

TNO PUBLIC

**Defence, Safety & Security**Oude Waalsdorperweg 63  
2597 AK Den Haag  
P.O. Box 96864  
2509 JG The Hague  
The Netherlands[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 10 00

**TNO raportti****2021 R10747 | Suomenkielinen tiivistelmä****Tekninen selvitys Tahkoluodon  
merituulipuiston laajennuksen vaikutuksesta  
meripaikannukseen**

Epävirallinen suomenos

(Ristiriitatilanteissa alkuperäinen englanninkielinen dokumentti on pätevä).

Päivämäärä	9.2.2022
Tekijät	Onno van Gent Matijs Heiligers Rob van Heijster Saul Rindt Arne Theil
Sivumäärä	14
Tilaaja	Suomen Hyötytuuli Oy
Projektin nimi	Tekninen selvitys Tahkoluodon tuulipuiston laajennuksen vaikutuksesta meripaikannukseen

© 2022 TNO

TNO PUBLIC

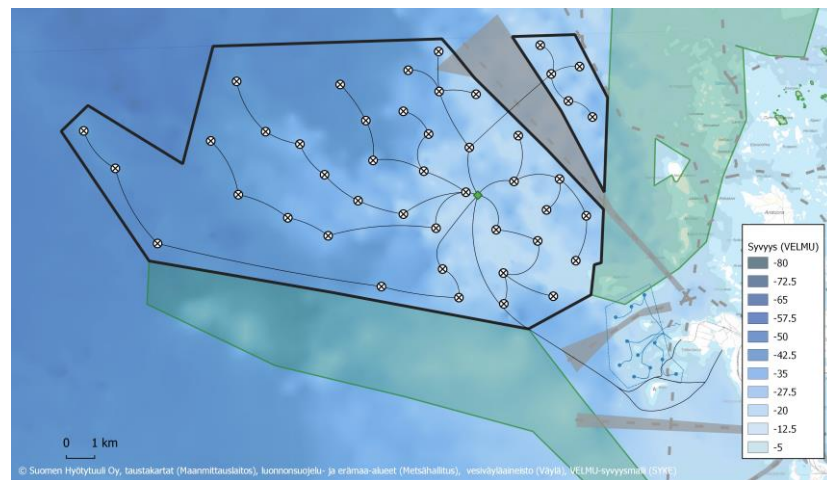
## Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Suomenkielinen tiivistelmä .....</b>	<b>3</b>
1.1	Johdanto .....	3
1.2	Valekaiut .....	3
1.3	Voimalan lavan kaiun vääristyminen .....	4
1.4	VTS-tutkan suorituskyvyn heikkeneminen.....	6
1.5	Talviolosuhteet.....	7
1.6	GPS-järjestelmä.....	7
<b>2</b>	<b>Summary in English .....</b>	<b>9</b>
2.1	Introduction .....	9
2.2	Ghost echoes.....	10
2.3	Blade echo extension .....	11
2.4	VTS radar detection loss .....	12
2.5	Sea ice conditions.....	13
2.6	Global positioning systems .....	13

# 1 Suomenkielinen tiivistelmä

## 1.1 Johdanto

Suomen Hyötytuuli suunnittelee laajentavansa nykyistä Tahkoluodon merituulipuistoaan 45 voimalalla, joiden yksikköteho tulisi olemaan 11–20 MW. Voimaloiden roottorin halkaisija olisi korkeintaan 276 m ja napakorkeus korkeintaan 175 m, jolloin voimalan kokonaiskorkeus olisi yli 300 m. Laajennus sijoittuu Mäntyluodon satamaan johtavan päälaivaväylän itä- ja länsipuolelle. Suomen Hyötytuuli on teettänyt selvityksen väylän vieressä sijaitsevien tuulivoimaloiden mahdollisista vaikutuksista saapuvien ja lähtevien laivojen navigointitutkiin ja Meriliikenteen ohjaus VTS:n (Vessel Traffic Services) tutkiin, joita käytetään laivaliikenteen ohjaukseen (ks. Kuva 1.) Laivat ovat luotsin ohjauksessa kulkiessaan väylää.



Kuva 1 Tuulivoimaloiden sijoittelu Tahkoluodon tuulivoimapuiston laajennuksessa. Laivaväylät on merkitty karttaan harmaina alueina. (Lähde: Suomen Hyötytuuli Oy).

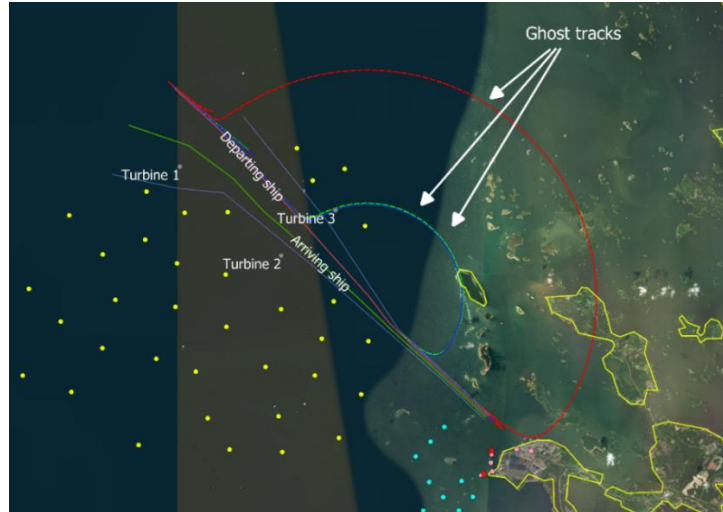
Raportissa tarkastellaan seuraavia näkökohtia:

- Valekaikujen mahdollisuus laivojen S- ja X-taajuusalueiden tutkassa
- Voimaloiden siipien kaiun vääristyminen laivojen S- ja X-taajuusalueiden tutkassa
- Merituulivoimaloista johtuva kahden VTS-tutkan havaitsemiskyvyn huonontuminen
- Talviolosuhteiden lisävaikutukset laivojen X-taajuusalueen navigointitutkaan
- Tuulivoimaloiden mahdolliset vaikutukset maailmanlaajuiseen satelliittipaikannusjärjestelmään (Global Navigation Satellite Systems, GNSS), kuten GPS-paikannukseen (Global Positioning System) ja sitä kautta AIS-järjestelmän toimintaan (Automatic Identification System).

## 1.2 Valekaiut

Suunnitellun tuulipuiston heijastuksista voi syntyä valekaikuja. Kun kyse on oikeasta kohteesta, sekä S- että X-kaistan tutkilla vähintään 40 dB:n vaimentuminen on oletettavaa, mutta kun kohteella on suuri tutkapaikkopinta-ala (engl. radar cross section, RCS), valekaikujen syntyminen on mahdollista.

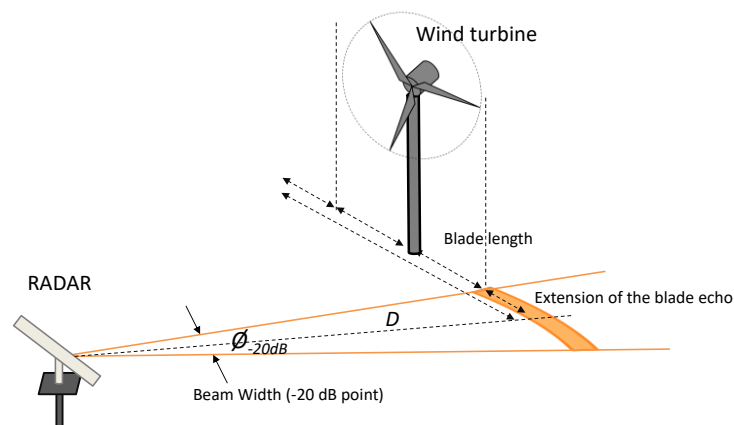
Nämä valekaiut ilmaantuvat aina todellisen kohteen taakse. Kun todellinen kohde on kaukana, valekaiku voi sijaita lähietäisyydellä todellisen kohteen takana. Kun taas todellinen kohde on lähellä, valekaiku ilmestyy Tahkoluodon merituulipuiston laajennuksen sisälle tai taakse (ks. [jälkimmäinen] Kuva 2). Voimalat eivät siis todennäköisesti haittaa navigointia laivaväylällä.



Kuva 2 Voimaloiden 1 (WTG 7), 2 (WTG 4) ja 3 (WTG 42) heijastuksista lasketut valekaikujen reitit (engl. ghost tracks). Punainen katkoviiva vastaa heijastusta voimalasta 1, vihreä voimalasta 2 ja sininen voimalasta 3. Vihreä ja sininen viiva kulkevat lähes päällekkäin. Ghost tracks = valekaikujen reitit, Turbine = voimala, Departing ship = lähtevä laiva, Arriving ship = saapuva laiva.

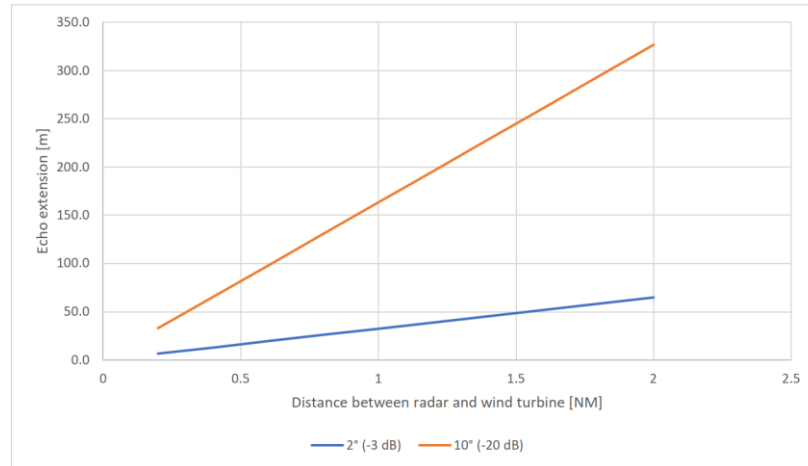
### 1.3 Voimalan lavan kaiun vääristyminen

Tuulivoimalan lapojen suuren tutkapoikkipinta-alan (engl. Radar Cross Section, RCS) takia lavat näkyvät laivan tutkanäytössä todellista kokoaan pidempinä (ks. Kuva 3).



Kuva 3 Tuulivoimalan lapojen kaiu venyy voimakkaan takaisinsironnan takia. Venyminen riippuu  $\text{Ø}-20\text{dB}$ :sta, antennin keilanleveydestä  $-20\text{dB}$ :ssä ja tutkan ja tuulivoimalan välisestä etäisyydestä  $D$ . Radar = tutka, Wind turbine = tuulivoimala, Blade length = lavan pituus, Extension of the blade echo = lapojen kaiun venyminen, Beam Width = keilanleveys.

Standardin IEC 62388 mukaan vaadittu keilanleveys laivan tutkassa on korkeintaan  $2^\circ$  -3 dB:n pisteissä ja korkeintaan  $10^\circ$  -20 dB:n pisteissä. Kaiun venyminen kahden ja kymmenen asteen keilanleveyksille tutkan ja tuulivoimalan välisen etäisyyden kasvaessa on esitetty Kuvassa 4.



Kuva 4 Kaiun venyminen metreissä keilanleveyksille  $2^\circ$  (-3 dB) ja  $10^\circ$  (-20 dB) tutkan ja suuren kohteen eli tuulivoimalan välisen etäisyyden (D) funktiona. Echo extension = kaiun venyminen, Distance between radar and wind turbine = tutkan ja tuulivoimalan välinen etäisyys, NM = meripeninkulma (nautical mile).

Selvityksessä oletettiin, että tutkan eteen vaaditaan häiriötön (tutkakuvan) ohjausnäkyvä yhden meripeninkulman (1852 m) etäisyyteen asti. Kyseisellä etäisyydellä laivan pituus voi pidentyä enintään 163 m tutkan näytöllä tutkan S- ja X-taajuuskaistoilla. Kun suurin oletettu tuulivoimalan laivan pituus on 138 m, yhden meripeninkulman etäisyydellä pyörivä lapa voi näyttää tutkakuvassa 138 m + 163 m = 301 m pitkältä (ks. Kuva 5).

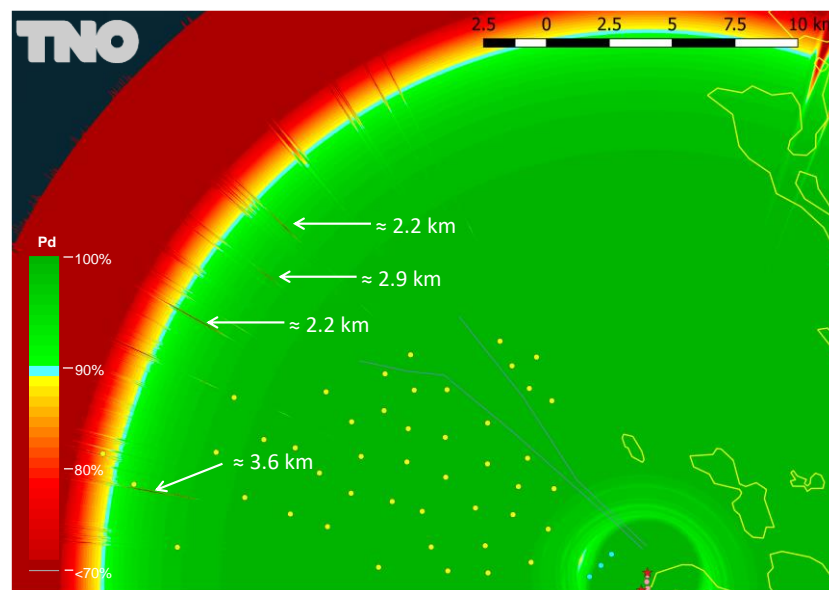


Kuva 5 Lähikuva laivaväylästä ja tuulivoimaloista väylän reunoilla. Tuulivoimaloiden ympärille on piirretty vaaleanvihreällä ympyrät, joiden säde on 301 m. Fairway = laivaväylä, WTG = tuulivoimala, Within fairway = laivaväylällä, Crossing fairway = sivuaa laivaväylää.

#### 1.4 VTS-tutkan suorituskyvyn heikkeneminen

45 uutta voimalaa Tahkoluodon tuulivoimapuiston laajennusosassa lyhentää voimakkaasti molempien VTS-tutkien mittausaluetta lukuisissa kohdissa. Ilmiön voimakkuus vaihtelee riippuen tuulivoimalan ja tutkan välisestä etäisyydestä ja siitä, onko VTS-tutkasta käsin katsottuna samalla linjalla useampia tuulivoimaloita. Näissä tapauksissa varjostusvaikutus lisääntyy. Tutkakuva parantuu kuitenkin merkittävästi, kun molempien tutkien tuottama kuva yhdistetään. Jäljelle jää vain neljä katvealuetta, joiden pituus vaihtelee 2,2:sta 3,6 km:iin (ks. Kuva 6). Kunkin katvealueen suurin leveys on noin 40 m. On siis epätodennäköistä, että alus jäisi tutkalta pitkäksi aikaa havaitsematta.

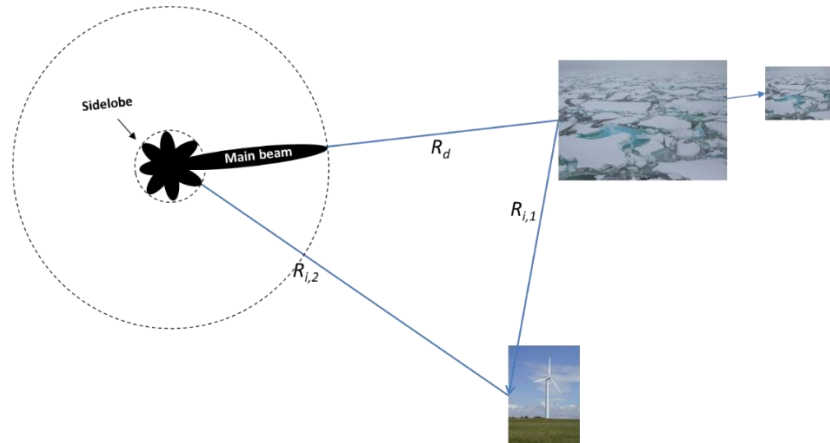
Lisäksi jos katvealue sijoittuu tärkeälle sektorille, asia voidaan ratkaista siirtämällä muutaman tuulivoimalan paikkaa.



Kuva 6 Olemassa olevien maalla ja merellä sijaitsevien tuulivoimaloiden sekä Tahkoluodon merituulipuiston laajennuksen 45 tuulivoimalan aiheuttamat katvealueet tilanteessa, jossa VTS 1 ja VTS 2 -tutkien kuvat on yhdistetty.

## 1.5 Talviolosuhteet

Jään tutkavaste on alhainen. Tutkan asetuksia muuttamalla jää on juuri ja juuri nähtävissä tutkakuvassa. Alhaisen heijastavuuden takia jään epäsuora heijastus tuulivoimaloiden kautta on vieläkin alhaisempi (ks. Kuva 7). Sen takia tuulivoimaloilla ei ole juuri vaikutusta jäiden havaitsemiseen talvimerenkulussa.

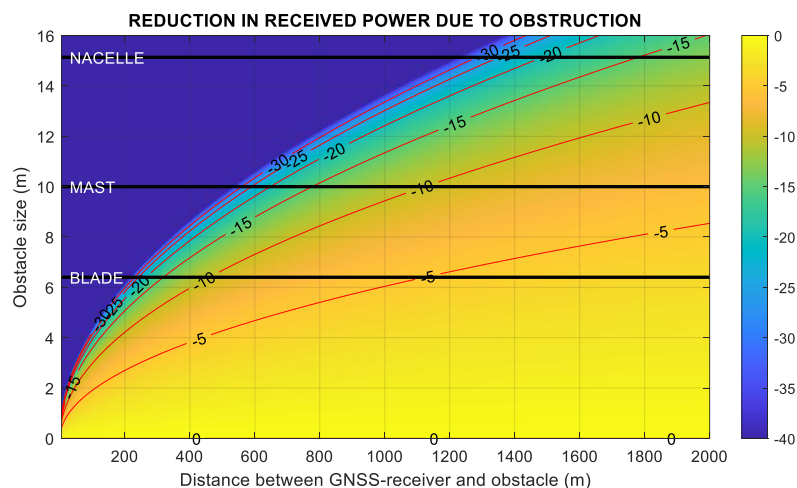


Kuva 7 "Valejään" ilmaantuminen. Main beam = pääkeila, Sidelobe = sivukeila.

## 1.6 GPS-järjestelmä

Lähellä GNSS-vastaanottimia sijaitsevista (meri)tuulivoimaloista johtuvia GNSS-järjestelmän paikannusongelmia ei ole raportoitu tai tallennettu. Aiemmat testit merituulipuistossa ovat lisäksi osoittaneet, että tuulivoimaloiden vaikutukset GNSS-järjestelmän toimintaan ovat minimaalisia.

Tuulivoimala voi häiritä GPS-satelliitin signaalia. Ks. Kuva 8.

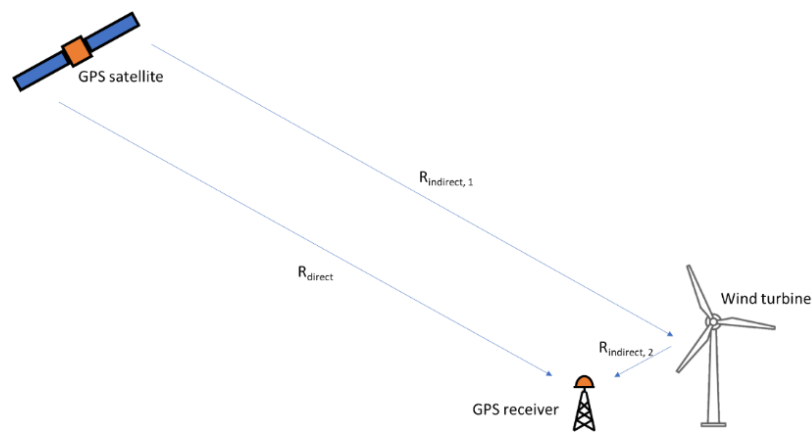


Kuva 8 Tehovaimennus (dB) esteen ja vastaanottimen välisen etäisyyden  $d_2$  ja esteen koon funktiona. Vaakasuuntaiset viivat kuvaavat tuulivoimalan tornin, konehuoneen ja lapojen kokoa. Obstacle size = esteen koko, nacelle = tuulivoimalan konehuone, mast = tuulivoimalan torni, blade = lapa.

Horisontaalisen tarkkuusluvun (engl. HDOP, Horizontal Dilution Of Precision) laskennan perusteella paikannusvirhe, joka johtuu yhdestä GPS-satelliitista tulevien

signaalien häiriintymisestä, pysyy yleensä hyvin Kansainvälinen merenkulkujärjestön (engl. IMO, International Maritime Organization) asettamissa rajoissa. Jos mittausvirhe on suuri, vaikutusta vähentää GPS-vastaanottimen paikannusseuranta/suodatus. Lisäksi muiden GNSS-palveluiden käyttäminen GPS:n ohella parantaa edelleen paikannusta.

Tuulivoimalat voivat aiheuttaa GNSS-signaalin monitie-etenemisestä johtuvia virheitä. Erittäin harvinaisissa tapauksissa (noin 0,01 %) keskimatkan mittauksissa voi olla virheitä muutamasta metristä kymmeneen, jos tuulivoimalan lavan keskustan ja vastaanottimen välinen etäisyys on alle 150 m (ks. kuva 9). Yleisesti ottaen tuulivoimalasta johtuva monitievaikutus on kuitenkin merkityksetön.



Kuva 9 Monitiegeometria. GPS satellite = GPS-satelliitti, direct = suora, indirect = epäsuora, GPS receiver = GPS-vastaanotin, wind turbine = tuulivoimala.

Johtopäätöksenä voidaan siis sanoa, että läheisten tuulivoimaloiden kokonaisvaikutus GNSS-paikannukseen on erittäin pieni tai mitätön.



## 2 Summary in English

### 2.1 Introduction

Suomen Hyötytuuli has plans to extend their current offshore wind farm Tahkoluoto with 45 wind turbines in the top power range from 11 MW to 20 MW. It is anticipated that the wind turbines will have a rotor diameter of up to 276 m and a hub height of up to 175 m, resulting in a tip height of more than 300 m. The extension will be situated east and west from the major fairway towards the Port of Mäntyluoto. TNO has been asked by Suomen Hyötytuuli Oy to investigate the potential effects of the wind turbines next to the fairway on the navigation radars of the approaching and departing ships and the Vessel Traffic Services (VTS) radars that are used to control the ship traffic, see Figure 2. During the pass through the fairway, the ships are under control of a pilot.

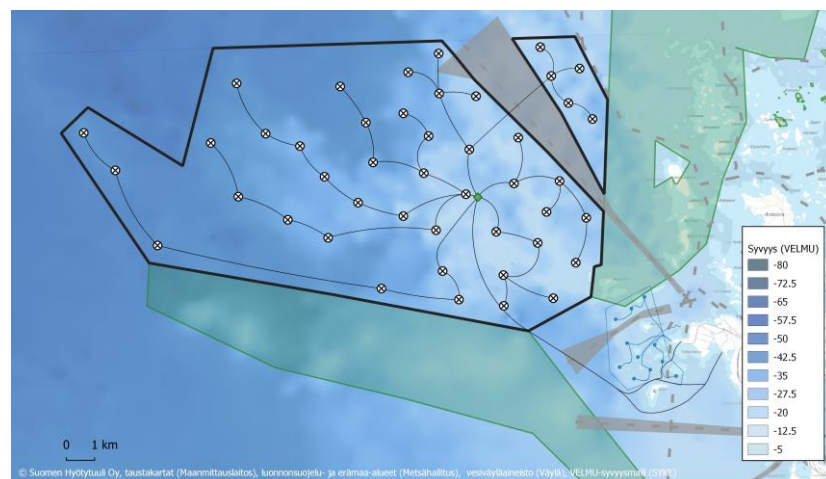


Figure 2 Wind turbines locations of Tahkoluoto extension. The layout of the fairways are indicated as grey zones. [Source: Suomen Hyötytuuli Oy]

The following aspects has been assessed:

- The possibility of ghost echoes that may appear on the ships S or X-band navigation radar;
- The echo extension of blades that will be visible on the ships S or X-band navigation radar;
- The loss of detection capability of the two VTS radars involved, due to the offshore wind turbines;
- The additional effects that may occur on the ships X-band navigation radar, during sea ice conditions;
- The potential effects of the wind turbines on Global Navigation Satellite Systems (GNSS), such as the Global Positioning System (GPS) and therefore the Automatic Identification System (AIS) performance.

## 2.2 Ghost echoes

Ghost echoes can occur due to reflection on the turbines of the planned wind farm. For both the S-band radar and the X-band radar an attenuation of at least 40 dB is expected with regard to the real target, but when the target has a high RCS the appearance of ghost echoes is possible.

These ghost echoes will always appear behind a real target. When the real target is far away, the ghost echo can exist at a short distance behind the real target.

However, when the real target is at close range, the ghost echo will fall in or behind the Tahkoluoto Extension, see Figure 1. Therefore it is not likely the turbines will hamper navigation in the fairway.

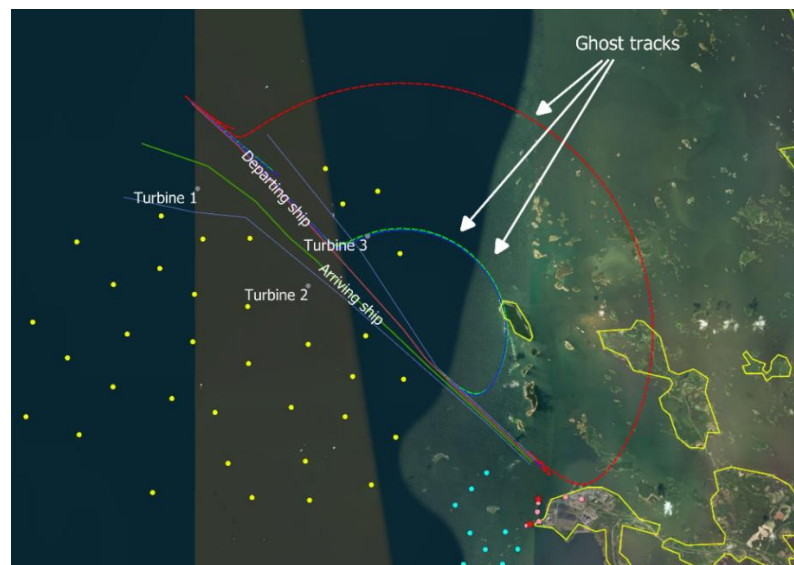


Figure 1 The calculated ghost tracks as a result of reflections on Turbine 1 (WTG 7), 2 (WTG 4) and 3 (WTG 42). The red track corresponds with a reflection with Turbine 1, the green with a reflection on Turbine 2 and the blue track with a reflection on Turbine 3. The green and blue line are almost overlapping.

### 2.3 Blade echo extension

Due to the high radar cross section (RCS) of the wind turbines blades, the radar echo on the ship's radar screen will appear longer than the actual length of the blades, see Figure 2.

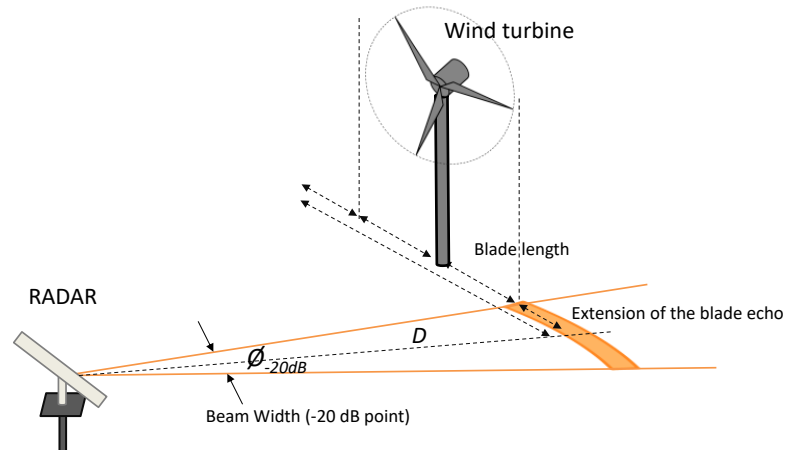


Figure 2 Due to the large backscatter of wind turbine blades the echo of the blades is extended. The extension depends on  $\varnothing_{-20dB}$ , the antenna beam width at -20 dB and  $D$  the distance between the radar and the wind turbine.

In accordance to IEC 62388, the minimum required beam width of a ship's navigation radar have to be  $2^\circ$  or less at the -3 dB points and  $10^\circ$  or less at the -20 dB points. The echo extension for a  $2^\circ$  and  $10^\circ$  beam width at increasing distances between the radar and a target is shown in Figure 3.

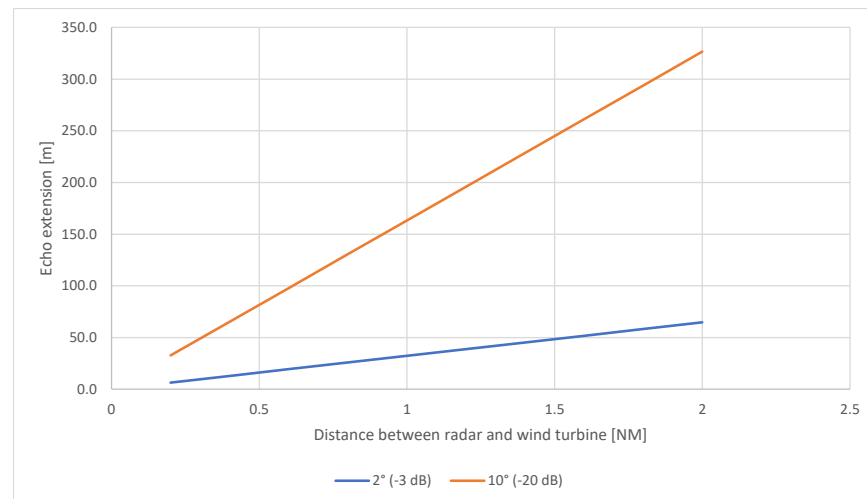


Figure 3 The echo extension in meters for a  $2^\circ$  (-3 dB) and  $10^\circ$  (-20 dB) beamwidth as a function of the distance ( $D$ ) between the radar and a large target, *i.e.* the wind turbine.

For the study, it is assumed that an un-interfered steering view in front of the radar is required of up to a distance of 1 NM or 1852 m. At that distance the blade length can extend up to 163 m on the radar screen of both the S-band or X-band navigation radar. Taking into account the maximum anticipated rotor blade radius of 138 m, this means that in case of a blade flash, the echo of the blade can appear

138 m + 163 m = 301 m from the centre of the wind turbine at a distance of 1 NM, see Figure 4.



Figure 4 A close-up of the fairway and the wind turbines at its borders. The light green circles around the wind turbine position have a radius of 301 m.

## 2.4 VTS radar detection loss

The 45 additional wind turbines of Tahkoluoto Extension causes a high number of deep reductions of detection range for both individual VTS radars. The depths differ, depending of the distance of the wind turbine to the radar and if multiple wind turbines are in the same line of sight as seen from a VTS radar position. In these cases there is a cumulative effect of the shadow. However when both radars are combined, the radar picture improves significantly. Only four dips in loss of detection remain, ranging from 2.2 km to 3.6 km, see Figure 5. The maximum width of each dip measures approximately 40 m. It is therefore unlikely that a vessel will remain undetected for a long period.

In addition, if the loss of detection occurs in a sector with high importance, it may be solved by clever arranging of a number of wind turbine positions.

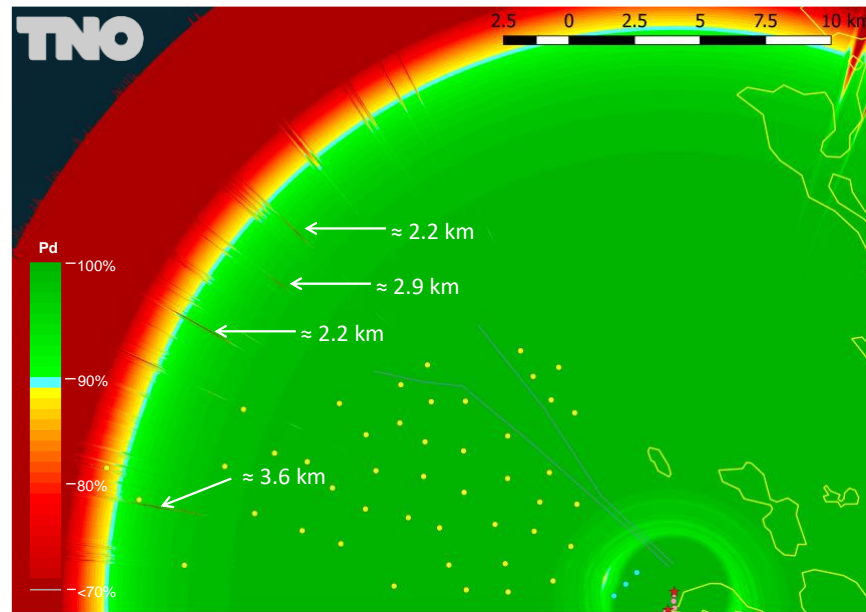


Figure 5 The loss in detection ranges for the combined radar picture of VTS 1 and VTS 2 caused by the existing onshore wind turbines and the offshore wind turbines and the 45 wind turbines of Tahkoluoto Extension.

## 2.5 Sea ice conditions

The radar reflectivity of ice masses is low. By using enhancement techniques in the radar, they reflect just enough to be visible on radar. Due to this low level, the indirect reflection via the wind turbines will be even lower, see Figure 6. Therefore the wind turbines will have virtually no influence on ice navigation.

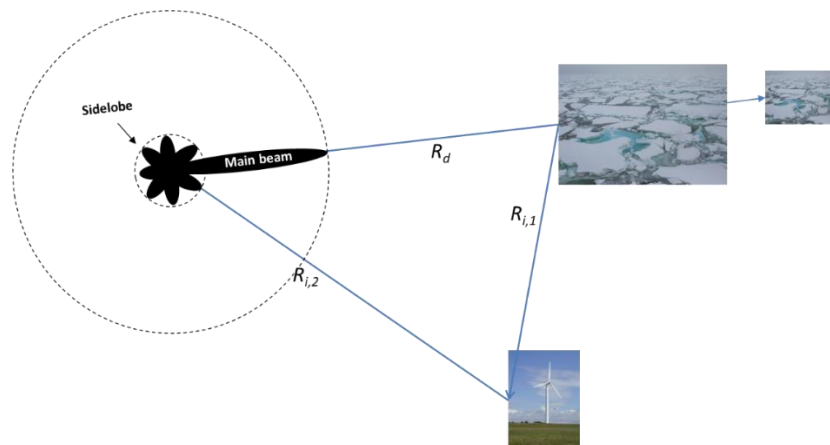


Figure 6 Occurrence of "ghost ice".

## 2.6 Global positioning systems

There is no evidence found in terms of reports or recordings of GNSS positioning problems caused by (offshore) wind turbines in the vicinity of GNSS-receivers. In addition, earlier trials at an offshore wind park have revealed minimal impact on GNSS-performance.

Obstruction of signal from a GPS-satellite by a wind turbine is possible. See Figure 7.

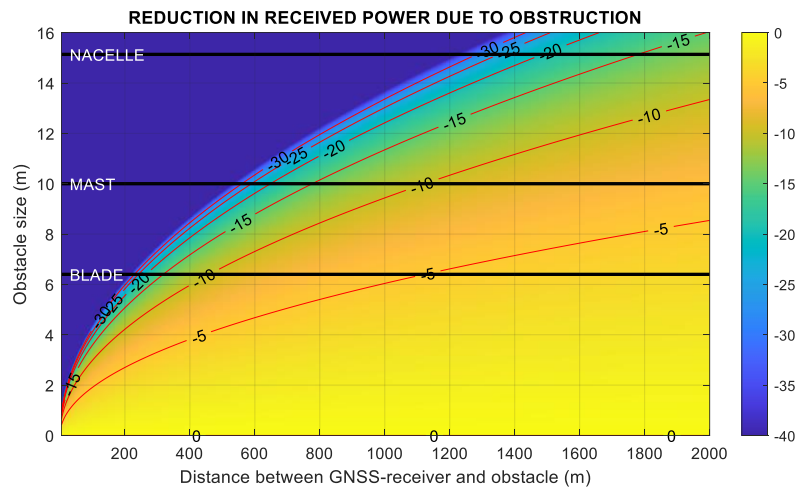


Figure 7 Power attenuation (dB) as a function of the distance  $d_2$  between obstruction and receiver and the size of the obstruction. The horizontal lines correspond to the characteristic sizes of a wind turbine's mast, nacelle, and blade.

Based on the computation of the Horizontal Dilution Of Precision (HDOP), the positioning error due to obstruction of the signals from a single GPS-satellite is considered in most cases well within the limits as posed by the International Maritime Organization (IMO). In the case that the measurement error is large, this effect is reduced by position tracking/filtering of the GPS-receiver. In addition the use of other GNSS-services besides GPS, will enhance the position estimation further.

Wind turbines may create GNSS signal multipath errors. In extremely rare cases ( $\sim 0.01\%$ ) pseudorange measurements can have errors of a few to several dozens of meters when the distance between the centre of the wind turbine blade and the receiver is smaller than 150 m, see Figure 8. However in general the effect of multipath due to the presence of the wind turbine is negligible.

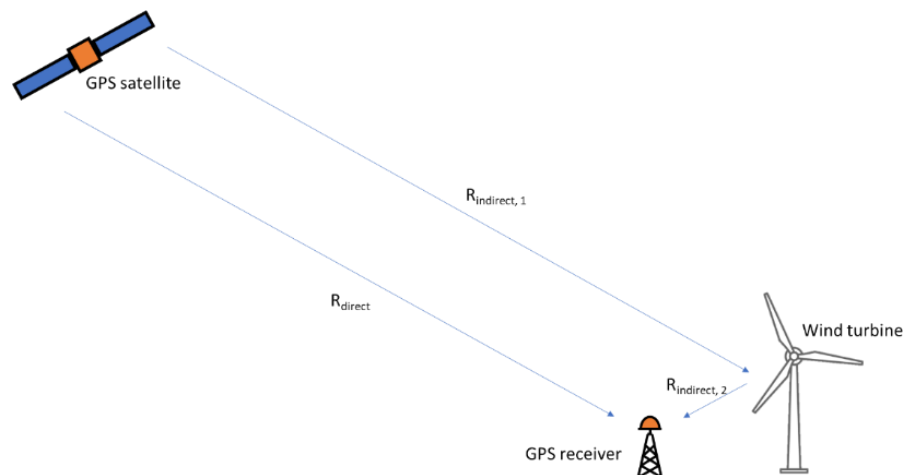


Figure 8 Multipath geometry.

It is therefore concluded that the overall effect of the presence of wind turbines in the vicinity of GNSS-positioning is very small and negligible.