



ORKUSTOFNUN

RANNSÓKNASVIÐ - Reykjavík, Akureyri

Álitsgerð um byggingarsvæði í Bjarnarflagi



ORKUSTOFNUN

Kristján Sæmundsson



NORRÆNA ELDJALLASTÖÐIN

Freysteinn Sigmundsson



ALMENNA VERKFRÆÐISTOFAN HF.

Jón Skúlason

Unnið fyrir Landsvirkjun

2003

OS-2003/013



**Kristján Sæmundsson, Orkustofnun
Freysteinn Sigmundsson, Norrænu
eldfjallastöðinni
Jón Skúlason, Almennu verkfræðistofunni hf.**

Álitsgerð um byggingarsvæði í Bjarnarflagi

Unnið fyrir Landsvirkjun

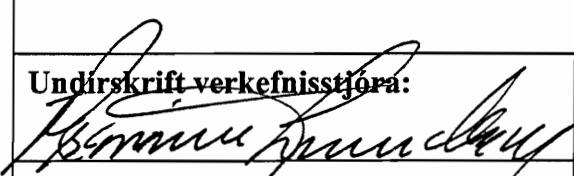
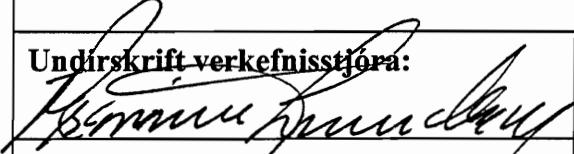
OS-2003/013

Mars 2003

Skýrsla nr.: OS-2003/013	Dags.: Mars 2003	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
------------------------------------	----------------------------	---

Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: ÁLITSGERÐ UM BYGGINGARSVÆÐI Í BJARNARFLAGI	Upplag: 25
	Fjöldi síðna: 21
Höfundar: Kristján Sæmundsson, Orkustofnun, Freysteinn Sigmundsson, Norrænu eldfjallastöðinni, Jón Skúlason, Almennu verkræðistofunni hf.	Verkefnisstjóri: Ásgrímur Guðmundsson
Gerð skýrslu / Verkstig: Mat á byggingarreit.	Verknúmer: 8-630661
Unnið fyrir: Landsvirkjun	
Samvinnuaðilar:	

Útdráttur: Byggingarhæfni tveggja reita var metin að ósk Landsvirkjunar. Reitur A milli Krumma-skarðsmisgengis og Námafjalls, sunnan við þjóðveg. Reitur B norðan við Kísiliðjuna. Stærð byggingarsvæðis er áætlað 150 x 100 m og þarf að vera á sprungulausu köldu svæði. Breidd heillegrar spildu lands á reit A er óviss, en líklega meiri en á reit B. Sprungur sem afmarka reit B hreyfðust báðar í Kröflueldum, en reitur A er austan þess svæðis sem þá haggaðist. Hiti í jörð er ekki til vandræða við byggingaframkvæmdir, hvorki á reit A né B. Aðstæður til grundunar á byggingum á reitum A og B eru nokkuð sambærilegar. Hægar jarðskorpuhreyfingar eru líkast til ekki svo miklar að þær skipti máli við val á byggingarreit. Öðru máli gegnir um áhættu af hugsanlegum umbrotum og eldgosum. Reitur A stendur hærra og mun ólíklegra að þar yrði tjón vegna hraunflæðis. Reitur A er þannig talinn hagstæðari en reitur B með tilliti til hugsanlegra jarðhræringa á svæðinu.
--

Lykilord: Gufuaflsvirkjun, háhitasvæði, kortlagning, byggingargæfni, grundun, Kísiliðjan, Bjarnarflag	ISBN-númer: 
	Undirskrift verkefnisstjóra: 
	Yfirfarið af: ÁsG

EFNISYFIRLIT

1.	INNGANGUR.....	5
2.	JARÐHNIK OG GOSHÆTTA Í BJARNARFLAGI.....	6
2.1.	Eðli jarðskorpuhreyfinga.....	6
2.2.	Gliðnunarhrinur á Norðurlandi.....	6
2.3.	Líkur á smærri umbrotum.....	7
2.4.	Hægar jarðskorpuhreyfingar á næstu áratugum vegna landreks	7
3.	JARÐFRÆÐIÐPÆTTIR.....	8
3.1.	Brotta- og kvíkuhreyfingar	8
3.2.	Sprungur	8
3.3.	Hiti í jörð	10
4.	GRUNDUN	11
5.	SAMANTEKT OG NIÐURSTÖÐUR	12
6.	HEIMILDIR	19
	Viðauki við álitsgerð um byggingarsvæði í Bjarnarflagi	20

MYNDIR

Mynd 1.	<i>Sprungukort, smækkun á korti í mkv. 1: 5.000.....</i>	12
Mynd 2.	<i>Umbrot- og eldgos í gosbeltinu á Norðurlandi norðan Öskju.....</i>	15
Mynd 3.	<i>Kort af byggingarreit A 1:2.500. Könnunargryffur og rannsóknarholur eru sýndar.....</i>	16
Mynd 4.	<i>Kort af byggingarreit B 1:2.500.</i>	17
Mynd 5.	<i>Breyting á hita í Grjótagjá frá umbrotaárinu 1977.....</i>	18

1. INNGANGUR

Landsvirkjun fól okkur þrem undirrituðum að gera úttekt á byggingarhæfi tiltekinna reita í Bjarnarflagi þar sem helst kæmi til álita að reisa orkuver. Skyldu reitirnir bornir saman með tilliti til áhættu af þeirri náttúruvá sem þarna mætti búast við. Reitir þessir eru sýndir á mynd 1 og kallaðir A og B. Reitur A er vestan undir Námafjalli. Þar er landhæð 350–352 m. Reitur B norðan við Kísiliðjuna er neðan undir allháum malarhjalla. Þar er landhæðin 321–322 m. Mynd VA Arkitekta ehf (ódagsett) gerði ráð fyrir staðsetningu mannvirkja að mestu leyti á reit B, þeim sama sem hér er í athugun.

Einn höfunda þessarar greinargerðar hefur komið að þessu máli áður. Þar var um að ræða annars vegar álit á byggingarsvæði stöðvarhúss í Bjarnarflagi með tilliti til ýmissa jarðfræðilegra þátta (Kristján Sæmundsson 1999) og hins vegar könnun á byggingarsvæðum í Bjarnarflagi, fyrst með grunnum borunum og síðan kjarnaholum (Pórólfur H. Hafstað og Kristján Sæmundsson 2002). Fyrir lá einnig skýrsla frá verkfræðistofunni Hönnun hf um laus jarðlög á reit A (Hönnun 1999). Reitur C sem er vestan við Grjótagjármisgengið og einnig var til umræðu í greinargerðum Kristjáns (1999) og Pórólfss og Kristjáns (2002) er ekki ræddur frekar hér. Hann er vestan við aðaláhættusvæðið, en á óhentugum stað með tilliti til virkjunar og lagna yfir allt virkasta sprungusvæðið.

Verkaskipting nefndarmanna var þannig að Kristján Sæmundsson sá um jarðfræðibáttinn, Jón Skúlason um þau atriði sem varða grundun og Freysteinn Sigmundsson um athugun á eðli jarðskorpuhreyfinga og á jarðeðlisfræðilegum gögnum sem nýtast við mat á byggingarhæfi á nefndum reitum. Í vettvangsferð og við athugun á fyrirliggjandi gögnum þótti nefndarmönnum skorta á tvennt. Annars vegar þyrfti nákvæmara sprungukort og hins vegar þyrfti að kanna dýpi á fast á reit B með greftri og á reit A með tilliti til hita. Úr hvoru tveggja var bætt í ágúst s.l.

Stærð byggingarsvæðisins er áætluð 150 x 100 m og það þarf að vera á sprungulausu, köldu svæði. Þar er miðað við 40 MW stöð. Fæst af því sem fjallað var um í greinargerð Kristjáns Sæmundssonar (1999) verður endurtekið hér utan það sem fyllri upplýsingar liggja nú fyrir um. Það varðar einkum sprungur og hita í jörð, jarðlög næst yfirborði og jarðhræringar.

Báðir byggingareitirnir eru á svæði sem búið er að raska. Svæðið umhverfis reit A hefur verið sléttar og ræktað upp og um það liggur vegarslóði. Reitur B er að mestum hluta þakinn affallsgúr frá Kísiliðjunni, en nyrst nær hann inn á fyllingu í gamalli sandnámu.

2. JARÐHNIK OG GOSHÆTTA Í BJARNARFLAGI

2.1. Eðli jarðskorpuhreyfinga

Eldgosabelti Norðurlands er mótað af jarðhniki og eldgosum, og er Bjarnarflag þar engin undantekning. Því er nauðsynlegt að taka tillit til áhættu af mögulegum umbrotum á svæðinu í framtíðinni. Hér er reynt að gera nokkra grein fyrir þeim þáttum sem huga þarf að, og meta áhrif á fyrirhugaða byggingareiti stöðvarhúss.

Eldgosabelti Norðurlands markar skilin milli tveggja af meginplötum jarðskorpunnar, Norður-Ameríkoplötunnar og Evrasíoplötunnar. Plöturnar hreyfast frá hvor annari með meðalhraðanum 1,9 cm á ári. Norðan Vatnajökuls greinast plötuskilin í fimm eldstöðvakerfi: Þeistareyki, Kröflu, Fremri-Náma, Öskju og Kverkfjöll. Á síðari öldum hafa eldstöðvakerfi Kröflu, Öskju og Þeistareykja verið hvað virkust. Fjórar síðustu gliðnunarhrinur á Norðurlandi voru í Þeistareykjakerfinu 1618, síðan í Kröflukerfinu (Mývatnseldar) 1724–29, þá í Öskju og Sveinagjá 1874–75, og nú síðast Kröflueldar 1975–1984 (mynd 2). Bjarnarflag er um 10 km sunnan við miðju eldstöðvakerfis Kröflu, í miðjum sprungusveim Kröflukerfisins. Mikil umbrot urðu í Bjarnarflagi bæði í Mývatnseldum og Kröflueldum. Leita þarf svara við þeim spurningum hvort líkur séu á nýtri gliðnunarhrinu á Kröflusvæðinu í bráð og eins hvort líkur séu á minni háttar hreyfingum eða stökum eldgosum.

2.2. Gliðnunarhrinur á Norðurlandi

Kröflueldar 1975–1984 eru enn í dag best rannsakaða umbrotatímabil á plötuskilum í heiminum, og virðist atburðarásin hafa verið nokkuð dæmigerð gliðnunarhrina. Á tímabilinu var stöðugt flæði af kviku á um 3 km dýpi undir Leirhnjúki, sem hófst líklega meir en ári fyrir fyrstu umbrotahrinuna (Páll Einarsson 1991). Þar safnaðist hún fyrir í e.k. kvíkuhólf. Þegar þrýstingur í því fór yfir brotmörk braut kvikan sér leið út úr því. Land seig yfir kvíkuhólfinu og land gliðnaði í sprungusveimnum, samfara því að gangar mynduðust í jarðskorpunni. Um 2 slíkir gliðnunaratburðir urðu í Kröflueldum. Land-gliðnun var mismikil í einstökum hrinum, oft um 1 metri þar sem hún var mest. Samanlögd gliðnun í Kröflueldum var mest um 9 metrar skammt norðan Leirhnjúks, en í Bjarnarflagi var heildargliðnun um 2 metrar (Eysteinn Tryggvason 1984). Gangainniskot mynduðust öll á mjóu svæði í miðri sprungureininni. Þar sem Bjarnarflag liggur á sprungureininni sem virkust var í Kröflueldum, er ljóst að slíkir atburðir í framtíðinni hefðu alvarleg áhrif á mannvirki og vinnslu jarðhita þar. Líkur á því að atburðarásin úr Kröflueldum endurtaki sig á næstu áratugum verða hins vegar að teljast mjög litlar, vegna eðlis jarðskorpuhreyfinga á plötuskilum.

Plötuhreyfingar í gagnstæðar áttir leiða til þess að sífellt tognar á jarðskorpunni inni í gliðnunarbeltunum. Styrkur jarðskorpunnar er slíkur að tímabil spennusöfnunar yfir plötuskil eru löng (öld eða aldir), áður en til nýrrar gliðnunarhrinu kemur. Þegar brotmörkum jarðskorpunnar er náð, losnar um spennuna í umbrotahrinum sem geta staðið yfir í nokkur ár eða áratug. Í hverri gliðnunarhrinu losnar þó aðeins um spennu í hluta gosbeltisins, á því svæði sem virkt er hverju sinni. Í Kröflueldum var þannig um

80 km langur hluti Kröflukerfisins virkur og landgliðnun var mismikil, um 2–9 m. Gliðnunin þar svarar til spennusöfnunar yfir plötuskilin í um 100–500 ár. Áður en til gliðnunarhrinu kemur þarf næg spenna að hafa safnast upp á plötuskilunum. Einnig þarf kvika að vera til staðar á grunnu dýpi í jarðskorpunni, til þess að gangainniskot geti orðið og losað um spennuna. Ef reynsla síðustu alda er marktæk, má búast við einni gliðnunarhrinu á Norðurlandi á um það bil öld. Einnig er líklegt að annað eldstöðvakerfi en Kröflukerfið yrði virkt í slíkri umbrotahrinu, þar sem Kröflueldar leystu úr læðingi spennu sem hafði safnast upp þar síðan í Mývatnseldum 1724–29. Hafa verður þó í huga að tímabil milli gliðnunarhrina geta verið styrtti en reynsla síðustu alda gefur til kynna. Kvika berst óreglulega upp í jarðskorpuna úr bræðslusvæðinu í möttli jarðar. Ef mikid magn af kviku myndi berast inn á grunnt dýpi í Kröflueldstöðvakerfinu, gæti komið til nýrrar gliðnunarhrinu, sem myndi einkennast af frekar lítilli gliðnun (stutt frá síðustu umbrotum) en þeim mun meiri hraungosum (þar sem kvikan kæmist ekki fyrir í göngum neðanjarðar, og myndi leita til yfirborðs). Þrátt fyrir þennan möguleika, eru yfirgnæfandi líkur á því að gliðnunarhrina verði ekki í eldstöðvakerfi Kröflu á næstu áratugum.

Á mynd 2 er sýnt hvernig gliðnunarhrinur síðustu fjögurra alda dreifast í tíma og á eldstöðvakerfin norðan Öskju. Lengsta hlé var 150 ár og það stysta 100 ár. Aðeins þrjú af eldstöðvakerfunum hafa fyrir vist verið virk á sögulegum tíma. Ef gert er ráð fyrir að næsta umbrotahrina verði í einhverju þeirra, má reikna með henni eftir 70–120 ár. Líkur á að hún yrði í Kröflukerfinu væru 33–50% þar sem Kröflukerfið er eitt af þrem og tvær hrinur af fjórum hafa orðið í því. Einnig má horfa til þess að í Bjarnarflagi varð um 2 metra landgliðnun í Kröflueldum, sem svarar til um 100 ára landreks. Það er því ekki fyrr en eftir um 80 ár sem sambærileg spenna hefur byggst upp í Bjarnarflagi og var þar fyrir Kröfluelda.

2.3. Líkur á smærri umbrotum

Gliðnunarhrinur eru ekki eina virknin í eldstöðvakerfum Norðurlands. Þar verða líka einstök eldgos og jarðhník, án þess að hrina atburða eigi sér stað. Þannig eru vís-bindingar um að umbrot hafi orðið á Kröflusvæðinu 1746, um tuttugu árum eftir að Mývatnseldum lauk. Einnig má benda á virkni í eldstöðvakerfi Öskju, þar sem mörg eldgos urðu á 20. öld, síðast 1961, án mikillar gliðnunar (mynd 2). Því er ljóst að smærri atburðir og einstök eldgos geta orðið nánast hvenær sem er, en þá einkum í megineldstöðvunum sjálfbum. Stafar það af hinu óreglulega flæði af kviku úr möttli jarðar. Í Kröflueldum lá rás kviku upp í gegnum neðri jarðskorpuna undir Leirhnjúki. Líklegt er að svo yrði aftur ef kvikuinnstreymi hæfist á næstu áratugum í Kröflukerfinu. Mestari líkur eru því á eldgosi næst Leirhnjúki. Ef áhrif yrðu í Bjarnarflagi, er ljóst að mesta hættan á höggun yrði á misgengjum milli Krummaskarðs og Grjótagjár, líkt og í Kröflueldum.

2.4. Hægar jarðskorpuhreyfingar á næstu áratugum vegna landreks

Bjarnarflag eins og önnur svæði innan plötuskilanna á Íslandi verður fyrir stöðugum hægum jarðskorpuhreyfingum á milli umbrotahrina sem rétt er að hafa í huga við nýtingu svæðisins. Heildargliðnun yfir plötuskilin á Norðurlandi er um 1,9 cm á ári að meðaltali og dreifist tognunin yfir breitt svæði, um 50–100 km. Á árunum eftir

Kröfluelda var landglioðun þó umtalsvert meiri, allt upp í 6 cm ári, en virðist nú vera að að hægja á sér aftur og nálgast meðaltalið (Christof Völksen 2000). Búast má við að land togni í austur-vestur stefnu um 2–4 millimetra á ári á hverja 10 kílómetra í grennd við Bjarnarflag. Þessari tognun fylgir landsig og hallabreytingar. Miðja Kröflusprungusveimsins sígur og land hallast inn að miðjum sprungusveimnum. Þannig nam landsig á árunum 1992–1995 í sprungusveim Kröflu að meðaltali um 7 millimetrum á ári (Freysteinn Sigmundsson o.fl. 1997). Sigsvæðið liggur eftir endilöngum sprungusveim Kröflusvæðins þannig að reitur B liggur nálægt miðju þess, en reitur A er aðeins fjær miðju. Landsigið gæti leitt til hægra hallabreytinga sem gætu numið allt að um 1 mikrógeisla (microradian) á ári, ef marka má hreyfingar á síðustu áratugum (Eysteinn Tryggvason 1995).

Ýmis gögn eru til um jarðskorpuhreyfingar í Bjarnarflagi úr Kröflueldum og eins mælingar eftir að umbrotunum lauk sjá t.d. Axel Björnsson og Hjálmar Eysteinsson (1998). Frekari úrvinnsla og túlkun á þessum mælingum gæti nýst við hönnun mannvirkja, og uppsetningu þess tækjabúnaðar sem fyrirhugaður er á svæðinu.

3. JARÐFRÆÐIPÆTTIR

3.1. Brota- og kvíkuhreyfingar

Báðir byggingareitimir A og B eru á virku sprungu- og goossvæði sé miðað við tímabilið eftir landnám. Sprunguhreyfingar og eldgos koma í hrinum með löngum hléum á milli eins og lýst var að ofan. Sprungurnar rifna upp í tengslum við kvíkuhlaup frá Kröflu, en þó ekki sprungukerfið í fullri breidd, heldur einungis spilda innan þess. Daleldahraunið sem svo er kallað rann örskömmu eftir landnám, en því tilheyra Svörtuborgir, gígaroð skammt SSA frá reit A (mynd 1). Í Mývatnseldum 1724–1729 rannhraun í Bjarnarflagi, yfir reit B, og í Kröflueldum náðu kvíkuhlaup frá Kröflu tvívegis suður í Bjarnarflag. Ljóst er að í Daleldum hafa sprunguhreyfingar náð austur á Námafjall og A-reiturinn verið innan spildunnar sem þá raskaðist. Í Mývatns- og Kröflueldum héldust sprunguhreyfingarnar hins vegar á spildu milli Grjótagjár og misgengis sem liggur suður frá Krummaskarði. Reitur A var þá austan sprungusvæðisins, en reitur B innan þess.

Eldgosin dreifast ójafnt í tíma. Tímasetning þeirra þriggja sem að ofan voru nefnd er um 900, 1724–1729 og 1975–1984. Tíðni sprunguhreyfinga í Kröflukerfinu er óviss og ekki vitað um sprunguhreyfingar aðrar en þær sem tengdust eldgosunum.

Í kvíkuhlaupum 1977 eyðilögðust allar vinnsluholurnar í Bjarnarflagi nema tvær (holur 4 og 9). Hola 4 gaus raunar úr sér nokkru gjalli, en nýttist samt áfram sem vinnsluhola þar til hún var lögð af fyrir nokkru síðan. Holur þessar voru á spildunni sem gliðnaði og seig í Kröflueldum. Holur 11 og 12 sem næst voru boraðar voru staðsettar austan við þessa brotaspildu. Þær hafa verið í fullri notkun í meira en 20 ár.

3.2. Sprungur

Sprungukortið sem hér fylgir var teiknað í mælikvarða 1:5.000, en er hér smækkað í 1:10.000 (mynd 1). Sprungurnar voru raktar með GPS-Garmin staðsetningartæki. Nákvæmni sem tækið gaf upp á jafnlendi var yfirleitt á bilinu $\pm 3,5\text{--}4$ m, sjaldan undir

± 3 m, en gat líka farið upp í $\pm 6-7$ m, einkum utan í brekkum. Við teikningu kortsins reyndist gott samræmi vera milli brotstalla sem fram koma í hæðarlínnum á grunnkortinu og þeirra sömu sem raktir voru með staðsetningartækinu og eins milli nokkurra fastapunkta á kortinu og mælinga á þeim sömu.

Á kortinu eru sýnd nálæg hitasvæði við byggingarreitina. Einnig eru sýndir á því svelgir þar sem affallsvatn frá borholum og Kísiliðju rennur í jörd, án undantekninga ofan í sprungur. Myndir 3 og 4 sýna byggingarreiti A og B og nágrenni þeirra í mælikvarða 1:2.500. Könnunarholur og prufugryfjur eru einnig sýndar á þeim. Stöðvarhús og aðrar byggingar skv. teikningu VA-Arkitekta er sýnt á reit B, þannig að flatarþörfin komi fram. Reitur B er þróngur, eða rétt um 100 m á breidd, og ljóst er að breyta þarf staðsetningu hússanna svo þau lendi ekki á sprungum. Til samanburðar má benda á hús Kísiliðjunnar. Þau standa næstum öll á 200 m breiðri spildu sem ekki brast sundur í Kröflueldum. Þrænar og skrifstofuhúsið er þar utan við (mynd 1).

Á athafnasvæði Kísiliðjunnar og norðan við hana sjást lítil sem engin merki um sprungur nú. Gert hefur verið við gömlu þrænar sem brustu í umbrotunum 1977 og nýjum bætt við. Einnig hefur affallsgúr verið jafnað yfir svæðið þar norðan við og hann ræktaður upp. Auk þess sem leitað var að sprungum á reitum A og B var farið um allstórt svæði utan þeirra, einkum norðan og sunnan við, til að sjá hvernig þær dreifðust þar umhverfis. Kringum reit A, sem búið er að sléttu og rækta upp, var leitað að ummerkjum á óröskuðu landi sem bent gætu til sprungna. Á reit B var þetta nauðsynlegt til að fá mynd af því hvernig sprungurnar stefndu inn á eyðuna kringum Kísiliðjuna og á hluta hugsanlegs byggingarsvæðis. Lágflugs-loftmyndir eru til af umhverfi Kísiliðjunnar frá 9. sept 1977 (Landmælingar Íslands). Á þeim sjást sprungurnar sem komu fram í umbrotunum það ár, en nú hefur verið jafnað yfir og lagfært það sem skemmdist. Lega sprungnanna á raskaða svæðinu er tekin eftir loftmyndunum og er það auðkennt á sprungukortinu (mynd 1).

Reitur A er á heillegri spildu af óvissri breidd (myndir 1 og 3). Að vestan er misgengisprungu með allt að 10 m sigi til austurs. Í framhaldi af henni til norðurs er hitarák, mest rúmlega 50°C á 80 cm dýpi. Á móts við byggingareitinn, rúnum 200 m austar, er stallur í hlíð Námafjalls og hitablettir við hann. Líklegt er að þar sé misgengi, og er það sýnt þannig á kortinu. Kaldar ummyndunarskellur eru norðar í hlíðinni þarna á milli. Þær fylgja nokkurn veginn venjulegri sprungustefnu og ná yfir um 150 m langan kafla. Sunnar aftur á móti er ung misgengissprunga í Svörtuborgabruna. Sig á henni er til vesturs, um 1,5 m syðst, en smáminnkar til norðurs, og sprungan deyr út 200–250 m sunnan við byggingareitinn. Misgengi þetta hreyfðist í Kröflueldum. Það leysis Krummaskarðs-misgengið af sem austurjaðar spildunnar sem þá gliðnaði og seig. Athugandi er í því sambandi að það er eðli misgengjanna á þessu svæði að þau hliðrast til og er kallað að þau séu skástíg. Þess má geta til að köldu skellurnar norðaustan við byggingareitinn og sprungan í Svörtuborgabruna séu tengdar, enda er afstaðan til grannsprungnanna svipuð (myndir 1 og 3).

Reitur B er á um 100 m breiðri spildu milli misgengissprungna suður af gamalli malargryfju (myndir 1 og 4). Vestan megin er knippi af smásprungum og allt að 1 m sig á milli þeirra uppi í brekkunni. Sprungurnar eru í Mývatnseldahrauninu, en þær austustu sjást einnig í malarstabbanum undir því við gryfubarminn. Sprungan sést ekki lengur sunnan A-V vegslóðans neðan við malargryfjuna, en austasta greinin er hárskörp og

næstum samfelld á loftmyndum frá 1977 og nær suður í þrær Kísiliðjunnar. Í norðurvegg malartrygjunnar sjást ekki sprungur á þeim kafla þar sem hann er hreinn. Austan megin við spilduna er misgengissprunga með sigi til vesturs. Það nemur 5–10 m í malarhjallanum. Þessi sprunga sést heldur ekki sunnan vegslóðans nú, en er eins og hin, skörp á loftmyndunum frá 1977 og nær suður í NA-próna. Smásig virðist vera á henni vestan megin alla þá leið í unga hrauninu. Í suðurframhaldinu, þ.e. sunnan Kísiliðjunnar, eru gjár í Jarðbaðshólahrauninu, um það bil eins meters breiðar, með sigi vestan megin. Etv. þyrfti að flytja sig með byggingarreit B vestur á næstu brotaspildu, þar sem hún er breiðari. Sú spilda hefur ekki verið könnuð sérstaklega. Mývatnseldahraunið er undir henni allri og að heita má bert á henni norðan til

Gera verður ráð fyrir að smávægileg tilfærsla leyfist á byggingareitunum með hliðsjón af sprungunum. Þannig lítur út fyrir að báðir reitirnir A og B geti komist fyrir á sprungulausu svæði eftir því sem séð verður með athugun á yfirborði lands á þeim sjálfum og í sprungustefnu norðan og sunnan við. Þar verður heldur ekki vart jarðhita svo nokkru nemi. Reitur B er á hrauni frá 1728. Þar þyrfti að grafa og staðsetja jaðarsprungurnar nákvæmlega. Reitur A er á miklu eldri hraunum og framburði frá Námafjalli. Þar eru um 7 m niður á hraun norðan til, en aðeins um 1–2 m syðst. Þar þyrfti að grafa yfir reitinn sunnarlega til að fullvissa sig um að hann sé sprungulaus.

3.3. Hiti í jörð

Hverasvæðið í Námafjalli og Bjarnarflagi einkennist af heitri jörð, gufuhverum, brennisteinsþúfum, og leirhverum. Í hraununum vestur og suður frá því rýkur viða úr jörð. Þar stígur lyktarlaus eimur upp af heitu grunnvatni utan hins eiginlega hverasvæðis þar sem gas "sýður" upp af grunnvatinu með gufunni. Reitir A og B eru þar nærrí sem þessi skil verða.

Reitur A er í suðvestur-jaðrinum á hverasvæðinu. Næstu hita- og ummyndunarskellur eru í 100–150 m fjarlægð til norðurs og norðausturs, og veststu gufuhverir eru ofarlega í Námafjalli, um 150–200 m austan við byggingareitinn. Hita gætir ekki á reitnum svo nokkru nemi. Í borholunum nyrst og syðst á spildunni sýndi sig hækandi hiti til norðurs, frá 6°C upp í 10°C á 12 m dýpi. Hiti á 1 m dýpi náði 13°C í norðausturhorni reitsins, en lækkaði niður í 5°C til suðvesturs,

Reitur B er í norðvesturjaðri hverasvæðisins. Hita í jörð gætir þar heldur ekki svo neinu nemi. Í grunnu holunum nær hann hvergi 10°C á 10 m dýpi (framlengdur ferill). Í kjarnaholu austarlega á reit B mældist 40°C á 37 m dýpi í grunnvatnsborði.

Miklar breytingar urðu á hveravirkni í Bjarnarflagi í Kröflueldum, er hún stórvirkst í umbrotum ársins 1977. Þess sjást merki á stöku stað að hveravirknin hafi dvínað síðan, enda þótt ekki hafi verið fylgst náið með því. Þetta kemur einnig fram í lækkandi hita í Grjótagjá. Hann fór hæst í 60°C ári eftir umbrotin, en er nú um 47°C og hefur lækkað aðeins um 3°C á síðustu 15 árum og raunar staðið í stað síðustu árin (mynd 5).

4. GRUNDUN

Gert er ráð fyrir að byggingar verði hannaðar samkvæmt Eurocode 7. Í ljósi þess er miðað við að langtímasig bygginga verði innan við 5 cm og missig milli útbrúna byggingareits verði innan við 2 til 3 cm og hallinn mestur 0,2% (200 mikrógeislar).

Árið 2002 voru grafnar fjórar gryfjur á svæði A og þar norðan við (mynd 3 og viðauki) og tólf gryfjur á svæði B (mynd 4 og viðauki). Árið 1999 voru auk þess grafnar 8 gryfjur á svæði A (Verkfræðistofan Hönnun hf 1999, nákvæma staðsetningu vantar). Niðurstöður athugana í svæði A og B sýna að lausa efnið ofan á hrauninu verður að fjarlægja undan húsunum. Á svæði A reyndist dýpi á hraunyfirborð vera um 2 m syðst, en um 7 m í borholu nyrst (Þórólfur H. Hafstað og Kristján Sæmundsson 2002). Á svæði B er dýpi á hraunklöpp um 2 m. Hraunið á svæði A reyndist skv. borholum vera 2 m þykkt syðst, og 14 m nyrst, en á svæði B til jafnaðar 3–4 m (Þórólfur H. Hafstað og Kristján Sæmundsson 2002).

Almennt er æskilegt að hreyfingar séu sem minnstar á undirstöðum húsa. Samkvæmt mati á jarðfræði og sprungukerfi svæðisins er ólíklegast að umtalsverðar hreyfingar verði á svæði A næstu áratugi. Til að geta betur mætt minni háttar hreyfingum er lagt til að undirstöður verði byggðar á þjappaðri fyllingu úr bólstrabergi. Æskilegt er að fyllingin nái niður á heillegt hraun og verði lögð út í lögum og völtuð. Til að fyllingin geti virkað til að jafna út hreyfingar er lagt til að hún verði minnst 1 m á þykkt undir neðri brún á undirstöðum. Æskilegast væri að fyllingin yrði 2 m, en til þess þyrfti fyrirsjáarlega sprengingar niður í klöpp á svæði B.

Áður en byrjað verður að hanna byggingar þarf að rannsaka aðstæður betur. Rannsaka þarf þykkt og gerð hraunlaga nánar, einkum á svæði A þar sem fáar holur eru, en sýnilega mikill munur á þykkt. Á svæði A liggar gilskora úr Námafjalli sem venjulega er þurr. Aur hefur borist úr henni í leysingum eða mikilli úrkomu út á byggingareitinn. Búast má við minni háttar vatns- og aurrennslu úr gilskorunni. Ef ástæða þætti til að gera sérstakar ráðstafanir vegna þessa mætti auðveldlega veita rennslinu til suðurs frá byggingareitnum. Með færslu byggingareits A norður um rúma 50 m í samræmi við áætlaða legu sprungu austan við svæði A myndi rennslí úr gilskorunni vart skipta máli.

Niðurstaða athugana á aðstæðum til grundunar á byggingum er að þau séu nokkuð samþærileg hvað varðar jarðlögin sjálf. Á svæði B eru lausu jarðlögin efst ekki eins þykk og á hluta svæðis A. Þjöppuð fylling til að jafna út minni háttar hreyfingar yrði því að vera þynnri á svæði B. Á svæði B er engin hætta á framburði frá brekkunni ofan við. Svæði A er hins vegar hagstæðara með tilliti til hugsanlegra jarðhræringa.

5. SAMANTEKT OG NIÐURSTÖÐUR

Sprungukortlagning bendir til þess að byggingareitum A og B megi koma fyrir sprungulausum spildum að því er séð verður með athugun á yfirborði lands. Reitur B afmarkast af sprungum bæði til austurs og vesturs, og er breidd milli þeirra aðeins um 100 metrar. Breidd heillegrar spildu lands á reit A er óviss, en líklega meiri en á reit B. Sprungur sem afmarka reit B hreyfðust báðar í Kröflueldum, en reitur A er austan þess svæðis sem þá haggaðist.

Hiti í jörð er ekki til vandræða við byggingaframkvæmdir, hvorki á reit A né B.

Aðstæður til grundunar á byggingum á reitum A og B eru nokkuð sambærilegar. Lausu jarðlögin á reit B eru um 2 m. Til að jafna út minni háttar hreyfingar kæmi þar 1 m þjöppuð fylling undir neðri brún á undirstöðum nema ef sprengt yrði niður í hraunklöppina. Á reit A næðist 2 m fylling án sprenginga nema syðst. Á reit A gæti þurft að gera einfaldar ráðstafanir til að veita frá aurrennslí sem komið getur úr gilskoru austan við byggingareitinn í stórrigningum.

Hægar jarðskorpuhreyfingar eru líkast til ekki svo miklar að þær skipti máli við val á byggingarreit. Öðru máli gagnir um áhættu af hugsanlegum umbrotum og eldgosum. Byggingareitur B liggur á miðri sprungurein Kröflukerfisins, en reitur A liggur utan þess svæðis sem sprungur mynduðust á í Kröflueldum. Ef til umbrota kæmi þegar skammt er liðið frá síðustu umbrotahrinu (innan við öld) er talið líklegt að sprunguhreyfingar yrðu áfram mestar í miðri sprungureininni. Þannig er reitur B mun áhættusamari en reitur A hvað varðar sprunguhreyfingar. Sama er að segja um hættu af hraungosum. Reitur B liggur lágt í miðri sigdæld, þangað sem hraun myndi leita ef það kæmi upp í Bjarnarflagi. Reitur A stendur hærra og mun ólíklegra að þar yrði tjón vegna hraunflæðis.

Miklar landbreytingar urðu í Bjarnarflagi í Kröflueldum 1975–1984. Þeirri umbrotahrinu er nú lokið og líklegast er að ekki komi til sambærilegrar umbrotahrinu á Norðurlandi fyrr en öld er liðin. Smærri umbrot og einstök eldgos geta þó orðið í eldstöðvakkerfi Kröflu á næstu áratugum. Líklegasta umbrotasvæði í þannig atburðum yrði í megineldstöðinni sjálfri, næst Leirhnjúki, á því sprungusvæði sem hreyfðist í Kröflueldum. Ekki er hægt að útiloka að slík umbrot gætu teygt sig eftir virkustu sprungureininni niður í Bjarnarflag. Þá yrðu mannvirki á reit B í umtalsvert meiri hættu en mannvirki á reit A. Reitur A er þannig talinn hagstæðari en reitur B með tilliti til hugsanlegra jarðhræringa á svæðinu.

Mynd 1. *Sprungukort, smækkun á korti í mkv. 1: 5.000. Kortið sýnir sprungur og misgengi í Bjarnarflagi. Stærstu misgengin eru greinileg í hæðarlínum. Gjár og minni misgengi voru rakin með GPS-staðsetningartæki og tekin eftir loftmyndum frá 9. sept. 1977 á svæðinu kringum Kísiliðjuna þar sem jafnað hefur verið yfir eftir umbrotin það ár. Reitir A og B eru sýndir á kortinu. Vinnsluholurnar í Bjarnarflagi (4–12) eru sýndar á kortinu. Holur 9, 11 og 12 eru í rekstri. Hinar eyðilögðust eða löskuðust í umbrotunum 1977.*

Sprungukort af Bjarnarflagi

Kristján Sæmundsson

1:10.000

SKÝRINGAR

Gíður

Misgengi

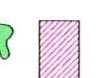
Gjá

Vesturhaðar á háhitamerkum

Jáðarsprungur frá Kröfuellum

Svelgur

Gufuaugu næst reitum A og B



Heit jörð næst reitum A og B

Kaldar skellur

Vesturhaðar á háhitamerkum

Sprungur teknaðar eftir loftmyndum frá 1977

Byggingareitir

Prufugrýfja



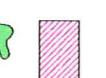
Gufuaugu næst reitum A og B

Vesturhaðar á háhitamerkum

Sprungur teknaðar eftir loftmyndum frá 1977

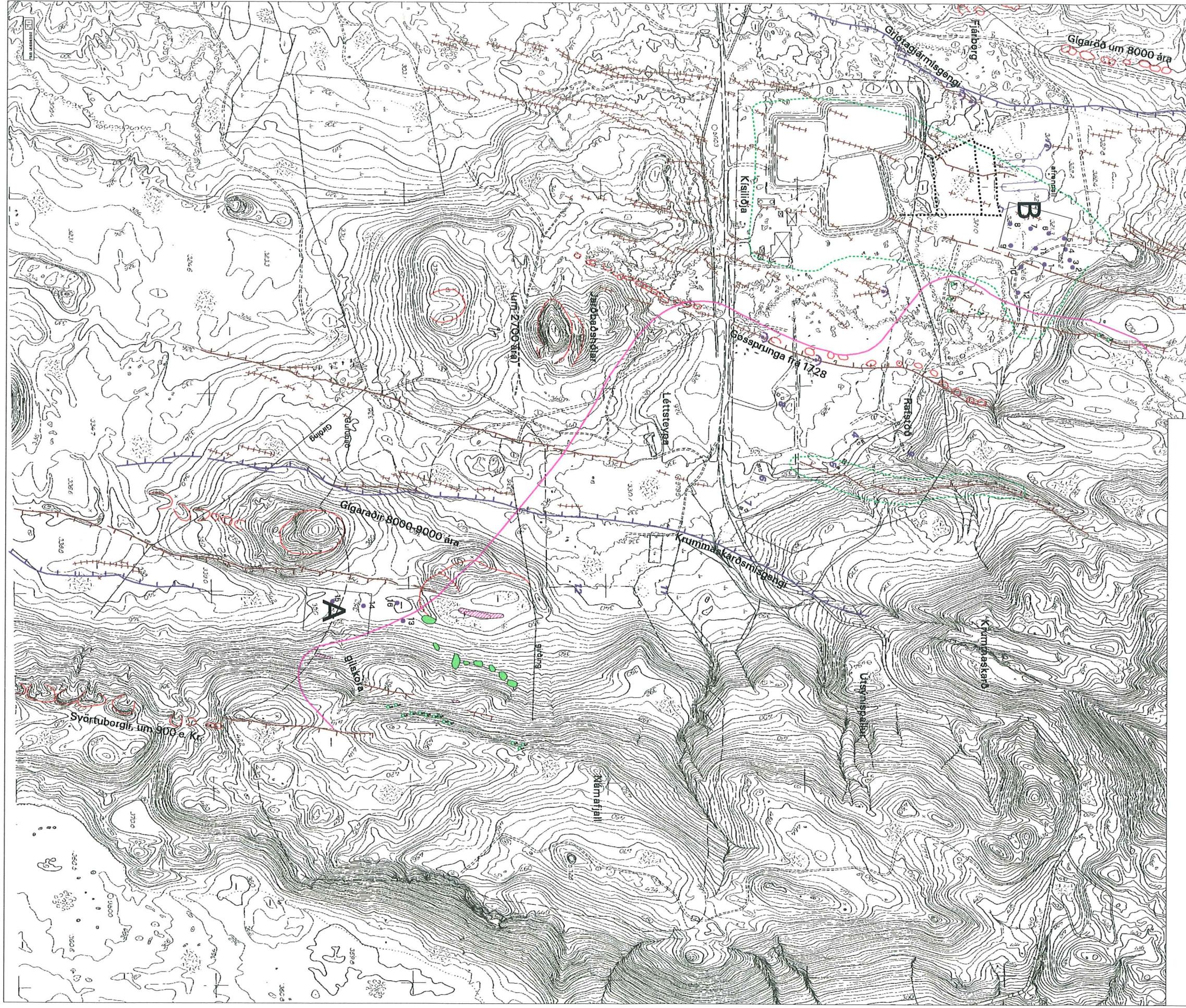
Byggingareitir

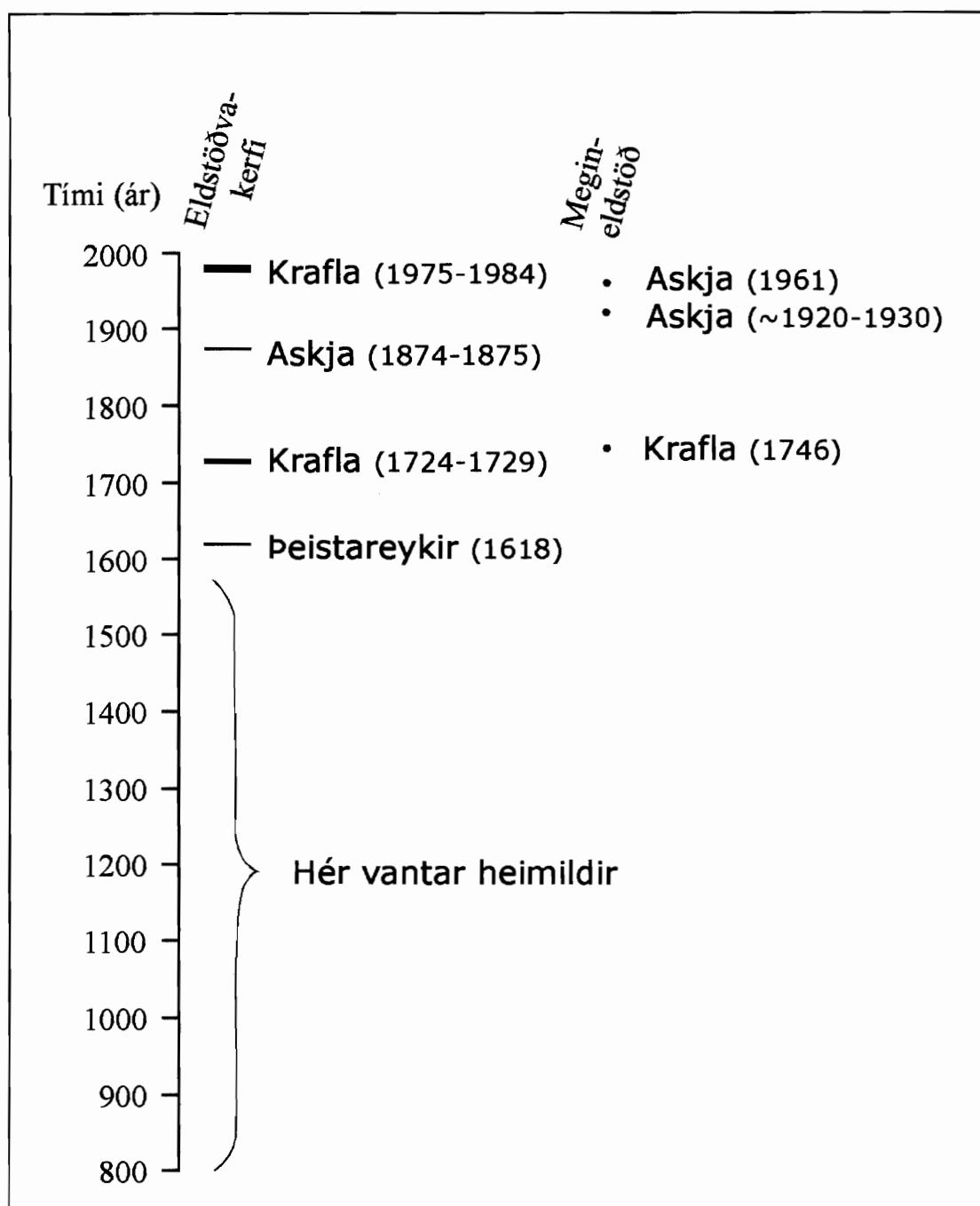
Prufugrýfja



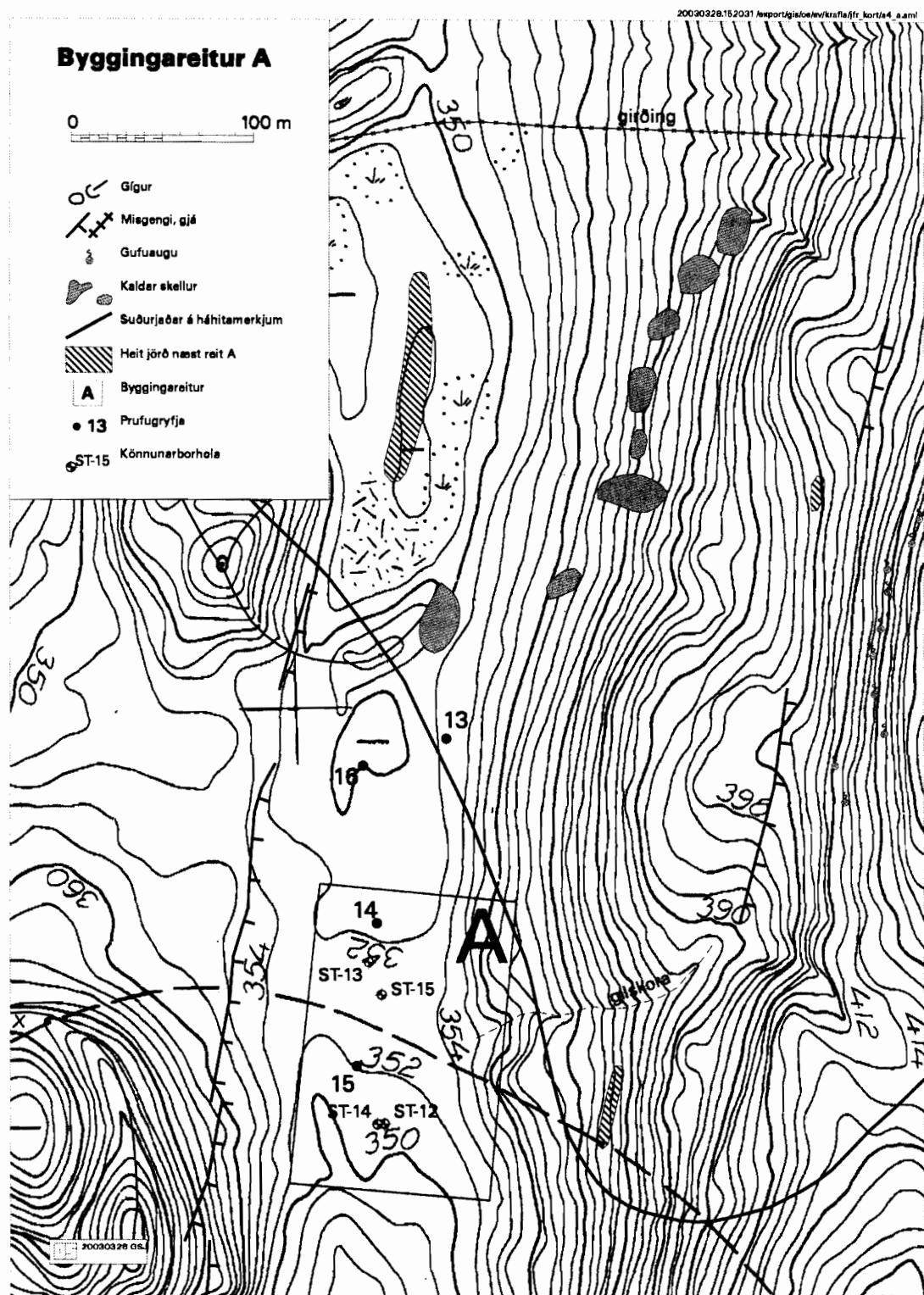
Prufugrýfja

Vinnsluborhola

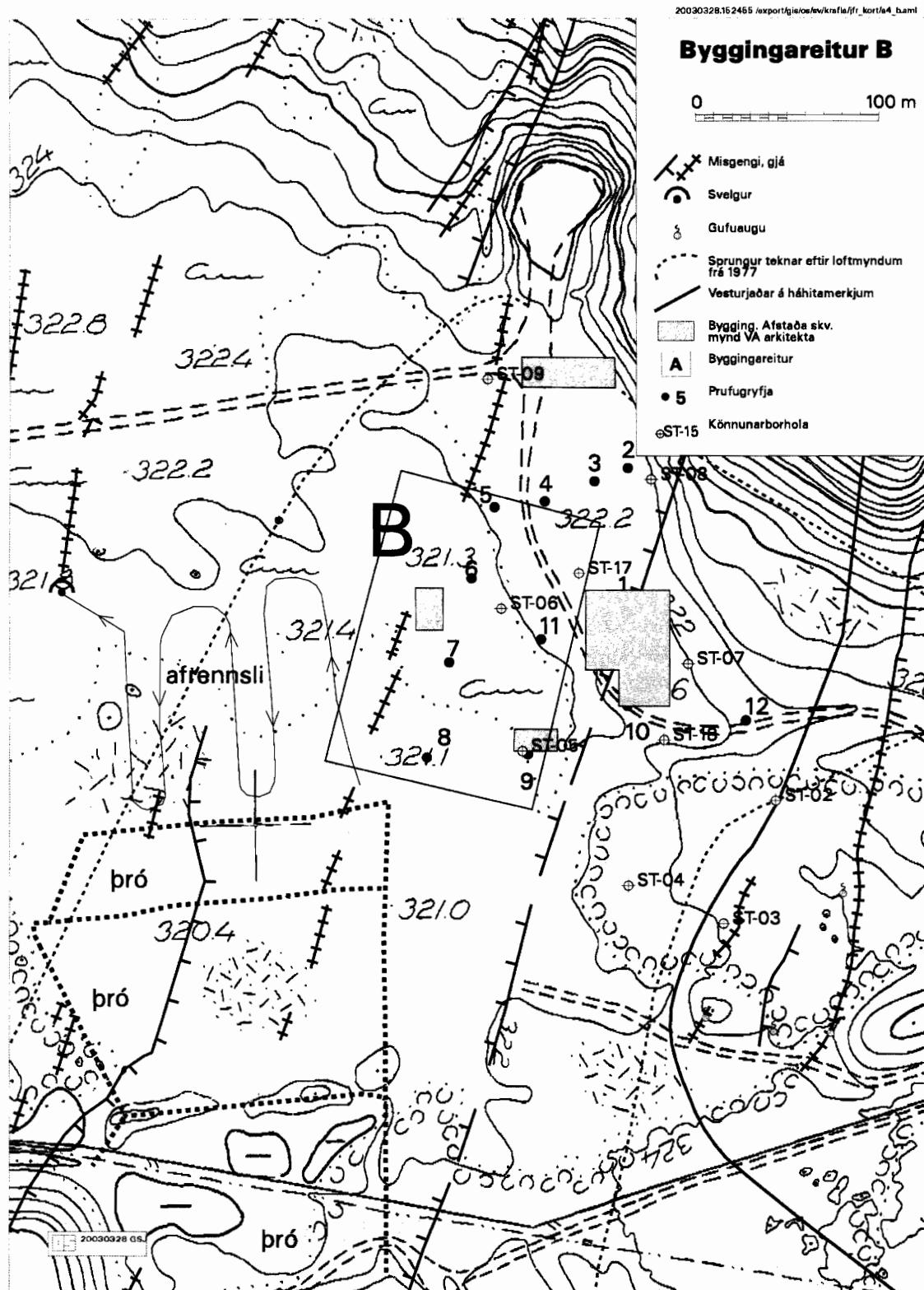


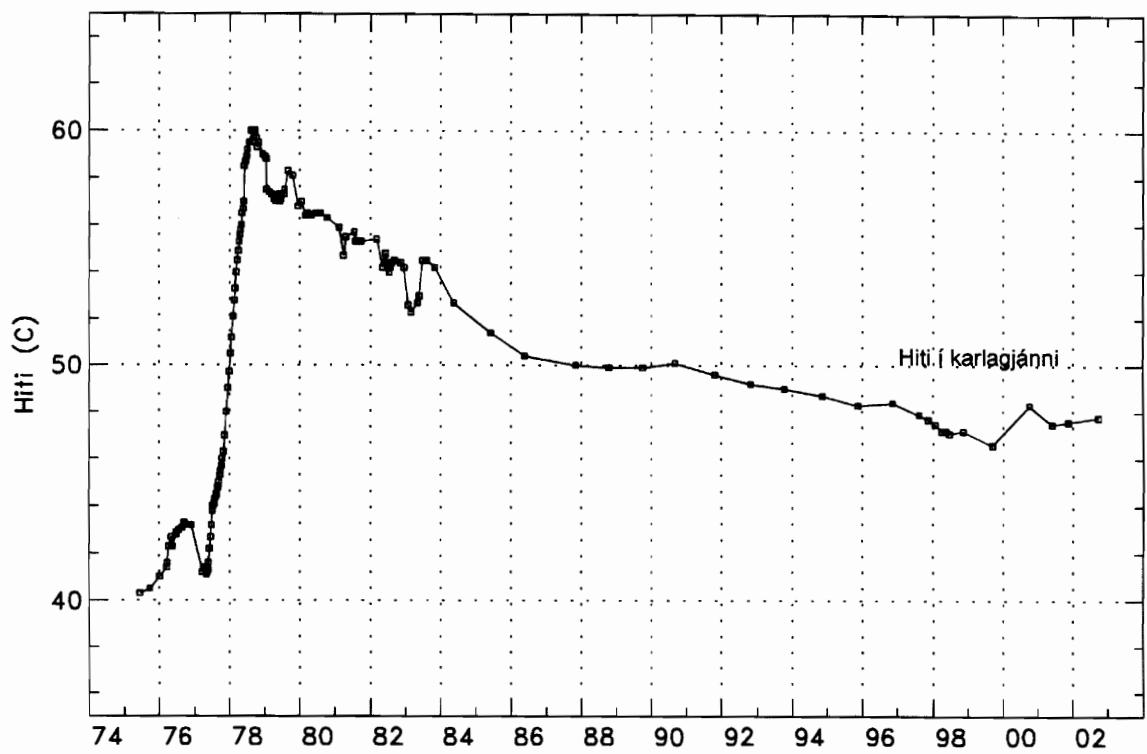


Mynd 2. Umbrot- og eldgos í gosbeltinu á Norðurlandi norðan Öskju. Sýnd eru tímasett eldgos og umbrot. Skilið er á milli umbrota og eldgosa sem náðu til sprungusveimanna og eldsosa sem urðu í megineldstöðvunum sjálfum.



Mynd 3. Kort af byggingarreit A 1:2.500. Könnunargryffur og rannsóknarholur eru sýndar. Hallandi spilda vestan við reitinn takmarkast af sprungu austan megin.





Mynd 5. Breyting á hita í Grjótagjá frá umbrotaárinu 1977. Myndin er eins konar mælikvarði á dvíndandi jarðhitavirkni í Bjarnarflagi eftir umbrotin. Siðustu 5–7 ár hefur virknin nánast verið í jafnvægi.

6. HEIMILDIR

Axel Björnsson og Hjálmar Eysteinsson, Breytingar á landhæð við Kröflu 1974–1975, samantekt á landhæðarmælingum. Skýrsla Orkustofnunar og Norrænu eldfjalla-stöðvarinnar, OS-98002, 1998.

Christof Völksen, Die Nutzung von GPS fur die Deformationsanalyse in regionalen Netzen am Beispiel Islands, Doktorsritgerð, Háskólinn í Hannover, Þýskalandi, 2000.

Eysteinn Tryggvason, 1984. Widening of the Krafla fissure swarm during the 1975–1981 volcano-tectonic episode, Bull. Volcanol., 47, s. 47–69.

Eysteinn Tryggvason, Optical levelling tilt stations in the vicinity of Krafla and the Krafla fissure swarm, observations 1976 to 1994, Skýrsla Norrænu eldfjalla-stöðvarinnar 9505, Reykjavík 1995.

Freysteinn Sigmundsson, Helene Vadon, og Didier Massonnet, 1997, Readjustment of the Krafla spreading segment to crustal rifting measured by Satellite Radar Interferometry, Geophys. Res. Letters, 24, s. 1843–1846.

Hönnun Verkfræðistofa. Efnisnám fyrir Bjarnarflagsvirkjun. 1999, 10 s.

Kristján Sæmundsson 1991. Jarðfræði Kröflukerfisins. Í Náttúra Mývatns, ritstjórar Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson, s. 25–95, Hið íslenska náttúrufræðifélag, Reykjavík.

Kristján Sæmundsson. Könnun á byggingarsvæðum í Bjarnarflagi. Orkustofnun, greinargerð KS/gr. 0114.

Landmælingar Íslands. Loftmyndir frá 9.9. 1977. Nr. 1449–1451.

Páll Einarsson, 1991, Umbrotin við Kröflu 1975–89. Í Náttúra Mývatns, ritstjórar Arnþór Garðarson og Árni Einarsson, s. 97–139, Hið íslenska náttúrufræðifélag, Reykjavík.

Skarðsárnáll. Annálar 1400 – 1900, 1. bd. s. 209, 1922–1927

Þórólfur H. Hafstað og Kristján Sæmundsson. Bjarnarflag. Könnun á byggingarsvæðum. Orkustofnun skýrsla OS-2002 / 042.

VÁ-arkitektar (án árs og dags.). 40 MW jarðvarmavirkjun í Bjarnarflagi. Tillaga B.

VIÐAUKI VIÐ ÁLITSGERÐ UM BYGGINGARSVÆÐI Í BJARNARFLAGI

Gryfjur á reit B. Lýsing á jarðlögum

Meðfylgjandi er lýsing á jarðlögum í gryfjum sem grafnar voru þ. 14. ágúst 2002 (mynd 4 í álitsgerð). 12 gryfjur voru grafnar, allar á spildunni suður frá gömlu malargryfjunni, nema tvær. Gryfjurnar voru staðsettar með GPS (Garmin). Nákvæmnin var á bilinu $\pm 3\text{--}4$ m. Kort í álitsgerð sýna staðina þar sem grafið var, misgengin báðum megin við spildurnar sem rætt er um sem byggingarreiti og könnunarholur sem áður voru boraðar.

- Gryfja 1: 40–50 cm sandur, moldarblandaður með rótartægjum efst. Undir er hraun.
- Hraunið er gjallkennt og bert rétt vestan og norðan við gryfjuna.
- Gryfja 2: Efst er 1 m ruðningslag, sandur og járnarosl sem jafnað hefur verið yfir sandnámuna. Undir var óhreyfður svartur sandur niður í 3,40 m dýpi þar sem hætt var að grafa.
- Gryfja 3: Efst er 35 cm sandblönduð mold með rótartægjum, efni sem jafnað hefur verið yfir. Undir eru 15 cm affallsgúr. Þar neðan við 20 cm svartur sandur og síðan hraun.
- Gryfja 4: Efst 80 cm söndugur jarðvegur, tilflutt efni sem jafnað hefur verið yfir. Þar ofan á eru 65 cm affallsgúr. Þar undir 30 cm svartur sandur og síðan hraun.
- Gryfja 5: Efst eru 25 cm brúnleitur sandur með rótartægjum. Þar undir 65 cm svartur sandur og undir honum hraun.
- Gryfja 6: Efst er sandblandaður affallsgúr 15 cm. Þar undir brúnleitur sandur 15 cm. Þar undir 85 cm affallsgúr. Þar undir 10 cm sandblönduð mold og síðan hraun.
- Gryfja 7: Efst gróðurrætur í sandi og gúr 10 cm. Síðan affallsgúr 1,15 m. Þar undir 0–5 cm mold og þar undir hraun.
- Gryfja 8: Efst 2,5 m affallsgúr með gróðurtægjum efst. Undir eru 5 cm mold og síðan hraun.
- Gryfja 9: Efst moldar-og gúrblandaður sandur 35 cm. Þar undir 2,5 m affallsgúr. Þar undir 35 cm sandur, moldarlitaður neðst. Síðan hraun.
- Gryfja 10: Efst 88 cm moldarblandaður, brúnn sandur. Þar undir svartur sandur 52 cm og síðan hraun.
- Gryfja 11 ofan í lægð (breiðum skurði): Efst 30–40 cm svartur sandur og síðan hraunið. Hér vantar affallsgúrinn sem er um 1 m á þykkt sitt hvorum megin við skurðinn.
- Gryfja 12 austan við misgengið sem markar byggingarreit B að austan: Gryfjan er um 7 m norðan við jaðarinn á Bjarnarflagshrauninu sunnan við vegarslóðann. Grafið var 2 m ofan í svartan sand og hætt. Hraun sem fram kom í hinum gryfjunum nær ekki þangað. Jaðar þess er eftir því nokkuð vel afmarkaður.

Hraunið í botninum á gryfjunum er frá Mývatnseldum, úr Hrossadalsgígunum og hefur runnið niður brekkuna vestan við malarhnámunu. Hraunið er frá 1728 og á því þunnt moldarkennt lag, sandblandað.

Svarti sandurinn er fok og afskoluð Hverfellsaska úr hæðunum norðan við reit B. Hann er þykkur næst brekkunni, en þunnum á unga hrauninu, gengur eflaust undir það, sbr könnunar-borholurnar (Þórólfur Hafstað og Kristján Sæmundsson 2002).

Jarðbaðshólahraunið kemur svo undir undir unga hrauninu. Það er um 2800 ára gamalt og sést í syðstu og veststu könnunar-borholunum. Hverfellsaskan félí sama gosi, en á undan hrauninu. Mikið fok og skol hefur verið úr öskunni niður á sléttuna og þá út á Jarðbaðshólahraunið. Nýfallin hefur askan verið þarna um ½ m á þykkt.

Gryfjur á reit A

Fjórar gryfjur (13–16 á mynd 3) voru grafnar á svæði A í sömu ferð til að að mæla hita, en aðeins ein (gryfja 15) var grafin niður á hraunið sunnarlega á svæðinu til samanburðar við Hönnunar-holurnar. Í skyrslu um þær eru jarðvegslögin ekki sett í samhengi við vel þekkta og tímasetta lagskipan jarðvegsins á þessu svæði. Í botni gryfjunnar var gamalt dílótt hraun úr stóra gígnum vestan við byggingareitinum. Það er um 8.000 ára. Ofan á hrauninu var 30 cm móhellukennnd mold og samanrunnin öskulög efst í henni, kölluð z og fylgilög (um 6000 ára, Kristján Sæmundsson 1991). Þar yfir voru 54 cm upp í öskulagið H4 (5 cm, 4.500 ára) og síðan 10 cm mold upp í öskulagið H3 (5 cm, 3000 ára). Ofan á H3 var þunn moldarrák upp að Hverfells-öskunni, sem þarna var 1,4 m á þykkt (2800 ára). Ofan á henni var 35 cm lag af möl, mold og sandi upp til yfirborðs.