

**Asia: Pyhäjoelle mahdollisesti rakennettavan ydinvoimalan vaikutukset Pyhäsalmen kaivokseen suunnitellun neutriinoilmaisimen toimintaan**

**Yhteenveto**

*Pyhäjoelle sijoitettu ydinvoimala ei tulisi sinänsä vaarantamaan Pyhäsalmen kaivokseen suunnitellun yhteiseurooppalaisen maanalaisen tutkimusaseman toteuttamista. Tutkimustoiminnan kannalta ydinvoimalan sijoittaminen Simoon olisi kuitenkin parempi vaihtoehto kuin sijoittaminen Pyhäjoelle, koska voimalan kielteinen vaikutus tieteellisten mittausten tarkkuuteen olisi silloin huomattavasti vähäisempi ja merkittäviä tuloksia olisi saatavissa nopeammin. Tieto ydinvoimalan sijoittamisesta Pyhäjärven lähialueelle, etenkin niin lähelle kuin Pyhäjoelle, tulisi epäilemättä vaikuttamaan negatiivisesti Pyhäsalmen asemaan maanalaisen tutkimusaseman sijoituspaikasta päätettäessä*

**Tausta**

Avaruudesta tulevan hiukkassäteilyn tutkimukseen erikoistunut astrohiukkASFysiikan eurooppalainen tutkimusyhteisö suunnittelee suuren maanalaisen tutkimuslaitteiston rakentamista. Euroopan yhteisön rahoittamassa FP7-puiteohjelman LAGUNA-hankkeessa on käynnissä selvitys, jossa verrataan seitsemän eri puolilla Eurooppaa sijaitsevan sijoituspaikkavaihtoehdon sopivuutta tutkimuslaboratorion rakentamiselle ja toiminnalle. Pyhäsalmen kaivos Pyhäjärvellä on yksi ehdoilla olevista sijoituspaikoista. Suoritetussa teknisessä vertailussa Pyhäsalmen kaivos on osoittautunut monessa suhteessa parhaimmaksi sijoituspaikaksi. LAGUNA-hankkeen loppuraportti valmistuu vuoden 2010 aikana.

LAGUNA-hankkeessa on tutkittu kolmea eri vaihtoehtoista teknistä ratkaisua tutkimuslaitteistolle, hiukkasten havaitsemiseen ja mittaamiseen tarkoitetulle ilmaisimelle. Ilmaisimien koodinimet ovat LENA (tukeöljyilmaisim), GLACIER (nesteargoni-ilmaisim) ja MEMPHYS (vesi-ilmaisim). Kaikissa näissä vaihtoehtoissa

pääasiallisena tavoitteena on mitata matalan energian neutriinoja, joita syntyy Auringon ytimessä, räjähtävissä tähdissä eli supernovissa, ilmakehässä kosmisten säteiden aiheuttamien hiukkasreaktioiden seurauksena sekä maapallon sisäosassa tapahtuvista radioaktiivisista hajoamisista. Mittausten avulla tutkitaan sekä neutriinujen ominaisuuksia että neutriinoja synnyttävissä kohteissa tapahtuvia fysiikan ilmiöitä. Lisäksi koelaitteistolla tullaan mittaamaan aineen pysyvyyttä eli protonin hajoamista.

### **Ydinvoimaloiden vaikutus kokeisiin**

Jos Pyhäsalmen kaivos valitaan tutkimuslaboratorion sijoituspaikaksi, todennäköisin sinne ensivaiheessa sijoitettava koevaihtoehto on LENA. Tämän takia tarkastelemme seuraavassa ydinvoimaloiden vaikutusta LENA-kokeen toteuttamiseen. Kahden muun toteutusvaihtoehdon kohdalla ydinvoimaloiden vaikutukset ovat vähäisemmät kuin vaikutukset LENAan. Tarkastelun numerotiedot perustuvat FM Kai Loon käynnissä olevaan tutkimukseen ydinvoimaloiden vaikutuksista LENA-kokeen mittauksiin.

LENA-ilmaisim koostuu noin 50 kilotonnista nestemäistä tukeainetta sijoitettuna metalliseen tankkiin, joka on vuorattu noin 14000 valomonistinputkella hiukkasten aiheuttamien valontuikahdusten havaitsemiseksi. Tankki on sijoitettava syvälle maan alle, jotta estetäisiin mittauksia häiritsevän kosmisen säteilyn pääsy mittalaitteeseen.

Ydinreaktoreissa syntyy ydinreaktioiden tuloksena neutriinoja, jotka aiheuttavat virhesignaaleja suunnitelluissa mittalaitteissa ja häiritsevät tehtäviä mittauksia ja siten huonontavat mittausten tarkkuutta. Näiden neutriinujen pääsyä mittalaitteeseen ei voi estää, sillä neutriinot pääsevät tunkeutumaan paksun kalliokerroksen ja kaiken muunkin aineen läpi esteettä. Ydinvoimaloissa syntyvät neutriinot tulevat vaikuttamaan kaikkein kielteisimmin maapallon sisällä syntyneiden neutriinujen (geoneutriinujen) ja supernovista peräisin olevien ns. diffuusien neutriinujen mittauksiin.

### **Reaktorit neutriinolähteinä**

Reaktorit ovat voimakkaita neutriinolähteitä. Ne tuottavat elektronin antineutriinoja, jotka syntyvät polttoaineisotooppien (U-235, Pu-239, Pu-241, U-238) fission tuotteiden hajoamisketjujen beeta-hajonnoissa. Keskimääräinen painevesireaktori tuottaa noin  $2 \times 10^{20}$  neutriinoa sekunnissa gigawatin lämpötehoa kohden. Neutriinujen energiaspektreinä on tässä selvityksessä käytetty U-235, Pu-239, Pu-241 kohdalla mittaustulosten sovituksia ja U-238:n kohdalla laskettua spektriä

Neutriinot vuorovaikuttavat aineen kanssa hyvin vähän, joten ne leviävät ydinvoimasta pallomaisesti kaikkiin suuntiin tasaisesti. Kallioperä ei vaikuta niiden kulkuun, joten ne tulevat saavuttamaan myös 1,4 kilometrin syvyyteen sijoitettavan LENA-ilmaisimen vaimenematta. Koska leviäminen tapahtuu pallomaisesti, neutriinujen virta pinta-alayksikköä kohti pienenee kääntäen verrannollisesti ydinvoimalasta mitatun etäisyyden neliöön. Neutriinujen haittavaikutusta arvioitaessa etäisyys tutkimuslaboratorion ja ydinvoimalan välillä on siksi oleellinen suure. Toinen oleellinen suure on ydinvoimalan lämpöteho. Vuontiheyksien arviointia varten on koottu tietokanta kaikista maailman

toimivista (kaupallisista) ydinreaktoreista, joka sisältää tiedot voimaloiden sijaintipaikoista ja tehoista.

Ydinvoimalasta tulevien neutriinujen virran luonteeseen vaikuttaa myös ns. neutriinujen oskillaatioilmiö. Oskillaatioilmiön seurauksena osa ydinvoimalassa syntyneistä neutriinoista muuttuu toisiksi neutriinolajeiksi, mikä vaikuttaa neutriinovirran haitallisuuteen. Oskillaatioilmiön vaikutus riippuu ydinvoimalan ja tutkimuslaboratorion välisestä etäisyydestä. Tässä selvityksessä on oskillaation vaikutuksen arviointiin on käytetty tavanomaista oskillaation kolmikomponenttimallia.

### **Pyhäsalmen vertailu LAGUNA-hankkeen muihin ehdolla oleviin sijoituspaikkakuntiin nykytilanteessa**

Pyhäsalmen kaivos sijaitsee kaukana Suomessa tällä hetkellä toimivista reaktoreista (etäisyys Olkiluotoon 359 km ja Loviisaan 367 km) ja etäällä Euroopan muista voimaloista. Ydinreaktoreiden aiheuttama neutriinujen taustavuo onkin Pyhäsalmeella pienempi kuin muilla LAGUNA-kokeen ehdolla olevilla paikkakunnilla.

Kun vuonna 2009 käytössä olevat maailman ydinreaktiot toimivat ilmoitetulla maksimithehollaan, niiden aiheuttamat signaalit ilmaisinkilottonia kohti vuodessa eri sijoituspaikkakunnilla ovat taulukon 1 mukaiset.

Sijaintipaikka	Havaintoja / kton / vuosi
Pyhäsalme (FIN)	73
Caso (ITA)	106
Slanic (ROM)	122
Sieroszowice (POL)	182
Canfranc (ESP)	275
Frejus	645
Boulby	1470

**Taulukko 1**

### **Mahdollisten uusien reaktorien vaikutukset Pyhäsalmeella**

Suomeen mahdollisesti rakennettavat ydinvoimalat tulevat lisäämään häiriösignaalien määrää. Taulukossa 2 on esitetty Pyhäjoelle, Simoon, Olkiluotoon tai Loviisaan sijoitetun 4,9 GW:n tehoisen uuden ydinvoimalan vaikutus lisääntyneinä signaalimäärinä ja prosentuaalisen muutoksena nykyiseen tilanteeseen verrattuna.

Paikkakunta	Etäisyys [km]	Häiriösignaalien määrän lisäys	Lisäys-%
Pyhäjoki	130	70	96%
Simo	229	20	27%
Olkiluoto	359	8	11%
Loviisa	367	8	11%

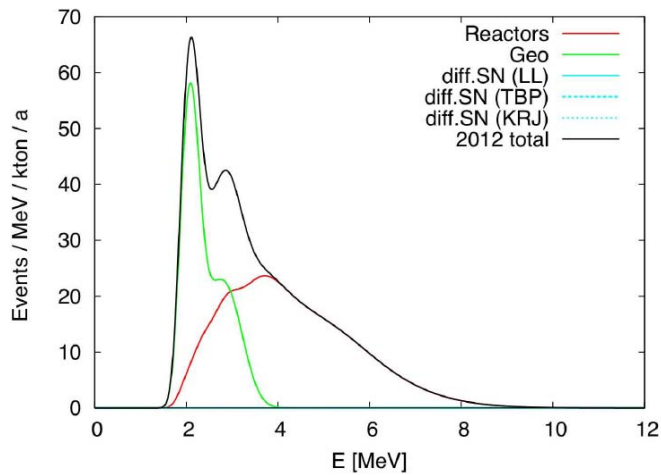
## Taulukko 2

Jos uusi ydinvoimala rakennettaisiin Loviisaan, Olkiluotoon tai Simoon, reaktori-neutriinon aiheuttama häiriö olisi Pyhäsalmeella edelleen alhaisempi kuin muilla tutkimuslaitoksen sijoituspaikaksi ehdolla olevilla paikkakunnilla. Pyhäjoelle sijoitettava uusi ydinvoimala nostaisi häiriösignaalien suuremmaksi kuin Italian Casossa ja Romanian Slanicissa. Häiriösignaalien kasvaminen lähes kaksinkertaiseksi on mittauksien kannalta merkittävä huononnuks. Pyhäsalmen ohella varteenotettavin sijoituspaikkakunta on kaikki asiaan vaikuttavat tekijät huomioon ottavan teknisen vertailun perusteella Ranskan Frejus. Uudenkin ydinvoimalan ollessa käynnissä häiriösignaali olisi Pyhäsalmeella alhaisempi kuin Frejus'ssa.

## Ydinvoimalaneutriinon vaikutus tieteellisiin mittauksiin

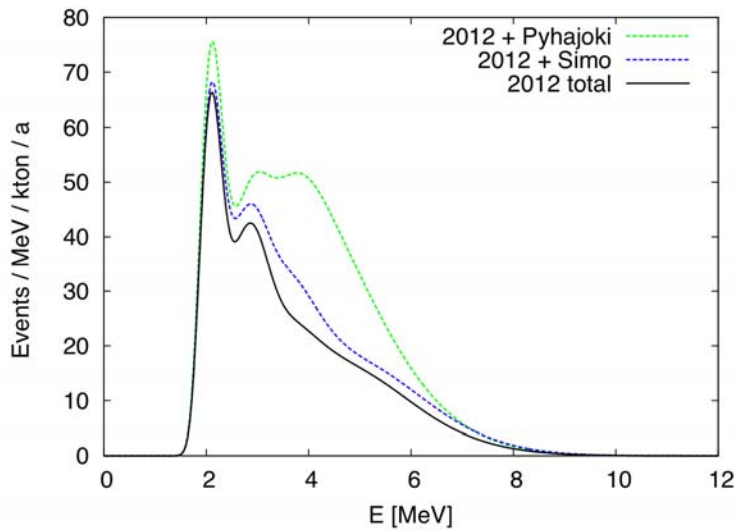
Ydinvoimaloiden neutriinot vaikuttavat eniten geoneutriinon mittauksiin, koska ydinvoimaloista peräisin olevien neutriinon energiat ovat samalla energia-alueella kuin geoneutriinon energiat. Seuraavissa kuvissa on otettu huomioon LENA-ilmaisimen suunniteltu energian erottelukyky.

Kuvassa 1 on esitetty geoneutriinon (punainen viiva) ja ydinvoimaloista tulevien neutriinon (vihreä viiva) vuo eri energioiden arvoilla ennen mahdollisen uuden reaktorin rakentamista (musta viiva on yhteenlaskettu vuo). Kuvan mukaan ydinvoimalan neutriinot peittävät huomattavasti geoneutriinosignaalia spektrin suurien energioiden alueella, mutta suurimman geoneutriinon vuo kohdalla ydinvoimaloista tulevan taustan suhde geoneutriinosignaaliin on tausta/signaali = 14 %.



**Kuva 1**

Kuvassa 2 on esitetty Pyhäjoelle (vihreä viiva) tai Simoon (sininen viiva) mahdollisesti rakennettavan voimalan aiheuttama muutos nykytilanteeseen (musta viiva). Kuvasta selviää, että mahdollinen uusi ydinvoimala aiheuttaisi geoneutriinosignaaliin nykytilannetta merkittävästi suuremman häiriön. Pyhäjoelle rakennettavan ydinvoimalan vaikutus olisi merkittävästi suurempi kuin Simoon rakennettavan ydinvoimalan merkitys. Jos ydinvoimala rakennettaisiin Pyhäjoelle, geoneutriinon spektrin maksimikohdassa tausta-signaali-suhde olisi tausta/signaali = 29 %. Simoon rakennettavan ydinvoimalan aiheuttama muutos nykyiseen 14 %:n tausta-signaali-suhteeseen olisi huomattavasti pienempi, sillä suhteen arvoksi tulisi tausta/signaali = 18 %.



**Kuva 2**

## Johtopäätökset

Pyhäjoelle mahdollisesti rakennettava ydinvoimala vaikuttaisi negatiivisesti Pyhäsalmen kaivokseen suunnitellun neutriinoilmaisimen tieteellisiin mittauksiin. Kaiken kaikkiaan ydinvoimaloista tuleva häiriösignaali kaksinkertaistuisi nykyiseen verrattuna. Tällä on huomattava huonontava vaikutus mittaustulosten tarkkuuteen. Koska mittaustuloksen tarkkuus määräytyy signaalitapauksien määrästä, mittaustuloksen heikkeneminen mahdollisesti rakennettavan ydinvoimalan vaikutuksesta voitaisiin kompensoida pidentämällä mittausaikaa. (Suunniteltu mittausaika on kymmeniä vuosia.)

Ydinvoimalan aiheuttama taustasignaali on kriittisin maapallon sisästä peräisin olevien geoneutriinojen mittauksille. Geoneutriinoja on aikaisemmin mitattu japanilaisessa kokeessa, ja niitä ollaan parhaillaan mittaamassa Italiassa käynnissä olevassa Borexino-kokeessa (LENA-kokeen prototyypikoe). LENA-koe tulisi mittaamaan geoneutriinoja huomattavasti tarkemmin kuin nämä kokeet. Pyhäjoelle tuleva ydinvoimala huonontaisi nykyistä tilannetta vastaavan tausta-signaali-suhteen nykyisestä 14 %:sta 29 %:iin. Simoon sijoitettava ydinvoimala huononnus olisi merkittävästi pienempi, 14 %:sta 18 %:iin.

LENA-kokeessa on myös sellaisia mittauksia (esim. aurinkoneutriinojen ja protonin hajoamisen mittaaminen), joihin ydinvoimaloilla ei ole merkittävää vaikutusta.

Jukka Maalampi  
Professori  
Jyväskylän yliopisto

Kari Rummukainen  
Professori  
Helsingin yliopisto

Matti Weckström  
Professori  
Oulun yliopisto