

**Mat á vinnslugetu háhitasvæða**

**Jónas Ketilsson  
Héðinn Björnsson  
Sæunn Halldórsdóttir  
Guðni Axelsson**

**OS-2009/09**

## Mat á vinnslugetu háhitasvæða

Jónas Ketilsson  
Héðinn Björnsson  
Sæunn Halldórsdóttir  
Guðni Axelsson



**OS-2009/09**

978-9979-68-271-4



<b>Skýrsla nr.:</b> OS-2009/09	<b>Dags.:</b> 15.12.09	<b>Dreifing:</b> Opin X Lokuð <input type="checkbox"/>
		<b>Skilmálar:</b>

<b>Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill:</b> Mat á vinnslugetu háhitasvæða	<b>Upplag:</b> 30
	<b>Fjöldi síðna:</b> 16
<b>Höfundar:</b> Jónas Ketilsson Héðinn Björnsson (ÍSOR) Sæunn Halldórsdóttir (ÍSOR) Guðni Axelsson (ÍSOR)	<b>Verkefnisstjóri:</b> Jónas Ketilsson
<b>Gerð skýrslu / Verkstig:</b>	<b>Verknúmer:</b> 3034932

**Unnið fyrir:**

**Samvinnuaðilar:**

Íslenskar Orkurannsóknir

**Útdráttur:**

Í þessari skýrslu er lagt mat á vinnslugetu þekktra háhitasvæða Íslands til raforkuframleiðslu. Matið byggir á yfirgripsmiklum viðnámsmælingum á nær öllum háhitasvæðunum. Með viðnámsmælingunum má afmarka háviðnámskjarna þar sem hitastig hefur náð yfir 230°C á einhverjum tíma. Líkindadreifing flatarvinnslugetu innan svæðis háviðnámskjarna er áætluð með samanburði við fjögur háhitasvæði, sem nýlega hafa verið metin með rúmmálsaðferð. Að meðaltali er flatarvinnslugetan að lágmarki 3 MW/km<sup>2</sup> í 95% tilvika (lágildi), 5 MW/km<sup>2</sup> í 50% tilvika (miðgildi) og 9 MW/km<sup>2</sup> í 5% tilvika (hágildi). Meðalflatarvinnslugeta þessara svæða er yfirfærð á öll háhitasvæðin. Með samanburði við mat Orkustofnunar frá 1985 kemur í ljós að samanlagt flatarmál svæðanna hefur stækkað úr 480 km<sup>2</sup> í 850 km<sup>2</sup> (75% aukning) og áætlað rafafli til 50 ára hefur hækkað úr 3300 MW í 4300 MW (30% aukning). Ekki er tekið tillit til verndarsjónarmiða.

**Lykilorð:**

Afkastageta, háhitasvæði, mat á jarðvarma, háviðnámskjarni, viðnámsmælingar, raforka, rúmmálsmat, Ísland.

**ISBN-númer:**

978-9979-68-271-4

**Undirskrift verkefnisstjóra:**



**Yfirfarið af:**



## EFNISYFIRLIT

<b>1</b>	<b>INNGANGUR</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>AÐFERÐAFRÆÐI</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>NÍÐURSTÖÐUR</b> .....	<b>11</b>

## MYNDASKRÁ

<b>Mynd 1:</b>	Varmaorkustreymi í gegnum Ísland og bundin varmaorka .....	6
<b>Mynd 2:</b>	Jarðhitasvæði á Íslandi. ....	7
<b>Mynd 3:</b>	Samanburður á eðlisviðnámi, ríkjandi ummyndun og berghita.....	8
<b>Mynd 4:</b>	Viðnámsnið 800 metrum undir sjávarmáli á Krýsuvíkursvæðinu.....	9
<b>Mynd 5:</b>	Flatarvinnslugeta innan háviðnámskjarna fyrir fjögur háhitasvæði.....	10
<b>Mynd 6:</b>	Afmörkun þekktra háhitasvæða á Íslandi .....	11

## TÖFLUSKRÁ

<b>Tafla 1:</b>	Flatarvinnslugeta innan háviðnámskjarna fyrir vinnslu í 50 ár.....	10
<b>Tafla 2:</b>	Mat á rafaflí háhitasvæða til 50 ára samkvæmt áætlaðri flatarvinnslugetu. ....	12
<b>Tafla 3:</b>	Mat á rafaflí háhitasvæða til 50 ára samkvæmt áætlaðri flatarvinnslugetu borið saman við rúmmálsmat frá 1985 og nýtanlegt gufuafll. ....	13

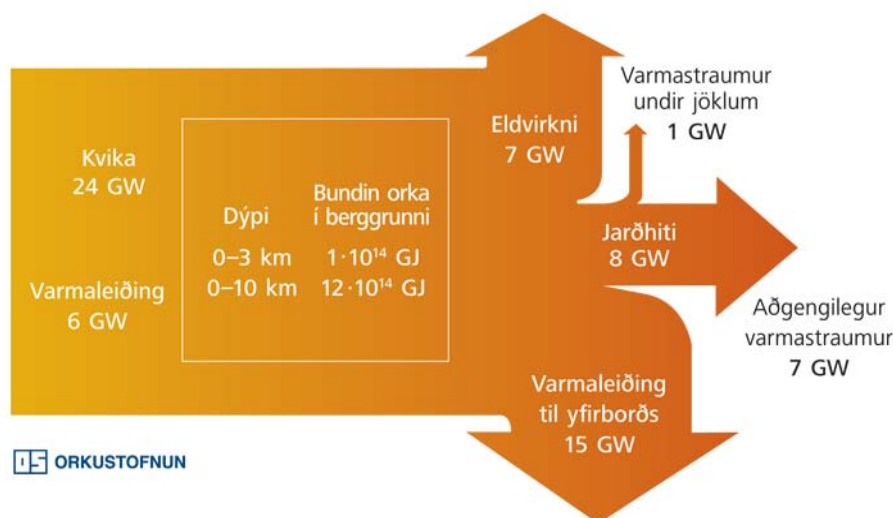
# 1 INNGANGUR

Jarðhitinn á Íslandi á uppsprettu í þeirri miklu varmaorku, sem bundin er í jarðskorpunni og varmastraumnum neðan úr möttli sem streymir upp í gegnum jarðskorpuna. Á níunda áratug síðustu aldar var lagt mat á stærð beggja þessara þátta, þ.e. stöðuga straumsins að neðan, sem Gunnar Böðvarsson mat 1982 (1), og orkuna sem geymd er í skorpunni, sem Guðmundur Pálmason o.fl. mátu 1985 (2). Mynd 1 sýnir einfalda skýringarmynd af báðum þessum þáttum jarðvarmans, varmastraumnum og varmaforðanum.

Gunnar Böðvarsson áætlaði að orkustraumurinn að neðan upp undir Ísland sé alls um 30  $\text{GW}_{\text{th}}$  ( $1 \text{ GW}_{\text{th}} = 10^9 \text{ W}_{\text{th}}$ ), þar af berist um 24  $\text{GW}_{\text{th}}$  með kvikustreymi og 6  $\text{GW}_{\text{th}}$  með varmaleiðingu. Þessi orka hefur hitað berggrunninn sem geymir mikla orku en hefur náð sístæðu ástandi og skilar því til yfirborðs jafnmiklum varma og berst að neðan. Í skorpunni áætlaði Gunnar að orkustraumurinn skiptist í 7  $\text{GW}_{\text{th}}$  sem fylgja eldvirkni, 8  $\text{GW}_{\text{th}}$  sem berast með vatni og gufu á jarðhitasvæðum og 15  $\text{GW}_{\text{th}}$  með varmaleiðingu (1). Einungis hluti varmaorkunnar er nýtanlegur til raforkuframleiðslu. Í textanum hér á eftir vísar einingin [ $\text{W}_{\text{th}}$ ] til varmaorku og einingin [ $\text{W}$ ] til raforku.

Meginniðurstaða jarðvarmamats Orkustofnunar frá 1985 var sú að bundin orka í berggrunni Íslands á 0 - 10 km dýpi er um  $12 \cdot 10^{14}$  GJ, en einungis  $1 \cdot 10^{14}$  GJ á 0 - 3 km dýpi. Með rúmmálsaðferð mat Orkustofnun vinnslugetu allra þekktra og aðgengilegra háhitasvæða landsins. Vinnslugeta til raforkuframleiðslu var metin samtals um 3500 MW til 50 ára með 10  $\text{MW}/\text{km}^2$  flatarvinnslugetu aðgengilegra svæða (2).

Með því að sameina tölurnar um bundna orku og orkustreymistölu Gunnars Böðvarssonar er hægt að meta hve langan tíma það hefur tekið varmann ofan 10 km dýpis að safnast fyrir í berggrunninum, eða hve langan tíma það tekur hann að endurnýjast og fæst þá tími af stærðargráðunni 1,3 milljónir ára. Ljóst er að þessi endurnýjun gerist mishratt. Sá hluti hennar sem endurnýjast með streymi kviku, vatns og gufu endurnýjast margfalt hraðar en sá hluti sem endurnýjast með varmaleiðingu.

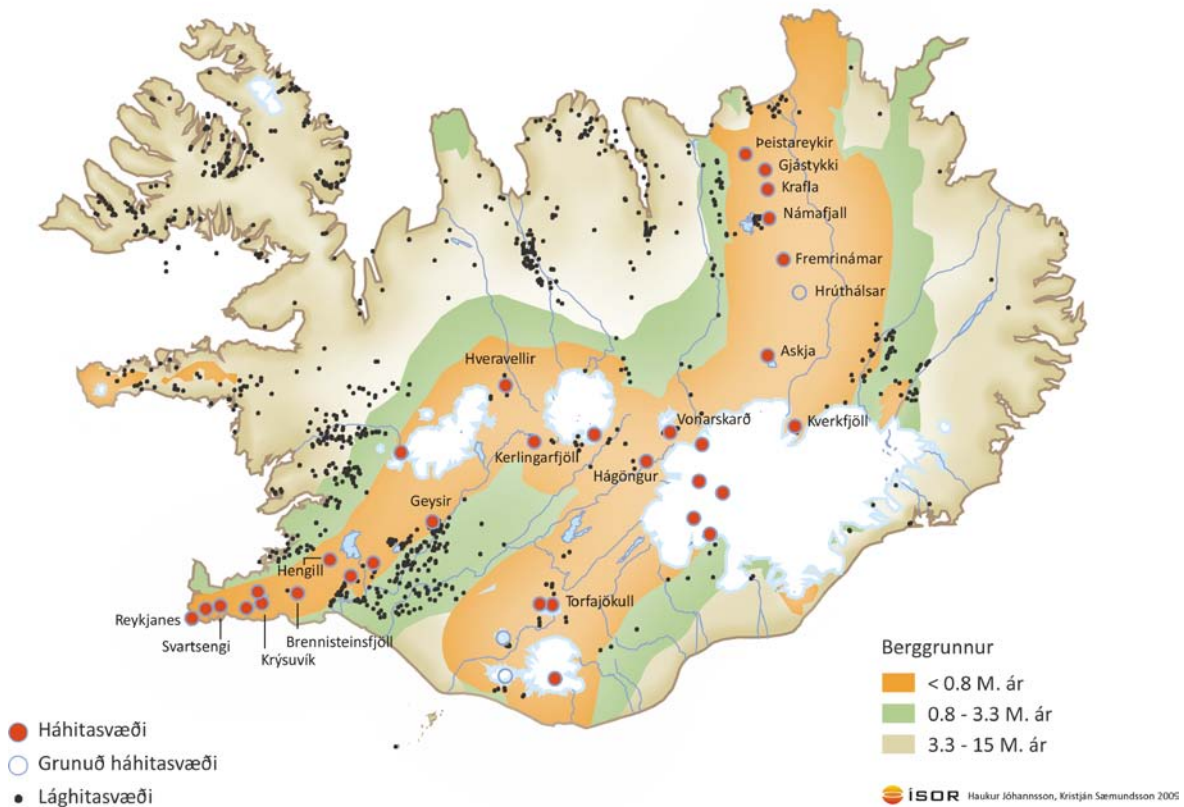


**Mynd 1:** Varmaorkustreymi í gegnum Ísland og bundin varmaorka (byggt á 3).

Einnig má bera endurnýjun á landsvísu saman við frumorkunotkun jarðhita sem nam um 142 PJ (1 PJ =  $10^{15}$  J) árið 2008. Það samsvarar 4,5 GW<sub>th</sub> að jafnaði eða tæp 65% af áætluðum nýtanlegum varmastraumi. Þetta varmaflæði hefur verið, og mun haldast, nokkurn veginn óbreytt í mjög langan tíma.

Síðan Orkustofnun lagði síðast mat á jarðvarma Íslands hafa safnast betri upplýsingar um hitaástand jarðskorpunnar á Íslandi. Þekking á helstu háhitasvæðum landsins (sjá mynd 2) hefur aukist og vinnslusaga jarðhitasvæða í nýtingu hefur lengst til muna. Til eru í dag hitamælingar úr mun fleiri borholum og viðnámsmælingar af yfirborði gefa aukna vísbendingar um útbreiðslu jarðhitasvæða. Aukin bortækni gerir einnig kleyft að bora niður á mun meira dýpi en áður og skáboranir gera mögulegt að ná til svæða sem áður voru talin óaðgengileg. Nægar forsendur eru því til staðar til að endurgera mat á jarðvarma Íslands sem lagt var fram fyrir u.þ.b. aldarfjórðungi síðan.

Í þessari skýrslu er lagt fram gróft mat á vinnslugetu þekktra háhitasvæða á Íslandi til raforkuframleiðslu. Matið er byggt á einfaldri aðferðafræði en ekki flóknum útreikningum eða öllum þeim upplýsingum sem fyrir liggja í dag og skal skoðast með þeim fyrirvara.



**Mynd 2:** Jarðhitasvæði á Íslandi.

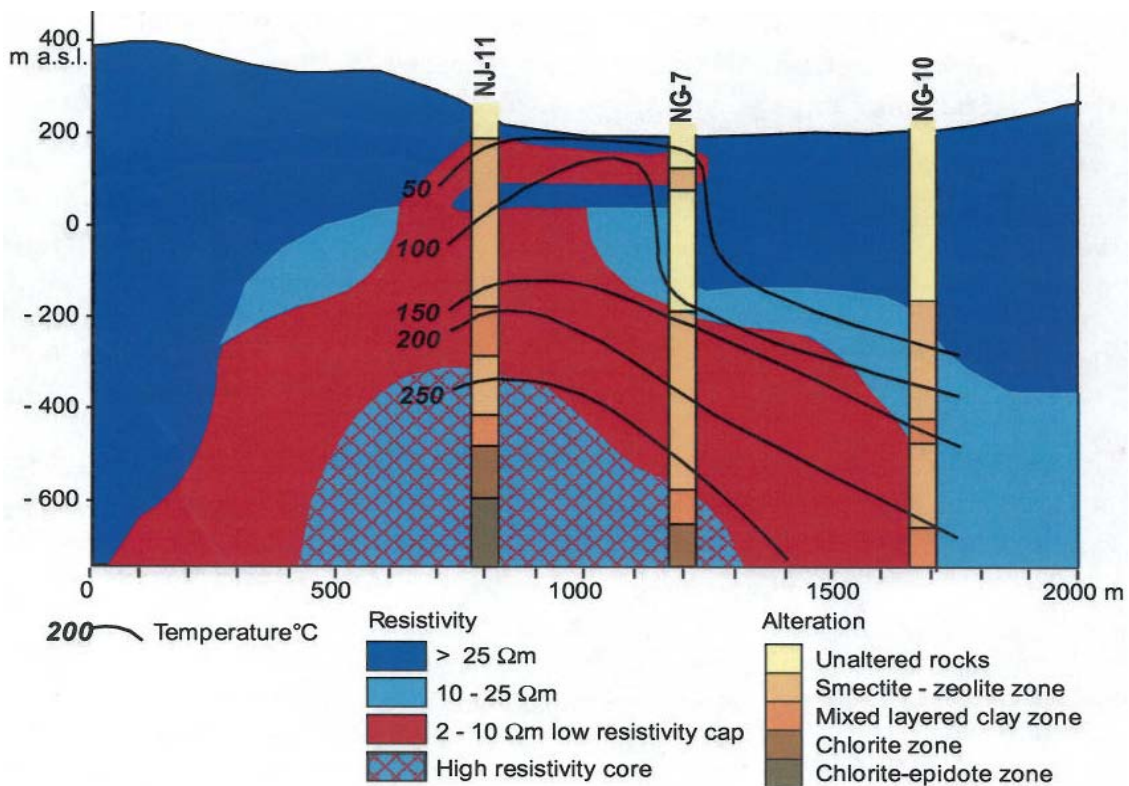


## 2 AÐFERÐAFRÆÐI

Þegar meta á stærð nýtanlegra jarðhitakerfa, verður að taka mið af því hversu djúpt skal borað og hvaða kröfur eru gerðar til hitastigs. Hagnýt nýting á jarðhita til raforkuframleiðslu krefst hita yfir 230°C. Ef gert er ráð fyrir hefðbundnum háhitaborunum, niður á um 2-3 km dýpi, með vinnsluhluta neðan 800 m, er æskilegt að á því dýpi sé hitinn vel yfir því hitastigi. Að gefnum þessum forsendum virðist því eðlilegt að meta stærð háhitasvæða til raforkuvinnslu út frá flatarmáli þess svæðis þar sem hitastig er talið ná 230°C ofan 800 – 1000 m (4).

Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR) hafa undanfarna áratugi lagt mat á þá þætti sem einkum hafa áhrif á eðlisviðnám vatnsmettaðs bergs. Helstu þættirnir eru poruhluti bergsins, eðlisviðnám vatnsins, hitastig og ummyndunarsteindir. Rannsóknir hafa leitt í ljós háa fylgni milli hitastigs og ummyndunar annars vegar og eðlisviðnáms hins vegar. Mynd 3 sýnir samanburð á viðnámsskipan og ummyndun undir Nesjavalladal, sem gott dæmi um þetta.

Viðnámsmælingar á öðrum háhitasvæðum hérlendis sýna að sú viðnámsskipan sem í ljós kom á Nesjavöllum virðist eiga almennt við um háhitasvæði með ósöltum jarðhitavökva. Neðan ferskra berglaga með háu viðnámi (>50Ωm) er lágviðnámsskápa með eðlisviðnám 1-10 Ωm, sem endurspeglar smek tít-zeólítabelti. Neðan hennar hækkar viðnám aftur, þar sem klórít-ummyndun tekur við, vegna jónaskiptaeginleika



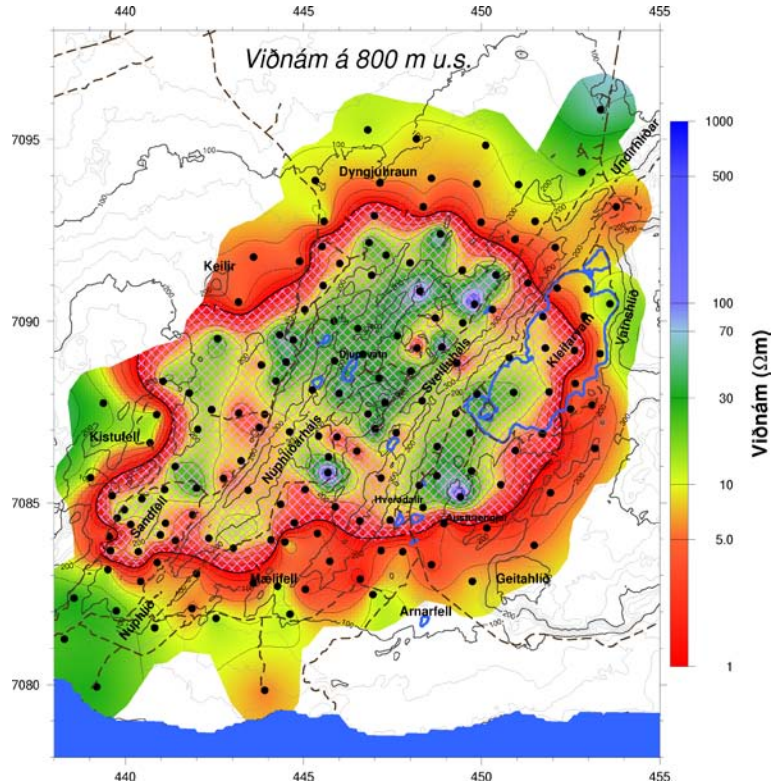
**Mynd 3:** Samanburður á eðlisviðnámi, ríkjandi ummyndun og berghita í jarðhitakerfinu undir Nesjavalladal (4).

steindarinnar (5-7). Ef ummyndun er í jafnvægi við hitastig endurspeglar lágviðnámskápan hita á bilinu 50-200°C en hækkandi viðnám innan háviðnámskjarna þar fyrir neðan þýðir að hiti sé kominn um og yfir 230°C. Í söltum jarðhitakerfum eins og á Reykjaneskaga kemur fram svipað samband nema hvað viðnámsgildin eru mun lægri en í fersku kerfunum (8).

Við frummat vinnslugetu háhitasvæða á Íslandi hefur rúmmálsaðferð gjarnan verið beitt. Nánar er gert grein fyrir þeirri aðferðafræði í (2 og 9). Kennistærðir sem lýsa rúmmáli, hitastigi og bergeiginleika jarðhitakerfisins eru metnar út frá tiltækum rannsóknum. Í ljósi þess að mat á einstaka stærðum er háð óvissu eru þeim gefin lág-, mið- og hágildi. Þannig er varmaheimta jafnan talin vera á bilinu 10-25% og frumorkunýtni til raforkuframleiðslu á bilinu 8-14%. Flatarmál háhitasvæðisins er jafnan talið vera a.m.k. jafn stórt og útbreiðsla yfirborðsummerkja jarðhita en hámarks flatarmál er metið út frá stærð háviðnámskjarna á 800-1000 metra dýpi (sjá mynd 4).

Þessi lág- mið- og hágildi kennistærðanna skilgreina þríhyrningslaga líkindadreifingu fyrir hverja kennistærð, sem gerir mögulegt að reikna líkindadreifingu fyrir afkastagetu svæðanna.

Pegar afkastageta svæðanna var metin 1985 var miðað við nýtingu til 50 ára og er í þessari skýrslu miðað við sama árafjölda til samanburðar. Sjálfbær nýting á jarðhita gengur hinsvegar út frá nýtingu til 100-300 ára og til að fá mat á afkastagetu svæðanna þarf aðeins að deila með 2 upp í niðurstöðurnar fyrir 100 ára nýtingartíma og 6 fyrir 300 ára nýtingartíma. Sjálfbær nýting gæti einnig falist í að nýta kerfin til skiptis til 50 ára í senn og hvíla þau síðan meðan önnur eru tekin í notkun.



**Mynd 4:** Viðnámsnið 800 metrum undir sjávarmáli á Krýsuvíkursvæðinu. Háviðnámskjarni er innan rúðstrikaða svæðisins (89 km<sup>2</sup> að stærð) (10).

Þar sem nýlegt heilstætt mat á jarðvarma Íslands liggur ekki fyrir verður núverandi mat á vinnslugetu byggt á nýlegum áætlunum á afkastagetu nokkurra háhitasvæða með rúmmálsmati. Þær niðurstöður eru síðan yfirfærðar á svæði þar sem rúmmálsmat er ekki tiltækt. Líkindadreifð meðalflatarvinnslugeta er þannig metin út frá fjórum háhitasvæðum og niðurstaðan svo notuð til að meta öll háhitasvæðin á grundvelli stærðar háviðnámskjarna. Svæðin fjögur eru Hengill, Námafjall, Krafla og Þeistareykir.

Mat á Hengilssvæðinu byggir á rúmmálsmati Zosimo Sarmiento og Gríms Björnssonar frá 2007 (11), mat á Þeistareykjum byggir á hugmyndalíkani Ásgríms Guðmundssonar o.fl. frá 2008 (12), mat á Kröflu á hugmyndalíkani Anette K. Mortensen o.fl. frá 2009 (13) og mat á Námafjalli á rúmmálsmati Sæunnar Halldórsdóttur og Héðins Björnssonar frá 2009 (14). Niðurstöður þeirra má sjá í töflu 1 og mynd 5. Raforka er reiknuð miðað við 170°C viðmiðunarhita fyrir Kröflu en í hinum tilvikunum er viðmiðunarhitinn 180°C. Samsvarandi nýtni til raforkuvinnslu er 12% og 13%.

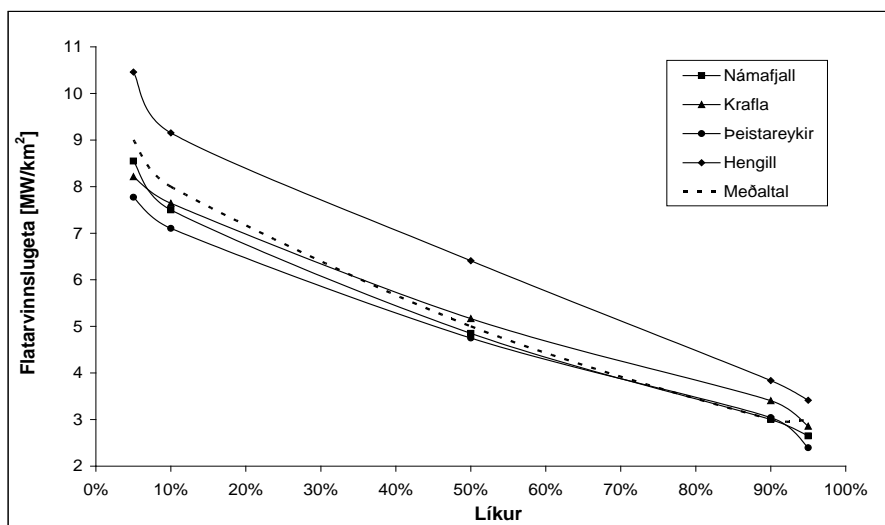
Líkindadreifð flatarvinnslugeta innan háviðnámskjarna er metin út frá áætlaðri stærð hans og sést í töflu 1. Að meðaltali er flatarvinnslugetan að lágmarki 3 MW/km<sup>2</sup> í 95% tilvika (lágildi), 5 MW/km<sup>2</sup> í 50% tilvika (miðgildi) og 9 MW/km<sup>2</sup> í 5% tilvika (hágildi).

**Tafla 1:** Flatarvinnslugeta innan háviðnámskjarna fyrir vinnslu í 50 ár.

Svæði	Stærð* [km <sup>2</sup> ]	Afl** [MW <sub>50</sub> ]			Flatarvinnslugeta [MW/km <sup>2</sup> ]		
		5%	50%	95%	5%	50%	95%
Námafjall	20	171	97	53	9	5	3
Krafla	42	345	217	120	8	5	3
Þeistareykir	48	373	228	115	8	5	2
Hengill	142	1485	910	485	10	6	3
<b>Meðaltal</b>					<b>9</b>	<b>5</b>	<b>3</b>

\*Heimild: Námafjall (15), Krafla (13), Þeistareykir (16) og Hengill (17 og 18).

\*\*Heimild: Námafjall (14), Krafla (13), Þeistareykir (12) og Hengill (11). Miðgildi fyrir svæðin notað nema fyrir Hengilinn þar sem aðeins meðaltal er gefið upp í heimild.

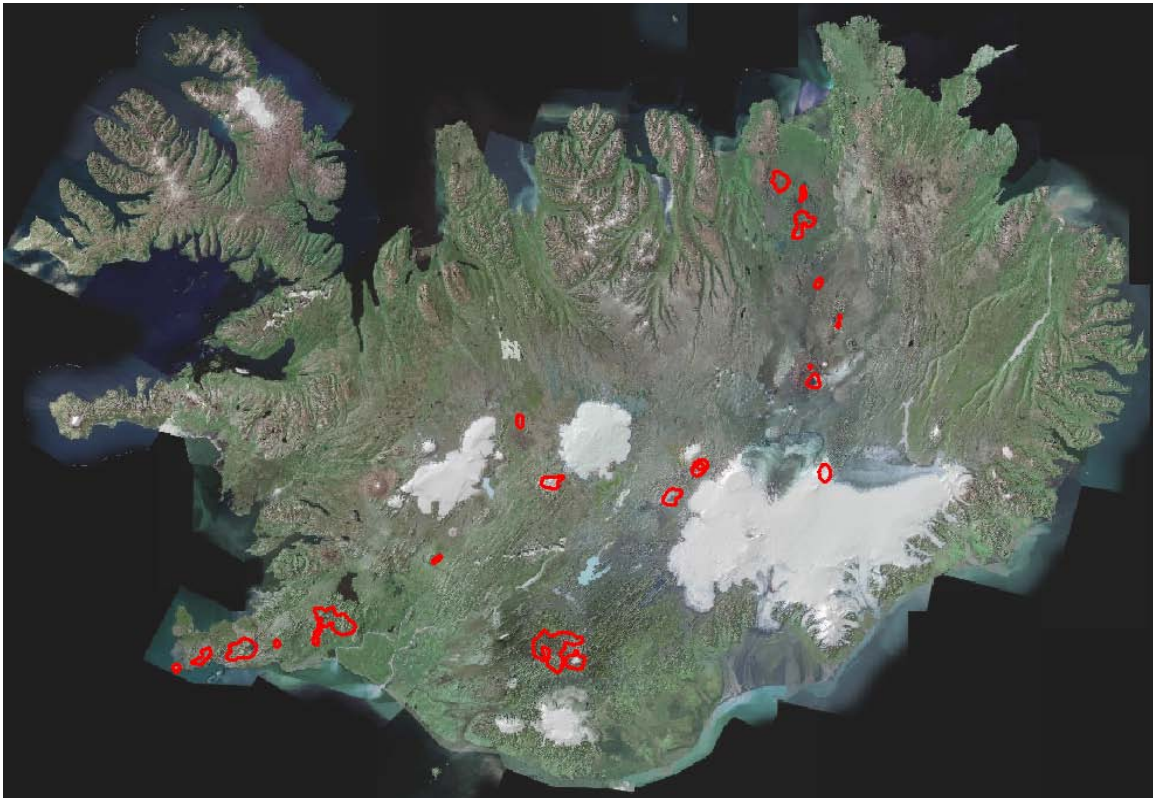


**Mynd 5:** Flatarvinnslugeta innan háviðnámskjarna fyrir fjögur háhitasvæði.

### 3 NIÐURSTÖÐUR

Yfirlit yfir flatarmálsafmörkun háhitasvæða til raforkuvinnslu má sjá á mynd 6 (19). Fyrir öll háhitasvæðin nema Kverkfjöll, Öskju og Hrúthálsa byggir mat á viðnámsmælingum (10, 15-17, 20-27, 29, 30, 34, 35). Í sumum tilvikum getur það brugðið frá tölum sem nefndar eru í fyrrgreindum heimildum þar sem mörk háviðnámskjarna eða lágviðnámskápu eru óskýr. Á svæðum, þar sem viðnámsmælingar hafa ekki farið fram, afmarkast flatarmál svæðanna af yfirborðsummerkjum og jarðfræðimati (28, 31-33).

Taka skal fram að um einfalda yfirfærslu frá fjórum háhitasvæðum er að ræða yfir á öll háhitasvæðin. Slík nálgun getur verið varhugaverð í ljósi þess að öll háhitasvæði eru einstök og erfitt að yfirfæra þekkingu frá einu svæði til þess næsta. Viðnámsmælingar gefa auk þess ekki endilega upplýsingar um núverandi hitaástand heldur það ástand sem ríkti þegar ummyndunarsteindirnar mynduðust. Nefna má nokkur dæmi þar sem mæld viðnámsdreifing hefur ekki endurspeglað núverandi hitaástand. T.d. í hlutum jarðhitakerfisins í Kröflu þar sem hitastig reyndist lægra en ummyndunin gaf til kynna (13) og í Hverahlíð á Hellisheiði þar sem hitastig reyndist hærra (11).



**Mynd 6:** Afmörkun þekktra háhitasvæða á Íslandi með viðnámsmælingum og yfirborðsummerkjum (19).

Mat á afkastagetu háhitasvæðanna samkvæmt ofangreindri aðferð er birt í töflu 2 og borið saman við jarðvarmamatið frá 1985 og nýtanlegu gufuaflí vinnslu- og rannsóknarholna umreiknað í rafafi í töflu 3. Samanlagt flatarmál svæðanna hefur stækkað úr um 480 km<sup>2</sup> í um 850 km<sup>2</sup> (75% aukning) og áætlað rafafi til 50 ára hefur hækkað úr um 3300 MW í um 4300 MW (30% aukning). Ekki þykir eðlilegt að leggja saman hággildið né lággildið þar sem að öllu jöfnu ættu sum svæði hugsanlega að gefa meira og önnur minna. Með tækniframförum og auknum upplýsingum má leiða líkur að því að mat á vinnslugetu geti breyst verulega, eins og það hefur gert á undanförunum 25 árum og á það ekki síst við um svæði þar sem engar holur hafa verið boraðar. Vert er að taka fram að ekki er tekið tillit til verndargildi einstakra svæða.

Í rúmmálmötunum sem liggja til grundvallar því mati sem hér er lagt fram er ekki gert ráð fyrir innstreymi vökva frá jöðrum jarðhitakerfisins eða varmastreymi vegna hitagjafa undir svæðinu. Fyrir þau svæði sem hafa verið nýtt er hægt að meta vinnslugetuna með nákvæmari reiknilíkönun. Þá er hægt að nota vinnslusögu og þrýstingsbreytingar til að meta náttúrulegt innstreymi til svæðisins. Þannig fæst nákvæmara mat á varmaheimtu svæðisins og þar með betra mat á vinnslugetunni.

**Tafla 2:** Mat á rafafli háhitasvæða til 50 ára samkvæmt áætlaðri flatarvinnslugetu.

Svæði	Stærð <sup>***</sup> [km <sup>2</sup> ]	Hágildi	Miðgildi	Lággildi
		[MW <sub>50</sub> ]		
Reykjanes*	9	81	45	27
Svartsengi-Eldvörp	30	270	150	90
Krýsuvík	89	801	445	267
Brennisteinsfjöll	5	45	25	15
Hengill	142	1278	710	426
Geysir*	5	45	25	15
Kerlingarfjöll	39	351	195	117
Hveravellir*	14	126	70	42
Torfajökull	253	2277	1265	759
Hágöngur	43	387	215	129
Vonarskarð	29	261	145	87
Kverkfjöll**	31	279	155	93
Askja**	27	243	135	81
Hrúthálsar**	4	36	20	12
Fremrinámar	10	90	50	30
Krafla-Námafjall	62	558	310	186
Gjástykki	11	99	55	33
Þeistareykir	48	432	240	144
<b>Samtals</b>	<b>851</b>		<b>4255</b>	

\*Viðnámsmælingar miða við lágviðnámskápu á sama dýpi þar sem háviðnámskjarni kom ekki fram.

\*\*Viðnámsmælingar ekki til staðar og því byggir flatarmál á yfirborðsummerkjum.

\*\*\*Flatarmál byggir á viðnámsmælingum og útbreiðslu yfirborðsummerkja. Heimild: Reykjanes (20,21), Svartsengi-Eldvörp (22), Krýsuvík (10), Brennisteinsfjöll (23), Hengill (17,18), Geysir (24), Kerlingarfjöll (25,26), Hveravellir (27), Torfajökull (28,29), Hágöngur (30), Vonarskarð (31), Kverkfjöll (32), Askja (33), Hrúthálsar (34), Fremrinámar (35), Krafla-Námafjall (13,15), Gjástykki-Þeistareykir (16).

**Tafla 3:** Mat á rafaflí háhitasvæða til 50 ára samkvæmt áætlaðri flatarvinnslugetu borið saman við rúmmálsmat frá 1985 og nýtanlegt gufuafl.

Svæði	Mat á aflu 1985		Mat á aflu 2009				
	Stærð [km <sup>2</sup> ]	Afl [MW <sub>50</sub> ]	Stærð <sup>****</sup> [km <sup>2</sup> ]	Nýt. afl <sup>***</sup> [MW]	Hágildi	Miðgildi	Lággildi
					[MW <sub>50</sub> ]		
Reykjanes <sup>*</sup>	2	28	9	100	81	45	27
Svartsengi-Eldvörp	11	108	30	80	270	150	90
Krýsuvík	60	302	89	5	801	445	267
Brennisteinsfjöll	2	12	5		45	25	15
Hengill	100	689	142	400	1278	710	426
Geysir <sup>*</sup>	3	27	5		45	25	15
Kerlingarfjöll	11	76	39		351	195	117
Hveravellir <sup>*</sup>	1	9	14		126	70	42
Torfajökull	147	1012	253		2277	1265	759
Hágöngur	8	63	43	5	387	215	129
Vonarskarð	11	65	29		261	145	87
Kverkfjöll <sup>**</sup>	25	49	31		279	155	93
Askja <sup>**</sup>	25	74	27		243	135	81
Hrúthálsar <sup>**</sup>	7	62	4		36	20	12
Fremrinámar	4	35	10		90	50	30
Krafla-Námafjall	37	464	62	125	558	310	186
Gjástykki	7	69	11		99	55	33
Þeistareykir	19	150	48	50	432	240	144
<b>Samtals</b>	<b>480</b>	<b>3294</b>	<b>851</b>	<b>765</b>		<b>4255</b>	

\*Viðnámsmælingar miða við lágviðnámskápu á sama dýpi þar sem háviðnámskjarni kom ekki fram.

\*\*Viðnámsmælingar ekki til staðar og því byggir flatarmál á yfirborðsummerkjum.

\*\*\*Gufuafl rannsóknar- og/eða vinnsluholna umreiknað í rafafl.

\*\*\*\*Flatarmál byggir á viðnámsmælingum og útbreiðslu yfirborðsummerkja. Heimild: Reykjanes (20,21), Svartsengi-Eldvörp (22), Krýsuvík (10), Brennisteinsfjöll (23), Hengill (17,18), Geysir (24), Kerlingarfjöll (25,26), Hveravellir (27), Torfajökull (28,29), Hágöngur (30), Vonarskarð (31), Kverkfjöll (32), Askja (33), Hrúthálsar (34), Fremrinámar (35), Krafla-Námafjall (13,15), Gjástykki-Þeistareykir (16).

## HEIMILDASKRÁ

- (1) Gunnar Böðvarsson (1982). *Terrestrial energy currents and transfer in Iceland*. Í Guðmundur Pálmason (ritstj.): *Continental and oceanic rifts. Geodynamic Series*, 8, Am. Geophys. Union, 271-282.
- (2) Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur I. Haraldsson og Gísli K. Halldórsson (1985). *Mat á jarðvarma Íslands*. Orkustofnun (OS-85076).
- (3) Valgarður Stefánsson og Elías B. Elíasson. (1997). *Samnýting orkulinda*. Orkustofnun (OS-98005).
- (4) Knútur Árnason og Ragna Karlsdóttir (2006). *Mat á stærð háhitakerfa með viðnámsmælingum*. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR-2006/108).
- (5) Deer, W. A., Howie, R.A. og Zussman, J., (1962). *Rock Forming Minerals, Vol. 3, Sheet Silicates*, Longmans, Gren and Co Ltd., London.
- (6) Hrefna Kristmannsdóttir (1979). *Alteration of basaltic rocks by hydrothermal activity at 100-300°C*. International Clay Conference 1978. Ritsj. Mortland og Farmer. Elsevier Sci. Publ. Company, Amsterdam.
- (7) Hjalti Franzson (1988). *Vatnsgengd í jarðhitageymi*. Orkustofnun (OS-88046).
- (8) Ragna Karlsdóttir (1998). *TEM-viðnámsmælingar í Svartsengi 1997*. Orkustofnun (OS-98025).
- (9) Gunnar Þorgilsson og Sæunn Halldórsdóttir, 2008. *Jarðvarmamát með rúmmálsaðferð og Monte Carlo reikningum*. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR 2008/001).
- (10) Gylfi Páll Hersir, Guðni Karl Rosenkjær, Arnar Már Vilhjálmsson, Hjálmar Eysteinnsson og Ragna Karlsdóttir (2009). *Jarðhitasvæðið í Krýsuvík. Viðnámsmælingar 2007 og 2008*. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR-2009/047).
- (11) Sarmiento Z. And G. Björnsson. (2007). *Reliability of Early Modeling Studies for High-Temperature Reservoirs in Iceland and the Philippines*. Proceedings, 32 nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, Kalifornía.
- (12) Ásgrímur Guðmundsson, Bjarni Gautason, Christian Lacasse, Guðni Axelsson, Gunnar Þorgilsson, Halldór Ármannsson, Helga Tulinius, Kristján Sæmundsson, Ragna Karlsdóttir, Snorri Páll Kjaran, Sveinn Óli Pálmarsson, Sæunn Halldórsdóttir og Þorsteinn Egilson (2008). *Hugmyndalíkan jarðhitakerfisins á Þeistareykjum og jarðvarmamát með rúmmálsaðferð*. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR 2008/024).
- (13) Anette K. Mortensen, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Freysteinn Sigmundsson, Guðni Axelsson, Halldór Ármannsson, Héðinn Björnsson, Kristján Ágústsson, Kristján Sæmundsson, Magnús Ólafsson, Ragna Karlsdóttir, Sæunn Halldórsdóttir og Trausti Hauksson (2009). *Jarðhitakerfið í Kröflu. Samantekt rannsókna á jarðhitakerfinu og endurskoðað hugmyndalíkan*. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR-2009/057).

- (14) Sæunn Halldórsdóttir og Héðinn Björnsson, 2009. *Afkastageta jarðhitakerfisins í Bjarnarflagi metin með rúmmálsaðferð*. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR 2009/061).
- (15) Ragna Karlsdóttir (2002). *Námafjall: TEM viðnámsmælingar 2001*. Orkustofnun, (OS-2002/057).
- (16) Ragna Karlsdóttir, Hjálmar Eysteinnsson, Ingvar Þór Magnússon, Knútur Árnason og Ingibjörg Kaldal (2006). *TEM-mælingar á Þeistareykjum og í Gjástykki 2004-2006*. Íslenskar Orkurannsóknir, (ÍSOR 2006/028).
- (17) Knútur Árnason (2007). *TEM viðnámsmælingar á Hengilssvæði 2006 og tillaga að rannsóknarborunum við Eldborg*. Íslenskar orkurannsóknir (ÍSOR-2007/005).
- (18) Sveinbjörn Björnsson (2006). *Orkugeta jarðhita*. Orkuþing 2006. Reykjavík 12-13. október 2006. Samorka.
- (19) Orkustofnun (2009). Kort búið til fyrir vinnu við rammaáætlun. (<http://www.leirhver.orkugardur.is/rammi/>)
- (20) Guðni Karl Rosenkjær og Ragna Karlsdóttir (2009). *MT-mælingar á Reykjanesi 2008*. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR-2009/002).
- (21) Ragna Karlsdóttir (2005). *TEM-mælingar á Reykjanesi 2004*. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR-2005/002).
- (22) Ragna Karlsdóttir og Arnar Már Vilhjálmsson (2008). *Eldvörp. TEM-mælingar 2008*. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR-2008/037).
- (23) Ragna Karlsdóttir (1995). *Brennisteinsfjöll. TEM-viðnámsmælingar*. Orkustofnun (OS-95044).
- (24) Ragna Karlsdóttir (2004). *TEM-mælingar á Geysissvæði*. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR-2004/029).
- (25) Ragna Karlsdóttir, Hjálmar Eysteinnsson Arnar Már Vilhjálmsson (2009). *Kerlingarfjöll. TEM- og MT-mælingar 2008*. Íslenskar Orkurannsóknir (handrit).
- (26) Ragna Karlsdóttir, Hjálmar Eysteinnsson og Arnar Már Vilhjálmsson (2007). *Kerlingarfjöll. TEM- mælingar 2004–2005*. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR-2007/014).
- (27) Ragna Karlsdóttir og Arnar Már Vilhjálmsson (2006). *Hveravellir. TEM-mælingar 2006*. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR-2006/049).
- (28) Ragna Karlsdóttir (2003). *Í Torfa. Viðnámsmælingar í aldarfjórðung*. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR-2003/019).
- (29) Kristján Sæmundsson (2009). *Yfirlit yfir niðurstöður rannsókna á Torfajökulssvæði*. Íslenskar Orkurannsóknir (handrit).
- (30) Ragna Karlsdóttir (2007). *Köldukvíslarbotnar. TEM mælingar 2007*. Landsvirkjun (LV-2007/117).
- (31) Ragna Karlsdóttir, Arnar Már Vilhjálmsson og Hjálmar Eysteinnsson (2008). *Vonarskarð. TEM- og MT-mælingar 2007*. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR-2008/064).



- (32) Magnús Ólafsson, Helgi Torfason og Karl Grönvold (1999). *Jarðhitakerfið í Kverkfjöllum*. Vorráðstefna Jarðhitafélagsins.
- (33) Kristján Sæmundsson (1982). *Öskjur á virkum eldfjallasvæðum á Íslandi. Eldur er í norðri*. Afmælisrit helgað Sigurði Þórarinssyni sjötugum. Sögufélagið, Reykjavík, bls. 221-239.
- (34) Ásgrímur Guðmundsson (2004). *Jarðhiti í norðaustur gosbelti*. Íslenskar orkurannsóknir, Greinargerð (ISOR-04043).
- (35) Knútur Árnason (2004). *Viðnámsmælingar í Fremrinámum árið 2004*. Íslenskar orkurannsóknir. Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR- 2004/134).