna í skiljuvatni verið notaður til að reikna efnaflæði með skiljuvatni fyrir og eftir stækkun.



- + Holur
- / Hiti, ° C
- / Vegir

Mynd 25. Spá um hitadreifingu grunnvatns í Nesjhrauni.

**Tafla 18.4. Dæmigert efnainnihald skiljuvatns og áætlað efnaflæði.**

Efni	Styrkur mg/kg	Efnaflæði	Efnaflæði	Aukning
		76 MW <sub>e</sub> tonn/ár	90 MW <sub>e</sub> tonn/ár	76-90 MW <sub>e</sub> tonn/ár
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	807	6.540	8.000	1.460
Natríum (Na <sup>+</sup> )	140	1.135	1.380	245
Kalíum (K <sup>+</sup> )	29	235	285	50
Kalsíum (Ca <sup>+2</sup> )	0,2	1,6	2,0	0,4
Magnesíum (Mg <sup>+2</sup> )	0,005	0,04	0,05	0,01
Súlfat (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	8	65	79	14
Klóríð (Cl)	106	860	1.050	190
Flúoríð (F)	0,95	8	9	1
Brennisteinsvetni (H <sub>2</sub> S)	73	590	720	130
Karbónat (CO <sub>2</sub> )	38	310	375	65

Gert er ráð fyrir að skiljuvatn verði áfram losað í Nesjavallalæk eins og verið hefur. Eins og áður hefur komið fram er um lítills háttar botnfall kísils að ræða í læknum og er búist við lítills háttar aukningu á því. Til að tryggja áframhaldandi niðurrennsli við Lækjarhvarf þarf með nokkurra missera millibili að hreyfa við hraunyfirborði á botni tjarnarinnar sem þar myndast og eykst þá niðurrennsli á ný.

Fjöldmörg uppleyst efni eru í skiljuvatni. Eðlilegast er að meta áhrif þessara efna eftir að skiljuvatnið hefur blandast grunnvatni á svæðinu og það kemur fram í lindum við Þingvallavatn. Neikvæðra áhrifa má vænta annars vegar af næringarefnunum fosfór og köfnunarefni, sem geta valdið næringarefnaauðgun í vatni (Magnús Óskarsson og Matthías Eggertsson 1991; Stjtið. B, Nr. 796/1999) og hins vegar af snefilefnum, sem geta valdið eitrun í of miklum styrk (Stjtið. B, Nr. 796/1999; Stjtið. B, Nr. 797/1999).

Styrkur fosfórs í lindum við Þingvallavatn mælist hærri en í skiljuvatni. Talið er að magn fosfórs sem berst í Þingvallavatn frá virkjuninni sé óverulegt miðað við heildarmagn fosfórs sem berst í vatnið. Aukning skiljuvatns vegna stækkunarinnar mun breyta litlu þar um. Aukning í magni köfnunarefnis sem berst í vatnið vegna stækkunar er talin vera milli 200 og 300 kg köfnunarefnis á ári. Heildarmagn köfnunarefnis sem berst í vatnið á ári er talið um 140-150 tonn. Talið er að áhrif af þessari aukningu séu lítil, bæði vegna lítills magns og vegna þess að almennt er skortur á köfnunarefni í íslenskum vötnum miðað við magn fosfórs.

Fylgst hefur verið með styrk snefilefnanna: kvikasilfurs (Hg), arsens (As), blýs (Pb), kadmíns (Cd), sínks (Zn), kopars (Cu) og nikkels (Ni) frá 1984 í lindum við Þingvallavatn. Mælingar hafa nú einnig verið gerðar fyrir króm (Cr). Á þessum tíma hefur lítilla breytinga orðið vart á styrk þessara efna þrátt fyrir verulega aukningu á skiljuvatnsstreymi. Yfirleitt er um lágan styrk að ræða miðað við vötn á norðurslóðum og þau umhverfismörk sem miðað er við hér á landi og í nágrennalöndum. Sú aukning á skiljuvatnsstreymi sem gert er ráð fyrir við stækkun virkjunarinnar úr 76 í 90 MW er ekki talin breyta styrk þessara efna að ráði í lindunum. Í kafla um lífríki Þingvallavatns er gerð grein fyrir rannsóknum á þessum málum í lífríki vatnsins.

### 18.5. Tilraunir til niðurrennsli

Almennt er talið að draga megi úr umhverfisáhrifum jarðvarmavirkjana með niðurdælingu affallsvatns. Þrátt fyrir að ekki hafi orðið vart áhrifa á lífríki Þingvallavatns vegna affallsvatns frá Nesjavallavirkjun og vatn í lindum við vatnið sýni ekki merkjanlega aukningu snefilefna hefur Orkuveita Reykjavíkur ákveðið að hefja tilraunir með niðurrennsli hluta affallsvatns.

Tilraunirnar beinast að tveimur vandamálum sem upp geta komið við slíkt niðurrennsli. Í fyrsta lagi þarf að koma í veg fyrir útfellingar úr affallsvatninu, sem skapað geta erfiðleika við rekstur og stíflað förgunarholur. Í öðru lagi þarf að kanna hvert heppilegast er að setja vatnið með tilliti til áhrifa á jarðhitageyminn og grunnvatnið. Verkefnishópur með sérfræðingum frá Orkuveitu Reykjavíkur og VGK ásamt dr. Stefáni Arnórssyni prófessor og Trausta Haukssyni verkfræðingi vinnur að tilraununum.

#### Útfellingar.

Gerð hefur verið tillaga að meðhöndlunarferli fyrir affallsvatn til að koma í veg fyrir útfellingar. Felst það í því að fyrst er kísill fjölliðaður í skiljuvatninu, næst er skiljuvatnið blandað þéttivatni og að lokum látið renna niður í förgunarholur (Claus Ballzus og fleiri 2000c, Ingvi Gunnarsson og Stefán Arnórsson 2000).

Með því að láta skiljuvatnið dvelja í tanki í ákveðinn tíma fjölliðast kísillinn í vatninu að hluta þannig að styrkur ófjölliðaðs kísils verður ekki meiri en 500 mg/kg. Eftir þetta er skiljuvatnið þó enn yfirmettað af ópal (kísli) sem nemur 100-200 mg/kg. Eftir blöndun með þéttivatni verður affallsvatnið undirmetað af öllum steindum sem vitað er að myndi skeljun úr jarðhitavatni nema súlfíðsteindum og hugsanlega álslíkati. Útfellingar súlfíða úr háhitavatni með lága seltu eins og á Nesjavöllum eru litlar. Gera þarf tilraunir með útfellingar álslíkats úr vatni og er unnið að því á Raunvísindastofnun Háskólans. Mælingar hafa farið fram á fjölliðunarhraða kísils með tilraunum á Nesjavöllum og staðfesta þær fræðilega reikninga. Eftir er að gera langtíma útfellingartilraunir.

#### Niðurrennsli.

Tveir kostir eru til skoðunar um hvert niðurrennsli vatn skuli fara. Í fyrsta lagi er til skoðunar að skila því aftur niður í jarðhitageyminn, sem væri þá gerður að lokuðu kerfi. Bráðabirgðaniðurstöður líkanreikninga eru þær að búast megi við auknu skiljuvatnsstreymi vegna hækkandi vatnsþrýstings. Í öðru lagi er til skoðunar að láta það renna niður í tregtengdu grunnvatnskerfin sem eru neðan 100 m y.s. Þessu kerfi eru ekki í beinum tengslum við yfirborðsgrunnvatnið.

Tilraunir til niðurrennsli í jarðhitageyminn á Nesjavöllum verða fyrst gerðar með niðurrennsli í holu NJ-18. Skoðað verður hvaða áhrifa verður vart á jarðhitakerfið. Í framhaldi af niðurstöðu þessarar tilraunar verður ný staðsetning ákveðin ef þörf krefur.

Jafnframt verður boruð niðurrennslishola sem verður niður í grunnvatnskerfin neðan 100 m y.s. (sjá kafla 11.). Sjö holur verða boraðar norðan holunnar og ásamt holum NN-1 og NN-2, sem eru sunnar, verða þær notaðar til að rannsaka hvað verður um niðurrennsli vatnið. Könnuð verður straumstefna, blöndun og áhrif affallsvatnsins á grunnvatnið og hvort það berst til Þingvallavatns. Sjá má tillögur að staðsetningum niðurrennslishola á mynd 2.

### **18.6. Niðurstöður**

Búist er við litlum breytingar á styrk næringarefna og snefilmálma í lindum við Þingvallavatn þrátt fyrir aukningu affallsvatns. Hugsanlegt er talið að hiti í lindum við vatnið hækki vegna aukningar á förgun á heitu vatni.

Orkuveita Reykjavíkur mun með reglubundnum mælingum vakta efnainnihald og hita lindanna við vatnið.



## 19. LOSUN JARÐHITAGASTEGUNDA

### 19.1. Almennt

Helstu lofttegundir í jarðhitagufu, sem eru talin umhverfisspillandi, eru brennisteinsvetni ( $H_2S$ ), koldíoxíð ( $CO_2$ ) og metan ( $CH_4$ ). Af sporefnum, sem berast með gufu hafa menn einkum áhyggjur af kvikasilfri (Hg).

Brennisteinsvetni er eitruð lofttegund og getur oxast í brennisteinsdíoxíð ( $SO_2$ ). Losun  $SO_2$  er háð alþjóðasamþykktum, en það getur valdið súru regni þegar það oxast áfram í  $SO_3$  og myndar brennisteinssýru ( $H_2SO_4$ ) með regnvatni. Rannsóknir á afdrifum  $H_2S$  frá jarðhitasvæðum á Íslandi hafa ekki leitt í ljós samband milli losunar þess og aukningar á  $SO_2$  eða súru regni (Grétar Ívarsson og fleiri 1993, Hrefna Kristmannsdóttir 1997, Jón Örn Bjarnason 1991).

Í þessum rannsóknum hefur komið í ljós að magn brennisteinsvetnis í lofti á jarðhitasvæðum er almennt mjög háð úrkomu og þvæst auðveldlega úr lofti með regni eða snjó. Hugmyndir eru uppi um að brennisteinsvetnið oxist í vatn og brennistein (S), sem falli til jarðar og nýtist gróðri sem áburður.

Grös þurfa 5-15 kg af brennisteini á hektara á ári. Nokkuð berst með regni til landsins, sem brennisteinssýra (súrt regn), en víða skortir þó brennistein í jarðveg hér á landi, einkum á þurrviðrasömum svæðum norðan- og austanlands og á Vestfjörðum (Magnús Óskarsson og Matthías Eggertsson 1991).

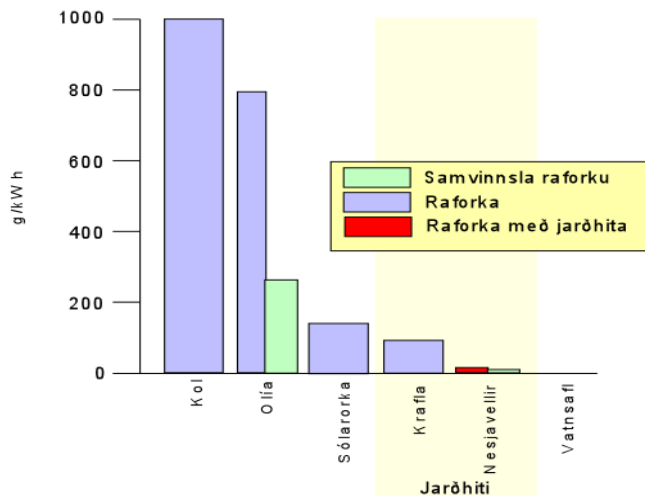
Rannsóknir á áhrifum brennisteinsvetnis á gróður voru gerðar á vegum Kaliforníuháskóla 1975 og 1976 (Thompson og fleiri 1982). Í ljós kom að styrkur  $H_2S$  allt að 100 ppb jók vöxt ýmissa plantna hluta ársins. Styrkur  $H_2S$  meiri en 300 ppb dró úr vexti eða olli lauffalli. Koldíoxíð dró úr neikvæðum áhrifum brennisteinsvetnis.

Samkvæmt reglum eru mengunarmörk brennisteinsvetnis á vinnustað 10 000 ppb (10 ppm) miðað við 8 stunda vinnudag og þakgildi 15 000 ppb (15 ppm) miðað við 15 mínútna meðaltal (Stjtið.B, Nr. 154/1999). Almennt er talið að lyktarmörk fyrir brennisteinsvetni sé 0,005-0,010 ppm (5-10 ppb) (Egill Jónsson og Baldur Línadal 1993).

Engar reglur eru í gildi um mengunarmörk brennisteinsvetnis í andrúmslofti.

Koldíoxíð og metan eru gróðurhúsalofttegundir, en ekki eitruð. Magn útblásturs þessara lofttegunda er háð ákvæðum Rio samkomulagsins. Jarðvarmavirkjanir hafa hins vegar í för með sér minni losun þessara lofttegunda en önnur orkuver, nema vatnsaflsvirkjanir. Metan er margfalt öflugri gróðurhúsalofttegund heldur en koldíoxíð. Jarðhitagastegundir á Nesjavöllum innihalda aðeins brot úr prósentu af metani.

Á mynd 26 má sjá losun gróðurhúsagastegunda við nýtingu mismunandi orkugjafa til orkuframleiðslu. Þar má sjá að nýting jarðvarma er verulega betri kostur en aðrir ef undanskilin er nýting vatnsorku. Þar sem orkuverið á Nesjavöllum nýtir einnig varma úr skiljuvatni er nýtingarhlutfall jarðhitans hærra þar en fyrir orkuver, sem eingöngu framleiða raforku eins og í Kröflu.



Mynd 26. Losun gróðurhúsagastegunda við nýtingu mismunandi orkugjafa.

## 19.2. Núverandi losun jarðhitagastegunda

Eins og áður hefur komið fram er um 0,5% af þyngd gufunnar óþéttanlegar gastegundir s.k. jarðhitagas. Samkvæmt mælingum Orkuveitu Reykjavíkur í skiljustöð er dæmigert gasinnihald gufunnar og áætlað efnaflæði fyrir og eftir stækkun eftirfarandi:

Tafla 19.1. Dæmigert gasinnihald gufu og áætlað efnaflæði.

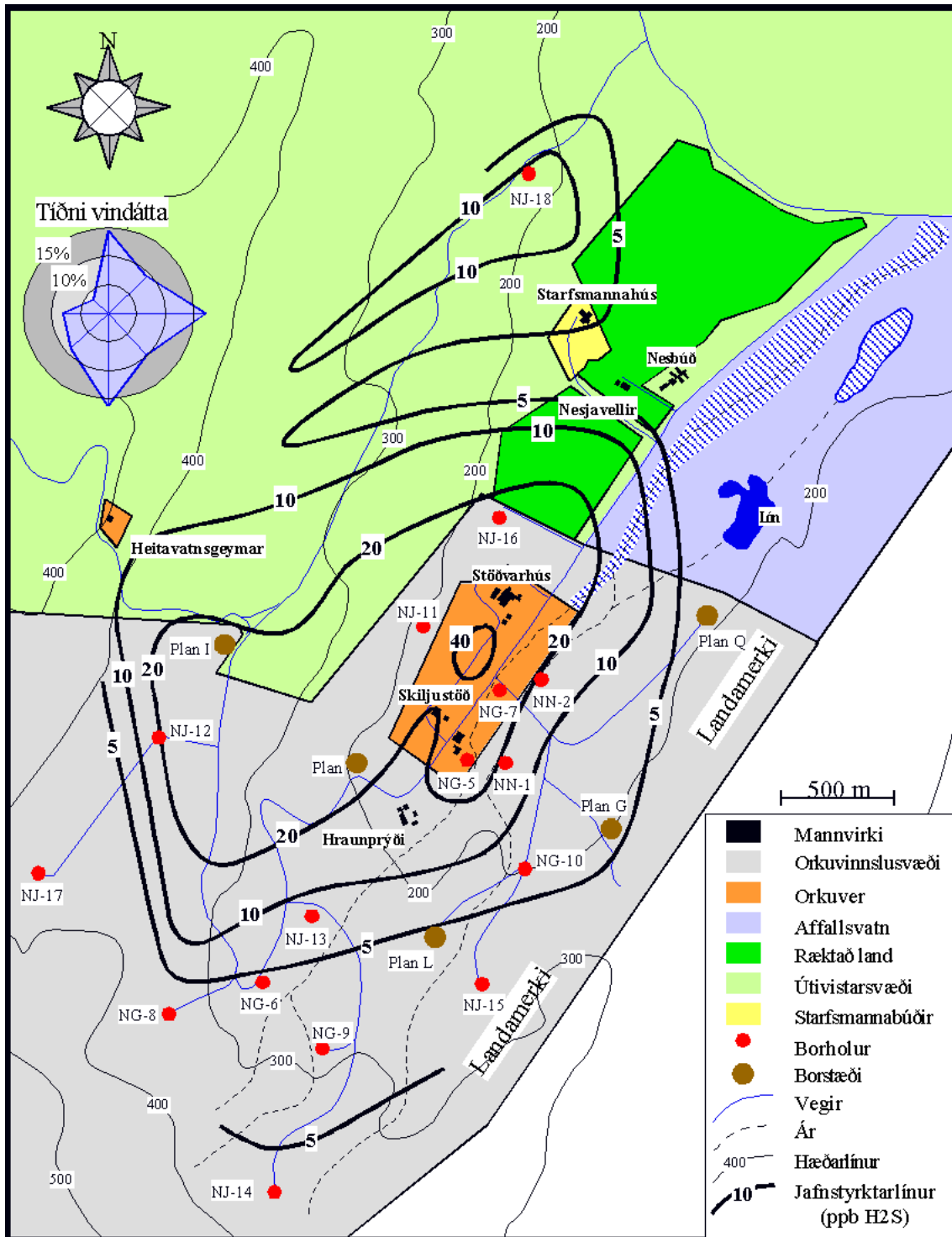
Efni	Styrkur	Efnaflæði	Efnaflæði	Aukning
	mg/kg gufu	76 MW tonn/ár	90 MW tonn/ár	76-90 MW tonn/ár
Koldíoxíð, CO <sub>2</sub>	3.200	14.100	17.400	3.300
Brennisteinsvetni, H <sub>2</sub> S	970	4.300	5.300	1.000
Vetni, H <sub>2</sub>	50	220	270	50
Köfnunarefni, N <sub>2</sub>	340	1.500	1.850	350
Metan, CH <sub>4</sub>	5	22	27	5
Súrefni og argon, O <sub>2</sub> +Ar	5	22	27	5

Á vegum Hitaveitu Reykjavíkur hefur brennisteinsvetni verið mælt á Nesjavöllum og er fylgst með styrk þess í andrúmslofti. Mæliniðurstöður sýna að styrkur brennisteinsvetnis er mjög breytilegur og háður veðri. Viðamiklar mælingar 1992 gáfu meðalgildi daga frá 1,2 – 32,7 ppb og einstök mæligildi frá 0,0 – 285 ppb (Gestur Gíslason og fleiri 1992). Við samanburðarmælingar jarðhitasvæða 1993 fékkst meðalgildið 6,0 ppb og einstök gildi frá 0,0 – 147 ppb á Nesjavöllum (Grétar Ívarsson og fleiri 1993). Þetta eru sambærileg gildi og fengust við mælingar á öðrum jarðhitasvæðum á Íslandi. Ekki virðist marktækur munur á virkjuðum og óvirkjuðum svæðum. Styrkurinn er í öllum tilvikum aðeins brot af því hámarki sem má vera á vinnustöðum. Dreifingu brennisteinsvetnis á Nesjavöllum samkvæmt mælingum 1992 má sjá á mynd 27. Mælt var vikulega yfir svæðið óháð veðurskilyrðum í tíu skipti.

Á myndinni má sjá meðaldreifingu brennisteinsvetnis á Nesjavöllum samkvæmt mælingunum sem gerðar voru 1992. Myndin sýnir að styrkur  $H_2S$  er að meðaltali u.þ.b. 0,005 ppm (5 ppb) við starfsmannahús og Nesjavallabæ. Hvort lykt finnst þar eða ekki fer hins vegar alfarið eftir vindátt og vindstyrk.

Við framkvæmdir við stækkun stöðvarhúss á Nesjavöllum vegna áfanga 4a var háfur fyrir losun jarðhitagastegunda fjarlægður tímabundið og gastegundirnar losaðar um bráðabirgðaháf á meðan. Við mælingar sumarið 2000 kom í ljós að þegar hægán vind lagði frá bráðabirgðaháfi yfir byggingarstað gat brennisteinsvetni mælst yfir leyfilegum mörkum á vinnustað. Ljóst var að bráðabirgðaháfur var ekki fullnægjandi og var komið á reglulegum mælingum á byggingarstað. Búið er við að ástandið komist í eðlilegt horf þegar gaslosunarháfur hefur aftur verið settur upp.

Af snefilefnum, sem berast með gufu, hefur athyglin einkum beinst að kvikasilfri (Hg). Með mælingum á kvikasilfri, sem gerðar voru á árunum 1983-1991 (Jón Ólafsson 1992), kom í ljós að innihald kvikasilfurs í jarðhitagastegundum á Nesjavöllum er 2-106 ng/l og er mismunandi eftir borholum. Á vegum Orkustofnunar voru gerðar mælingar á kvikasilfri í andrúmslofti á Nesjavöllum og á fleiri jarðhitasvæðum í júlí 1993 (Grétar Ívarsson og fleiri 1993) og mældist á Nesjavöllum frá 0,5-5,0 ng/m<sup>3</sup>. Bakgrunnsgildi strandsvæða er talið vera um 1,5 ng/m<sup>3</sup> en um 4,0 ng/m<sup>3</sup> yfir meginlöndum. Samkvæmt Alþjóðaheilbrigðisstofnuninni (WHO 1976) er styrkur hærri en 15 ng/m<sup>3</sup> í andrúmslofti óæskilegur. Ekki reyndist marktækur munur á kvikasilfri í andrúmslofti virkjaðra og óvirkjaðra jarðhitasvæða samkvæmt þessum mælingum. Styrkur kvikasilfurs reyndist í öllum tilfellum lægri en 6,0 ng/m<sup>3</sup>, rétt við eða undir óvissumörkum greiningaraðferðarinnar. Er styrkur kvikasilfurs sambærilegur við styrk þess í andrúmslofti utan jarðhitasvæða, s.s. yfir haf- og strandsvæðum.



Mynd 27. Styrkur H<sub>2</sub>S á Nesjavöllum 1992 (Gestur Gíslason 1992)

### 19.3. Undirbúningur mótvægisáðgerða

Hitaveita Reykjavíkur og nú Orkuveita Reykjavíkur hefur, ásamt Orkustofnun og fleiri aðilum, tekið þátt í samstarfsverkefnum um rannsóknir á umhverfisáhrifum jarðhitanytingar. Hluti þeirra rannsókna hefur snúist um mengunarmál. Mælingar hafa verið gerðar á styrk brennisteinsvetnis ( $H_2S$ ), brennisteinsdíoxíðs ( $SO_2$ ) og kvikasilfurs (Hg) á jarðhitasvæðum, virkjuðum jafnt sem óvirkjuðum, og afdrif brennisteinsvetnis könnuð.

Mælingar Orkustofnunar á styrk  $SO_2$  á jarðhitasvæðum 1993 sýndu að styrkurinn var víðast hvar lágur og við óvissumörk mæliaðferðarinnar. Mengunarmörk fyrir  $SO_2$  gera ráð fyrir að sólarhringsmeðaltal styrks þess fari ekki yfir  $50 \text{ g/m}^3$ .

**Tafla 19.2. Styrkur  $SO_2$  á nokkrum jarðhitasvæðum á Íslandi.**

Mælistaður	Styrkur $SO_2$ $\mu\text{g/m}^3$
Reykjanes	0,3-0,7
Svartsengi	0,2-0,3
Krísuvík	0,6
Nesjavellir	1,5-1,8
Hveragerði	0,3-1,9
Ölkelduháls	0,5-1,0
Krafla	1,8-4,6
Námafjall	0,5-11,6
Þeistareykir	0,1-0,8

(Grétar Ívarsson og fleiri 1993)

Ekki hefur tekist að sýna fram á fylgni milli losunar brennisteinsvetnis ( $H_2S$ ) og aukningar á brennisteinsdíoxíði ( $SO_2$ ) í lofti á jarðhitasvæðum eða í nágrenni þeirra. Hins vegar kom í ljós að brennisteinsvetni minnkar hratt í lofti þegar úrkoma er (Hrefna Kristmannsdóttir 1997).

Auk þátttöku í ofangreindum rannsóknum hefur Hitaveita Reykjavíkur látið gera könnun á tæknilegum lausnum við hreinsun brennisteinsvetnis úr jarðhitagastegundum áður en þeim er sleppt til lofts (Baldur Línal 1989, Egill Jónsson og Baldur Línal 1993, Egill Jónsson og Baldur Línal 1995, Haldor Topsøe 2000).

Samantekt þessara niðurstaðna er að finna í töflu 19.3. ásamt kostum og göllum við hverja aðferð.

Fyrirhugað er að hefja vöktun gróðurfars á Nesjavöllum. Einn hluti þeirrar vöktunar verður að fylgjast með áhrifum losunar jarðhitagastegunda á gróður.

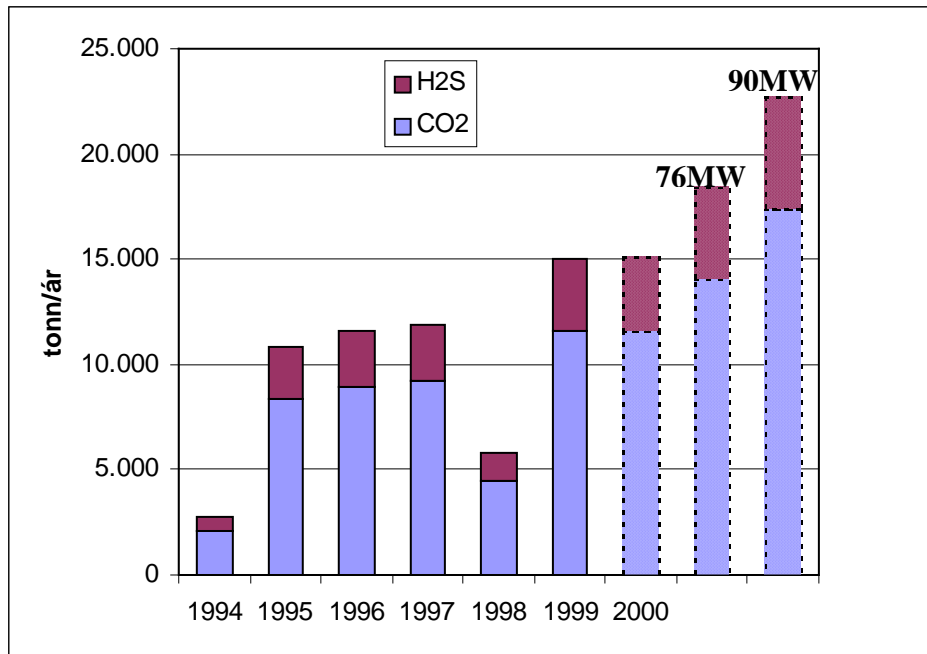
Nú er að hefjast alþjóðlegt rannsóknarverkefni með þátttöku Orkustofnunar, Iðntækni- stofnunar, Hitaveitu Suðurnesja, Orkuveitu Reykjavíkur og fleiri aðila þar sem leitað verður hagkvæmustu aðferða við losun jarðhitagastegunda. Gert er ráð fyrir að verkefnið taki nokkur ár. Í tengslum við vöktun gróðurfars mun verða fylgst með því hvort áhrifa losunar jarðhita- gastegunda verður vart.

**Tafla 19.3. Förgunaraðferðir brennisteinsvetnis, kostir og gallar.**

Förgunaraðferð	Kostir	Gallar
Niðurdæling á brennisteinsvetni uppleystu í vatni niður í grunnvatnskerfið.	Einföld aðferð.	Þarfnast verulegra athugana á grunnvatnskerfi. Erfitt að segja til um langtímaáhrif förgunarinnar og nýir áhættuþættir skapast. Útfellingar gætu valdið erfiðleikum í rekstri.
Niðurdæling á brennisteinsvetni uppleystu í vatni niður í jarðhitakerfið.	Örugg losun.	Dýpri og dýrari holur en að ofan. Útfellingar gætu valdið erfiðleikum í rekstri.
Framleiðsla brennisteins	Vel þekktar aðferðir í efnaiðnaði. Lítill neikvæð áhrif á umhverfi við framleiðslu. Skapar stöðuga vinnu við rekstur. Gæti tæplega gefið af sér afurð, sem stæði undir rekstrinum.	Hár stofn- og rekstrarkostnaður. Mikið framboð er á brennisteini á heimsmarkaði og verð lágt, þar sem um aukaafurð er að ræða. Gæti komið til urðunar á brennisteini, með tilheyrandi jarðraski og kostnaði.
Framleiðsla brennisteinssýru.	Vel þekktar aðferðir í efnaiðnaði. Lítill neikvæð áhrif á umhverfi við framleiðslu. Auðveldar niðurdælingu skiljuvatns, ef ráðist verður í hana. Hugsanlega skapast markaður fyrir brennisteinssýru innanlands.	Hár stofn- og rekstrarkostnaður. Lítill innanlands markaður fyrir brennisteinssýru og útflutningur torsóttur. Neikvæð áhrif á umhverfið ef farga þarf miklu magni af sýrunni.

#### 19.4. Áhrif aukinnar vinnslu

Áætlað magn losaðra jarðhitagastegunda má sjá í töflu 19.1. Á mynd 28 má sjá losun jarðhitagastegundanna koldíoxíðs og brennisteinsvetnis frá virkjuninni á Nesjavöllum undanfarin ár og áætlaða losun eftir stækkun. Árin 1994 og 1998 var virkjunin stöðvuð tímabundið vegna framkvæmda.



**Mynd 28. Losun jarðhitagastegunda á Nesjavöllum.**

Við stækkun virkjunarinnar eykst gaslosun til lofta. Þetta hefur í för með sér aukningu á koldíoxíðlosun á Íslandi um 0,14% (miðað við útblásturinn 1995). Ekki er talið líklegt að þessi losun hafi nein áhrif á nánasta umhverfi virkjunarinnar. Við stækkun virkjunarinnar eykst losun brennisteinsvetnis um 1000 t á ári. Vegna mikillar úrkomu á Nesjavöllum er talið að mest af þessu brennisteinsvetni falli til jarðar með úrkomu nálægt virkjuninni og oxist þar í súlfat. Við vissar veðuraðstæður getur þetta brennisteinsvetni borist víða og hugsanlega fallið sem brennisteinn, sem nýtist þá sem áburður. Við stækkun virkjunarinnar eykst losun metans um 5 tonn á ári og verður um 27 tonn/ár. Þetta er 0,04 % aukning á losun metans á Íslandi.

### 19.5. Niðurstöður

Losun gróðurhúsagastegunda frá jarðhitavirkjunum er lítil samanborið við önnur orkuver. Vegna hárrar nýtingar orkunnar á Nesjavöllum samanborið við aðrar jarðhitavirkjanir, vegna framleiðslu á heitu vatni samhliða raforku, er losun gróðurhúsagastegunda sérlega lág fyrir hverja framleidda kílóvattstund.

Hitaveita Reykjavíkur og nú Orkuveita Reykjavíkur hafa um langt skeið leitað eftir aðferðum til að lágmarka losun jarðhitagastegunda frá orkuverinu á Nesjavöllum og framtíðar orkuverum sínum. Enn hefur ekki fundist ásættanleg leið að mati Orkuveitunnar.

Orkuveita Reykjavíkur leitar áfram leiða til að lágmarka áhrif losunar jarðhitagastegunda frá orkuverinu á Nesjavöllum og hugsanlegum jarðhitaorkuverum sínum í framtíðinni.



## 20. SJÓNÆN ÁHRIF

### 20.1. Lýsing

Sjónræn áhrif á Nesjavöllum markast af núverandi stöðvarhúsi og gufuveitu. Frá fjölmörgum borholum liggja safnæðar að skiljustöð þar sem gufa og vatn eru skilin að. Gufuháfar skiljustöðvar eru áberandi einkum þegar gufu er veitt út um þá. Frá skiljustöð liggja aðveituæðar að stöðvarhúsi rafstöðvar og varmastöðvar.

Boranir hófust á Nesjavöllum 1965 og hafa staðið með hléum síðan. Boraðar hafa verið 22 holur 1000 til 2000 m djúpar. Framkvæmdir við orkuverið hófust 1987. Frá byrjun hefur landslagsarkitekt starfað við að móta umhverfi orkuversins. Hönnun bygginga hefur jafnframt vakið athygli innanlands og utan og þykir vel heppnuð.

Á undanförunum árum hefur útblástur gufu frá blásandi borholum og gufuháfum verið einkennandi fyrir Nesjavallasvæðið. Eftir því sem virkjunin hefur þróast hefur þetta þó tekið breytingum. Eftir áfanga 4a, verður gufa frá borholum fullnýtt og mun þá gufuútblástur minnka frá því sem verið hefur.

### 20.2. Áhrif framkvæmda og reksturs

Sjónræn áhrif vegna framkvæmda við áfanga 4b verða einkum vegna:

- Vegagerðar að nýjum borsvæðum þ.e. borsvæðum B, C og D.
- Bortækis á meðan á borunum stendur.
- Lagningu safnæða að borholum og lagningu safnæðastofns frá borsvæði A.
- Nýs lokahúss og gufuháfs.

Minni háttar áhrif verða vegna nýrrar aðveituæðar og stækkunar dæluhúss við Grámel.

Vegagerð vegna stækkunar Nesjavallavirkjunar er vegna vegslóða að borstæðum og meðfram safnæðum þegar staðsetning þeirra fellur ekki að vegslóðum að borstæðunum. Leitast verður við að nota þá slóða sem fyrir eru og fella nýja að landslagi eins vel og hægt er. Sjá mynd 2, þar sem staðsetning þeirra er sýnd. Staðsetning vegslóða var ákveðin í samráði við landslagsarkitekt virkjunarinnar. Staðsetningu vega sem enn hafa ekki verið lagðir má hnika til í samræmi við niðurstöður gróðurfarsrannsókna. Sáð verður í vegslóða meðfram safnæðum.

Boraðar verða 2-3 nýjar vinnsluholur fljótlegra og þær tengdar með safnæðum við gufuveitu orkuversins. Hugsanlega má nýta rannsóknarholur nr. 21 og 22 sem vinnsluholur og þarf þá ekki að bora strax. Bortækið Jötun eða sambærilegt tæki, sem reiknað er með að nota við boranir er mikið mannvirki og áberandi á meðan borun fer fram. Hins vegar er aðeins reiknað með einni holu með 5-6 ára millibili til viðhalds. Borun tekur um 6-8 vikur í hvert skipti. Frágangur við holur verður með sama hætti og við þær holur sem fyrir eru.

Auk gerðar vega og borstæða eins og að ofan er lýst, þarf að tengja borholur við gufuveitu, leggja nýjan safnæðastofn frá efra svæði. Gert er ráð fyrir að lagnir gufuveitu verði lagðar ofanjarðar eins og aðrar lagnir veitunnar á svæðinu. Reynt verður að fella lagnirnar að landslagi og vegslóðum sem fyrir eru eins og hægt er. Þetta takmarkast af því að lagnirnar verða að halla að skiljustöð til að ekki safnist fyrir í þeim skiljuvatn. Þar sem fleiri en ein borhola verður á sama borsvæði verða safnæðar sameiginlegar frá þeim holum.

### **20.3. Niðurstöður**

Að framkvæmdum loknum verður gengið frá vegum, borstæðum og lögnum með sama hætti og áður hefur verið gert á Nesjavöllum. Sjá mynd 7. Leitast verður við að halda raski í lágmarki og ganga frá jarðvegssárum með uppgræðslu eftir því sem við á. Gengið verður frá mannvirkjum í stíl við þau sem fyrir eru.

Heildarásýnd svæðisins mun taka litlum breytingum frá því sem nú er.

Einungis staðkunnugir munu sjá breytingu á svæðinu vegna stækkunarinnar.

## 21. EFNISNÁM OG FÖRGUN ÚRGANGS

### 21.1. Núverandi efnisnáma

Við jarðvinnu á virkjunarsvæðinu hefur fyllingar- og burðarlagsefni, aðallega fyrir borstæði, verið sótt í námu í Stangarhálsi á Nesjavöllum, vegna stuttrar vegalengdar (sjá mynd 2). Þessi náma er gerð út úr gilskorningi og er vart sýnileg öðrum en þeim sem um hana vita. Talið er að hægt sé að nota námuna um nokkra framtíð. Við nýtingu námunnar hafa eftirfarandi atriði verið höfð að leiðarljósi:

- Að náman verði ekki opnuð meira fram í dalinn en nú er.
- Að brún námu nái ekki hærra upp en núverandi námubrúnir gera.
- Að sem minnstu yfirborði lands verði raskað vegna námavinnslunnar.
- Að ýtingu moldar og yfirborðsefna verði haldið í lágmarki.
- Af öryggisástæðum verði náman unnin með bröttum fláum en ekki stöllum eða með þverhnípi.

### 21.2. Efnisnám á framkvæmda- og rekstrartíma

Ef miðað er við að bora þurfi samtals 6 holur vegna stækkunar orkuversins á næstu 30 árum þarf um 15.000 rúmmetra af fyllingarefni á því tímabili. Af því má ætla að fá megi a.m.k. helming efnisins úr eldri borstæðum en allt að helmingur verði tekinn úr námu í Stangarhálsi. Umhverfisáhrif vegna efnisnáms verða því lítil.

### 21.3. Núverandi förgun úrgangs

Sorphirða er í höndum gámaþjónustu á Selfossi. Rulsagámar eru við staðsettir við helstu mannvirki.

Urðunarstaður og geymslusvæði er vestan undir Stangarhálsi (sjá mynd 2). Þar hefur umframefni frá framkvæmdum og uppgreftri verið komið fyrir. Gert er ráð fyrir að við næsta áfanga framkvæmda verði umhverfi urðunarstaðarins snyrt og trjám plantað umhverfis.

### 21.4. Förgun úrgangs á framkvæmdatíma

Vatn, sem notað er til kælingar við borun inniheldur meginhluta bortímans borsvarf. Á tímabili inniheldur vatnið einnig borleðju og smávegis af sementsefju þegar steyp er. Grófasta borsvarfið verður sigtað frá en skolvatni hringrásað. Þessu grófasta efni verður jafnað um borstæðið. Safnþró verður útbúin á borstæðinu þar sem fíngerðari úrgangur botnfellur. Að borun lokinni verður jafnað yfir safnþróna. Heildarmagn borsvarfs er áætlað um 150 m<sup>3</sup> fyrir hverja holu.

Annar möguleiki á frágangi er urðun borsvarfsins á urðunarstað að borunum loknum. Gert er ráð fyrir að nota urðunarstað vetan Stangarháls, en leitað verður umsagnar Náttúruverndar ríkisins áður ef til þess kemur.

Verktaki mun við borun farga öðrum úrgangi í sérstaka gáma sem fjarlægðir verða af gámaþjónustu og ruslið urðað á viðurkenndu urðunarsvæði, eins og verið hefur.



## 22. HÆTTUMAT

### 22.1. Inngangur

Þessi kafli byggir á greinargerð frá Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen (Dóra Hjálmarsdóttir 2000), sem fjallar um hættumat fyrir virkjunina í heild.

### 22.2. Almennt

Árið 1997 var hafin vinna við neyðarvarnir hjá Hitaveitu Reykjavíkur, nú Orkuveitu Reykjavíkur. Gert var neyðarskipulag og neyðartilvik greind.

Þau neyðartilvik sem tekið var tillit til við greininguna voru náttúruvá svo sem jarðskjálftar, skemmdarverk, hryðjuverk og stórfelldar bilanir.

Lagt var mat á tíðni ofangreindra atburða og á alvarleika afleiðinga þeirra með tilliti til áhrifa þeirra á umhverfi og starfsemi orkuversins. Afleiðingar voru flokkaðar í áhrif á menn, umhverfi, búnað og mannvirki, framleiðslu heits vatns annars vegar og framleiðslu raforku hins vegar. Tekið var tillit til tíðni umferðar um svæðið, þ.e. viðveru starfsmanna og gesta.

### 22.3. Neyðartilvik

Jarðskjálftar með upptök á Suðurlandi, í Brennisteinsfjöllum, Krísuvík eða í Hengli geta haft áhrif á Nesjavöllum. Hugað var að jarðskjálftapoli bygginga og búnaðar, festinga, frágangs og undirstöðum tækja og búnaðar.

Mögulegar afleiðingar er sprungumyndun í jarðvegi á virkjunarsvæðinu, slys á mönnum, tjón á umhverfi vegna mengunar, tjón á búnaði eða mannvirkjum og minnkun eða stöðvun framleiðslu.

Fylgst er með fyrirboðum jarðskjálfta á Veðurstofu Íslands og gerir skjálftavakt stjórnstöð OR viðvart ef vart verður aukinnar skjálftavirkni.

Eldgos í Hengli verður væntanlega sprungugos og er ekki reiknað með miklu öskufalli, en hraunrennsli getur orðið nokkurt. Ríkjandi vindáttir myndu bera ösku yfir virkjanarsvæðið. Gosið getur á sprungu eftir Kýrdalshrygg, Stangarhálsi eða jafnvel getur opnast sprunga á virkjunarsvæðinu sjálfu.

Fylgst er með fyrirboðum eldgosa á Veðurstofu Íslands og gerir skjálftavakt stjórnstöð OR viðvart ef vart verður aukinnar skjálftavirkni sem túlka má sem gosóróa.

Skemmdarverk, hryðjuverk: Til skemmdar- og hryðjuverka í neyðartilvikalista eru nefnd mengun vatns og eyðilegging mannvirkja.

Stórfelldar bilanir geta átt sér stað við geyma, flutningsæðar og stjórnstöð. Afleiðingar geta verið: Slys, tjón á umhverfi vegna útstreymis á heitu vatni, tjón á búnaði, minnkun / stöðvun á framleiðslu.

### 22.4. Mat á áhættu

Almennt. Í ljós kom að áhætta vegna flestra afleiðinga neyðartilvika lenti innan ásættanlegra marka og krafðist því ekki nánari athugunar, voru það afleiðingar sem tengdust öllum flokkum (menn, umhverfi, búnaður og mannvirki, framleiðsla varma- eða raforku).

Jarðskjálftar. Óásættanlegar afleiðingar jarðskjálfta tengjast helst hættu fyrir fólk vegna bruna (heitt vatn eða gufa) og hruns, en einnig tjóni á búnaði og raforkuframleiðslu. Nokkur hætta kom í ljós vegna elds, eitrunar og almennra slysa.

Afleiðingar fyrir umhverfið reyndust ásættanlegar, en helst steðjar hætta að lífríki vegna útstreymis heits vatns eða mengunar frá eldsneytisgeymum. Afleiðingar vegna varmaframleiðslu reyndust einnig ásættanlegar.

Óásættanlegar afleiðingar vegna búnaðar voru tjón á holum.

Óásættanlegt tjón á raforkuframleiðslu reyndist tjón sem setur stýringu orkuversins úr sambandi; tjón á stjórnbúnaði eða stöðvun aðstreymis gufu.

Eldgos í Henglinum getur haft ófyrirsjáanlegar afleiðingar fyrir orkuverið á Nesjavöllum. Afleiðingar geta verið hverfandi upp í það að þýða lokun orkuversins.

Hætta á banaslysum er mikil í námunda við eldstöðvar, einnig hætta vegna eitraðra lofttegunda og hætta vegna öskufalls og grjótlugs. Nokkur hætta er einnig vegna gufustreymis frá rofnum lögnum. Miklar líkur eru á því að stöðva þurfi alla framleiðslu tímabundið.

Skemmdarverk, hryðjuverk. Afleiðingar vegna skemmdarverka reyndust innan ásættanlegra marka.

Stórfelldar bilanir. Flóð úr geymum eða flutningsæðum.

Afleiðingar vegna umhverfis, búnaðar og framleiðslu reyndust ásættanlegar, en aðgerðir vegna slysa á mönnum þarfnast skoðunar. Mest hætta reyndist á bruna vegna útstreymis á heitu vatni frá geymum eða flutningsæðum sem liggja ofanjarðar.

## 22.5. Niðurstöður

Í ljós kom við að þrír grunnþættir minnka eða koma í veg fyrir afleiðingar í lang flestum tilvikum:

**Hönnunarforsendur:** Mannvirki séu hönnuð miðað við þá hættu sem skapast getur á svæðinu. Að hönnunarforsendur séu yfirfarnar og endurskoðaðar ef þekking eða aðstæður breytast.

**Reglulegt viðhald:** Mannvirkjum og búnaði sé haldið við reglulega og með skipulegum hætti. Til stuðnings þess sé höfð handbók sem leiðbeini um helstu viðhaldspætti, skráðar séu helstu upplýsingar um bilanir og óhöpp og að skráning sé aðgengileg til úrvinnslu. Þessu fylgir þjálfun starfsmanna í notkun handbóka ásamt reglulegri uppfærslu á þeim og skipulagning skráningar.

**Viðbrögð við neyðartilviki:** Fyrir hendi séu leiðbeiningar til starfsmanna um viðbrögð í neyðartilviki og viðeigandi hjálparbúnaður. Þessu fylgir einnig regluleg þjálfun starfsmanna í viðbrögðum.

### III. NIÐURSTÖÐUR OG HEIMILDIR

#### 23. INNGANGUR

Í þessum hluta eru dregnir saman úr II hluta skýrslunnar helstu umhverfisþættir sem framkvæmdin er talin hafa áhrif á, líkleg áhrif sem framkvæmdin er talin hafa á þá þætti og helstu mótvægisáðgerðir sem fyrirhugaðar eru til að vegna á móti þeim umhverfisáhrifum sem vænta má vegna stækkunar virkjunarinnar á Nesjavöllum.

#### 24. NIÐURSTÖÐUR MATS Á UMHVERFISÁHRIFUM

Tafla 24.1. Niðurstöður mats á umhverfisáhrifum.

Umhverfisþættir	Umhverfisáhrif	Mótvægisáðgerðir
<b>Áhrif á framkvæmdatíma</b>		
Vegagerð (kafla 20)	Lítill.	Notaðir verða vegir sem fyrir eru. Nýir felldir að landi eins og kostur er. Sáð í vegslóða meðfram safnæðum.
Efnisnám (kafla 21)	Lítill. Nýtt efni sótt í námu á Nesjavöllum, sem lítið áberandi rask fylgir.	Efni notað úr eldri borsvæðum eftir föngum.
Borun (kafla 6)	Jarðrask vegna gerðar borstæða.	Borstæðum fækkað með því að bora fleiri en eina holu af hverju. Borstæði og umhverfi snyrt að borunum loknum.
	Frárennsli borvatns með leifum borleðju.	Safnþrær settar upp til að skilja frá borleðju. Vatni veitt í vatnsvegi og læki.
	Hávaði á meðan holur blása.	Hljóðdeyfar settir við holur.
	Losun CO <sub>2</sub> og H <sub>2</sub> S á meðan holur blása.	Lokað hús sett yfir holur til að hindra fólk í að komast í borholukjallara, þar sem eitrunarhætta er mest.

Mannvirkjagerð (kaflí 20)	Sjónræn áhrif vegna safnæða, aðveituaðar, lokahúss og stækkunar dælustöðvar.	Safnæðar lagðar með sama hætti og þær sem fyrir eru. Mannvirki verða í stíl við þau sem fyrir eru.
Efnahagsleg og félagsleg áhrif (kaflí 17)	Lítill.	Engar fyrirhugaðar.
<b>Áhrif á rekstrartíma</b>		
Orkuforði (kaflí 6.)	Jarðhitageymir er nú talinn þola stækkun vel. Óvíst hversu lengi full rafmagnsframleiðsla getur haldið lengi áfram að 30 árum liðnum, en varmaafköst aukast með tímanum.	Reglubundið eftirlit verður með jarðhitasvæðinu og forðafræðilegt líkan uppfært.
Massabreytingar (kaflí 6)	Breytingar hafa orðið á landhæð og þyngd, ýmist til minnkunar eða aukningar. Þessar breytingar eru taldar af náttúrulegum ástæðum.	Vöktun varðandi breytingar á landhæð og þyngd mun halda áfram með reglulegum hætti.
Gróðurfar (kaflí 7)	Engar sjaldgæfar háplöntur eru á svæðinu og ekkert sem bendir til að sjaldgæf gróðurlendi fari til spillis við stækkun orkuversins.	Komið verður á vöktun gróðurfars og áhrifum virkjunarinnar á það.
Fuglalíf (kaflí 8)	Engar sjaldgæfar fuglategundir halda til á Nesjavöllum og ólíklegt að stækkun virkjunarinnar muni spilla fuglalífi á svæðinu.	Komið verður á vöktun fuglalífs og áhrifum virkjunarinnar á það.
Hveraörverur (kaflí 9)	Áhrif á lífríki hvera verða lítil, auk þess er lífríki hvera á Nesjavöllum sambærilegt og víða á Hengilssvæðinu.	Engar mótvægisáðgerðir fyrirhugaðar.
Lífríki Þingvallavatns (kaflí 10)	Talið er nær útilokað að til marktækrar snefilmálmengunar geti komið í Þingvallavatni, þrátt fyrir mikla aukningu skiljuvatns frá virkjuninni.	Umhverfisvöktun verður haldið áfram með reglubundnum hætti.

Vatnafar (kaflí 11)	Áhrif dælingar vatns út af vatnasviði Þingvallavatns hafa lítil áhrif á rennsli Sogsins.	Engar mótvægisáðgerðir fyrirhugaðar.
Náttúruminjar (kaflí 12)	Svæðið er ekki á náttúru-minjaskrá. Náttúruminjar á svæðinu hafa verið afmarkaðar og verndaðar.	Ekkert rask verur á verndarsvæðum umfram það sem þarf til göngustíga-gerðar.
Fornleifar (kaflí 13)	Lítill. Engar fornleifar hafa fundist á svæðinu.	Kannað hvort leifar “Brauðhvers” eru finnanlegar og mannvirkjum beint frá honum ef svo er.
Umferð (kaflí 14)	Lítill.	Engar fyrirhugaðar.
Hávaði (kaflí 15)	Nokkur hávaði verður tíma-bundið við blástur borhola. Nokkur hávaði verður vegna útblásturs umframgufu um gufuháf. Hávaði á vinsælum ferðamannastöðum er undir hættumörkum. Vegna fjarlægðar við næstu byggð verða áhrif lítil.	Við allar holur verða settir hljóðdeyfar sem gufunni verður beint í á meðan á blæstrinum stendur.
Áhrif á útivist og ferðamennsku. (kaflí 16)	Áhrif stækkunar orkuversins á útivist og ferðamennsku eru lítil. Jákvæð áhrif felast í því að styrkja enn frekar í sessi góða umgengni, frekari skógrækt og uppgræðslu og merkingar gönguleiða. Gögn sem aflað er við náttúrufransóknir nýtast við gerð upplýsingaefnis fyrir ferðafólk.	Engar fyrirhugaðar.
Efnahagsleg og félagsleg áhrif (kaflí 17)	Engin breyting er fyrirhuguð á starfsmannafjölda orkuversins við þessa stækkun. Engin föst búseta verður á Nesjavöllum vegna þess.	Engar mótvægisáðgerðir fyrirhugaðar.

Affallsvatn (kaflí 18. Sjá líka kafla 10 um lífríki Þingvallavatns)	<p>Litlar eða engar breytingar eru taldar verða á styrk næringarefna eða snefil-málma í lindum við Þingvallavatn þrátt fyrir aukningu affallsvatns.</p> <p>Aukið streymi af heitu kælivatni gæti leitt til hækkunar hita í lindum sem renna í vatnið.</p>	<p>Tilraunir til niðurrennsli affallsvatns verður haldið áfram með það að markmiði að þróa leið til förgunar affallsvatns í sátt við umhverfið.</p> <p>Reglulega verður fylgst með hita og efnainnihaldi vatns í lindum við vatnið.</p>
Förgun jarðhitagastegunda (kaflí 19)	<p>Aukning á koldíoxíðlosun Íslendinga um 0,14%.</p> <p>Losun H<sub>2</sub>S eykst um 1.000 tonn á ári og verður alls um 5.300 tonn á ári.</p>	<p>Engar mótvægisáðgerðir fyrirhugaðar.</p> <p>Vöktun á gróðurfari mun m.a. fylgjast með áhrifum losunar jarðhitagastegunda.</p> <p>Orkuveita Reykjavíkur mun í samstarfi við aðra taka þátt í alþjóðlegu verkefni til að leita hentugra leiða til minnka losun óæskilegra efna frá jarðhitavirkjunum.</p>
Sjónræn áhrif (kaflí 20)	<p>Aðeins 1 vinnsluhola á 5-6 ára fresti næstu 30 árin til viðhalds gufustreymi. Sjónræn áhrif verða lítil.</p>	<p>Frágangur hola og safnæða með sama hætti og áður. Gengið frá jarðraski og sáð ef þörf krefur.</p>
Efnisnám (kaflí 21)	<p>Lítill. Nýtt efni sótt í námu á Nesjavöllum, sem lítið áberandi rask fylgir.</p>	<p>Efni notað úr eldri borsvæðum eftir föngum.</p>
Hættumat (kaflí 22)	<p>Hætta vegna jarðskjálfta er talin lítil.</p> <p>Hætta vegna eldgosa getur haft ófyrirsjáanlegar afleiðingar fyrir orkuverið.</p> <p>Hætta vegna bilana er talin lítil.</p>	<p>Hönnunarforsendur eru miðaðar við stöngustu kröfur.</p> <p>Neyðaráætlanir eru fyrir hendi og starfsmenn þjálfaðir samkvæmt þeim..</p> <p>Reglubundið og skipulagt viðhald með aðstoð handbóka.</p>

## 25. VÖKTUN OG EFTIRLIT

### 25.1. Eftirlit með jarðhitasvæðinu

- Vikulegar mælingar á holutoppsprýstingi og vatnsborði, einnig mælingar á afli hola ef þær blása í hljóðdeyfi.
- Fylgst með afli hola þegar tækifæri gefast, a.m.k. einu sinni á ári. Nú er verið að þróa búnað til að mæla holur þó svo þær séu í rekstri. Þá er gert ráð fyrir að mælingar verði ársfjórðungslega.
- Fylgst með efnainnihaldi borholuvökva a.m.k. einu sinni á ári.
- Fylgst með þrýstingi og hita í jarðhitakerfinu einu sinni á ári.
- Líkanreikningar verða endurstöðaðir á 5 ára fresti eða oftar ef þörf er á.

### 25.2. Eftirlit með breytingum á landi við vinnslu

- Fylgst verður áfram með landbreytingum með nákvæmum landmælingum. Tíðni verður svipuð og undanfarin ár en hún byggir á þeim breytingum sem orðið hafa.
- Fylgst verður áfram með þyngdarbreytingum eins og verið hefur. Tíðni verður svipuð og undanfarin ár en hún byggir á þeim breytingum sem orðið hafa.

### 25.3. Eftirlit með lífríki

- Áfram verði fylgst með lífríki í Þorsteinsvík og öðrum stað við vatnið til samanburðar. Fylgst verði með uppsöfnun snefilefna. Með því treystist gagnagrunnurinn. Tíðni í samræmi við tillögur Líffræðistofnunar Háskólans.
- Fylgst verður með fuglalífi skv. tillögum Náttúrufræðistofnunar Íslands.
- Fylgst verður með gróðurfari skv. tillögum Náttúrufræðistofnunar Íslands.

### 25.4. Eftirlit með grunnvatni

- Fylgst verður með grunnvatnshæð í borholum í Nesjahrauni eins og verið hefur.
- Sýni verða tekin tvisvar á ári eins og verið hefur við Þingvallavatn, úr lækjum og Lækjarhvarfi. Öll aðalefni í vatni verða greind.
- Sýni til snefilefna mælinga verða tekin á 5 ára fresti á stöðum við Þingvallavatn svo og úr vatni frá virkjuninni.
- Grunnvatnlíkan af svæðinu verður endurskoðað með nýjum gögnum eftir því sem þörf er á.

### 25.5. Eftirlit með breytingum á frárennsli

- Magn frárennslis frá virkjun verður skráð.
- Stakar mælingar verða gerðar áfram á styrk brennisteinsvetnis í andrúmslofti. Kannað verður hvort hægt verði að koma á símælingum.

### 25.6. Aðrir þættir

- Veðurathuganir verða stundaðar áfram í samvinnu við Veðurstofu Íslands.



## 26. HEIMILDIR

Alþingi 1999. Lagasafn 1. október 1999. Lög um friðun Þingvalla, Nr. 59/1928.

Alþingi, þskj. 946 – 546.mál. 123. löggjafarþing 1998-99. Frumvarp til laga um verndun Þingvallavatns og vatnasviðs þess.

Axel Björnsson, Kristján Sæmundsson, Knútur Árnason, Grímur Björnsson, Gylfi Páll Hersir og Gunnar V. Johnsen 1985. Nesjavellir-Yfirborðsrannsóknir. Samantekt jarðfræði- og jarðeðlisfræðigagna, rannsóknaráætlun fyrir árið 1985. Orkustofnun.

Ásgrímur Guðmundsson og Ómar Sigurðsson 1987. Nesjavellir – Niðurrennslisholur. Borun, jarðlög og vatnsstaða. Orkustofnun fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Baldur Líndal 1989. Förgun brennisteinsvetnis við Nesjavallavirkjun. VBL fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Birna Gunnarsdóttir og Orri Vésteinsson 1997. Menningarminjar í Hengli og Grafningi norðan Úlfjótswatns. Fornleifastofnun Íslands.

Büchner, Schliebs, Winter, Büchel 1989. Industrial Inorganic Chemistry. VCH Publishers.

Claus Ballzus, Hreinn Frímansson og Runólfur Maack 2000a; Modular Development of the Nesjavellir Power Plant for Flexibility. World Geothermal Congress 2000.

Claus Ballzus, Hreinn Frímansson, Gunnar Ingi Gunnarsson and Ingólfur Hrólfsen 2000b. The Geothermal Power Plant at Nesjavellir, Iceland. World Geothermal Congress 2000.

Claus Ballzus, Ingólfur Hrólfsen, Einar Gunnlaugsson, Stefán Arnórsson og Trausti Hauksson 2000c. Niðurrennsli jarðhitavatns. Forathugun. Skýrsla fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.

Dóra Hjálmarsdóttir 2000. Greinargerð vegna umhverfismats stækkunar orkuvers á Nesjavöllum, áfangi 4b. Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.

Edner H., Faris G.W., Sunesson A., Svanberg S., Bjarnason J.Ö., Kristmannsdóttir H., Sigurdsson K.H. 1991. Lidar Search for Atmospheric Atomic Mercury in Icelandic Geothermal Fields. J. Geoth. Res., vol.96, NO D2.

Egill Jónsson og Baldur Líndal 1993. Nesjavallavirkjun - Förgun brennisteinsvetnis. Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns og Verkfræðistofa Baldurs Líndal fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Egill Jónsson og Baldur Líndal 1995. Förgun brennisteinsvetnis með framleiðslu brennisteinssýru á Nesjavöllum. VGK og VBL fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Eyjólfur Sæmundsson 1995. Vinnuvistfræði, maðurinn og vinnustaðurinn. Eyjólfur Sæmundsson.

Gestur Gíslason, Sigurrós Friðriksdóttir og Sigurður T. Ragnarsson 1992. Brennisteinsvetni í andrúmslofti, niðurstöður mælinga á Nesjavöllum sumarið 1992. Hitaveita Reykjavíkur.

Gestur Gíslason 1995. Niðurrennslistilraun í holu NN-2 á Nesjavöllum. Greinargerð fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Gísli Gíslason og Yngvi Þór Loftsson 1997. Landnýtingaráætlun fyrir jarðir Reykjavíkur í Grafningi og Ölfusi. Borgarskipulag, Borgarverkfræðingur, Hitaveita og Rafmagnsveita Reykjavíkur.

Grétar Ívarsson 1999. Hitaveita Reykjavíkur, Vatnsvinnslan 1998. Orkuveita Reykjavíkur.

Grétar Ívarsson, Magnús Á. Sigurgeirsson, Einar Gunnlaugsson, Kristján H. Sigurðsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1993. Mælingar á gasi í andrúmslofti. Orkustofnun og Hitaveita Reykjavíkur

Grímur Björnsson, Ómar Sigurðsson, Guðmundur Böðvarsson og Benedikt Steingrímsson, 2000. Nesjavellir – Endurkvarðað reiknilíkan og spár um ástand jarðhitakerfis við aukna vinnslu. Skýrsla til Orkuveitu Reykjavíkur.

Guðmundur Böðvarsson, 1987. Líkanreikningar fyrir jarðhitakerfi Nesjavalla. I. The Nesjavellir geothermal field, Iceland. Skýrsla til Hitaveitu Reykjavíkur.

Guðmundur Böðvarsson, 1993. Recalibration of the three-dimensional model of the Nesjavellir geothermal field. Skýrsla til Hitaveitu Reykjavíkur.

Guðmundur Böðvarsson, 1998. Update of the three-dimensional model of the Nesjavellir geothermal field – The 1998 model. Skýrsla til Orkuveitu Reykjavíkur.

Guðmundur Rúnar Svavarsson 2000. Persónulagar upplýsingar.

Guðrún Jónsdóttir, Auður Sveinsdóttir og Knútur Jeppesen 1996. Svæðisskipulag 1995-2015 fyrir Þingvalla-, Grímsnes- og Grafningshreppa. Samvinnunefnd um svæðisskipulag Þingvalla-, Grímsnes- og Grafningshreppa.

Gunnar Steinn Jónsson 1984. Vistfræðileg rannsókn á botnþörungum í Þorsteinsvík í Þingvallavatni. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Gunnar Þorbergsson 2000. Nesjavallaveita. GPS mælingar á Hengilssvæði í maí 2000 og vatnsborðsbreytingar á Þingvallavatni. Orkustofnun fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.

Gylfi Páll Hersir, Grímur Björnsson og Axel Björnsson 1990. Eldstöðvar og jarðhiti á Hengilssvæði. Jarðeðlisfræðileg könnun. Orkustofnun.

Hafsteinn Gunnarsson 2000. Persónulegar upplýsingar.

Haldor Topsøe 2000. Upplýsingar frá Jens Kr. Laursen, Haldor Topsøe vegna mats á umhverfisáhrifum stækkunar Nesjavallavirkjunar. Haldor Topsøe AS.

Hákon Aðalsteinsson 2000. Persónulegar upplýsingar.

Heiða Pálmadóttir 2000. Niðurstöður mælinga á vatnssýnum frá Nesjavöllum. Greint af Hafrannsóknastofnun í júlí 2000. Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.

Helgi Torfason, Gylfi Páll Hersir, Kristján Sæmundsson, Gunnar V. Johnsen og Einar Gunnlaugsson, 1983. Vestur-Hengill, yfirborðsrannsókn jarðhitasvæðis. Orkustofnun.

Hitaveita Reykjavíkur 1987. Ársskýrsla 1986.

Hitaveita Reykjavíkur 1997. Ársskýrsla 1996

Hitaveita Reykjavíkur 1998. Ársskýrsla 1997

Hitaveita Reykjavíkur 1999. Ársskýrsla 1998.

Hjalti Franzson 1988. Nesjavellir. Borholujarðfræði. Vatnsgengd í jarðhitageymi. Orkustofnun.

Hjalti Franzson 2000. Nesjavellir – þversnið grunnvatnskerfa. Orkustofnun fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.

Hjálmar Eysteinnsson 1998. Þyngdarmælingar á Nesjavöllum og Hengilssvæði árið 1998. Orkustofnun fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

- Hrefna Kristmannsdóttir 1997. Umhverfisáhrif jarðhitanytingar. Orkustofnun, Hitaveita Reykjavíkur, Hitaveita Suðurnesja, Landsvirkjun og Umhverfisráðuneytið.
- Ingvi Gunnarsson og Stefán Arnórsson 2000. Förgun affallsvatns frá Nesjavallavirkjun. Skýrsla fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.
- IPCS 1999. Hydrogen Sulphide, Material Safety Data Sheet No. 0165, International Programm on Chemical Safety and the European Commission.
- Jakob Kristjánsson 2000. Umsögn um áhrif stækkunar Nesjavallavirkjunar á lífríki hvera.
- Jarðboranir 2000. Stefna Jarðborana í umhverfismálum. Jarðboranir hf.
- Jón Ólafsson 1992. Chemical characteristics and trace elements of Thingvallavatn. OIKOS 64: 151-161.
- Jón Þorláksson 1926. Hitaveita Reykjavíkur, fyrirlestur haldinn á fundi Verkfræðingafélags Íslands 17. nóvember 1926. Tímarit VFÍ, 1926 bls. 41-44.
- Jón Örn Bjarnason 1991. Um sýrustig úrkomu í Svartsengi. Orkustofnun.
- Kjartan G. Magnússon 1992. Birds of the Thingvallavatn area. OIKOS 64: 381-395.
- Knútur Árnason, Guðmundur Ingi Haraldsson, Gunnar V. Johnsen, Gunnar Þorbergsson, Gylfi Páll Hersir, Kristján Sæmundsson, Lúðvík S. Georgsson og Snorri Páll Snorrason 1986. Nesjavellir. Jarðfræði- og jarðeðlisfræðileg könnun 1985. Orkustofnun.
- Knútur Árnason, Guðmundur Ingi Haraldsson, Gunnar V. Johnsen, Gunnar Þorbergsson, Gylfi Páll Hersir, Kristján Sæmundsson, Lúðvík S. Georgsson, Sigurður Th. Rögnvaldsson og Snorri Páll Snorrason 1986. Nesjavellir - Ölkelduháls. Yfirborðsrannsóknir 1986. Orkustofnun.
- Kristján Sigurðsson 2000. Niðurstöður mælinga á vatns- og gassýnum frá Nesjavöllum. Orkustofnun fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.
- Kristján Sæmundsson og Einar Gunnlaugsson 1999. Íslenska steinabókin. Mál og menning 1999.
- Kristján Sæmundsson 1967. Geologie des Hengill-Gebietes. Acta Naturalia Islandica 2, no. 7.
- Kristján Sæmundsson 1995a. Hengill, jarðfræðikort (berggrunnur) 1:50 000. Orkustofnun, Hitaveita Reykjavíkur og Landmælingar Íslands.
- Kristján Sæmundsson 1995b. Hengill, jarðhiti, ummyndun og grunnvatn, 1:25 000. Orkustofnun, Hitaveita Reykjavíkur, Landmælingar Íslands.
- Magnús Óskarsson og Matthías Eggertsson 1991. Áburðarfræði. Búnaðarfélag Íslands.
- Markús Á. Einarsson 1992. Climatic conditions of the Thingvallavatn area. OIKOS: 64:96-104.
- Náttúruvernd ríkisins 2000. [www.ni.is](http://www.ni.is).
- NIOSH 1996. Hydrogen sulphide IDLH Documentation, National Institute for Occupational Safety and Health. [www.cdc.gov/niosh/](http://www.cdc.gov/niosh/).
- Orkustofnun 2000. [www.os.is](http://www.os.is).
- Orkuveita Reykjavíkur 2000a. [www.or.is](http://www.or.is).
- Orkuveita Reykjavíkur 2000b. Niðurstöður mælinga á skiljuvatni frá Nesjavöllum.
- Orri Vésteinsson 1997. Fornleifar í landi Nesjavalla og Úlfjótswatns. Árbæjarsafn og Fornleifastofnun Íslands.

- Orri Vésteinsson 2000. Svar við fyrirspurn VGK um fornleifar á Nesjavöllum. Fornleifastofnun Íslands.
- Piercy and Embleton 1979. Sound Propagation in Open Air. Handbook of Noise Control, Harris C.M. editor. McGraw-Hill.
- Rannsóknastofnun landbúnaðarins 1985. Gróður og beitarþol í landi Nesjavalla í Grafningi 1984. Rannsóknastofnun landbúnaðarins fyrir Umhverfismálaráð Reykjavíkur.
- Rannsóknastofnun landbúnaðarins 1990. Ísland 1:25 000. Gróður og jarðakort,blöð: 1613 II NV; 1613 II NA; 1613 II SV og 1613 II SA.
- SGAB Analytica 2000. Mæliniðurstöður af vatnssýnum frá Nesjavöllum og lindum við Þingvallavatn, greind í júlí 2000. Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.
- Sigurður Kristinsson og Kristján Sæmundsson 1996. Hengilssvæðið, Gönguleiðir – Staðhættir – Jarðfræði. Ferðafélag Íslands.
- Sigurður S. Snorrason og Gunnar Steinn Jónsson 2000. Könnun á snefilmálmum í nokkrum lífverum í Varmagjá í Nesjavallahrauni og við Vatnskot – Könnun III. Líffræðistofnun Háskólans fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.
- Sigurður Snorrason og Gunnar Steinn Jónsson 1995. Könnun á snefilmálmum í nokkrum lífverum í Varmagjá í Nesjavallahrauni og við Vatnskot. Líffræðistofnun Háskólans fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.
- Sigurður Snorrason og Gunnar Steinn Jónsson 1996. Könnun á snefilmálmum í nokkrum lífverum í Varmagjá í Nesjavallahrauni og við Vatnskot – Könnun II. Líffræðistofnun Háskólans fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.
- Snorri Páll Kjaran 2000. Munnlegar heimildir.
- Snorri Páll Kjaran og Davíð Egilsson 1986. Áhrif affallsvatns frá fyrirhugaðri jarðvarmavirkjun á vatnsból við Grámel, Verkfræðistofan Vatnaskil fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.
- Snorri Páll Kjaran og Sigurður Lárus Hólm 2000a. Þingvallavatn, Rennslislíkan. Verkfræðistofan Vatnaskil fyrir Landsvirkjun og Orkuveitu Reykjavíkur.
- Snorri Páll Kjaran og Sigurður Lárus Hólm 2000b. Nesjavellir. Athugun á niðurdælingu affallsvatns. Verkfræðistofan Vatnaskil fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.
- Stjtið.B, Nr. 154/1999. Reglur um mengunarmörk og aðgerðir til að draga úr mengun á vinnustöðum. Vinnueftirlit ríkisins.
- Stjtið.B, Nr. 790/1999. Reglugerð um brennisteinsdíoxíð og svifryk í andrúmslofti. Hollustuvernd ríkisins.
- Stjtið.B, Nr. 796/1999. Reglugerð um varnir gegn mengun vatns. Hollustuvernd ríkisins.
- Stjtið.B, Nr. 797/1999. Reglugerð um varnir gegn mengun grunnvatns. Hollustuvernd ríkisins.
- Stjtið.B, Nr. 800/1999. Reglugerð um losunarmörk, umhverfismörk og gæðamarkmið fyrir losun á kvikasilfri í yfirborðsvatns. Hollustuvernd ríkisins.
- Stjtið.B, Nr. 933/1999. Reglugerð um hávaða. Hollustuvernd ríkisins.
- Thompson C.R., Kats G. og Dawson P.J. 1982. EFFECTS OF H<sub>2</sub>S ON CROP AND FOREST PLANTS. Geothermal Resources Council, TRANSACTIONS Vol. 6, October 1982.
- Veðráttan 1990. Ársyfirlit samið á Veðurstofu Íslands.

- Veðráttan 1991. Ársyfirlit samið á Veðurstofu Íslands.
- Veðráttan 1992. Ársyfirlit samið á Veðurstofu Íslands.
- Veðráttan 1993. Ársyfirlit samið á Veðurstofu Íslands.
- Veðráttan 1994. Ársyfirlit samið á Veðurstofu Íslands.
- Veðráttan 1995. Ársyfirlit samið á Veðurstofu Íslands.
- Veðráttan 1996. Ársyfirlit samið á Veðurstofu Íslands.
- Veðráttan 1997. Mánaðaryfirlit samið á Veðurstofu Íslands.
- Veðurfar á Nesjavöllum 2000. Veðurmælingar á Nesjavöllum 1990-1998. – Gögn úr kerfiráði. Orkuveita Reykjavíkur.
- VGK 2000. Greinargerð um hávaða frá vinnslusvæðinu á Nesjavöllum.
- WHO 1976. Environmental Health Criteria. 1, Mercury. World Health Organization Geneva.