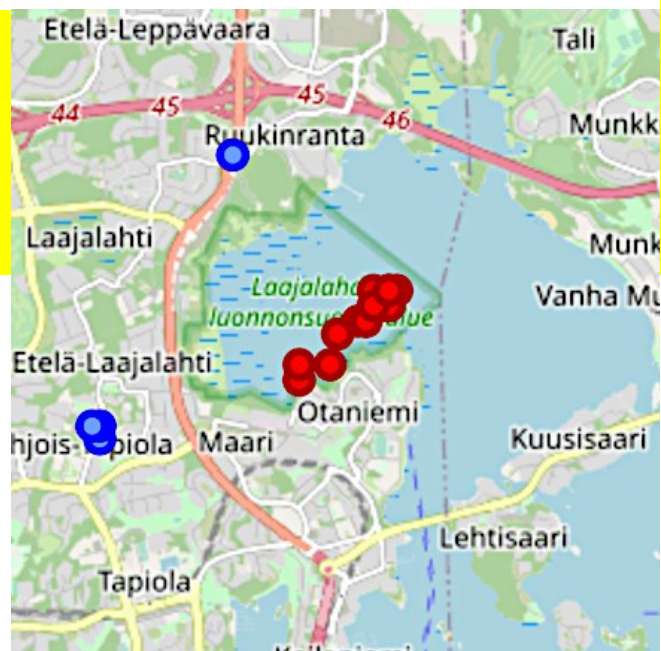


TONI VEIKKOLAINEN, MARJA USKI, AHTI VOUTILAINEN,  
TOMMI VUORINEN, JARI KORTSTRÖM, KATI OINONEN,  
TUIJA LUHTA, PÄIVI MÄNTYNIEMI JA TIMO TIIRA

## SEISMISYYS ESPOON OTANIEMEN SYVÄREIKÄHANKKEEN VIIMEISTELYVAIHEESSA



Kansi: Vuoden 2020 alkupuoliskolla havaittu indusoitu seismisyys Espoon Otaniemen geolämpöhankkeen työmaalla ja lähialueella. Indusoidut maanjäristykset on merkitty punaisilla ja räjäytykset sinisillä täplillä.

Cover: Induced seismicity observed at the construction site of the Otaniemi, Espoo deep heat project and in the vicinity during the first half of 2020. Induced earthquakes are denoted with red and explosions with blue dots.

Seismologian instituutin raportti T-102

Päätoimittaja Timo Tiira

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

Puh. +358 2941 51600

[www.seismo.helsinki.fi](http://www.seismo.helsinki.fi)

ISSN 0781-9579

ISBN 978-952-10-9602-0

<https://hdl.handle.net/10138/321202>

Helsinki 2020

Seismologian instituutti  
Helsingin yliopisto  
Raportti T-102

# **SEISMISYYS ESPOON OTANIEMEN SYVÄREIKÄHANKKEEN VIIMEISTELYVAIHEESSA**

TONI VEIKKOLAINEN, MARJA USKI, AHTI VOUTILAINEN, TOMMI  
VUORINEN, KATI OINONEN, JARI KORTSTRÖM, TUIJA LUHTA, PÄIVI  
MÄNTYNIEMI JA TIMO TIIRA

Seismologian instituutti  
Geotieteiden ja maantieteen osasto  
Helsingin yliopisto  
Helsinki, Suomi

Yhteistyössä St1 Oy:n kanssa

## Tiivistelmä

Tämä raportti käsittelee energiayhtiö St1:n toteuttamaan lämpövoimalahankkeeseen liittyvää indusoitua seismisyyttä Espoon Otaniemessä tammi-syyskuussa 2020. Yhtiö toteutti lämpövoimalahankkeen yhteydessä toukokuussa 2020 johtavuustestin ja sitä seuranneen vastastimulaation 5,8 km syvässä porareiässä OTN-2b. Niiden aikana esiintyi indusoituja eli ihmistoiminnasta johtuvia maanjäristyksiä, joista osa havaittiin myös ihmisaistein.

Tässä raportissa esitetyt tulokset ovat osa Seismologian instituutin toteuttamaa voimalahankkeen seismistä valvontaa. Johtavuustestin ja vastastimulaation aikana seismisyystaso jäi selvästi alhaisemmaksi kuin lämpövoimalan ensimmäisen porareiän stimuloinnin aikana 2018. Tapauksia, joiden magnitudi oli  $M_L \geq 0,8$  havaittiin yhdeksän. Niistä kaksi ylitti liikennevalojärjestelmän keltaisen varoitusrajan ( $M_L \geq 1,2$ ). Alustavien siirrostasoratkaisujen perusteella nämä kaksi järjestystä sattuivat lämpövarantoa leikkaavassa luode-kaakko-suuntaisessa siirrosvyöhykkeessä. Suurimmat järjestykset paikannettiin 500 m:n säteelle porareiästä pääosin lähelle porareiän pohjaa 5,4-5,6 km:n syvyydelle. Vedensyötön loputtua indusoitu seismisyys väheni nopeasti. Ensimmäisen ja toisen stimulointijakson välisenä aikana alueella havaittiin vain muutamia pieniä indusoituja järjestyksiä.

Täydellinen analyysiraportti syyskuun 2020 loppuun mennessä Otaniemessä havaituista, vähintään magnitudin 0,8 indusoiduista maanjäristyksistä on Liitteessä 1.1. Liitteessä 1.2 listataan samalta alueelta magnitudista riippumatta kaikki indusoidut maanjäristykset, joista Seismologian instituutti on saanut tuntuuushavaintoja.

## **Abstract**

This report describes induced seismicity related to the Otaniemi deep heat project of the energy company St1 in January-September 2020. The St1 company completed a conductivity test and a subsequent counterstimulation in the 5.8 km deep borehole OTN-2b in Espoo, Finland in May 2020. During these procedures, induced earthquakes occurred, several of which were noticed by residents.

The results presented here are part of seismic monitoring of the Otaniemi enhanced geothermal system conducted by the Institute of Seismology. During the conductivity test and counterstimulation, induced seismicity clearly remained below the 2018 levels. Nine events with magnitude  $M_L \geq 0.8$  were observed and two of them exceeded the amber traffic light threshold ( $M_L \geq 1,2$ ). Preliminary focal mechanisms indicate that the amber events occurred in a NNW-SSE fracture zone crosscutting the heat reservoir. The largest events were located within 500 m radius from the borehole, mainly at a depth of 5.4-5.6 km near the bottom of the borehole. After the water injection the level of induced seismicity decreased rapidly. Only a few weak induced events were observed in between the first and second stimulation period.

Appendix 1.1 lists induced earthquakes observed instrumentally in the Helsinki region until the end of September 2020, with the threshold magnitude  $M_L \geq 0.8$ . Appendix 1.2 presents all induced earthquakes from the same area with macroseismic felt reports submitted to the Institute of Seismology, regardless of magnitude.

## Sisältö

<u>1. Johdanto.....</u>	<u>1</u>
<u>2. Seismiset havaintoasemaverkot voimalahankkeen läheisyydessä.....</u>	<u>2</u>
<u>3. Havainnot indusoiduista maanjäristyksistä tammi-syyskuussa 2020.....</u>	<u>6</u>
<u>4. Alustavat siirrostasoratkaisut.....</u>	<u>11</u>
<u>Lähteet.....</u>	<u>14</u>
<u>Liite 1. Vuoden 2020 seismisten tapausten analyysi.....</u>	<u>15</u>
<u>Liite 1.1 Analyysitulokset (<math>M_L \geq 0.8</math>) Nordic-formaatissa.....</u>	<u>15</u>
<u>Liite 1.2 Yhteenveto indusoitujen maanjäristysten tuntuvuushavainnoista.....</u>	<u>24</u>

# 1. Johdanto

Geoterminen energia on noussut viime vuosina kiinnostuksen kohteeksi myös Suomessa. Kallioperämme on vanhaa ja lämpötila maankuoressa nousee melko hitaasti syvyyden funktiona (Veikkolainen ym. 2017). Geotermisen energian suora hyödyntäminen ilman lämpöpumppuja edellyttää siksi syviä porareikiä.

Suomen ensimmäisessä syvän lämpöenergian hankkeessa St1 Oy:n päämääränä on lämpövoimalan rakentaminen Espooseen Fortum Oyj:n kaukolämmön tuotantoa varten. St1 Deep Heat Oy (sittemmin St1 Oy) porautti vuonna 2015 Espoon Otaniemeen ensin 2015 m syvän koareiän OTN-1. Onnistuneen koeporauksen jälkeen yritys porautti varsinaiset lämmöntuotantoon tarkoitetut reiät, joista OTN-2a on 6384 m ja OTN-2b 5760 m syvä. Reiät ovat lähekkäin, ja kallioperään syötettävän veden on voimalan tuotantokäytössä tarkoitus virrata niiden välillä, jotta kuuma vesi voidaan aikanaan edelleen pumpata kaukolämpöverkkoon.

Geotermisten voimaloiden rakennusvaihe edellyttää usein hydraulista stimulointia. Erityisesti kiteisessä kallioperässä tämä on tarpeen, jotta kallion suhteellisen pieniä rakoja voidaan laajentaa vedenläpäisyn ja lämmönjohtumisen parantamiseksi. Hankkeessaan St1 Oy toteutti hydraulisen stimuloinnin OTN-2a-reiässä 4.6.-23.7.2018 ja OTN-2b-reiässä 6.-24.5.2020. Stimulointi aiheuttaa pieniä maanjäristyksiä, joten seismisyyden seuranta Otaniemen voimalan rakennusvaiheessa on hyvin tärkeää (Hillers ym. 2020; Kwiatek ym. 2019; Uski ja Piipponen, 2019). Hankkeen aikana St1 Oy tarkkaili omavalvontana seismisyyttä porareikiin asennetuilla seismometreillä sekä Helsinkiin ja Espooseen perustamansa väliaikaisen havaintoverkon avulla. Hankkeen valvonnasta vastaavana asiantuntijatahona Seismologian instituutti rakensi omat havaintoverkkonsa voimalan läheisyyteen.

Tämä raportti keskittyy pääasiassa instituutin omien havaintoverkkojen analyysituloksiin. St1 Oy:n asemia on yrityksen ja Helsingin yliopiston välisen sopimuksen perusteella käytetty havaintotarkkuuden parantamiseksi. Seismisen asemaverkon kehitystä pääkaupunkiseudulla ja Seismologian instituutin seismistä valvontajärjestelmää on kuvattu osiossa 2. Raportti kattaa OTN-2b-porareian valmistelutöiden, johtavuustestin, vastastimulaation ja stimulaation jälkeisen seismisyyden kehityksen tammi-syyskuussa 2020. Osio 3 käsittelee indusoitujen maanjäristysten paikannusta ja koonmäärittämistä ja osio 4 kahden suurimman tapauksen alustavaa siirrosmekanismia. Stimuloinnin jälkeistä seismisyyttä voi esiintyä vielä myöhemmin, ja sitä suositellaan tarkkailtavan myös voimalan käyttöönoton aikana. Geotermisen voimalan seismisen valvonnan tulee kattaa voimalan koko elinkaari (Uski ja Piipponen, 2019).

## 2. Seismiset havaintoasemaverkot voimalahankkeen läheisyydessä

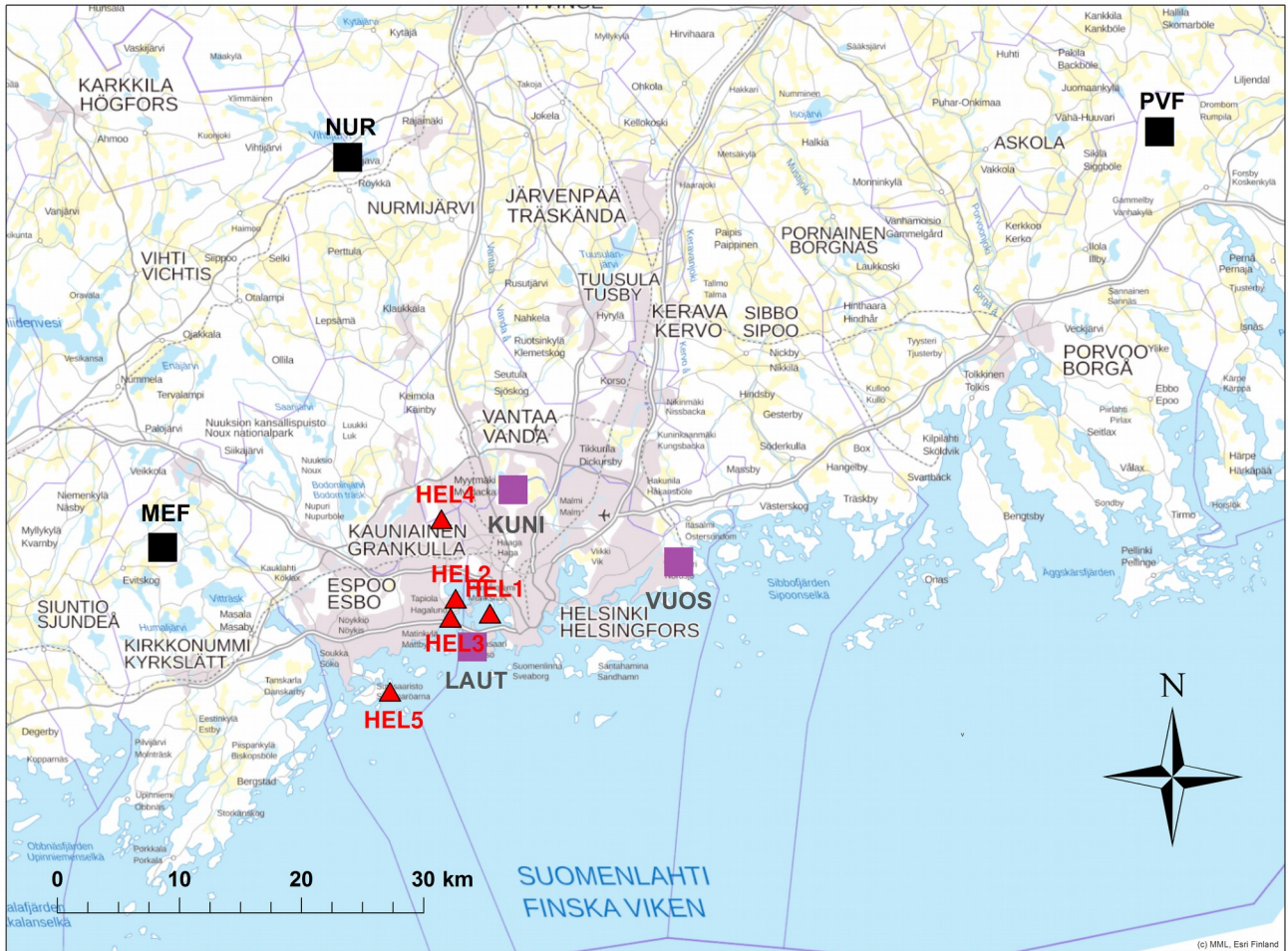
Seismologian instituutti ylläpitää kansallista seismistä asemaverkkoa Suomen ja sen lähialueiden seismisen valvonnan tarpeisiin (Kortström ym. 2018). Asemaverkko on riittävän tiheä havaitsemaan kynnysmagnitudia  $M_L=1,0$  suuremmat tapaukset koko maassa. Kynnysmagnitudi madaltuu tiheiden paikallisten asemaverkkojen kohdalla, kuten Pyhäjoelle kaavaillun ydinvoimalan läheisyydessä (Valtonen ym. 2013). Ydinvoimaloiden valvontaverkot on ensisijaisesti tarkoitettu luonnollisen seismisyyden ja aktiivisten siirrostien tarkkailuun pitkällä ajanjaksolla, mutta geotermisten voimaloiden valvonnassa pääpaino on indusoidussa seismisyydessä, etenkin jos luonnollinen seismisyys on vähäistä.

Vuosina 2016-2017 Seismologian instituutti perusti pääkaupunkiseudulle viidestä asemasta koostuvan väliaikaisen tutkimusverkon. Sen havaintoasemista HEL1 sijaitsee Helsingin Seurasaarella, HEL2 Espoon Otaniemessä, HEL3 Espoon Keilaniemessä, HEL4 Espoon Lintuvaarassa ja HEL5 Espoon Suvisaaristossa. Vuosina 2019-2020 instituutti perusti yhdessä Helsingin kaupungin kanssa Helsinkiin kolmesta seismografiasemasta koostuvan HelsinkiNet-havaintoverkon, jonka tavoitteena on madaltaa kynnysmagnitudia ja parantaa seismisten tapausten paikannustarkkuutta pääkaupunkiseudulla. Kyseinen verkko on kaupungin tilaama ja kustantama (Luhta ym. 2020). Näiden kahden verkon asemien sijainnit on esitetty Kuvassa 1 sekä Taulukossa 1. Sekä väliaikaisen verkon että HelsinkiNetin aineisto saapuu miltei reaaliajassa instituutin palvelimille ja on kansallisen verkon datan tapaan käytettävissä seismisten tapausten automaattisessa havainto- ja paikannusjärjestelmässä.

St1:n hankkeen valvontaa varten Seismologian instituutti on käyttänyt myös erillistä automaattista havainto- ja paikannusjärjestelmää. Se perustuu kansallisen verkon ohjelmistoon, mutta sitä on muokattu sopivammaksi heikoille läheltä asemia tuleville signaaleille. Tämä ”pääkaupunkiseudun havaintojärjestelmä” käyttää kolmen kansallisen verkon aseman lisäksi pääkaupunkiseudun väliaikaisen tutkimusverkon, HelsinkiNet-verkon sekä St1:n havaintoverkon asemia (Kuva 1). Automaattista havainnointia ja paikannusta ohjaavat parametrit on valittu siten, että verkko havaitsisi mahdollisimman paljon kansallisen havaintokynnyksen alapuolelle jääviä tapauksia pääkaupunkiseudulta. Valvontaverkon havaintokynnys on parhaimmillaan alle magnitudin nolla, mutta järjestelmä tuottaa myös virheellisiä havaintoja ja epätarkkoja paikannustuloksia varsinkin verkon reuna-alueilta.

Seismologian instituutissa on käytössä järjestelmä erilaisilla havaintomenetelmillä ja -laitteilla löydettyjen seismisten tapausten automaattiseen tunnistamiseen ja luokitteluun (Kortström ym. 2016). Suurin osa kansallisen asemaverkon havaitsemista tapauksista on todennäköisiä louhos- tai työmaaräjättyksiä. Näiden osalta automaattipaikannus useimmiten jää lopulliseksi paikannukseksi ja vain luokittelu tarkistetaan käsin päivittäisanalyyseissa. Suomen alueella automaattipaikannusten virhe voi olla useita kilometrejä. Siihen vaikuttaa havaintoasemien laadun lisäksi myös asemageometria, eli seismisen tapahtuman sijainti suhteessa asemien sijaintiin. Ihanteellista on, että havaintoasemat sijaitsevat mahdollisimman tasaisesti eri suunnissa seismisen lähteen ympärillä. Käytännössä suurimman atsimuuttiaukon (kahden vierekkäisen aseman ilmansuunnan väliin jäävän aukon) pitäisi olla alle  $90^\circ$ .





**Kuva 1:** Seismologian instituutin ylläpitämät seismiset asemat Helsingissä ja lähialueilla. Kansallisen seismisen verkon asemat MEF (Kirkkonummi), NUR (Nurmijärvi) ja PVF (Pernaja) on merkitty mustilla neliöillä. Helsingin seudun väliaikaisen tutkimusverkon asemat HEL1-HEL5 on merkitty punaisilla kolmioilla. Vuosina 2019-2020 Helsinkiin rakennetun asemaverkon (HelsinkiNet) asemat KUNI (Kuninkaantammi), LAUT (Lauttasaari) ja VUOS (Vuosaari) on merkitty violeteilla neliöillä. Muokattu raportin Luhta ym. (2020) Kuvasta 1.

**Figure 1:** Seismic stations maintained by Institute of Seismology in Helsinki and adjacent areas. The Finnish national seismic network stations MEF (Kirkkonummi), NUR (Nurmijärvi), and PVF (Pernaja) are marked with black squares. Stations of the temporary research network of Helsinki region (HEL1-HEL5) are marked with red triangles. Stations of the Helsinki network, established in 2019-2020, are marked with violet squares: LAUT (Lauttasaari), KUNI (Kuninkaantammi), and VUOS (Vuosaari). Modified after Figure 1 in Luhta et al. (2020).

Seismologian instituutti analysoi luonnolliset tai ihmistoiminnan aiheuttamat maanjäristykset sekä muuten voimakkuudeltaan tai merkitykseltään epätyypilliset seismiset tapaukset käsin päivittäisanalysissa. Valvontajakson aikana näihin luetaan myös kaikki tapaukset, joiden automaattinen paikannustulos on 10 km:n säteellä Otaniemen voimalahankkeen porareijistä OTN-1, OTN-2a ja OTN-2b. Tässä yhteydessä seismisten aaltojen tuloajat sekä maanliikkeen maksimiampplitudit luetaan uudelleen seismogrammeista. Näiden avulla määritetään tapauksille uudet lähdetiedot eli tapahtuma-aika ja -paikka, magnitudi (voimakkuus) ja syvyys. Tällä hetkellä

pääkaupunkiseudulla paikannustarkkuudessa voidaan päästä jopa kymmenien metrien tasolle, jos tapaus on riittävän voimakas ja havaintojen määrä sekä laatu riittäviä.

Kuvassa 2 on esitetty Seismologian instituutin havaitsemat räjäytykset, todennäköiset räjäytykset, luonnolliset maanjäristykset ja indusoidut maanjäristykset Helsingissä ja lähialueilla aikavälillä 1.1.-30.9.2020.



**Kuva 2:** Seismologian instituutin raportoimat tarkistetut seismiset tapaukset Helsingissä ja sen lähialueilla tammi-syyskuussa 2020.

**Figure 2:** Seismic events in January-September 2020 in Helsinki and nearby areas, reported by the Institute of Seismology.

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

**Table 1.** Locations (WGS84) of seismic stations belonging to the temporary research network (HEL1-HEL5) and permanent HelsinkiNet network (KUNI, LAUT, 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
LAUT	60,15	24,86
KUNI	60,27	24,91
VUOS	60,19	25,15

### 3. Havainnot indusoiduista maanjäristyksistä tammi-syyskuussa 2020

Vuoden 2020 tammi-syyskuussa Seismologian instituutin mittauslaitteet rekisteröivät yhteensä 83 indusoitua maanjäristystä Otaniemen voimala-alueelta. Niistä yhdeksän oli magnitudiltaan 0,8 tai enemmän. Näiden tapausten lähdeparametrit on esitetty Taulukossa 2 ja täydellinen analyysiraportti Liitteessä 1.1. Tässä raportissa magnitudi on Seismologian instituutin käyttämä  $M_L$ -magnitudi (Uski, 1997) ja koordinaatit on esitetty WGS84-järjestelmässä. Päivämäärät ja kellonajat ovat Suomen aikaa, ellei toisin ole mainittu. Paikannustuloksiin on lupaviranomaisten ja St1:n välisen sopimuksen nojalla käytetty Seismologian instituutin ylläpitämien havaintoasemien lisäksi myös St1:n omien asemien (ELFV, LEPP, MALM, MUNK, MURA, OTRA, RUSK, TAPI, TVJP, UNIV) seismogrammiaineistoa, joka muuten ei ole vapaasti saatavilla.

**Taulukko 2.** Suurimmat indusoidut järjestykset Otaniemessä tammi-syyskuussa 2020. Tapahtuma-aika on Suomen aikaa. Suluissa keskihajonta paikkakoordinaateille ja syvyydelle (metreinä) sekä magnitudille. Lyhenteet: Asemien lukumäärä (As), suurin atsimuuttiaukko (Gap) ja magnitudi ( $M_L$ ).

**Table 2.** Largest induced earthquakes in Otaniemi during January-September 2020. Origin time is Finnish time. Values in brackets show standard deviation of coordinates and depth (in meters) and magnitude. Abbreviations: Number of stations (As), largest azimuthal gap (Gap) and magnitude ( $M_L$ ).

Nro No.	Päivä Date	Aika Time	Leveysaste (°N) Latitude (°N)	Pituusaste (°E) Longitude (°E)	Syvyys (km) Depth (km)	As	Gap (°)	$M_L$
1	14.4.	03:49:08	60,196 (37)	24,837 (33)	5,52 (50)	18	66	1,2 (0,3)
2	12.5.	08:05:23	60,194 (24)	24,833 (22)	5,39 (40)	20	44	1,0 (0,3)
3	12.5.	11:22:48	60,196 (29)	24,837 (27)	5,59 (40)	19	65	0,9 (0,2)
4	17.5.	00:06:30	60,197 (36)	24,836 (32)	5,62 (50)	19	65	1,2 (0,4)
5	17.5.	16:38:44	60,195 (43)	24,835 (38)	5,58 (60)	19	63	1,1 (0,4)
6	17.5.	23:00:29	60,194 (24)	24,834 (25)	5,39 (40)	19	62	0,9 (0,2)
7	22.5.	19:50:52	60,196 (31)	24,835 (32)	5,51 (50)	20	63	0,8 (0,4)
8	31.5.	20:17:26	60,196 (35)	24,835 (30)	5,50 (50)	18	63	0,9 (0,3)
9	27.6.	07:51:59	60,196 (45)	24,836 (40)	5,52 (60)	19	68	0,8 (0,4)

Kriteerin  $M_L \geq 0,8$  järjestyksistä kuusi tapahtui OTN-2b-reiän stimulaatiojakson (6.-24.5.2020) aikana, yksi ennen stimulaatiojaksoa ja kaksi stimulaatiojakson jälkeen. Nämä järjestykset paikannettiin 500 m:n säteelle porareistä pääosin lähelle porareian pohjaa 5,4-5,6 km:n syvyyteen. Voimakkaimmat järjestykset olivat magnitudiltaan  $M_L = 1,2$ .

Kuvassa 3 on esitetty järistysten sijainnit havaintopäivän mukaan suhteessa porareian profiiliin. Suurimmat tapaukset ovat keskittyneet porareian alaosiin, mutta pienempiä esiintyy myös ylempänä, kuitenkin vähintään 4,6 km:n syvyydellä.

Seismisten tapausten paikannustarkkuus on sitä parempi mitä pienempi paikannuksessa käytettyjen asemien välinen suurin atsimuuttiaukko on, ja mitä lähempänä lähdeä asemat ovat. Paikallisen asemaverkon tiheyden ja suotuisan asema geometrian vuoksi Otaniemen indusoitujen järistysten paikannusvirheet ovat pieniä verrattuna Suomessa sattuneiden luonnollisten maanjäristysten paikannusvirheisiin. Kaikista havaituista indusoiduista järistyksistä vain neljässä suurin atsimuuttiaukko ylitti  $90^\circ$  ja kaikissa kriteerin  $M_L \geq 0,8$  järistyksissä se oli välillä  $44^\circ$ - $68^\circ$ . Kriteerin  $M_L \geq 0,8$  järistyksissä sijainnin luottamusrajat (kahden keskihajonnan verran keskiarvosta laskettuna, vrt. Taulukko 2) olivat etelä-pohjoissuunnassa 48-90 m, itä-länsisuunnassa puolestaan 44-80 m. Pienempien maanjäristysten luottamusrajat olivat suurempia, mutta enimmilläänkin vain 400-460 m.

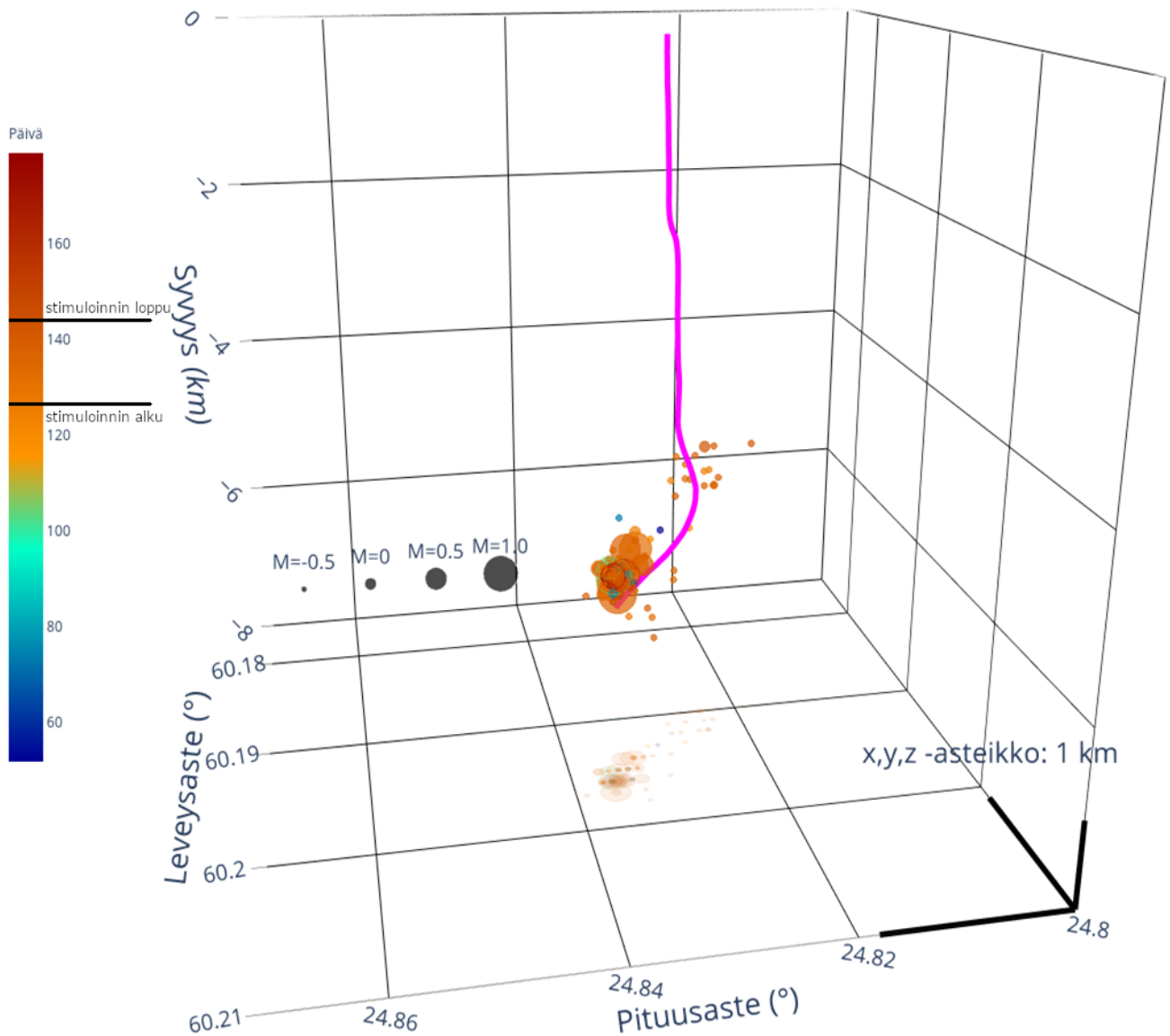
Yllä olevat virhearviot saattavat aliarvioida todellista paikannusvirhettä, sillä ne eivät ota huomioon mahdollisia systemaattisia virhelähteitä, esimerkiksi käytetyn nopeusmallin epätarkkuutta. Kulkuajojen poikkeamat asemasijaintien ja järistyksen paikannuksen perusteella ennustetuista kulkuajoista, eli ns. kulkuajaresiduaalit (ks. Liite 1.1) olivat kuitenkin pieniä, tyypillisesti  $\pm 0,1$  s.

Kuvassa 4 on esitetty 17.5.2020 klo 00:06:30 tapahtuneen indusoidun maanjäristyksen aaltomuodot sekä päivittäisanalyyseissä tarkistettut seismisten faasien tuloajat viidellä pääkaupunkiseudun seismisellä asemalla.

Voimalahankkeen valvontaan liittyvän sopimuksen nojalla stimuloinnin valvonnassa oli käytössä seisminen liikennevalojärjestelmä (Ader ym. 2019). Siinä St1:n tai Seismologian instituutin havaintojärjestelmän tekemä havainto keltaisen (amber) kynnyksarvon ylityksestä edellyttää seismisen riskin lievennystoimien käyttöönottoa. Kynnyksarvo ylittyy, jos tapauksen magnitudi on  $1,2 \leq M_L < 2,1$ . Kynnyksarvon ylittävät myös ne magnitudin  $1,0 \leq M_L < 1,2$  maanjäristykset, joiden yhteydessä havaittu maanliikkeen maksiminopeus (peak ground velocity, PGV) on  $1 < PGV < 7,5$  mm/s. Havainto punaisen (red) kynnyksarvon ylityksestä ( $M_L \geq 2,1$  tai  $PGV \geq 7,5$  mm/s) puolestaan edellyttää stimuloinnin välitöntä turvallista alasajoa, eikä toimintaa saa jatkaa ennen Espoon kaupungin ja Seismologian instituutin lupaa. St1 ilmoitti Seismologian instituutille neljästä keltaisen kynnyksarvon ylityksestä (tapaukset 2-5, Taulukko 2). Seismologian instituutin laskemien magnitudien perusteella kynnyksarvon ylityksiä oli kaksi (tapaukset 1 ja 4, Taulukko 2). Punaista kynnyksarvoa ei ylitetty valvontajaksolla kertaakaan.

Seismologian instituutin ja St1:n arviot tapauksen magnitudista poikkesivat toisistaan siten, että St1:n magnitudi oli yleensä n. 0,3 magnitudin verran suurempi. Eroa on selitetty sillä, että Suomessa käytössä oleva magnitudiasteikko ( $M_L$ ) ei sovellu hyvin näin lyhyillä etäisyyksillä tehdyille mittauksille, koska siinä oleva etäisyyskorjaus on johdettu tyypillisesti vähintään 150 km:n etäisyydellä oleville asemille. Lisäksi näin lähellä järistyslähdeä (alle 10 km:n etäisyydellä sijaitsevilla asemilla) tehdyissä amplitudimittauksissa S-aaltojen epätasainen säteililykuvio näkyy yksittäisten asemamagnitudien suurena hajontana (vrt. Taulukko 2). Toinen selitys on, että St1:n porareissä olevien asemien amplitudien käsittelyssä ei ole huomioitu niiden syvyyttä tavalla, joka olisi yhteensopiva vallitsevien

olosuhteiden kanssa. Sedimenttialueisiin perustuvat mallit eivät ehkä ole sopivia Suomen kallioperässä tehtyihin havaintoihin ja vaatisivat lisätutkimusta.



**Kuva 3:** Indusoitujen maanjäristysten sijainnit suhteessa OTN-2b -porareikään. Suuremmat symbolit osoittavat suuremman magnitudin maanjäristyksiä. Symbolin väri vastaa päivää vuoden alusta laskettuna. Stimuloinnin alku ja loppu on merkitty väripalkkiin.

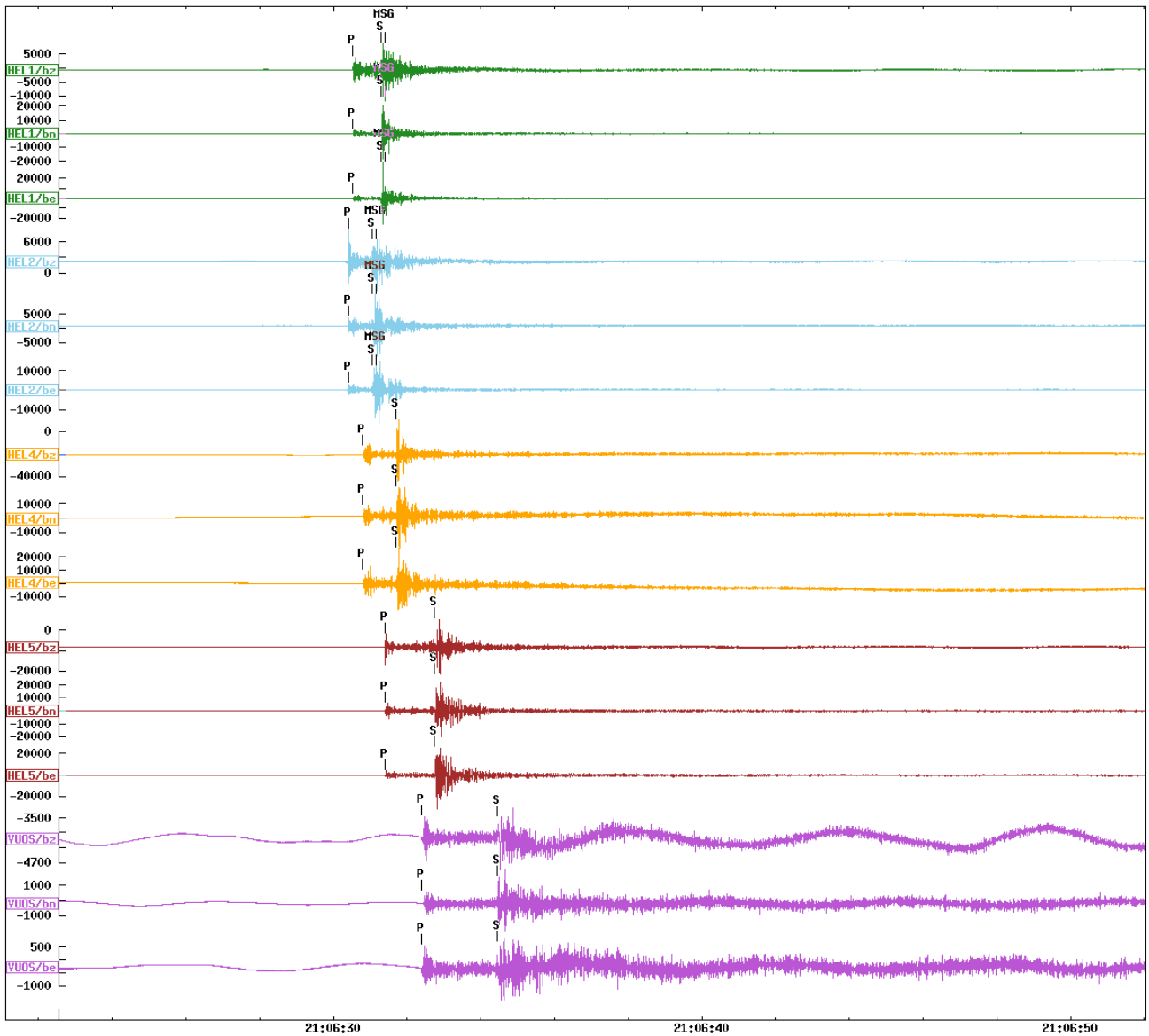
**Figure 3:** Locations of induced earthquakes in relation to OTN-2b borehole. Larger symbols show earthquakes with a larger magnitude. The color of the symbol means the day calculated from the beginning of the year. The beginning and the end of the stimulation are visible in the colorbar. English explanations for Finnish terms: Latitude (Leveysaste), Longitude (Pituusaste), Depth (Syvyys), x,y,z scale (x,y,z -asteikko), beginning of stimulation (stimuloinnin alku), end of stimulation (stimuloinnin loppu).

Liitteessä 1.2 on listattu ne Otaniemen porareian ympärille paikannetut indusoidut maanjäristykset, joista on saatu tuntuuushavaintoja. Eniten tuntuuushavaintoja (34 kappaletta) saatiin 14.4.2020 klo 03:49:08 tapahtuneesta magnitudin 1,2 järityksestä ja lähes yhtä monta (32) 17.5.2020 klo 00:06:30 tapahtuneesta samankokoisesta järityksestä. Sen sijaan vain yksi tuntuuushavainto saatiin magnitudin 0,9 indusoidusta järityksestä, joka tapahtui 12.5.2020 klo 08:05:23 sekä yhtä voimakkaasta 31.5.2020 klo 20:17:26 tapahtuneesta järityksestä. Yhteensä pääkaupunkiseudulta saapui 130 Otaniemen lämpövoimalahankkeeseen liittyvää tuntuuushavaintoa, joista 111 kyettiin yhdistämään tunnettuun indusoituu maanjäristykseen. Loput tuntuuushavainnot aiheutuivat joko räjäytyksistä tai niiden syy jäi epäselväksi.

Maanjäristyksistä tehtävien tuntuuushavaintojen lukumäärään vaikuttaa magnitudin ohella niiden ajankohta. Illalla ja yöllä ihmistoiminnan aiheuttama taustakohina on vähäisempää kuin päivällä, joten poikkeavat äärit ja äänet on helpompi huomata. Myös alueen rakennuskanta, maaperä, säteilykuvio (miten energia jakaantuu lähteestä eri suuntiin) ja tapauksista uutisointi vaikuttavat tuntuuushavaintojen määrään. Äänihavainnot voivat liittyä P-aallon (kuten ääniaalto maaperässä) tai horisontaalisen S-aallon maksimiin, johon säteilykuvio vaikuttaa (Hillers ym. 2020). Vuoden 2020 alkupuoliskolta saapuneet tuntuuushavainnot myös vahvistavat, että tietyissä olosuhteissa on mahdollista havaita ihmisaistein jopa selvästi magnitudia 1 pienempiä maanjäristyksiä.

Instituutin päivittäisanalyysissa pääkaupunkiseudun indusoidut maanjäristykset ja mahdolliset luonnolliset maanjäristykset luokitellaan erikseen. Tammi-syyskuussa 2020 havaittiin vain kaksi luonnollista maanjäristystä 20 km:n säteellä Otaniemen voimalasta. Niistä ensimmäinen, magnitudin -0,6 järitys sattui 3.3.2020 klo 15:04:29 Espoon Laajarannassa. Tapauksesta ei tullut kansalaishavaintoja Seismologian instituuttiin. Toinen, magnitudin 0,8 järitys havaittiin Hakunilan Käärmealliolla 22.7.2020 klo 00:35:57. Tämä oli ensimmäinen Vantaalle paikantunut maanjäristys mittaushistoriassa ja pienestä magnitudista huolimatta siitä saatiin useita kansalaishavaintoja. Järitykset sattuivat kuoren yläosassa alle 2 km:n syvyydessä. Sekä luonnolliset että indusoidut maanjäristykset tapahtuvat siirroslinjoja pitkin, ja vapautuva energia ei leviä tasaisesti kaikkiin suuntiin kuten räjäytyksissä. Järitysten aaltomuodot ja spektrit ovat sekä luonnollisissa että indusoiduissa järityksissä hyvin samanlaisia. Näin ollen tärkeimmät keinot indusoitujen maanjäristyksien tunnistamiseksi ovat tapahtuma-ajan, paikan ja syvyyden määrittäminen sekä niiden vertaaminen tunnetun indusoidun seismisyyden lähdealueisiin (Foulger ym. 2018).

Porareissä OTN-2a toteutetun ensimmäisen stimuloitajakson aikana 4.6.-23.7.2018 tapahtuneista indusoiduista järityksistä suurin rekisteröitiin 8.7.2018. Se oli magnitudiltaan 1,8 ja tunnettiin erityisen laajalti. Yhteensä tämän jakson aikana indusoituja maanjäristyksiä tapahtui useita tuhansia, ja näistä 48 ylitti rajan  $M_L=1,0$ . Yksityiskohtainen analyysi ensimmäisen stimuloitajakson aikaisista havainnoista on julkaistu artikkelissa Hillers ym. (2020). St1:n voimalahankkeeseen liittyviä indusoituja maanjäristyksiä on havaittu myös stimuloitajaksojen välissä, kuten 9.5.2019. Tuolloin tapahtuneesta magnitudin 0,5 järityksestä ei saapunut tuntuuushavaintoja.



**Kuva 4:** 17.5.2020 klo 00:06:30 Suomen aikaa tapahtunut indusoitu maanjäristys ( $M_L=1,2$ ) viidellä Helsingin seudun seismisellä asemalla rekisteröitynä. Asemien etäisyydet järjestyksen tapahtumapaikasta ovat 3,1 km (HEL1), 0,9 km (HEL2), 5,9 km (HEL4), 10,4 km (HEL5) ja 16,9 km (VUOS). Tapahtuma-ajan ja paikan määrittämiseen käytetyt suoran P- ja S-aallon faasit (P, S), sekä magnitudin määrittämiseen käytetty S-aallon maksimiamplitudi on merkitty seismogrammeihin. Kuva muokattu CTBTO:n (<https://www.ctbto.org/>) Geotool-ohjelmiston näkymästä.

**Figure 4:** Induced earthquake ( $M_L=1.2$ ) of May 17, 2020 at 00:06:30 (GMT+3) as registered by five seismic stations in the Helsinki region. Event-station distances are as follows: 3.1 km (HEL1), 0.9 km (HEL2), 5.9 km (HEL4), 10.4 km (HEL5) and 16.9 km (VUOS). Seismic phases used for the determination of event time and location (direct P and S wave) and maximum S-wave amplitude used for magnitude calculation (MSG) have been marked to the seismograms. Edited from the view of Geotool software of CTBTO (<https://www.ctbto.org/>).



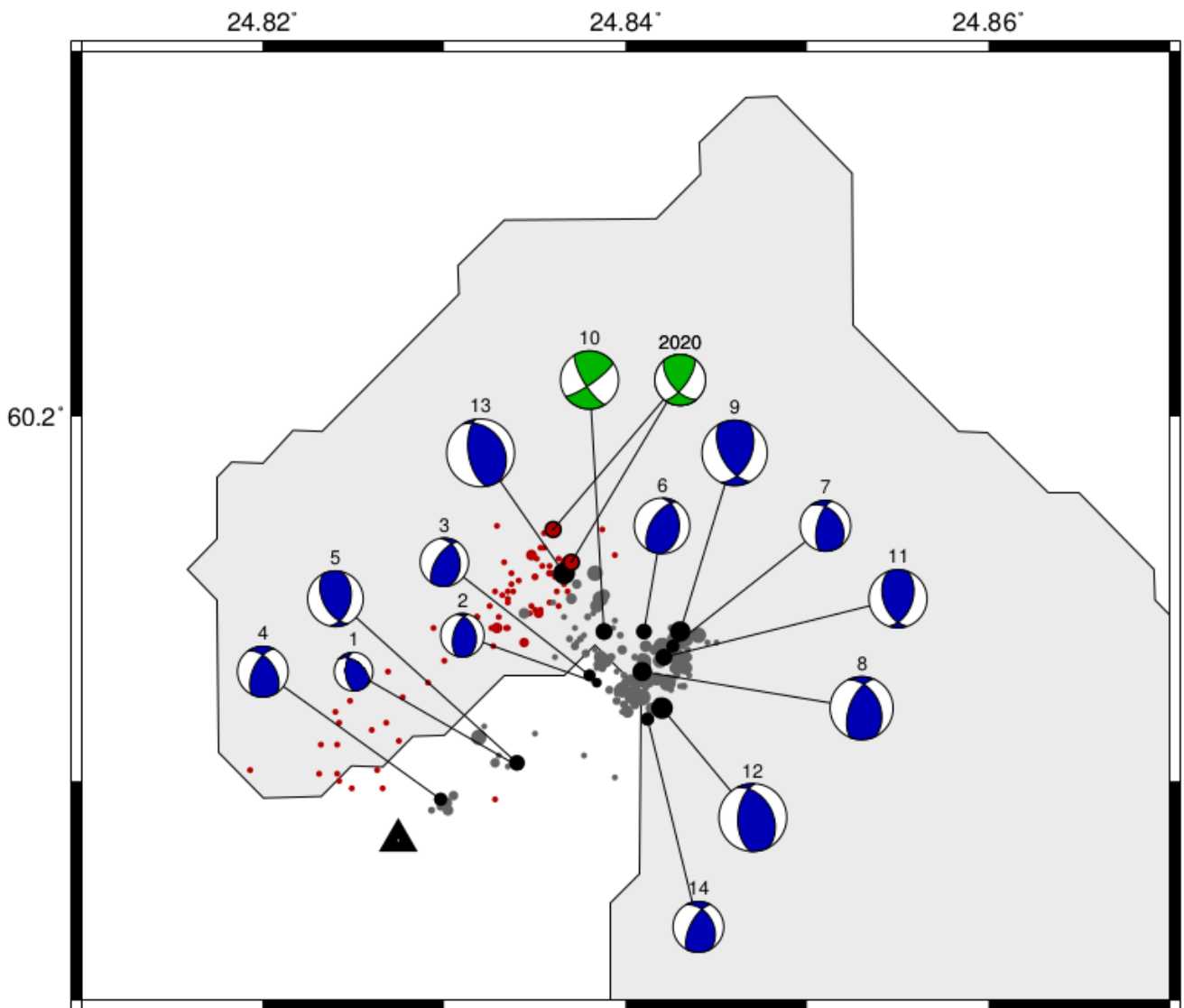
#### 4. Alustavat siirrostasoratkaisut

Tässä raportissa on esitetty alustavat siirrostasoratkaisut kahdelle suurimmalle indusoidulle maanjäritykselle. Ensimmäinen (nro 1 Taulukossa 1) tapahtui lähellä OTN-2b-porareian pohjaa, kun paineistettua nestettä syötettiin reikään porasoijan puhdistamiseksi. Toinen järjestys (nro 4 Taulukossa 1) ilmeni varsinaisen stimuloinnin aikana likimain samassa paikassa. Järitysten aaltomuodot ovat miltei identtisiä, ja rutiinipaikannuksella saatujen hyposentrien (leveysaste, pituusaste, syvyys) välinen ero on vain noin 100 m.

Alustavat siirrostasoratkaisut on laskettu FOCMEC-ohjelmistolla (Snook, 2017) P-aallon polariteettien ja S/P amplitudisuhteiden (SV/P, SH/P) avulla (ks. Hillers ym. 2020). FOCMEC etsii mahdollisia ns. kaksoisvoimapariratkaisuja (double-couple), jotka sopivat sekä polariteetteihin että amplitudisuhteisiin. Tulos ei yleensä ole yksikäsitteinen, joten parhaiten sopivaksi siirrosmekanismiksi valitaan se, joka minimoi havaittujen ja laskettujen amplitudisuhteiden erotuksen.

Analyysissä käytettiin HelsinkiNetin, HEL1-5-asemien, St1:n asemien ja kansallisen verkon kolmen lähimmän aseman rekisteröintejä. Tapauksille saadut ratkaisujoukot koostuvat vinoista työntö- ja sivuttaissiirroksista (oblique reverse/strike-slip), joiden kulku on pääosin luoteis-kaakkois- tai koillis-lounaissauntainen. Alustavaksi siirrostasoratkaisuksi valittiin Taulukossa 3 esitetty kulkusiiirros, joka on kummankin tapauksen parhaiten sopivien ratkaisujen joukossa. Pääsiirrostaso on todennäköisesti luoteis-kaakkoissauntainen siirros, joka kaatuu (58°) lounaaseen. Suunta vastaa paikallista siirrosvyöhykettä (Wennerström ym. 2008).

Mekanismi on esitetty Kuvassa 5 yhdessä ensimmäisen stimulointivaiheen aikaisten ratkaisujen kanssa. Ratkaisujen tulkinnassa on otettava huomioon, että ne perustuvat kaksoisvoimapariratkaisuun: oletuksena ovat tasomaiset siirrosennat ja tilavuuden muutosta ei huomioida synty tapahtumassa. Tarkempi analyysi stimuloitien aikaisista siirrosliikkeistä saadaan momenttitensori-ratkaisujen avulla.



**Kuva 5:** Indusoitujen maanjäristysten siirrostasoratkaisut 2018 ja 2020. Sivuttaissiirros on esitetty vihreällä ja työntösiirros sinisellä rantapallolla. Vuoden 2020 episentrit on väritetty punaisella. Musta kolmio: Otaniemen lämpövoimalaitos. Muokattu raportin Hillers ym. (2020) Kuvasta 3b.

**Figure 5:** Focal mechanisms of induced earthquakes in 2018 and 2020. Strike-slip is indicated by green and reverse by blue beach ball. The 2020 epicentres are coloured in red. Back triangle: Otaniemi thermal power plant. Modified after Figure 3b in Hillers et al. (2020).

**Taulukko 3.** Kahden suurimman indusoidun maanjäristyksen alustava siirrostasoratkaisu. Määrittämissä käytettyjen asemien lukumäärä (Nas) ja niiden välinen suurin atsimuuttiaukko (Fag), siirrostasoratkaisun kulmat (kulku, kaade, liuku) pää/apusiirrostasolle sekä puristus (P) ja venytys (T) -akselien suunnat (suuntakulma/kallistuskulma). Tapausnumero (#) on viite Taulukkoon 2.

**Table 3.** Preliminary focal mechanism of the two largest induced earthquakes. Number of stations used in determination (Nas), the maximum azimuthal gap between the stations (Fag), strike(kulku), dip (kaade) and rake (liuku) angles of the main/auxiliary nodal planes, and pressure (P) and tension (T) poles (azimuth/plunge). Event number (#) refers to Table 2.

#	Nas	Fag(°)	Kulku(°)	Kaade(°)	Liuku(°)	P(°)	T(°)
1	16	78	140 / 36	58 / 68	26 / 146	90/6	355/39
4	17	82					

## Lähteet

- Ader, T., M. Chendorain, M. Free, T. Saarno, P. Heikkinen, P.E. Malin, P. Leary, G. Kwiatek, G. Dresen, F. Bluemle ja T. Vuorinen, 2019. Design and implementation of a traffic light system for deep geothermal well stimulation in Finland. *Journal of Seismology* 24: 991–1014.
- Foulger, G., M.P. Wilson, J.G. Gluyas, B.R. Julian ja R.J. Davies, 2018. Global review of human-induced earthquakes. *Earth-Science Reviews* 178: 438-514.
- Hillers, G., T.A.T. Vuorinen, M.R. Uski, J.T. Kortström, P.B. Mäntyniemi, T. Tiira, P.E. Malin ja T. Saarno, 2020. 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 K. Oinonen, 2018. The Finnish National Seismic Network, *Summ. Bull. Internatl. Seismol. Cent.*, January - June 2015, 52 (I), s. 41–52, Thatcham, United Kingdom.
- Kortström, J., M. Uski ja T. Tiira, 2016. Automatic classification of seismic events within a regional seismograph network, *Computers & Geosciences* 87: 22-30.
- Kwiatek, G., T. Saarno, T. Ader, F. Bluemle, M. Bohnhoff, M. Chendorain, G. Dresen, P. Heikkinen, I. Kukkonen, P. Leary, M. Leonhardt, P. Malin, P. Martínez-Garzón, K. Passmore, P. Passmore, S. Valenzuela ja C. Wollin, 2019. Controlling fluid-induced seismicity during a 6.1-km-deep geothermal stimulation in Finland. *Science Advances* 5, eaav7224.
- 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.
- Snoke, J.A., 2017. FOCMEC: FOCal MEchanisms Determinations. Saatavilla osoitteesta: <http://www.iris.edu/pub/programs/focmec/>.
- Uski, M., 1997. Local magnitude relations for earthquakes recorded in Finland. Phil. Lic. thesis in geophysics, Dept. of Geophysics, University of Helsinki.
- Uski, M. ja K. Piipponen, 2019. Selvitys geotermisen energian syväreikäporaamisesta, siihen liittyvistä ympäristönäkökohdista sekä riskienhallinnasta. Helsingin yliopisto, Seismologian instituutti, raportti S-68.
- Valtonen, O., M. Uski, A. Korja, T. Tiira ja J. Kortström, 2013. Optimal configuration of a micro-earthquake network. *Advances in Geosciences* 34: 33-36.
- Veikkolainen, T., I.T. Kukkonen ja T. Tiira, 2017. Heat flow, seismic cut-off depth and thermal modeling of the Fennoscandian Shield. *Geophysical Journal International* 211: 1414-1427.
- Wennerström, M., M.-L. Airo, T. Elminen, R. Niemelä, M. Pajunen, M. Vaarma, P.W. Wennerström ja M.-L. Elminen, 2008. Orientation and properties of jointing in Helsinki area, southern Finland. *Geological Survey of Finland Special Paper* 47: 253-282.

# Liite 1. Vuoden 2020 seismisten tapausten analyysi

## Liite 1.1 Analyysitulokset ( $M_L \geq 0.8$ ) Nordic-formaatissa.

Ajat on ilmoitettu koordinoituna yleisaikana (UTC). Paikallinen aika Suomessa on UTC+2h talviaikaan ja UTC+3h kesäaikaan.

Nordic-formaatin kuvaus: [https://www.seismo.helsinki.fi/bulletin/list/nordic\\_format.html](https://www.seismo.helsinki.fi/bulletin/list/nordic_format.html).

```

2020 0414 0049 07.5 LI 60.196 24.836 5.5 HEL 17 0.0 1.2LHEL 1
GAP= 65 0.0 0.037 0.033 0.1 0.3 5
CSS:2020105004807.WFDISC 6
INDUCED EARTHQUAKE, ESPOO, FINLAND, FELT 3
F HEL 2
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO SNR AR TRES W DIS CAZ7
HEL2 BZ EP 049 8.42 -0.010 1 197
HEL2 BZ ES 049 9.07 0.0 5
HEL2 BZ MSG 049 9.13 71.74 0.01
OTRA SZ EP 049 8.31 -0.110 1 176
OTRA SZ ES 049 8.86 -0.2 5
ELFV SZ EP 049 8.38 -0.110 1 306
ELFV SZ ES 049 9.02 -0.1 4
MURA SZ EP 049 8.27 -0.2 1 1 66
MURA SZ ES 049 8.80 -0.3 0
LEPP SZ EP 049 8.42 -0.1 4 2 350
LEPP SZ ES 049 9.06 -0.110
HEL3 BZ EP 049 8.49 -0.0 5 3 195
HEL3 BZ ES 049 9.21 0.010
HEL3 BZ MSG 049 9.26 149.06 0.01
HEL1 BZ EP 049 8.55 -0.0 0 3 129
HEL1 BZ ES 049 9.31 0.0 0
HEL1 BZ MSG 049 9.36 169.78 0.02
TAPI SZ EP 049 8.70 0.1 5 4 221
TAPI SZ ES 049 9.50 0.110
LAUT BZ MSG 049 9.72 73.64 0.03 5 166
HEL4 BZ EP 049 8.84 0.0 4 6 343
HEL4 BZ ES 049 9.73 -0.010
HEL4 BZ MSG 049 9.82 558.69 0.02
MUNK SZ EP 049 8.93 -0.0 5 7 130
MUNK SZ ES 049 9.87 -0.1 0
UNIV SZ EP 049 8.94 -0.010 7 82
UNIV SZ ES 049 9.93 -0.1 4
MALM SZ EP 049 9.11 -0.1 9 9 263
MALM SZ ES 049 10.21 -0.2 0
HEL5 BZ EP 049 9.42 0.010 10 212
HEL5 BZ ES 049 10.78 0.0 5
HEL5 BZ MSG 049 10.84 201.40 0.02
VUOS BZ EP 049 10.42 -0.0 0 17 92
VUOS BZ ES 049 12.43 -0.1 4
VUOS BZ MSG 049 12.55 48.05 0.04
MEF BZ EP 049 11.59 -0.0 0 25 276
MEF BZ ES 049 14.48 -0.0 0
MEF BZ MSG 049 14.55 12.58 0.06
NUR SZ EP 049 13.51 0.0 0 36 344
NUR SZ ES 049 17.71 -0.0 0
NUR SZ MSG 049 17.81 16.60 0.04

```

PVF	BZ	EP	049	18.87								0.2	0	69	55
PVF	BZ	ES	049	26.60								0.0	0		
PVF	BZ	MSG	049	27.21		1.30	0.03								
FIA0	SZ	MSG	049	51.36		0.66	0.08							155	25
VJF	BZ	MSG	049	51.20		1.74	0.09							155	75
RAF	BZ	MSG	050	2.39		0.81	0.08							192	300
KEF	BZ	MSG	050	11.27		0.62	0.10							220	0
KPF	BZ	MSG	050	14.52		0.71	0.10							236	322
RUF	BZ	MSG	050	21.46		0.55	0.10							263	57
SUF	BZ	MSG	050	30.05		0.23	0.11							290	13
VAF	BZ	MSG	050	41.46		0.23	0.12							338	341

2020 0512 0505 22.9 LI 60.194 24.833 5.4 HEL 20 0.0 1.0LHEL 1  
GAP= 44 0.0 0.024 0.022 0.0 0.3 5  
CSS:2020133050422.WFDISC 6  
INDUCED EARTHQUAKE, ESPOO, FINLAND, FELT 3  
F HEL 2

STAT	SP	IPHASW	D	HRMM	SECON	CODA	AMPLIT	PERI	AZIMU	VELO	SNR	AR	TRES	W	DIS	CAZ7
HEL2	BZ	EP		5	5	23.72							-0.010		1	187
HEL2	BZ	ES		5	5	24.37							0.0	5		
HEL2	BZ	MSG		5	5	24.43	34.00	0.01								
OTRA	SZ	EP		5	5	23.61							-0.110		1	164
OTRA	SZ	ES		5	5	24.19							-0.2	0		
ELFV	SZ	EP		5	5	23.69							-0.110		1	317
ELFV	SZ	ES		5	5	24.31							-0.1	4		
MURA	SZ	EP		5	5	23.58							-0.2	1	2	64
MURA	SZ	ES		5	5	24.10							-0.3	0		
LEPP	SZ	EP		5	5	23.74							-0.1	5	3	355
LEPP	SZ	ES		5	5	24.39							-0.1	8		
HEL1	BZ	EP		5	5	23.85							-0.0	5	3	125
HEL1	BZ	ES		5	5	24.61							0.010			
HEL1	BZ	MSG		5	5	24.71	47.93	0.01								
TAPI	SZ	EP		5	5	24.02							0.110		4	220
TAPI	SZ	ES		5	5	24.83							0.2	5		
RUSK	SZ	EP		5	5	23.98							-0.0	0	5	79
RUSK	SZ	ES		5	5	24.76							-0.1	0		
TVJP	SZ	EP		5	5	23.96							-0.0	9	5	197
TVJP	SZ	ES		5	5	24.75							-0.1	5		
LAUT	BZ	EP		5	5	24.02							-0.010		5	164
LAUT	BZ	ES		5	5	24.86							0.0	5		
LAUT	BZ	MSG		5	5	25.00	67.67	0.02								
HEL4	BZ	EP		5	5	24.15							0.0	5	6	345
HEL4	BZ	ES		5	5	25.06							0.010			
MUNK	SZ	EP		5	5	24.24							-0.0	3	7	128
MUNK	SZ	ES		5	5	25.21							-0.1	9		
UNIV	SZ	EP		5	5	24.29							-0.0	0	7	81
UNIV	SZ	ES		5	5	25.26							-0.110			
MALM	SZ	EP		5	5	24.42							-0.1	0	9	264
MALM	SZ	ES		5	5	25.48							-0.210			
KUNI	BZ	EP		5	5	24.60							-0.0	5	9	27
KUNI	BZ	ES		5	5	25.80							-0.110			
KUNI	BZ	MSG		5	5	25.82	20.04	0.03								
HEL5	BZ	EP		5	5	24.70							0.0	9	10	211
HEL5	BZ	ES		5	5	26.00							-0.0	4		
HEL5	BZ	MSG		5	5	26.03	116.83	0.02								
VUOS	BZ	EP		5	5	25.79							0.0	5	17	91
VUOS	BZ	ES		5	5	27.85							-0.0	0		
VUOS	BZ	MSG		5	5	27.92	20.31	0.06								
MEF	BZ	EP		5	5	26.90							0.0	0	24	276
MEF	BZ	ES		5	5	29.74							-0.0	0		

MEF	BZ	MSG	5	5	30.06	6.19	0.04										
NUR	SZ	EP	5	5	28.88							0.1	0	37	344		
NUR	SZ	ES	5	5	33.08							0.0	0				
NUR	SZ	MSG	5	5	33.19	1.30	0.02										
PVF	BZ	EP	5	5	34.19							0.2	0	69	55		
PVF	BZ	ES	5	5	41.66							-0.3	0				

2020 0512 0822 47.6 LI 60.196 24.837 5.6 HEL 19 0.0 0.9LHEL 1  
GAP= 65 0.0 0.029 0.027 0.0 0.2 5  
CSS:2020133082147.WFDISC 6  
INDUCED EARTHQUAKE, ESPOO, FINLAND, FELT 3

STAT	SP	IPHASW	D	HRMM	SECON	CODA	AMPLIT	PERI	AZIMU	VELO	SNR	AR	TRES	W	HEL	DIS	CAZ7
HEL2	BZ	EP		822	48.53								-0.010		1	198	
HEL2	BZ	ES		822	49.16								-0.0	3			
HEL2	BZ	MSG		822	49.31		45.68	0.05									
OTRA	SZ	EP		822	48.42								-0.110		1	178	
OTRA	SZ	ES		822	48.99								-0.2	4			
ELFV	SZ	EP		822	48.48								-0.110		1	303	
ELFV	SZ	ES		822	49.13								-0.1	5			
MURA	SZ	EP		822	48.37								-0.2	0	1	68	
MURA	SZ	ES		822	48.91								-0.3	0			
LEPP	BZ	EP		822	48.52								-0.1	8	2	350	
LEPP	SZ	ES		822	49.18								-0.1	4			
HEL1	BZ	EP		822	48.65								-0.0	5	3	130	
HEL1	BZ	ES		822	49.43								0.0	9			
HEL1	BZ	MSG		822	49.51		45.51	0.06									
TAPI	SZ	EP		822	48.78								0.110		4	221	
TAPI	SZ	ES		822	49.60								0.1	5			
RUSK	SZ	EP		822	48.75								-0.0	0	4	81	
RUSK	SZ	ES		822	49.54								-0.1	0			
TVJP	SZ	EP		822	48.78								-0.110		5	199	
TVJP	SZ	ES		822	49.61								-0.1	5			
LAUT	BZ	EP		822	48.83								-0.010		5	167	
LAUT	BZ	ES		822	49.70								0.0	5			
LAUT	BZ	MSG		822	49.80		28.39	0.02									
HEL4	BZ	EP		822	48.93								0.0	5	6	343	
HEL4	BZ	ES		822	49.84								0.010				
MUNK	SZ	EP		822	49.04								-0.0	5	7	131	
MUNK	SZ	ES		822	50.00								-0.1	4			
UNIV	SZ	EP		822	49.04								-0.0	0	7	83	
UNIV	SZ	ES		822	50.04								-0.110				
MALM	SZ	EP		822	49.22								-0.1	5	9	263	
MALM	SZ	ES		822	50.31								-0.2	9			
HEL5	BZ	EP		822	49.52								0.0	4	10	212	
HEL5	BZ	ES		822	50.88								0.010				
HEL5	BZ	MSG		822	51.02		43.24	0.04									
VUOS	BZ	EP		822	50.51								-0.0	9	17	92	
VUOS	BZ	ES		822	52.58								-0.0	5			
VUOS	BZ	MSG		822	52.71		8.58	0.07									
MEF	BZ	EP		822	51.70								0.0	0	25	276	
MEF	BZ	ES		822	54.58								-0.0	0			
MEF	BZ	MSG		822	54.67		2.11	0.05									
NUR	SZ	EP		822	53.59								0.0	0	36	344	
NUR	SZ	ES		822	57.81								0.0	0			
NUR	SZ	MSG		822	57.92		5.09	0.04									
PVF	BZ	ES		823	6.88								0.2	0	69	55	
PVF	BZ	MSG		823	7.38		0.93	0.05									

STAT	SP	IPHASW	D	HRMM	SECON	CODA	AMPLIT	PERI	AZIMU	VELO	SNR	AR	TRES	W	HEL	DIS	CAZ7
2020 0516 2106 29.5 LI 60.197 24.836 5.6 HEL 19 0.0 1.2LHEL																	1
GAP= 65				0.0	0.036	0.032	0.1				0.4						5
CSS:2020137210529.WFDISC																	6
INDUCED EARTHQUAKE, ESPOO, FINLAND, FELT																	3
				F													2
HEL2 BZ EP				21 6	30.39								0.010		1	194	
HEL2 BZ ES				21 6	31.03								-0.0 5				
HEL2 BZ MSG				21 6	31.13		132.44	0.03									
ELFV SZ EP				21 6	30.34								-0.110		1	302	
ELFV SZ ES				21 6	30.98								-0.1 5				
OTRA SZ EP				21 6	30.28								-0.110		1	176	
OTRA SZ ES				21 6	30.85								-0.2 5				
MURA SZ EP				21 6	30.23								-0.2 3		1	71	
MURA SZ ES				21 6	30.78								-0.3 0				
LEPP SZ EP				21 6	30.39								-0.1 4		2	350	
LEPP SZ ES				21 6	31.01								-0.1 9				
HEL1 BZ EP				21 6	30.51								-0.0 5		3	130	
HEL1 BZ ES				21 6	31.29								0.0 9				
HEL1 BZ MSG				21 6	31.38		100.37	0.01									
TAPI SZ EP				21 6	30.65								0.110		4	219	
TAPI SZ ES				21 6	31.45								0.1 4				
RUSK SZ EP				21 6	30.61								-0.010		5	82	
RUSK SZ ES				21 6	31.41								-0.1 5				
TVJP SZ EP				21 6	30.64								-0.1 0		5	198	
TVJP SZ ES				21 6	31.47								-0.1 0				
LAUT BZ EP				21 6	30.70								0.010		5	166	
LAUT BZ ES				21 6	31.54								-0.0 5				
LAUT BZ MSG				21 6	31.68		56.20	0.03									
HEL4 BZ EP				21 6	30.78								0.0 5		6	343	
HEL4 BZ ES				21 6	31.69								0.010				
HEL4 BZ MSG				21 6	31.73		311.32	0.02									
MUNK SZ EP				21 6	30.90								-0.0 8		7	131	
MUNK SZ ES				21 6	31.90								-0.0 0				
UNIV SZ EP				21 6	30.90								-0.010		7	83	
UNIV SZ ES				21 6	31.87								-0.1 5				
MALM SZ EP				21 6	31.08								-0.110		9	262	
MALM SZ ES				21 6	32.16								-0.2 2				
HEL5 BZ EP				21 6	31.38								0.0 9		10	211	
HEL5 BZ ES				21 6	32.74								0.0 5				
HEL5 BZ MSG				21 6	32.89		335.05	0.03									
VUOS BZ EP				21 6	32.39								-0.0 4		17	92	
VUOS BZ ES				21 6	34.43								-0.0 0				
VUOS BZ MSG				21 6	34.54		28.40	0.04									
MEF BZ EP				21 6	33.55								0.0 0		25	276	
MEF BZ ES				21 6	36.43								0.0 0				
MEF BZ MSG				21 6	36.92		4.92	0.03									
NUR SZ EP				21 6	35.47								0.1 0		36	344	
NUR SZ ES				21 6	39.61								-0.0 0				
NUR SZ MSG				21 6	39.76		11.86	0.04									
PVF BZ EP				21 6	40.97								0.4 0		69	55	
PVF BZ ES				21 6	48.72								0.2 0				
VJF BZ MSG				2107	13.17		1.03	0.10							155	75	
KEF BZ MSG				2107	31.73		0.56	0.12							220	0	
KPF BZ MSG				2107	36.18		0.57	0.10							236	322	
RUF BZ MSG				2107	44.19		0.39	0.11							263	57	
VAF BZ MSG				2108	05.94		0.15	0.12							338	341	

2020 0517 1338 43.6 LI 60.195 24.835 5.6 HEL 19 0.0 1.1LHEL 1



GAP= 63 0.0 0.043 0.038 0.1 0.4 5  
 CSS:2020138133743.WFDISC 6  
 INDUCED EARTHQUAKE, ESP00, FINLAND, FELT 3  
 F HEL 2  
 STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO SNR AR TRES W DIS CAZ7  
 HEL2 BZ EP 1338 44.51 -0.010 1 195  
 HEL2 BZ ES 1338 45.19 0.0 5  
 HEL2 BZ MSG 1338 45.26 48.02 0.01  
 OTRA SZ EP 1338 44.41 -0.110 1 173  
 OTRA SZ ES 1338 44.99 -0.2 5  
 ELFV SZ EP 1338 44.49 -0.110 1 311  
 ELFV SZ ES 1338 45.12 -0.1 5  
 MURA SZ EP 1338 44.37 -0.2 6 1 63  
 MURA SZ ES 1338 44.91 -0.3 0  
 LEPP SZ EP 1338 44.53 -0.1 3 3 352  
 LEPP SZ ES 1338 45.16 -0.210  
 HEL1 BZ EP 1338 44.65 -0.0 5 3 127  
 HEL1 BZ ES 1338 45.40 -0.0 9  
 HEL1 BZ MSG 1338 45.43 135.64 0.02  
 TAPI SZ EP 1338 44.80 0.110 4 221  
 TAPI SZ ES 1338 45.61 0.1 2  
 RUSK SZ EP 1338 44.76 -0.010 5 79  
 RUSK SZ ES 1338 45.55 -0.1 5  
 TVJP SZ EP 1338 44.76 -0.1 0 5 198  
 TVJP SZ ES 1338 45.60 -0.1 0  
 LAUT BZ EP 1338 44.82 0.010 5 165  
 LAUT BZ ES 1338 45.61 -0.1 5  
 LAUT BZ MSG 1338 45.76 38.88 0.03  
 HEL4 BZ EP 1338 44.94 0.0 5 6 344  
 HEL4 BZ ES 1338 45.85 -0.010  
 HEL4 BZ MSG 1338 45.91 238.16 0.02  
 MUNK SZ EP 1338 45.03 -0.0 9 7 129  
 MUNK SZ ES 1338 46.00 -0.1 0  
 UNIV SZ EP 1338 45.05 -0.010 7 81  
 UNIV SZ ES 1338 46.04 -0.1 5  
 MALM SZ EP 1338 45.21 -0.110 9 264  
 MALM SZ ES 1338 46.29 -0.2 3  
 HEL5 BZ EP 1338 45.50 0.0 9 10 212  
 HEL5 BZ ES 1338 46.82 -0.0 4  
 HEL5 BZ MSG 1338 46.99 168.67 0.02  
 VUOS BZ EP 1338 46.53 -0.0 4 17 92  
 VUOS BZ ES 1338 48.57 -0.1 0  
 VUOS BZ MSG 1338 48.86 9.97 0.04  
 MEF BZ EP 1338 47.70 0.0 0 25 276  
 MEF BZ ES 1338 50.53 -0.0 0  
 MEF BZ MSG 1338 50.58 5.51 0.05  
 NUR SZ EP 1338 49.69 0.1 0 37 344  
 NUR SZ ES 1338 53.88 0.0 0  
 NUR SZ MSG 1338 54.07 1.08 0.02  
 PVF BZ EP 1338 54.99 0.2 0 69 55  
 PVF BZ ES 1339 2.88 0.2 0

2020 0517 2000 28.5 LI 60.194 24.834 5.4 HEL 19 0.0 0.9LHEL 1  
 GAP= 62 0.0 0.024 0.025 0.0 0.2 5  
 CSS:2020138195928.WFDISC 6  
 INDUCED EARTHQUAKE, ESP00, FINLAND, FELT 3  
 F HEL 2  
 STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO SNR AR TRES W DIS CAZ7  
 HEL2 BZ EP 20 0 29.40 0.010 1 194  
 HEL2 BZ ES 20 0 30.03 0.0 4

HEL2	BZ	MSG	20	0	30.16	46.36	0.02												
OTRA	SZ	EP	20	0	29.28					-0.1	0	1	169						
OTRA	SZ	ES	20	0	29.87					-0.210									
ELFV	SZ	EP	20	0	29.38					-0.010		1	316						
ELFV	SZ	ES	20	0	29.99					-0.1	5								
MURA	SZ	EP	20	0	29.26					-0.2	0	2	61						
MURA	SZ	ES	20	0	29.79					-0.3	0								
LEPP	SZ	EP	20	0	29.42					-0.110		3	353						
LEPP	SZ	ES	20	0	30.06					-0.1	5								
HEL1	BZ	EP	20	0	29.53					-0.0	5	3	125						
HEL1	BZ	ES	20	0	30.25					-0.0	9								
HEL1	BZ	MSG	20	0	30.47	69.97	0.02												
TAPI	SZ	EP	20	0	29.70					0.1	5	4	222						
TAPI	SZ	ES	20	0	30.52					0.2	9								
RUSK	SZ	EP	20	0	29.65					-0.0	0	5	78						
RUSK	SZ	ES	20	0	30.43					-0.1	0								
TVJP	SZ	EP	20	0	29.63					-0.010		5	198						
TVJP	SZ	ES	20	0	30.44					-0.1	5								
LAUT	BZ	EP	20	0	29.69					0.010		5	164						
LAUT	BZ	ES	20	0	30.52					0.0	5								
LAUT	BZ	MSG	20	0	30.67	36.96	0.02												
HEL4	BZ	EP	20	0	29.83					0.0	5	6	345						
HEL4	BZ	ES	20	0	30.74					0.0	8								
MUNK	SZ	EP	20	0	29.91					-0.0	0	7	128						
MUNK	SZ	ES	20	0	30.86					-0.1	9								
UNIV	SZ	EP	20	0	29.96					-0.0	5	7	81						
UNIV	SZ	ES	20	0	30.94					-0.1	9								
MALM	SZ	EP	20	0	30.10					-0.1	0	9	264						
MALM	SZ	ES	20	0	31.16					-0.210									
HEL5	BZ	EP	20	0	30.38					0.0	0	10	212						
HEL5	BZ	ES	20	0	31.67					0.0	9								
HEL5	BZ	MSG	20	0	31.79	54.95	0.02												
VUOS	BZ	EP	20	0	31.43					-0.0	0	17	91						
VUOS	BZ	ES	20	0	33.47					-0.1	4								
VUOS	BZ	MSG	20	0	33.66	10.66	0.03												
MEF	BZ	EP	20	0	32.57					0.0	0	25	276						
MEF	BZ	ES	20	0	35.37					-0.1	0								
MEF	BZ	MSG	20	0	35.74	3.90	0.04												
NUR	SZ	EP	20	0	34.52					0.0	0	37	344						
NUR	SZ	ES	20	0	38.76					0.0	0								
NUR	SZ	MSG	20	0	38.87	1.06	0.02												
PVF	BZ	EP	20	0	40.18					0.5	0	69	55						
PVF	BZ	ES	20	0	47.60					-0.0	0								

2020 0522 1650 51.7 LI 60.196 24.835 5.5 HEL 20 0.0 0.8LHEL 1  
 GAP= 63 0.0 0.031 0.032 0.0 0.4 5  
 CSS:2020143164951.WFDISC 6  
 INDUCED EARTHQUAKE, ESP00, FINLAND 3

STAT	SP	IPHASW	D	HRMM	SECON	CODA	AMPLIT	PERI	AZIMU	VELO	SNR	AR	TRES	W	DIS	CAZ7
HEL2	BZ	EP		1650	52.54								-0.0	8	1	193
HEL2	BZ	ES		1650	53.22								0.0	5		
HEL2	BZ	MSG		1650	53.42	19.50	0.02									
OTRA	SZ	EP		1650	52.43								-0.1	1	1	173
OTRA	SZ	ES		1650	53.03								-0.210			
ELFV	SZ	EP		1650	52.50								-0.1	9	1	307
ELFV	SZ	ES		1650	53.14								-0.1	5		
MURA	SZ	EP		1650	52.39								-0.2	3	1	68
MURA	SZ	ES		1650	52.93								-0.3	0		
LEPP	SZ	EP		1650	52.54								-0.1	9	2	352
LEPP	SZ	ES		1650	53.20								-0.1	5		

HEL3 BZ EP	1650	52.61			-0.0	5	3	193
HEL3 BZ ES	1650	53.36			0.010			
HEL3 BZ MSG	1650	53.47	31.01	0.02				
HEL1 BZ EP	1650	52.68			-0.0	0	3	128
HEL1 BZ ES	1650	53.43			-0.0	0		
HEL1 BZ MSG	1650	53.52	21.71	0.02				
TAPI SZ EP	1650	52.82			0.1	5	4	220
TAPI SZ ES	1650	53.62			0.110			
RUSK SZ EP	1650	52.77			-0.0	5	5	81
RUSK SZ ES	1650	53.56			-0.110			
TVJP SZ EP	1650	52.82			-0.0	5	5	198
TVJP SZ ES	1650	53.63			-0.110			
LAUT BZ EP	1650	52.86			0.0	5	5	165
LAUT BZ ES	1650	53.70			-0.010			
LAUT BZ MSG	1650	53.85	16.54	0.03				
HEL4 BZ EP	1650	52.95			0.010		6	344
HEL4 BZ ES	1650	53.87			0.0	0		
HEL4 BZ MSG	1650	53.93	168.04	0.02				
MUNK SZ EP	1650	53.06			-0.0	5	7	130
MUNK SZ ES	1650	54.04			-0.1	9		
UNIV SZ EP	1650	53.06			-0.1	0	7	82
UNIV SZ ES	1650	54.05			-0.1	9		
MALM SZ EP	1650	53.26			-0.0	3	9	263
MALM SZ ES	1650	54.34			-0.1	9		
HEL5 BZ EP	1650	53.54			0.0	4	10	212
HEL5 BZ ES	1650	54.88			0.0	0		
HEL5 BZ MSG	1650	55.04	90.40	0.02				
VUOS BZ EP	1650	54.59			0.0	0	17	92
VUOS BZ ES	1650	56.58			-0.1	0		
VUOS BZ MSG	1650	56.70	5.11	0.04				
MEF BZ EP	1650	55.70			-0.0	0	25	276
MEF BZ ES	1650	58.56			-0.0	0		
MEF BZ MSG	1650	58.81	2.26	0.03				
NUR SZ EP	1650	57.62			0.0	0	36	344
NUR SZ ES	1651	1.87			0.0	0		
NUR SZ MSG	1651	1.93	2.00	0.03				
PVF BZ EP	1651	3.15			0.4	0	69	55
PVF BZ ES	1651	10.93			0.2	0		
PVF BZ MSG	1651	11.40	0.54	0.05				

2020 0531 1717 25.8 LI 60.196 24.835 5.5 HEL 18 0.0 0.9LHEL 1  
GAP= 63 0.0 0.035 0.030 0.0 0.3 5  
CSS:2020152171625.WFDISC 6  
INDUCED EARTHQUAKE, ESPOO, FINLAND, FELT 3  
F HEL 2  
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO SNR AR TRES W DIS CAZ7

HEL2 BZ EP	1717	26.66			-0.010		1	192
HEL2 BZ ES	1717	27.30			-0.0	5		
HEL2 BZ MSG	1717	27.45	83.4	0.02				
ELFV SZ EP	1717	26.63			-0.110		1	305
ELFV SZ ES	1717	27.26			-0.1	4		
OTRA SZ EP	1717	26.55			-0.110		1	173
OTRA SZ ES	1717	27.13			-0.2	4		
MURA SZ EP	1717	26.51			-0.2	2	1	70
MURA SZ ES	1717	27.05			-0.3	0		
LEPP SZ EP	1717	26.66			-0.1	5	2	352
LEPP SZ ES	1717	27.31			-0.1	8		
HEL1 BZ EP	1717	26.79			-0.0	5	3	129
HEL1 BZ ES	1717	27.56			0.010			
HEL1 BZ MSG	1717	27.68	45.94	0.02				

TAPI SZ EP	1717	26.93		0.110	4	219
TAPI SZ ES	1717	27.74		0.1	5	
RUSK SZ EP	1717	26.90		-0.010	5	81
RUSK SZ ES	1717	27.67		-0.1	5	
TVJP SZ EP	1717	26.92		-0.1	0	5 197
TVJP SZ ES	1717	27.76		-0.1	0	
LAUT BZ EP	1717	26.98		0.010	5	165
LAUT BZ ES	1717	27.84		0.0	5	
LAUT BZ MSG	1717	27.96	27.54	0.03		
HEL4 BZ EP	1717	27.07		0.0	5	6 344
HEL4 BZ ES	1717	27.96		-0.010		
HEL4 BZ MSG	1717	28.04	217.06	0.02		
MUNK SZ EP	1717	27.18		-0.0	8	7 130
MUNK SZ ES	1717	28.17		-0.1	0	
UNIV SZ EP	1717	27.19		-0.0	9	7 83
UNIV SZ ES	1717	28.18		-0.1	2	
MALM SZ EP	1717	27.36		-0.110		9 263
MALM SZ ES	1717	28.46		-0.1	5	
VUOS BZ EP	1717	28.71		0.0	0	17 92
VUOS BZ ES	1717	30.73		-0.0	5	
VUOS BZ MSG	1717	30.90	5.85	0.03		
MEF BZ EP	1717	29.82		-0.0	0	24 276
MEF BZ ES	1717	32.73		0.0	0	
MEF BZ MSG	1717	33.03	2.60	0.03		
NUR SZ EP	1717	31.79		0.1	0	36 344
NUR SZ ES	1717	35.95		0.0	0	
NUR SZ MSG	1717	36.03	5.35	0.04		
PVF BZ EP	1717	37.18		0.3	0	69 55
PVF BZ ES	1717	44.99		0.2	0	
PVF BZ MSG	1717	46.05	0.62	0.09		

2020 0627 0451 59.4 LI 60.196 24.836 5.5 HEL 19 0.0 0.8LHEL						1
GAP= 68 0.0 0.045 0.040 0.1 0.4						5
CSS:2020179045059.WFDISC						6
INDUCED EARTHQUAKE, ESPOO, FINLAND						3
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO SNR AR TRES W DIS CAZ7						
HEL2 BZ EP	452	0.28			-0.010	1 196
HEL2 BZ ES	452	0.94			0.0	5
HEL2 BZ MSG	0452	00.99	31.4	0.02		
OTRA SZ EP	452	0.18			-0.110	1 176
OTRA SZ ES	452	0.74			-0.2	5
MURA SZ EP	452	0.13			-0.2	7 1 67
MURA SZ ES	452	0.66			-0.3	0
LEPP SZ EP	452	0.28			-0.1	5 2 351
LEPP SZ ES	452	0.94			-0.110	
HEL3 BZ EP	452	0.36			-0.0	5 3 194
HEL3 BZ ES	452	1.09			0.010	
HEL3 BZ MSG	452	1.22	45.27	0.03		
HEL1 BZ EP	452	0.42			-0.010	3 129
HEL1 BZ ES	452	1.18			0.0	5
HEL1 BZ MSG	452	1.34	67.54	0.01		
TAPI SZ EP	452	0.54			0.1	5 4 221
TAPI SZ ES	452	1.35			0.110	
RUSK SZ EP	452	0.51			-0.0	0 5 80
RUSK SZ ES	452	1.29			-0.110	
TVJP SZ EP	452	0.54			-0.0	5 5 198
TVJP SZ ES	452	1.35			-0.110	
LAUT BZ EP	452	0.60			0.0	5 5 166
LAUT BZ ES	452	1.42			-0.010	
LAUT BZ MSG	452	1.64	41.89	0.02		

HEL4 BZ EP	452	0.69		0.010	6 343
HEL4 BZ ES	452	1.60		0.0 5	
HEL4 BZ MSG	452	1.68	262.61 0.02		
MUNK SZ EP	452	0.79		-0.0 1	7 130
MUNK SZ ES	452	1.37		-0.510	
UNIV SZ EP	452	0.80		-0.0 0	7 82
UNIV SZ ES	452	1.78		-0.110	
MALM SZ EP	452	0.98		-0.1 3	9 263
MALM SZ ES	452	2.08		-0.210	
KUNI BZ EP	452	1.11		-0.0 0	9 27
KUNI BZ ES	452	2.23		-0.1 9	
KUNI BZ MSG	452	2.41	9.25 0.02		
VUOS BZ EP	452	2.32		0.0 0	17 92
VUOS BZ ES	452	4.32		-0.1 0	
VUOS BZ MSG	452	4.48	7.76 0.03		
MEF BZ EP	452	3.46		0.0 0	25 276
MEF BZ ES	452	6.20		-0.1 0	
MEF BZ MSG	452	6.55	4.41 0.03		
NUR SZ EP	452	5.36		0.0 0	36 344
NUR SZ ES	452	8.84		-0.7 0	
NUR SZ MSG	452	9.34	1.11 0.02		
PVF BZ EP	452	11.08		0.6 0	69 55
PVF BZ ES	452	18.33		-0.1 0	
PVF BZ MSG	452	18.74	0.36 0.04		

## Liite 1.2 Yhteenveto indusoitujen maanjäristysten tuntuvuushavainnoista

Tapahtuma-aika (UTC)	Tapahtuma-aika (Suomen aikaa)	Leveysaste (°N)	Pituusaste (°E)	Magnitudi (LHEL)	Tuntuvuushavaintojen lukumäärä
14.4.2020 00:49:07.5	14.4.2020 03:49:07.5	60,196	24,837	1,2	34
14.4.2020 02:32:28.0	14.4.2020 05:32:28.0	60,195	24,836	0,6	4
12.5.2020 05:05:22.9	12.5.2020 08:05:22.9	60,194	24,833	1,0	7
12.5.2020 08:22:47.6	12.5.2020 11:22:47.6	60,196	24,837	0,9	1
15.5.2020 21:01:54.8	16.5.2020 00:01:54.8	60,195	24,835	-0,6	1
15.5.2020 22:03:34.6	16.5.2020 01:03:34.6	60,196	24,837	-0,8	1
16.5.2020 21:06:29.5	17.5.2020 00:06:29.5	60,197	24,836	1,2	32
17.5.2020 13:38:43.6	17.5.2020 16:38:43.6	60,195	24,835	1,1	4
17.5.2020 20:00:28.5	17.5.2020 23:00:28.5	60,194	24,834	0,9	16
17.5.2020 20:07:05.1	17.5.2020 23:07:05.1	60,195	24,833	0,5	3
17.5.2020 20:16:44.6	17.5.2020 23:16:44.6	60,192	24,824	-0,3	2
17.5.2020 22:02:20.5	18.5.2020 01:02:20.5	60,195	24,837	0,2	1
19.5.2020 19:49:29.0	19.5.2020 22:49:29.0	60,194	24,833	-0,2	1
20.5.2020 20:15:05.2	20.5.2020 23:15:05.2	60,195	24,833	-0,8	1
20.5.2020 21:04:00.2	21.5.2020	60,196	24,833	0,4	1

	00:04:00.2					
20.5.2020 22:20:46.2	21.5.2020 01:20:46.2	60,196	24,836	0,3	1	
31.5.2020 17:17:25.8	31.5.2020 20:17:25.8	60,196	24,835	0,9	1	

# T-102



HELSINGIN YLIOPISTO

Helsinki 2020

ISSN 0781-9579

ISBN 978-952-10-9602-0

<https://hdl.handle.net/10138/321202>