



Veðurstofa Íslands Greinargerð

Svanbjörg Helga Haraldsdóttir

Jarðskjálftamælingar til að skynja snjóflóð - tilraunaverkefni

VÍ-G96023-ÚR22
Reykjavík
Júní 1996

Veðurstofa Íslands - snjóflóðavarnir

**Jarðskjálftamælingar til að skynja snjóflóð
Tilraunaverkefni**

Svanbjörg Helga Haraldsdóttir

Jarðskjálftamælingar til að skynja snjóflóð Tilraunaverkefni

Inngangur

Snjóflóð féll utarlega í hlíðinni ofan við Neskaupstað 1974, daginn áður en snjóflóðin mannskæðu féllu í desember. Þar urðu börn vör við drunur og einnig amma þeirra. Þess vegna vaknaði spurning um skynjara, sem fyndi snjóflóð og gæti gefið vísbendingu um snjóflóðahrinu í upphafi hennar.

Í vetur hefur verið gerð rýmingaráætlun fyrir alla þéttbýliskjarna helstu snjóflóðabæjanna, og menn eru meðvitaðari nú um snjóflóðahættu en 1974. Þó myndi auka öryggið enn meira að hafa skynjara, sem skynjaði snjóflóð, um leið og eitthvað færi af stað og gæti því gefið merki um hættu. Þetta gæti skipt sköpum við rýmingu, þegar blaut flóð falla, en oft er erfiðara að gera ráð fyrir þeim út frá veðurspám en þurrum flóðum. Rýming gæti hafa átt sér stað á 1. jafnvel 2. stigi út frá veðurspám, en viðvörunarkerfi út frá skjálftamælingum gæti gefið viðbótarupplýsingar, sem nýtast myndu til að afstýra hættu, rýma enn meira.

Með tímanum mætti með slíkum mælingum vonandi fá umfang og staðsetningu snjóflóða. Síðan mætti hugsa sér að nýta gögnin með í upplýsingakerfum “neural networks”, þar sem samkeyrt væri veður, snjóalög, snjóflóð og jarðskjálftamerki. Frakkar og Svisslendingar og eflaust fleiri nota slík kerfi til að spá um snjóflóðahættu, en þeir nýta veður og snjóalög fyrst og fremst. Vonandi verður hægt að fá í framtíðinni enn betri spár með þessum viðbótarþáttum.

Snjóflóð og jarðskjálftamælingar

Snjóflóð má skynja með jarðskjálftamælingum, en þær eru notaðar í Noregi í rannsóknarstöðinni Ryggfonn snjóflóðastöðinni til að skynja snjóflóð og finna út frá þeim hraða þeirra og tímasetja þau. Skynjarar eru hafðir í braut snjóflóðanna. Margt annað en snjóflóðin þar kemur fram, en ekki hefur verið nánar greint hvaða merki það eru.

Bjarni Bessason vann hjá NGI í nokkur ár. Hann sagði að þeir tækju raunverulega aðeins sterkasta merkið, ekki tímaröð og þá tíðnidreifingu. Þeir nota þetta, eins og kom fram á námskeiði í janúar 1996 við HÍ (kennari Norem), til að reikna út hraða snjóflóðanna.

Bryndís Brandsdóttir á RHÍ sagði, að á jarðskjálftamælistöðvum á jöklum hafi komið fram snjóflóð, en ekki hefur verið lögð nein vinna í úrvinnslu þeirra.

Páll Einarsson á RHÍ sagðist hafa séð greinileg merki um snjóflóð í Hamragili eða þar í grennd og væri það auðgreinanlegt frá öðrum “truflunum” (noise).

Í samantekt frá CEMAGREF um fund í Barcelona 12. september 1994, “Capital Humain et Mobilité”, gerir Françoise Sabot frá háskólanum í Barcelona grein fyrir jarðskjálftamerkjum vegna snjóflóða og tíðnigreiningu þeirra. Merkin virðast ekki ósvipuð P- og S-bylgjum, en tíðnidreifingin er önnur. Sýnd er tíðnidreifing tveggja snjóflóða. Það fyrra er að mestu leyti um 15-45 Hz, en það seinna um 20-35 Hz. Venjulegir jarðskjálftar hafa lægri tíðni, eru að mestu á bilinu 1-10 Hz (sjá afrit úr samantektinni aftast).

Hvað kemur til greina?

Ég ræddi við Ragnar Stefánsson, Steinunni Jakobsdóttur, Bryndísi Brandsdóttur, Pál Einarsson, Gísli Eiríksson og Bjarna Bessason um, hvaða möguleika þau teldu vera á snjóflóðarannsóknum með jarðskjálftamælingum og hver yrði kostnaður vegna tækja.

Jarðeðlisfræðisvið VÍ

Ragnar Stefánsson sagði sjálfsagt að nota “digitala” skráningu, annað væri svo frekt á vinnu og fengjust litlar upplýsingar út úr merkjum, sem ekki væri hægt að greina með aðferðum notuðum við digital skráð merki. Hann taldi að annað hvort ætti að skipuleggja vel framhaldið og setja upp varanlega mæla, eða setja upp færanlega mæla og fá þá leigða til tilraunaverkefnis.

Ragnar stakk upp á að setja upp net af skynjurum í hlíð. Hann sagði, að setja mætti upp lágmark 3 skynjara með einum þætti (component) og tengja þá alla saman, en þá gæti ein SIL-stöð þjónað þeim.

Hann sagði jarðskjálftamæla vera notaða í Washington fylki í Bandaríkjunum til að fylgjast með aurskriðum og gera rannsóknir á þeim.

Ragnar nefndi, að Reynir E. Böðvarsson og Ragnar Slunga væru með Evrópustyrk til að skoða “noise” og benti á að hafa samband við þá um þetta verkefni. Einnig hafði Knútur Árnason, sem er á þjónustusviði VÍ, þegar hann var á Orkustofnun, verið að hugsa um jarðskjálftamælingar á Reykjanesi til að skynja “noise” vegna jarðhitakerfis.

Við skoðuðum saman bylgjuritin frá Barcelona-fundinum, þar sem fram kemur að tíðnidreifing skjálftabylgna vegna snjóflóða er hærri en venjulegra jarðskjálfta. Ragnar nefndi þá einnig að bílar gæfu frá sér háa tíðni og drægju stutt.

Steinunn Jakobsdóttir nefndi að jarðskjálftamælir væri á Siglufirði og mætti skoða gögn frá honum, ef fréttist af snjóflóði þar, innan sólarhrings frá því það féll. Á öðrum snjóflóðastöðum eru ekki jarðskjálftamælar frá VÍ.

SIL-stöð hjá jarðeðlisfræðisviði kostar að meðaltali um 1,8 milljónir kr. með öllu.

Raunvísindastofnun Háskóla Íslands

Bryndís nefndi, að ódýrasti möguleikinn væri að setja upp einn mæli til prufu til að sjá hvað kæmi fram og læra að þekkja snjóflóðin á honum.

Hún sagði þau á Raunvísindastofnun hafa séð snjóflóð á skjálftamælum á Grímsvatnsvæðinu, en Páll sagði þau hafa séð snjóflóð greinilega, sem varð í Hamragili, eða þar í grennd, og væru snjóflóð vel aðgreinanleg frá öðrum skjálftum eða “noise”.

Bryndís sagði, að til væru “Reftek”- tæki, sem kosta um 15000 dollara, en Bjarni hjá HÍ notar þau (sjá neðar). Þau væru gagnasöfnunartæki, skráningartæki, sem hefðu 1 Gb harðan disk. Nemi, sem er 3ja “komponenta”, kostar um 1500 dollara, ef tíðnisviðið er yfir 2 Mz. Ef æskilegt er að fara niður fyrir 1 Hz eru þeir miklu dýrari.

Bryndís sagði ódýrast að setja upp til prufu gamlan mæli frá RHÍ með tromlu. Kostnaðurinn væri ekki mikill, hægt að fá lánuð tækin hjá RHÍ, en koma þyrfti upp tromlu heima hjá snjóathugunarmanni og sjá til þess að merkið kæmist þangað. Þetta getur verið nokkur vinna og kostnaður væri við kapal og jafnvel senditæki, og ekki gert til frambúðar. Umsjón með slíku tæki krefst þess að skipt sé um pappír daglega á veturna.

Verkfræðistofnun Háskóla Íslands og Vegagerðin á Ísafirði

Bjarni Bessason vann hjá NGI í nokkur ár, eins og komið hefur fram. Hann hefur í samráði við Gísla Eiríksson hjá Vegagerðinni á Ísafirði, sett upp skjálftamæli í vegskála við gil nr. 15 í Óshlíð, sem er milli Ísafjarðar og Bolungarvíkur, en þar eru mjög tíð snjóflóð. Aðeins einn skynjari er þar nú, en tæki, sem voru til í Háskólanum, eru notuð þar. Þarna var reynt áður að setja upp viðvörunarkerfi tengt jarðskjálftamæli. Merkin voru ekkert flokkuð, svo viðvörun kom við alla hreyfingu, hvort sem það var brim, grjóthurn eða snjóflóð. Einnig geta stór farartæki gefið frá sér sterkar "jarðskjálftabylgjur".

Kerfið hefur nú verið í gangi í allnokkrar vikur, en óvenju snjólétt hefur verið og lítil sem engin reynsla komin. Eitt snjóflóð telja þeir hafa fallið og eina aurskriðu.

Munur nú og á fyrri tilraun er, að þá var eitt útslag mælt, en nú er samfelld tímaröð mæld. Skynjarinn er svokallaður sterkhröðunarmælir, mælir upp í hröðunina 1 g (um 10 m/s^2), en mælir VÍ eru að hans sögn miklu næmari. Trukkar setja takmörk á næmni, sem hægt er að nota. Það ætti að vera minna vandamál hjá okkur en hjá Vegagerðinni, t.d. í Neskaupstað, þar eð við getum sett skynjara upp í hlíð fjærri umferð. Þeir hringja nú upp mælinn og athuga þannig hvað skráðst hefur.

Tækin eru dýr, en ein stöð uppsett kostar um 700 þús. - 1,5 millj. kr. Kostnaður er háður uppsetningarstað, en kapall kostar um 500 kr./m. Rista þarf niður kapal, en fer eftir aðstæðum á staðnum hve auðvelt það er. Ef vel á að vera þarf að hafa rafmagn og símalínu. Síðan þarf viðbótarnema, en þeir eru nauðsynlegir, ef á að vera hægt að skoða meira en hvort eitthvað gerist eða ekki. Allt kostar þetta sitt, en auðvitað er það að einhverju leyti háð staðarvali, skynjaragerð og síðar búnaði kringum kerfið.

Staðhættir

Gert er ráð fyrir að tilraunaverkefnið sé sett upp í Neskaupstað. Þétt íbúðarbyggð er neðan Drangaskarðs og Tröllagilja, sem eru meðal hættulegustu snjóflóðasvæða þar, en koma mætti fyrir skynjurum við þau bæði. Vatnstankur er í um 70 m hæð yfir sjó undir Urðarbotnum, vestan við Drangaskarð, en austan við Tröllagilin, og er þar rafmagn. Frá honum eru um 500 m að Tröllagiljum og milli 500 og 600 m út í skógrækt, sem er utan við Drangaskarð, milli þess og Nesgils. Alls er hlíðin ofan þéttustu byggðarinnar um 2,5 km löng. Staðsetning nema á meðan verkefnið er á tilraunastigi, þyrfti þó sennilega að vera tengd vatnstanknum og myndi það eflaust takmarka fjarlægð frá honum. Æskilegt væri að spanna hlíðina alla og væri það best með því að dreifa meira nemum, og hafa fleiri en 3. Mikil hættusvæði eru einnig innar í bænum, en þar eru aðallega fyrirtæki. Setja þyrfti upp fleiri en eina jarðskjálftastöð ef spanna ætti allt svæðið.

Ekki er útilokað að gera slíka tilraun annars staðar en í Neskaupstað, en til að viðvörunargildi verði úr slíkri uppsetningu þarf kerfið að skynja flóð frá farvegum, sem skila oftast af sér flóðum, en þeir hættulegustu yfir þéttbýliskjörnum. Tilraunastarfsemin gæti þó farið fram hvar sem er þar sem oft hleypur, ef ekki ætti að nýta viðvörun frá kerfinu strax. Það tekur snjóflóð stuttan tíma að komast úr 700 m hæð niður á láglandi. Reiknað er með að hraði snjóflóðs geti orðið um 60 m/s. Ef reiknað er með meðalhraða flóðs um 30 m/s og 1200 m langri fallbraut væri flóðið 40 sek á leiðinni. Viðvörun um leið og stórt flóð fellur yfir byggð hefði því líklega ekki mikið gildi undir þeim farvegi sem fyrst hleypur, en gæti haft áhrif fyrir aðra farvegi.

Niðurstöður

Hér er lýst 3 möguleikum og er sá æskilegasti fyrst og síðan koll af kalli.

1. Ragnar Stefánsson ráðlagði uppsetningu kerfis svipað og gert er á jarðeðlisfræðisviði, og ráðlagði eindregið að byrja þannig að hægt væri að byggja framtíðarkerfi á því, þ.e. nota "digitalt" kerfi frá upphafi. Til að byrja með væri kerfið notað til að læra á merkin og tíðnigreina þau, en síðan að setja upp viðvörunarkerfi út frá þeirri þekkingu, sem fengist.

Setja þarf lágmark þrjá skynjara í hlíð og SIL-kerfi til að annast þá. Símtenging þarf að vera möguleg og þá væri hægt að fá merkin bæði til Reykjavíkur og til athugunarmanns í Neskaupstað. Þetta er hægt að leysa með upphringimótaldi til að byrja með, en þyrfti að vera föst tenging, ef viðvörunarkerfi verður sett upp.

Meðalkostnaður er um 1,7-1,8 millj. kr. fyrir SIL-stöð. Líklega mætti spara eitthvað með því að nota ódýrari skynjara en jarðeðlisfræðisvið VÍ notar og einnig má hugsanlega nota ódýrari "digitizer" en þar er gert, en einn slíkur þarf að vera fyrir hvern skynjara.

2. Bryndís Brandsdóttir á Raunvísindastofnun sagði að mismunandi kerfi væru notuð við jarðskjálftamælingar. Hún nefndi þar SIL-kerfið, kerfi sem Bjarni Bessason notar (sjá næsta lið) og svo "gamaldags" uppsetning með tromlu í húsi athugunarmanns. Það síðastnefnda er ódýrast og líklega einfaldast í upphafi. Til þess þyrfti skynjara og kapal, sem tengdur væri í hús athugunarmanns eða að merki væri sent þangað með fjarskiptabúnaði, og síðan væri "tromla" inni hjá honum, með síritandi penna. Skipta þyrfti um pappír einu sinni á sólarhring og einungis nota þetta kerfi á veturna, en tækin væri hægt að fá lánuð.
3. Bjarni Bessason í Háskóla Íslands hefur notað "Reftek" tæki eða stöðvar. Þær kosta um 1,5 millj. kr. hver. Eins slík er nú til prufu í Óshlíð, í vegskála undir farvegi, sem hleypur mjög oft, og ætti því í framtíðinni að geta gefið viðvörun um hættuástand, en slíkt er ekki uppsett ennþá.

Ragnar tók saman upplýsingar eftir samtöl okkar og læt ég fylgja með samantekt þeirra í Viðauka A fyrir aftan.

Jarðskjálftamælingar til að skynja snjóflóð

Hvað þarf af tækjum?

Kostnaður við tækjakaup.

- jarðskjálftamælar (geófónar) 3+ stykki
- tengingar
- rafgeymar
- annað efni

Kostnaður við viðhald tækja, varahlutir o.þ.h.

- jarðskjálftamælar (geófónar) 3+ stykki
- tengingar
- rafgeymar
- annað efni

Kostnaður við rekstur tækja

- orka
- segulbönd
- tölvubúnaður?
- annað

Mannafli

Kostnaður við uppsetningu tækja

- undirbúningur, pöntun og kaup

Kostnaður við viðhald tækja

- ferðir/ár
- dagpeningar, tími

Kostnaður við rekstur athugana

- snjóathugunarmaður fylgist með skráningum
- snjóathugunarmaður skiptir um rafgeyma, þegar þarf og sér um lágmarksviðhald
- ferðir/ár
- dagpeningar, tími

Annað, hvað?

Fylgirit frá Ragnari Stefánssyni, lagað til af SHH

Jarðskjálftamælingar til að skynja og vara við snjóflóði.

Þetta verkefni er á margan hátt skylt SIL-verkefninu svokallaða á Íslandi. Í því eru smáskjálftar (sem stöðugt eiga sér stað) notaðir til að lesa jörðina og þær breytingar sem þar eiga sér stað. Hin mikla sjálfvirkni kerfisins gerir það mögulegt að nýta gífurlegt magn af upplýsingum. Nú þegar er í gangi viðvörunarkerfi sem byggist á sjálfvirkni kerfisins í úrvinnslu smáskjálfta. Einnig höfum við tekið inn í viðvörunarkerfið samfelldan hávaða (noise) sem gjarnan er tengdur við t.d. eldgos, suðu í jarðhitakerfi o.s.frv. Við erum þó miklu styttra á veg komin í að analýsara hávaða sjálfvirkir hvað varðar eðli og upptök. Þetta er eitt af því sem við erum að reyna að fikra okkur inn á eftir því sem kapasítet okkar leyfir og fleiri verkefni bætast við þar sem þörf er á þessu. Eitt er víst að SIL-kerfið býður upp á mjög góðan grunn til að gera slíkt.

Segja má að SIL-kerfið hafi fyrst og fremst verið notað hér á landi á nokkuð stórum svæðum. Yfirleitt eru 20 km eða lengra milli stöðva. Ekkert er því til fyrirstöðu að nota SIL-kerfið á smærri svæðum, þar sem 1 km eða styttra er á milli stöðva. Kerfið er mjög vel hæft til að fylgjast með óreglulegum breytingum ýmiss konar, þar sem það byggir á að nema fasa almennt og á samtíma greiningu og sammanburði á þeim milli stöðva. Þróun SIL-kerfisins til notkunar á smærri svæðum og til að greina og staðsetja hávaðaupptök tengist mjög notkun SIL-kerfisins við eftirlit á áhrifum jarðhitavinnslu sem er að hefjast bæði á Nesjavöllum sem og í Svartsengi. Í Eyjafirði er að hefjast rannsóknarverkefni þar sem SIL-kerfi á litlu svæði er notað til að fylgjast með áhrifum niðurdælingar o.fl. Í Svíþjóð er verið að hefja uppbyggingu færanlegs SIL-kerfis, sem stefnt er að nota á litlum svæðum og við breytilegar aðstæður. Í þessum verkefnum er stefnt að því að nýta bæði örlitla jarðskjálfta og allt niður í samfellt suð og túlka það sem er að gerast í jörðinni út frá því.

Snjóflóð sem leysast úr læðingi með broti, sem rekast á kletta og nibbur á leið sinni og ásamt með straumnúningi mynda smáskjálfta og tiring, þar sem í eru bæði nemanlegar P og S bylgjur, og samfelldur hávaði. Hvort tveggja er unnt að mæla og greina frá ýmis konar bakgrunnshávaða með réttari mælitækni og hugbúnaði sem til þess dugir. Hæfnin til að gera þetta, og það sjálfvirkir, er að miklu leyti þegar fyrir hendi í SIL-kerfinu og stefnt er að frekari þróun í þessa átt. Hér er samt um að ræða fræðilegt þróunarverkefni og þróun á sviði hugbúnaðar sem miðast við skriðuhlaup og snjóflóð. Sérhvert lítið flóð, skriður eða grjóthnullungar geta kennt okkur hverju megi búast við á undan og í stærri flóðum. Öll þessi úrvinnsla á að geta farið fram á örstuttum tíma þannig að auðvelt er að breyta kerfinu úr rannsóknarkerfi í viðvörunarkerfi.

Ég geri eftirfarandi tillögu um rannsóknar- og þróunarverkefni, sem miðar að árangri við að fylgjast með snjóflóðum og skriðum fyrir ofan Neskaupstað, en um leið við að nýta þann árangur á öðrum stöðum.

Settar verði upp stöðvar á þremur stöðum t.d. í 400-1000 metra fjarlægð frá Neskaupstað. Stöðvarnar verði tengdar með kapli að miðstöð í Neskaupsstað þar sem verður SIL-stöð (PC tölva með UNIX). Auk þess sem unnt er að fylgjast með atburðum á þeirri tölva í Neskaupstað verður upphringisamband við Veðurstofu (helst beint við SIL-miðstöðina, sem gerir úrvinnslu og skoðun auðveldar). Þessu upphringisambandi má svo breyta í fasttengt x25 eða x28 samband þegar talið er mögulegt að hafa viðvörunargagn af kerfinu, sem ætti að verða mjög fljótlega eftir að einhverjar nemanlegar hræringar hafa sést úr hlíðinni.

Hér fyrir neðan er tafla sem sýnir kostnað við sambærilegt SIL-jarðskjálftakerfi.

Gera verður ráð fyrir að stafræn gögn komi frá hverri mælistöð. Hugsanlegt er að nota ódýrari AD digitizer en er í SIL kerfinu. Þó er öruggara að nota sæmilega góðan digitizer á fyrsta stigi þróunar og fara hugsanlega í þróun í átt til ódýrari digitizers seinna meir ef mælistöðvum og eftirlitsstöðum fjölga mikið. Þess má þó geta að 1 digitizer ásamt PC tölva í SIL kerfinu gerir sambærilegt gagn og Reftek skráningartæki (og rúmlega það) sem eitt sér virðist kosta 1.5 milljónir. Gert er ráð fyrir 3gja ása jarðskjálftamæli fyrir háa tíðni á hverjum satð, sem rétt er að gera á þessu stigi þótt hugsanlega yrði síðar að fjölga mælistöðvum og gera mælana eins áss og þar með eitthvað ódýrari. Það er reyndar líka

hugsanlegt að finna megi 3gja ása hátíðni jarðskjálftamæla sem væru eitthvað ódýrari en Lennartz, en mundu vera nógu góðir fyrir snjóflóð.

Mikill kostnaður er lagður í SIL kerfinu í frágang til að gera kerfið öruggara og til að draga úr hávaða sérstaklega af vindtruflunum. Reynt er að hafa nema neðan yfirborðs o.s.frv. Allt þetta er nauðsynlegt í snjóflóðakerfinu.

Mikilvægt er að við áætlun um þetta verkefni verði gert ráð fyrir vinnu við úrvinnslu og þróun (a.m.k. 1/2 mannár fyrsta árið) og samvinnu við Jarðeðlissvið Veðurstofunnar og við Geofysiska Institutionen í Svíþjóð, sem væntanlega mundi kosta einhver hundruð þúsunda.

Kostnaður við 3gja stöðva SIL jarðskjálftamælanet:

Stofnkostnaður 3. apríl 1996

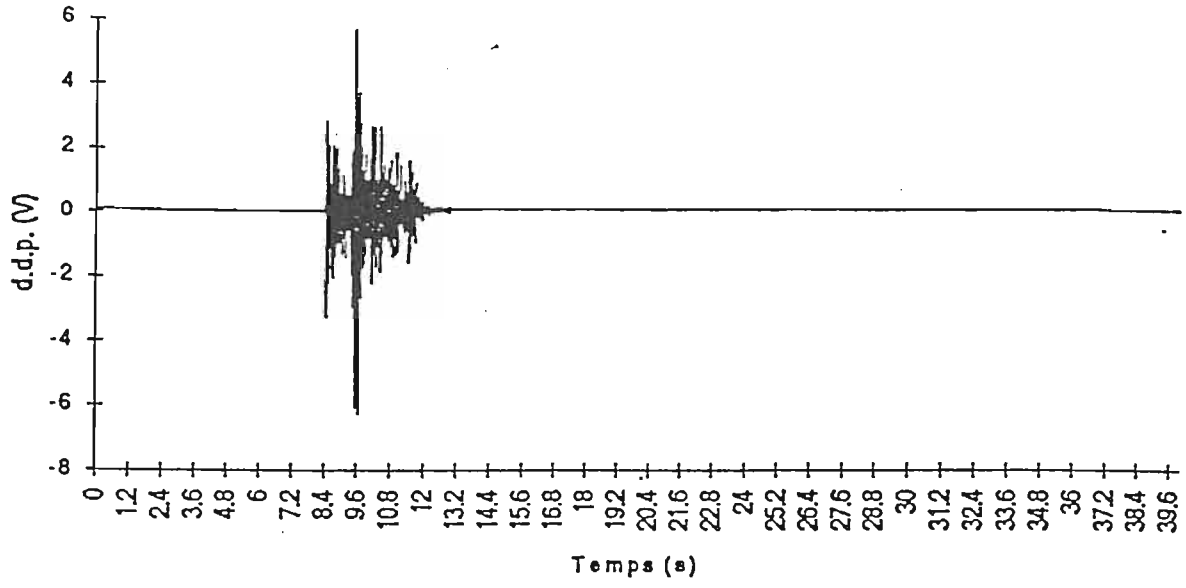
Efnis- og flutningskostnaður v/3ja SIL-jarðhýsa og kaplar	555.000
Aðkeypt verktakaþjónusta	350.000
Kostnaður v/tækja- og tölvubúnaðar m/VSK	2.210.400
Launakostnaður starfsmanna VÍ	59.000
Ferðakostnaður starfsmanna VÍ	37.000
Alls	3.211.400

Sundurliðun á kostnaði v/tækja- og tölvubúnaðar

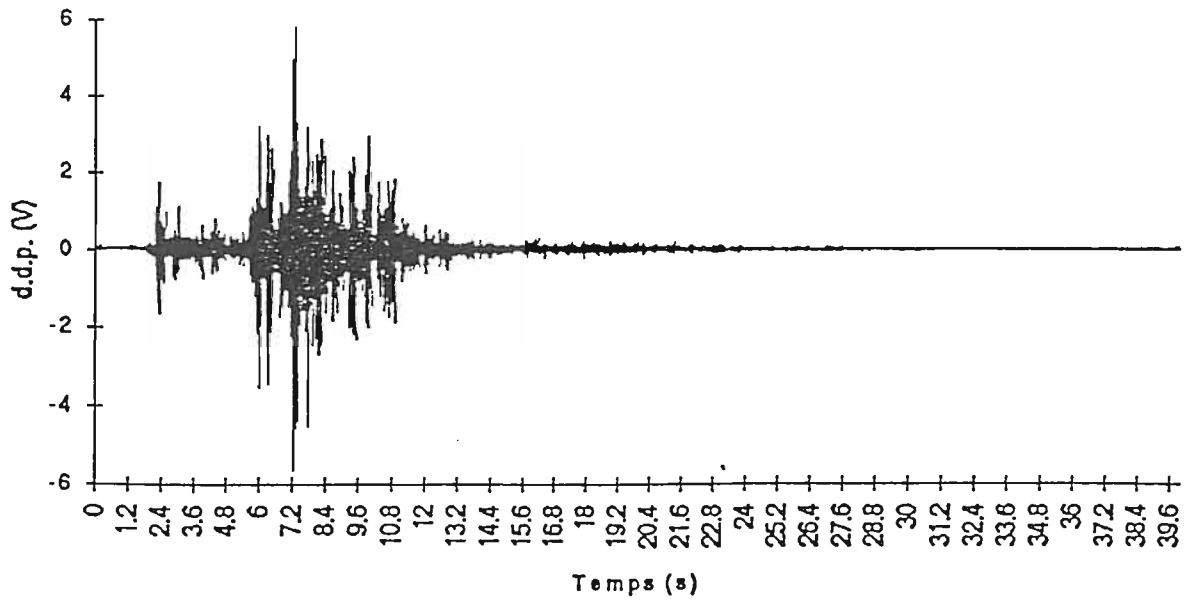
1 sek. nemi (Lennartz) 3 stk.	765.000
I/O kort (Digiboard)	49.500
A/D breyta, klukka og tilheyrandi * 3	740.000
Tölva 486dx, 8Mb, 420 Mb eða samsv.	130.000
Varaafgjafi og geymar	30.000
Spennugjafi og tengibox	30.000
Skápur	35.000
Póstur og sími (allur kostnaður)	50.000
Alls	1.829.500
Af þrem fyrstu liðunum á eftir að reikna með VSK 24,5%	380.853
Alls	2.210.400

Rekstrarkostnaður á ári væri um 300.000 kr. skv. RSt. auk vinnu við þróun og úrvinnslu.

Signal d'une avalanche



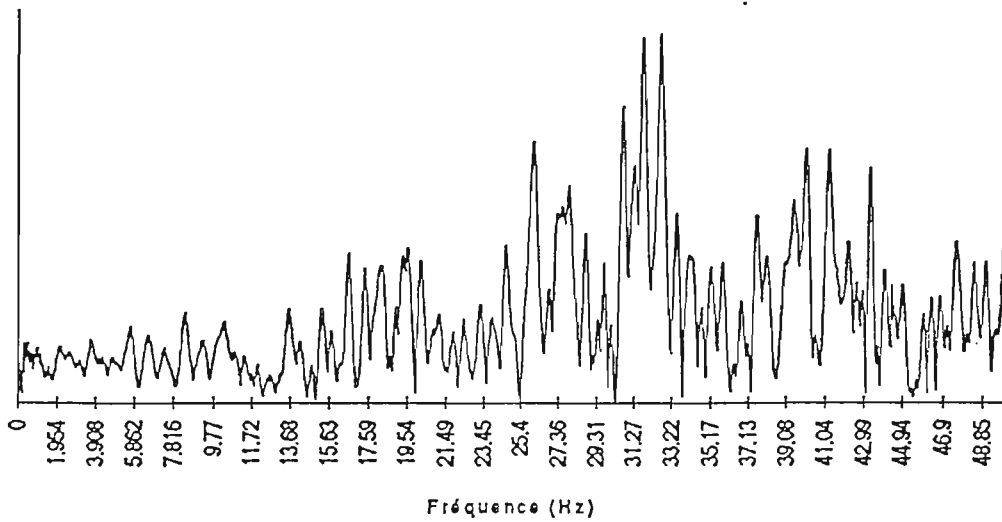
Signal d'avalanche



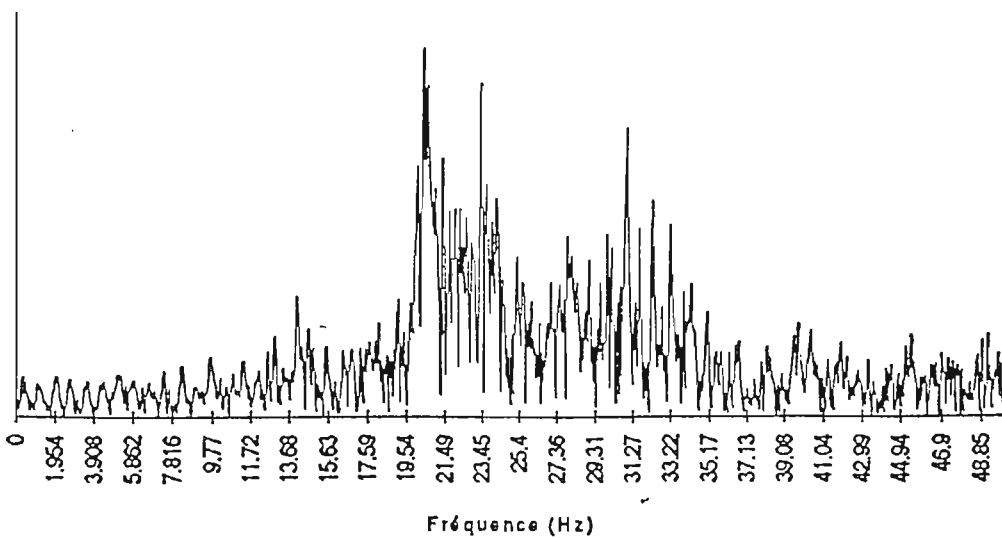
③ Analyse spectrale

- Identification du signal d'avalanche

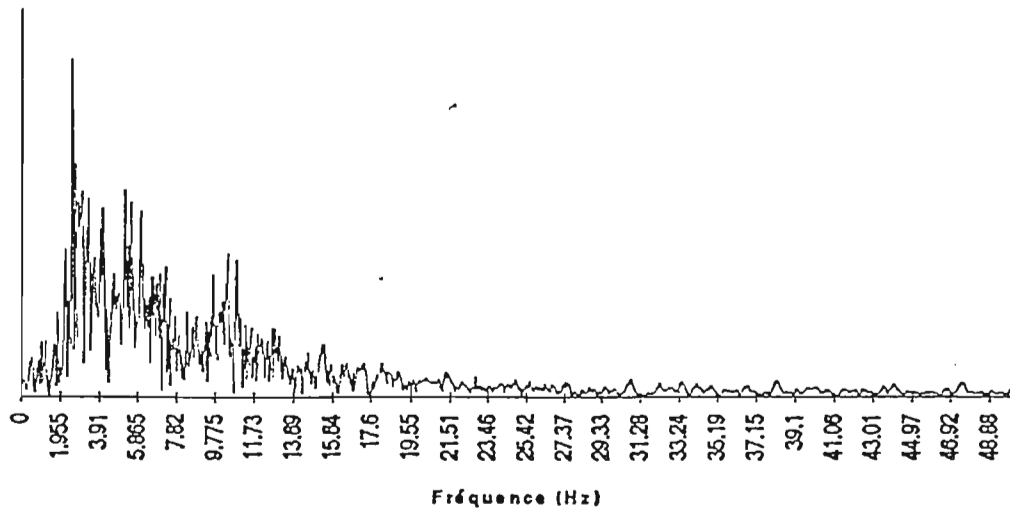
Spectre d'un signal d'avalanche (courte)



Spectre d'un signal d'avalanche



Spectre d'un seisme



Signal de seisme

