

<https://helda.helsinki.fi>

Helsingin seisminen asemaverkko ja seismisyys 2021

Veikkolainen, Toni

Institute of Seismology, University of Helsinki
2022-03

Veikkolainen , T , Oinonen , K , Vuorinen , T , Kortström , J , Mäntyniemi , P , Lindblom , P ,
Luhta , T , Hällsten , J M A & Tiira , T 2022 , Helsingin seisminen asemaverkko ja seismisyys
2021 . Report , Nro T-106 , Institute of Seismology, University of Helsinki , Helsinki .

<http://hdl.handle.net/10138/341812>

cc_by

Downloaded from Helda, University of Helsinki institutional repository.

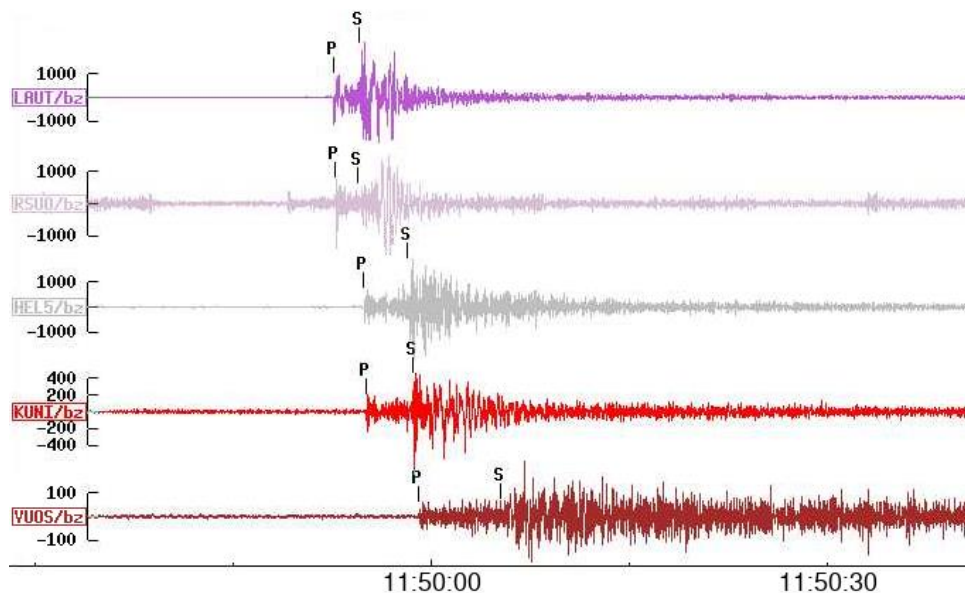
This is an electronic reprint of the original article.

This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.

Please cite the original version.

**TONI VEIKKOLAINEN, KATI OINONEN, TOMMI VUORINEN,
JARI KORTSTRÖM, PÄIVI MÄNTYNIEMI, PASI LINDBLOM,
TUIJA LUHTA, JENNIFER HÄLLSTEN JA TIMO TIIRA**

HELSINGIN SEISMINEN ASEMAVERKKKO JA SEISMISYYS 2021



Kansi: Otaniemessä 27.12.2021 tapahtunut voimakkuuden 1,0 indusoitu maanjäristys joidenkin Helsingin seudun seismisten asemien rekisteröimänä.

Cover: An induced earthquake in Otaniemi on the 27th of December 2021: seismograms from selected seismic stations of the Helsinki region.

Seismologian instituutin raportti T-106

Päätoimittaja Timo Tiira

Julkaisija Seismologian instituutti
PL 68 (Pietari Kalmin katu 5)
00014 Helsingin yliopisto

Puh. +358 2941 51600

www.seismo.helsinki.fi

ISSN 0781-9579

ISBN 978-952-10-9607-5

<http://hdl.handle.net/10138/341390>

Helsinki 2022

Seismologian instituutti
Helsingin yliopisto
Raportti T-106

HELSINGIN SEISMINEN ASEMAVERKKO JA SEISMISYYS 2021

TONI VEIKKOLAINEN, KATI OINONEN, TOMMI VUORINEN, JARI
KORTSTRÖM, PÄIVI MÄNTYNIEMI, PASI LINDBLOM, TUIJA LUHTA,
JENNIFER HÄLLSTEN JA TIMO TIIRA

Seismologian instituutti
Geotieteiden ja maantieteen osasto
Helsingin yliopisto
Helsinki, Suomi

Helsinki 2022

Esipuhe

Helsinki on kiristänyt tavoitettaan olla hiilineutraali. Aikaisemman tavoitevuoden 2035 sijaan on nyt tavoitteena saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteeseen pääseminen edellyttää monien muiden toimenpiteiden ohella sitä, että maalämmön eli geoenergian osuus kasvaa merkittävästi Helsingin lämmitysenergian lähteenä. Pelkillä perinteisillä tonttikohtaisilla maalämpöratkaisuilla tavoitetta ei saavuteta.

Helmikuun 1. päivänä kaupunkiympäristölautakunta hyväksyi periaatteet, joiden mukaan maalämpökaivoja voidaan sijoittaa myös yleisille alueille eli viher- ja katualueille. Pääperiaate on edelleen se, että kaivot porataan omalle tontille vähintään 7,5 metrin päähän naapurin vastaisesta rajasta. Jos tämä ei ole mahdollista, voidaan kaivo porata uuden säännön mukaan alle 7,5 metrin päähän yleisen alueen rajasta tai katualueen keskilinjasta. Jos tämäkään ei ole mahdollista, kyseeseen voi tulla vinoporaus omalta tontilta yleisen alueen alle. Äärimmäisessä tapauksessa kaivot voidaan sijoittaa kokonaan yleiselle alueelle.

Maalämpökaivojen poraamiseen liittyvillä lupaehtojen helpotuksilla halutaan jouduttaa maalämpöön siirtymistä ja kaupungin hiilineutraalisuustavoitetta. Vuonna 2021 kaivoja porattiin 256 kilometriä, mikä merkitsi 50 prosentin kasvua edellisvuoteen. Hiilineutraalisuustavoitteen saavuttaminen vuoteen 2030 mennessä edellyttää sitä, että kaivoja porattaisiin vuodesta 2022 alkaen joka vuosi 1 000 km.

Tavoitteen saavuttamiseksi tarvitaan kortteli- ja aluekohtaisia maalämpöjärjestelmiä ja nykyisten matalien energiakaivojen lisäksi syvempiä ja samalla enemmän energiaa tuottavia energiakaivoja. Ensimmäinen keskisyvä geotermisen energiakaivo on rakenteilla Ruskeasuon lämpölaitoksen viereen. Tavoitteena on 2,5 km syvyys.

Avoimien geotermisten energiakaivojen toteutus edellyttää geologisia tutkimuksia ja selvityksiä, joiden avulla varmistetaan seismisten riskien hallinta. Avoimista kaivoista voi ajan mittaan vuotaa vettä kallioperän rakoihin ja ruhjeisiin. Ruhjeita ei ole juurikaan tutkittu riittävän syvälle geotermisten riskien näkökulmasta. Noin kilometrin syvyydessä pääosa raoista on sulkeutunut paineen vaikutuksesta. Syvemmilläkin on edelleen rakoja ja ruhjeita, joihin käytön aikana suotautunut/käytön aikana rakoihin vuotava vesi saattaa saada aikaan rakopaineen kasvua, joka heikentää raon lujuusominaisuuksia, jolloin kallioperän jännitystilän muutoksen vaikutuksesta kallioperän lohkot pääsevät liikahtamaan. Veden tahatonkin syöttö kallioperään voi muuttaa kallioperän rakojen ominaisuuksia niin, että kallioperässä vallitsevan jännitystilän muutoksen vaikutuksesta voi tapahtua rakovyöhykkeessä liikettä ja indusoituja maanjäristyksiä.

Seismisten riskien valvontaa päätettiin tehostaa rakentamalla Ruskeasuon avoimen keskisyvän geotermisen energiakaivon läheisyyteen neljäs seisminen havaintoasema keväällä 2021. Helsingin kaupungilla on nyt neljä seismistä havaintoasemaa, jotka muodostavat seismisen 'HelsinkiNet'-

asemaverkon. Verkon asemat sijaitsevat Kuninkaantammessa, Lauttasaarella, Vuosaarella ja Ruskeasuolla.

Helsingissä helmikuussa 2022

Ilkka Vähäaho
Maa- ja kallioperäyksikön päällikkö

Kaupunkiympäristö



Tiivistelmä

Vuosi 2021 oli Seismologian instituutin ja Helsingin kaupungin yhteistyönä perustetun seismologisen HelsinkiNet-havaintoverkon ensimmäinen täysi toimintavuosi. Verkkoon kuuluvat asemat KUNI, LAUT ja VUOS jatkoivat valtakunnallisen ja pääkaupunkiseudun asemaverkon automaattisten havaintojärjestelmien yhteydessä. Toukokuussa 2021 aloitti toimintansa Ruskeasuon lämpövoimalan valvontaan rakennettu asema RSUO. Lisäksi Espoon ja Helsingin alueella toimivat St1:n lämpövoimalahankkeen valvontaan perustetut asemat HEL1-HEL5, joista HEL4 lopetti toimintansa huhtikuussa 2021. Vuonna 2021 vahvistettuja seismisiä tapauksia oli 30 km:n säteellä Rautatientorista 3483. Näistä vain yksi oli luonnollinen maanjäristys. Se tapahtui Kirkkonummen merialueella 28.8.2021 aamulla. Yksittäiset indusoidut maanjäristykset havaittiin 2.3. ja 4.7.2021 Kaakkois-Espoossa/Laajalahdella ja lisäksi 27.12.2021 samalla alueella tapahtui indusoitu kuuden matalan maanjäristyksen sarja 29.12.2021. Havaituista seismisistä tapauksista ylivoimaisesti suurin osa oli räjäytyksiä. Erityistä huomiota herätti 11.9.2021 Pohjois-Pasilassa matalalla ilmakehässä tapahtunut räjähdys, jonka sijainnin ja todennäköisen syyn Seismologian instituutti selvitti yhteistyössä Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry:n kanssa.

Abstract

2021 was the first fully operational year of the HelsinkiNet, a collaborative seismological observation network of the Institute of Seismology and City of Helsinki. The stations KUNI, LAUT, and VUOS continued in association with the national and regional automatic detection systems. In May 2021, operation of the station RSUO began for monitoring the geothermal heat plant of Ruskeasuo. In addition, stations HEL1-HEL5 were in operation in Helsinki and Espoo, although HEL4 stopped operating in April 2021. A total of 3483 confirmed seismic events occurred within 30 km of the Central Railway Square of Helsinki. Only one of them was a natural earthquake. It occurred in the sea area of Kirkkonummi on the 28th of August 2021. A single induced earthquake was observed in southeastern Espoo on the 2nd of March 2021, and again on the 4th of July 2021. A swarm of probably induced earthquakes occurred in the same area on the 27th and 29th of December 2021. The vast majority of observed seismic events were explosions. Particular attention was paid to a detonation in the low atmosphere in northern Pasila on the 11th of September 2021. The location and the probable reason for the event were resolved in cooperation between the Institute of Seismology and the Ursa Astronomical Association.

Sisältö

Esipuhe	4
Tiivistelmä	6
Abstract	6
Sisältö	7
1. Johdanto.....	8
2. Seismiset havaintoasemaverkot Helsingissä ja lähialueella	8
3. Havainnot maanjäristyksistä vuonna 2021	16
3.1. Instrumentaaliset havainnot	16
3.2. Makroseismiset havainnot	21
4. Pasilan räjäytys 11.9.2021.....	24
Lähdeluettelo	26
Liite 1. Vuoden 2021 seismisten tapausten analyysi	27
Liite 1.1. Luonnolliset ja indusoidut maanjäristykset Helsingissä ja lähialueella vuonna 2021.....	27
Liite 1.2. Maanjäristysten paikannustulokset Nordic-formaatissa	28

1. Johdanto

Helsingin yliopiston Seismologian instituutti on rakentanut Helsingin kaupungin toimeksiannosta kaupunkialueelle seismisistä havaintoasemista koostuvan HelsinkiNet-verkon (Luhta ym. 2020, Veikkolainen ym. 2021a). Vuoden 2021 alkupuoliskolla verkko koostui aiempaan vuonna perustetuista Lauttasaaren (LAUT), Kuninkaantammen (KUNI) ja Vuosaaren (VUOS) asemista ja täydentyi vuoden puolivälissä energiayhtiö Helen Oy:n hallinnoimalla Ruskeasuon (RSUO) asemalla. Verkon toiminta kuuluu Suomen ja sen lähialueiden seismiseen valvontaan (Veikkolainen ym. 2021b).

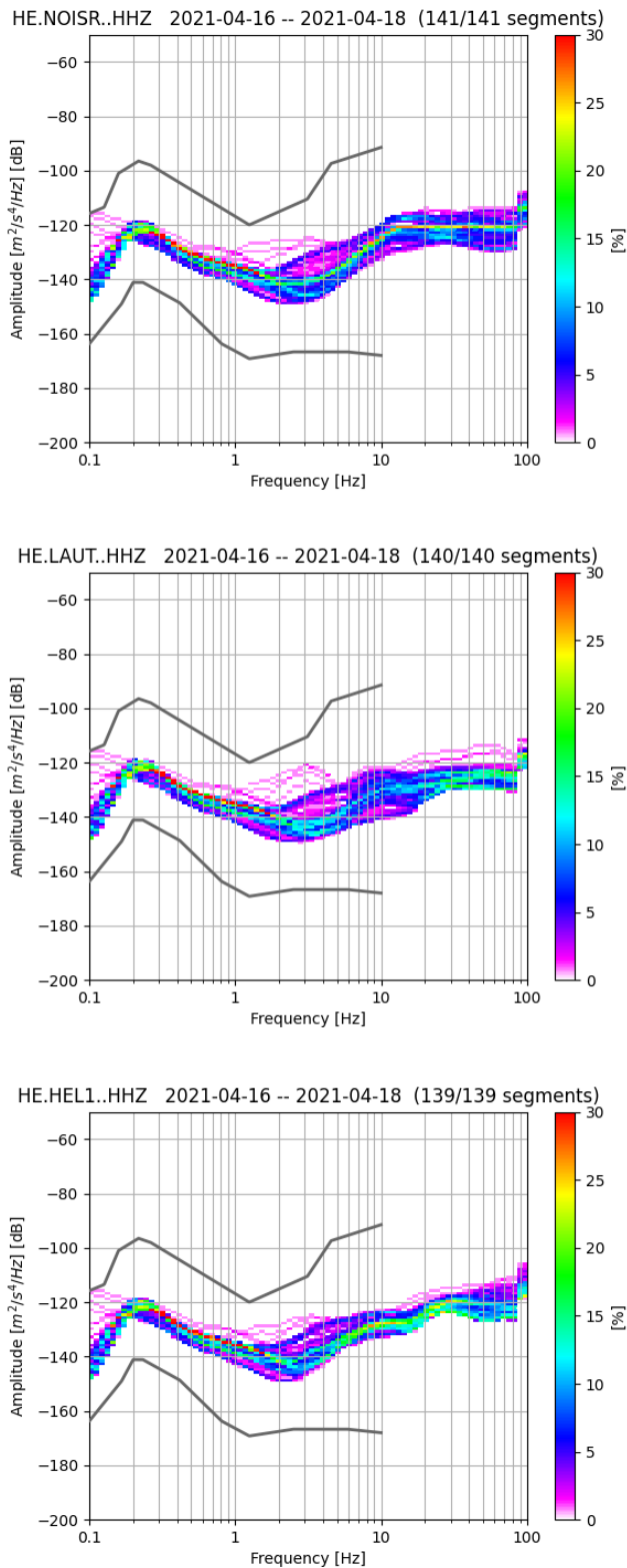
Tämä raportti perustuu Helsingin kaupungin ja Seismologian Instituutin väliseen elokuussa 2019 allekirjoitettuun sopimukseen HelsinkiNetin asennuksesta ja ylläpidosta. Sopimuksen mukaisesti Seismologian instituutti laatii vuosittain julkisen raportin verkon toiminnasta ja Helsingin alueen seismisistä havainnoista.

2. Seismiset havaintoasemaverkot Helsingissä ja lähialueella

Helsingin ja muun Suomen etuina seismisen havaintoasemaverkon perustamisen kannalta ovat avokallion runsas esiintyvyys ja signaalien hidas vaimeneminen peruskalliossa verrattuna esimerkiksi Viron sedimenttikerrokseen. Niinpä kaikki HelsinkiNet-asemat on asennettu avokalliolle erityiseen laitesuojaan. Tällainen asennus on edullisempi ja huollon kannalta helpompi kuin porareikäasennus. Seismologian instituutin valtakunnallisen verkon asemien tapaan myös HelsinkiNet-asemat ovat jatkuvan tietoliikenneyhteyden päässä ja toimittavat aineistoa päivittäisanalyysiin. Dataa käytetään paitsi tieteelliseen tutkimukseen ja seismisten tapausten valvontaan, myös asemaverkon ja analyysijärjestelmän parannustyöhön.

Vuonna 2021 HelsinkiNetin kolme havaintoasemaa toimivat varsin luotettavasti ilman pitkiä datakatkoja. Ruskeasuolla toimintansa aloittaneen neljännen aseman tärkeimpänä perustamissyynä on Helen Oy:n rakenteilla oleva keskisyvä lämpökaivo, jonka on valmistuttuaan tarkoitus tuottaa kaukolämpöä helsinkiläisille. Testimittaukset Keskuspuistoon asennetulla väliaikaisella asemalla NOISR alkoivat 15.4.2021. Datan laatu tällä kaupungin ja Helen Oy:n ehdottamalla paikalla osoittautui niin hyväksi testijaksolla 16.–18.4. (Kuva 1), että testimittauspaikka jäi pysyväksi ja asemalle rakennettiin samantyyppinen havaintosuoja (Kuva 2) kuin asemille KUNI, LAUT ja VUOS oli tehty vuosina 2019–2020. Sittemmin asema rekisteröitiin ISC:n (International Seismological Centre) tietokantaan koodilla RSUO. Sen data on ollut käytettävissä 31.5.2021 alkaen yli kolme kuukautta ennen kuin Helen Oy aloitti lämpökaivon poraamisen Ruskeasuolla. Energiayhtiö pyrkii saavuttamaan kaivon tavoitesyvyyden 2,5 km vuoden 2022 aikana

(<https://www.helen.fi/helen-oy/energia/kehityshankkeet/biolampolaitokset/ruskeasuon-geolampolaitos> , viitattu 23.2.2022).



Kuva 1. Ruskeasuon väliaikaisen seismografiaseman NOISR kohinataso (a) verrattuna HelsinkiNet-aseman LAUT (b) ja St1:n hankkeen valvonta-aseman HEL1 (c) kohinatasoon. Vaaka-akselilla on rekisteröintidatan taajuus (Hz), pystyakselilla amplitudi. Prosentit ilmaisevat, kuinka suuri osa kohinasta tietyllä taajuusvälillä sijaitsee tietyllä amplitudivälillä. Kuvaajassa keskimäärin ylempänä sijaitseva havaintojoukko viittaa kohinaisempaan dataan. Kuvan selkeyden vuoksi taajuusvälit eivät ole yhtä suuria.

Figure 1. The noise level of the temporary seismograph station NOISR (a) in Ruskeasu compared to that of HelsinkiNet station LAUT (b), and St1 project monitoring station HEL1 (c). The horizontal axis indicates the frequency of the measurement data (Hz), while the vertical axis shows the amplitude. Percentages denote how large a part of noise at certain frequency band falls into certain amplitude band. In general, an observation group located higher in the plot refers to noisier data. For clarity, frequency bands are not equally large.

HelsinkiNet ei ollut pääkaupunkiseudun ainoa seisminen havaintoasemaverkko vuonna 2021, vaan toimintaansa jatkoi erityisesti Espoon syväreikähankkeen valvontatarkoituksiin rakennettu HEL1-HEL5-aseamista koostuva verkko (Hillers ym. 2018, Rintamäki ym. 2021) Länsi-Helsingissä ja Espoossa. Asema HEL4 poistui käytöstä huhtikuussa 2021. Verkon asemien asennukset ovat kevyitä, koska verkkoa ei ole tarkoitettu pysyväksi.

Taulukkoon 1 on listattu Seismologian instituutin ylläpitämien Helsingin ja Espoon alueen seismisten asemien sijainnit. Mukana ei ole St1 Oy:n ylläpitämiä asemia, joita on Seismologian instituutin ja St1 Oy:n välisen sopimuksen nojalla myös käytetty seismisen datan päivittäisanalysiin.



Kuva 2. Ruskeasuon seismisen aseman laitesuoja.

Figure 2. The equipment shelter of the Ruskeasuo seismic station.

Seismologian instituutti on kehittänyt automaattisen järjestelmän seismisten tapausten havainnointiin, tunnistamiseen ja luokitteluun (Kortström ym. 2016). Suurin osa järjestelmän havaitsemista tapauksista on todennäköisiä räjäytyksiä kaivoksilta, louhoksilta ja rakennustyömailta. Räjäytykset paikannetaan instituutin päivittäisanalysissa käsin vain mikäli asiasta on tullut kyselyitä, räjäytys muuten vaikuttaa poikkeukselliselta tai erityisten tutkimusprojektien yhteydessä, mutta havaitut tapaukset identifioidaan eli pyritään määrittämään, onko ne on synnyttäneet räjäytys vai liikahdus kallioperässä.

Taulukko 1. Helsingin seudun väliaikaisen tutkimusverkon asemien (HEL1-HEL5) ja pysyvien HelsinkiNet-asemien (KUNI, LAUT, RSUO, VUOS) sijainti (WGS84).

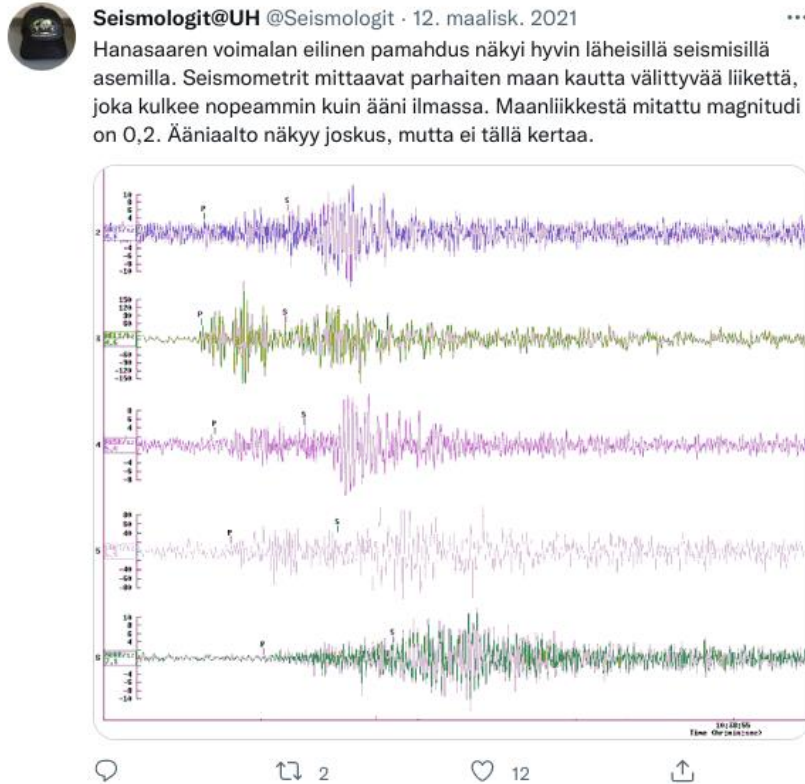
Table 1. Locations (WGS84) of seismic stations belonging to the temporary research network (HEL1-HEL5) and permanent HelsinkiNet network (KUNI, LAUT, RSUO, VUOS).

Asema	Leveysaste (°N)	Pituusaste (°E)
HEL1	60,18	24,88
HEL2	60,19	24,83
HEL3	60,17	24,82
HEL4	60,25	24,81
HEL5	60,12	24,74
KUNI	60,27	24,91
LAUT	60,15	24,86
RSUO	60,21	24,90
VUOS	60,19	25,15

Suomen alueella seismisten automaattipaikannusten virhe voi olla jopa joitain kilometrejä. Siihen vaikuttaa havaintoasemien signaali-kohinasuhteen sekä maankuoren nopeusmallin lisäksi myös asema geometria. Ihannetapauksessa havaintoasemat sijaitsevat mahdollisimman tasaisesti eri suunnissa seismisen lähteen ympärillä, eli atsimuuttiaukko on alle 90°. Esimerkiksi Etelä-Suomen rannikkoalueella tämä ehto ei aina täyty, mutta voimakkaimpien seismisten tapausten analyysiin voidaan ottaa mukaan virolaisia tai ruotsalaisia asemia paikannuksen tarkentamiseksi. Seismiset aallot eivät kunnioita valtakunnanrajoja. Helsingin seudulla vuonna 2021 Boskalis Terramare Oy toimitti toteuttamistaan Vuosaaren laivaväylän räjäytyksistä instituutille tietoa havaintojärjestelmän kehittämistä varten. Suurimmat näistä olivat voimakkuudeltaan M1,7. Näitä tietoja käytetään tutkittaessa paikannustarkkuuksien virheitä alueella.

Helsingin Hanasaaressa hiilivoimalan höyrynpaineen purkautuminen pamauksena 11.3.2021 rekisteröityi seismogrammeille hyvin. Pamaus aiheutti seismografiasemilla maanliikettä, josta päivittäisanalyyseissa mitattu voimakkuus oli M0,2. Seismometrit mittaavat parhaiten maan kautta välittyvää liikettä, joka kulkee ainakin kymmenen kertaa nopeammin kuin ääni ilmassa. Pamaukseen

liittyvää ääniaaltoa seismometrit eivät rekisteröineet. Asiasta oli ilmoitus instituutin Twitter-tilillä (<https://twitter.com/Seismologit>), joka on toiminut loppuvuodesta 2019 alkaen (Kuva 3).



Kuva 3. Twitter-ilmoitus Hanasaaren voimalasta 11.3.2021 tapahtuneesta pamauksesta.

Figure 3. A tweet about the blast that occurred in the Hanasaari power plant on the 11th of March, 2021.

Alla on lyhyt yhteenveto HelsinkiNetin asemille kertomusvuonna suoritetuista toimenpiteistä:

VUOS

Asema tarkastettiin 22.4.2021 ja toimi luotettavasti koko vuoden.

Ongelmia, joista seurannut datakatkoksia: Ei.

Muita ongelmia: Ei.

LAUT

Asema tarkastettiin 22.4.2021 ja toimi luotettavasti koko vuoden.

Ongelmia, joista seurannut datakatkoksia: Ei.

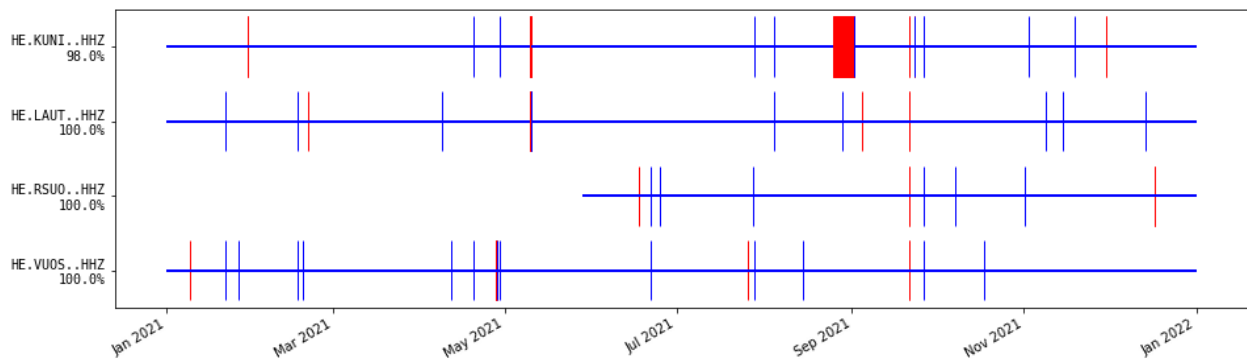
Muita ongelmia: Ei.

KUNI

Asema toimi Seismologian instituutin varalaitteen avulla suurimman osan vuodesta, koska asemalle tarkoitettu seismometri oli toimitettu takuuhuoltoon vuoden 2020 puolella. Huollosta tullut seismometri vaihdettiin asemalle vihdoinkin ja viimein 23.9.2021. Huollosta saapunut seismometri meni uudelleen häiriötilaan 27.11.2021 ja korvattiin jälleen varalaitteella 16.12.2021.

Ongelmia, joista seurasi datakatkoksia: Aseman datansaanti keskeytyi 25.8.2021 virtalähderikon vuoksi. Asemalle vietiin 1.9.2021 uusi virtalähde ja data alkoi taas liikkua. Katkoksen kokonaispituus oli noin 7,3 vuorokautta.

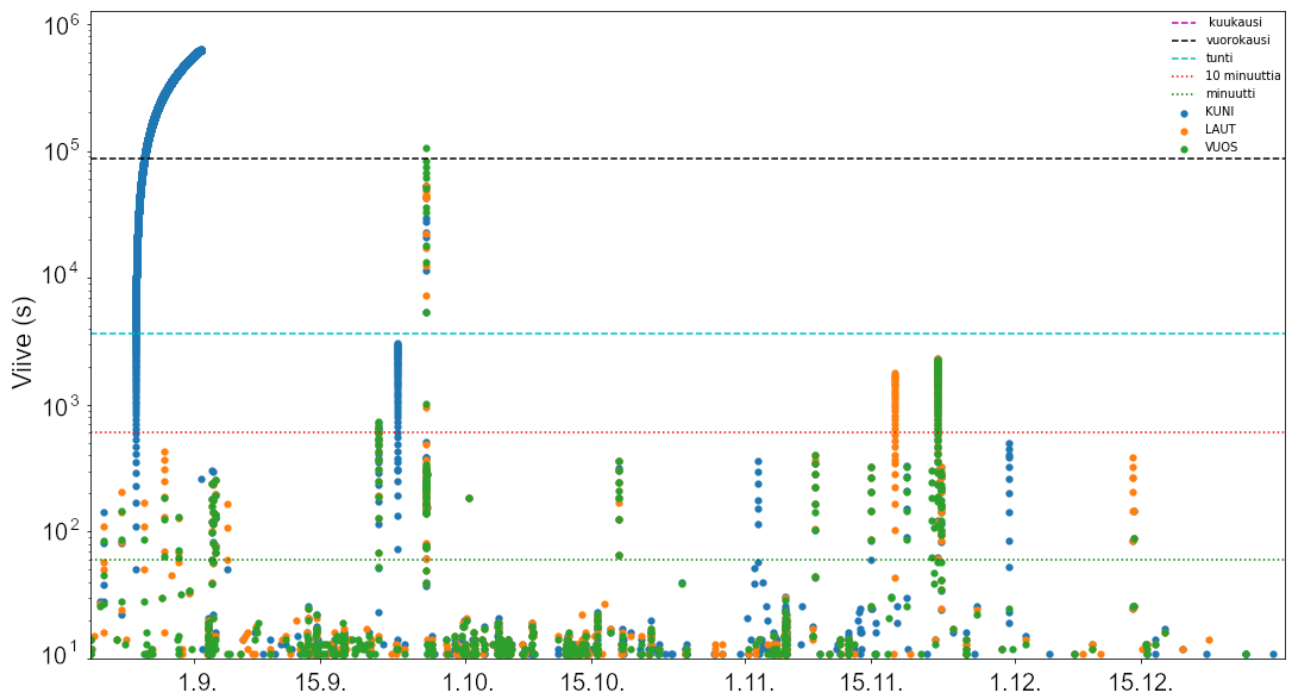
Muita ongelmia: Aseman vieressä oli pystyyn kuollut isohko puu, joka uhkasi kaatua aseman päälle. Stara kävi kaatamassa puun 12.10.2021.



Kuva 4. *Datan saatavuus seismisillä asemilla KUNI, LAUT, RSUO ja VUOS vuonna 2021. Punaiset pystyviivat osoittavat datakatkoja ja siniset pystyviivat ajanjaksoja, joilta dataa on kertynyt kahteen kertaan. Elo-syyskuussa dataa ei saapunut KUNI-asemalta yli viikkoon. Tämä ajanjakso on merkitty punaisella palkilla.*

Figure 4. *Data availability at the seismic stations KUNI, LAUT, RSUO and VUOS in 2021. Vertical red lines show data gaps, and vertical blue lines show periods with duplicate data. In August-September, data from KUNI were unavailable for over a week. The red bar indicates this period.*

Kuva 5 esittää tiedonsiirron viivettä asemilla KUNI, LAUT ja VUOS. Viiveiden mittausta alkoi elokuun 2021 loppupuolella, kun seismisen valvonnan reaaliaikaisuuden vaatimukset kasvoivat. Viive kertoo, kuinka nopeasti aseman rekisteröinnit ovat tallentuneet Seismologian Instituutin palvelimelle Kumpulassa. Automaattinen detektiojärjestelmä pystyy käyttämään dataa vasta sen saavuttua palvelimille. Asemilla LAUT ja VUOS datan viive oli alle 10 s yli 99 % ajasta. Asemalla KUNI vastaava luku oli 94 %. KUNI:n tilastossa suurin viive aiheutui elo-syyskuun virtalähderikosta, joka näkyy sinisenä käyränä lähellä kuvan vasenta reunaa.



Kuva 5. Tiedonsiirron viive asemilla KUNI, LAUT ja VUOS 20.8.2021 alkaen.

Figure 5. Delay in data transfer from stations KUNI, LAUT, and VUOS, starting from the 20th of August.

RSUO

Seismologian instituutin, Helenin ja kaupungin edustajat vierailivat suunnitellun asemapaikan alapuolella sijaitsevassa kaukolämpövoimatunnelissa 26.3. Päätettiin perustaa asema maanpinnalle mutta johtaa sinne sähköt tunnelista.

Testimittauksia varten avokalliolle perustettiin asema NOISR 15.4. Asema toimi akkuvirralla ja data oli haettava käymällä paikalla. Datan laatu osoittautui hyväksi ja asemalle vaihdettiin akut viikoittain kunnes saatiin verkkovirta ja 4g-yhteys 28.5.2021.

Instituutin päivittäisanalysissa asema oli käytettävissä nimellä RSUO 31.5. alkaen.

Pysyvä kaivomallinen laitesuoja saatiin valmiiksi syksyllä, mutta sähköjä laitesuojaan ei saatu vielä vuoden 2021 aikana.

Asema oli kuitenkin käytettävissä väliaikaisella mittausta paikalla lähes keskeytyksettä myös loppuvuoden ajan.

Ongelmia, joista seurasi datakatkoksia: Asemalle vaihdettiin HEL4- asemalla ollut Centaur-rekisteröintilaitte ja samalla poistettiin ylimääräinen Titan- kiihtyvyyssanturi. Laitteiston vaihtaminen aiheutti lyhyen datakatkoksen 17.6.2021.

Muita ongelmia: Seismometrin suojana olevan betonisen pilariharkon päällä oleva betonilaatta oli hetken aikaa pois paikoiltaan. Ongelma havaittiin 1.9.2021 ja on mahdollista, että betonilaatta oli jäänyt laittamatta takaisin paikoilleen 23.8.2021 kun asemaa esiteltiin Helenin ja rakennusurakoitsijan edustajille. Tämä mahdollisesti heikensi datan laatua aikavälillä 23.8.-1.9.2021.

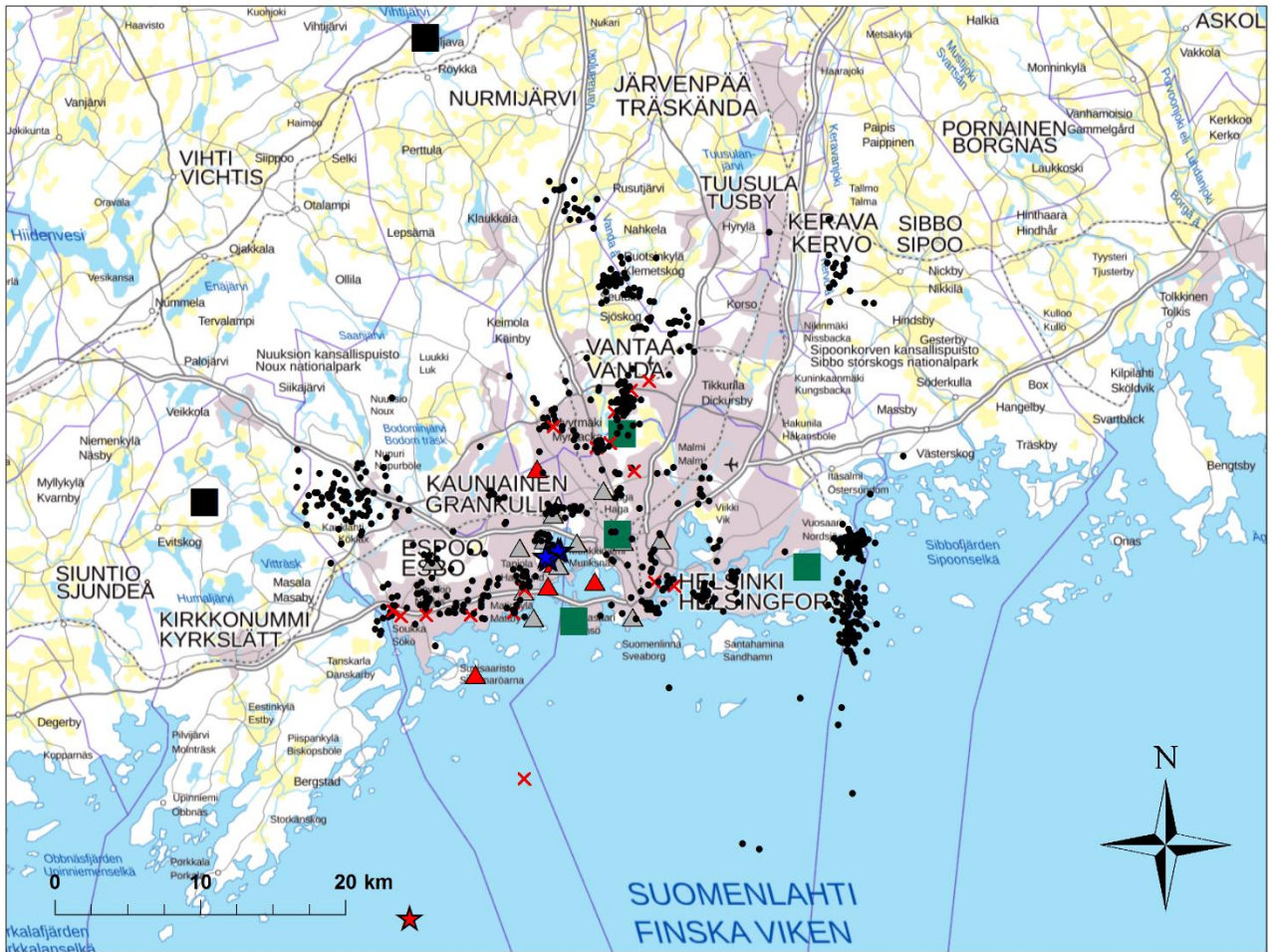
3. Havainnot maanjäristyksistä vuonna 2021

3.1. Instrumentaaliset havainnot

Seismologian instituutilla oli koko vuoden 2021 aikana toiminnassa Suomen automaattiselle havaintojärjestelmälle rinnakkainen pääkaupunkiseudun detektori, johon kuuluivat HelsinkiNet-asetat, HEL-asetat ja ST1-satelliittiasemat. Tämä detektori havaitsi kaikkiaan 3496 automaattitapausta vuoden aikana eli noin 9,5 tapausta vuorokaudessa. Näistä 356 kpl oli sellaisia vähintään voimakkuuden 0 tapauksia, joita ei ollut koko Suomen detektorilistassa ja jotka tarkistettiin päivittäisanalyysin yhteydessä. Kaikkiaan detektori havaitsi 30 km:n säteellä Rautatientorista 3483 automaattitapausta, joista päivittäisanalyysissä tarkastettiin 854. Kuva 6 osoittaa selkeästi räjäytysten merkittävän roolin Helsingin ja lähialueiden seismisten tapausten joukossa ja keskittymisen tietyille alueille kuten Ämmässuon ja Ruotsinkylän louhoksille ja Vuosaaren laivaväylän työmaalle.

Pääkaupunkiseudun asemat kykenevät havaitsemaan myös hyvin kaukana tapahtuneita voimakkaita maanjäristyksiä. Esimerkiksi Länsi-Haitin voimakas maanjäristys tallentui 14.8.2021 seismogrammeille hyvin (Kuva 7). Kaukojäristyksille tyypilliseen tapaan saapumisajat ja aaltomuodot ovat tässä tapauksessa hyvin samanlaisia Suomen eri havaintoasemilla ja erityisesti pääkaupunkiseudun asemilla.

Luonnollinen voimakkuudeltaan M1,0:n suuruinen maanjäristys tapahtui Suomenlahdella aamulla 28.8.2021 klo 08:39 Suomen aikaa. Järistyksen sijainti paikannettiin Kirkkonummen kunnan alueelle 15 km Porkkalanniemen kärjen itäpuolelle 27 km:n etäisyydelle Rautatientorista (Kuva 8). Järistys tapahtui matalalla noin 2 km:n syvyydessä ja aiheutti sen tähden selvästi erottuvan seismisen pinta-aallon useilla lähimmillä asemilla, mm. LAUT, HEL1 ja RSUO. Hieman järistyspaikan pohjoispuolella sijaitsee itä-länsisuuntainen siirros, joka yhtyy Porkkala-Mäntsälä-siirrokseen lännempänä (Elminen ym. 2018). Koska sijainninmäärityksen kannalta etuna on mahdollisimman tasainen asemageometria seismisen lähteen ympärillä, Suomen seismisten asemien lisäksi analyysiin käytettiin Viron asemien Matsula (MTSE) ja Arbavere (ARBE) dataa. Järistyksen pitkittäinen ja poikittainen aalto olivat havaittavissa jopa Kangasniemen (KAF) ja Kankaanpään (KPF) asemilla noin 250 km:n etäisyydellä. Järistyksen numeeriset perustiedot on lueteltu Liitteessä 1.1. ja yksityiskohtainen paikannustulos Liitteessä 1.2.



Tapaukset / Events

- Räjätys / Explosion
- ★ Maanjäristys / Earthquake
- ✗ Todennäköinen räjähtys / Probable explosion
- ★ Indusoitu maanjäristys / Induced earthquake

Asemat / Stations

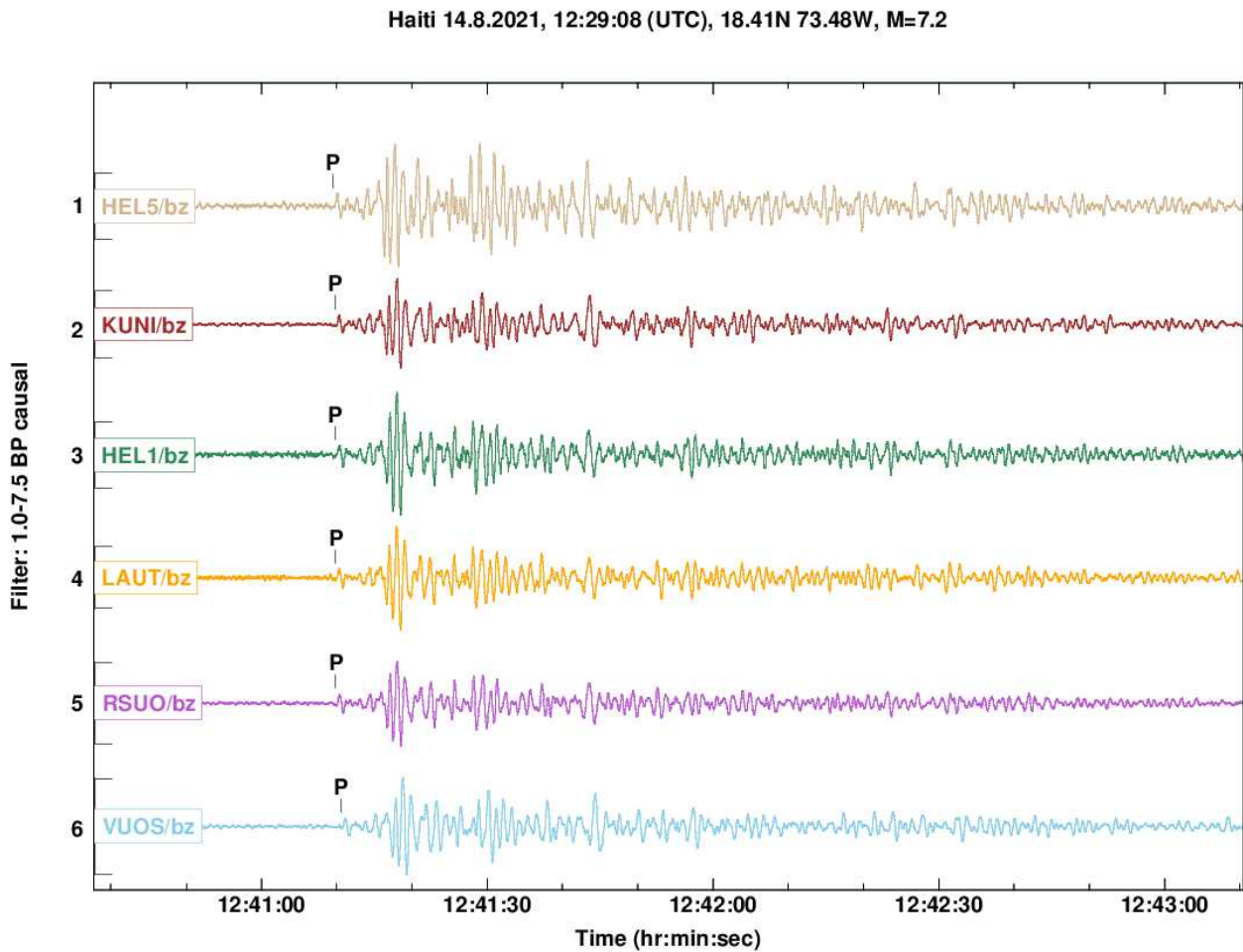
- Kansallisen verkon asema / National network station
- HelsinkiNet-asema / HelsinkiNet station
- ▲ Tilapäinen HEL-verkko / Temporary HEL network
- ▲ St1-satelliittiasema / St1 satellite station

Kuva 6. Seismiset tapaukset Helsingissä ja lähialueilla vuonna 2021. Tapaukset on merkitty Seismologian instituutin käyttämän luokittelun mukaan.

Figure 6. Seismic events in Helsinki and adjacent areas in 2021. Events have been marked in accordance with the classification used by the Institute of Seismology.

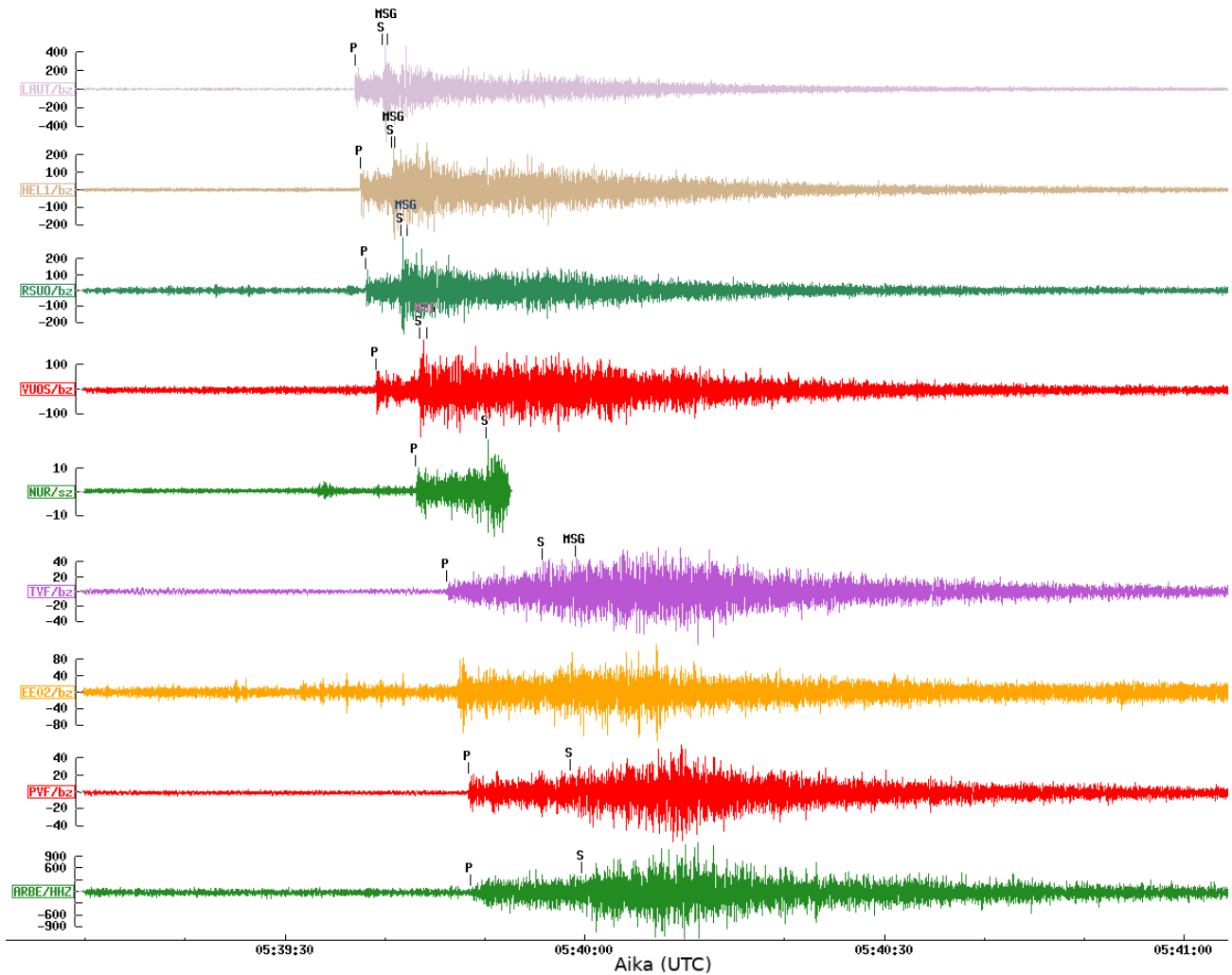
Kirkkonummella Porkkalanniemen kärjen eteläpuolella 43 km Helsingistä lounaaseen maa järisi 30.12.2021 alkuillasta voimakkuudella M0,6. Helsinkiä seuraavaksi lähimmät luonnolliset maanjäristykset olivat Porvoossa 23.8.2021 tapahtuneet kaksi ja 14.11.2021 tapahtuneet neljä tapausta noin 43–47 km:n etäisyydellä Helsingistä. Porvoon järitykset paikannettiin merelle Emäsalon, Vessölandetin ja Suur-Pellingin välille. Voimakkuudeltaan nämä tapaukset olivat välillä M0,7–1,2. Geologisesti tämä seutu kuuluu Onäsin rapakivigraniittialueeseen. Viipurin rapakivigraniittialueelle tyypilliseen tapaan nämäkin järitykset sattuvat lähellä maanpintaa

enintään 2 km:n syvyydessä. Ainakin marraskuun järitykset edustivat järitysparvea, joka on niin ikään rapakivigraniittialueelle tyypillinen ilmiö. Matalille maanjärityksille paikannus sekä aaltomuotoihin ja spektreihin perustuva luokittelu ovat tärkeitä, jotta tapauksia ei sekoiteta räjäytyksiin alueilla, joilla on kaivoksia tai louhosia. Esimerkiksi Vessölandetin saarella vain 5–8 km Porvoon järityksistä sijaitsee Rudus Oy:n Sandhöjdenin louhos.



Kuva 7. Haitissa Tiburonin niemimaalla tapahtui 14.8.2021 varhain aamulla paikallista aikaa tuhoisa yli 2200 kuolonuhria vaatinut voimakkuuden M7,2 maanjäritys. Sen signaali näkyi hyvin selkeästi Helsingin seudun seismisillä havaintoasemilla 8700 km:n etäisyydellä. Ohessa ovat P-aallon rekisteröinnit valituilta asemilta.

Figure 7. A devastating earthquake with a death toll over 2,200 people occurred in the Tiburon Peninsula of Haiti on the 14th of August 2021. The magnitude of the event was M7.2, and the signal was clearly detected by seismic stations in the Helsinki region, 8,700 km from the epicenter. P-wave picks from selected stations are shown.

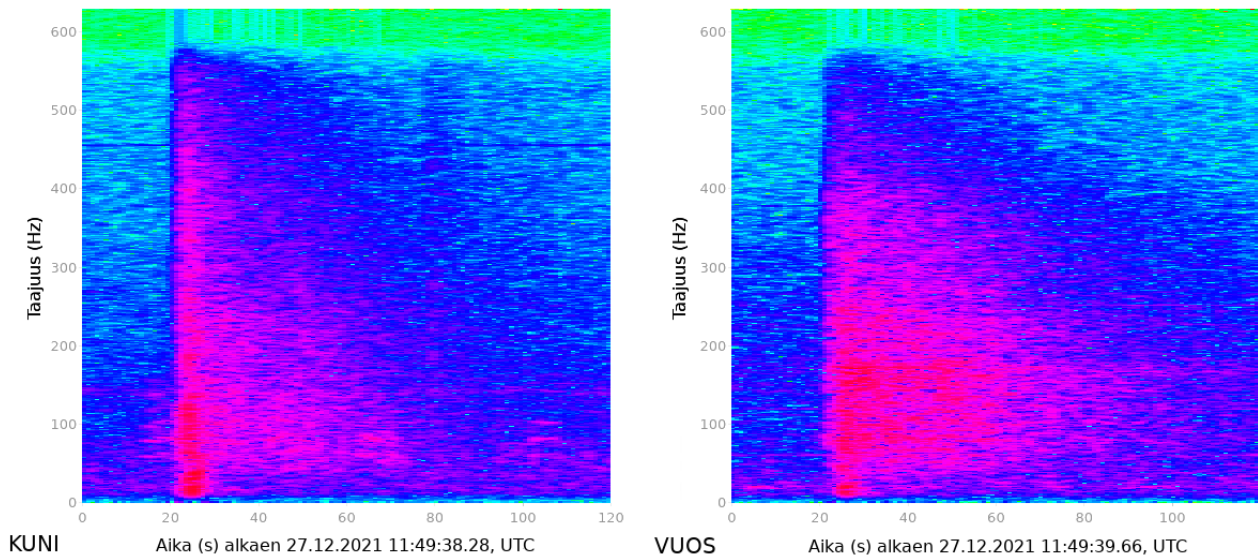


Kuva 8. Kirkkonummen merialueen maanjäristyksen aaltomuotoja 28.8.2021 rekisteröitynä HelsinkiNet-asetilla LAUT, RSUO ja VUOS ja muutamalla muulla lähiseudun asemalla. Suoran P-aallon (P), S-aallon (S) ja järistyksen voimakkuuden (MSG) rekisteröintiajankohdat on merkitty valituille asemille. Asemalla NUR ilmeni datakatkos pian järistyksen jälkeen. Viron seismiset asemat ARBE (Arbavere) ja EE02 (Kiisa) ovat mukana kuvassa.

Figure 8. Waveforms of the earthquake at the sea area of the Kirkkonummi municipality on the 28th of August 2021 registered at HelsinkiNet stations LAUT, RSUO and VUOS, and at a few other nearby stations. Registration timestamps of direct P wave (P), S wave (S) and magnitude (MSG) have been marked for selected stations. The data delivery of NUR station was interrupted shortly after the earthquake. The Estonian seismic stations ARBE (Arbavere) and EE02 (Kiisa) are included. The horizontal axis shows time in UTC.

Todennäköisesti indusoituja eli ihmistoiminnan aiheuttamia maanjäristyksiä havaittiin vuonna 2021 yhteensä kahdeksan. Edeltävänä vuonna niitä sattui enemmän etupäässä St1 Oy:n Otaniemen

lämpövoimalaprojektin toisen stimulointivaiheen vuoksi (Veikkolainen ym. 2021a). Lukumäärät eivät kuitenkaan ole täysin vertailukelpoisia, koska vuonna 2020 seismisiä tapauksia etsittiin tehostetulla rutiinilla stimulointivaiheen aikana.



Kuva 9. Laajalahden maanjäristyksen spektri asemilla KUNI ja VUOS. Maanjäristyksille tyypillisesti spektrit ovat melko yhtenäisiä. Taajuuskaistojen välillä ei ole merkittäviä aukkoja toisin kuten yleensä räjäytysten tapauksessa. Automaattisen järjestelmän rekisteröimän P-aallon ajankohta on 20 s myöhemmin kuin asemakohtaisesti kuvan alaosassa ilmoitettu aikaleima.

Figure 9. Spectrum of the Laajalahti earthquake at the stations KUNI and VUOS. The spectra are relatively continuous, which is typical of earthquakes. No remarkable gaps exist between frequency bands, contrary to what is observed for explosions. The vertical axis shows frequency (Hz), and the horizontal axis shows time (s) beginning from the timestamp that is 20 s before the automatically detected P wave pick for stations.

Ensimmäinen indusoitu maanjäristys tapahtui varhain iltapäivällä 2.3.2021 ja oli voimakkuudeltaan M1,1. Järistyksestä tuli yksi kansalaishavainto. Toinen magnitudin 0,6 tapaus oli aamulla 7.4.2021 Molemmat tapaukset kyettiin paikantamaan St1 Oy:n lämpökaivojen läheisyyteen. 27.12. ja 29.12.2021 havaittiin kuuden matalan (syvyys n. 1 km) maanjäristyksen sarja Otaniemessä. Niistä 27.12. kaksi ja 29.12.2021 yksi tallentui sekä valtakunnallisen että pääkaupunkiseudun havaintojärjestelmän rekisteröinteihin. Järistyksistä suurin oli voimakkuudeltaan M1,0 ja tapahtui 27.12.2021 klo 13:49:57 Suomen aikaa. Järistykset spektri kahdella HelsinkiNet-asemalla on esitetty Kuvassa 9. Tapausta seurasivat klo 11:50:41.1 magnitudin -0,3 tapaus ja 13:51:29.1 voimakkuuden 0,4 järistys. Muutama sekunti viimeisimmän jälkeen ja minuutin päästä näkyy kolmen aseman

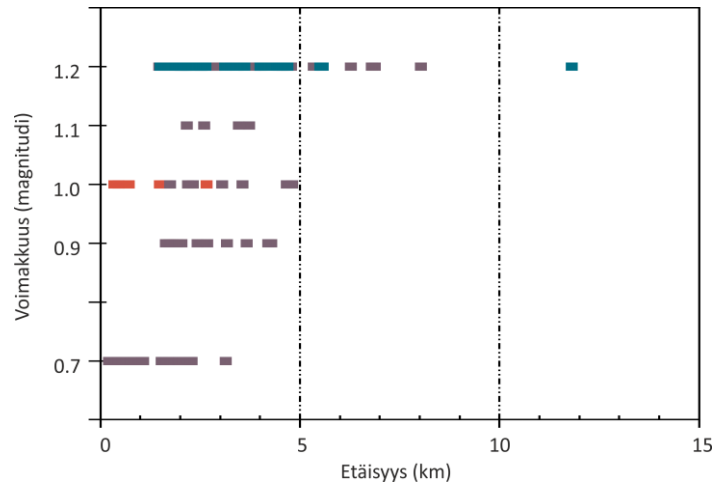
seismogrammeissa kaksi hyvin pientä järjestystä, jotka ovat tapahtuneet samalla alueella mutta joiden tarkkoja koordinaatteja tai voimakkuutta ei voida määrittää. Kuudes järjestys alueella havaittiin 29.12.2021 aamulla. Näiden järjestysten sijainnit ovat alle puolen kilometrin päässä St1 Oy:n lämpövoimalan työmaasta, mutta lähellä maanpintaa, vain noin 1 km syvyydessä. Järjestykset on tulkittu indusoiduiksi, eli mahdollisesti ihmisen toiminnan aiheuttamiksi.

Viime vuosina Espoon Otaniemen ja Laajalahden alueilla on ollut hyvin paljon toimintaa, joka on muuttanut kallioperän jännityskenttää. Aiheutuneet jännitykset voivat purkautua äkillisesti, joten indusoiduja maanjäristyksiä voi esiintyä myös aikoina, jolloin räjäytykset ovat epätavallisia. Fysikaalisilta ominaisuuksiltaan indusoidut maanjäristykset ovat hyvin samanlaisia kuin luonnolliset. Ne luokitellaan todennäköisesti indusoiduiksi etupäässä vertaamalla niiden paikkoja lämpökaivojen ja muiden mahdollisten indusoidun seismisyyden lähdealueiden sijaintiin. Lähellä sijaitsee useita muitakin työmaita kuten Kehä I ja Raidejokeri. Ei ole myöskään poissuljettua, että kyseessä olisivat luonnolliset järjestykset. Sarjan voimakkain järjestys herätti laajaa kansalaishuomiota, ja laitteet kykenivät sen havaitsemaan jopa Keuruun (KPF) ja Kangasniemen (KAF) asemilla yli 220 km:n etäisyydellä.

3.2. Makroseismiset havainnot

Seismologian instituuttiin voi lähettää makroseismisiä havaintoja sen verkkosivustolta löytyvällä kyselylomakkeella (<https://elomake.helsinki.fi/lomakkeet/89816/lomake.html>), joka on saatavilla myös ruotsiksi ja englanniksi. Havaintoilmoituksia ei käytetä kaupallisiin tarkoituksiin. Tavoitteena on hankkia selkoa seismisten tapahtumien vaikutuksesta ympäristöön kokoamalla mahdollisimman kattava aineisto, jotta huomioille saadaan tilastollista painoarvoa. Monet seikat kuten ilmiön voimakkuus (magnitudi) sekä viikontähti, ajanhetki ja valmius vaikuttavat havainnontekoon ja havainnosta ilmoittamiseen. Havaintoilmoitusten liittäminen hyvin pieniin seismisiin tapauksiin onnistuu nimenomaan pääkaupunkiseudun tiheän instrumenttiverkon ansiosta.

Kuvassa 10 on esitetty seitsemään seismiseen tapaukseen liittyvien yhteensä 108 havaintoilmoituksen etäisyydet maata pitkin laskettuna. Tapauksista viisi on Espoon Otaniemessä vuonna 2020 sattuneita vähintään magnitudin 0,9 indusoiduja maanjäristyksiä (kahden magnitudi on 1,2) ja yksi on magnitudin 0,7 luonnollinen maanjäristys Vantaan Hakunilassa (Veikkolainen ym. 2021a). Lisäksi mukana ovat Otaniemessä 27. joulukuuta 2021 sattuneen indusoidun magnitudin 1,0 maanjäristyksen havaintoilmoitukset.



Kuva 10. Makroseismisten havaintojen episentrietäisyydet valikoimalle vuoden 2020 maanjäristyksiä (harmahtavat ja vihreät suorakaiteet) ja 27. joulukuuta 2021 sattuneelle järitykselle (punaiset suorakaiteet). Tapaukset olivat induoituja maanjäristyksiä Espoon Otaniemessä lukuunottamatta magnitudin 0,7 luonnollista maanjäristystä Vantaalla 2020.

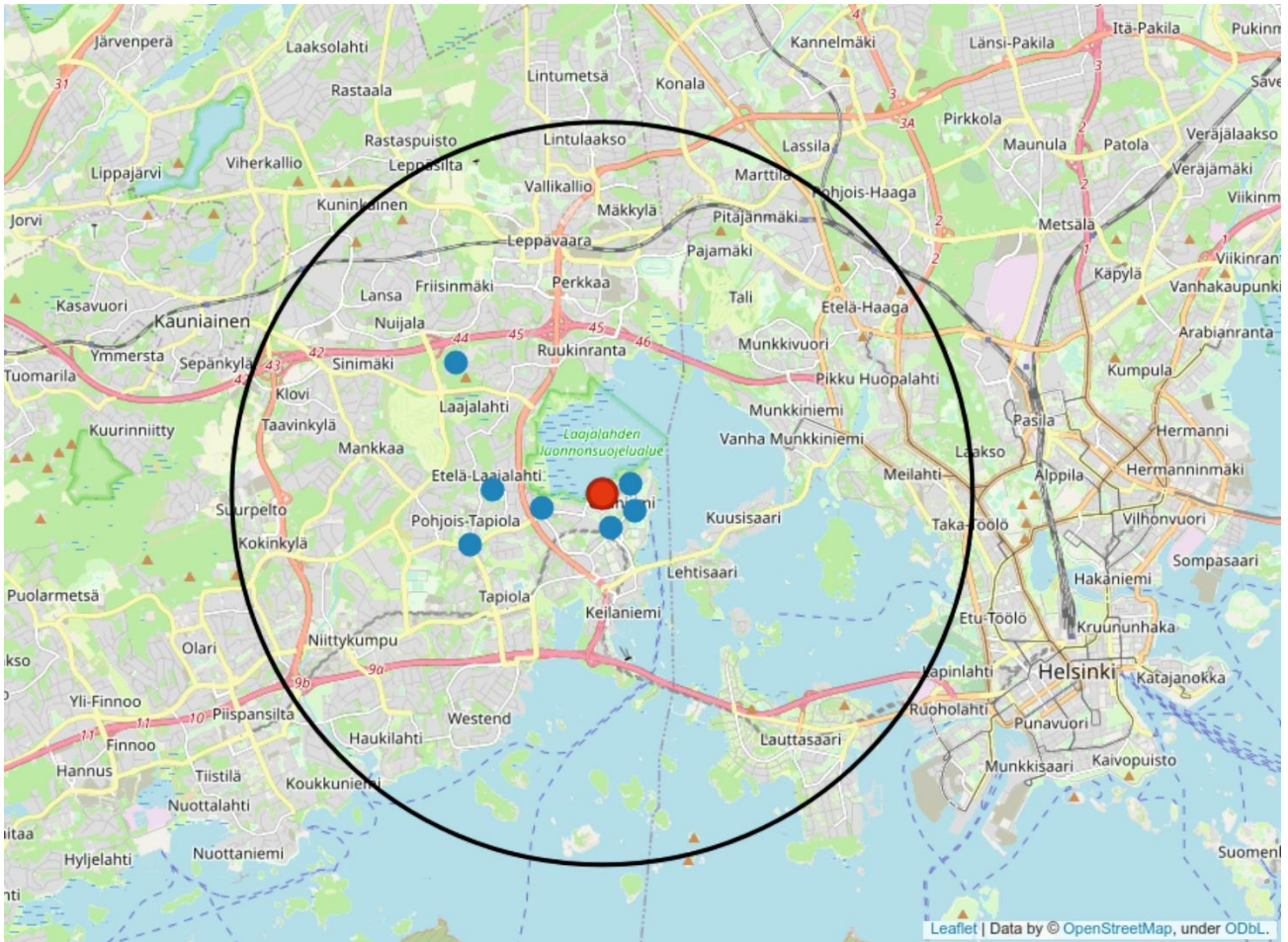
Figure 10. The epicentral distances of macroseismic reports obtained for a selection of earthquakes in 2020 (grayish and green rectangles) and for the earthquake of the 27th of December 2021 (red rectangles). The earthquakes occurred in Otaniemi, Espoo, and were classified as induced, except for the natural earthquake of magnitude 0.7 in Vantaa in 2020.

Etäisyydet ovat niin kutsuttuja episentrietäisyyksiä, eli havaitsijan etäisyys on laskettu järityskeskuksen projektiosta maan pinnalle. Indusoidut maanjäristykset saivat jopa 6 km:n syvyydellä, jolloin seismisen aallon täytyi kulkea 6,7 km saavuttaakseen havaitsijan 3 km:n päässä maan pinnalla. Voimakkuuksien epätarkkuutta ei ole otettu huomioon millään tavalla. Kaikilla aineistoon liittyvillä varauksillakin voidaan todeta, että pääkaupunkiseudulla on mahdollista havaita hyvin pieniä seismisiä tapauksia useiden kilometrien päästä. Syynä on seismisten aaltojen hidas vaimeneminen kiteisessä kallioperässä ja paksujen sedimenttikerrosten puuttuminen – siten myös “ihmisseismometreiltä” saadaan hyviä signaaleja.

Pääkaupunkiseudun maanjäristyksiin liittyvien makroseismisten lomakkeiden lukumäärät on annettu liitteessä 1.1. Eniten havaintoja tuli Otaniemessä 27. joulukuuta 2021 sattuneesta todennäköisesti indusoidusta magnitudin 1,0 maanjäristyksestä. Siitä saatiin havaintoilmoituksia alle 2,7 km:n etäisyyksiltä (kuvat 10 ja 11). Yhden ilmoituksen mukaan ilmiö pantiin merkille useassa kiinteistössä Otaniemessä alle kilometrin säteellä, mutta näille havainnoille ei ole tiedossa tarkkoja paikkoja. Laajalاهدella tuntui talossa tärähdys, joka sai joulukortteja kaatuilemaan ikkunalaudalla. Lintutornin lähellä kolmesta havaitsijasta yksi tunsu maan liikettä jalkojen alla, muut kuvasivat ääntä kuin railon syntymisenä jäähän. Tapaus huomattiin Pohjois-Tapiolassakin. Otaniemestä kerrottiin

myös, että hetkeä myöhemmin ilmiö toistui vaimeampana. Huomio saattoi liittyä magnitudin 0,4 tapaukseen, joka rekisteröitiin alle kaksi minuuttia pääjäristyksen jälkeen.

Syyskuiseen Pasilan räjäytykseen liittyvistä ilmoituksista valtaosa saatiin puhelimitse ja sosiaalisen median kautta, ainoastaan yksi palautettiin kyselylomakkeella.



Kuva 11. Siniset ympyrät osoittavat havaintoilmoituksia Otaniemen todennäköisesti indusoidusta maanjäristyksestä 27. joulukuuta 2021 kello 13:49 Suomen aikaa (voimakkuus 1,0). Punainen ympyrä on järistyskeskuksen projektio maanpinnalla, ja musta rengas on piirretty 5 km:n etäisyydelle siitä.

Figure 11. The blue dots show the macroseismic observations related to the earthquake in Otaniemi, Espoo on the 27th of December 2021 at 13:49 local time (magnitude 1.0, classified as probably induced). The red dot denotes the epicenter, and the black circle encompasses it at a 5-km radius.

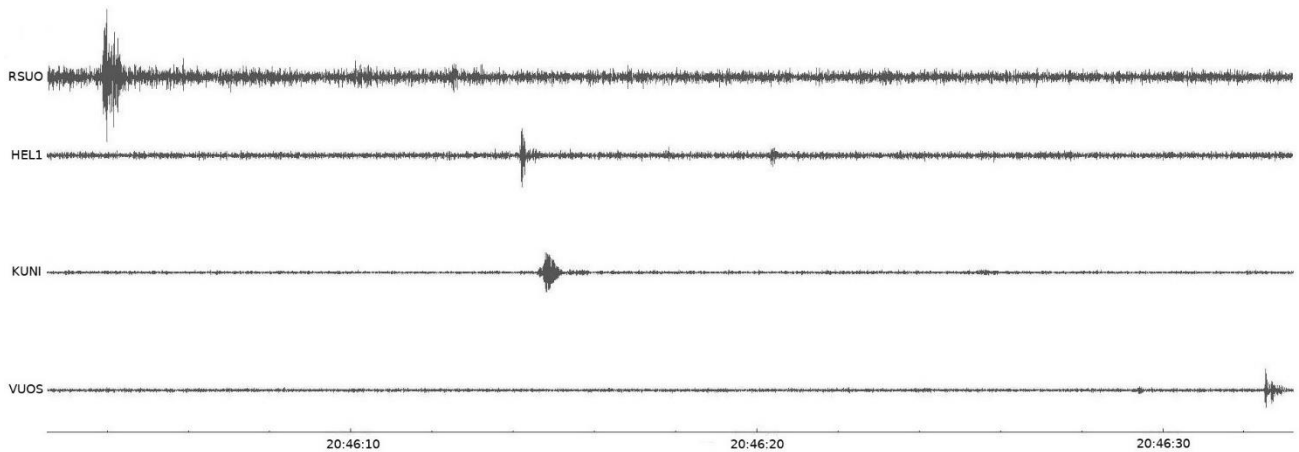
4. Pasilan räjäytys 11.9.2021

Seismologian instituutti sai yöllä 11.9.2021 lukuisia kansalaishavaintoja räjähdysmäisestä äänestä ja tärinästä. Havainnot keskittyivät Helsingin keski- ja pohjoisosiin muutaman kilometrin säteelle. Tapahtumahetkellä klo 23:46 Suomen aikaa sää oli sumuinen. Instituutin automaattinen havaintojärjestelmä ei ollut havainnut ajankohtaan ja paikkaan sopivia maanjäristyksiä eikä räjähdyksiä. Yliäänilennoistakaan ei ollut merkkejä.

Ilmakehään avaruudesta saapuvat suuret kivenkappaleet palavat usein näyttävinä tulipalloina. Ne voivat myös aiheuttaa ylääänipamauksia. Näin ollen Seismologian instituutti oli yhteydessä Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry:hyn selvittääkseen tällaista mahdollisuutta. Tähtitieteen harrastajien ylläpitämistä automaattisista taivaskameroista ei kuitenkaan ollut apua, koska mahdollisen tulipallon näkyvyysalueella pilvet peittivät taivaan. Ursan ylläpitämässä Taivaanvahti-havaintopalvelussa (<https://www.taivaanvahti.fi>) ei myöskään ollut ainuttakaan ajankohtaan sopivaa havaintoilmoitusta tulipalloihin liittyen.

Ilmakehässä tapahtuvan voimakkaan räjähdysten tuloksena on ääniaalto, joka voi näkyä seismisillä havaintoasemilla pitkittäisenä aaltona. Näin ollen pitkittäisten seismisten aaltojen saapumisaikojen perusteella on mahdollista arvioida tapauksen sijainti pienimmän neliösumman menetelmällä, jos dataa on saatavilla neljältä tai useammalta seismiseltä asemalta. Toisaalta poikittaisia aaltoja ei tällaisessa tapauksessa esiinny lainkaan ja tämä heikentää paikannuksen tarkkuutta. Lisäksi seismiseen analyysiin tarkoitettujen ohjelmistojen, kuten Seismologian instituutilla käytössä olevan Geotoolin, nopeusmallinnus perustuu aaltojen etenemiseen maankuoressa eikä ilmakehässä. Pasilan räjäytys ei tuottanut niin selkeää maankuoressa edennyttä seismistä aaltoa, että instituutin mittalaitteet olisivat sen rekisteröineet.

Pasilan räjäytys näkyi usealla lähialueen seismisellä asemalla (mm. RSUO, HEL1, KUNI ja VUOS, Kuva 12). Se erottui myös Kumpulassa Exactum-rakennuksen eri kerroksissa sijaitsevien antureiden datassa. Nämä siirrettävät anturit ovat osa Suomen akatemian rahoittamaa FLEX-EPOS-laitekokonaisuutta. Pelkästään seismisen datan perusteella oli mahdollista paikantaa tapahtuma Pohjois-Pasilaan. Seismologi Tommi Vuorinen kuitenkin lähetti Ursa ry:n tulipallotyöryhmän Jaakko Visurille tiedoksi P-aaltojen saapumisajat tarkempaa ääniaaltojen etenemiseen perustuvaa mallinnusta ja korkeusarviota varten.



Kuva 12. Pasilan räjäytyksen seisminen signaali seismisten asemien RSUO, HEL1, KUNI ja VUOS havaitsemana.

Figure 12. The seismic signal of the detonation in Pasila at the seismic stations RSUO, HEL1, KUNI, and VUOS.

Saatujen tulosten perusteella Helsingin räjähdys tapahtui Pohjois-Pasilan ratapihan reunalla (60.2188° N, 24.9399° E). Korkeusarvio tapaukselle oli vajaan 300 metrin korkeudella merenpinnasta. Tulipallot tuhoutuvat tyypillisesti vähintään useiden kilometrien korkeudella, joten todennäköisempi selitys ilmiölle oli ilmakehään ammuttu omatekoinen raketti. Lopulta Jaakko Visuri jalkautui maastoon ja löysi sytytykseen soveltuvia tulitikkuja ja käytetyn ammattilaisilotulitteen sytytyslangan vain 40 metrin päästä mallinnuksen antamasta kohdasta. Rakettihypoteesi oli nyt entistä vankemmalla pohjalla. Luonnontieteiden alojen välisessä yhteistyössä on voimaa!

Tähdet ja avaruus -lehden verkkouutinen Helsingin pamauksesta löytyy seuraavasta osoitteesta: <https://www.avaruus.fi/uutiset/tahtiharrastus-ja-taivaanilmiot/helsingin-pamaus-paikantui-300-metriin.html>

Tapauksen selvittämiseen osallistunut Jaakko Visuri sai Kaupunkitoimittajat ry:n vuoden kaupunkilainen -tunnustuksen: <https://www.avaruus.fi/uutiset/tahtiharrastus-ja-taivaanilmiot/vuoden-kaupunkilainen-on-helsingin-pamauksen-paikantanut-jaakko-visuri.html>

Lähdeluettelo

Elminen, T., H. Zwingmann ja A. Kaakinen, 2018. Constraining the timing of brittle deformation and sedimentation in southern Finland: Implications for Neoproterozoic evolution of the eastern Fennoscandian shield. *Precambrian Research* 304: 110–124.

Hillers, G., T.A.T. Vuorinen, M.R. Uski, J.T. Kortström, P.B. Mäntyniemi, T. Tiira, P.E. Malin ja T. Saarno, 2018. The 2018 Geothermal Reservoir Stimulation in Espoo/Helsinki, Southern Finland: Seismic Network Anatomy and Data Features. *Seismological Research Letters* 91: 770–786.

Kortström, J., M. Uski ja T. Tiira, 2016. Automatic classification of seismic events within a regional seismograph network. *Computers & Geosciences* 87: 22–30.

Luhta, T., P. Mäntyniemi, T. Vuorinen, P. Lindblom, P. Seipäjärvi, K. Oinonen, J. Kortström ja T. Tiira, 2020. Helsingin seisminen asemaverkko ja seismisyys 2019. Helsingin yliopisto, Seismologian instituutti, raportti T-101, 22 s.

Rintamäki, A.E., G. Hillers, T.A.T. Vuorinen, T. Luhta, J.M. Pownall, C. Tsarsitalidou, K. Galvin, J. Keskinen, J.T. Kortström, T.-Z. Lin, P.B. Mäntyniemi, K.J. Oinonen, T.J. Oksanen, P.J. Seipäjärvi, G. Taylor, M.R. Uski, A.I. Voutilainen ja D.M. Whipp, 2021. A Seismic Network to Monitor the 2020 EGS Stimulation in the Espoo/Helsinki Area, Southern Finland. *Seismological Research Letters* 93: 1046–1062.

Veikkolainen, T., K. Oinonen, T. Vuorinen, J. Kortström, P. Mäntyniemi, P. Lindblom, M. Uski ja T. Tiira, 2021a. Helsingin seisminen asemaverkko ja seismisyys 2020. Helsingin yliopisto, Seismologian instituutti, raportti T-103, 30 s.

Veikkolainen, T., J. Kortström, T. Vuorinen, I. Salmenperä, T. Luhta, P. Mäntyniemi, G. Hillers ja T. Tiira, 2021b. The Finnish National Seismic Network: Toward Fully Automated Analysis of Low-Magnitude Seismic Events. *Seismological Research Letters* 92: 1581–1591.

Liite 1. Vuoden 2021 seismisten tapausten analyysi

Liite 1.1. Luonnolliset ja indusoidut maanjäristykset Helsingissä ja lähialueella vuonna 2021

Tyyppien selitys: LI = indusoitu maanjäristys, LQ = luonnollinen maanjäristys.

Tapausten etäisyys Helsingin Rautatientorista on enintään 30 km.

Tapaukseen liittyvien havaintolomakkeiden lukumäärä voi poiketa varsinaisten havaintojen lukumäärästä esimerkiksi silloin, jos samalla lomakkeella on ilmoitettu useasta eri havainnosta. Yhdessä 27.12. vastaanotetussa havaintolomakkeessa varsinaisten havaintojen määrää ei ole tietoa.

Tapahtuma-aika (UTC)	Tapahtuma-aika (Suomen aikaa)	Leveysaste (°N)	Pituusaste (°E)	Magnitudi (LHEL)	Havaintolomakkeiden lukumäärä	Tyyppi
02.03.2021 10:48:14.5	02.03.2021 12:48:14.5	60.196	24.839	1.1	2	LI
04.07.2021 07:46:08.9	04.07.2021 10:46:08.9	60.196	24.836	0.6	0	LI
28.08.2021 05:39:33.3	28.08.2021 08:39:33.3	59.966	24.668	1.0	0	LQ
27.12.2021 11:49:56.8	27.12.2021 13:49:56.8	60.191	24.824	1.0	5	LI
27.12.2021 11:50:41.1	27.12.2021 13:50:41.1	60.191	24.823	-0.3	0	LI
27.12.2021 11:51:29.2	27.12.2021 13:51:29.2	60.191	24.826	0.4	1	LI
29.12.2021 05:10:33.4	29.12.2021 07:10:33.4	60.191	24.822	0.4	0	LI

Liite 1.2. Maanjäristysten paikannustulokset Nordic-formaatissa

Nordic-formaatin kuvaus: https://www.seismo.helsinki.fi/bulletin/list/nordic_format.html

```

2021 0302 1048 14.5 LI 60.196 24.839 5.7 HEL 17 0.0 1.1LHEL 1
GAP= 78 0.0 0.036 0.040 0.1 0.3 5
CSS:2021061104714.WFDISC 6
INDUCED EARTHQUAKE, ESPOO, FINLAND 3
ID:28703 I
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO SNR AR TRES W DIS CAZ7
HEL2 BZ EP 1048 15.44 -0.010 1 206
HEL2 BN ES 1048 16.14 0.0 5
HEL2 BZ MSG 1048 16.22 51.3 0.02
OTRA SZ EP 1048 15.33 -0.110 1 186
OTRA SN ES 1048 15.93 -0.2 4
MURA SZ EP 1048 15.28 -0.2 1 1 64
MURA SN ES 1048 15.81 -0.3 0
LEPP SZ EP 1048 15.44 -0.1 2 3 346
LEPP SN ES 1048 16.09 -0.2 9
HEL3 BZ EP 1048 15.51 -0.0 5 3 198
HEL3 BN ES 1048 16.26 0.0 9
HEL3 BZ MSG 1048 16.34 86.3 0.03
HEL1 BZ EP 1048 15.55 -0.0 9 3 131
HEL1 BN ES 1048 16.34 0.0 5
HEL1 BZ MSG 1048 16.39 174.8 0.03
TAPI SZ EP 1048 15.68 0.0 5 4 223
TAPI SN ES 1048 16.50 0.110
RUSK SZ EP 1048 15.65 -0.0 0 4 80
RUSK SN ES 1048 16.43 -0.110
LAUT BZ EP 1048 15.74 0.0 5 5 168
LAUT BN ES 1048 16.62 0.0 9
LAUT BZ MSG 1048 16.75 90.4 0.02
TVJP SZ EP 1048 15.70 -0.0 5 5 200
TVJP SN ES 1048 16.54 -0.1 9
HEL4 BZ EP 1048 15.85 0.0 5 6 342
HEL4 BN ES 1048 16.76 -0.0 0
UNIV SZ EP 1048 15.94 -0.010 7 82
UNIV SN ES 1048 16.93 -0.1 3
MALM SZ EP 1048 16.14 -0.110 9 263
MALM SN ES 1048 17.26 -0.2 5
KUNI BZ EP 1048 16.25 0.0 9 9 26
KUNI BN ES 1048 17.45 -0.0 4
KUNI BZ MSG 1048 17.57 21.9 0.02
HEL5 BZ EP 1048 16.44 0.0 5 10 213
HEL5 BN ES 1048 17.80 0.0 0
HEL5 BZ MSG 1048 17.83 76.0 0.03
VUOS BZ EP 1048 17.39 -0.0 0 17 92
VUOS BN ES 1048 19.45 -0.0 0

```

VUOS BZ MSG	1048	19.58	10.2	0.02																	
NUR SZ EP	1048	20.51								0.0	0										36 343
NUR SN ES	1048	24.73								0.0	0										
NUR SZ MSG	1048	24.88																			

2021 0704 0746 08.9 LI 60.196 24.836 5.6 HEL 27 0.0 0.6LHEL																						1	
GAP= 37 0.0 0.038 0.034 0.0 0.1																						5	
CSS:2021185074537.WFDISC																						6	
INDUCED SEISMIC EVENT, OTANIEMI, ESPOO, FINLAND																						3	
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO SNR AR TRES W DIS CAZ7																							
HEL2 BZ EP 746 9.84																							
HEL2 BZ ES 746 10.50																							
OTRA SZ EP 746 9.73																							
OTRA SZ ES 746 10.35																							
MURA SZ EP 746 9.69																							
MURA SZ ES 746 10.24																							
LEPP SZ EP 746 9.84																							
LEPP SZ ES 746 10.49																							
HEL3 BZ EP 746 9.91																							
HEL3 BZ ES 746 10.62																							
HEL1 BZ EP 746 9.97																							
HEL1 BZ ES 746 10.74																							
TAPI SZ EP 746 10.11																							
TAPI SZ ES 746 10.91																							
RSUO BZ EP 746 10.07																							
RSUO BZ ES 746 10.85																							
RUSK SZ EP 746 10.07																							
RUSK SZ ES 746 10.83																							
TVJP SZ EP 746 10.09																							
TVJP SZ ES 746 10.91																							
LAUT BZ EP 746 10.15																							
LAUT BZ ES 746 11.00																							
UNIV SZ EP 746 10.36																							
UNIV SZ ES 746 11.34																							
MALM SZ EP 746 10.52																							
MALM SZ ES 746 11.60																							
KUNI BZ EP 746 10.68																							
KUNI BZ ES 746 11.86																							
HEL5 BZ EP 746 10.83																							
HEL5 BZ ES 746 12.18																							
VUOS BZ EP 746 11.84																							
VUOS BZ ES 746 13.85																							
NUR SZ EP 746 14.91																							
NUR SZ ES 746 19.06																							
PVF BZ EP 746 20.15																							
PVF BZ ES 746 27.96																							
TVF BZ EP 746 24.48																							
TVF BZ ES 746 35.72																							
KY17 BZ ES 746 49.54																							
FIA0 SE EP 746 33.63																							

FIA0	SZ	ES	746	51.49					0.0	0		
FIA0	SZ	MSG	746	52.90	0.22	0.10						
FIA1	BZ	EP	746	33.63					0.1	2	155	25
FIA1	BZ	ES	746	51.49					0.0	3		
FIA1	BZ	MSG	746	53.16	0.25	0.10						
VJF	BZ	EP	746	33.54					-0.0	8	155	75
VJF	BZ	ES	746	51.51					-0.0	3		
VJF	BZ	MSG	746	52.61	0.35	0.10						
RAF	BZ	EP	746	39.14					0.1	0	192	300
RAF	BZ	ES	747	1.12					-0.0	4		
RAF	BZ	MSG	747	3.42	0.18	0.10						
KEF	BZ	EPB	746	43.24					0.0	3	220	0
KEF	BZ	ES	747	8.06					0.2	0		
KEF	BZ	MSG	747	10.80	0.26	0.10						
KAF	BZ	ESG	747	11.92					0.0	0	228	20
KAF	BZ	MSG	747	13.94	0.29	0.11						
KPF	BZ	ESB	747	12.71					0.0	0	236	322
KPF	BZ	MSG	747	16.22	0.20	0.12						

2021 0828 0539 33.3 LQ 59.966 24.668 2.0F HEL 16 0.1 1.0LHEL 1
GAP= 72 0.0 0.222 0.249 0.2 5
CSS:2021240053833.WFDISC 6
PROBABLY EARTHQUAKE, GULF OF FINLAND, FINLAND 3
ID:46945 I

STAT	SP	IPHASW	D	HRMM	SECON	CODA	AMPLIT	PERI	AZIMU	VELO	SNR	AR	TRES	W	DIS	CAZ7
LAUT	BZ	EP		0539	36.96								-0.110		23	27
LAUT	BZ	ES		0539	39.66								-0.1	5		
LAUT	BZ	MSG		0539	40.23		15.2	0.03								
HEL1	BZ	EP		0539	37.48								-0.1	5	26	27
HEL1	BZ	ES		0539	40.61								-0.010			
HEL1	BZ	MSG		0539	40.95		7.3	0.03								
RSUO	BZ	EP		0539	38.08								-0.110		30	26
RSUO	BZ	ES		0539	41.60								-0.0	5		
RSUO	BZ	MSG		0539	42.20		5.4	0.03								
VUOS	BZ	EP		0539	39.10								-0.1	5	36	47
VUOS	BZ	ES		0539	43.46								0.0	8		
VUOS	BZ	MSG		0539	44.22		3.9	0.03								
NUR	SN	EP		0539	43.04								-0.1	9	61	359
NUR	SN	ES		0539	50.07								0.0	3		
TVF	BZ	EP		0539	46.14								-0.2	9	81	261
TVF	BN	ES		0539	55.73								0.1	4		
TVF	BZ	MSG		0539	59.07		1.0	0.03								
PVF	BZ	EP		0539	48.35								0.1	2	92	45
PVF	BZ	ES		0539	58.55								-0.3	4		
ARBE	HZ	EP		0539	48.53								-0.1	6	95	128
ARBE	HZ	ES		0539	59.64								0.1	3		
MTSE	HZ	EP		0539	57.25								0.1	8	148	200
MTSE	HZ	ES		0540	13.85								-0.3	8		
MTSE	HN	ES		0540	14.01								-0.2	7		

VJF	BN	EP	0540	01.01								0.3	4	172	67
VJF	BZ	ES	0540	21.01								0.2	6		
FIA0	SN	EP	0540	02.33								0.1	3	182	24
FIA1	BZ	EP	0540	02.33								0.1	7	182	24
RAF	BZ	EP	0540	04.88								0.2	3	199	308
RAF	BZ	ES	0540	27.58								-0.0	6		
KEF	BN	EPG	0540	12.75								-0.2	4	246	2
KEF	BZ	ESG	0540	41.10								-0.1	0		
KPF	BN	EPB	0540	12.75								0.1	0	252	327
KPF	BN	ESB	0540	41.64								0.2	0		
KAF	BZ	EPB	0540	13.38								0.2	0	255	20
KAF	BZ	ESB	0540	42.44								0.1	0		

2021 1227 1149 56.8 LI 60.191 24.824 1.0F HEL 13 0.0 1.0LHEL 1
 GAP= 98 0.0 0.053 0.065 0.2 5
 CSS:2021361114900.WFDISC 6
 PROBABLY INDUCED SEISMIC EVENT, ESPOO, OTANIEMI, FINLAND, MAIN EVENT, FELT 3
 ID:61668 I

													F				HEL	2
STAT	SP	IPHASW	D	HRMM	SECON	CODA	AMPLIT	PERI	AZIMU	VELO	SNR	AR	TRES	W	DIS	CAZ7		
HEL2	BZ	EP		1149	56.85								-0.1	1	1	130		
HEL2	BZ	ES		1149	56.97								-0.1	0				
OTRA	SZ	EP		1149	56.90								-0.110		1	122		
OTRA	SZ	ES		1149	57.03								-0.1	5				
HEL1	BZ	EP		1149	57.35								-0.0	9	4	115		
HEL1	BZ	ES		1149	57.83								0.0	5				
TVJP	SZ	EP		1149	57.45								-0.010		4	192		
TVJP	SZ	ES		1149	57.97								-0.0	5				
LAUT	BZ	EP		1149	57.54								-0.010		5	156		
LAUT	BZ	ES		1149	58.19								0.1	3				
RSUO	BZ	EP		1149	57.59								-0.010		5	69		
RSUO	BZ	ES		1149	58.16								-0.1	4				
UNIV	SZ	EP		1149	58.06								0.010		8	79		
UNIV	SZ	ES		1149	59.04								0.1	3				
HEL5	BZ	EP		1149	58.31								-0.010		9	210		
HEL5	BZ	ES		1149	59.41								0.0	5				
KUNI	BZ	EP		1149	58.38								-0.0	9	10	29		
KUNI	BZ	ES		1149	59.54								-0.0	5				
VUOS	BZ	EP		1149	59.68								0.010		18	90		
VUOS	BN	ES		1150	01.75								0.0	5				
NUR	SZ	EP		1150	02.80								0.1	6	37	345		
NUR	SZ	ES		1150	06.97								0.0	5				
PVF	BZ	EP		1150	08.51								0.5	0	70	55		
PVF	BZ	ES		1150	16.02								0.0	4				
TVF	BZ	EP		1150	12.79								0.5	0	96	247		
TVF	BZ	ES		1150	23.52								0.2	0				
FIA0	SZ	MSG		1150	41.18			0.7	0.10						156	25		
FIA1	BZ	MSG		1150	40.54			0.6	0.10						156	25		
RAF	BZ	MSG		1150	50.79			0.4	0.10						192	300		
KEF	BZ	MSG		1150	59.59			1.0	0.10						221	1		

KAF BZ MSG 1151 03.27 1.0 0.10 229 20

2021 1227 1150 41.1 LI 60.191 24.823 1.0F HEL 8 0.0-0.3LHEL 1
GAP=180 0.0 0.073 0.093 0.2 5
CSS:2021361115000.WFDISC 6
PROBABLY INDUCED SEISMIC EVENT, ESPOO, OTANIEMI, FINLAND 3
ID:59582 I
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO SNR AR TRES W DIS CAZ7
HEL2 BZ EP 1150 41.25 -0.1 1 1 131
HEL2 BZ ES 1150 41.36 -0.1 0
OTRA SZ EP 1150 41.30 -0.1 9 1 124
OTRA SZ ES 1150 41.41 -0.1 4
HEL3 BZ EP 1150 41.48 -0.010 2 177
HEL3 BZ ES 1150 41.75 -0.0 5
HEL1 BZ EP 1150 41.74 -0.010 4 115
HEL1 BZ ES 1150 42.20 0.0 5
HEL1 BZ MSG 1150 42.30 2.4 0.03
TVJP SZ EP 1150 41.84 -0.0 5 4 191
TVJP SZ ES 1150 42.31 -0.110
LAUT BZ EP 1150 41.94 0.0 5 5 156
LAUT BZ ES 1150 42.47 -0.0 4
LAUT BZ MSG 1150 42.72 1.8 0.03
HEL5 BZ ES 1150 43.82 0.0 0 9 209
HEL5 BZ MSG 1150 43.95 2.1 0.03
KUNI BZ ES 1150 43.90 -0.0 0 10 29
KUNI BZ MSG 1150 44.00 0.9 0.03

2021 1227 1151 29.2 LI 60.191 24.826 1.0F HEL 19 0.1 0.4LHEL 1
GAP= 98 0.0 0.081 0.100 0.1 5
CSS:2021361115100.WFDISC 6
PROBABLY INDUCED SEISMIC EVENT, ESPOO, OTANIEMI, FINLAND 3
ID:61669 I
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO SNR AR TRES W DIS CAZ7
HEL2 BZ EP 1151 29.30 -0.1 7 0 140
HEL2 BZ ES 1151 29.50 -0.0 5
OTRA SZ EP 1151 29.35 -0.110 1 127
OTRA SZ ES 1151 29.49 -0.1 5
HEL3 BZ EP 1151 29.53 -0.1 9 2 182
HEL3 BZ ES 1151 29.79 -0.1 5
HEL1 BZ EP 1151 29.81 -0.010 3 116
HEL1 BZ ES 1151 30.26 0.0 5
TVJP SZ EP 1151 29.91 -0.010 4 193
TVJP SZ ES 1151 30.46 0.0 5
LAUT BZ EP 1151 30.00 -0.010 5 158
LAUT BZ ES 1151 30.64 0.1 4
RSUO BZ EP 1151 30.04 -0.010 5 69
RSUO BZ ES 1151 30.61 -0.0 5
UNIV SN EP 1151 30.50 0.010 8 79
UNIV SN ES 1151 31.50 0.1 4

HEL5 BZ EP	1151 30.76			-0.010	10	211
HEL5 BZ ES	1151 31.94			0.1	5	
KUNI BZ EP	1151 30.80			-0.1	9	10 28
KUNI BZ ES	1151 32.00			0.0	5	
VUOS BZ EP	1151 32.06			-0.0	9	18 90
VUOS BZ ES	1151 34.23			0.1	4	
NUR SZ EP	1151 35.25			0.1	9	37 345
NUR SZ ES	1151 39.47			0.0	5	
PVF BZ ES	1151 48.20			-0.2	0	69 55
PVF BZ MSG	1151 48.88	0.3	0.10			
TVF BZ ES	1151 55.93			0.1	4	96 247
TVF BZ MSG	1151 56.79	0.2	0.10			
KY02 BZ ES	1152 07.42			0.1	2	138 50
KY17 BZ ES	1152 10.28			0.1	3	148 55
FIA0 SZ ES	1152 12.12			-0.1	0	156 25
FIA0 SZ MSG	1152 13.40	0.3	0.10			
FIA1 BZ ES	1152 12.11			-0.1	4	156 25
FIA1 BZ MSG	1152 13.72	0.2	0.10			
VJF BZ ES	1152 12.22			-0.0	0	156 74
VJF BZ MSG	1152 12.90	0.2	0.10			

2021 1227 LI 0.0FFHEL 1
CSS:2021361115105.wfdisc 6
PROBABLY INDUCED SEISMIC EVENT, ESPOO, OTANIEMI, FINLAND 3
ID:61670 I
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO SNR AR TRES W DIS CAZ7
HEL2 BZ P 1151 34.88
HEL3 BZ S 1151 35.39
HEL3 BZ P 1151 35.11
HEL2 BZ S 1151 35.01
OTRA SZ P 1151 34.93
OTRA SZ S 1151 35.09
TVJP SZ S 1151 35.95

2021 1227 LI 0.0FFHEL 1
CSS:2021361115130.wfdisc 6
PROBABLY INDUCED SEISMIC EVENT, ESPOO, OTANIEMI, FINLAND 3
ID:61671 I
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO SNR AR TRES W DIS CAZ7
HEL2 BZ P 1152 34.34
HEL2 BZ S 1152 34.47
HEL3 BZ P 1152 34.59
HEL3 BZ S 1152 34.86
OTRA SZ P 1152 34.41
OTRA SZ S 1152 34.55

2021 1229 0510 33.4 LI 60.191 24.822 1.0F HEL 12 0.1 0.4LHEL 1
GAP=135 0.0 0.113 0.155 0.1 5

CSS:2021363051000.WFDISC

6

PROBABLY INDUCED SEISMIC EVENT, OTANIEMI, ESPOO, FINLAND

3

ID:59776

I

STAT	SP	IPHASW	D	HRMM	SECON	CODA	AMPLIT	PERI	AZIMU	VELO	SNR	AR	TRES	W	DIS	CAZ7
HEL2	BZ	EP		0510	33.49								-0.1	8	1	128
HEL2	BZ	ES		0510	33.61								-0.1	3		
ELFV	SZ	EP		0510	33.51								-0.2	7	1	350
ELFV	SZ	ES		0510	33.64								-0.2	3		
HEL3	BZ	EP		0510	33.73								-0.010		2	177
HEL3	BE	ES		0510	34.01								-0.0	5		
HEL3	BZ	MSG		0510	34.05		55.7	0.03								
HEL1	BZ	EP		0510	34.01								-0.0	5	4	115
HEL1	BZ	ES		0510	34.48								0.010			
HEL1	BZ	MSG		0510	34.58		29.9	0.03								
TVJP	SZ	EP		0510	34.11								-0.010		4	191
TVJP	SZ	ES		0510	34.63								0.0	5		
TVJP	SZ	MSG		0510	34.75		33.4	0.03								
LAUT	BZ	EP		0510	34.20								-0.0	5	5	155
LAUT	BZ	ES		0510	34.84								0.110			
RSUO	BZ	EP		0510	34.24								-0.0	5	5	70
RSUO	BZ	ES		0510	34.90								0.010			
RSUO	BZ	MSG		0510	34.92		11.4	0.03								
UNIV	SZ	EP		0510	34.71								0.010		8	79
UNIV	SZ	ES		0510	35.70								0.1	5		
HEL5	BZ	EP		0510	34.99								0.0	9	9	210
HEL5	BZ	ES		0510	36.14								0.1	1		
KUNI	BZ	EP		0510	35.04								-0.0	8	10	29
KUNI	BZ	ES		0510	36.21								0.0	3		
KUNI	BZ	MSG		0510	36.24		7.3	0.03								
VUOS	BZ	EP		0510	36.38								0.1	0	18	90
VUOS	BZ	ES		0510	38.61								0.2	0		
NUR	SZ	EP		0510	39.47								0.1	0	37	345
NUR	SZ	ES		0510	43.75								0.2	0		



T-106

ISSN 0781-9579

ISBN 978-952-10-9607-5

<http://hdl.handle.net/10138/341390>

Helsinki 2022