



St1:n seisminen mikroskooppi:

Otaniemen alta etsitään ratkaisua geotermisen energian onnistuneeseen tuotantoon

Tiivistelmä

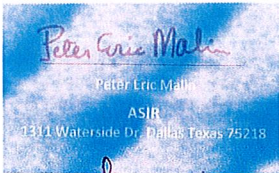
Arktisia seutuja ympäröivät maa-alueet ovat yleensä syrjässä lukuisia ja laajoja maanjäristyksiä aiheuttavista maan liikkeistä. Islanti ja Alaska ovat poikkeuksia, sillä niissä maankuoren osien liikkuminen erilleen ja yhteen synnyttää suuria tulivuoria ja maanjäristyksiä. Muiden pohjoisten seutujen peruskallio nousee koko ajan vapauduttuaan 10 000 vuotta sitten sulaneesta jääpeitteestä. Tämä liike aiheuttaa nykyisin useita mikroskooppisia maanjäristyksiä eli mikromaanjäristyksiä, joiden aiheuttamat liikkeet jäävät useimmiten huomaamatta Maan pinnalla luonnon ja ihmisen aiheuttaman melun takia. Samasta syystä geotermiset tekniset menetelmät voivat aiheuttaa mikromaanjäristyksiä. Kokemusten perusteella tällaisia mikromaanjäristyksiä voidaan havaita, hallita ja hyödyntää: sekä apuvälineinä, joilla paikannetaan luonnollisia virtauskanavia, että osoituksena veden kuumentamista varten tehtyjen maanalaisten rakovyöhykkeiden stimuloinnin onnistuneesta toteutuksesta. Näin mikroskooppiset tapahtumat jäävät yleensä pintamelun peittoon, mutta niitä voidaan tarkkailla viemällä kehittyneitä mittalaitteita maan uumeniin. St1 on toiminut näin osana omaa geotermistä energiantuotantosuunnitelmaansa ja asentanut maailman kehittyneimmän geotermisten maanjäristysten seurantajärjestelmän. Seisminen mikroskooppi havaitsee aiemmin huomaamatta jääneet mikromaanjäristykset, joita voidaan hyödyntää geotermisen porausohjelman ohjauksessa. Se auttaa niin ikään hallitsemaan stimuloinnin suunnittelua jäljittämällä muutoin piiloon jääviä mikromaanjäristyksiä. Stimulointia tarvitaan turvalliseen ja kannattavaan geotermiseen energiantuotantoon.

St1 -yhtiön käynnistämässä hankkeessa kiinnostusta ovat herättäneet St1:n käyttämät uudet poraus- ja stimulointitekniikat ja yhtiön asentama erityinen seisminen seurantajärjestelmä, jolla tarkkaillaan mikromaanjäristyksiä samaan tapaan kuin tavallisella mikroskoopilla biologisia ilmiötä tavoitteena kehittää geotermistä energiantuotantoa.

Kun mikroskooppi keksittiin muutama vuosisata sitten, paljastui, että suuretkin elävät olennot koostuivat paljaalle silmälle näkymättömistä soluista. Muutamia vuosikymmeniä sitten kehitetyt seismografit ovat puolestaan paljastaneet, että koko maankuori on liikkuva ja aiheuttaa huomaamattomia maanjäristyksiä – niin pieniä, etteivät ne edes tunnu maan pinnalla.

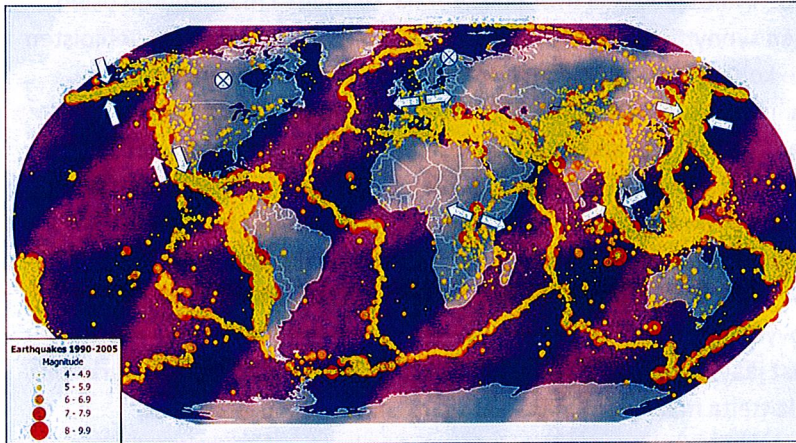
Merkittävät erot maanjäristysten paikallisessa taajuudessa ja voimakkuudessa ymmärretään nyt mantereiden massojen ja merenpohjan suhteellisten liikkeiden aiheuttamiksi. Maan oman lämmön ja sen geologisen historian aikaansaamien liikkeiden tiedetään aiheuttavan ympäri maailmaa maankuoren kutistumista, liukumista sivusuunnassa, venymistä tai korkeuden vaihtelua.

Yleisesti on havaittu, että kutistuminen aiheuttaa eniten ja suurimpia maanjäristyksiä. Japanin ja Indonesian suuret maanjäristykset ovat esimerkkejä tästä. Sivuttaisliukumat ovat pääsyy Kalifornian suurimpiin ilmiöihin, jotka ovat hieman vaimeampia kuin kutistumisen aiheuttamat. Seuraavaksi yleisimpiä ja tuhoisimpia ovat venymisen aiheuttamat maanjäristykset. Niitä tapahtuu Itä-Afrikan ja Keski-Euroopan hautavaajoamissa.



Signed
P.E. Mall
Peter Eric Mall

Aktiivisuudeltaan pienimmät maanjäritykset johtuvat maankuoren pystysuuntaisesta liikkeestä mantereiden kokoisilla alueilla. Pohjoisilla alueilla tämä liike on tulosta arktisten jäätiköiden sulamisesta. Kilometrejä paksu jää jätti vetäytyessään taakseen satoja kilometrejä moreenia ja tuhansia järviä. (Ks. kuva 1.) Tässä mikromaanjäritysympäristössä St1 pyrkii kehittämään Suomen ensimmäisen geotermistä lämpöä käyttävän kaukolämpöjärjestelmän.



Magnitude	Average Annually
8 and higher	1
7 - 7.9	15
6 - 6.9	134
5 - 5.9	1319
4 - 4.9	(~13,000)
3 - 3.9	(~130,000)
2 - 2.9	(~1,300,000)

Kuva 1. (V) Vuosina 1990–2005 esiintyneistä neljää magnitudia suuremmista 180 000 maanjärityksestä yksikään ei tapahtunut Suomessa. Nuolet osoittavat kohtia, joissa maankuori kutistuu, liukuu sivusuunnassa ja venyy. X:llä merkityt ympyrät osoittavat, missä maankuori kohoaa arktisen jääkerroksen sulamisen jälkeen. (Oikealla) Kaavio vuosittaisista maanjäritysten lukumääristä suhteessa voimakkuuteen. Gutenberg-Richterin laki maanjärityksen voimakkuudesta (magnitudi) suhteessa taajuuteen perustuu tällaiseen havaintotietoon.

Monien vuosien aikana luonnollisissa ja ihmisen rakentamissa geotermisissä järjestelmissä tehdyt seismiset havainnot ovat osoittaneet, että mikromaanjäritykset liittyvät maansisäisten nesteiden virtauksiin ja virtausten järjestäytymiseen. Geotermisellä kehityksellä on Suomen ympäristössä, jossa esiintyy harvoja ja pieniä maanjärityksiä, siten kaksi seurausta. Ensinnäkin mahdollisesti hyödyllisten virtausalueiden löytämiseen ja paikallistamiseen käytettävien mittalaitteiden on sijaittava pintamelun alapuolella. Toiseksi mittalaitteet on kalibroitava tarkasti, jotta ne erottelevat luonnolliset tapahtumat nopeasti ja tarkasti geotermiseen energiantuotantoon liittyvistä ilmiöistä.

Etelä-Suomen maanjäritysten historiatietojen avulla voidaan määrittää mittalaitteille asetettavat vaatimukset. Mittalaitteverkostosta muodostuu yhdessä monen aseman seisminen seurantakeskus. Jotta verkostoa voidaan hyödyntää usean kuukauden ajan geotermisessä energiantuotantohankkeessa, sen on oltava niin herkkä, että se havaitsee ja paikallistaa useita mikromaanjärityksiä päivässä.

Japanin ja Kiinan kaltaisia paikkoja lukuun ottamatta maanjäritystilastoja on usein olemassa muutamien vuosisatojen ajalta, ja viime vuosisadalle asti ne perustuivat ihmisten kokemuksiin. Muutaman kilometrin päässä ~2–3 magnitudin maanjärityksestä ihmiset yleensä havaitsevat sen aiheuttamat liikkeet. Toisaalta ~3–4 magnitudin järitys voi aiheuttaa vaurioita rakennuksiin, erityisesti heikkorakenteisiin kohteisiin. Yleensä yli ~4 magnitudin suuruisista ilmiöistä aiheutuu vaaraa yleiselle turvallisuudelle ja rakennuksille. Helsingin yliopistossa tutkituista historiallisista asiakirjoista on



Signal
P.E. Malin
Peter Eric Malin

selvinnyt, että Helsingin seudulla on raportoitu kahdeksan havaittua maanjäristystä (~2 M) vuosina 1610–1999 muttei yhtään merkittäviä maanjäristysvahinkoja (~3 M).

Gutenbergin ja Richterin yli 60 vuotta sitten osoittaman voimakkuus–taajuus-säännön avulla voidaan raporttien perusteella arvioida *St1*:n hankkeessa tarvittavaa herkkyyttä. Säännön mukaan yhden magnitudin lasku Richterin asteikolla merkitsee jotakuinkin 10-kertaista esiintymistasaajuutta. Jotta havaitaan keskimäärin kolme mikromaanjäristystä päivässä, *St1*:n seismisen seurantakeskuksen on havaittava tapahtumia, joiden voimakkuus on 4 askelta pienempi kuin ~2 M. Richter määrittäi asteikkonsa nollapisteen – pisteen, jossa pinnan ja mittalaitteen melu peittävät alleen pienet tapahtumat – pintamittalaitteiden avulla. Kun ~2 M:sta vähennetään 4 yksikköä, tulos on ~-2 M.

Tällainen herkkyys voidaan saavuttaa nykyaikaisilla maanjäristysilmaisimilla, kun ne asetetaan maan pinnan alle. Tarvittava syvyys voidaan arvioida Helsingin yliopiston nykyisin käyttämän seismisen verkoston herkkyydestä. Verkosto havaitsee säännöllisesti 1 magnitudin mikromaanjäristyksiä. Gutenberg-Richterin säännön mukaisesti ilmaisuherkkyys kasvaa kymmenen kerrannaisina mittalaitteen syvyyden mukaan alkaen noin 20–30 metristä.

Viimeksi mainitulla syvyydellä sijaitseva seisminen verkosto on herkkä pienille tapahtumille, joiden magnitudiksi Richter määrittäi 0:n ja jotka jäävät pintamelun ja mittalaitteiden melun peittoon. Jotta herkkyydessä saavutetaan seuraavat kaksi magnitudiarvoa nolasta ~-2 magnitudiin, tarvitaan 2 askelta mittalaitteen syvyydessä ~20 metristä ~200 metriin ja edelleen ~2 000 metriin. Vuonna 2015 kaikkiaan 2015 metrin syvyyteen porattuun OTN-1-kooreikään *St1* asensi yhden seismometrin ~1 840 metrin syvyyteen sekä 23 muuta seismometriä 80 metrin välein. Ne muodostavat yhdessä toimivan ryhmän. (Ks. kuva 2.)

Lisäksi *St1* on rakentanut verkoston, johon kuuluu 10 pienempää eli 340 metrin syvyydestä mikromaanjäristysten tallennusasemaa Otaniemen geotermisen energian kehityskohdetta ympäröivällä alueella. Asemia on idässä Ruskeasuolla, lännessä Espoon keskuksessa, pohjoisessa Jupperissa ja etelässä Tvijälpin saarella. OTN-1-reiässä olevan ryhmän tavoin kukin *St1* -verkoston asema on herkkä ~-1 magnitudin mikromaanjäristyksille muutaman kilometrin alueella ja verkostona – pisteiden pitemmän välin vuoksi ~-0,5 magnitudin järjestyksille. (Ks. kuva 3.)

Yhdessä OTN-1-reiän geofoniryhmä ja geofoniverkosto muodostavat tehokkaan työväliseen, jolla voidaan mitata Otaniemen geotermisen kaukolämpölaitoksen stimuloinnin kehitystä. Kun yksi geotermisistä tuotantokaivoista on porattu valmiiksi, pumpataan sinne vettä joka reiästä johtuu rakovyöhykkeisiin stimuloitua. Näillä tiedoilla ohjataan toisen geotermisen reiän porausta niin, että se leikkaa vedellä täytettyjen rakojen toiset ääripäät. Mittalaitteiden on siksi oltava erittäin herkkiä mikromaanjäristyksille ja mahdollistettava tarkka paikannus X, Y, Z – koordinaatistossa.

On tärkeää muistaa, että niin *St1*:n tekninen suunnitelma kuin Otaniemen mikromaanjäristysympäristökin poikkeavat merkittävästi esimerkiksi Sveitsin Baselissa tai Ranskan Soultzissa tavoitteena olleesta geotermisestä energiantuotannosta. Viimeksi mainitut kohteet sijaitsevat *Rheingrabeniksi* kutsussa hautavaajoamassa, jossa maankuori venyy. Maanjäristykset ovat aiheuttaneet siellä aikoinaan paljon vahinkoa, esimerkkinä Baselin lähellä tapahtunut ~6 magnitudin järjestyksessä. Kummassakin kohteessa teknisenä suunnitelmana oli tehdä 20–30 kertaa pitempiä ja 400–1 000 kertaa suuremman alueen kattavia stimuloituja rakoja kuin Otaniemessä. Tämän seurauksena syntyi vahinkoja aiheuttavien maanjäristysten vaara, ja niitä myös tapahtui: veden pumppaaminen aiheutti Baseliin 3,4 magnitudin maanjäristyksen, joka vahingoitti kaupungin vanhoja rakennuksia.



signed
P.E. Malin
Peter Eric Malin

Baselin ja Soultzin kokemusten perusteella voidaan päätellä St1:n teknisessä suunnitelmassa tarvittavien mikromaanjäritysten koko. Maanjärityksen voimakkuus on suhteessa stimuloinnin pinta-alaan samalla tavoin logaritmisesti eli kerrannollisesti kuin Gutenberg-Richterin voimakkuus-taajuus-sääntökin.

Jokainen askel merkitsee 10-kertaista alaa. Tästä suhteesta voidaan päätellä, että Baselin ja Soultzin alueella, jossa maankuori venyy, St1:n stimulointisuunnitelma aiheuttaisi mahdollisesti ~2 magnitudin mikromaanjärityksen. Otaniemessä, jossa maankuori liikkuu historiallisesti pystysuunnassa eikä vahinkoja aiheuttavia maanjärityksiä ole esiintynyt, suurin stimulointisuunnitelman aiheuttama maanjäritys lienee luokkaa ~0-1 magnitudia eli ei edes ihmiselle aistinvaraisesti havaittavissa oleva.

Muun muassa tämä edellyttää erittäin herkän OTN-1-ryhmän ja St1-verkoston asentamista. Havaintorajalla ~-2 magnitudia OTN-1-järjestelmä havaitsee useita kymmeniä tapahtumia, joiden voimakkuus on alueella ~-1-0 magnitudia ja jotka aiheutuvat stimulointitoiminnasta. Baselin ja Soultzin kokemusten perusteella tapahtumien kokoa voidaan tarkkailla, jotta pystytään saamaan aikaan suurempi tapahtuma, joka on Otaniemen tapauksessa suuruusluokkaa ~1 magnitudia. Tällaista tapahtumaa tuskin havaitaan Otaniemen kohteessa pinnalla.