

**KNET: Tillögur að uppsetningu mælanets til
skráningar smáskjálfta á háhitasvæðunum
við Námafjall, Kröflu, Þeistareyki og í
Öxarfirði**

Kristín S. Vogfjörð

Greinargerð KSV-99-01

KNET: Tillögur að uppsetningu mælanets til skráningar smáskjálfta á háhitasvæðunum við Námafjall, Kröflu, Peistareyki og í Öxarfirði

Kristín S. Vogfjörð

maí 1999

Ágrip

Í lok árs 1999 verður smáskjálftanet, sem starfrækt er í Eyjafirði í tengslum við niðurdælingu við Laugaland, tekið niður og losna þá 5 mælistöðvar, sem hægt er að nota til uppbyggingar nýrra mælikerfa. Hér á eftir verða reifaðar hugmyndir að uppsetningu mælanna í nýju smáskjálftaneti sem skrá mun skjálftavirkni í Kröflu, Bjarnarflagi, á Peistareykjum og í Öxarfirði. Markmiðið með netinu er að gera kleifa notkun afstæðra aðferða, sem staðsetja skjálfta á jarðhitasvæðunum nógu nákvæmlega til að kortleggja megi þar sprungur undir yfirborði, en sprungurnar endurspegla líklegar rennislisleiðir jarðhitavatns í háhitakerfunum. Slík kortlagning hefur mikið hagnýtt gildi fyrir orkufyrirtækin sem vinna, eða hyggja á vinnslu á þessum svæðum, þ.e. Landsvirkjun, Peistareyki ehf. og Íslenska Orku. Uppbygging netsins og útfærsla við gagnaflutninga hefur einnig upplýsingatæknilegt gildi og hefur Háskólinn á Akureyri lýst áhuga á aðild að slíku verkefni í tengslum við námsbraut í upplýsingatækni.

Netið

Sex stöðva jarðskjálftamælanet sem starfað hefur í Eyjafirði frá því í september árið 1997, verður tekið niður í árslok 1999, þegar rannsóknaverkefni í tengslum við niðurdælingu í borholur lýkur. Fimm af mælum netsins verða fjarlægðir, en einn skilinn eftir. Netið, sem er að mestu í eigu Hitaveitu Akureyrar, er byggt upp af þriggja þátta (1 lóðréttur og 2 láréttir) stuttbylgju skjálftanemum, SM-6/A4.5 með flata hraðasvörun í tíðni fyrir ofan 4.5 Hz. 24-bitu Nanometrics A/D breyta safnar stafrænum gögnum frá nemanum, en þau fara svo áfram um nokkur hundruð metra langan ljósleiðara í PC tölvu sem keyrir Linux stýrikerfi. Á tölvunni er keyrður fasafinnur (phase detector), sem leitar að skjálftafösum, svo og annar hugbúnaður til staðsetningar og sjálfvirkrar úrvinnslu. Mælakerfið og hugbúnaðurinn eru svipaðrar gerðar og í Landsneti Veðurstofu Íslands (SIL), með nokkrum frávikum þó; nemarnir, stafsetjararnir, samskiptamátinn og stýrikerfi tölvanna eru ekki þau sömu.

Þegar Laugalandsnetið verður lagt niður losnar fimm stöðva mælakerfi, sem býður upp á svipaða netuppsetningu annars staðar þar sem áhugi er fyrir skráningu og nákvæmri staðsetningu smáskjálfta. Hitaveita Akureyrar er aðili að félögum um vinnslu jarðhitasvæðanna við Peistareyki og í Öxarfirði og liggur því beinast við að senda hluta mælakerfisins þangað, en með því að teygja netið í suður fæst uppsetning sem, ásamt SIL stöðvum Veðurstofu Íslands, leyfir skráningu og staðsetningu skjálftavirkni í Kröflu og Bjarnarflagi líka (sjá mynd). Afstaða mælistöðva til þessara svæða er einnig listuð í meðfylgjandi töflu. Af mynd og töflu má sjá að mælistöðvarnar eru nokkuð jafnt dreifðar umhverfis jarðhitasvæðin fjögur og fjarlægð til fimm næstu stöðva, frá hverju svæðanna er á bilinu 2–36 km. Besti árangur í kortlagningu sprungna

á jarðhitasvæðum með smáskjálftum hefur náðst við Hengil [1, 2, 3], en þar er skjálftasvæðið umkringt af fimm mælistöðvum í u.þ.b. 5–20 km fjarlægð, og næmni netsins áreiðanleg niður að stærð 0.0. Með svipaða fjarlægð á milli stöðva í *kneti* má búast við álika árangri þar.

Stöð	Bjarnarflag		Krafla		Peistareykir		Öxarfjörður	
	Fjarl. (km)	Stefna	Fjarl. (km)	Stefna	Fjarl. (km)	Stefna	Fjarl. (km)	Stefna
kn1	10	125°	17	160°	32	155°	53	185°
kn2	9	355°	3	275°	15	165°	40	200°
kn3	26	25°	17	30°	16	90°	23	185°
kn4	23	340°	17	320°	3	240°	33	220°
kn5	39	0°	30	355°	16	15°	16	240°
ren	2	245°	10	205°	24	170°		
gra					27	280°		
gil					36	50°	10	90°
lei							37	5°
grs	34	95°	33	105°				
sva	38	210°						

Á tímabilinu des. 1993 til mars 1999 hefur Landsnet Veðurstofunnar skráð um 140 skjálfta í nágrenni Kröflu og Bjarnarflags, eða rúmlega tvo á mánuði. Á sama tímabili hafa skráðst um 70 á Peistareykjum, eða u.þ.b. einn á mánuði. Við núverandi aðstæður nær Landsnetið ekki að skynja alla skjálfta á þessum svæðum, sbr. niðurstöður könnunar á smáskjálftavirkni í Kröflu í okt. 1997 [4], en einungis einn þeirra 18 skjálfta sem skráðust á 10 daga tímabili fannst á Landsnetinu; þó ekki svo vel að bylgjugögn væru geymd. Með þéttara mælaneti umhverfis svæðin má gera ráð fyrir að virkni niður að stærð 0.0 myndi mælast, og miðað við svipaða virkni og á Kröflusvæðinu í okt. 1997, ætti netið að skynja 30–50 sinnum fleiri skjálfta en landsnetið gerir í dag.

Í þeirri uppsetningu sem sýnd er á myndinni er engin stöð í nálægð rafmagns, og þurfa allar að keyrast á vind- og sólarorku. Á liðnu ári hefur Veðurstofan verið að koma í gagnið mælistöðvum uppi á hálendinu, þar sem vind- og sólarorka er notuð til að knýja mæli og skráningartæki, og samskipti eru um farsíma. Vandamál hafa verið með farsímasambandið og til að leysa það hefur verið fengið leyfi frá Póst- og Fjarskiptastofnun fyrir notkun Spread-Spectrum móttalda t.d. á Grímsfjalli og Vatnsfelli, sem gera þráðlaus samskipti auðveldari og minnka orkuþörfina. Athuga þarf hvort leyfi fáist fyrir notkun móttaldanna á Kröflu-Peistareykjasvæðinu til innbyrðis samskipta í netinu. Skv. Bergi H. Bergssyni tæknimanni á Jarðeðlissviði Veðurstofu Íslands, má hugsanlega útfæra samskiptin þannig að uppi á Kröflufjalli yrði komið fyrir 1-2 móttöldum sem væru notuð sem 'repeaters' og myndu allar mælistöðvar senda merkin í gegnum þau í stjórnstöð í Kröflu, þar sem tölvurnar væru staðsettar. Tölvurnar ynnu úr gögnunum og sendu síðan fasaupplýsingar áfram um fjarskiptakerfi Landsvirkjunar til Reykjavíkur. Frá stjórnstöð Landsvirkjunar þyrftu gögnin svo að komast yfir á Veðurstofu (um 200 m) og gætu þau farið um breiðbandið, eða sérstakan kapal. Gróf hugmynd að þessu fyrirkomulagi hefur verið rædd við Guðmund Gunnarsson, á Fjarskiptadeild Landsvirkjunar og telur hann ekki ólíklegt að leyfi gæti fengist fyrir því innan Landsvirkjunar.

Með tilkomu netsins mun álag vegna sjálfvirkar og gagnvirkar úrvinnslu á Veðurstofu Íslands aukast eitthvað. Hugsanlega má minnka það álag með því að setja netið upp eins og það er á Laugalandi, þ.e. úrvinnslutölvun verður einnig í Kröflu, þar sem sjálfvirku staðsetningarforritin eru keyrð, skjálftagögnum safnað af nemunum og gögnin síðan send til Reykjavíkur. Gagnvirki þátturinn yrði þó að fara fram á Veðurstofunni.

Tillaga þessi, um uppsetningu KNETs hefur verið lögð fyrir aðila Jarðeðlissviðs Veðurstofu

Íslands, þar sem hún hefur fengið jákvæða umfjöllun.

Framkvæmd og kostnaður

Af núverandi tækjum og uppsetningu í Laugalandnetinu ætti að vera hægt að nota allt aftur nema tunnurnar sem hýsa mælana (lokin mætti hugsanlega nota aftur) og ljósleiðarana sem flytja merkið úr nemanum í tölvuna. Líklega væri ástæða til að skipta nemunum út fyrir Lennarz nema með 1 Hz horntíðni til að hafa breiðara band til að vinna með, en suð á Kröflusvæðinu takmarkar vinnanlegt band við tíðnir undir ~ 15 Hz. Með Lennarz 1 s nemum er einnig meira samræmi við landsnetið, en það er aðallega byggt upp af Lennarz 1 s og 5 s nemum, ásamt fjórum Guralp breiðbandsnemum. Sm-6/A4.5 nemarnir væru þá kjörin byrjun að langþráðum færanlegum mælabanka á Íslandi, en fyrirhugað er að sækja um framlag í hann á næsta ári frá RANNÍS og íslenskum orkufyrirtækjum, sem hefðu hag af því að slíkur banki kæmist á laggirnar. Mælabankinn yrði í umsjá og eigu þeirra íslensku rannsóknastofnana sem stunda jarðskjálftarannsóknir og Hitaveita Akureyrar væri þá fyrst orkufyrirtækja til að leggja fram tæki í bankann.

Sá búnaður sem þegar er fyrir hendi á Laugalandi, og nýttur verður áfram, er metinn á ~ 500 þús. fyrir hverja stöð. Í fyrirhugaðri uppsetningu er engin stöð við rafmagn, heldur allar keyrðar á eigin orku. Áætlaður viðbótarkostnaður við hverja þeirra er eftirfarandi (ef spread-spectrum mótöld eru notuð við innbyrðis samskipti):

Vindmylla	100 þús.
Sólarrafhlaða	60 þús.
Þrír 115 Ahr geymar	45 þús.
Mótöld (sendir og móttakari)	200 þús.
Tunna utan um mæli	40 þús.
Jarðvinna og annar efniskostnaður	450 þús.
	895 þús.
Ef neminn er ekki notaður bætast við	~ 300 þús. †
Samtals:	1195 þús.

†) Kostnaður áætlaður út frá verði ársins 1993. Auk þessa búnaðar þyrfti sennilega tvö mótöld til viðbótar sem 'repeaters' á Kröflufjalli, en kostnaður við þau er 200 þús. Heildarkostnaður við hverja stöð er þá um 1700 þús.

Ef sjálfvirki hluti úrvinnslunnar fer fram í Kröflu bætist við kostnaður vegna aðlögunar hugbúnaðar. Áætlaður kostnaður við u.þ.b. 3 mán. vinnu er 2100 þús.

Ef einhver stöðvanna kæmist í rafmagn yrði áætlaður tilkostnaður við hana eftirfarandi:

Tunna utan um mæli	40 þús.
Kapall frá tunnu í hús	60 þús.
Jarðvinna við kapal	100 þús.
Jarðvinna og annar efniskostnaður	450 þús.
X-25 kort í tölvu	120 þús.
	770 þús.
Ef neminn er ekki notaður bætast við	~ 300 þús.
Samtals:	1070 þús.

X-25 kortið er nauðsynlegt til að hafa samskipti um símalínur, en verið er að þróa hugbúnað á Veðurstofunni sem sér um samskipti í gegnum kortið undir Solaris stýrikerfi.

Kostnaður við að kaupa og grafa niður kapal um 200 m, frá stjórnstöð Landsvirkjunar yfir

á Veðurstofu Íslands er gróflga áætlaður um 400-500 þús. Kostnaður við að leigja pláss á breiðbandinu er ekki þekktur.

Til að hægt sé að hefjast handa strax þegar mælarnir losna í vetur, þarf að hefja forkönnun í sumar, með því að fara með færanlega mæla á svæðin sem merkt eru sem ákjósanlegir mælistaðir á myndinni. Jafnframt væri áhugavert að kanna nánar virknina við Þeistareyki með því að setja þar 5-6 stöðva tímabundið net til að afmarka virknina um leið og góður staður er fundinn fyrir stöðvar. Mælar og söfnunartæki, í láni frá Uppsala háskóla, komu til landsins í júní og best væri að fara með þá í ágúst, en þá er snjór örugglega farinn af svæðinu. Síðan mætti nota veturinn til úrvinnslu gagnanna og undirbúning og jarðvinnu við mælistöðvar, þannig að mælarnir gætu farið í tilbúnað holurnar sumarið 2000. Áætlaður kostnaður við forkönnun og úrvinnslu er eftirfarandi:

Mælingar tveggja sérfræðinga í 2 vikur	653 þús.
Kostn v/bíls í 2 vikur	135 þús.
Staðsetningartæki í 2 vikur	22 þús.
Úrvinnsla gagna í 8 vikur	<u>1306 þús.</u>
Samtals:	2116 þús.

Í áætluninni er gert ráð fyrir að Landsvirkjun sjái starfsmönnum fyrir fæði og húsnæði í Kröflu-búðum í þær tvær vikur sem mælingar standa yfir.

Rekstur og úrvinnsla gagna

Ef sjálfvirki þáttur úrvinnslunnar yrði ekki í Kröflu, færu fasagögnin úr *knet* með gögnum frá öðrum stöðvum í Landsnetinu inn í sjálfvirkan hugbúnað í stjórnstöð Veðurstofunnar í Reykjavík, þar sem raunverulegir skjálftar væru vinsaðir úr og beiðni um bylgjugögn fyrir þá send aftur út á mælistöðvarnar. Síðan færu bylgjugögnin í kerfisbundna gagnvirka úrvinnslu ásamt öllum öðrum bylgjugögnum úr Landsnetinu. Ef miðað er við að virkni á öllum jarðhitasvæðunum sé svipuð og á Kröflusvæði má búast við aukningu um 4-6 skjálfta á dag, að jafnaði, miðað við núverandi ástand. Þó fjölgun skjálfta sé ekki stórkostleg, er hins vegar líklegt að fjöldi fasaupplýsinga sem ekki væru raunverulegir skjálftar myndi aukast verulega og líklega þyngja sjálfvirka úrvinnslu á Veðurstofunni. Sjálfvirk úrvinnsla í Kröflu myndi líklega stemma stigu við þeirri aukningu.

Rekstur netsins væri á hendi Veðurstofunnar og myndi hún skila mánaðarlegu yfirliti um skjálftavirkni svæðanna. Innan eins til tveggja ára mætti búast við að safnast hefði nægilegt magn gagna til að hefja frekari úrvinnslu með afstæðum staðsetningaradferðum, og að eftir um þrjú til fjögur ár færu útlínur sprungukerfa að verða skýrar. Þessi ýtarlegri úrvinnsla yrði á höndum sérfræðinga Orkustofunnar og Veðurstofunnar, og færi fram í sérstaklega fjármögnuðum verkefnum, með líku fyrirkomulagi og kortlagningarverkefni á Hengilssvæði, sem unnin hafa verið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur, og verkefni við Trölladyngju á Reykjanesi, sem er að hefjast fyrir Jarðlind hf. Erfitt er að meta fyrirfram kostnað við slík verkefni, hann fer eftir umfangi gagna og úrvinnslu, en lauslega áætlað má gera ráð fyrir um 2 M krónum á ári.

Tölvurnar væru allar hýstar í Kröflu og umsjón þeirra og gagnaflutningur frá þeim væri á vegum Landsvirkjunar, en sú þjónusta felst aðallega í því að endurræsa tölvurnar þegar með þarf. Viðhald á mælistöðvunum sjálfum væri á höndum sérfræðings frá Veðurstofu Íslands. Hugsanlega mætti líka samnýta sérfræðing á útibúi Orkustofunnar eða Háskóla Íslands á Akureyri til viðhalds á mælistöðvunum.

Heildarkostnaður við uppsetningu og rekstur

Heildarkostnaður við uppsetningu netsins er:

5 Laugalandsstöðvar	$0,5 \text{ M} \times 5 =$	2,5 M
Viðbót við 5 Laugalandsstöðvar:	$1,2 \text{ M} \times 5 =$	6,0 M
Mótöld/repeaters á Kröflu:		0,2 M
Efniskostnaður og jarðvinna við kapal:		0,5 M
Forkönnun og úrvinnsla		<u>2,1 M</u>
Samtals:		11,3 M

Kostnaður vegna reksturs: 1,5 M/ári

Ef sjálfvirk úrvinnsla fer fram í Kröflu eykst kostnaður um 2,1 M vegna hugbúnaðarþróunar. Þá ber einnig að athuga að um þriðjungur kostnaðar við hverja stöð (alls 2,8 M) er vegna jarðvinnu, en hana er líklegt að starfsmenn viðkomandi orkuveitna geti framkvæmt sjálfir, e.t.v með minni tilkostnaði.

Áætlaður rekstur netsins og grunnvinna við staðsetningu og vistun gagna mun kosta Veðurstofuna um 1,5 M á ári og eðlilegast er að orkuveiturnar greiði þann rekstur.

Eins og netið er uppbyggt (sjá mynd) nýtast stöðvar kn1, kn2, kn3 og kn4 til skráningar smáskjálftavirkni í Kröflu og Bjarnarflagi, stöðvar kn2, kn3, kn4 og kn5 við skráningu virkni á Peistareykjum og stöðvar kn3 og kn5 við skráningu virkni í Öxarfirði. Það liggur því beinast við að kostnaðarhlutfall aðilanna sem að netinu standa sé í hlutfalli við þessa skiptingu, þ.e. Landsvirkjun 46.6% (2 1/3 stöðvar), Peistareykir ehf. 36.7% (1 5/6 stöðvar) og Íslensk Orka 16.7% (5/6 stöðvar). Hitaveita Akureyrar leggur með sér 2,5 M í Laugalandnetinu sem kemur til frádráttar framlagi þeirra í netið, svo og framlag Landsvirkjunar til upphalds tveggja starfsmanna við forkönnun $\sim 0,2$ M. Að auki er framlag Hitaveitunnar í færanlegan mælbanka, fimm SM-6/A-4.5Hz mælar, um 0,3 M.

Heimildir

- [1] Sigurður Th. Rögnvaldsson, Kristján Ágústsson, Bergur H. Bergsson, og Grímur Björnsson, "Jarskjálftamælanet í nágrenni Reykjavíkur - lýsing á mælaneti og fyrstu niðurstöður," Skýrsla VÍ-R98001-JA01, Veðurstofa Íslands, 1998.
- [2] Sigurður Th. Rögnvaldsson, Gunnar B. Guðmundsson, Kristján Ágústsson, Steinunn S. Jakobsdóttir, Ragnar Slunga, og Ragnar Stefánsson, "Overview of the 1993–1996 seismicity near Hengill," Skýrsla VÍ-R98006-JA05, Veðurstofa Íslands, 1998.
- [3] Sigurður Th. Rögnvaldsson, Kristín S. Vogfjörð, og Ragnar Slunga, "Kortlagning brotflata á Hengilssvæði með smáskjálftum," Skýrsla VÍ-R99002-JA01, Veðurstofa Íslands, 1999.
- [4] Kristín S. Vogfjörð, "Smáskjálftar í Kröflu í lok borunar holu KJ-31 í október 1997," Skýrsla OS-99012, Orkustofnun, 1999.