

SATELCOM OY

DI Leif Saarela



Esiselvitys

Television vastaanotto-olosuhteet Ahvenvaaran alueella Puolangalla

22.11.2024

Selvitystyö

Solarwind Finland Oy
Ahvenvaaran tuulivoimahanke

SEINÄJOKI 2024

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	2
2.	TELEVISIOLÄHETYSTEN RADIOTEKNIikka	3
2.1.	Radioaaltojen eteneminen.....	3
	Tuulivoimalan vaikutukset radiokanavan toimintaan.....	5
2.2.	Vastaanoton vaatimukset.....	6
	Standardit, määräykset ja suositukset.....	6
	Vastaanottolaitteet	6
3.	VASTAANOTTO-OLOSUhteET AHVENVAARAN ALUEELLA	8
3.1.	Tuulivoimaloiden katvealue	9
3.2.	Vastaanotto-olosuhteiden selvittäminen ennen tuulivoimapuiston rakentamista.....	11
3.3.	Vastaanotto-olosuhteiden selvittäminen tuulivoimapuiston rakentamisen jälkeen..	12
4.	VASTAANOTTO-ONGELMIEN RATKAISUVaihtOEHDOT	13
4.1.	Vastaanottoantennien uudelleen suuntaaminen tai parantaminen	13
4.2.	Mobiiliverkkoliittymä.....	13
4.3.	Kuituliittymä.....	13
4.4.	Satelliittivastaanotto	13
4.5.	Alilähetin	14
5.	MOBIILIVERKON KATTAVUUS VOIMALA-ALUEELLA	16
6.	TOIMENPIDE-EHDOTUKSET	19
7.	VIITTEET	20

1. JOHDANTO

Tämän selvitystyön tavoitteena on selvittää Solarwind Finland Oy:n Puolangan Ahvenvaaran alueelle suunnitellun tuulivoimapuiston mahdollisesti aiheuttamat vaikutukset televisiovastaanottoon.

Työssä selvitetään alueen televisiovastaanotto-olosuhteet ennen tuulivoimapuiston rakentamista ja pyritään löytämään keinot tyydyttäville vastaanotto-olosuhteille tuulivoimapuiston rakentamisen jälkeen.

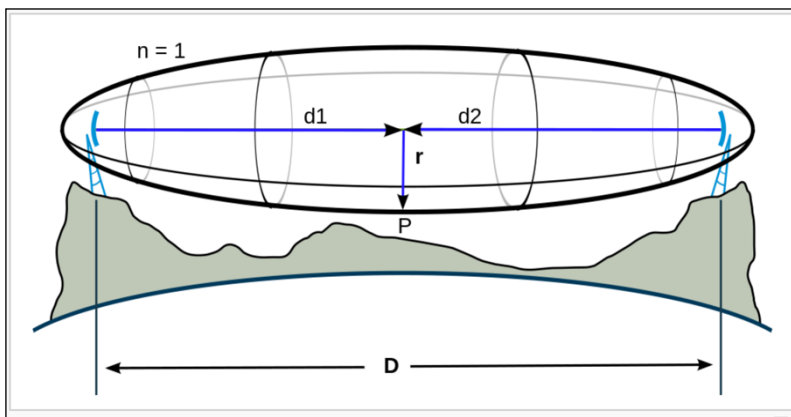
Työssä selvitetään myös mobiiliverkon kattavuutta voimala-alueella ja kattavuuden parantamista työmaa-ajalle ja voimaloiden käyttöajalle.



2. TELEVISIOLÄHETYSTEN RADIOTEKNIikka

2.1. Radioaaltojen eteneminen

Televisiojaketelussa käytetyt radioaallot etenevät suoraviivaisesti lähettimestä vastaanottimeen. Lähetetty signaali vaimenee taajuudesta ja etäisyydestä riippuen sekä lähettimen ja vastaanottimen välisistä esteistä johtuen. Jotta lähettimen signaali voidaan vastaanottaa täydellisesti, on lähetys- ja vastaanottoantennin välissä olevan ns. Fresnelin 1. alueen oltava esteistä vapaa (kuva 1).



Kuva 1. Fresnelin 1. vyöhyke.

Vaadittava alue voidaan laskea kaavalla

$$F_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}}$$

jossa

λ = aallonpituus [m]

D = etäisyys [m]

r = esteettömän alueen säde = $F_n / 2$ [m]

Esteettömästi etenevä signaali vaimenee kaavan

$$L \text{ [dB]} = 32,4 + 20 \log d \text{ [km]} + 20 \log f \text{ [MHz]}$$

mukaisesti.

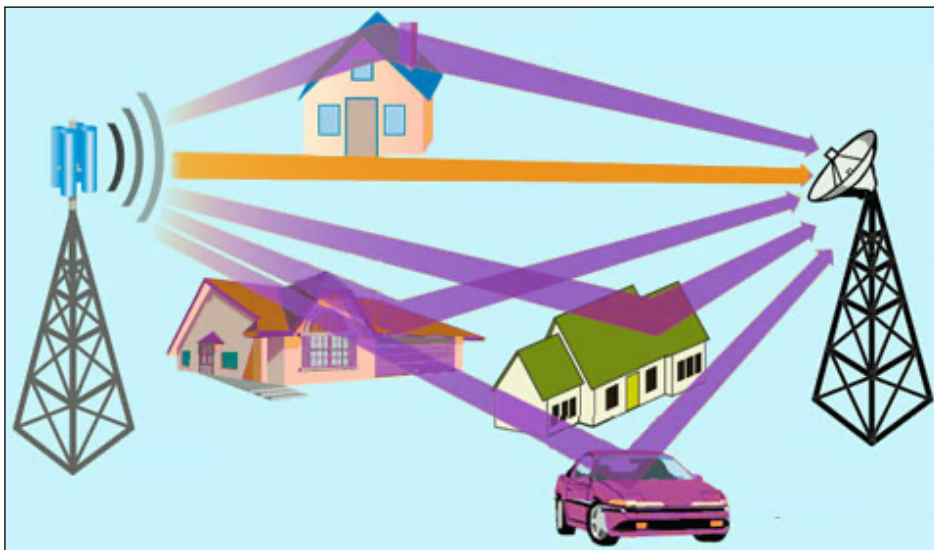
f = taajuus

d = etäisyys

Käytännössä ei täysin esteetöntä Fresnelin aluetta pystytä saavuttamaan, vaikka lähetysantennit pyritään sijoittamaan korkeisiin mastoihin ja vastaanottoantennit talojen katoille. Signaali vaimenee tällöin useita kymmeniä desibelejä enemmän. Nyrkkisääntönä on, että jos käytettävissä on puolet Fresnelin 1. alueesta, lisävaimennus on luokkaa 6 dB.

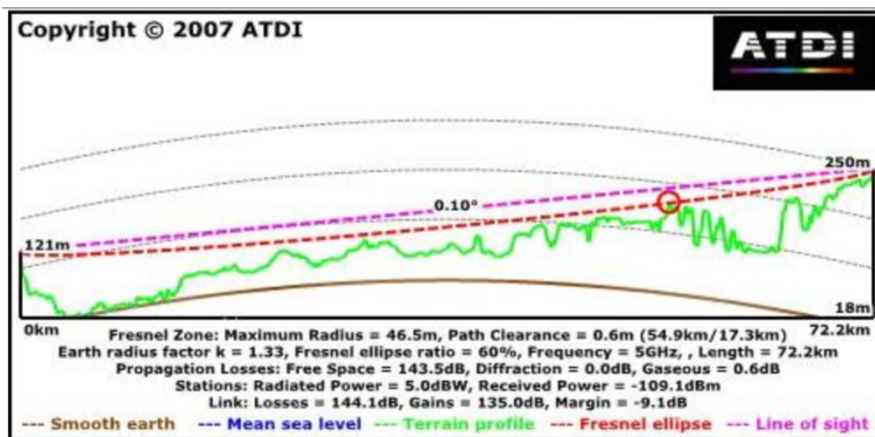
Signaali voi myös heijastua sopivista pinnoista esimerkiksi kuvan 2 mukaisesti. Analogisessa tv-signaalissa heijastumat aiheuttavat ns. varjokuvia, digitaalisessa DVB-T- ja DVB-T2-signaalissa heijastumat vahvistavat vastaanotettua signaalia, jos heijastumien kulku-aika on pienempi kuin ns. signaalin suojavaeli (GI, Guard Interval).

Kaupungeissa rakennukset aiheuttavat vahvistavia heijastumia, maaseudulla heijastumia esiintyy harvemmin.



Kuva 2. Heijastumien hyödyntäminen

Maaston profiili lähetys- ja vastaanottoantennin välissä voidaan todeta erilaisilla karttaohjelmatyökaluilla (esimerkkikuva 3). Ohjelmilla voidaan yleensä todeta myös Fresnelin alueen rajat.



Kuva 3. Maaston profiili ja Fresnelin 1. vyöhykkeen rajat [5]

Tuulivoimalan vaikutukset radiokanavan toimintaan

Jos lähetys- ja vastaanottoantennin väliselle Fresnelin alueelle rakennetaan esteitä, aiheuttavat esteet signaaliin vaimennusta niiden muodostaman tehollisen pinta-alan suhteessa Fresnelin alueen pinta-alaan. Yleensä tämä lisävaimennus on merkityksettömän pieni. Tuulivoimalan pyörivä siipi sen sijaan aiheuttaa heijastumia, jotka siiven liikkeestä johtuen siirtävät Doppler-ilmiön johdosta heijastuneen signaalin taajuutta. Tämä näkyy vastaanotossa häiriötason nousuna pienentäen vastaanotetun signaalin signaali-kohinaetäisyyttä ja heikentäen vastaanoton laatua.

Eduskunnan liikenne- ja viestintävaliokunta on mietinnössään HE 221/2013 [3] todennut, että tuulivoimahäiriössä häiriönaiheuttaja huolehtii tilanteen korjaamiseksi tarvittavista toimenpiteistä ja myös vastaa kustannuksista. Valiokunta on jo aiemmin katsonut, että tämän kaltaisen aiheuttaja vastaa -periaatteen tulisi olla yleisemminkin taajuuksien häiriöiden yhteydessä noudatettava lähtökohta.

2.2. Vastaanoton vaatimukset

Liikenne- ja viestintävirasto on määräyksessään määritellyt vaatimukset televisiolähetysten antennivastaanotolle. Satelliitti- ja antenniliitto SANT ry on puolestaan tehnyt suositukset pientalojen antennijärjestelmille.

Näiden määräysten ja suositusten mukaisesti rakennetuilla antennijärjestelmillä voidaan normaaleissa vastaanotto-olosuhteissa taata kuluttajien televisiovastaanottimiin kohtuulaatuinen kuvanlaatu.

Standardit, määräykset ja suositukset

Antenniverkon teräväpiirtoiset digitaaliset lähetykset perustuvat standardien ETSI EN 302 755 ja TS 102 831 suosituksiin. Standardissa määritellään mm. vastaanotolta vaadittavat signaali-kohinaetäisyydet.

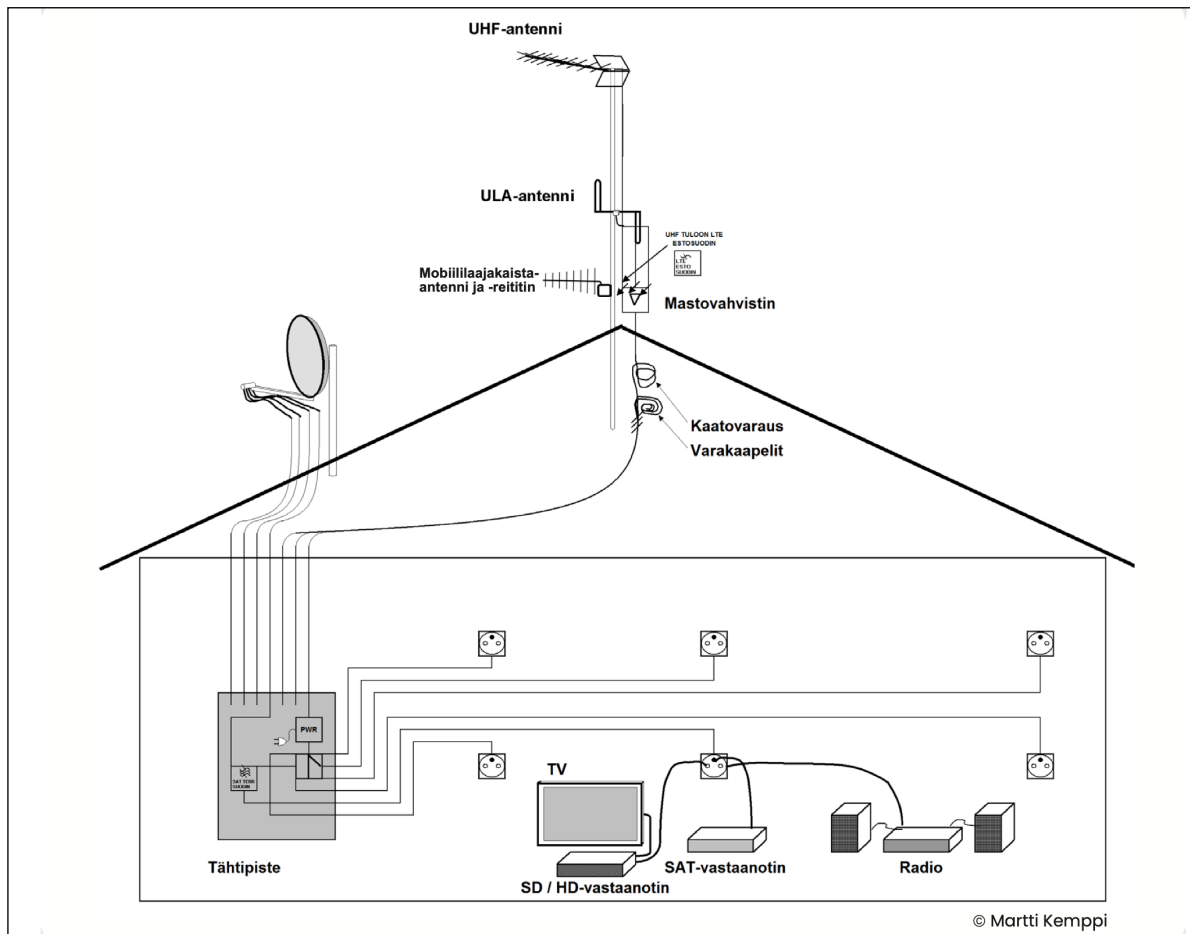
Liikenne- ja viestintäviraston (Traficom) määräys 65 määrittelee kiinteistön antenniverkon vaatimukset ja SANT ry:n suositus opastaa antenniverkon rakentamisessa.

Vastaanottolaitteet

Kuvassa 4 on esitetty esimerkkikuva pientalon antennilaitteista. Pääsääntö on, että jokaisella taajuusalueella (VHF, UHF, ULA) on oma erillinen antenni.

Usein pientaloissa käytetään yhdistelmäantenneja, joiden vahvistus ei heikoissa vastaanotto-olosuhteissa ole riittävä. Antennivahvistimia käytettäessä on muistettava, että ne vahvistavat sekä varsinaista signaalia että kohinaa yhtä paljon.

Antennista saatavan signaalin tasoa voidaan lisätä kerrostamalla useita samanlaisia antenneja yhteen. Kahden antennin liittäminen lisää signaalin tasoa noin 2,5 dB ja neljän antennin ryhmä noin 5 dB. Kohina ja häiriö eivät tällöin lisäännä.

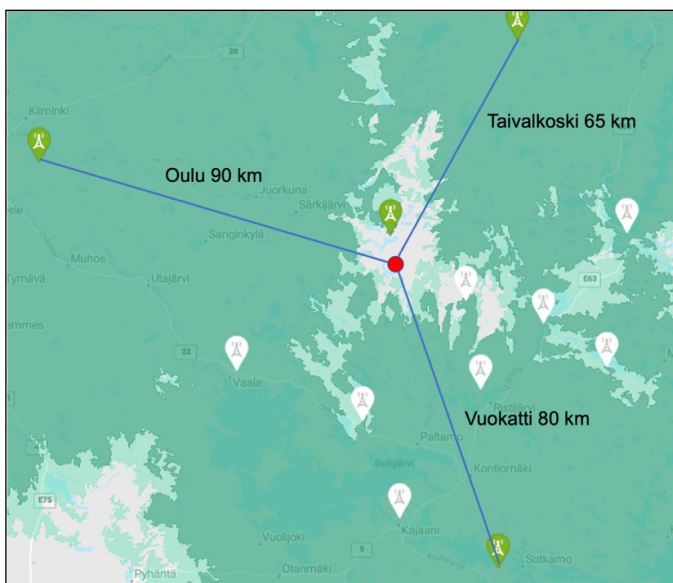


Kuva 4. Pientalon antenniverkko [1]

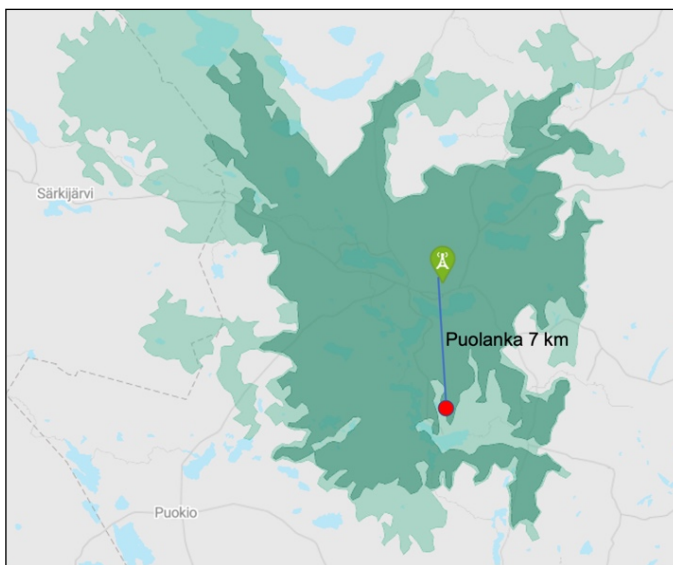
3. VASTAANOTTO-OLOSUHTEET AHVENVAARAN ALUEELLA

Puolangassa Ahvenvaaran alueella on ilmassa lähetettäviä televisio-ohjelmia lähettämässä Digitan Oulun, Taivalkosken ja Vuokatin (Sotkamon) päälähetysasemat (kuva 5a). Lisäksi Puolangan taajaman ympäristöineen kattaa paikallinen täytelähetin (kuva 5b).

Oulun lähetysasema sijaitsee noin 90 km, Taivalkosken 65 km ja Vuokatin lähetin noin 80 km etäisyydellä tuulivoimala-alueesta.



Kuva 5a. Aluetta palvelevat Digitan päälähetysasemat [4].

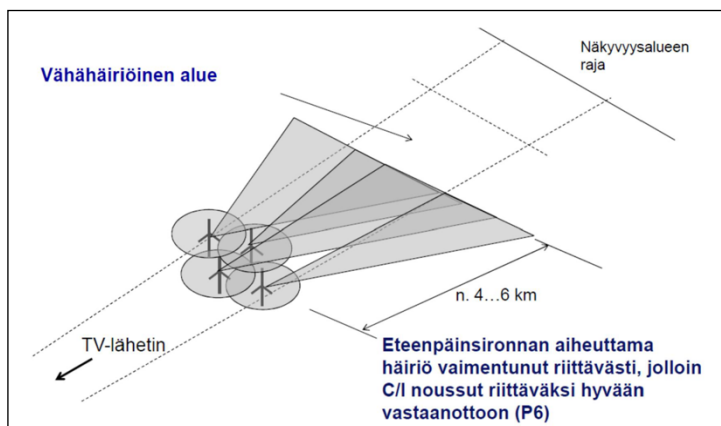


Kuva 5b. Puolangan täytelähetin [4].

3.1. Tuulivoimaloiden katvealue

VTT on tutkimusraportissaan VTT-R-00332-15 25.1.2015 [2] selvittänyt tuulivoimaloiden vaikutusta matkaviestin- ja TV-verkkoihin.

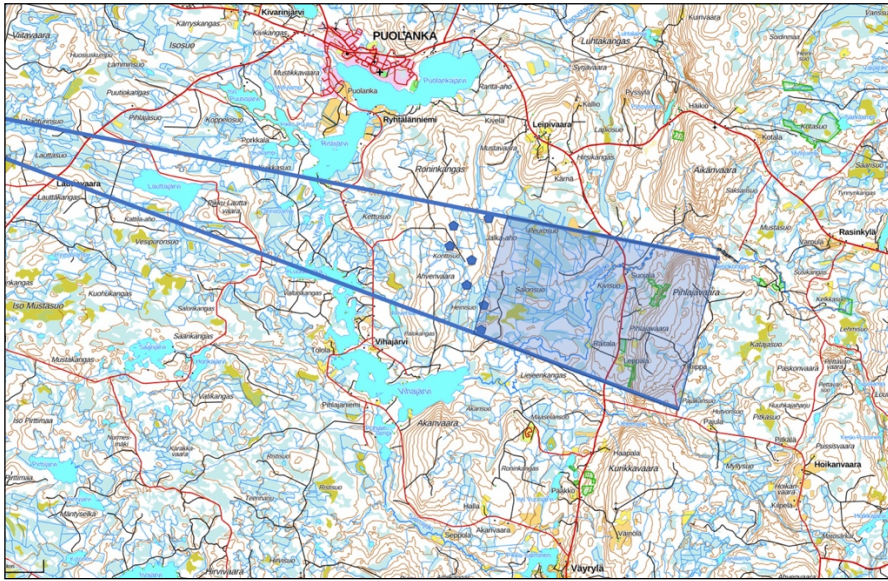
Raportissa todetaan tuulivoimaloiden aiheuttavan tuulivoimaloiden takana häiriöalueen, joka on noin 4...6 km tuulivoimalasta ja jossa tuulivoimalan liikkuvat siivet aiheuttavat häiriötason nousun (kuva 6).



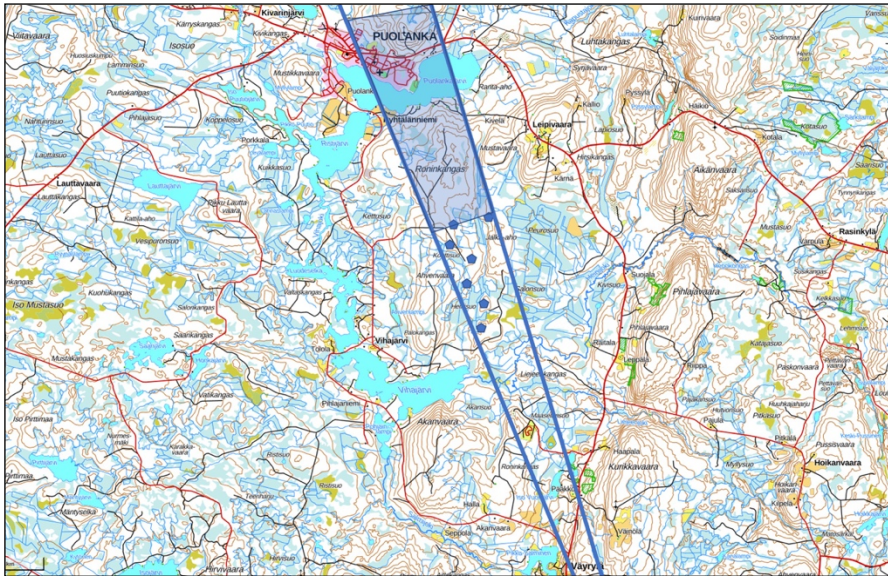
Kuva 6. Tuulivoimaloiden aiheuttama häiriöalue [2].

Ahvenvaaran tuulivoimaloiden vaikutusalueella Oulun lähettimelle alueen kaakkoispuolella on kymmenkunta vakituksessa käytössä oleva asuinrakennus ja muutama lomarakennus (kuva 7a). Vuokatin lähttimen vaikutusalueella on alueen luoteispuolella Puolangan taajamassa satakunta asuinrakennusta ja parikymmentä lomarakennusta (kuva 7b). Taivalkosken lähettimelle alueen lounaispuolella on kolmekymmentä asuinrakennusta ja neljäkymmentä lomarakennusta (kuva 7c).

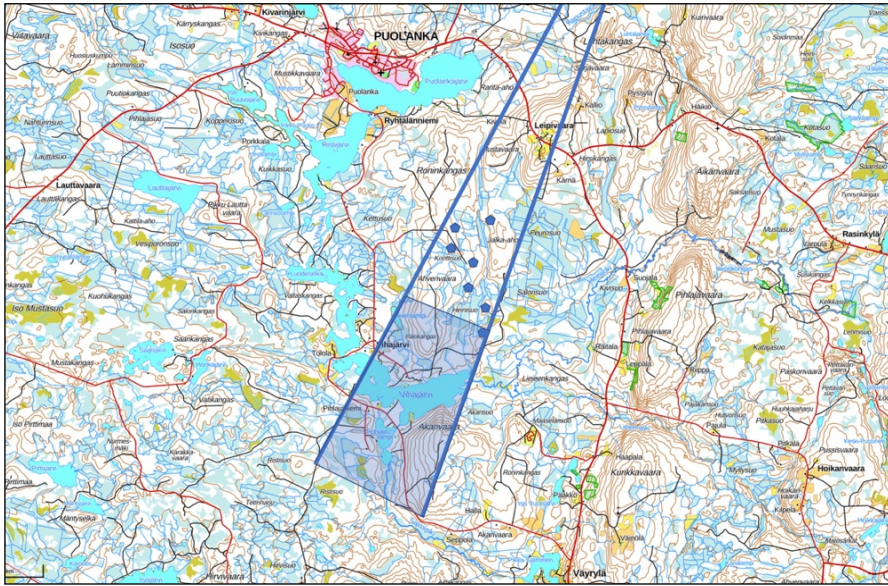
Puolangan taajaman täytelähttimen vastaanottoon tuulivoimalat vaikuttavat alueen eteläpuolella (kuva 7 d). Alueella on vain muutama asuin- ja lomarakennus.



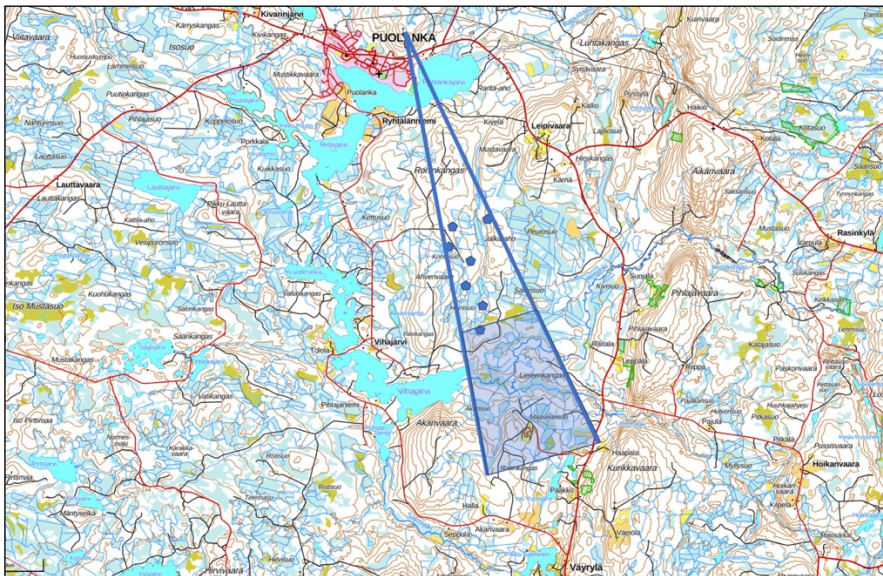
Kuva 7a. Tuulivoimaloiden aiheuttama katvealue Digitan Oulun lähettimelle.



Kuva 7b. Tuulivoimaloiden aiheuttama katvealue Digitan Vuokatin lähettimelle.



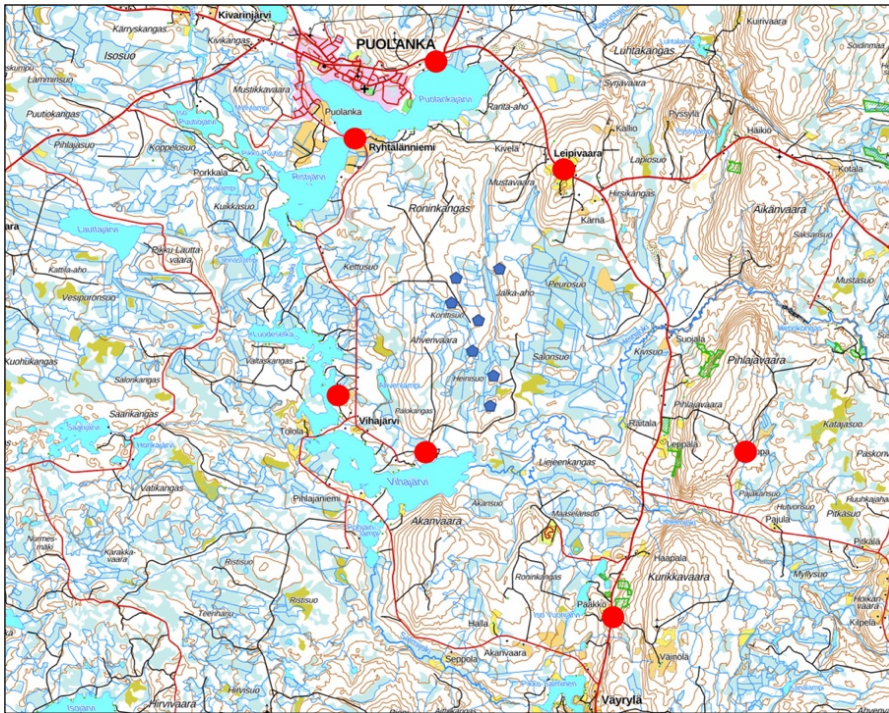
Kuva 7c. Tuulivoimaloiden aiheuttama katvealue Digitan Taivalkosken lähettimelle.



Kuva 7d. Tuulivoimaloiden aiheuttama katvealue Digitan Paltamon täytelähettimelle.

3.2. Vastaanotto-olosuhteiden selvittäminen ennen tuulivoimapuiston rakentamista

Ennen tuulivoimapuiston rakentamista on alueella syytä tehdä kartoitus nykyisistä vastaanotto-olosuhteista mittauksin, jossa riittävän monesta pisteestä tuulivoimalan takana on mitataan 10 m mittauskorkeudesta signaalin taso (L, dBuV) ja laatu (MER, dB). Ehdotetut mittauspisteet on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Tuulivoimapuiston ympäristön ehdotetut televisiosignaalin mittauspisteet.

3.3. Vastaanotto-olosuhteiden selvittäminen tuulivoimapuiston rakentamisen jälkeen

Välittömästi ensimmäisten voimaloiden käyttöönoton jälkeen on niiden takana olevista mittauspisteissä mitattava signaalin laatu voimaloiden vaikutuksen toteamiseksi.

Jo näiden ensimmäisten mittauksen perusteella voidaan tehdä johtopäätökset tuulivoimapuiston vaikutuksesta alueen televisiovastaanottoon ja suunnitella tarvittavat toimenpiteet häiriöiden minimoimiseksi tai poistamiseksi.

Kun koko tuulivoimapuisto on käyttöönotettu, on kaikissa mittauspisteissä tehtävä vastaavana vuodenaikana kuin ennen puiston rakentamista sekä taso- että laatumittaukset.

4. VASTAANOTTO-ONGELMIEN RATKAISUVAIHTOEHDOT

Tuulivoimaloiden aiheuttamien häiriöalueiden televisiovastaanotto-olosuhteiden parantamiseksi tai haittojen poistamiseksi on periaatteessa neljä vaihtoehtoa: 1) kiinteistöjen antennien parantaminen, 2) mobiiliverkon käyttö, 3) kiinteistöjen liittäminen kuitukaapeli-verkkoon, 4) satelliittivastaanotto häiriintyneissä kiinteistöissä tai 5) täytelähettimen (alilähettimen) lisääminen kattamaan häiriintynyt alue.

4.1. Vastaanottoantennien uudelleen suuntaaminen tai parantaminen

Häiriöalueen sijaitessa usean eri lähettimen peittoalueella, voidaan kiinteistöjen antennit suunnata sellaiselle lähetinasemalle, jonka suunnassa ei ole tuulivoimaloita.

Vastaanottosignaalin tasoa ja laatua voidaan myös helposti parantaa nostamalla antennit riittävän korkealle talojen katoilla ja kasvattamalla niiden kokoa. Signaalin voimakkuutta voidaan tarvittaessa lisäksi parantaa yhdistämällä kaksi samanlaista antennia yhteen. Antennien uudelleen suuntaaminen tai parantaminen on taloudellisesti edullisin vaihtoehto varsinkin, kun mahdollisesti häiriintyvien kiinteistöjen lukumäärä on pieni.

4.2. Mobiiliverkkoliittymä

Alueen 4G- ja 5G-kattavuus saattaa mahdollistaa jatkossa myös alueen tv-jakelun.

4.3. Kuituliittymä

Kuituliittymien rakentaminen alueelle on mahdollista, jos liitettäviä kiinteistöjä on riittävästi. Liittymän avulla voidaan toimittaa sekä laajakaista- että tv-palvelut alueen kiinteistölle. Yhteiskunta myös tukee laajakaistaliittymien yleistymistä.

4.4. Satelliittivastaanotto

Televisio-ohjelmien jakelu laajalle alueelle satelliitin kautta on jakeluteknisesti edullisin vaihtoehto. Kiinteistöön on hankittava vastaanottoantenni sekä tarvittava satelliittivastaanotin.

Lisäksi on huomioitava antennin sijoituksessa vaadittava esteetön näkyvyys ohjelmia lähettävään satelliittiin.

Yleisradio Oy:llä on yleisradiolain julkisen palvelun velvoitteen mukaan velvoite kattaa koko Suomen väestö lähetyksillään. Niille alueita, joita maanpäällinen antenniverkko ei kata, ovat Yleisradio jakeluyhtiö Digita sopineet norjalaisen Telenorin ja ruotsalaisen Viaplayn yhteisesti omistaman Allenten kanssa satelliittivastaanottolaitteiden toimittamisesta veloituksetta niille alueiden kiinteistöille, joiden on todistettavasti mittausten perusteella olevan antenniverkon kattamattomissa. Yleisradio maksaa Allentelle näistä laitteista aiheutuvat kustannukset ns. peruskanavien vastaanotosta. Satelliittijakelussa olevat televisiokanavat eivät kuitenkaan vastaa täysin alueella antennilla vastaanotettavia maanpäällisiä televisiokanavia.



Kuva 9. Esimerkki satelliittiantennin asennuksesta.

4.5. Alilähetin

Lähettimen peittoalueen laajentamiseksi katvealueille käytetään ali- tai täytelähttimiä, jotka edelleenlähettävät päälähttimen signaalin suppealle alueelle joko samalla tai eri taajuudella päälähttimen kanssa.

Alilähttimen operoinnista vastaa verkkotoimiluvan haltija (Digita) ja rakentaminen ja tarvittavat taajuusluvut ovat verkkotoimiluvan haltijan vastuulla.

Alilähttimen teho on yleensä luokkaa muutamasta kymmenestä watista muutamaan sataan wattiin ja lähetyssantennin säteilyteho muutamia satoja watteja. Kustannukseltaan alilähetin maksaa 10.000 ... 30.000 lähetysskanavaa (kanavanippua) kohden. Lisäksi tulevat asennus- ja operointikulut.

Alilähetin tulee yleensä kysymykseen, kun halutaan varmistaa vastaanotto usealle sadalle kiinteistölle. Olemassa olevien alilähettimien tehonnostosta tai antennien suuntauksesta voidaan neuvotella verkko-operaattori Digitan kanssa.

5. MOBIILIVERKON KATTAVUUS VOIMALA-ALUEELLA

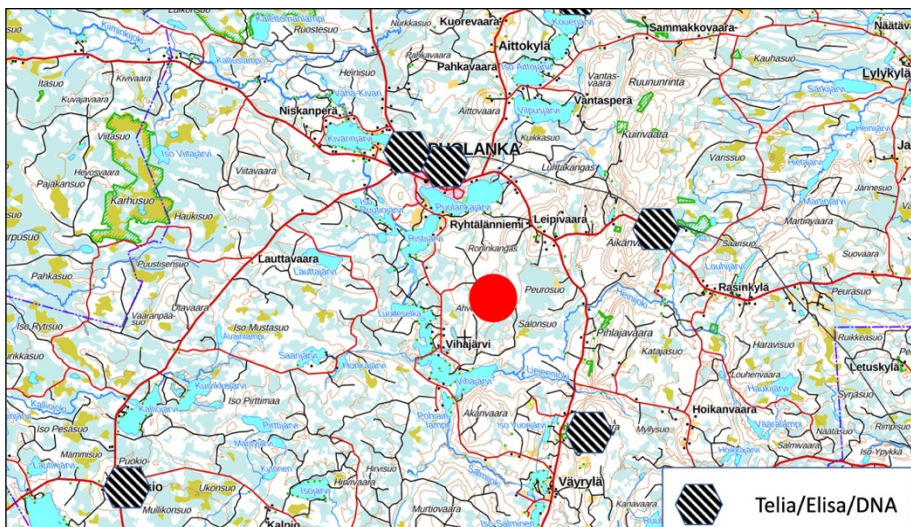
Tuulivoimalat sijoitetaan yleensä alueille, joissa asutus on vähäistä. Eri operaattoreiden mobiiliverkkojen peittoalueet eivät välttämättä kata voimala-alueita.

Ahvenvaaran alueen ympäristössä ei ole alueelle suunnattuja verkkojen tukiasemia. Tukiasemien antennit on suunnattu pääasiassa teiden ja asutuskeskittymien suuntaan.

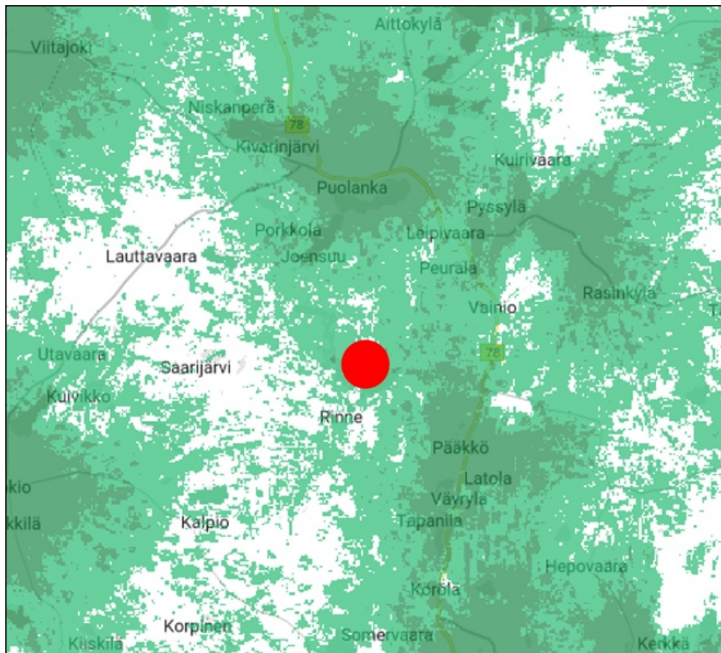
Matkapuhelinten toiminta voimala-alueella on kuitenkin tärkeää työturvallisuuden kannalta erityisesti työmaa-aikana ja syytä varmistaa operaattoreiden kanssa esimerkiksi tilapäisellä voimala-alueelle sijoitettavalla tai sinne suunnatulla tukiasemalla. Myös voimalan käyttöaika-
na on turvattava riittävä matkapuhelinkattavuus alueella.

Kuvassa 10 on esitetty voimala-alueen läheisyydessä olevien eri mobiilioperaattoreiden tukiasemien pääasialliset sijainnit.

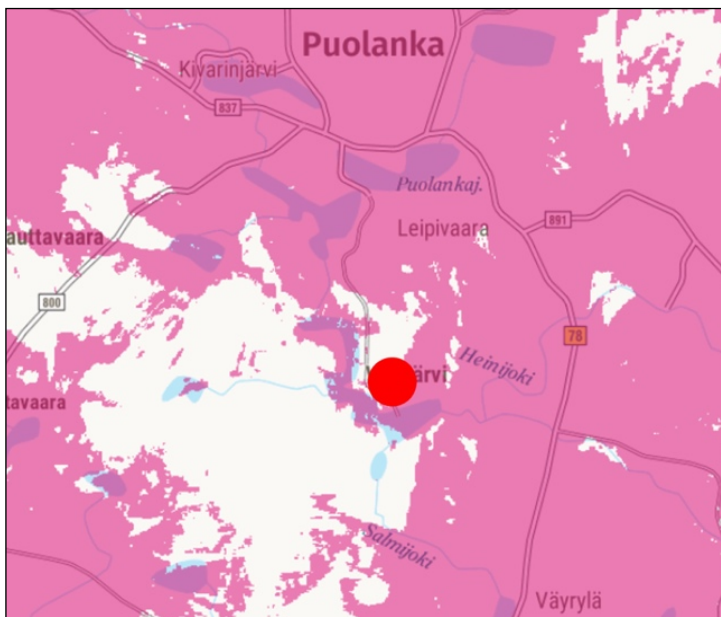
Kuvassa 11 a, b ja c on esitetty eri operaattoreiden itsensä ilmoittamat arviot verkkojensa kattavuuksista 4G- ja 5G-verkoissa Puolangan alueella.



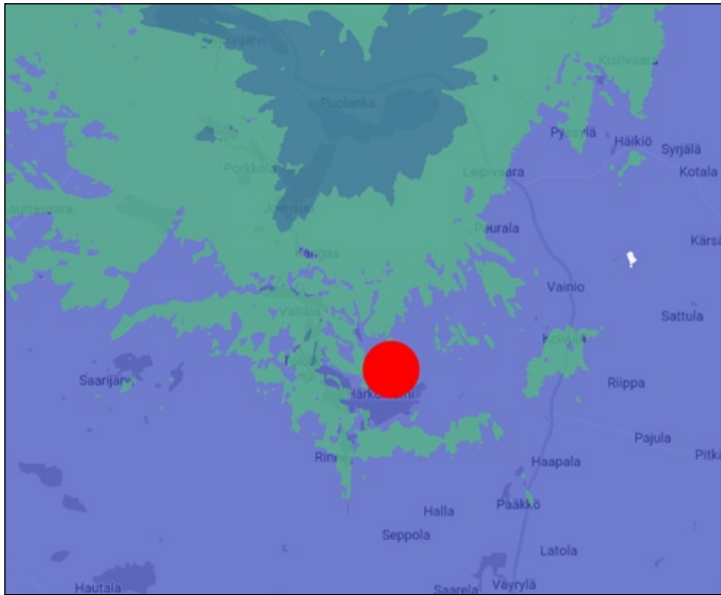
Kuva 10. Eri mobiilioperaattoreiden tukiasemia voimala-alueen ympäristössä.



Kuva 11a. Telian mobiiliverkon tukiasemakattavuus [6].



Kuva 11b. DNA:n mobiiliverkon tukiasemaiien kattavuus [7].



Kuva 11c. Elisan mobiiliverkon tukiasemakattavuus [8].

6. TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

Ennen tuulivoimaloiden rakentamista on alueella syytä tehdä kohdan 3.3 mukaiset televisio-signaalin taso- ja laatumittaukset ja vastaavat mittaukset puiston käyttöönoton jälkeen voimaloiden vaikutusten toteamiseksi.

Esiselvityksen perusteella voidaan todeta, ettei tuulivoimaloiden käyttöönotto tule vaikuttamaan merkittävästi televisiolähetysten vastaanottoon Ahvenvaaran tuulivoimapuiston katvealueilla, koska Puolangan Digitan täytelähetin kattaa lähes koko alueen.

Vaaramaisemista johtuen mahdollisesti häiriintyvillä kiinteistöillä televisiolähetysten vastaanottoa voidaan parantaa edellä mainitussa kappaleessa 4 mainituin keinoin erityisesti vastaanottoantennien uudelleen suuntaamisella alueen kaakkoispuolella Vuokatin lähettimelle ja luoteispuolella Oulun lähettimelle.

Puolangan alilähettimien mahdollisesta tehon nostosta ja suuntauksesta voi tarvittaessa neuvotella verkko-operaattori Digitan kanssa.

Matkapuhelinverkon riittävä kattavuus ja kapasiteetti voimala-alueella tulee varmistaa yhdessä operaattoreiden kanssa, koska alueen läheisyydessä ei ole tukiasemia.

Oman tukiaseman hankinnasta alueelle on syytä neuvotella operaattoreiden kanssa.

Työmaa-aikaisten tietoliikenneyhteyksien toteuttamiseksi on mahdollista käyttää satelliittinternet-palveluja (esim. Viasat, Starlink, Oneweb) kunnes alueelle on järjestetty kuituyhteydet.

7. VIITTEET

[1] SANT ry

[2] VTT

[3] LvM

[4] Digita

[5] ATDI

[6] Telia

[7] DNA

[8] Elisa