

Gasum Now!

Reaaliaikaista avaruussääpalvelua

Ari Viljanen¹, Antti Pulkkinen^{1,2} ja Risto Pirjola¹

¹ Ilmatieteen laitos, Avaruusfysiikan tutkimus, PL 503, 00101 Helsinki
ari.viljanen@fmi.fi, risto.pirjola@fmi.fi

² NASA Goddard Space Flight Center, Code 612.2, Greenbelt MD 20771, USA
antti.pulkkinen@gsfc.nasa.gov

Abstract

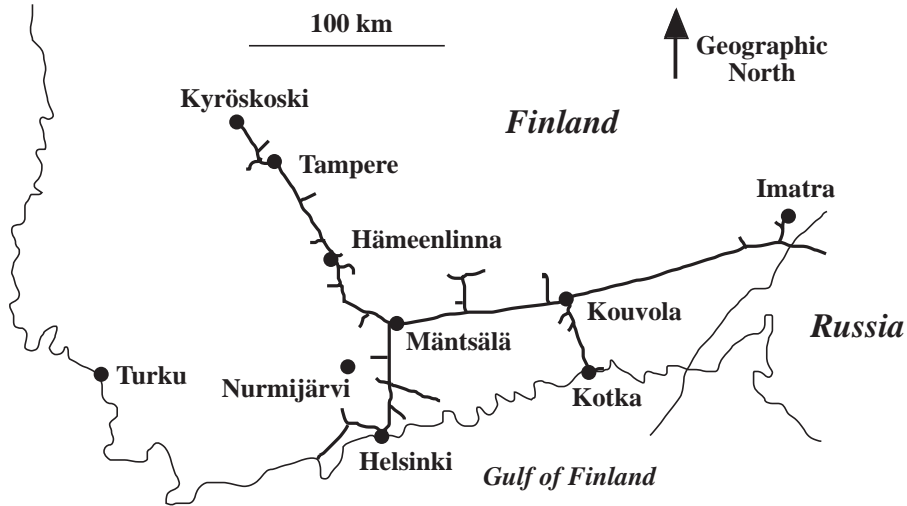
Theoretical modelling and recordings of geomagnetically induced currents (GIC) in electric power transmission systems and in buried pipeline networks are the flagship of space weather research at the Finnish Meteorological Institute (FMI). As a part of the Space Weather Applications Pilot Project of the European Space Agency, FMI has developed a nowcasting service for the Gasum company owning the Finnish natural gas pipeline system. The server provides a real-time view of the geomagnetic activity level and estimates of GIC. The electric field driving GIC is calculated using the measured geomagnetic field at the Nurmijärvi observatory and a layered earth conductivity model. Selection of the earth model has been validated with comparisons to measured GIC. With the known geometry and electromagnetic parameters of the pipeline system, GIC at any point can then be determined using a DC description of the network.

1. JOHDANTO

Avaruussään vaikutuksiin kuuluvat geomagneettisesti indusoidut virrat (GIC, geomagnetically induced current), joita kulkee erilaisissa teknologisissa johdinjärjestelmissä. Ne johtuvat avaruuden sähkövirtojen nopeista ajallisista vaihteluista, joihin Faradayn induktiolain mukaan liittyy sähkökenttä. Parhaiten GIC-ilmio tunnetaan korkeajänniteverkoissa, joissa se voi pahimmillaan aiheuttaa sähkökatkoksia, kuten Quebecissä Kanadassa maaliskuussa 1989 tai Malmön alueella Ruotsissa lokakuussa 2003 (Pulkkinen et al., 2005). Maakaasu- ja öljyputkissa GIC puolestaan häiritsee korroosionestojärjestelmiä. Ilmiön seuranta ja toimenpiteet haittojen vähentämiseksi kiinnostavat siis sähköverkkoja ja kaasuputkistoja ylläpitäviä yhtiöitä.

Euroopan avaruusjärjestö käynnisti 2003 pilottiohjelman, jossa tutkimuslaitokset ovat kehittäneet teollisuuden kanssa yhteistyössä erilaisia avaruussään palvelutuotteita. Ilmatieteen laitos (IL) on johtanut kahta eri hanketta (Auroras Now! ja Gasum Now!). Edellinen on revontulien havainnointi- ja ennustuspalvelu ja jälkimmäinen tässä lähemmin esiteltävä GIC-palvelu Suomen maakaasuverkon omistavalle Gasum Oy:lle.

Suomen maakaasuputkistossa (kuva 1) GIC tunnettiin jo 1980-luvulla, josta lähtien IL ja Gasum ovat tutkineet ilmiötä yhdessä. Putkea pitkin kulkevaa virtaa on mitattu marraskuusta 1998



Kuva 1: Suomen maakaasuverkko. GIC:tä mitataan Mäntsälän kompressoriasemalla (Pulkkinen et al., 2001b). Nurmijärven geofysiikan observatorio sijaitsee noin 30 km päässä Mäntsälän mittauspisteestä.

alkaen Mäntsälässä (Pulkkinen et al., 2001b). Tähän tarvitaan kaksi magnetometriä, joista toinen on aivan putken yläpuolella ja toinen Nurmijärven observatoriossa. Mäntsälän laite havaitsee luonnollisen kentän vaihtelun lisäksi GIC:n aiheuttaman kentän. Nurmijärvellä havaitaan vain luonnonkentän vaihtelua. Olettamalla Maan kentän vaihtelu samaksi näillä kahdella varsin lähekkäisellä paikalla erotuksesta voidaan laskea GIC.

2. INDUSOITUVIEN VIRTOJEN MALLINNUS

GIC-laskenta jaetaan käytännössä kahteen osaan. Ensin määritetään magneettisiin vaihteluihin liittyvä sähkökenttä maanpinnalla. Sitten lasketaan tämän kentän aiheuttama virta johdinjärjestelmässä. Ensimmäinen vaihe on samanlainen sähköverkoille ja kaasuputkille, mutta toinen vaihe on erilainen. Sähköverkossa sovelletaan suoraviivaista tasavirtapiirin mallinnusta (Lehtinen & Pirjola, 1985), mutta maahan haudattuun putkeen tarvitaan monimutkaisempaa siirtojohto-analogiaa (Pulkkinen et al., 2001a).

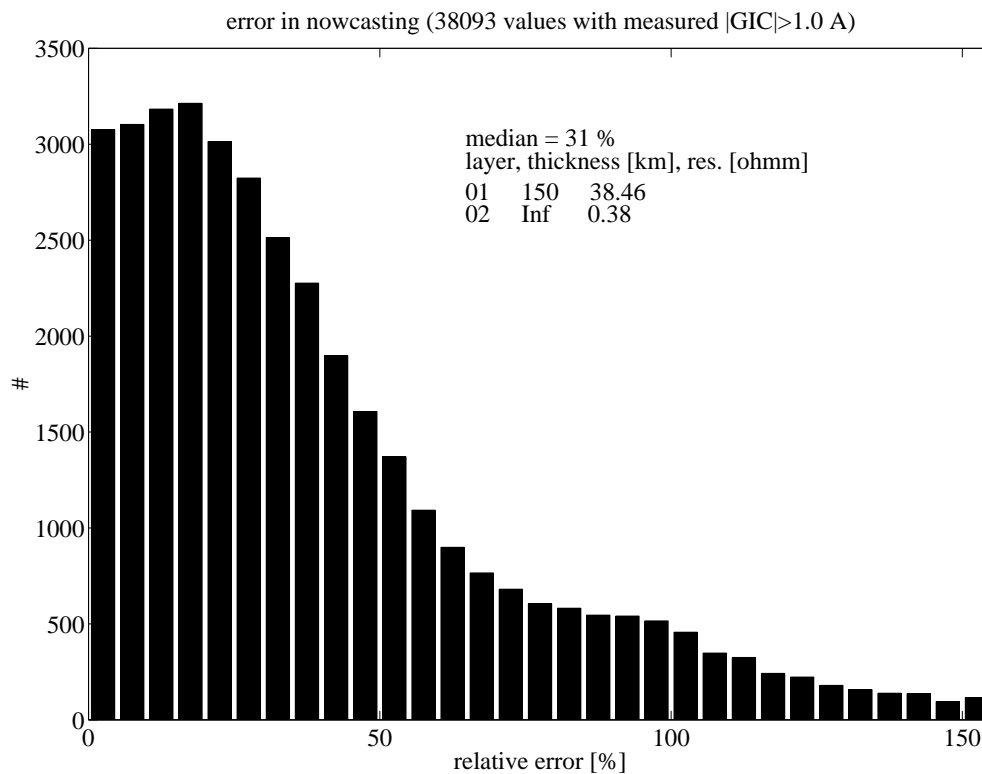
Sähkökentän mallinnuksen lähtökohtana ovat Nurmijärvellä mitattu magneettikenttä ja maalle oletettu kerrosmainen johtavuusmalli. Tällöin horisontaalinen sähkökenttä (E_x, E_y) ja magneettikenttä (B_x, B_y) liittyvät toisiinsa yhtälöillä

$$E_x(\omega) = Z(\omega)B_y(\omega)/\mu_0, E_y(\omega) = -Z(\omega)B_x(\omega)/\mu_0 \quad (1)$$

missä ω on kulmataajuus, μ_0 tyhjiön permeabiliteetti ja $Z(\omega)$ pintaimpedanssi, joka riippuu ainoastaan maan ominaisuuksista. Ajan funktiona sähkökenttä saadaan Fourier-käänteismuunnoksella. Tässä yksinkertaisessa mallissa sähkökentällä ei ole paikkariippuvuutta, jolloin GIC kussakin tarkastelupisteessä voidaan esittää muodossa

$$GIC(t) = aE_x(t) + bE_y(t) \quad (2)$$

Kertoimet a ja b riippuvat vain putken ominaisuuksista.



Kuva 2: Mallinnetun GIC:n virhejakauma Mäntsälässä aikavälillä marraskuu 1998 - joulukuu 2004. Aineistossa ovat mukana kaikki yhden minuutin mittausarvot, jotka ylittivät yhden ampeerin suuruuden.

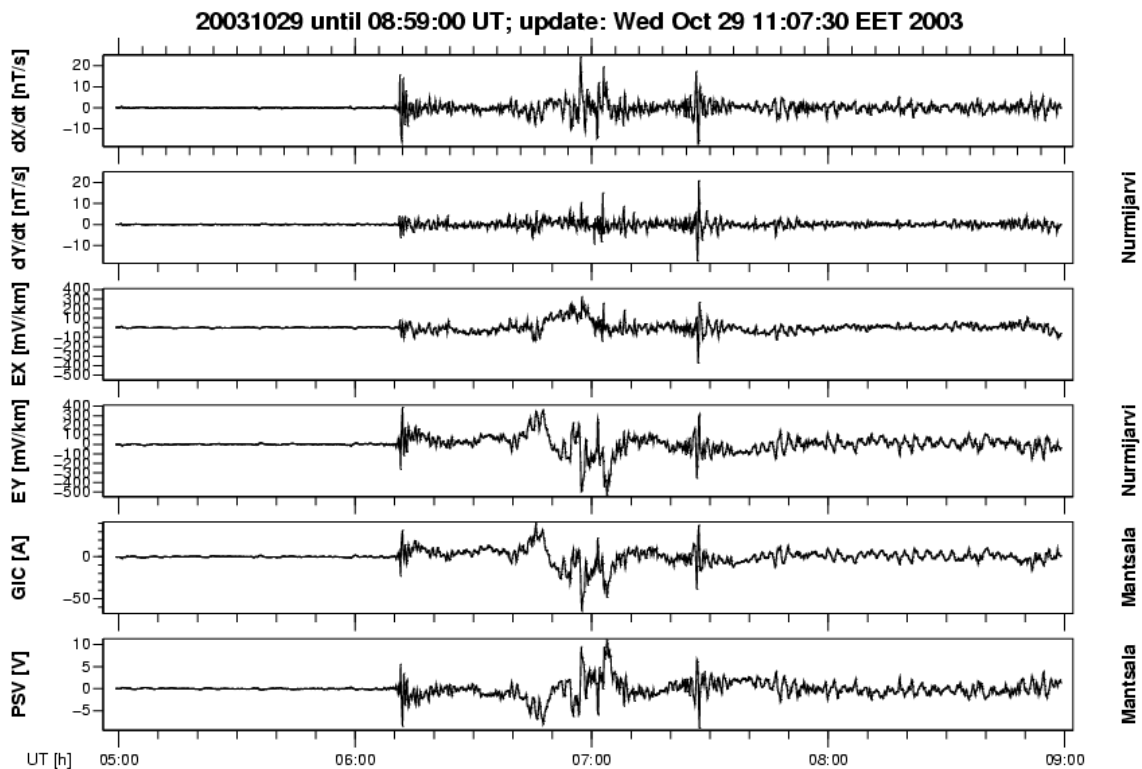
Maamalliksi kokeiltiin useita kerrosrakenteita. Riittävän hyväksi osoittautui kaksikerrosmalli, jossa yläkerroksen paksuus on 150 km ja resistiivisyys $38.5 \Omega m$, ja alemman äärettömän paksun kerroksen resistiivisyys on $0.385 \Omega m$. Laskettuja virtoja verrattiin mitattuihin arvoihin ja saatiin kuvan 2 osoittama virhejakauma. Virhelähteitä ovat kentän poikkeamat tasoallostasta ja putken korroosiosuojauksen syöttämän virran vaikutus, joka sekoittuu GIC-mittaukseen.

3. WWW-PALVELIN

WWW-palvelimen osoite on http://aurora.fmi.fi/gic_service/. Se koostuu pääasiassa julkisista sivuista, joilla esitetään reaaliaikainen Nurmijärven magneettikenttä ja siitä laskettu sähkökenttä. Gasumille rajattuun osaan sisältyvät putken valituille pisteille reaaliajassa lasketut GIC-arvot. Palvelimen tähtihetkiä oli kuluva auringonpilkkujakson suurin magneettinen myrsky lokakuussa 2003. Myrskyn alkua voitiin seurata virka-aikana (kuva 3).

4. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Gasum Now!-palvelin perustuu yksinkertaisiin geofysikaalisiin oletuksiin, joiden avulla kaasuputkessa kulkeva GIC voidaan mallintaa hyvällä tarkkuudella. Palvelin on hyödyllinen lisä Gasumin valvontajärjestelmään, koska sen avulla voidaan reaaliaikaisesti erottaa geomagneettiset tapahtumat muista häiriölähteistä.



Kuva 3: Gasum Now! lokakuun 2003 magneettisen myrskyn aikana. Kahdessa ylimmässä paneelissa ovat Nurmijärven mitatut magneettikentän aikaderivaatat ja seuraavissa lasketut sähkökentän horisontaalikomponentit. Laskettu suurin GIC arvioitiin noin 60 A suuruiseksi, joka on hyvin lähelle mittausarvoa 57 A. Alimmassa paneelissa on laskettu putken ja maan välinen jännite, joka ylitti useita kertoja korroosiosuojauksessa käytettävän noin yhden voltin arvon.

LÄHTEET

- Lehtinen, M., R. Pirjola, 1985. Currents produced in earthed conductor networks by geomagnetically-induced electric fields, *Ann. Geophys.*, **3**, 479–484.
- Pulkkinen, A., S. Lindahl, A. Viljanen, and R. Pirjola, 2005. October 29-31, 2003 geomagnetic storm: geomagnetically induced currents and their relation to problems in the Swedish high-voltage power transmission system, accepted for publication in *Space Weather*.
- Pulkkinen, A., R. Pirjola, D. Boteler, A. Viljanen, and I. Yegorov, 2001a. Modelling of space weather effects on pipelines, *J. Appl. Geophys.*, **48**, 233–256.
- Pulkkinen, A., A. Viljanen, K. Pajunpää, and R. Pirjola, 2001b. Recordings and occurrence of geomagnetically induced currents in the Finnish natural gas pipeline network, *J. Appl. Geophys.*, **48**, 219–231.
- Viljanen, A., A. Pulkkinen, O. Amm, R. Pirjola, T. Korja and BEAR Working Group, 2004. Fast computation of the geoelectric field using the method of elementary current systems and planar Earth models. *Ann. Geophys.*, **22**, 101–113.