

## Tuulivoiman vaikutukset radiojärjestelmille ja haittavaikutusten vähentäminen

### Vaikutus tutkajärjestelmille

Tuulivoimaloiden vaikutukset ovat pahimmat mikroaaltotutkajärjestelmille. Suomessa tutkajärjestelmiä on käytössä meri- ja ilmaliikenteen ohjauksessa, meteorologiassa (Ilmatieteenlaitos), Rajavartiolaitoksessa ja Puolustusvoimien aluevalvonnassa.

Tutkan herkkyys tuulivoiman häiriöille johtuu pääasiassa kahdesta syystä:

- Tutkan käyttämät suhteellisen korkeat taajuudet vaimenevat paljon tuulipuiston läpi kulkiessaan, jolloin tutkan kantama lyhenee.
- Tutka toiminta perustuu heikkojen, useimmiten liikkuvien maalien (kaikujen) tunnistamiseen, jolloin tuulivoimalan liikkuvat roottorit aiheuttavat vastaanottimeen kaikuja, jotka tutka tulkitsee väärin.

Jos Puolustusvoimat arvioi, että suunnitteilla oleva tuulipuisto saattaa vaikuttaa sen tutkajärjestelmiin, tuulivoimarakentaja tilaa selvityksen VTT:ltä hankeen vaikutuksista.

### Vaikutus muihin radiojärjestelmiin

Tärkeimmät yleisradiolähetteet ja -palvelut ovat digitaalinen televisio UHF-taajuusalueella ja taajuusmoduloitu ääniradio (FM-radio) taajuusalueella 87,5 – 108 MHz. Matkaviestinverkot toimivat useilla taajuusalueilla, joiden maantieteellinen käyttö vaihtelee jonkin verran operaattorikohtaisesti. Käytössä olevat taajuusalueet ovat 700, 800, 900, 1800, 2000, 2600 MHz, 3600 MHz ja 26 GHz. Mikroaaltoradiolinkit toimivat omilla taajuusalueillaan: 6,2; 6,8; 7,3; 7,6; 8,0; 13; 15; 18,7; 23; 28; 32; 42 ja 80 GHz. Meriliikenteessä vaikutus kohdistuu liikkuvan ja kiinteän liikenteen VHF-taajuuksille.

Tuulivoiman vaikutukset voidaan jakaa karkeasti kolmeen tekijään:

1. Vaimennus tuulivoimapuiston läpi kulkevalle signaalille
2. Heijastukset voimaloiden rungoista
3. Heijastukset voimalan roottorin lavoista

Vaimennus tuulivoimapuiston läpi kulkevalle signaalille

Kun radiolähetin ja -vastaotin sijaitsevat tuulivoimapuiston eri puolilla siten, että suoraviivaisesti etenevä radiosignaali joutuu kulkemaan puiston läpi, aiheuttaa puisto vaimennusta signaalille. Vaimennuksen merkitys on suurin toimittaessa lähellä kuuluvuus - tai näkyvyysalueen rajaa, jolloin pienikin lisävaimennus huonontaa tai katkaisee yhteyden.

Liikenne- ja viestintäviraston mittauksissa on huomattu, että esimerkiksi TV-signaalin vaimeneminen voi olla huomattava tilanteessa, jossa useampi tuulivoimala on peräkkäin lähetysaseman ja vastaanottopisteen välissä.

Matkaviestin- ja radiolinkिताajuuksilla lähetys- ja vastaanottopisteen sijainti on ratkaiseva tekijä. Näissä tapauksissa tuulivoimala voi kokonaan katkaista näkösuoran ja radioyhteyden.

### Heijastukset voimaloiden rungoista

Edellisessä kappaleessa esitetyt vaimennukset koskevat siis signaalia, joka etenee suoraan näkösuoran suunnassa lähettimestä vastaanottiin. Signaalin voimakkuus voi kuitenkin vaihdella tuulivoimapuiston vaikutuksesta, vaikka puisto olisikin jonkin verran sivussa näkösuoralta. Tämä johtuu siitä, että radioaalto etenee heijastuen tuulivoimaloista näkösuoran ulkopuolelta.

Tehtyjen selvitysten perusteella voimaloiden rungoista tapahtuvat heijastukset eivät ole merkittävä häiriötekijä edes analogiselle FM-radiolle. Kuitenkin selvitykset osoittivat myös, että heijastukset voivat vaikuttaa merkittävästi radiolinkkeihin.

### Heijastukset roottorin lavoista

Lisäksi mittauksissa on huomattu, että tuulivoimalan roottorit aiheuttavat signaaliin taajuusmuutosta ja taajuudesta riippuvaa vaimennusta, joka näkyy leveäkaistaisen signaalin jatkuvana vaihteluna. Tämä voi johtaa esimerkiksi televisiokuvan lyhyen katkokseen tai kuvan pikselöitymiseen, kun tuulivoimalan roottorin lapa osuu sopivasti lähettimen ja vastaanottimen väliin.

### Yhteenveto tuulivoiman vaikutuksista muille radiojärjestelmille

Läpikäydyn aineiston ja Liikenne- ja viestintäviraston omien mittausten perusteella tuulivoimapuistojen radiotekniset vaikutukset voidaan tiivistää seuraavasti:

<b>Radiojärjestelmä</b>	<b>Vaimennus tuulipuiston läpi kulkevalle signaalille</b>	<b>Heijastukset tuulivoimaloiden torneista</b>	<b>Heijastukset roottorin lavoista</b>
FM-radio	pieni	Vähäinen, mutta joissain tilanteissa saattaa esiintyä signaalin vaihtelua	
TV (digitaalinen)	Yksittäisen tekijän vaikutus on melko pieni. Jos kaikki kolme tekijää vaikuttavat signaaliin yhtä aikaa, niiden vaikutus on melko suuri.  Jos tv-signaalin taso on vastaanottimessa hyvä, tuulipuisto ei yleensä vaikuta näkyvyyteen, mutta peittoalueen reunalla voi syntyä uusia näkyvyyskatveja.		
Matkaviestinverkot	Vaikutuksista matkaviestinverkoille ei ole tutkittua tietoa, mutta kiinteässä matkaviestinvastaanotossa, jossa käytetään suuntaavaa antennia, vaikutukset ovat luultavasti samansuuntaiset kuin kiinteässä TV-vastaanotossa, tosin lievemmat johtuen matkaviestinverkon solukkorakenteesta.  Liikkuva vastaanotto tapahtuu vaihtelevassa radiokanavassa, jolloin tuulivoimapuiston vaikutukset todennäköisesti häviävät kanavan muuhun vaihteluun.		
Mikroaalto-radiolinkit	suuri, voi jopa katkaista yhteyden	voi olla merkittävä korkeilla modulaatioilla ja huonontaa siirron laatua	voi huonontaa siirron laatua

### **Haittavaikutusten vähentäminen**

Tuulivoimaloiden haittavaikutuksia tutkalle ei ole mahdollista poistaa radioteknisin keinoin. Katvealue voidaan poistaa vain tutkapeittoa parantamalla, esimerkiksi rakentamalla uusi tutka.

Maanpäällisessä televisioverkossa tuulipuistosta aiheutuva katvealue voidaan poistaa optimoimalla lähetysverkkoa tai lisäämällä uusi alilähetin. Yksittäistapauksissa voidaan siirtyä satelliittivastaanottoon.

Tuulivoimala katkaisee radiolinkin yhteyden, jos se osuu näkösuoralle. Ainoa vaihtoehto on siirtää radiolinkki. Tämä on normaali käytäntö, jos iso este kuten rakennus tai metsä katkaisee yhteyden.