



Veðurstofa Íslands Greinargerð

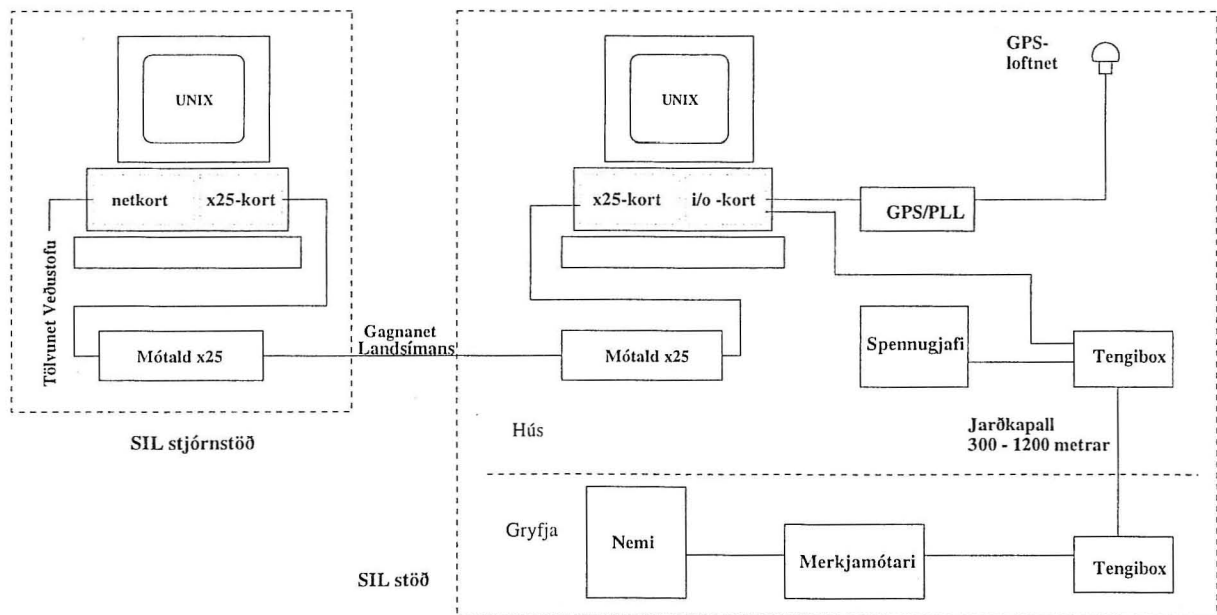
Steinunn S. Jakobsdóttir

Uppsetning SIL-kerfisins

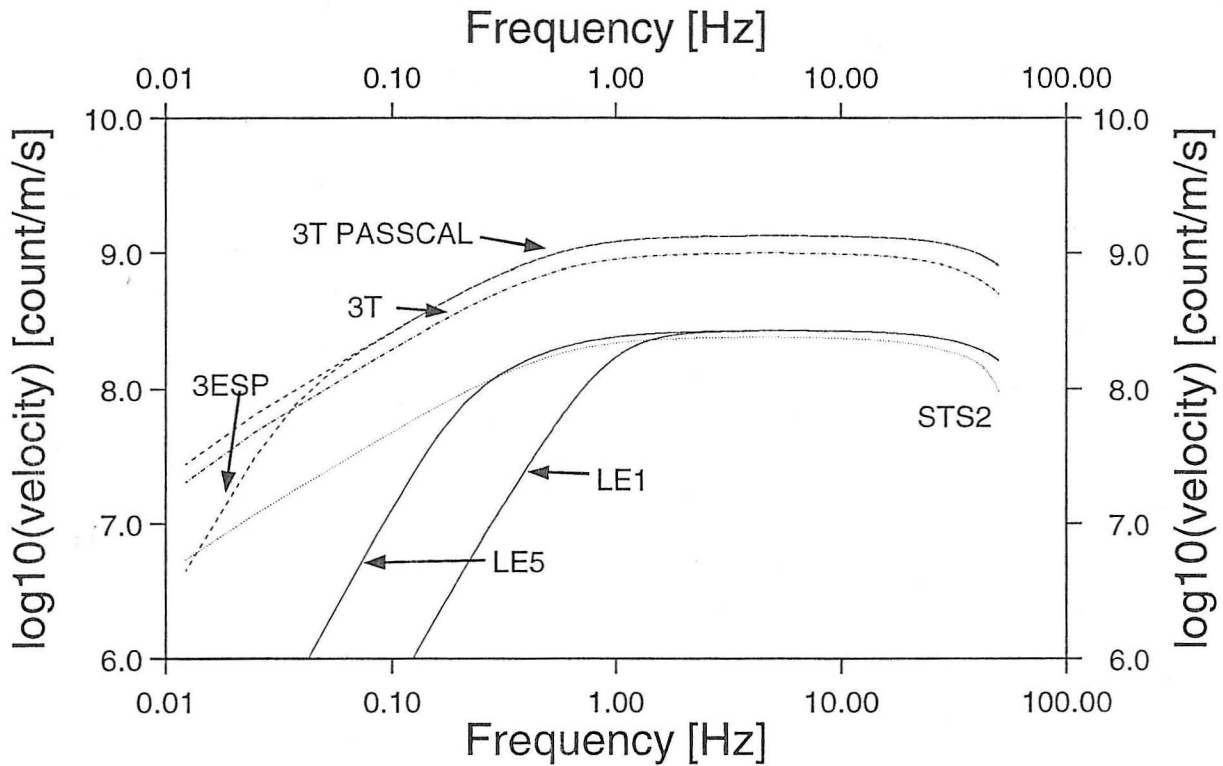
**VÍ-G98012-JA01
Reykjavík
Febrúar 1998**

INNGANGUR

SIL-kerfið er sjálfvirkt jarðskjálftamælakerfi, sem safnar gögnum, nemur, staðsetur og skráir jarðskjálfta, reiknar brotlausnir skjálfta og sendir út viðvaranir. Það samanstendur af mælitækjum, tölvum og hugbúnaði. Kerfið er afrakstur norræns verkefnis, sem var undirbúið og unnið á árunum 1986-1995. Markmiðið var að hanna kerfi, sem á sem ódýrastan hátt safnaði og ynni úr hágæðagögnum, í þeim tilgangi að reyna að skilja eðlisfræði jarðskjálfta með jarðskjálfta-spá í huga. Hönnunarforsendur kerfisins voru í upphafi að staðsetja, skrá og safna gögnum um alla skjálfta á Suðurlandsbrotabeltinu niður í stærð 0 á Richterkvarða [11]. Áætlað var að ná þessu markmiði með 8 jarðskjálftamælistöðvum á Suðurlandi auk stjórnstöðvarinnar í Reykjavík. Þetta gerir þó nokkrar kröfur til mælitækni og frágangs á mælum til að útiloka ýmsa hávaðavalda, svo sem vindhávaða og ýmiskonar rafmagnstruflanir. Mælistaðir eru valdir þar sem 1-2 m af jarðvegi hylja góða klöpp. Grafið er niður á klöppina og steypdur þar pallur, tunna er sett yfir og lok þar á. Grafið er frárennsli frá tunnunni og gengið frá því með drenröri og mól. Síðan er fyllt í kringum tunnuna með vikri eða mól. Þessi frágangur hefur reynst vel til að minnka vindáhrifin. Í tunnunni er nemi, merkjamótari, sem setur merkið á stafrænt form, tíma-merkir og sendir til tölvu og tengibox (mynd 1). Neminn er settur á postulínsflís til að forðast rafpúlsa, sem myndast geta þegar spennan í jörðinni er önnur en í tækjunum. Skermaður kapall er plægður frá tunnunni og heim að húsi þar sem tölvun er. Með því að senda merkið á stafrænu formi frá mælistað í tölvu minnka líkur á að rafsvið í loftinu hafi áhrif á merkið. Í tölvunni er breytileiki merkisins kannaður og ef útslag fer yfir fyrirfram gefin mörk eru upplýsingar sendar gegnum gagnanet Landssímans (x25) til Reykjavíkur (mynd 1). Í stjórnstöðinni eru bornar saman upplýsingar frá öllum stöðvum og út frá því metið í hverju tilfalli hvort um skjálfta er að ræða. Hugbúnaður sá sem notaður er í kerfinu er að hluta til skrifaður fyrir kerfið [2], en að hluta til var tekinn eldri hugbúnaður og aðlagður kerfinu [8, 9]. Nánari lýsingu á einstökum þáttum og yfirlit um kerfið er að finna í ýmsum tímaritsgreinum [12, 10, 1].



Mynd 1. Yfirlit yfir tækjabúnað SIL-kerfisins.



Mynd 2. Svörun jarðskjálftamæla SIL-kerfisins. Hver lína sýnir samverkandi svörun nema og stafsetjara, sem er sá sami í öllum tilvikum.

TÆKJABÚNAÐUR OG ÞRÓUN HANS

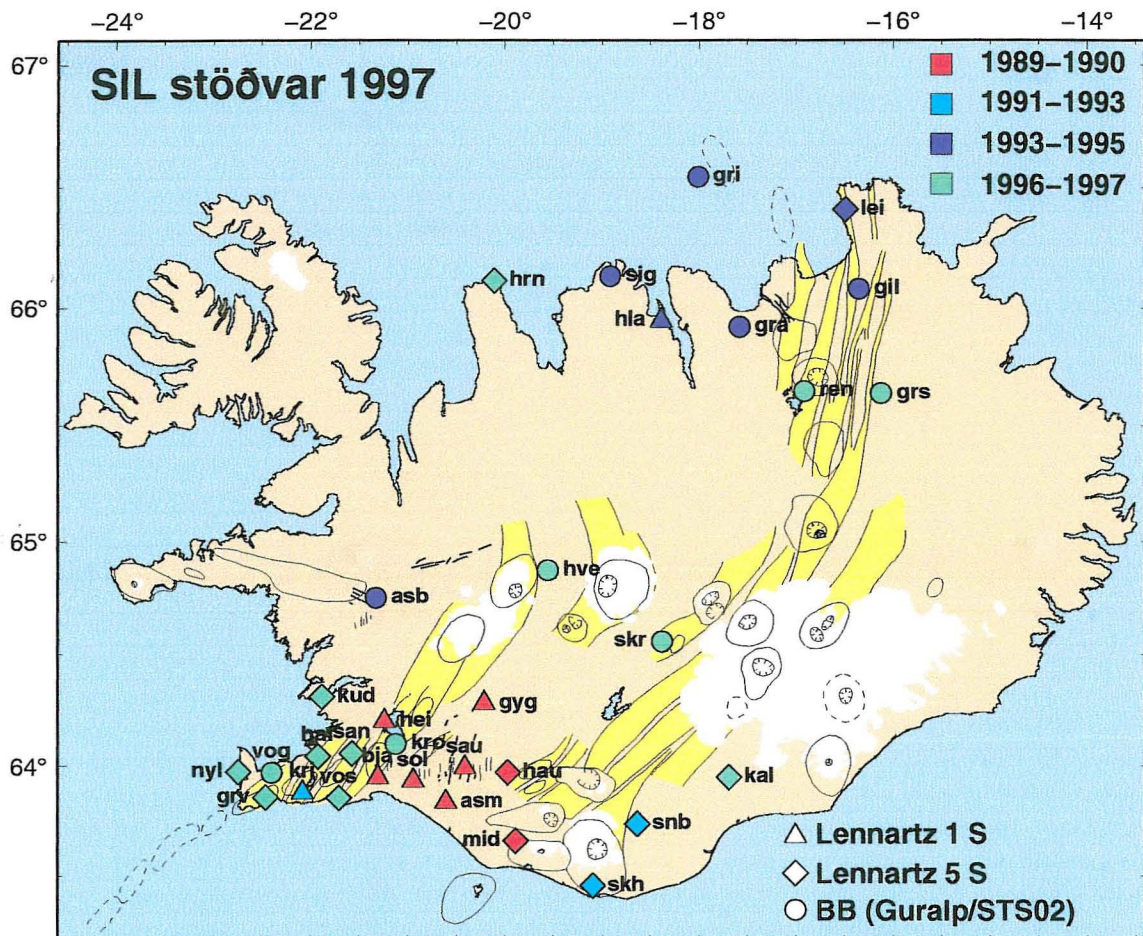
Tækjabúnaður á útstöðvum samanstendur af nema, merkjamótara (e. *Analog Signal Processor; ASP*), klukku, tengiboxum, tölvu, mótaldi og rafbakhjarli. Tækjabúnaður í stjórnstöð samanstendur af ethernet tengdum vinnustöðvum (tölvum).

Nemar

Í netinu eru notaðar 5 gerðir jarðskjálftanema. Þetta eru Lennartz nemar, LE-3D/1s (1 s nemar) og LE-3D/5s (5 s nemar), STS-2 breiðbandsnemar frá alþjóðlega breiðbandsnetinu IRIS og tvær gerðir GURALP breiðbandsnema, 3T og 3ESP, sem útvegaðir hafa verið af Háskólanum í Cambridge og Heita reits verkefninu [3]. Þeir nemar sem keyptir hafa verið af Veðurstofunni eru allir frá Lennartz. Þeir eru hlutfallslega ódýrir, en hafa reynst mjög vel. Þeir eru einfaldir og meðfærilegir og þurfa lítið eftirlit eða viðhald. Massa Guralp nemana þarf reglulega að „miðja“. Við rannsókn á nálægum skjálftum er yfirleitt ágætt að nota 1 s nema, en sums staðar, sérstaklega nálægt eldvirkum svæðum, er þörf á nemum sem spanna stærra tíðnisvið (mynd 2) [7, 4, 5].

Merkjameðhöndlun

Merkjamótari safnar gögnunum í sekúndu, pakkar þeim saman, tímamerkir og sendir yfir jarðkapal til nærliggjandi tölvu. Frá upphafi hefur verið notaður sami merkjamótari frá Nanometrics. Hann hefur 16 bita, 100 Hz stafsetjara sem er stýrt af ytri klukku með nákvæmni upp á millisekúndu [6]. Þessi ytri klukka er bæði notuð til að stjórna tíðni stafsetjarans og til að



Mynd 3. SIL-stöðvar í árslok 1997. Tegund nema á stöðvum má lesa úr tákningu, en aldur stöðva ræðst af lit.

tímamerkja gögnin. Þannig verður stafræna merkið sérlega nákvæmt í tíma. Upphaflega var klukkunni stýrt af Omega staðsetningarkerkjum frá sendi í Noregi, en er nú stýrt af tímamerki úr GPS staðsetningarkerfinu.

Klukkur

Frá upphafi hefur verið stefnt að því að gögnin hefðu tímanákvæmni upp á meira en 1 ms. Eins og segir var upphaflega notuð klukka, sem stjórnað var af Omega merkjasendingu frá Noregi. Omega merkið er púlsaröð, sem endurtekur sig á 10 sekúndna fresti. Þessi púlsaröð er notuð til að stjórna tíðni burðarbylgju sem fasalæsir tíðni kristalsins í klukkunni. Ákveðinn púls úr röðinni er svo notaður til að ákveða fasann, en ytri klukku þarf til að fá rauntímamann. Sú klukka þarf að hafa meira en 5 s nákvæmni. Vandamálið með Omega klukkuna var að sendistöðvarnar voru teknar niður í 1-2 vikur á hverju ári vegna viðhalds og eftirlits. Þá átti að vera hægt að nota merki frá öðrum Omega stöðvum, en aðstæður voru þannig að það reyndist erfitt að ná nógu góðu merki og voru því alltaf klukkuvandamál 1-2 vikur í ágúst. Á þeim tíma var einnig fyrirsjáanlegt að Omega staðsetningarkerfið yrði lagt niður og var það gert fyrr en varði, þ.e.

30. september 1997. Árið 1995 var því tekin sú ákvörðun að skipta yfir í GPS klukkur, sem voru þá komnar á markað með meira en millisekúndu nákvæmni og gefa auk þess rauntímamann. Til að geta notað sama stafsetjarann er framleidd burðarbylgja sem stjórnast af GPS merkinu og hún notuð til fasalæsingar, en sekúndumerkin eru notuð sem samhæfingarmerki. Klukkukortin fyrir Omega klukkuna voru hönnuð og smíðuð í samvinnu Veðurstofunnar, Uppsalaháskóla og Háskóla Íslands, en GPS klukkan var hönnuð og smíðuð í samvinnu Veðurstofunnar og Uppsalaháskóla. Tvær útgáfur voru gerðar af Omega klukkukortum. Sú fyrri náði innbyrðis nákvæmni uppá 5 ms en sú seinni innan við 1 ms. GPS klukkan er nákvæm upp á innan við 0.5 ms. Rauntími er miðaður við UTC tímakerfið. Til að ná sömu nákvæmni í rauntíma, sem er nauðsynlegt til að vinna saman gögn frá mismunandi mælikerfum, þarf að reikna með tímaleiðréttingu. Omega kortin höfðu innbyggða seinkun sem var mismunandi eftir útgáfum. Það fyrra þurfti að leiðrétta um 9.3 ms en það seinna um 26.0 ms. Bæta þurfti þessum millisekúndum við tímann til að fá UTC tíma frá klukkukortinu. Auk þess þarf að leiðrétta allan tíma, óháð klukkum, fyrir tímaskekkju sem kemur inn við stafræna síun og veldur seinkun upp á 68.75 ms. Þessa leiðréttingu þarf að draga frá. Allar þessar tímaleiðréttingar munu verða settar inn í gagnagrunninn.

Tölvur

Fyrstu tölvurnar voru einmenningstölvur með 386 örgjörva og auka reikniörgjörva. Þær voru með 4 Mb innra minni og 150 Mb hörðum disk. Næsta kynslóð voru 486 tölvur og þurfti þá ekki lengur auka reikniörgjörva, en innra minni og diskar voru sem áður. Þriðja kynslóðin af einmenningstölvum sem notuð er í kerfinu eru Pentium tölvur með 8 Mb innra minni, sumar jafnvel með 16 Mb og 32 Mb minni, og vart er lengur hægt að fá diska undir 1 Gb. Enn eru allar 3 kynslóðir í gangi, en innra minni hefur verið stækkað í 8 Mb í eldri vélunum. Stýrikerfið á vélunum hefur alla tíð verið Interactive Unix. Í tölvurnar eru sett i/o-kort fyrir samskiptin við merkjamótarann, og x25-kort fyrir samskiptin við stjórnstöðina í Reykjavík gegnum x25 hluta gagnanets Landssímans.

Mótöld

Mótöldin eru sérhæfð fyrir gagnanet Landssímans. Fyrstu mótöldin gerðu ráð fyrir tveggja línu sambandi frá stöðvunum inn á gagnanetið, en nýrri mótöld nota fjögurra línu samband og eru þau miklu áreiðanlegri. Flutningshraðinn út á stöðvarnar er gefinn upp sem 2400 baud, en er í reynd 9600 baud á öllum nýrri mótöldum.

Rafbakhjarl

Rafbakhjarlar eru á öllum stöðvum. Rafgeymum (ultrastart og Optima 850) hefur alls staðar verið bætt við og á að vera hægt að halda stöðvunum gangandi í 3-4 tíma án veiturfagns. Alls staðar eru auka hleðslutæki tengd á geymana til að halda þeim topphlöðnum.

ÞRÓUN KERFISINS

Fyrstu 8 stöðvar SIL-verkefnisins voru settar upp um áramótin 1989-1990 (mynd 3, tafla 1). Þær voru allar með 1 s Lennartz nemum. Hugbúnaður safnaði gögnum á hverri stöð fyrir sig með atburðaskráningu, óháður upplýsingum frá öðrum stöðvum. Samfelld gögn voru skráð í sífellu í 3 mínútna hringskrá í innra minni tölvunnar og bylgjugögnin fyrir þá atburði sem hugbúnaðurinn fann voru lesin úr hringskránni og skrifuð yfir í skrár á harða disknum. Eftir 3

bja	Bjarnastaðir	15. ágúst 1989	
hau	Haukadalur	8. desember 1989	
gyg	Gýgjarhólskot	10. desember 1989	
sau	Saurbær	12. desember 1989	
hei	Heiðarbær	13. desember 1989	
mid	Miðmörk	21. desember 1989	
asm	Ásmúli	3. janúar 1990	
sol	Sölvholt	20. febrúar 1990	
aku	Akureyri	júlí-ágúst 1992	1. febrúar 1995
skh	Skammadalshóll	28. ágúst 1992	
kri	Krísuvík	desember 1992	
snb	Snæbýli	10. febrúar 1993	
gra	Granastaðir	21. október 1993	
gil	Gilhagi	23. október 1993	
lei	Leirhöfn	24. október 1993	
sig	Siglufjörður	26. október 1993	
gri	Grímsey	21. janúar 1994	
asb	Ásbjarnarstaðir	1. ágúst 1994	
hla	Hella	1. febrúar 1995	
kra	Krafla	13. febrúar 1996	1. nóvember 1996
grs	Grímsstaðir	15. febrúar 1996	
kud	Kúludalsá	28. júní 1996	
hve	Hveravellir	30. ágúst 1996	
hrn	Hraun	30. ágúst 1996	
skr	Skrokkalda	2. október 1996	
kro	Krókur	8. október 1996	
san	Sandskeið	14. október 1996	
kal	Kálfafell	22. október 1996	
ren	Reynihlíð	3. nóvember 1996	
haf	Hafnarfjörður	16. janúar 1997	
nyl	Nýlenda	6. febrúar 1997	
vog	Vogar	23. febrúar 1997	
grv	Grindavík	23. febrúar 1997	
vos	Vogsósar	15. apríl 1997	

Tafla 1. *SIL*-stöðvar. Taflan sýnir hvenær stöðvarnar voru settar upp og í tveimur tilfellum teknar niður.

mínútur var síðan skrifað aftur yfir elstu gögnin í hringskránni. Allar atburðaskrár voru sendar til Reykjavíkur þar sem handvirkt var unnið úr skrám og skjálftar staðsettir. Á þennan hátt vann kerfið fyrsta árið.

Um áramótin 1990-1991 var sett ný útgáfa af hugbúnaði á stöðvarnar. Helsta breytingin var sú að nú voru samfelld gögn skrifuð bæði í 400 s hringskrá í innra minni og í 24 tíma hringskrá á harða disknum. Þetta opnaði fyrir möguleika á því að skrifa gögn úr hringskránum í varanlegar skrár á harða disknum í allt að 24 tíma eftir atburð. Seinasta stöð sem skipt var um útgáfu á var Haukadalur, sem komst í gagnið með þessari útgáfu 17. janúar 1991 um kl. 20, þ.e. í byrjun Heklugoss. Í kjölfar þessa var farið að keyra handvirkt sjálfvirkar staðsetningar á jarðskjálftum og forritin þróuð og „aflúsuð“, en bylgjugagnasöfnun var enn byggð á atburðaskráningu á hverri stöð. Þann 23. maí 1991 hófst síðan í stjórnstöð sjálfvirk samtímakeyrsla á sjálfvirkri staðsetningu skjálfta. Upp frá því hefur bylgjugagnasöfnun verið stýrt frá stjórnstöðinni og byggð á jarðskjálftastaðsetningum.

Næst var sett upp stöð á Akureyri, sem ekki var fastengd kerfinu með x25 sambandi, heldur hringdi inn gegnum upphringimótald og sendi fasaupplýsingar tvisvar á klukkutíma.

Haustið 1992 var nokkuð mikil virkni í Mýrdalsjökli og var þá bætt inn stöðvum til að vakta jökulinn, enda lýstu Almannavarnir yfir viðvörunarstigi við Kötlu. Vegna þessa viðbúnaðarstigs var hraðað þróun viðvörunarkerfis, sem sjálfvirk fylgist með breytingum á skjálftavirkni og komst það kerfi í gang þá um haustið. Það var miklum erfiðleikum bundið að koma stöðinni í Snæbýli í gang, svo hún er ekki skráð tekin í notkun fyrr en í febrúar 1993. Sama haust var sett upp stöð í Krísuvík (tafla 1).

Í byrjun nóvember 1993 var skipt um nema á stöðvunum kringum Mýrdalsjökul, þ.e. Snæbýli, Skammadalshóli, Miðmörk og Haukadur og settir þar 5 s Lennartz nemar.

Næsta skref var uppbygging SIL-skjálftastöðva á Norðurlandi. Var það gert að mestu í október 1993. Þá var Akureyrarstöðin gerð að fullgildri SIL-stöð og settar 4 nýjar stöðvar kringum Tjörneshöfnabeltið. Þrjár af stöðvunum á Norðurlandi voru settar upp í samvinnu við Háskólann í Cambridge, sem útvegaði breiðbandsnema á stöðvarnar, gegn því að fá send gögn um fjarlæga skjálfta. Guralp nemar frá Cambridge voru settir upp á Siglufirði, Granastöðum og í Gilhaga. Í Leirhöfn var settur 1 s Lennartz nemi. Sjötta stöðin á Norðurlandi var sett upp í Grímsey í janúar 1994 með 1 s Lennartz nema. Nokkuð þurfti að aðlaga hugbúnað í stjórnstöð þegar kerfið var í reynd orðið samsett úr tveimur netum, Norðurlandsneti og Suðurlandsneti og áframhaldandi stækkun netsins hefur fylgt þó nokkur hugbúnaðarþróun og -aðhæfing, sérstaklega í stjórnstöð.

Sumarið 1994 var sett upp alþjóðleg breiðbandsstöð í Borgarfirði á vegum IRIS, nánar tiltekið á Ásbjarnarstöðum. Þar eru bæði borholunemi og STS-2 breiðbandsnemi og eru gögn frá þeim send gegnum símakerfið og alnetið til Bandaríkjanna. Auk þess er merkið tekið frá STS-2 nemanum inn í SIL-kerfið.

Þegar reynsla fór að koma af Norðurlandsnetinu, kom í ljós að Akureyrarstöðin, sem staðsett var á sérhönnuðum palli í kjallara lögreglustöðvarinnar, var sérlega ónæg, miðað við aðrar SIL-stöðvar. Var því ákveðið að færa stöðina út fyrir bæjarmörkin og varð Hella á Árskógsströnd fyrir valinu sem ný stöð. Var stöðin færð 1. febrúar 1995.

Árið 1995 var ákveðið var að skipta úr Omega klukkum í GPS klukkur. Fylgdi því nokkur þróunarvinna, bæði við smíði klukkanna og við breytingar á hugbúnaði. Þessi vinna var nokkuð tímafrek, en næsta skrefið í uppbyggingu kerfisins var tekið þegar henni lauk. Fyrstu stöðvarnar sem settar voru upp með GPS klukkunum voru Krafla og Grímsstaðir og voru það auk þess síðustu stöðvarnar með Guralp nemum frá Cambridge, sem þá voru orðnar fimm. Síðan var skipt um klukkur á eldri stöðvum. Næsta árið voru settar upp stöðvar á Kúludalsá, miðhálandinu, Kálfafelli, Reykjanesskaga og höfuðborgarsvæðinu og Kröflustöðin var flutt í Reynihlíð vegna of mikils bakgrunnshávaða á Kröflusvæðinu. Af þessum stöðvum voru 4 settar upp í samvinnu við svokallað Heita reits verkefni, sem er samvinna milli Durhamháskóla, Princetónháskóla, Jarðfræðistofnunar Bandaríkjanna í Menlo Park og Veðurstofu Íslands. Settir voru Guralp 3T nemar á Hveravöllum og Króki, en 3ESP nemar í Vogum og á Skrokköldu. Auk þess var skipt um nema í Grímsey og þar settur Guralp 3T nemi frá Heita reits verkefninu. Samtímis var skipt um á Leirhöfn og settur þar 5 s Lennartz nemi. Þann 8. mars 1997 sló niður eldingu í stöðina á Skrokköldu, með þeim afleiðingum að nánast allt, frá nema að tölvu, eyðilagðist. Tók nokkrar vikur að koma stöðinni upp aftur, enn með 3ESP nema frá Heita reits verkefninu. Þar var síðan settur ljósleiðarakapall fyrir merkjasendingu milli tunnu og tölvu, því bæði staðsetning og sambýli við annan tæknibúnað gera stöðina viðkvæma fyrir eldingum.

Þróun PC-tölvanna hefur verið slík að þegar seinustu vélarnar voru settar upp var 8 Mb innra minni orðinn staðalbúnaður í vélunum og diskar ekki fáanlegir undir 500 Mb. Þessar seinustu vélar eru því allar settar upp með 75 klukkustunda hringskrár. Nú eru diskar vart undir 1 Gb og stendur því til að stækka hringskrárnar svo þær geymi gögn í allt að 10 daga.

Til þess að geta safnað nægum gögnum fyrir fjarlægu skjálftana var bætt við hugbúnaði sem safnar gögnum af lægri tíðni. Sá hugbúnaður er nokkuð frekur á reiknigetu og minnispláss og var í kjölfarið bætt 4 Mb við innra minni flestallra eldri tölva, svo nú er 8 Mb innra minni á öllum stöðvum nema einni. Þegar þetta er skrifað er langt komið með að undirbúa uppsetningu stöðva við Vatnsfell (Þóristind), Svartárkot í Bárðardal og Aðalból í Hrafnkelsdal og verið er að huga að staðsetningu á Kvískerjum, Grímsfjalli og í Öskju.

Heimildir

- [1] Böðvarsson, R., S. Th. Rögnvaldsson, S. S. Jakobsdóttir, R. Slunga & R. Stefánsson 1996. The SIL data acquisition and monitoring system. *Seis. Res. Lett.* 67, 35–46.
- [2] Böðvarsson, R. 1988. Design of the data acquisition system for the south iceland lowland (sil) project. Tech. rep., Veðurstofa Íslands. Á ensku.
- [3] Erlendsson, P., R. Stefánsson, G. R. Foulger, B. R. Julian, G. Nolet, W. J. Morgan, K. Vogfjörð, S. Jakobsdóttir, M. Pritchard, R. Allen, B. H. Bergsson & S. Ragnarsson 1996. Heiti reiturinn rannsóknarverkefni til að kanna djúpperð Íslands og skjálftavirkni. nr. 1: Uppsetning mælanets sumarið 1996. Tech. rep., Veðurstofa Íslands.
- [4] Guralp 1995. Test and calibration data, cmg-3t serial no: T3192, t3193, t3194, t3196 and t3197. Guralp Systems Limited. Á ensku.
- [5] Lennartz 1990. Reliable measurements. le3d/5s documentation, rev. 1.2. Lennartz electronic GmbH. Á ensku.
- [6] Nanometrics 1990. Osd3-1612 iceland configuration. Information package, Nanometrics, Inc., Ontario, 18 pp. Á ensku.
- [7] Rögnvaldsson, S. Th., R. Böðvarsson, R. Slunga & S. S. Jakobsdóttir 1995. The transferfunction of the sil seismic data acquisition system. Tech. rep., Icelandic Meteorological Office.
- [8] Slunga, R. 1981. Earthquake source mechanism determination by use of body-wave amplitudes - an application to swedish earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.* 71, 25–35.
- [9] Slunga, R. 1991. The sil report. Implementation of software for earthquake analysis in the sil system. Tech. rep., Veðurstofa Íslands. Á ensku.
- [10] Slunga, R., S. Th. Rögnvaldsson & R. Böðvarsson 1995. Absolute and relative location of similar events with application to microearthquakes in southern Iceland. *Geophys. J. Int.* 123, 409–419.
- [11] Stefánsson, R., H. Bungum, R. Böðvarsson, J. Hjelme, E. Husebye, H. Johansen, H. Korhonen & R. Slunga 1986. Seismiskt datasamlingssystem för södra Íslands lågland. Icelandic Meteorological Office, report.
- [12] Stefánsson, R., R. Böðvarsson, R. Slunga, P. Einarsson, S. Jakobsdóttir, H. Bungum, S. Gregersen, J. Havskov, J. Hjelme & H. Korhonen 1993. Earthquake Prediction Research in the South Iceland Seismic Zone and the SIL Project. *Bull. Seism. Soc. Am.* 83, 696–716.