

# ***R3268A Brennisteinsfjöll***

**Viðauki 67 af 92 við skýrslu Orkustofnunar OS-2015/02**

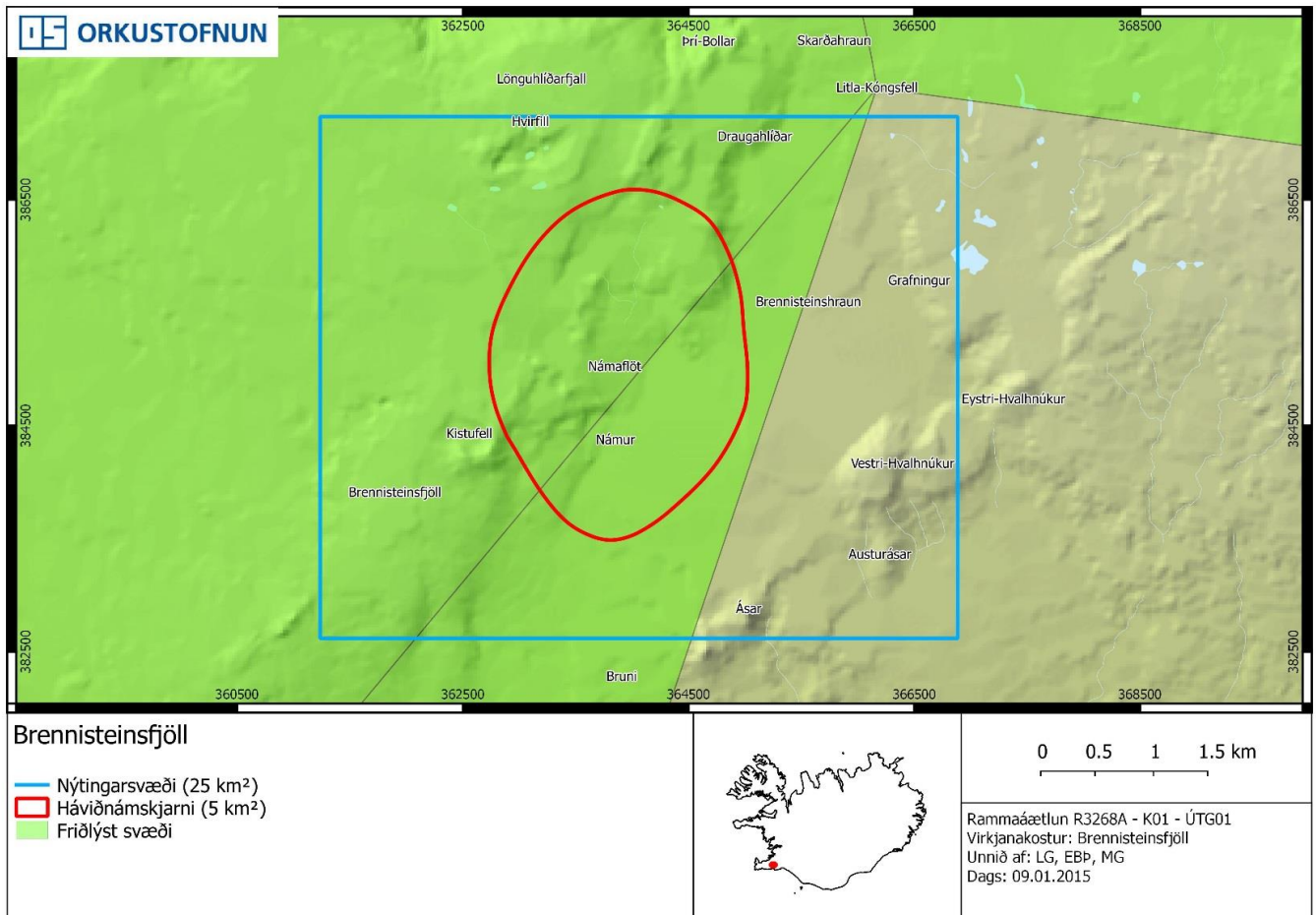
***Virkjunarkostir til umfjöllunar í 3. áfanga rammaáætlunar***



## R3268A Brennisteinsfjöll

Viðauki 67 af 92 við skýrslu Orkustofnunar OS-2015/02

*Virkjunarkostir til umfjöllunar í 3. áfanga rammaáætlunar*





## EFNISYFIRLIT

1	Inngangur.....	6
2	Helstu kennistærðir.....	6
3	Staðhættir og jarðfræði.....	7
4	Tilhögun virkjunar.....	9
5	Heimildir .....	15
	Mynd 4-1: Dæmi um háhitakerfi í sniðrekbelti (Jónas Ketilsson o.fl., 2010).....	10
	Mynd 4-2: Jarðhitakort af Brennisteinsfjöllum (Kristján Sæmundsson, unnið fyrir VSÓ ráðgjöf, 2004). .....	10
	Mynd 4-3: Viðnámskort af Brennisteinsfjöllum (Ragna Karlsdóttir, 1995). .....	11
	Mynd 4-4: Viðnámsnið af Brennisteinsfjöllum (Ragna Karlsdóttir, 1995). .....	12
	Mynd 4-5: Brennisteinsfjöll, kort sem sýnir hugsanlegt nýtingarsvæði.....	13
	Mynd 4-6: Brennisteinsfjöll, loftmynd sem sýnir hugsanlegt nýtingarsvæði.....	14
	Tafla 2-1: Helstu kennistærðir fyrir jarðvarmavirkjun við Brennisteinsfjöll .....	6

## 1 INNGANGUR

Í þessum viðauka við skýrslu Orkustofnunar um tillögur stofnunarinnar til verkefnisstjórnar þriðja áfanga rammaáætlunar er fjallað um þann valkost að reisa jarðvarmavirkjun við Brennisteinsfjöll á Reykjanesi.

## 2 HELSTU KENNISTÆRÐIR

Hugmyndin er að nýta háviðnámskjarna á milli Heiðarinnar há og Bláfjalla að austan og Lönguhlíðar-stapans að vestan.

Helstu kennistærðir	Eining	
Uppsett rafafli	90	MW <sub>e</sub>
Uppsett varmaafli	0	MW <sub>t</sub>
Orka	711	GWh/ári
Nýtingartími	7900	klst./ári
Flatarmál háviðnámskjarna	5	km <sup>2</sup>
Flatarmál nýtingarsvæðis	25	km <sup>2</sup>
Kostnaðarflokkur	3	

Tafla 2-1: Helstu kennistærðir fyrir jarðvarmavirkjun við Brennisteinsfjöll.

### 3 STADHÆTTIR OG JARÐFRÆÐI

Brennisteinsfjöll flokkast sem háhitakerfi í sniðrekbelti. Basaltkerfi Reykjanesskagans milli Brennisteinsfjalla og Reykjaness hýsa háhitakerfi. Rýólít kemur þar ekki fyrir. Tímabil gliðunar með gosvirkni á gosreinum og sniðgengisfærslu skiptast á. Hvort um sig stendur í nokkrar aldir. Yfirstandandi sniðgengistímabil hefur staðið í 750 ár, álika lengi og það næsta á undan. Þessar gosreinar marka uppstreymisrásir. Öll háhitakerfin á Reykjanesskaga eru af þessari gerð á mismunandi „virknistigi“ þó. Hin eru Reykjanes, Svartsengi-Eldvörp og Krýsuvík-Trölladyngja. Háhitasvæðin eru í eðli sínu lágþrýstisvæði (heitt vatn er léttara en kalt). Því streymir kalt vatn að þeim, en afrennsli frá á litlu dýpi, auk þess sem vatn gufar upp til yfirborðs (Jónas Ketilsson o.fl., 2010).

Sniðrekbelti myndast vegna þess að úthafshryggurinn rekur afstætt til vest-norðvesturs miðað við möttulstrókinn, en hann togar í uns nýtt hryggjarstykki myndast ofan hans. Við það verða til þverbrotabelti og sniðrekbelti. Sniðgengisfærslur eru einkennandi fyrir eðli jarðhitakerfa Reykjanesskagans. Spegilmynd sniðrekbeltisins á Reykjanesskaganum er Grímseyjar-Axarfjarðarbeltið fyrir norðan. Mynd 4-1 sýnir Reykjanes sem dæmi um háhitakerfi í megineldstöð sem eingöngu gýs basalti. Megineldstöðin ákvarðast af sprungugosum á þrem gosreinum (Stamparein, móbergsrein og Skálafellsrein). Þær ná skammt norðaustur fyrir Reykjaneshælinn. Norðar taka við gjár og misgengi sem liggja norðaustur í Voga- og Strandarheiði. Á þeim er ekki vitað um jarðhita fyrr en kemur að lágghita á Vatnsleysuströnd (nýfundinn með borun) og vestast á Innnesjum. Hitamælingar í jarðvegi sýna að jarðhitasvæðið á Reykjanesi er næstum samhverft um móbergsreinina og það staðfesta hitamælingar í borholum. Aðaluppstreymi kerfisins og vinnslan er í móbergsreininni. Vatnið í jarðhitakerfinu er saltara en sjór (vegna uppgufunar úr því). Í viðnámsmælingum sjást því litlir breytileikar í viðnámsgerð. Hæstur hiti, um 310°C, er við vestri móbergshrygginn (Litla-Vatnsfell), en aðalvinnsluholurnar eru við þann eystri (Rauðhóla), um 290-300°C. Þessar gosreinar marka uppstreymisrásir. Öll háhitakerfin á Reykjanesskaga eru af þessari gerð á mismunandi „virknistigi“ þó. Hin eru Svartsengi-Eldvörp, Krýsuvík-Trölladyngja, og Brennisteinsfjöll. Háhitasvæðin eru í eðli sínu lágþrýstisvæði (heitt vatn er léttara en kalt). Því streymir kalt vatn að þeim, en afrennsli frá á litlu dýpi, auk þess sem vatn gufar upp til yfirborðs.

Jarðhitasvæðið í Brennisteinsfjöllum liggur í 400–500 m hæð yfir sjó. Í eldstöðvakerfinu sem kennt er við Brennisteinsfjöll er skýrt afmörkuð gos- og sprungurein með stefnu NA-SV. Kjarninn í henni er á milli Heiðarinnar há og Bláfjalla að austan og Lönguhlíðar-stapans að vestan. Bláfjöll eru oft felld undir þetta sama eldstöðvakerfi sem sérstök gosrein með móbergshryggjum, dyngjum og fáeinum gígaröðum, mikilli gosframleiðslu, en furðulítið er þar um brot. Jarðhitasvæði er ekki sýnilegt í Bláfjallareininni. Í Brennisteinsfjallareininni eru sprungugos ráðandi, en dyngjur koma þar einnig fyrir og er Kistufell þeirra mest. Í fjallendinu er gos- og sprunguvirkni samþjöppuð á belti sem er einungis um 1200 metra breitt frá Eldborgum undir Geitahlíð uns kemur norður á móts við Bláfjöll að það víkkar og óljóst verður hvar mörk liggja, en þar er komið langt norðaustur fyrir jarðhitasvæðið sem sjónir beinast að hér. Allar bergmyndanir eru basalt og ekkert súrt eða ísúrt berg hefur fundist á yfirborði. Brennisteinsnám var stundað í fá ár eftir 1876 og fyrir 1883. Menjar þess eru námuskvompur í rúmlega 2000 ára gömlu hrauni og tveir tippar stærstir þar framan við. Jarðhitamerki er að finna miklu víðar en sýnt er á eldri kortum (Helgi Torfason og Magnús Á. Sigurgeirsson, 2001).

Á jarðhitakortinu (Mynd 4-2) er sýndur virki jarðhitinn og kaldar ummyndunarskellur, aðgreindar eftir því hvort um er að ræða mikla eða væga ummyndun. Mikil ummyndun einkennist af ljósum leirskellum, en væg fremur af rauðum leir, upplituðu bergi og minni háttar útfellingum. Væg ummyndun er fyrst og fremst bundin við jarðmyndanir frá ísöld, en nær þó einnig til hrauna í Brennisteinsfjöllum sjálfum. Yfirborðsmerki um jarðhita finnast á rein sem nær frá því á móts við Kerlingarskarð í norðaustri til suðvesturs á móts við Kistufell. Þessi rein er 4 km löng, um 1 km breið og öll í sprungubelti Brennisteinsfjalla. Virkur jarðhiti er á þrem blettum á litlu svæði: Í

hinum fornu námum er gufuhver, við suðumark, með brennisteinútfellingu og gufur allt að 93°C heitar í námuskvompunum í kring. Í hraunbundu 200–300 m norðar eru gufur á dálitlu svæði og mestur hiti 60°C. Við hraunjaðar um 300 m norðaustan við námusvæðið er 22°C hiti í ljósri leirskellu, en sú sem meira ber á, sunnar niðri í brekkunni upp af Hvamminum, er köld. Nothæf gassýni hafa ekki náðst til gasgreininga en mjög líklegt að það mætti takast.

Eldvirkni á Reykjanesskaga hefur sýnt sig að vera lotubundin, eins og fyrr segir, sé litið á síðustu 3000 ár. Hver lota gengur yfir á um það bil 400 ára tímabili með gosum í nokkrum af eldstöðvakerfum skagans. Á milli gosa líða um 800 ár, en þess í stað kemur jarðskjálftavirkni með höggun á sniðgengjum. Síðasta lota hófst fyrir landnám í Brennisteins/Bláfjallafjallakerfinu og lauk þar árið 1000. Eftir fylgdi Trölladyngjukerfið með gosvirkni á 12. öld og síðan Reykjaness- og Svartsengiskerfin með gosum á 13. öld. Líkt gekk til fyrir 2400–2000 árum. Vitað er að eldvirkni var á Reykjanesi, í Trölladyngju og Brennisteinsfjöllum fyrir rúmlega 3000 árum, en tímabilið þar á undan er miður þekkt. Goshlé á Reykjanesskaga hefur nú varað í rúmlega 750 ár.

Brennisteinsfjöll voru á náttúruverndaráætlun 2003-2008 (maí 2003). Þau þykja sérstök vegna óvenju fjölbreyttra jarðmyndana og þá einkum gosmenja. Bent er á að Brennisteinsfjöll og umhverfi séu meðal fárra slíkra svæða nærri höfuðborgarsvæðinu sem megi heita ósnert. Hins vegar er land þar niðurnítt af beit og uppblásið með flögum og vatnsgrafningum. Flest af því sem nefnt er sem sérstakt er utan við hugsanlegt framkvæmdasvæði svo sem Þríhnúkaígur, Kista (nefnd Kistufellsgígur) og Eldborg á Brennisteinsfjöllum suðvestur þaðan.

Af jarðeðlisfræðilegum mælingum liggja fyrir viðnámsmælingar (TEM), kortlagning á skjálftavirkni, þyngdarmælingar og segulkort sem hluti af Reykjanesskaga öllum. Viðnámsmælingar benda til þess að svæðið sé um 18 km<sup>2</sup> á 700 m dýpi undir sjávarmáli, um 1200 m undir yfirborði þar sem jarðhita verður vart. Jafnviðnámslína 10 ohmmetra á korti 3 gefur til kynna ytri mörk jarðhitakerfisins á 700 m dýpi undir sjávarmáli (Ragna Karlsdóttir, 1995). Innan hennar sunnan til er s.k. háviðnámskjarni, Hann er bungulaga og stafar af mikilli ummyndun bergs við yfir 240°C hita. Háviðnámskjarninn er undir því svæði þar sem hverirnir eru og ummyndun á yfirborði mest og samfelldust. Viðnámskortíð fellur mjög vel að jarðhitamerkjunum og sprungureininni. Í þyngdarmælingunum má greina um tveggja km breitt svæði, ílangt NA-SV undir Brennisteinsfjöllum og jarðhitasvæðinu (Magnús Tumi Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir, 2004). Niðurstöður segulmælinga liggja fyrir í segulkorti Þorbjörns Sigurgeirssonar 1:250.000 (1970). Þar er sýnd segullægð á jarðhitasvæðinu, ílöng NA-SV, sem nær frá Brennisteinsfjöllum norðaustur á mótis við Grindaskörð. Lágt segulsvið er talið stafa af eyðingu magnetíts við ummyndun bergs, en móbergið sem fannst í þyngdarmælingunum kann þar einnig að eiga hlut að máli.

Á 20. öld er vitað um tvo skjálfta af stærð um 6 með upptök í Brennisteinsfjöllum eða þar í nánd. Sá fyrri varð í júlí 1929, 6,2 á Richter. Sá seinni varð í desember 1968, 5,8 að stærð. 17. júní 2000 varð skjálfti á þessu svæði að stærð 4,7. Einhverjir af þessum skjálftum kunna að tengjast jarðskjálftasprungu austan við Hvalhnúk. Kort af skjálftaupptökum eftir 1990 sýnir mesta virkni töluvert austan við Hvalhnúk og á belti yfir norðanverðar Draugahlíðar austur fyrir Litla-Kóngsfell. Hins vegar hefur lítil virkni verið í Brennisteinsfjöllum á þessum tíma. Stærstu skjálftarnir sem verða í Brennisteinsfjöllum og þar í grennd eru efalaust sniðgengisskjálftar á norður-suður sprungum. Slík sprunga er þekkt 3-4 km austan jarðhitasvæðisins, og liggur hún nærri Hvalhnúk. Á þessu svæði má búast við jarðskjálftum stærri en 6 um það bil einu sinni á öld (Helgi Torfason og Magnús Á. Sigurgeirsson, 2001) (Kristján Sæmundsson, unnið fyrir VSÓ ráðgjöf, 2004) (Ragna Karlsdóttir, 1995) (Jón Jónsson, 1978)



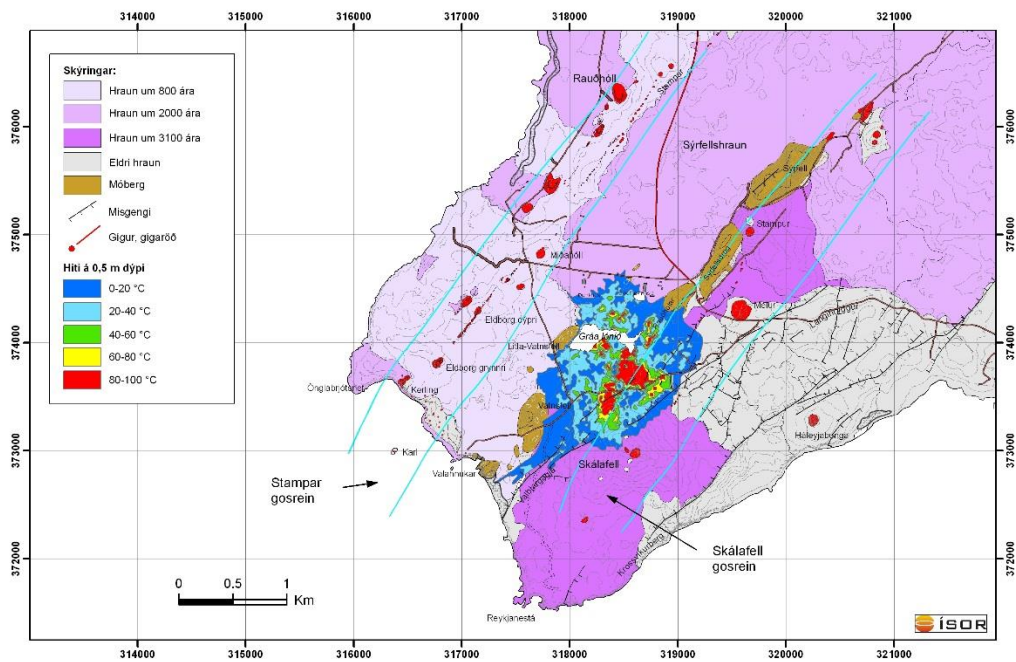
## 4 TILHÖGUN VIRKJUNAR

Mynd 4-5 sýnir kort af svæðinu sem um ræðir. Græna svæðið er Reykjanesfólkvangur, rauðu línurnar sýna útlínur háviðnámskjarnans og bláu línurnar afmarka nýtingarsvæðið, en það er það svæði þar sem áhrifa vinnslu mun gæta. Framkvæmdarsvæði verða innan nýtingarsvæðis og eru háð samþykki skipulagsyfirvalda. Ekki er hægt að afmarka þau á þessu stigi.

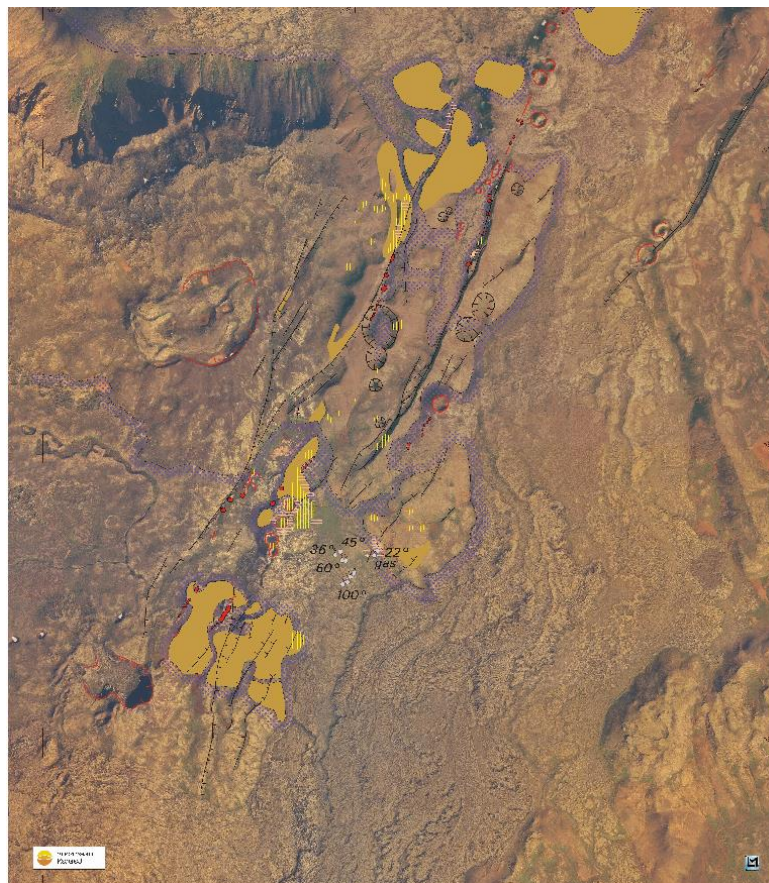
Áður en vinnsla hefst mun vera gert reiknilíkan sem spáir fyrir þrýstingslækkun í jarðhitakerfinu, og þ.a.l. hversu mikil vinnslan má vera til að standast kröfur um sjálfbærni. Útmörk og vilmörk þrýstingslækkunar skulu vera ákvörðuð og ef að þeim er náð þá skal endurskoða líkanið og hugsanlega ráðast í mótvægisáðgerðir. Losun affallsvatns og tilhögun hennar yrði ákvörðuð eftir frekari rannsóknir. Miðað er við að líftími virkjunar sé 60 ár.

Þar sem miðað er við að hægt sé að reisa 90 MW virkjun þá þyrfti að bora u.þ.b. 22 holur til að afla nægjanlegrar gufu, auk tveggja niðurdælingarholna. Búast má því að um 74% rannsóknarholna heppnist og verði að vinnsluholum (Björn Már Sveinbjörnsson, 2014). Auk þess þyrfti að bora um 50 uppbotarholur yfir 60 ára líftíma virkjunarinnar.

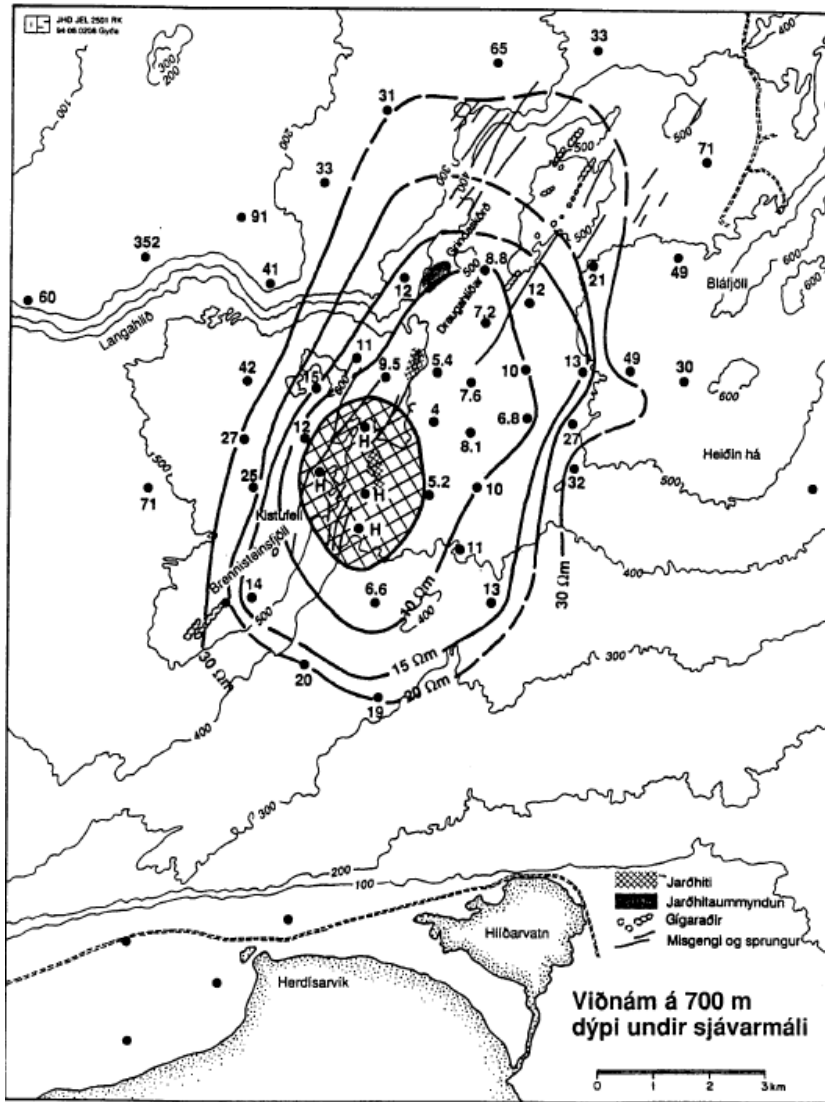
Nýtingarsvæðið er gróflega áætlað um 25 km<sup>2</sup>.



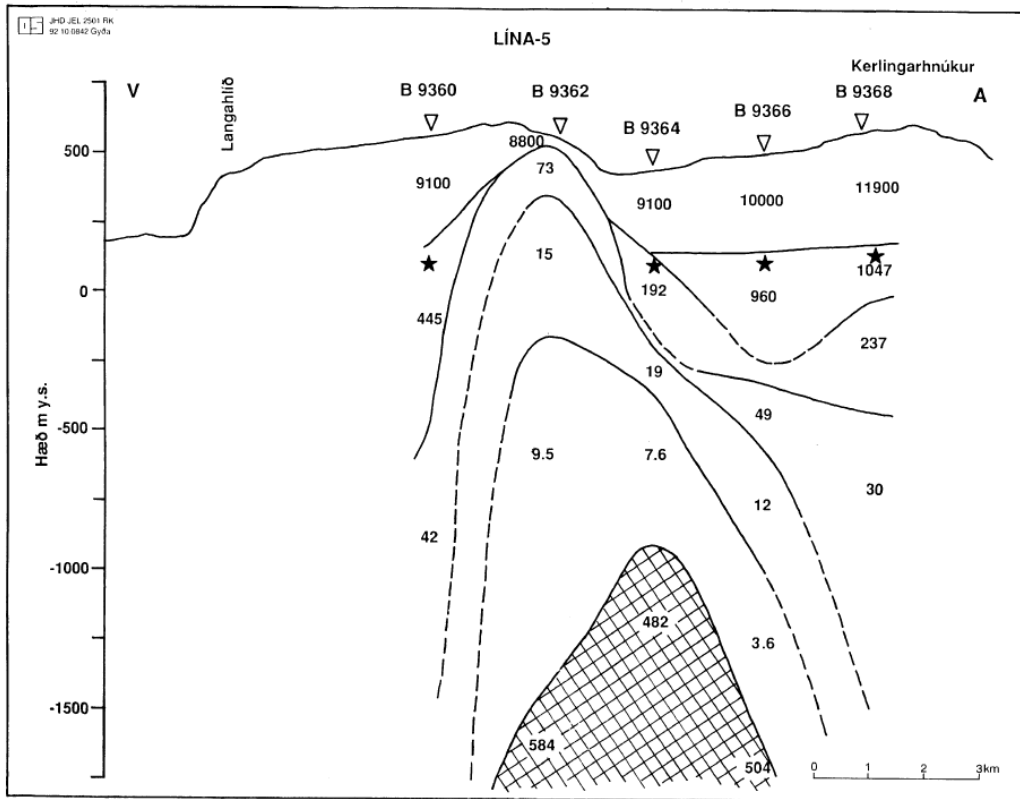
Mynd 4-1: Dæmi um háhitakerfi í sniðrekkbelti (Jónas Ketilsson o.fl., 2010).



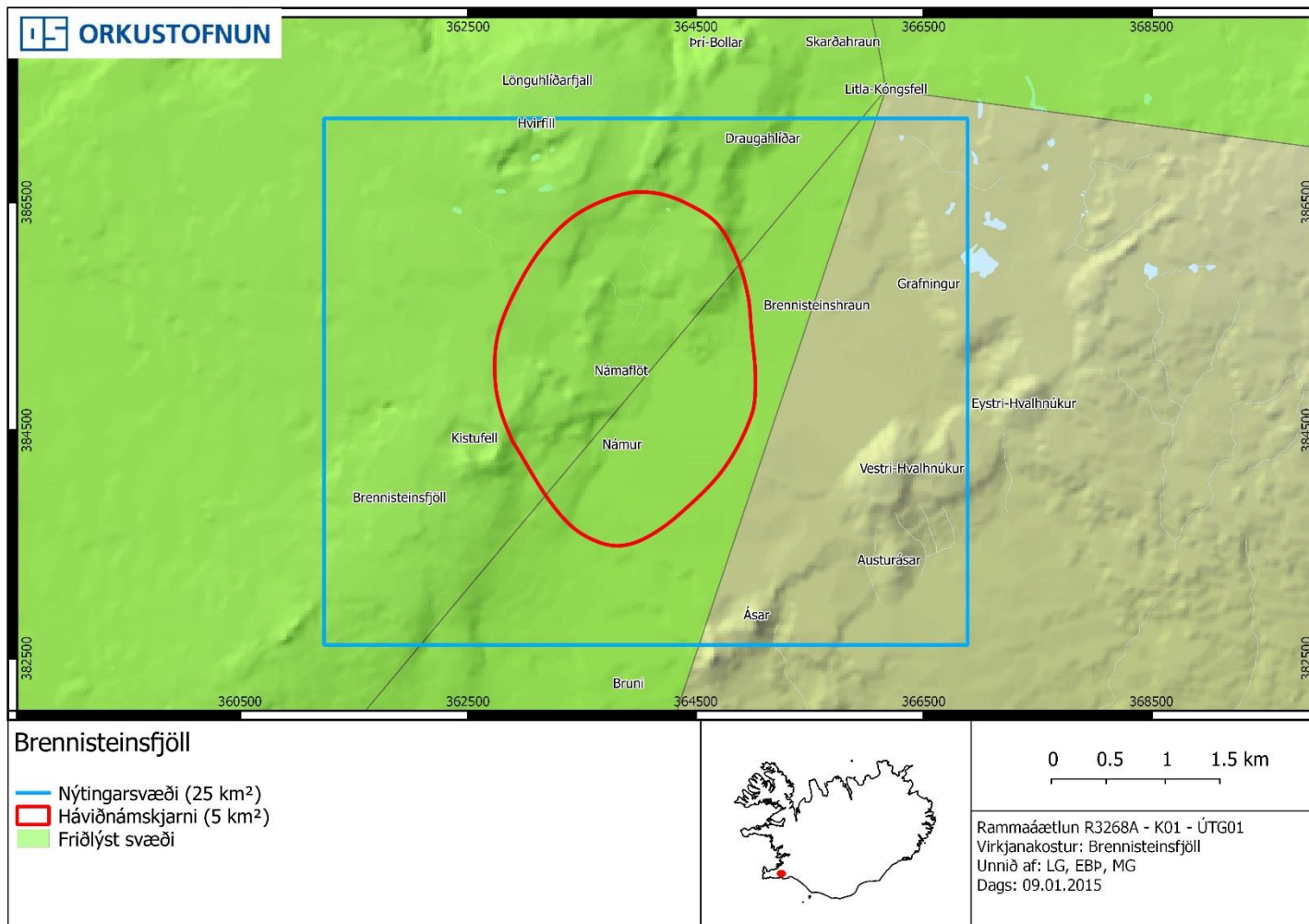
Mynd 4-2: Jarðhitakort af Brennisteinsfjöllum (Kristján Sæmundsson, unnið fyrir VSÓ ráðgjöf, 2004).



Mynd 4-3: Viðnámskort af Brennisteinsfjöllum (Ragna Karlsdóttir, 1995).

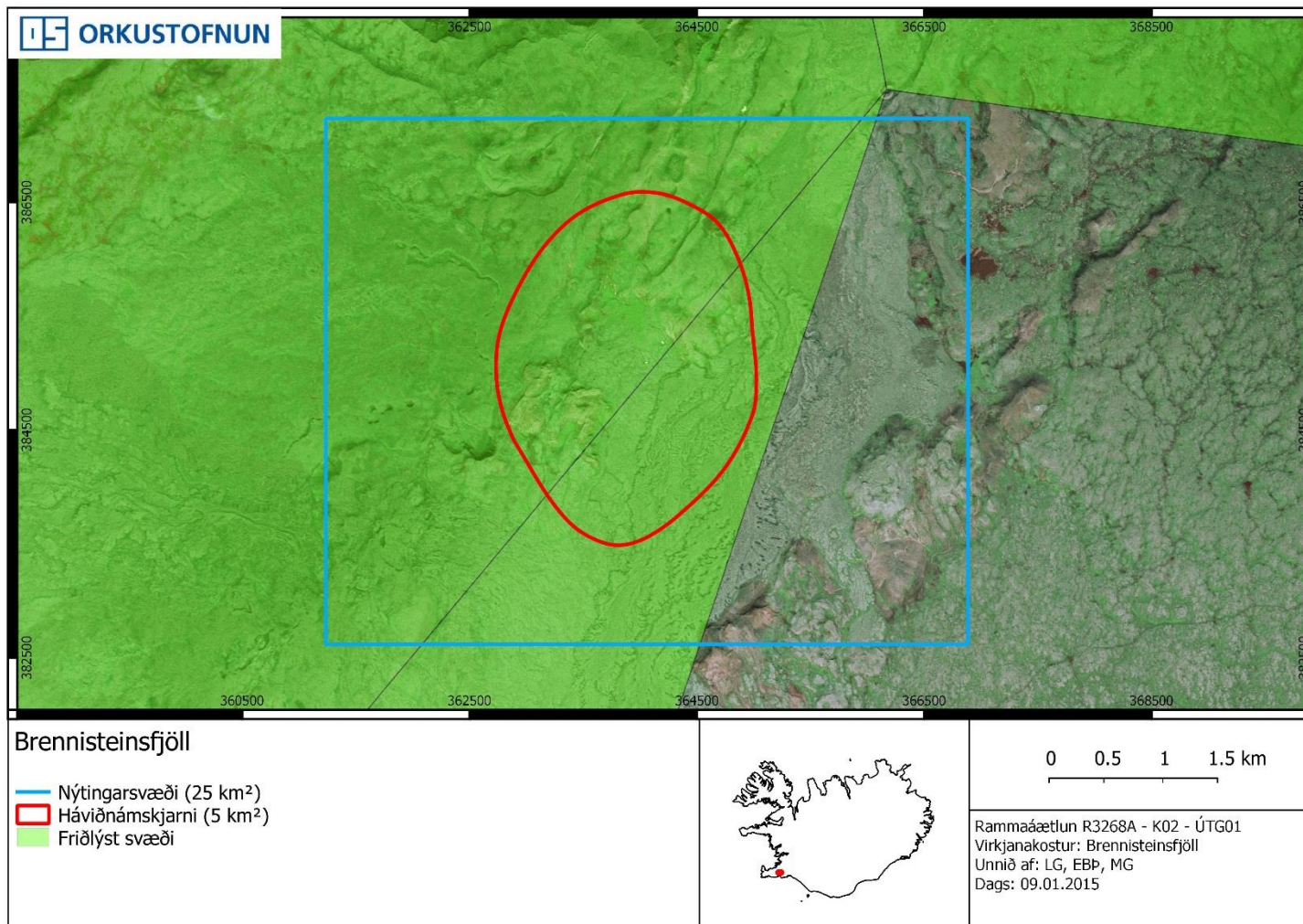


Mynd 4-4: Viðnámssnið af Brennisteinsfjöllum (Ragna Karlsdóttir, 1995).



Mynd 4-5: Brennisteinsfjöll, kort sem sýnir hugsanlegt nýtingarsvæði.





Mynd 4-6: Brennisteinsfjöll, loftmynd sem sýnir hugsanlegt nýtingarsvæði.

## 5 HEIMILDIR

- Björn Már Sveinbjörnsson. (2014). *Success of High Temperature Wells in Iceland*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014-053.
- Grímur Björnsson. (2007). *Enduskoðað hugmyndalíkan af jarðhitakerfum í Hengli og einfalt mat á vinnslugetu nýrra borsvæða*. Orkuveita Reykjavíkur.
- Helgi Torfason og Magnús Á. Sigurgeirsson. (2001). *Brennisteinsfjöll. Rannsóknir á jarðfræði svæðisins*. Orkustofnun, OS-2001/048.
- Jón Jónsson. (1978). *Jarðfræðikort af Reykjanesskaga*. Orkustofnun, OS-JHD-7831.
- Jónas Ketilsson o.fl. (2010). *Eðli jarðhitans og sjálfbær nýting hans. Álitsgerð faghóps um sjálfbæra nýtingu jarðhita (OS-2010/05)*. Orkustofnun. Sótt frá <http://www.os.is/gogn/Skyrslur/OS-2010/OS-2010-05.pdf>.
- Kristján Sæmundsson, unnið fyrir VSÓ ráðgjöf. (2004). *Brennisteinsfjöll. Þættir vegna rannsóknarborana*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-04141.
- Magnús Tumi Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir. (2004). *Hraun og móbergsmýndanir á svæðinu frá Brennisteinsfjöllum að Hengli. Niðurstöður þyngdarmælinga*. Jarðvísindastofnun Háskólans, RH-12-2004.
- Ragna Karlsdóttir. (1995). *Brennisteinsfjöll. TEM-viðnámsmælingar*. Orkustofnun, OS-95044/JHD/06.