

# ***R3210A Botnafjöll***

**Viðauki 58 af 92 við skýrslu Orkustofnunar OS-2015/02**

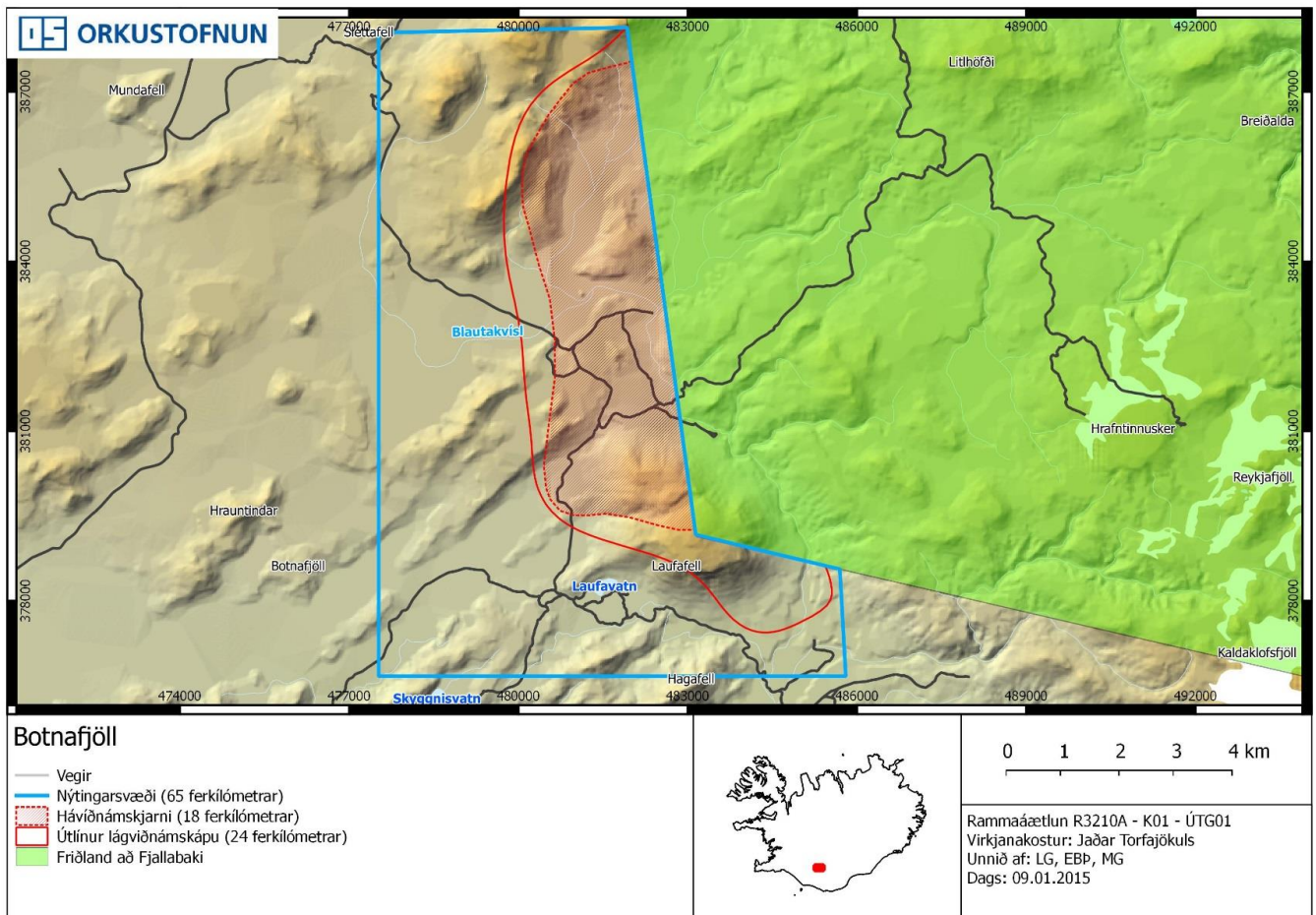
***Virkjunarkostir til umfjöllunar í 3. áfanga rammaáætlunar***



## R3210A Botnafjöll

Viðauki 58 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.....	10
5	Heimildir.....	18
	Mynd 3-1: Yfirlitsmynd af Torfajökulssvæðinu.....	7
	Mynd 4-1: Jarðfræðikort af Torfajökulssvæðinu (Kristján Sæmundsson og Guðmundur Ómar Friðleifsson, 2001).....	11
	Mynd 4-2: Jarðhitakort af Torfajökulssvæðinu (Kristján Sæmundsson og Guðmundur Ómar Friðleifsson, 2001).....	11
	Mynd 4-3: Lágviðnámskápa og háviðnámskjarni á Torfajökulssvæðinu (Jónas Ketilsson o.fl., 2010).12	
	Mynd 4-4: Viðnámsþversnið af Torfajökulssvæðinu (Jónas Ketilsson o.fl., 2010).....	12
	Mynd 4-5: Sprungusveimar á Torfajökulssvæðinu. (Jónas Ketilsson o.fl., 2010). ....	13
	Mynd 4-6: Viðnámskort af svæðinu (skástrikuðu svæðin tákna háviðnámskjarna) (Ragna Karlsdóttir, 2003).....	14
	Mynd 4-7: Viðnámsnið af Botnafjallasvæðinu (Ragna Karlsdóttir, 2003).....	15
	Mynd 4-8: Botnafjöll, kort sem sýnir hugsanlegt nýtingarsvæði. ....	16
	Mynd 4-9: Botnafjöll, loftmynd sem sýnir hugsanlegt nýtingarsvæði. ....	17
	Tafla 2-1: Helstu kennistærðir fyrir jarðvarmavirkjun við Botnafjöll.....	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 á einu af þremur háviðnámsvæðum á jaðri Torfajökuls. Svæðið sem um ræðir er vestast af svæðunum þremur og er kennt við Botnafjöll.

## 2 HELSTU KENNISTÆRÐIR

Hugmyndin er að nýta jarðhitakerfi vestan Torfajökuls fyrir jarðvarmavirkjun (sjá mynd 4-9).

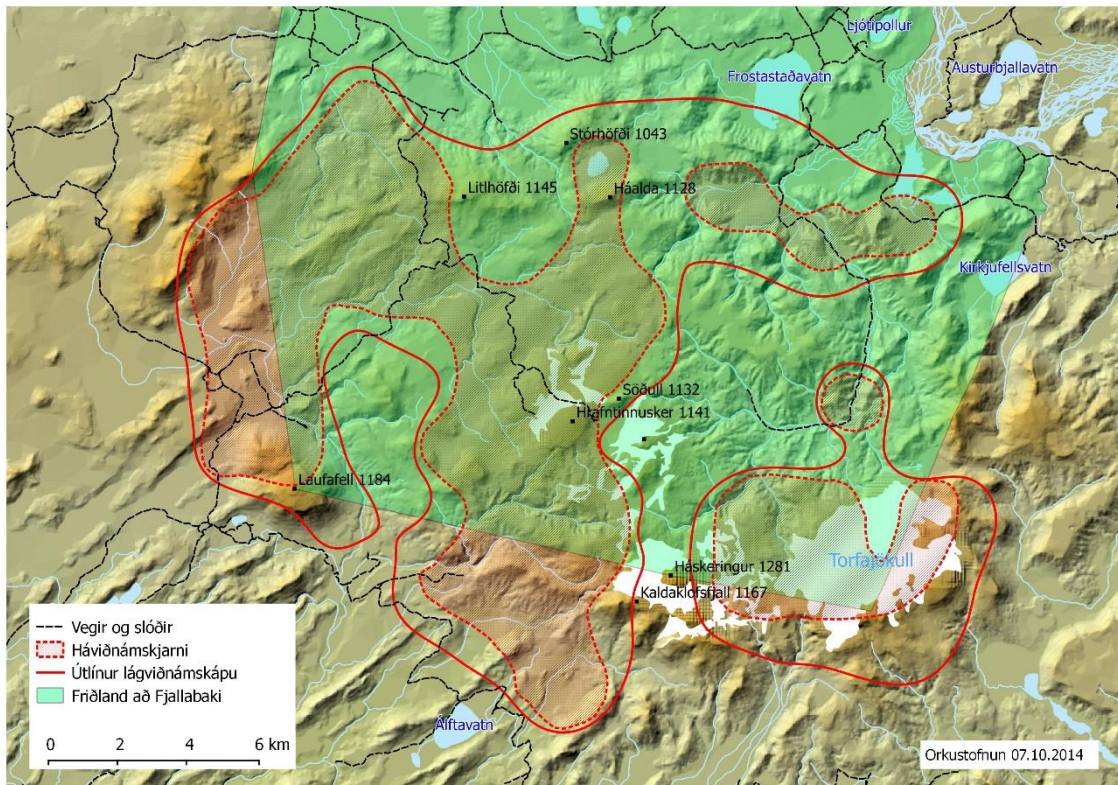
Helstu kennistærðir		Eining
Uppsett rafafli	90	MW <sub>e</sub>
Uppsett varmaafli	0	MW <sub>th</sub>
Raforka	711	GWh/ári
Nýtingartími	7900	klst./ári
Flatarmál lágviðnámskápu	24	km <sup>2</sup>
Flatarmál háviðnámskjarna	18	km <sup>2</sup>
Flatarmál nýtingarsvæðis	65	km <sup>2</sup>
Kostnaðarflokkur	4	

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

Í 2. áfanga Rammaáætlunar var verndargildi Torfajökulssvæðis metið hátt en ekki fjallað um stakar virkjunarhugmyndir. Mestur hluti hugsaðra virkjunarsvæða lá innan marka Friðlandsins. Þess vegna komu þau ekki til röðunar í flokk Rammaáætlunar.

### 3 STADHÆTTIR OG JARÐFRÆÐI

Mynd 3-1 sýnir Friðland að Fjallabaki sem grænt svæði en rauðu línurnar afmarka lágviðnámskápuna. Háviðnámskjarninn á svæðinu er einnig sýndur en innan hans er talið hugsanlegt að finna vatn og gufu yfir 230°C. Háviðnámskjarninn nær út fyrir Friðlandið að vestan og sunnan. Þótt þessi svæði séu utan við öskju Torfajökulssvæðisins gæti þar verið mögulegt að finna virkjanlegan háhita. Reynolds sýnir að hver ferkílómetri háhitasvæðis getur staðið undir 5 MW raforkuvinnslu (Jónas Ketilsson o.fl., 2009). Því þykir ástæða til þess að skoða hvort ásættanlegt verður að kanna möguleika til virkjana á þessum jöðrum. Fyrst er hér gefin almenn lýsing á jarðfræði, landslagi, jarðhita og rannsóknnum á Torfajökulssvæði og síðan stuttar lýsingar á þremur hugsanlegum virkjunarsvæðum utan Friðlandsins.



Mynd 3-1: Yfirlitsmynd af Torfajökulssvæðinu.

Torfajökulssvæðið er háhitakerfi í rýólít eldfjalli með öskju utan rekbelta. Það er samfelldur fjallabálgur sem rís 300–600 m yfir umhverfi sitt og einkennisbergtegund þess er líparít allt frá elstu myndunum til þeirra yngstu. Móbergsmýndanir eru ofan á líparítinu að hluta, unglegir hryggir og móbergspækjur á vestursvæðinu, en rofleifar á austursvæðinu með berggöngum í undirlaginu. Torfajökulssvæðið hefur hlaðist upp á hliðarbelti, og verður þess fyrst vart í móbergsmýndunum, sennilega frá síðasta jökulskeiði, að gliðnunarbelti brjótist inn í það. Samtímis breyttist bergtegundin úr alkalísku í blandberg þar sem basaltþátturinn er þóleíft. Yngstu merki þessa eru NA-SV-læg misgengi og gossprungur líparíthraunanna.

Jarðhiti og jarðhitamerki á Torfajökulssvæðinu ná yfir um 200 km<sup>2</sup> svæði. Kjarni virka jarðhitans er í feiknamikilli öskju og nær yfir um 100 km<sup>2</sup>, en ummyndun í bergi nær langt út fyrir hana og afrennslisvatn kemur fram á lágsvæðum utan við fjallabálginn, aðallega sunnan megin. Sprungu- og eldvirkni nær inn á austursvæðið allra nyrst með NA-SV-lægum brotum og gossprungu Laugahrauns. Austursvæðið einkennist af litskrúðugu bergi í brattlendi en dökku móbergi og ösku þar sem háslétta tekur við ofan gilja.

Jarðhitinn er aðallega í sjö þyrpingum, sem kenndar eru við Landmannalaugar, Hattver, Háuhver, Stórahver, Vestur- og Austur-Reykjadali og Ljósártungur. Jarðhiti kemur einnig fyrir þar utan við, en er óverulegur, en dæmi eru um afrennslisvatn utan megin (Dalakofi, Laufafell, Grashagi, Bratthálskvísl, Strútslaug og Dómadalur) (Íslenskar orkurannsóknir, 2014).

Hugmyndir um virkjun hafa einkum beinst að Austur- og Vestur-Reykjadölum, þó miklu fremur að Austur-Reykjadölum (Hrafninnuskerssvæðinu), enda er það stærra og virknin þar miklu meiri.

Mynd 4-1 sýnir jarðfræðikort af Torfajökli (Kristján Sæmundsson og Guðmundur Ómar Friðleifsson, 2001). Askjan er um 17 km á langveginn. Innan rýólítssvæðis, sem er auðkennt með blárrí umgjörð, kemur basalt ekki til sögunnar fyrir en á síðasta jökulskeiði sem móberg og bólstraberg í efnisrýrum hryggjum og breiðum.

Mynd 4-2 sýnir yfirborðsmerki jarðhita og ummyndun á svæðinu. Gufu- og leirhverir eru innan öskjunnar, en laugar utan hennar. Ofan í kortið er teiknað viðnám á um 600 m dýpi (200 m hæð yfir sjávarmáli). Það sýnir háviðnámskjarna (rúðustrikaðan) og lágviðnámskápu umhverfis. Háviðnámskjarni gefur til kynna að hiti í jarðhitakerfinu hafi innan hans á einhverju stigi náð um 240°C. Við þann hita hverfa vel leiðandi leirsteindir, en ummyndunarsteindir sem leiða illa taka við og verða ríkjandi í háviðnámskjarnanum. Sá hluti háviðnámskjarnans sem lendir innan öskjunnar fellur vel að gufuhverasvæðinu og er lofandi um háhita, en meiri óvissa er um þann hlutann sem er utan við öskjuna.

Mynd 4-4 sýnir þversnið af viðnámsgerðinni. Hún kemur allvel heim við ummyndun bergsins og útmörk öskjunnar, en gefur til kynna að jarðhitakerfið kunnist að vera tvískipt. Það væri í samræmi við tvískiptan sprungusveim sem liggur yfir það frá norðaustri til suðvesturs eins og sjá má á Mynd 4-5. Eystri hlutinn hefur ekki verið virkur eftir ísöld (Jónas Ketilsson o.fl., 2010)

Torfajökulssvæðið hefur verið mikið rannsakað síðustu áratugi, og eru til miklar upplýsingar um jarðfræði, jarðefnafræði og jarðeðlisfræði svæðisins. Svæðið er um margt ólíkt öðrum jarðhitasvæðum sem rannsökuð hafa verið á Íslandi, og má það að öllum líkindum rekja til þess að ríkjandi bergtegundir eru súrar á Torfajökulssvæðinu, en flest önnur svæði sem rannsökuð hafa verið eru basísk.

Torfajökulssvæðið er eitt stærsta jarðhitasvæði sem rannsakað hefur verið með viðnámsmælingum á Íslandi, og ef miðað er við sjávarmál er flatarmál þess svæðis sem orðið hefur fyrir háhitaummyndun tæplega 400 km<sup>2</sup>. Við mælingar á eðlisviðnámi þurfti að hafa í huga að önnur svæði sem höfðu verið kortlögð á þann hátt voru háhitakerfi þar sem ríkjandi bergtegundir voru basískar, en minna er vitað um samband eðlisviðnáms og berghita í kerfum þar sem ríkjandi bergtegundir eru súrar. Við viðnámsmælingar á svæðinu var höfð hliðsjón af Berlin-



jarðhitasvæðinu í El Salvador, þar sem ríkjandi bergtegundir eru súrar, en rannsóknir þar bentu til samsvarandi viðnámsmyndar og á basískum svæðum, þ.e. lágviðnámskápu utan á háviðnámskjarna. Munurinn er hinsvegar sá að skilin á milli kápunnar og kjarnans geta orðið við annað hitastig í súrum kerfum en í basískum (Ragna Karlsdóttir o.fl., 2001).

Eins og sjá má á viðnámskortinu (Mynd 4-6) þá er lágviðnámskápan og háviðnámskjarninn undir sjálfum Torfajökli aðskilin frá vestari hluta svæðisins. Vestari háviðnámskjarninn nær yfir allan vestur- og norðurhluta öskjunnar og vel út fyrir hana. Á sumum svæðum greindist tvöföld lágviðnámskápa eða jafnvel engin lágviðnámskápa, sem sýnir hversu flóknari viðnámsmyndin af Torfajökulssvæðinu er samanborið við önnur þekkt jarðhitakerfi.

Gashitamælar benda til þess að hiti jarðhitakerfisins í Torfajökli sé víðast naumlega 300°C, eða þar um bil. Þó kann hitinn að vera allt að 350°C þar sem heitast er, en það er einkum á suður- og suðausturhluta svæðisins. Gashitamælar sýna að jafnaði allt að 350°C hita sunnan- og suðaustantil á svæðinu, svo og vestast í Reykjadölum og við Reykjakoll hjá Landmannalaugum. Annars staðar á svæðinu er gashiti lægri, víðast um eða rétt undir 300°C. (Ragna Karlsdóttir o.fl., 2001).

Það svæði sem um ræðir er í vesturjaðri háviðnámskjarnans á milli Laufafells og Rauðufossafjalla. Það er hér kennt við Botnafjöll sem ná inn á miðju þess úr suðvestri. Svæðið er að mestu vestan þess svæðis sem í 2. áfanga rammaáætlunar var kennt við Blautukvísl. Flatarmál háviðnámskjarnans er um 24 km<sup>2</sup> og landhæð um 800 m. Aðalbergtegund er móberg í hryggjum. Austast grisjar í líparít undir því en á yfirborði eru sandar, vikrar og hraun. Vesturjaðarinn mynda Rauðufossafjöll, partur af sveiglægu kerfi líparítgúla frá fyrri hluta síðasta jökulskeiðs, utan öskjunnar. Virk gosrein með NA-SV-gígaröðum, þar sem gosið hefur líparíti, andesíti og basalti eftir ísöld, liggur yfir svæðið suðaustast. Stærð svæðisins gefur tilefni til að gera ráð fyrir stöðluðum fyrsta áfanga jarðhitavirkjunar um 90 MW.

Víðfeðmar viðnámsmælingar hafa verið gerðar á Torfajökulssvæðinu. Á mynd 1 má sjá viðnámsmynd af Botnafjallasvæðinu. Þar má sjá háviðnámskjarna sem bendir til þess að hugsanlega sér þar hár hiti og vökvi nýtanlegur til raforkuframleiðslu (Ragna Karlsdóttir, 2003).

## 4 TILHÖGUN VIRKJUNAR

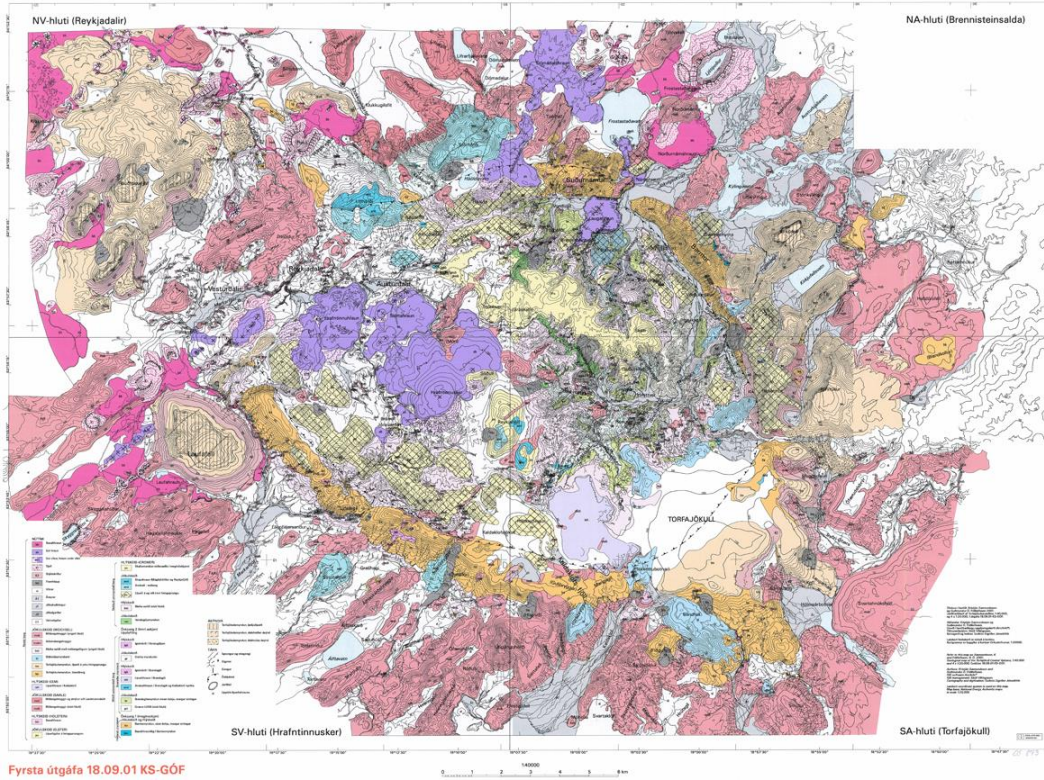
Mynd 4-8 sýnir kort af svæðinu sem um ræðir. Græna svæðið er Friðland að Fjallabaki, rauða, skyggða svæðið er sá hluti háviðnámskjarnans sem liggur fyrir utan Friðlandið, og bláu línurnar afmarka nýtingarsvæðið, en það er það svæði þar sem áhrifa vinnslu mun gæta. Framkvæmdarsvæði verða innan nýtingarsvæðis 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 uppbótarholur yfir 60 ára líftíma virkjunarinnar.

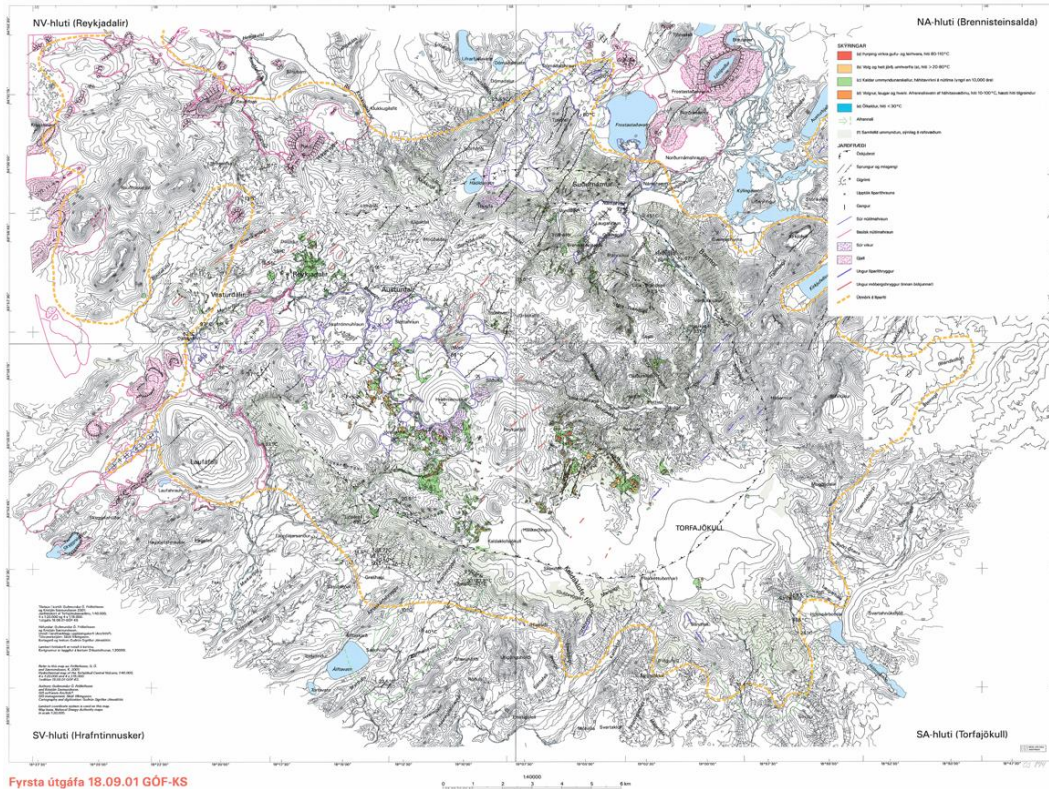
Nýtingarsvæðið er gróflega áætlað um 65 km<sup>2</sup>.

Jarðfræðikort af Torfajökulssvæðinu

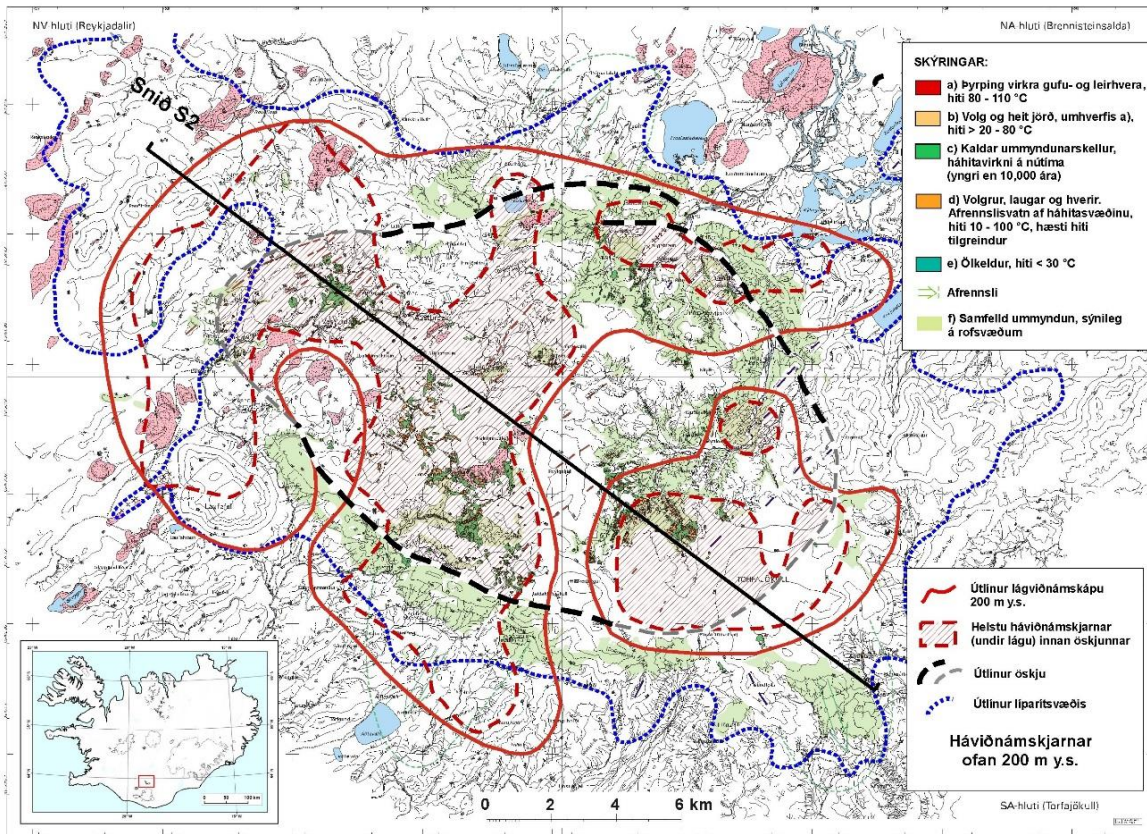


Mynd 4-1: Jarðfræðikort af Torfajökulssvæðinu (Kristján Sæmundsson og Guðmundur Ómar Friðleifsson, 2001).

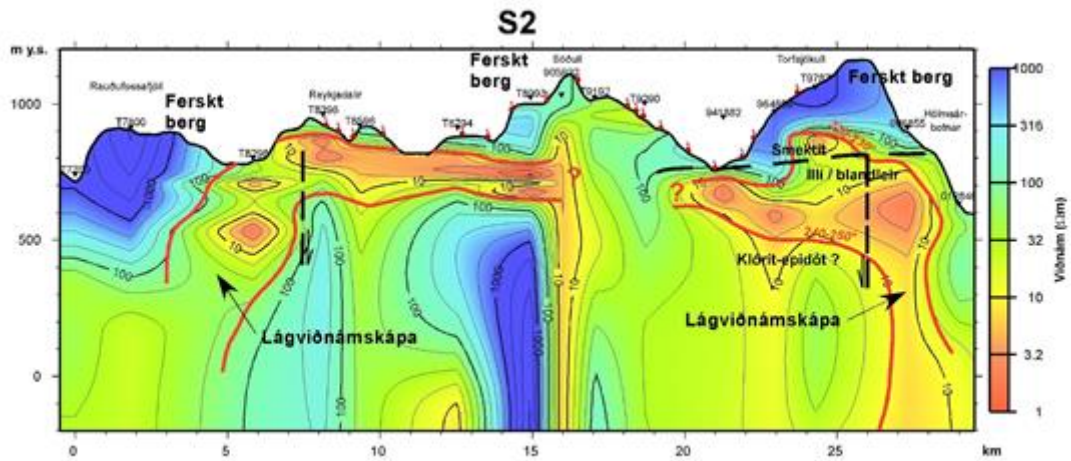
Jarðhitakort af Torfajökulssvæðinu



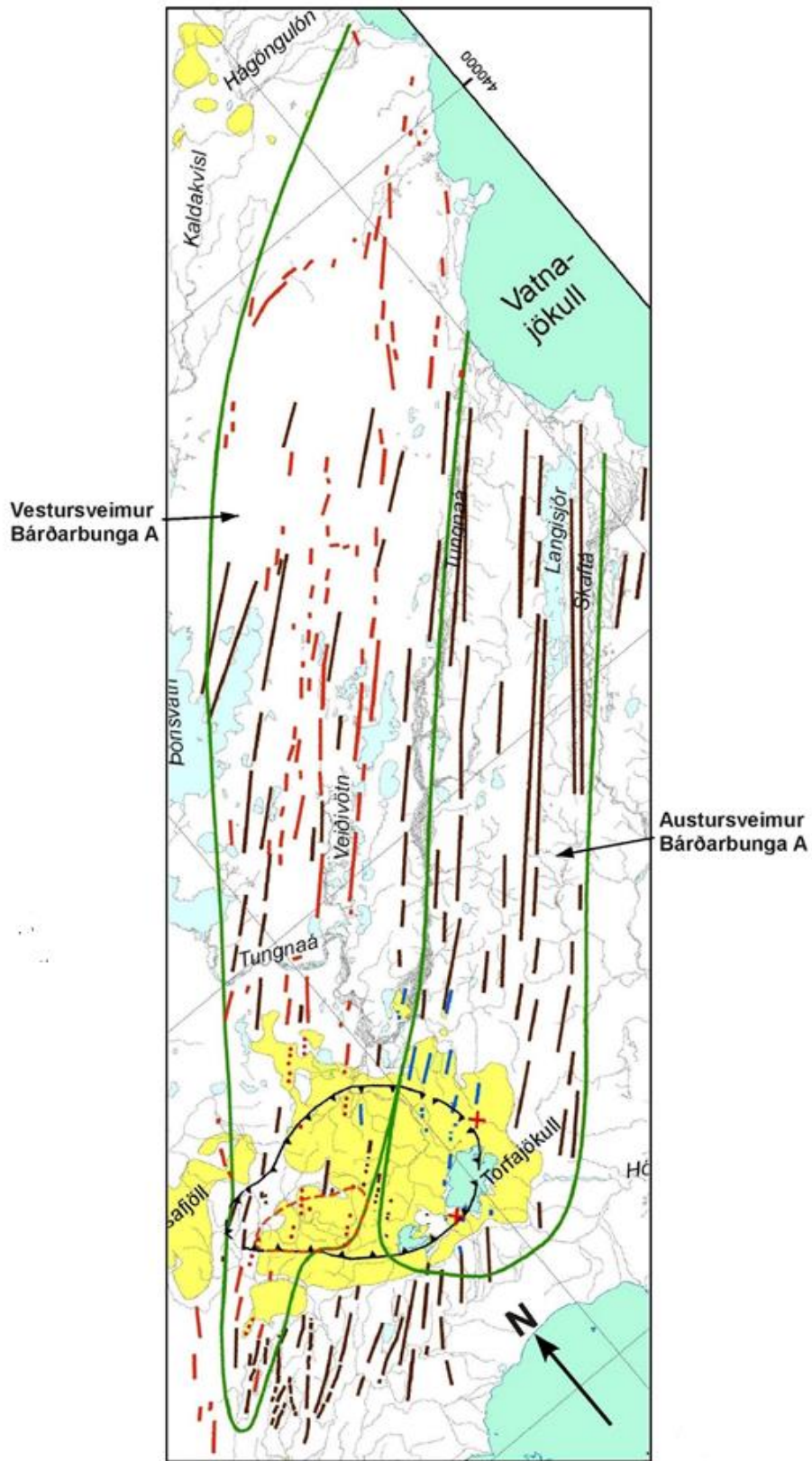
Mynd 4-2: Jarðhitakort af Torfajökulssvæðinu (Kristján Sæmundsson og Guðmundur Ómar Friðleifsson, 2001).



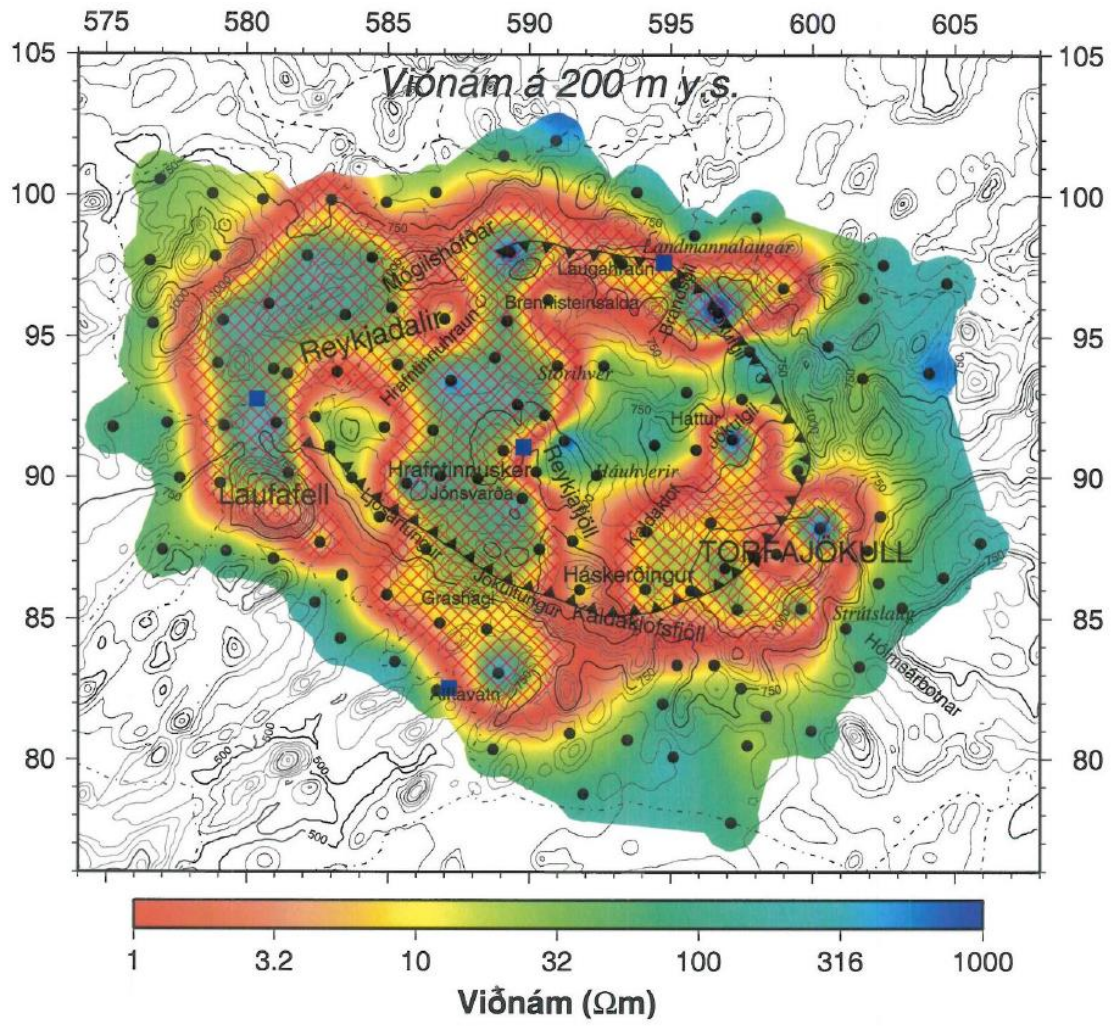
Mynd 4-3: Lágviðnámskápa og háviðnámskjarni á Torfajökullssvæðinu (Jónas Ketilsson o.fl., 2010).



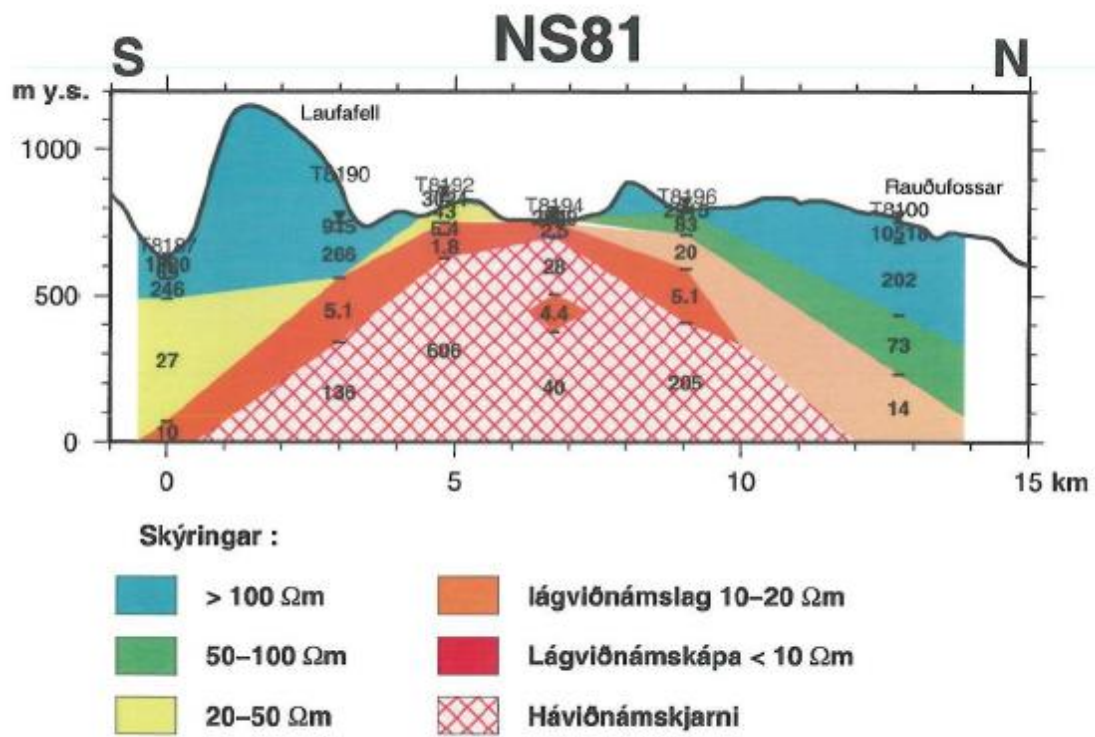
Mynd 4-4: Viðnámsþversnið af Torfajökullssvæðinu (Jónas Ketilsson o.fl., 2010).



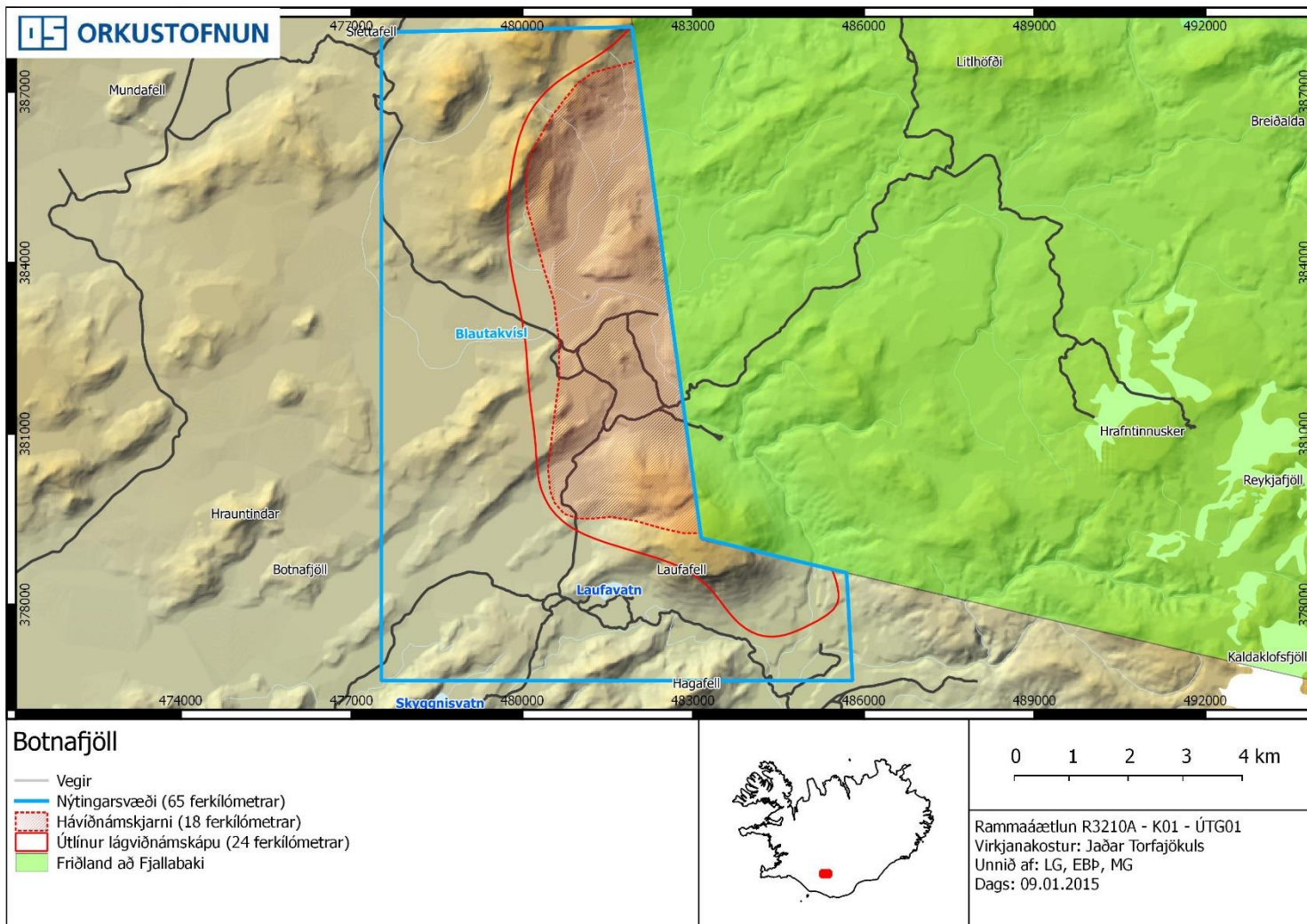
Mynd 4-5: Sprungusveimar á Torfajökulssvæðinu. (Jónas Ketilsson o.fl., 2010).



Mynd 4-6: Viðnámskort af sveðinu (skástrikuðu sveðin tákna háviðnámskjarna) (Ragna Karlsdóttir, 2003).

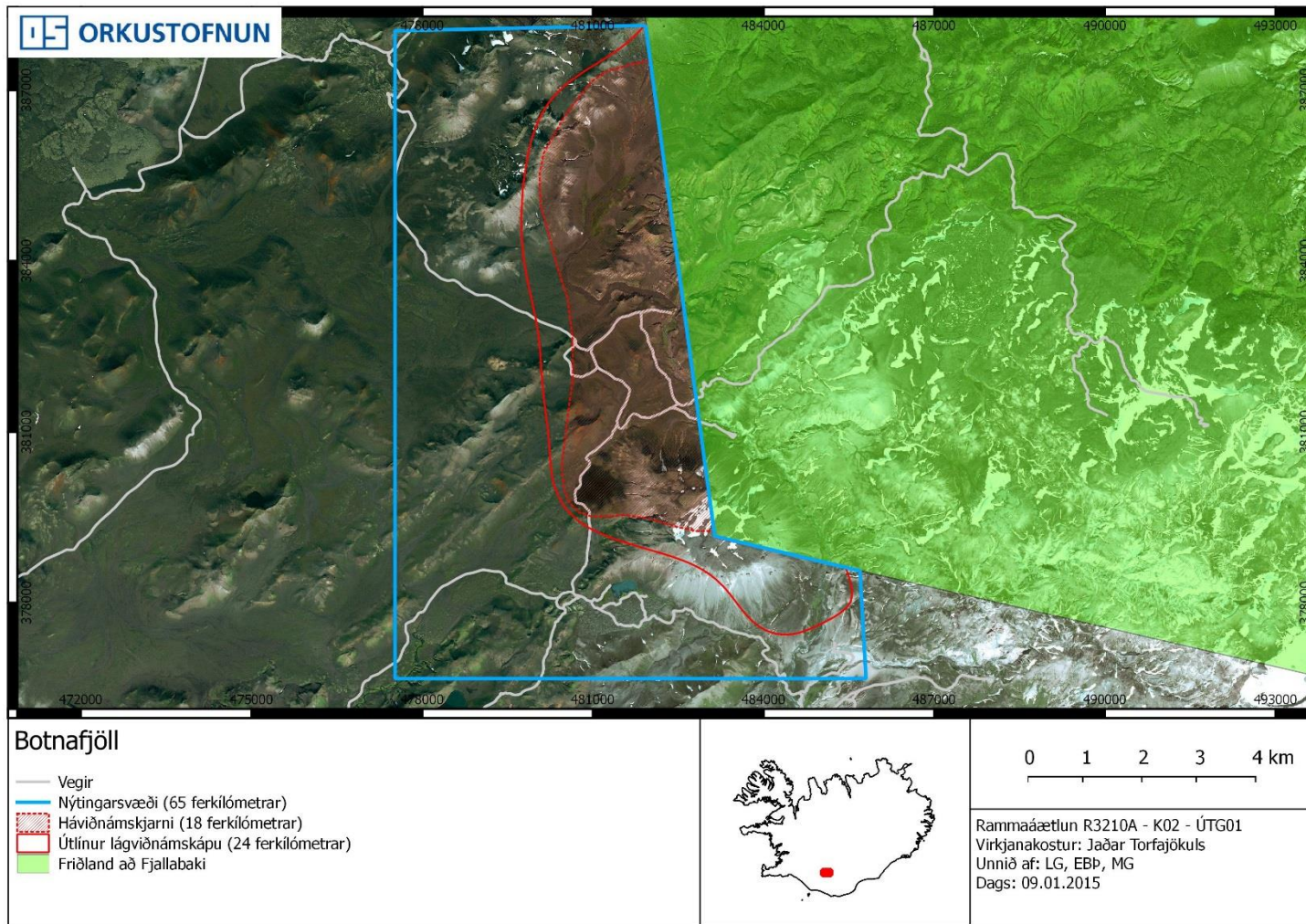


Mynd 4-7: Viðnámsnið af Botnafjallasvæðinu (Ragna Karlsdóttir, 2003).



Mynd 4-8: Botnafjöll, kort sem sýnir hugsanlegt nýtingarsvæði.





Mynd 4-9: Botnafjöll, loftmynd sem sýnir hugsanlegt nýtingarsvæði.

## 5 HEIMILDIR

- Björn Már Sveinbjörnsson. (2014). *Success of High Temperature Wells in Iceland*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014-053.
- Íslenskar orkurannsóknir. (6. Október 2014). *Jarðhitasvæðið Torfajökull*. Sótt frá Íslenskar orkurannsóknir: <http://www.isor.is/jardhitasvaedid-torfajokull>.
- Jónas Ketilsson o.fl. (2009). *Mat á vinnslugetu háhitasvæða*. Reykjavík: Orkustofnun. OS-2009/09.
- Jónas Ketilsson o.fl. (2010). *Eðli jarðhitans og sjálfbær nýting hans. Álitsgerð faghóps um sjálfbæra nýtingu jarðhita (OS-2010/05)*. Reykjavík: Orkustofnun. OS-2010/05.
- Kristján Sæmundsson og Guðmundur Ómar Friðleifsson. (2001). *Í Torfajökli: Jarðfræði- og jarðhitakort af Torfajökulssvæðinu*. Orkustofnun, OS-2001/036.
- Kristján Sæmundsson og Guðmundur Ómar Friðleifsson. (2001). *Jarðfræði- og jarðhitakort af Torfajökulssvæðinu*. Reykjavík: Orkustofnun. OS-2001/036.
- Ragna Karlsdóttir. (2003). *Í Torfa - Viðnámsmælingar í aldarfjórðung*. Reykjavík: Íslenskar orkurannsóknir. ÍSOR-2003/019.
- Ragna Karlsdóttir. (2003). *Í Torfa - Viðnámsmælingar í aldarfjórðung*. ÍSOR-2003/019.
- Ragna Karlsdóttir o.fl. (2001). *Yfirborðsrannsókn á Torfajökulssvæði*. *Orkuþing*.