



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Puhelintukiasema-antennin säteilykuvion mittaus multikopterilla (Valmiin työn esittely)

Nina Gunell

24.03.2016

Ohjaaja: Yliopistonlehtori *Jari Holopainen*

Valvoja: Professori *Harri Ehtamo*

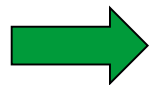
Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Tausta

- Puhelinverkon suunnittelijat ovat aikaisemmin käyttäneet suunnittelun perustana valmistajan antennista antamia tietoja
- Antennin säteilykuvio on tällöin aina mitattu täydellisissä laboratorio-olosuhteissa ilman häiriötekijöitä
- Mobiilioperaattoreilla kasvava tarve saada tietoa antennin todellisesta säteilykuvioista puhelintukiaseman ympäristössä

Aikaisempi tutkimus

- Aikaisempaa tutkimusta 3G-verkkojen kuuluvuudesta on Suomessa toteuttanut muun muassa ECE (European Communication Engineering)
- Operaattoreilla myös omia työntekijöitä, joiden päätehtävä on mitata kentän voimakkuutta mahdollisilla katvealueilla
- Kaikki yllämainitut mittaukset suoritetaan jalan, autossa tai julkisissa kulkuvälineissä



Mittauksien antama kuva kentän tasosta on yksipuolinen

Pilottihanke

- Sharper Shape Ltd toteutti pilottihankeen yhteistyössä erään Suomen johtavan mobiilioperaattorin kanssa 06/2015.
- Tiettävästi hanke oli maailman ensimmäinen maasto-olosuhteissa 3D:nä suoritettu säteilykuvion mittaus
- Datankeräys suoritettiin kauko-ohjattavalla multikopterilla eli UAV:lla (Unmanned Aerial Vehicle).



Kuva 1: Kopteri lentämässä pilottihanketta. Sharper Shape.

Menetelmät

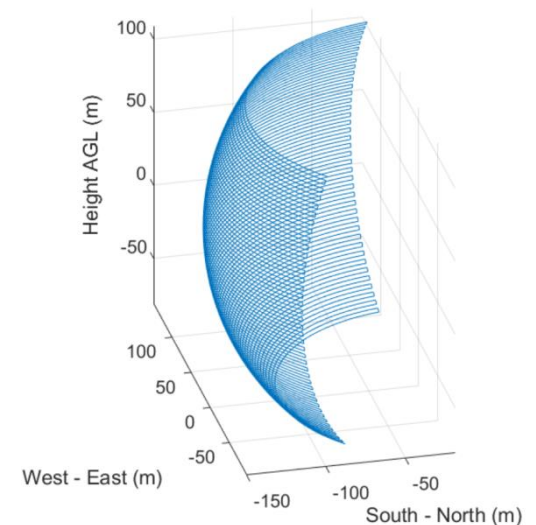
```
## Input transformation and initialization

antenna_direction = 450 - antenna_direction # conversion from "normal" degrees to pc
if antenna_direction >= 360:
    antenna_direction = antenna_direction - 360
theta_upper = 90 - alpha_upper-tilt_angle # theta is between z and the vector. Tilt.
theta_lower = 90 + alpha_lower-tilt_angle
phi_right = antenna_direction - beta_right
phi_left = antenna_direction + beta_left
if phi_left >= 360: # just to make sure both are in range [0, 360]
    phi_left = phi_left - 360
if phi_right < 0:
    phi_right = phi_right + 360

# Initializes the theta points
theta = np.linspace(theta_lower, theta_upper, (theta_upper-theta_lower)/res_ver+1)

# Initializes the phi points
if phi_left < phi_right:
    phi = []
    phi.extend(np.linspace(phi_right, 360, (360-phi_right)/res_hor+1))
    del phi[-1]
    phi.extend(np.linspace(0, phi_left, (phi_left)/res_hor+1))
else:
    phi = np.linspace(phi_right, phi_left, (phi_left-phi_right)/res_hor+1)
clockwise = False; # variable for deciding whether operation is started clockwise or
cart_coord = np.zeros((3,1))
## Conversion between spherical and cartesian coordinates, Local frame
for i in theta:
    temp_coord = np.zeros((3,1));
    theta_i = math.radians(i)
    z = r*math.cos(theta_i)
    if z < safe_altitude -poi_height: #checks so the height is above the safe altit
```

Set parameters	
Tower position latitude (WGS84 in decimal form)	60.243037
Tower position longitude (WGS84 in decimal form)	24.92824
Height of the root of the (AMSL in meters)	0
Height of antenna (meters in reference to the root)	79
Direction of antenna (°)	190
Tilt angle (°)	6
Wanted radius from antenna (m)	20
Horizontal angle upwards (dv. 35°)	35
Horizontal angle downwards (dv. 45°)	45
Vertical angle to right (dv. 60°)	10
Vertical angle to left (dv. 60°)	55
Resolution horizontal (dv. 1°)	32.5
Resolution vertical (dv. 1°)	1
Speed (m/s)	4
Safe flying altitude (m AGL)	18
Calculate waypoints Quit	



Kuva 2: Lennonsuunnittelussa käytetty ohjelmisto sekä sen käyttöliittymä

- Lennonsuunnittelu tehtiin Python-pohjaisella ohjelmalla
- Kopteri lensi autopilotilla vaakatasossa, nousten aina kerrosten välissä yhden asteen.

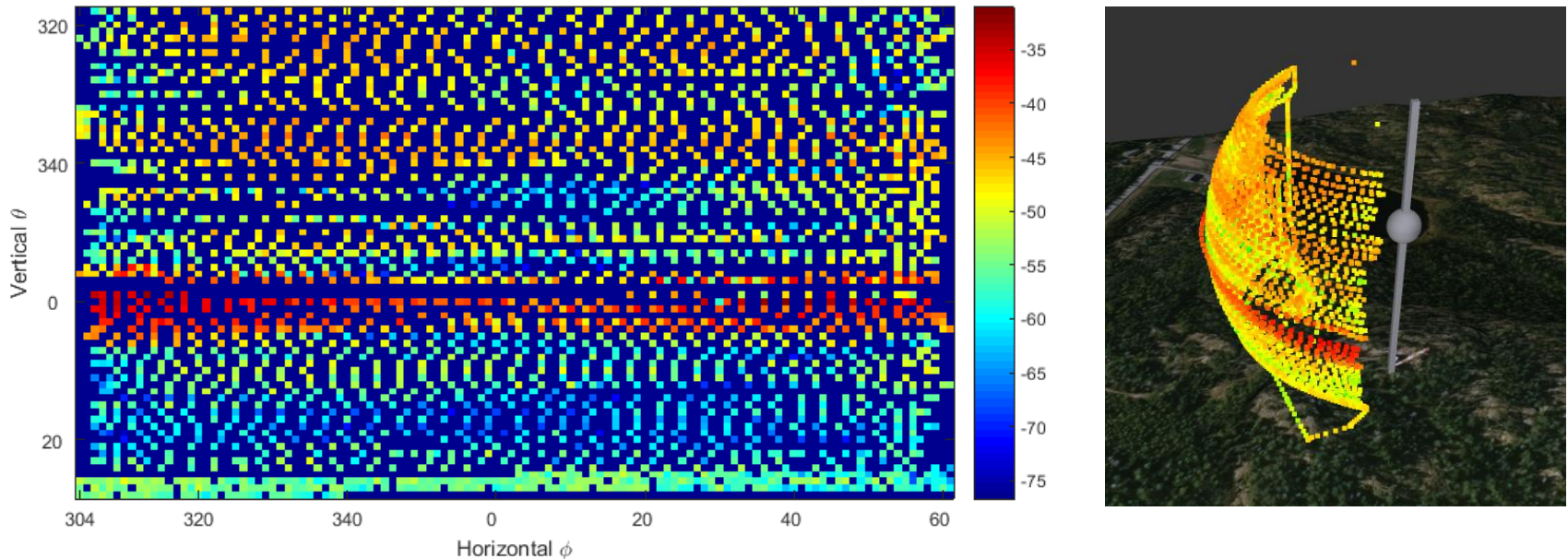
Menetelmät



GoPro video lennolta



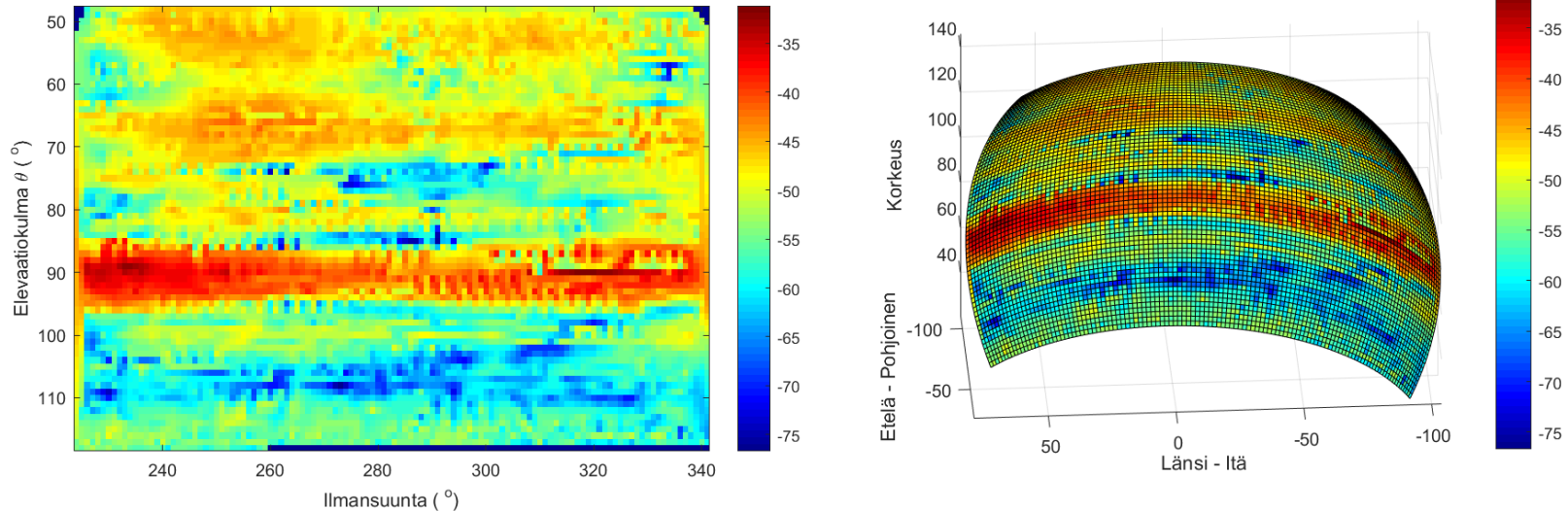
Menetelmät



Kuva 3: Kerätty data piirrettynä 2D:nä sekä toteutunut lentoreitti 3D:nä piirrettynä

- Mittauksissa mitattu suure oli 3G signaalin voimakkuus dBm:ssä. Jälkiprosessoinnissa nämä yhdistettiin mitattuihin GPS-pisteisiin.

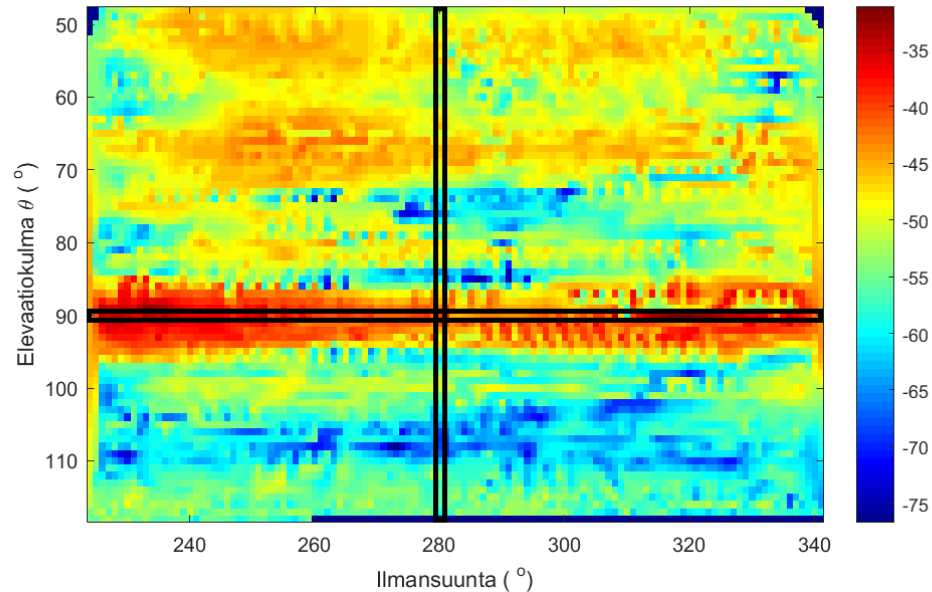
Tulokset



Kuva 4: Interpoloitu data piirrettynä 2D:nä ja 3D:nä

- Kerätty data analysoitiin ja interpoloitiin Matlabissa, minkä tulokset on nähtävissä ylläolevissa kuvissa.

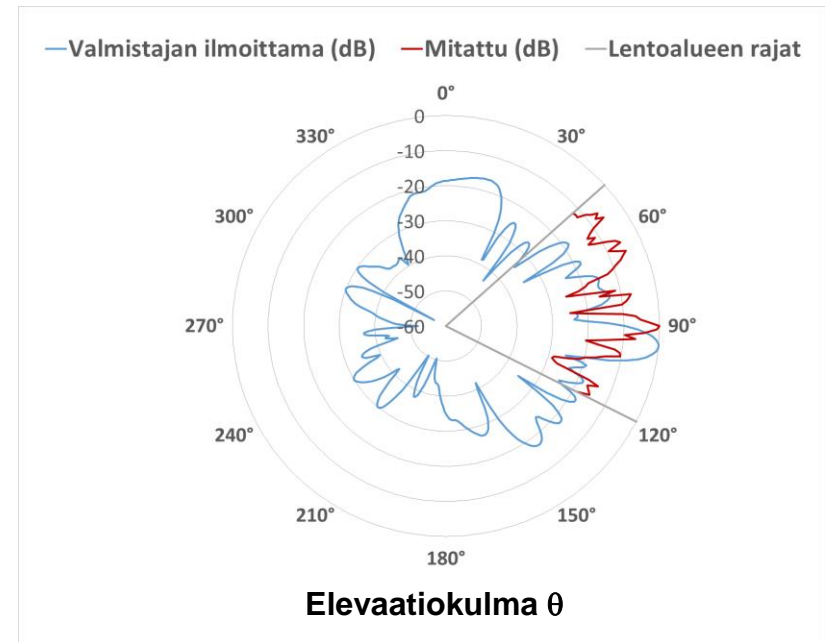
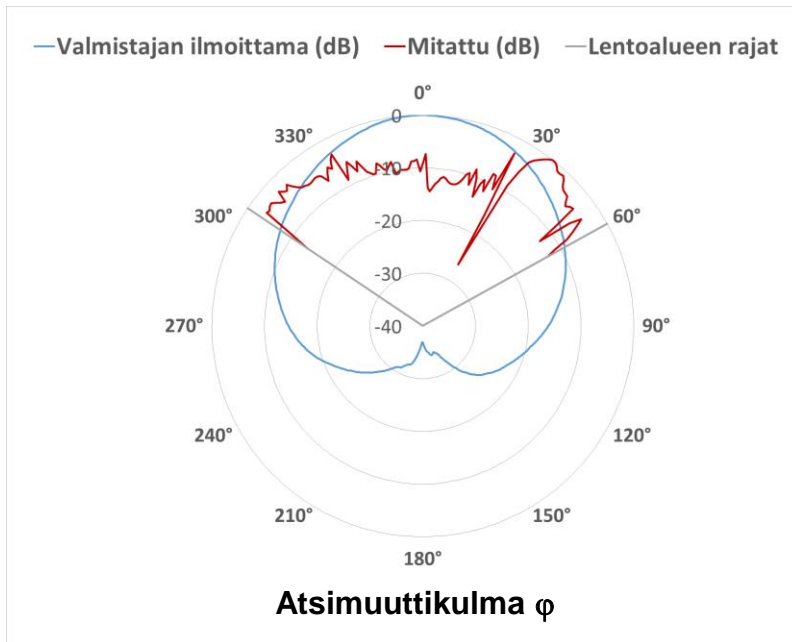
Tulokset



Kuva 5: Operaattorin ilmoittamat pääleikkaustasot

- Operaattorin antamien tietojen mukaan antenni oli suunnattu ilmansuuntaan 280° ja sen kallistuskulma oli 6 astetta.
- Päätasot ovat esitetyn kuvan mustien rajojen sisäpuolella.

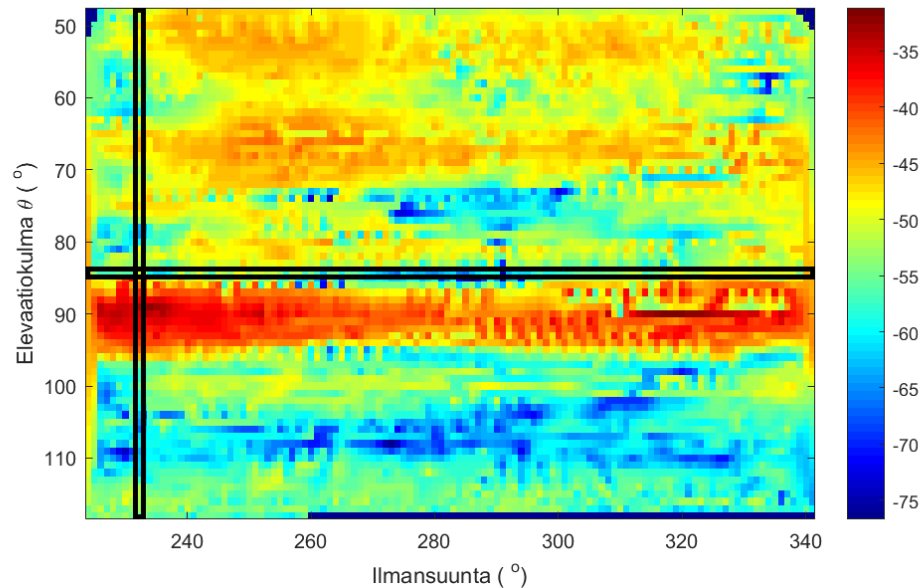
Tulokset



Kuva 6: Säteilukuvioiden vertaus valmistajan ilmoittamiin kuvioihin

- Edellisellä kalvolla esitetyn interpolaation päätasojen säteilykuviot ovat yllä verrattuina valmistajan ilmoittamiin kuvioihin.

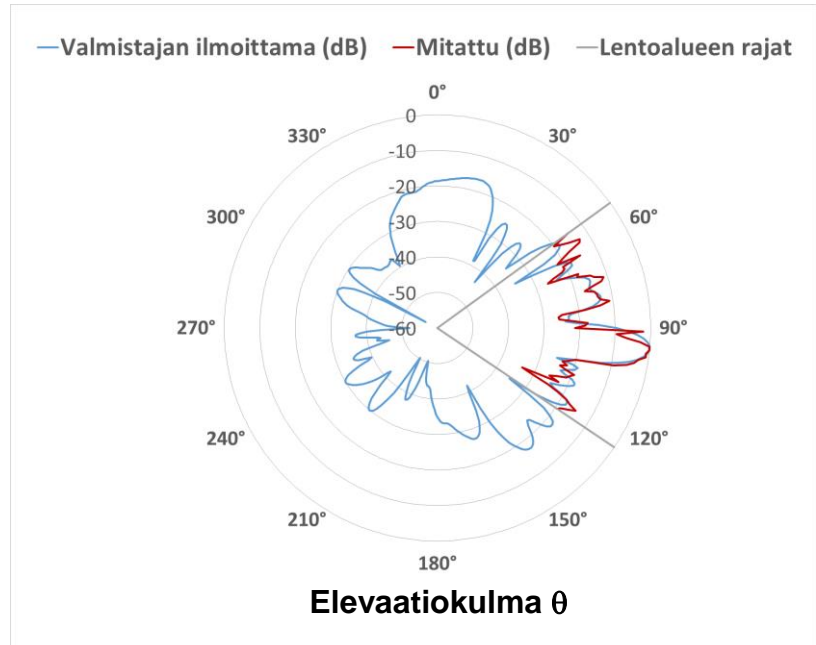
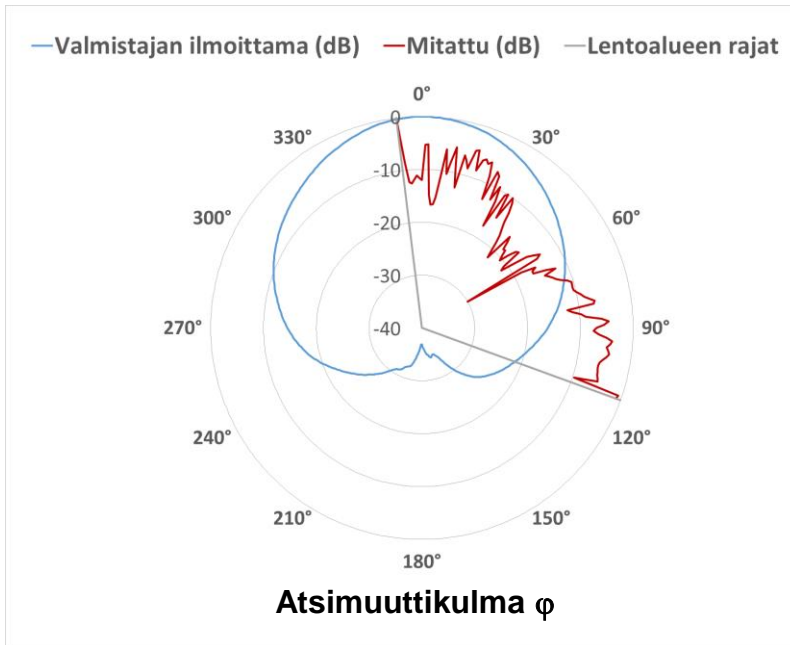
Tulokset



Kuva 7: PNS -sovitteella saadut pääleikkaustasot

- Suorittamalla PNS -sovitteen vertikaaliselle säteilykuviolle saatiin uusi keskipiste. Tämä vastaisi tilannetta, jossa antenni on säädetty 6 astetta liian korkealle ja 49 astetta liikaa oikealle.

Tulokset



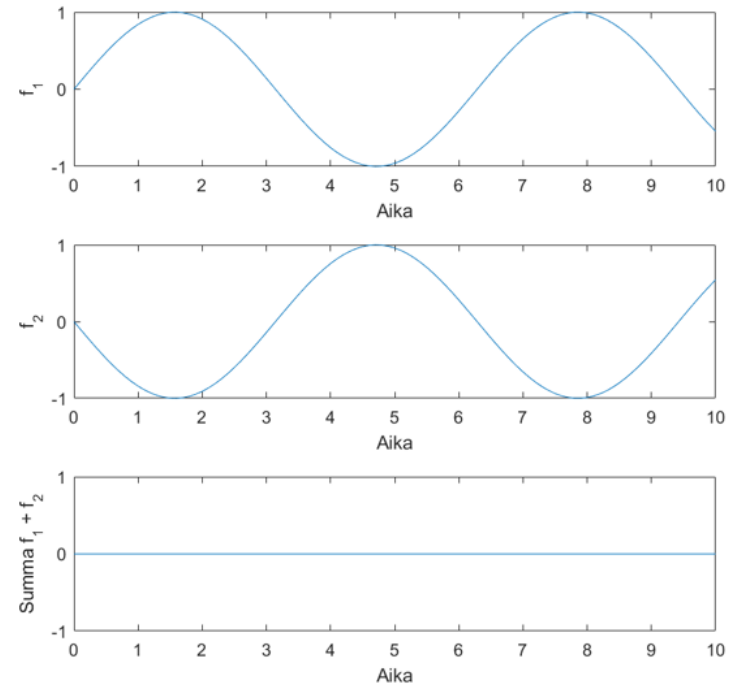
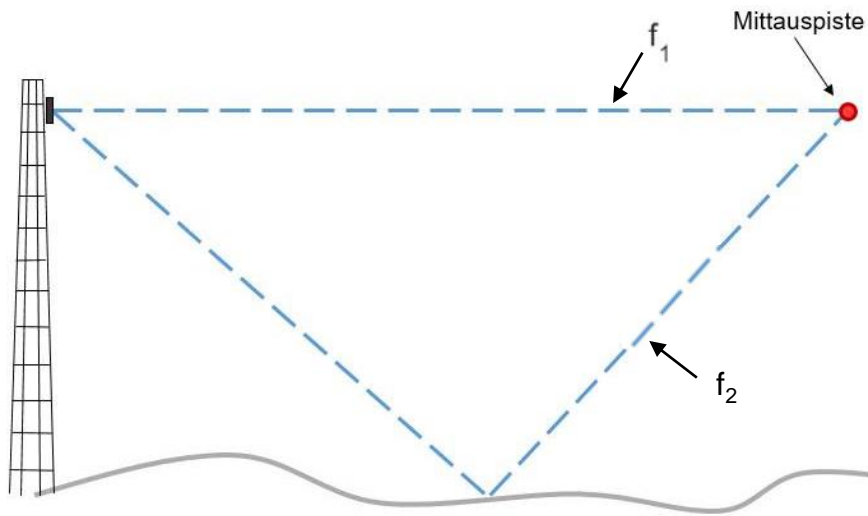
Kuva 8: Säteilukuvioiden vertaus valmistajan ilmoittamiin kuvioihin

- Viime kalvolla esitetyn interpolaation päätasojen säteilukuviot ovat yllä verrattu valmistajan ilmoittamiin kuvioihin.

Tulokset

- Mikäli antenni todellisuudessa olisi suunnattu 6 astetta liian korkealle ja 49 liikaa vasemmalle, olisi kyse erittäin suuresta asennusvirheestä.
- Horisontaali säteilykuvio (elevaatiokulma) poikkeaa huomattavasti valmistajan ilmoittamasta myös tässä pisteessä (edellinen kalvo).
- Vertikaalille säteilykuviole (atsimuuttikulmalle) löytyy parhaat sovitteet ilmansuunnista 225-235°.

Heijastuminen



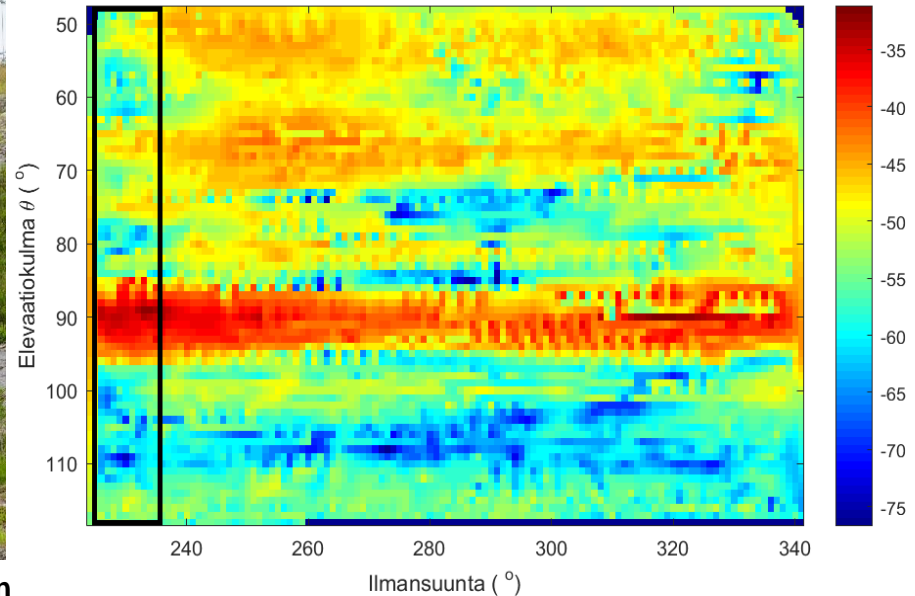
Kuva 9: Heijastumisen vaikutus radioaaltoihin

- Radioaaltojen interferenssi on mahdollisesti vaikuttanut huomattavasti mittaustuloksiin.

Heijastuminen



Kuva 10: Heijastumisen vaikutus radioaaltoihin



- Ilmansuunnissa 235 – 340° antennista katsoen oli laajalti avokalliota. Kuvassa on esitetty mustalla rajalla alue, jolta parhaat vertikaaliset sovitteet löytyvät.

Johtopäätökset

- Antennin säteilykuvion kolmiulotteinen mittaus multi-kopterilla suoritettiin onnistuneesti.
- Kallistuskulmassa 5-6 asteen virhe vaikuttaa todennäköiseltä.
- Heijastuminen on mahdollisesti vaikuttanut signaalin paikallisiin heikentymisiin ja vahvistumisiin ($\pm 15\text{dB}$).
- Tulosten varmistaminen vaatii lisätutkimuksia.

Viitteet

- Radiotekniikan perusteet, Antti Räsänen & Arto Lehto, 13. painos, 2011.
- Selvitys Suomessa toimivien 3G-matkaviestinverkkojen kuuluvuudesta ja datanopeudesta. European Communications Engineering. 02/2012. Verkkoaineisto.
- Satelliittimittaus eli GPS-mittaus, Maanmittauslaitos. Verkkoaineisto. Haettu 20.2.2016