TARBIJAKAITSE JA
TEHNILISE JÄRELEVALVE
AMET

Rahastanud Euroopa Liit
NextGenerationEU

Eesti
tuleviku heaks

# KOONDARUANNE
# Tuuleparkide mõju raadiosidesüsteemidele

**Juuli, 2026**

# Sisukord

Sissejuhatus ..... 3
1. Rahvusvahelised uuringud ja kogemus ..... 4
2. Rahvusvaheline kogemus ja Eestis läbi viidud mõõtmised erinevate sidesüsteemide lõikes .... 6
2.1 Digitaaltelevisioon (DVB-T/DVB-T2) ..... 6
2.2 FM ja DAB+ raadioringhääling ..... 9
2.3 Mobiilsidesüsteemid ..... 11
2.4 Paiksed raadiolingid (*Point-to-point* ühendused) ..... 12
2.5 Radarid ..... 14
2.6 Tuuleparkide mõjud teistele sidesüsteemidele ..... 15
Kokkuvõte ..... 16

## Sissejuhatus

Tuuleenergia laiem kasutuselevõtt aitab liikuda keskkonnasäästlikuma energiatootmise suunas ning toetab energiajulgeoleku tagamist. Seoses tuuleenergia arendamise ja uute tuuleparkide rajamise vajadusega tekkis vajadus uurida nende võimaliku mõju erinevatele raadiosidet kasutavatele süsteemidele.

Eesti taaste- ja vastupidavuskava reformi 8.1 „Taastuvenergia kasutuselevõtu kiirendamine“ elluviimise raames on ette nähtud Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Ameti (edaspidi TTJA) tegevus 6.1.4 „Mõõtevõimekuse loomine tuule- ja päikeseparkide tekitatavate raadiosidehäirete mõjude hindamiseks ja leevendamiseks“.
Nimetatud tegevuse raames hangiti raadiosidehäirete mõõtmiseks ja lokaliseerimiseks vajalikud seadmed ning muu varustus ning töötati välja mõõtmiste metoodika, millega loodi kasutusvalmis mõõtevõimekus. Selle abil teostas TTJA erinevate sidesüsteemide mõõtmisi ning viis läbi uuringu, mille eesmärk oli hinnata tuuleparkide mõju erinevatele raadiosidesüsteemidele. Lisaks Eestis teostatud mõõtmistele ja nende tulemuste analüüsile uuriti tegevuse käigus ka rahvusvahelist kogemust ning võrreldi uuringutest ja mõjuhinnangutest tulenevaid järeldusi TTJA poolt saadud tulemustega.

Käesolev koondaruanne annab ülevaate TTJA poolt läbi viidud uuringust tuuleparkide mõjust raadiosidesüsteemidele ning selle tulemustest.
Koondaruandes käsitletakse esmalt rahvusvahelist kogemust ja varasemate uuringute ning asjakohaste tehniliste dokumentide tulemusi ja soovitusi, sealhulgas erinevate riikide ja organisatsioonide hinnanguid tuuleparkide võimalikele mõjudele sidesüsteemidele. Rahvusvahelise kogemuse käsitlus tugineb üldistele mõjumehhanismidele ja hindamismetoodikatele, mille eesmärk on kirjeldada peamisi häiringuallikaid ning lähenemisviise tuuleparkide mõju analüüsimisel.
Rahvusvahelise ülevaate järel esitatakse TTJA poolt läbi viidud mõõtmiste ja analüüside kokkuvõte, kus tuuleparkide võimalikku mõju käsitletakse eraldi erinevate sidesüsteemide lõikes ning võrreldakse tulemusi rahvusvahelise kogemusega. Koondaruanne hõlmab peamisi sidesüsteeme, sealhulgas digitelevisiooni- ja raadiosüsteeme ning mobiilsidevõrke, samuti paiksete raadiolinke ja radarisüsteeme.
TTJA mõõtmised viidi läbi Eesti suuremates tuuleparkides, et hinnata tuuleparkide mõju raadiosidesüsteemidele erinevates levitingimustes. Mõõtmistel keskenduti eelkõige raadiosidesüsteemidele, mida kasutatakse üldkasutatavate sideteenuste osutamiseks, sealhulgas mobiilside- ja ringhäälingusüsteemidele. Kõigi käesolevas aruandes vaadeldud süsteemide puhul ei olnud mõõtmiste tegemine vajalik, kuna nende mõju hinnatakse süsteemide tehniliste eripärade alusel arvutuslikult või muude kehtivate hindamismeetodite abil nii tuuleparkide kooskõlastamise, kui ka raadiosidesüsteemide kavandamise käigus. Mõju hindamisel raadiosidesüsteemidele samuti tugineti rahvusvahelistele uuringutele, varasematele mõjuhinnangutele ning väljakujunenud hindamispõhimõtetele.
Lisaks käsitletakse koondaruandes lühidalt ka muid raadiosidet kasutavaid süsteeme, nagu GNSS-positsioneerimissüsteemid, WiFi-võrgud ja Bluetooth-ühendused.

Koondaruandes esitatakse järeldused nii erinevate sidesüsteemide lõikes kui ka üldise kokkuvõttena, et anda terviklik ülevaade tuuleparkide võimalikest mõjudest,

Eelpoolmainitud TTJA tegevuse 6.1.4 raames loodud mõõtevõimekuse ning selle abil läbi viidud uuringu teostamist ja analüüsi koostamist finantseeritakse Euroopa Liidu taasterahastu **NextGenerationEU** vahenditest.

## 1. Rahvusvahelised uuringud ja kogemus

Tuuleparkide mõju hindamise projekti raames analüüsis TTJA mitmeid rahvusvahelisi materjale, uuringuid ja mõjuhinnanguid, mis käsitlevad tuuleparkide võimalikku mõju erinevatele sidesüsteemidele ning mõju hindamist tuuleparkide planeerimise etapis. Analüüs hõlmas eelkõige Kanada Raadio Nõuandekogu (*Radio Advisory Board of Canada* – RABC RABC) ja Kanada Taastuvenergia Assotsiatsiooni (*Canadian Wind Energy Association* – CanWEA) juhendeid[1][2], Soome Transpordi- ja Sideagentuuri (TRAFICOM) ning Soome Tehnilise Uurimiskeskuse VTT uuringuid[3][4] ning Austraalia taastuvenergiaarendaja Epuroni (alates 2021 Ark Energy) koostatud tuulepargi mõjuhinnangut[5].

**Eestis** toimub võimaliku mõju hindamine raadiosidesüsteemidele tuuleparkide planeerimise, keskkonnamõju hindamise ja lubade menetlemise raames. Erinevalt riikidest, kus mõju hindamiseks kasutatakse eraldi konsultatsiooniprotsesse või süsteemipõhiseid juhendeid, hinnatakse Eestis võimalikke mõjusid konkreetse arendusprojekti asukoha, tehniliste lahenduste ja mõjutatud süsteemide põhjal. Hindamine põhineb uuringutel, analüüsidel ja eksperthinnangutel ning sellesse kaasatakse asjaomased asutused vastavalt nende pädevusele. Meretuuleparkide puhul toimub mõju hindamine mereala planeeringu, keskkonnamõju strateegilise hindamise ning hoonestusloa ja keskkonnamõju hindamise menetluste käigus. Maismaal asuvate tuuleparkide puhul toimub vastav hindamine planeeringu- ja loamenetluste raames. Nende menetluste käigus hinnatakse muu hulgas võimalikku mõju side-, navigatsiooni- ja positsioneerimissüsteemidele ning lennunduse ja riigikaitsega seotud süsteemidele. Vajaduse korral määratakse uuringute tulemuste põhjal leevendusmeetmed, seirenõuded või tehnilised tingimused kavandatava lahenduse rakendamiseks.
Riigikaitseliste süsteemide puhul hinnatakse võimalikku mõju ka Ehitusseadustikust tuleneva kooskõlastusmenetluse käigus, mille raames tuleb tuuleparkide ja teiste riigikaitselise ehitise töövõimet mõjutada võivate ehitiste kavandamine kooskõlastada Kaitseministeeriumi või muu volitatud asutusega.

[1] 2007 avalikustatud RABC/CanWEA juhend *„Technical Information and Guidelines on the Assessment of the Potential Impact of Wind Turbines on Radiocommunication, Radar and Seismoacoustic Systems“*
[2] 2025. aastal uuendatud RABC/CanWEA juhend *„Technical Information and Coordination Process Between Wind Turbines and Radiocommunication and Radar Systems“*
[3] TRAFICOM-i uuring *„Tuulivoiman vaikutukset radiojärjestelmille ja haittavaikutusten vähentäminen“*
[4] VTT uuring *„Tuulivoimaloiden vaikutus matkaviestin- ja TV verkkoihin“*
[5] 2016 avalikustatud Epuroni mõjuhinnang *„Telecommunications Impact Assessment, Rye Park Wind Farm“*

**Kanadas** on välja töötatud mõju hindamise ja koordineerimise protsess, mille käigus kasutatakse erinevate raadiosüsteemide jaoks süsteemipõhiseid konsultatsioonitsoone võimalike mõjualade esmaseks määratlemiseks. Kui kavandatav tuulepark jääb konsultatsioonitsooni, võib osutuda vajalikuks täiendav tehniline analüüs või kooskõlastamine asjaomase süsteemi haldajaga. Mõnede süsteemide puhul ei ole konsultatsioonitsoone eelnevalt määratud ning võimalikku mõjuala hinnatakse juhtumipõhiselt arvutuslike meetoditega, võttes arvesse süsteemi tehnilisi parameetreid, signaali levitingimusi ning tuulepargi omadusi, sealhulgas tuulikute paiknemist ja mõõtmeid. Tuulepargi arendaja saab kavandatava asukoha piirkonnas paiknevate raadioside- ja radarisüsteemide kohta esmase info Kanada raadiosagedusregistrist ning vajadusel täiendavate kontaktasutuste kaudu. Konsultatsioonitsoonide eesmärk on tuvastada olukorrad, kus võib olla vajalik täiendav mõju hindamine, mitte kehtestada häire- või keeluala.

**Soome** uuringud keskenduvad eelkõige praktilistele mõõtmistele ja modelleerimisele, mille alusel hinnatakse tuuleparkide võimalikku mõju erinevatele raadiosidesüsteemidele. Uuringute tulemused põhinevad nii teoreetilistel analüüsidel kui ka tegelikel mõõtmistel ning võimaldavad hinnata häiringute ulatust ja iseloomu erinevates tingimustes. Soome lähenemises on olulisel kohal ka leevendusmeetmete soovitamine, mille eesmärk on tagada raadiosidesüsteemide häireteta toimimine olukordades, kus tuuleparkide mõju võib siiski esineda.

**Austraalias** teostatud mõjuhinnangus on tuuleparkide mõju uuritud konkreetsete tuulepargi arendusprojekti raames. Ark Energy koostatud mõjuhinnangus analüüsiti tuulepargi võimalikku mõju olemasolevatele sidesüsteemidele ning käsitleti võimalikke mõjude hindamise ja leevendusmeetmete põhimõtteid tuulepargi planeerimise etapis. Hindamisel vaadeldi üldisi mõjutegureid, mis võivad olla seotud tuulepargi paiknemise ja olemasolevate sidesüsteemide asukohaga, ning nende arvestamist projekteerimis- ja koordineerimisprotsessis ning kirjeldati leevendusmeetmeid**.**

Lisaks võeti projekti käigus mõõtmiste kavandamisel, läbiviimisel ja analüüsimisel ning järelduste tegemisel arvesse Rahvusvahelise Telekommunikatsiooni Liidu (*International Telecommunication Union* – ITU) Raadioside sektori (*ITU Radiocommunication Sector* – ITU-R) asjakohaseid soovitusi ja aruandeid ning lähtuti ITU dokumentides sätestatud mõõtemetoodika põhimõtetest.

Uuritud materjalide kohaselt võib öelda, et peamised tuuleparkide mõjud raadiosidesüsteemidele avalduvad raadiosignaalide varjestuse ja hajumisena, mis on seotud tuuliku masti ja pöörlevate labade mõjuga signaali leviteele. Lisaks mõjutab signaali levikut peegeldumine tuulegeneraatori labadelt, mis võib põhjustada mitmeteekonnalist vastuvõttu, kus vastuvõtjasse jõuab lisaks otselevinud signaalile ka erineva viitega peegeldunud signaal.

Üldjuhul on selliste nähtuste mõju raadiosidesüsteemide toimimisele piiratud või peaaegu olematu sõltuvalt eelkõige kasutatavast raadiosidesüsteemist, sagedusalast, saatja ja vastuvõtja asukohast tuulepargi suhtes ning tuulegeneraatori konstruktsioonist. Näiteks ringhäälingu- ja mobiilsidesüsteemid kasutavad tänapäeval erinevaid häirekindlaid edastustehnikaid, mistõttu ei pruugi tuuleparkidest põhjustatud signaalimuutused mõjutada teenuse kasutamist. Samas võivad nii tuulepargid, kui ka üksik tuulegeneraator avaldada suuremat mõju sidesüsteemidele, mis kasutavad peegeldunud signaale keskkonna tõlgendamiseks või eeldavad otsenähtavust kahe punktide vahel, näiteks radarid ja raadiolingid.

## 2. Rahvusvaheline kogemus ja Eestis läbi viidud mõõtmised erinevate sidesüsteemide lõikes

### 2.1 Digitaaltelevisioon (DVB-T/DVB-T2)

**Kanada RABC/CanWEA** juhendites (vt p 1) konsultatsioonitsooni määramisel eristatakse televisioonisaatjaid ja vastuvõtjaid. Televisioonisaatja ümber oleva konsultatsioonitsooni raadius on 2,0 km.
Televisiooni vastuvõtu hindamisel olukorras, kus televisioonijaama teenindusala kattub tuulepargi alaga ning piirkonnas asuvad elamud, on soovitatav läbi viia põhjalik vastuvõtukvaliteedi analüüs. Digitelevisiooni vastuvõtu puhul on tuulepargi ümbruse konsultatsioonitsooni ulatus 10 km, mõõdetuna lähimast tuuleturbiinist vastuvõtukoha suunas, mille piires hinnatakse võimalikke vastuvõtuhäiringuid.

**Soome TRAFICOMi ja VTT** uuringute (vt p 1) kohaselt hea signaalitaseme korral ei põhjusta tuulepargid tavaliselt digitaaltelevisiooni vastuvõtu olulist halvenemist. Mõju on tõenäolisem leviala servades või olukordades, kus vastuvõtutingimused on juba piiripealsed.
Tuulepargi mõju on suurem olukordades, kus televisioonisignaal peab levima läbi tuulepargi ning mitu tuulegeneraatorit jääb saatja ja vastuvõtja vahele. Samuti võivad pöörlevad rootorilabad põhjustada signaali tugevuse kõikumist, sagedusnihkeid ning sagedusest sõltuvat sumbumist, mis võib avalduda näiteks lühiajaliste katkestuste või pildikvaliteedi halvenemisena. Häiringute ulatus jääb üldjuhul tuulegeneraatori vahetusse lähedusse, avaldudes tavaliselt kuni 200 meetri kaugusel, kuid teatud vastuvõtja, saatja ja tuulegeneraatori paiknemise kombinatsioonide korral võib mõju ulatuda ligikaudu 4–6 kilomeetrini. Mõju leevendamiseks soovitatakse vajadusel laiendada leviala katvust või üksikjuhtudel kasutada alternatiivseid vastuvõtulahendusi, näiteks satelliittelevisiooni.

**Austraalia Epuroni (Ark Energy)** mõjuhinnangu alusel (vt p 1) ei ole hea signaalitasemega piirkondades oodata olulist mõju digitaaltelevisiooni vastuvõtule. Mõju võib avalduda peamiselt leviala servades, kus signaal on juba nõrgem.
Üldiste kogemuste põhjal on tuuleparkide negatiivne mõju digitaaltelevisiooni vastuvõtule hinnatud pigem vähetõenäoliseks.

**ITU-R** on samuti uurinud võimalikke tuuleparkide mõjusid digitaaltelevisiooni vastuvõtule ning koondanud erinevates riikides läbi viidud juhtumiuuringute tulemusi. ITU-R Soovituse BT.1893-1[6] kohaselt võivad tuulegeneraatorid teatud tingimustel põhjustada signaali peegeldusi ja levihäireid, mille ulatus sõltub tuulepargi paiknemisest saatja ja vastuvõtja suhtes, tuulegeneraatorite arvust ning maastikutingimustest.
ITU-R aruandes BT.2142-2[7] esitatud Austraalia, Itaalia ja Hispaania poolt läbiviidud mõõtmised ja uuringud näitavad, et hea signaalitaseme korral on tuuleparkide mõju digitaaltelevisiooni vastuvõtule üldiselt väike ning vastuvõtu katkemist ei esine. Häiringud võivad tekkida eelkõige olukordades, kus tuulepark paikneb saatja ja vastuvõtja vahel või kui vastuvõtja pole otsenähtavuses saatjaga, vaid tuulepargiga. Austraalia juhtumites hinnati häiringud vähetõenäoliseks ka keerukates tingimustes, Itaalias täheldati võimalikku signaal / müra suhte halvenemist ilma teenuse katkemiseta ning Hispaanias esinesid peegeldustest tingitud häiringud eelkõige piiratud nähtavuse korral.

**TTJA** viis läbi digitelevisiooni kontrollmõõtmised 14. oktoobril 2025 Aulepa tuulepargi ümbruses (7 mõõtepunkti) ning 29. detsembril 2025 Sopi-Tootsi tuulepargi ümbruses (6 mõõtepunkti). Täpsemad andmed mõõtepunktide, metoodika ja tulemuste kohta on esitatud mõõteprotokollides (Lisa 1 ja Lisa 2).
Mõõtmistulemused kinnitasid, et eelpool nimetatud mõjud võivad teatud tingimustel esineda ka Eestis. Mõõtmiste käigus täheldati signaalitugevuse ajutist varieerumist, mis oli seotud tuulegeneraatorite rootorilabade liikumisega, samuti signaali sumbumist tuulepargi läbimisel ning peegeldusi tuulegeneraatorite konstruktsioonidelt.
Aulepa ja Sopi-Tootsi mõõtmistes oli saatja suunas orienteeritud antenniga vastuvõtt kõigis mõõtepunktides kas väga hea või hea kvaliteediga. Muutused signaalitasemetes Aulepa mõõtmistes olid peamiselt seotud kauguse, metsasuse ja lokaalse maastikuga, mitte tuulepargist tingitud süsteemse mõjuga. Sopi-Tootsi mõõtmistel signaalikvaliteet vastas või ületas ITU-R soovituslike DVB-T/DVB-T2 signaali kvaliteedi lävendväärtusi, viidates väga headele levitingimustele uuritud piirkonnas.

[6] ITU-R Soovitus BT.1893-1 *„Assessment methods of impairment caused to digital television reception by wind turbiines“*
[7] ITU-R Aruanne BT.2142-2 *„The effect of the scattering of digital television signals from wind turbiines“*

*Pilt 1 Mõõtebussi foto Aulepa tuulepargi ümbruses mõõtepunktis, antenn horisontaalse polarisatsiooniga suunatud tuulepargi ja saatja poole.*

Mitmeteekonnalise leviku analüüs näitas mõlemas asukohas, et saatja poole suunatud antenni puhul ei esinenud olulisi televisiooni vastuvõttu häireid. Tuulepargi poole suunatud antenniga täheldati viitega signaalikomponentide kasvu, kuid need jäid põhisignaalist oluliselt nõrgemaks ning ei mõjutanud televisiooni vastuvõtu kvaliteeti.

**Järeldused**

Eestis läbiviidud mõõtmised kinnitavad rahvusvaheliste uuringute ja ITU-R aruannetes kirjeldatud tulemusi, mille kohaselt tuuleparkide mõju digitaaltelevisiooni vastuvõtule on valdavalt minimaalne ning sõltub eelkõige vastuvõtutingimustest ja signaali algtugevusest. Kokkuvõttes ei ilmnenud Eesti mõõtmistes tuuleparkidest tulenevaid püsivaid ega olulisi häireid, mis mõjutaksid digitaaltelevisiooni vastuvõttu sealhulgas ka leviala servades. Häireteta vastuvõtu tagamiseks on soovitatav kasutada sobivat ja töökorras lähima televisioonisaatja suunas orienteeritud suundantenni.

## 2.2 FM ja DAB+ raadioringhääling

**Kanada RABC/CanWEA** juhendis (vt p 1) viidatud uuringud näitavad, et kuigi tuulegeneraatorite pöörlevad labad ja tugikonstruktsioon võivad põhjustada peegeldusi ning mõjutada amplituudmoduleeritud (AM) raadiosignaale, on sagedusmoduleeritud (FM) signaalid selliste mõjude suhtes oluliselt vähem tundlikud ning häired võivad tekkida peamiselt tuuliku vahetus läheduses või erandjuhtudel. Äärmuslikel juhtudel võib tagasihajumise tsoonis tekkivate peegelduste tõttu esineda kvaliteedi halvenemist ka FM-vastuvõtjates. FM - saatjate puhul on konsultatsioonitsooni raadiuseks ligikaudu 2 km.

**Soome TRAFICOM**-i hinnangul, mis tugineb läbi viidud uuringutele ja mõõtmistele (vt p 1), on tuuleparkide mõju FM-raadio vastuvõtule üldjuhul väike. Tuulegeneraatorite konstruktsioonid võivad põhjustada signaali peegeldusi ning vähest signaalitaseme varieerumist, kuid nende mõju ei ole hinnatud selliseks, mis põhjustaks olulisi häireid FM-raadioringhäälingu vastuvõtule.

**TTJA** teostas FM- ja DAB+ raadioringhäälingu mõõtmised, et hinnata võimaliku mõju raadioringhäälingu vastuvõtule 2. veebruaril 2026 Saarde tuulepargi ning 5. veebruaril 2026 Paldiski ja Pakri tuuleparkide ümbruses. Kuna DAB+ raadioringhäälingu vastuvõtu kohta tuuleparkide mõjude kontekstis on olemasolevaid uuringuid piiratud ulatuses, viidi mõõtmised läbi ka selle tehnoloogia käitumise hindamiseks reaalses levikeskkonnas. Täpsemad andmed mõõtepunktide, metoodika ja tulemuste kohta on esitatud mõõteprotokollides (Lisa 3 ja Lisa 4).
Saarde tuulepargi ümbruses läbiviidud FM mõõtmiste tulemuste kohaselt olid signaalide väljatugevused kõigis mõõtepunktides kõrged ning ületasid ITU-R Soovituses BS.412-9[8] toodud minimaalseid mediaanväärtusi. Madalaimad väärtused esinesid mõõtepunktis, mis paiknes tuulegeneraatorite suhtes ebasoodsamas asukohas, kusjuures tuulegeneraatorite labade liikumissuunaga seotud geomeetrias. Vaatamata sellele olid signaalitasemed kõikides mõõtepunktides piisavad kvaliteetse FM raadioringhäälingu vastuvõtu tagamiseks.

Paldiski ja Pakri tuuleparkide ümbruses läbiviidud FM ja DAB+ mõõtmised näitasid samuti kõrgeid väljatugevusi kõigis mõõtepunktides, sealhulgas lähimate tuulegeneraatorite vahetus läheduses paiknevates punktides. DAB+ vastuvõtutingimused olid samuti head ning ei viidanud tuuleparkidest tingitud vastuvõtuhäiringutele, mis oli prognoositav, arvestades kasutatava OFDM-edastustehnoloogia omadusi. DAB+ edastuses kasutatakse OFDM-tehnoloogiat, mille korral on tuuleparkidest tingitud mitmeteekondse leviku mõju üldjuhul piiratud, kuna tehnoloogia võimaldab kaitseintervalli abil viitega saabunud signaalide, sh peegelduste, mõju vähendamist ning veaparanduskoodi kasutamine võimaldab vastuvõtjas teatud ulatuses vigaseid sümboleid taastada, parandades seeläbi vastuvõtukvaliteeti.

[8] ITU-R Soovitus BS.412-9 „*Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF*“

*Pilt 2 Mõõtebussi foto 5.mõõtepunktis Paldiski ja Pakri tuulepargi ümbruses*

**Järeldused**

Eestis läbiviidud FM ja DAB+ raadioringhäälingu mõõtmised kinnitavad rahvusvahelistes uuringutes kirjeldatud tulemusi, mille kohaselt tuuleparkide mõju FM raadiosignaali vastuvõtule on valdavalt minimaalne ning sõltub eelkõige levitingimustest ja signaali algtugevusest. DAB+ raadioringhäälingu puhul ei ilmnenud tuuleparkide läheduses häiringuid, mis on ootuspärane arvestades OFDM-põhise edastustehnoloogia häirekindlust. Kokkuvõttes ei tuvastatud Eestis läbiviidud mõõtmistes tuuleparkidest tulenevaid püsivaid ega olulisi häireid FM ega DAB+ raadioringhäälingu vastuvõtul.

## 2.3 Mobiilsidesüsteemid

**Kanada RABC/CanWEA** 2007. aasta juhendi (vt p 1) kohaselt on mobiilsidejaama ümber määratud konsultatsioonitsooni raadiuseks 1 km. Juhendis käsitletakse eraldi ka mobiilsideoperaatorite võimalikku kaasamist täiendavaks hindamiseks juhul, kui tuulik kavandatakse mobiilsidejaama lähedusse, arvestades süsteemide asukohapõhiseid tehnilisi erinevusi. 2025. aasta uuendatud juhendis (vt p 1) on mobiilside süsteemide puhul konsultatsioonitsooni raadiuseks määratud 1 km, ilma täiendavate operaatoritega seotud eritingimusi eraldi välja toomata.

**Soome TRAFICOMi** hinnangul (vt p 1) fikseeritud mobiilside vastuvõtu puhul võib tuuleparkide võimalik mõju olla sarnane televisioonivastuvõtuga, kuid üldjuhul leebem mobiilsidevõrgu kärgstruktuuri tõttu, samas kui liikuv mobiilne vastuvõtt on veelgi vähem mõjutatav, kuna signaalitingimused muutuvad pidevalt vastuvõtja liikumise tõttu.

**VTT** mõõtmiste tulemuste põhjal (vt p 1) avaldavad tuulikupargid mobiilsidele peamiselt lokaalseid mõjusid, mis ilmnevad eelkõige tuulikupargi sees ja selle vahetus läheduses, seejuures tuulikupargid ei põhjusta mobiilside täielikku katkemist, kuid võivad halvendada teenuse kvaliteeti eelkõige andmeside osas. Kõneside töökindlus üldiselt säilib, kuid nõrgema leviga piirkondades võib esineda üksikuid katkestusi. Tihe tugijaamade võrk oluliselt vähendab tuulikupargi mõju, kuna mobiilivõrk suudab signaali halvenemisel automaatselt ümber lülituda. Seetõttu jäävad mõjud väljaspool tuulikuparki tavaliselt väikeseks ja piirduvad peamiselt signaali kvaliteedi väikeste kõikumistega. 4G-võrk säilitas üldiselt stabiilsema toimimise ka tuulikupargi mõjualas.

**Austraalia Epuroni** hinnati tuulepargi võimalikku mõju mobiilsidevõrkudele (vt p 1) olemasolevate tugijaamade paiknemise ja levitingimuste põhjal. Analüüs hõlmas kolme mobiilsideoperaatori võrke ning operaatoritega konsulteeriti võimalike mõjude hindamiseks. Hinnangu kohaselt ei ole tuulepargi asukoha, tugijaamade ja tuulikute vaheliste vahekauguste ning olemasoleva leviala tõttu oodata olulist mõju mobiilside toimimisele ning täiendavaid leevendusmeetmeid ei peetud vajalikuks.

**TTJA** teostas 4G ja 5G mobiilsidesüsteemide mõõtmised Viru-Nigula vallas 20. oktoobril 2025. Täpsemad andmed mõõtepunktide, metoodika ja tulemuste kohta on esitatud mõõteprotokollides (Lisa 5). Mõõtmised viidi läbi kaheksas erinevas mõõtepunktis tuulepargi erinevatel külgedel, hinnates kolme mobiilsideoperaatori andmeside üles- ja allalaadimiskiiruseid ning vastuvõetud signaali tugevust. Mõõtetulemuste põhjal olid kõikides mõõtepunktides mõõdetud signaalitugevused ning andmeside üles- ja allalaadimiskiirused piisavad stabiilse mobiilse andmeside teenuse tagamiseks kõigi operaatorite lõikes. Madalamad väärtused esinesid kahes mõõtepunktis, kus esimeses oli see seotud metsa serva ja tugijaama vahelise varjestusega ning teise mõõtepunkti puhul paiknemisega tuulegeneraatorite suhtes ebasoodsamas geomeetrias. Üksikutes punktides ilmnesid erinevused ka tugijaamade sektorantennide suunadiagrammidest tulenevalt, kuid tuulepargist tingitud süsteemseid

häiringuid mobiilside signaali levikus ega andmeside kiirustes ei tuvastatud. Tulemused olid prognoositavad, arvestades rahvusvahelisest kogemusest tulenevaid andmeid tuuleparkide vähese mõju kohta mobiilsidele ning mobiilsides kasutatava OFDM-põhise edastustehnoloogia häirekindlaid omadusi, mis vähendavad mitmeteekonnalise leviku ja peegelduste mõju vastuvõtukvaliteedile.

*Pilt 3 Mõõtebuss 4.mõõtepunktis Viru-Nigula vallas*

**Järeldused**

Erinevates riikides teostatud mõõtmiste tulemused ning TTJA poolt Eestis läbiviidud 4G ja 5G mobiilsidesüsteemide mõõtmistest tulenevalt on tuuleparkide mõju mobiilsidele üldjuhul minimaalne. Uuringud ja mõõtmised näitavad ühtlaselt, et kuigi lokaalsed signaalitaseme ja teenusekvaliteedi kõikumised võivad esineda eelkõige tuulikute vahetus läheduses või ebasoodsates levitingimustes, ei põhjusta tuulepargid mobiilsidevõrkude süsteemseid häireid ega teenuse katkemist. Mobiilside toimimine tuuleparkide ümbruses jääb valdavalt stabiilseks ning võimalike mõjude ulatus piirdub üksikjuhtudel esinevate, lokaalse iseloomuga kõrvalekalletega.

## 2.4 Paiksed raadiolingid (*Point-to-point* ühendused)

Paiksete raadiolinkide puhul võib tuulepark avaldada mõju eelkõige juhul, kui tuulikud või nende osad jäävad kahe raadiolingi lõpp-punkti vahelisele otsenähtavuse teele või Fresneli tsooni. Sellisel juhul võivad tuuliku mast ja pöörlevad labad mõjutada signaali levikut, põhjustades signaali nõrgenemist, hajumist või peegeldusi. Kui tuulikud ei paikne signaali leviteel ega Fresneli tsoonis, on mõju raadiolingi toimimisele üldjuhul väike või puudub. Analüüsi käigus uuriti kolme erinevat lähenemist tuuleparkide võimaliku mõju hindamisele ning võrreldi neis kirjeldatud hindamispõhimõtteid Eestis rakendatava lähenemisega.

**Kanada RABC/CanWEA** juhendite (vt p 1) kohaselt võib kahe raadiolingi lõpp-punkti vahelise otsenähtavus- ehk Fresneli tsooni jääv tuulepark või ka üksik tuulegeneraator oluliselt halvendada levi kvaliteeti, põhjustada ühenduse ebastabiilsust või isegi katkestada raadiolingi töö, kuna see mõjutab signaali levimiseks vajalikku vaba ala Fresneli tsoonis. Seega konsultatsioonitsooni määramisel kasutatakse 1 km raadiust mõlema raadiolingi lõpp-punkti ümber ning lisaks silindrikujulist koridori nende vahel, mis põhineb Fresneli tsooni geomeetrial. Selle arvutamisel kasutatakse konservatiivset lähenemist, kus arvesse võetakse kuni kolm korda (3×) maksimaalset esimese Fresneli tsooni vaba ala, et lisada täiendav ohutusvaru ja arvestada tegelike keskkonnamõjude ning tuulikute liikumisest tingitud ebakindlusega. Kui tuulikud jäävad nendesse konsultatsioonitsoonidesse, tuleb teha detailne tehniline analüüs, et hinnata võimalikke häireid ning vajadusel leida sobivad leevendusmeetmed või kohandada süsteemi projekteerimist.

**Soome TRAFICOMi** uuringu (vt p 1) kohaselt on raadiolingi lõpp-punkti vaheline otsenähtavus kriitilise tähtsusega ning isegi üksik tuulik võib oluliselt vähendada signaali tugevust või katkestada ühenduse, kui see paikneb otse leviteel. Kõige olulisem mõju tuleneb tuulikute pöörlevatest labadest, mis võivad põhjustada signaali ajas muutuvat häiringut, sealhulgas kõikumist ja Doppleri efektist tingitud muutusi. *Point-to-point* raadiolinkide puhul võib see mõju olla märkimisväärne ning ebasoodsates tingimustes viia side kvaliteedi halvenemiseni või ühenduse katkemiseni, eriti kui tuulik paikneb otsenähtavuse piirkonnas.
Kuna mõju sõltub eelkõige asukohast, sagedusest ja geomeetriast siis tuleb iga raadiolinki hinnata eraldi ning vajadusel rakendada ümberplaneerimist või muid leevendusmeetmeid, kui tuulik jääb signaali leviteele.

**Austraalia Epuroni** mõjuhinnang (vt p 1) samuti näitab, et kahe raadiolingi lõpp-punkti vahelised ühendused võivad olla tuulikute poolt mõjutatud eelkõige juhul, kui tuulikud jäävad signaali leviteele või Fresneli tsooni. „*Rye Park*“ tuulepargi uuringus kaardistati kõik olemasolevad raadiolingid tuulepargi piirkonnas ning hinnati nende võimalikku kokkupuudet kavandatud tuulikutega. Uuringus toodi välja, et kõige tundlikumad tuulikute võimaliku mõju suhtes on eelkõige UHF- ja mikrolainesüsteemid. Madalama sagedusega VHF-linkide puhul ei peetud tuulikute põhjustatud häireid tõenäoliseks, välja arvatud juhul, kui tuulik asub antennile väga lähedal ja tekivad lähivälja mõjud. Võimalike häirete vältimiseks analüüsiti Fresneli tsoone, et tagada signaali levitee piisav vaba ala. Uuringus hinnati nii esimese Fresneli tsooni kui ka teise Fresneli tsooni paiknemist ning tuulikute asukohti muudeti juhul, kui need jäid otsese levitee või nende Fresneli tsoonide lähedusse. Selle tulemusena vähendati võimalikku mõju kuuele seitsmest tuulepargi alal paiknenud raadiolingist.
Uuringu järelduse kohaselt ei ole tuulikute põhjustatud häireid *point-to-point* linkidele eeldada, kui need paiknevad piisaval kaugusel Fresneli tsoonist ja otsesest signaali leviteest. Samuti sõltub mõju kasutatavast sagedusest, antennide asukohast ja geomeetriast, mistõttu tuleb iga raadiolinki hinnata eraldi.

**Järeldused**
Kolme eelpool mainitud juhendite ja uuringute põhjal võib järeldada, et tuulikud mõjutavad *point-to-point* linke eelkõige siis, kui need jäävad otsenähtavuse või Fresneli tsooni lähedusse. Mõju sõltub kasutatavast sagedusest, geomeetriast ja antennide asukohast ning võib ulatuda signaali nõrgenemisest kuni ühenduse katkemiseni. Seetõttu tuleb iga raadiolinki hinnata eraldi ning vajadusel rakendada leevendusmeetmeid või kohandada paigutust. Sarnaselt rahvusvahelises praktikas kasutatavatele põhimõtetele kasutatakse Eestis raadiolinkide kavandamisel konservatiivset lähenemist, mille puhul arvestatakse kuni kolm korda (3×) maksimaalset esimese Fresneli tsooni vaba ala. Täna Eestis tuuleparkide planeeringute kooskõlastamise protsessi raames TTJA hindab igat planeeringut eraldi ning veendub, et tuulepargid ei jääks raadiolinkide töötsoonidesse. Käesoleva aruande avaldamise hetkeks on TTJA ühe planeeringu puhul andnud juhiseid tuulikute paigutamiseks nii, et see ei mõjutaks raadiolingi tööd.

## 2.5 Radarid

**Kanada RABC/CanWEA** juhendi (vt p 1) kohaselt võivad tuulikud mõjutada erinevaid radarisüsteeme, sealhulgas lennundus-, mere-, militaar- ja meteoroloogilisi radareid, eelkõige juhul, kui tuulikud jäävad radari otsenähtavuspiirkonda. Tuulikud võivad põhjustada valepeegeldusi, varjata tegelikke sihtmärke või tekitada radari ekraanile valeobjekte. Mõju sõltub muu hulgas tuuliku kaugusest radarist, kõrgusest ja radari suhtes paiknemisest. Võimaliku mõju hindamiseks tuleb iga tuuleparki analüüsida eraldi ning juhendis on määratud konsultatsioonitsoonide raadiused:

Õhukaitseradarile - 100 km
Primaarsele lennujuhtimise radarile (*Primary Surveillance Radar* – PSR) - 80 km
Sekundaarsele lennujuhtimise radarile (*Secondary Surveillance Radar* – SSR) - 10 km
Täppislähenemise radarile (*Precision Approach Radar* – PAR) - 40 km
Mereala liiklusradarile (*Coast Guard Vessel Traffic Radar*) - 60 km
Ilmaradarile - 60 km.

Kui tuulepark jääb nendesse tsoonidesse, tuleb teha täiendav hindamine koos vastava asutusega võimalike häiringute ja leevendusmeetmete määramiseks.

**Soome TRAFICOMi** hinnangul (vt p 1) mõjutavad tuulikud eelkõige mikrolaine radarisüsteeme, kuna tuulepargi läbimisel võib radarikiir nõrgeneda ning pöörlevad rootorilabad võivad tekitada radarisüsteemis valepeegeldusi. Mõju võib avalduda radari tööulatuse vähenemise või valeobjektidena. Seetõttu tuleb võimalikke mõjusid hinnata juba tuuleparkide planeerimise etapis.

**Taani elektri- ja maagaasi ülekandesüsteemi halduri Energineti** 2014. aasta tehnilises aruandes nr 12[9] tuuakse samuti välja, et tuulepargid võivad mõjutada erinevaid radarisüsteeme. Mõju ulatus sõltub mitmest tegurist, sealhulgas tuulepargi kaugusest radarist, tuulikute kõrgusest, rootori asendist radari suhtes ning tuuliku radari ristlõikest. Mida lähemal asuvad kõrgemad tuulikud radarile ja mida suurem on nende võime radarienergiat tagasi peegeldada, seda suurem on võimalus häiringute tekkeks. Meteoroloogiliste radarite puhul võivad tuulikud põhjustada valesti tõlgendatavaid kajasid, mida radar võib ekslikult seostada ilmastikunähtustega. Raporti kohaselt tuleb võimalikke mõjusid arvestada juba tuuleparkide planeerimisfaasis. Leevendusmeetmetena võib kasutada tuulikute asukoha muutmist, et vältida nende jäämist radari otsenähtavusse, või vajadusel kohandada radari tööparameetreid, näiteks skaneerimisprofiili.

**Järeldused**

Eelpool kirjeldatud uuringute põhjal saab järeldada, et tuulikud võivad olulisel määral mõjutada erinevate radarisüsteemide tööd eelkõige juhul, kui need jäävad radari otsenähtavuspiirkonda, põhjustades valepeegeldusi või sihtmärkide tuvastamise häireid. Võrreldes paljude teiste raadiosüsteemidega võib radarite puhul ulatuda võimalik mõjuala märksa kaugemale, mistõttu on oluline arvestada radarite asukoha ja konsultatsioonitsoonidega juba tuuleparkide planeerimise etapis. Eestis hinnatakse radaritele avalduvat võimalikku mõju tuuleparkide planeerimise ja loamenetluste käigus ning vajaduse korral määratakse uuringute ja eksperdihinnangute põhjal vajalikud tingimused või piirangud. Riigikaitseliste radarite puhul toimub mõju hindamine koostöös Kaitseministeeriumi ja valdkonna eest vastutavate asutustega ning ehitusseadustiku kohaselt on tuuleparkide kavandamiseks vajalik nende kooskõlastus. Seejuures on riigikaitseliste radarite arendamisel arvestatud eesmärgiga vähendada tuuleparkide rajamisega seotud piiranguid ning leida tasakaal riigikaitseliste vajaduste ja tuuleenergia arendamise vahel.

## 2.6 Tuuleparkide mõjud teistele sidesüsteemidele

**Globaalse satelliitnavigatsioonisüsteemi** (*Global Navigation Satellite System* - GNSS) puhul võivad tuulepargid teoreetiliselt põhjustada satelliidisignaali mitmeteelise levi, kus vastuvõtjasse jõuab lisaks otsesele signaalile ka peegeldunud signaal. Praktikas tuuleparkide mõju GNSS-vastuvõtule ei takista täpse asukoha määramist, kuna tuulepargid paiknevad enamasti avatud aladel ning GNSS-vastuvõtjal on hea nähtavus satelliidi suunas.

**WiFi ja Bluetooth-**i süsteemide puhul ei ole eeldatavalt olulist mõju tuuleparkide poolt. Nende süsteemide kasutusala ja levikaugus on piiratud ning need töötavad peamiselt lähialas (näiteks kodudes, kontorites ja sõidukites), mistõttu asuvad kasutuskohad tavaliselt tuuleparkidest piisavalt kaugel. Võimalikud raadiohäired või signaalitaseme muutused ei põhjusta üldjuhul nende süsteemide töökindluse vähenemist.

[9] Energineti tehniline aruanne nr 12 „*Horns Rev 3 Offshore Wind Farm Technical report no. 12 „Radio Communication and Radars" April 2014*"

## Kokkuvõte

TTJA poolt Eestis läbi viidud mõõtmised ning nende tulemuste analüüs digitelevisiooni, FM- ja DAB+ raadioringhäälingu ning 4G ja 5G mobiilsidesüsteemide osas kinnitavad rahvusvaheliste uuringute põhijäreldust, et tuuleparkidel ei ole üldjuhul märkimisväärset mõju nende süsteemide toimimisele.
Samas on rahvusvahelises kogemuses esile toodud, et mõju võib ilmneda eelkõige süsteemides, mis tuginevad otsenähtavusele või peegeldussignaalide täpsele tõlgendamisele, nagu radarid ja paiksed raadiolingid.