

Ålands landskapsregering

Planläggning och miljöbedömning av generalplan Sunnavind

Bilaga 11. Underlagsutredning: Synbarhetsanalys

07-05-2025



Uppdragsinformation

Uppdragsnamn Planläggning och miljöbedömning av generalplan Sunnavind

Uppdragsnummer 10359887

Författare Henrik Jonsson, Noah Brautigam

Datum 07-05-2025

Granskad av Lina Klaar

Godkänd av Jonas Sahlin

Kund

Ålands landskapsregering

Konsult

WSP

WSP Sverige AB

Org nr: 556057-4880

wsp.com

Kontaktpersoner

Ålands landskapsregering

Ralf Häggblom, energisamordnare

ralf.haggblom@regeringen.ax

Tel: +358 18 25 000

WSP

Jonas Sahlin, uppdragsledare WSP

Jonas.sahlin@wsp.com

Tel: +46 010 722 88 09

Omslagsbild: Nicklas Wijkmark

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Avgränsningar	1
1.4	Synbarhet och visuell påverkan	1
2	Metod	2
2.1	Analysantaganden	2
2.1.1	Jordens krökning och ljusbrytningseffekt	3
2.1.2	Maximal siktlängd	4
2.2	Digitala höjdm modeller	5
2.2.1	Markhöjdmodell	5
2.2.2	Ythöjdmodell	5
2.2.3	Normaliserad höjdmodell	6
2.3	Synbarhetsanalys	7
2.3.1	Avståndszoner	7
2.3.2	Väderförhållanden	9
2.3.3	Siktlängder och vindkraftverkens höjd	11
2.4	Visualisering	12
3	Resultat	14
3.1	Samtliga scenarier – Statistiska resultat	14
3.2	Nacellhöjd 190 m	16
3.3	Bladspetshöjd 340 m	19
3.4	Synbarhet från utsiktspunkter på land	22
4	Diskussion	24
4.1	Årstidsvariationer	24
4.2	Avståndets påverkan	25
4.3	Markhöjdmodell och ythöjdmodell	26
4.4	Vindkraftverkens höjd	27
5	Sammanfattning	28
6	Referenser	30
	Bilaga A: Synbarhet nacellhöjd sommarperiod kartserie 1–4	31
	Bilaga B: Synbarhet nacellhöjd sommarperiod kartserie 5–8	32
	Bilaga C: Synbarhet nacellhöjd sommarperiod kartserie 9–12	33

Bilaga D: Synbarhet nacellhöjd sommarperiod kartserie 13–16	34
Bilaga E: Synbarhet bladspetshöjd sommarperiod kartserie 1–4	35
Bilaga F: Synbarhet bladspetshöjd sommarperiod kartserie 5–8	36
Bilaga G: Synbarhet bladspetshöjd sommarperiod kartserie 9–12	37
Bilaga H: Synbarhet bladspetshöjd sommarperiod kartserie 13–16	38

1 Inledning

Denna rapport innehåller en synbarhetsanalys av projekt Sunnanvind. Synbarhetsanalysen utgör en del av den övergripande miljöbedömningen och presenterar hur vindkraftsområdet teoretiskt skulle kunna uppfattas från olika utsiktspunkter på land, vid en maximal utbyggnad av området.

1.1 Bakgrund

Ålands landskapsregering har som mål att etablera Åland som ett centrum för förnybar energi i Norden. Detta inkluderar att främja entreprenörskap, innovation samt forskning och utveckling inom landskapet. En central del av denna strategi är att möjliggöra utvecklingen av storskalig havsbaserad vindkraft. För att säkerställa maximal samhällsnytta för Åland och dess invånare samt minimera miljöpåverkan har landskapsregeringen fastställt riktlinjer för etableringen av vindkraft.

Projektet Sunnanvind har initierats för att genomföra åtgärder som möjliggör utbyggnaden av havsbaserad vindkraft. Inom ramen för detta projekt ska en generalplan utarbetas och omfattande miljöbedömningar genomföras. När generalplanen har färdigställts och antagits kan bygglov beviljas för projekt som uppfyller generalplanens krav. Landskapsregeringen avser att auktionera ut nyttjanderätten av vindkraftsområdet på marknadsmässiga och konkurrensutsatta villkor, vilket ger investerarna möjlighet till vidare utveckling. För att ta fram generalplanen och genomföra miljöbedömningar har WSP Sverige AB anlitats som konsult.

1.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att analysera synbarheten av vindkraftsområdet på Åland och dess potentiella visuella påverkan på landskapet. Synbarhetsanalysen utgör en del av den övergripande miljöbedömningen och syftar till att:

- Bedöma hur synliga vindkraftverk eller delar av dessa kan komma att bli från olika platser på Åland.
- Kartlägga områden där den visuella påverkan kan vara särskilt påtaglig.
- Identifiera de viktigaste faktorerna som påverkar synbarheten, såsom väderförhållanden, vegetation, jordens krökning och ljusbrytning.

1.3 Avgränsningar

Studien omfattar en kvantitativ bedömning av synbarheten baserat på geografiska och meteorologiska faktorer. Rapporten behandlar enbart den fysiska synbarheten av vindkraftverken och inte den subjektiva upplevelsen av dess visuella påverkan. Det innebär att synbarhetsanalysen inte undersöker hur vindkraftverken uppfattas estetiskt av observatören, exempelvis om de anses vara störande eller integrerade i landskapsbilden. Fokus ligger i stället på objektiva parametrar, såsom från vilka geografiska punkter vindkraftverken kan komma att observeras och i vilken utsträckning de är synliga vid olika avstånd.

I synbarhetsanalysen har standardiserade beräkningsmetoder tillämpats. Dessa metoder baseras på digitala höjdm modeller och bland annat meteorologiska data för att beräkna synbarheten under varierande siktförhållanden. Lokala variationer – exempelvis hur bebyggelse och vegetation kan blockera sikten – kan påverka det faktiska utfallet i specifika områden.

1.4 Synbarhet och visuell påverkan

I och med vindkraftverkens storlek och avvikande form från det omgivande landskapet medför vindkraftsetableringar en visuell påverkan på landskapet. Graden av påverkan varierar dock med landskapets topografi och innehåll, rådande siktförhållanden och vindkraftverkens höjd och placering. I det närliggande landskapet blir vindkraftverken ofta ett dominerande element men även på längre avstånd kan de vara tydligt

synbara. Detta gäller framför allt i öppna områden som saknar ytterligare objekt som konkurrerar visuellt om uppmärksamheten. Sammanfattningsvis beror synbarheten och den visuella effekten i stor utsträckning på följande faktorer:

- Avstånd – Den visuella påverkan minskar när avståndet mellan observatör och vindkraftverk ökar.
- Markhöjd – Höjdvariationer i terrängen kan dölja eller förstärka synbarheten beroende på observatörens position.
- Vegetation – Skog och annan växtlighet kan delvis eller helt skymma vindkraftverk och därmed minska deras visuella påverkan.
- Omgivningens karaktär – Områden med befintliga byggda strukturer tenderar att påverkas mindre än naturliga, orörda landskap.
- Väderförhållanden – Dimma, nederbörd och luftföroreningar kan reducera synbarheten, medan klara förhållanden kan förstärka den.
- Årstidsvariationer – Skillnader i vegetationsmängd och ljusförhållanden mellan årstider påverkar hur väl vindkraftverken syns.
- Jordens krökning – På långa avstånd kan jordens krökning delvis dölja de nedre delarna av vindkraftverken.
- Ljusbrytning – Atmosfäriska ljusbrytningsfenomen kan göra att vindkraftverk som befinner sig under horisonten ändå syns på längre avstånd.
- Kontrast – Vindkraftverkens färg och ljusreflektion i förhållande till bakgrundens färg och ljusförhållanden påverkar deras synlighet. En ljus struktur mot en mörk bakgrund ökar synbarheten, och omvänt.

För att systematiskt analysera den planerade vindkraftsparkens visuella påverkan används visuella konsekvensbedömningar (Visual Impact Assessments, VIA), en metodik som utgör en viktig del av miljökonsekvensbedömningen för industriella anläggningar. En VIA syftar till att ge en objektiv beskrivning av en anläggnings inverkan på landskapet genom att kartlägga områden där visuell påverkan kan uppstå. En central komponent i denna analys är den teoretiska synbarhetszonen (Zone of Theoretical Visibility, ZTV), där områden från vilka en struktur teoretiskt sett kan vara synlig identifieras (Landscape Institute & Institute of Environmental Management and Assessment, 2013). Modelleringen av ZTV kan genomföras med olika grader av komplexitet. En grundläggande analys baseras enbart på den maximala höjden av den planerade anläggningen i relation till en markhöjdmodell av omgivningen, vilket resulterar i en binär kartläggning av potentiell synlighet. Mer avancerade analyser tar även hänsyn till faktorer såsom ljusbrytning, väderförhållanden och terrängens utformning.

2 Metod

I detta kapitel beskrivs de metoder och antaganden som användes i synbarhetsanalysen och som ligger till grund för bedömningen av vindkraftverkens visuella påverkan på landskapet. Metodkapitlet omfattar de tekniska och vetenskapliga tillvägagångssätt som tillämpats, inklusive användningen av digitala höjdmodeller, väderdata och beräkningsmodeller.

2.1 Analysantaganden

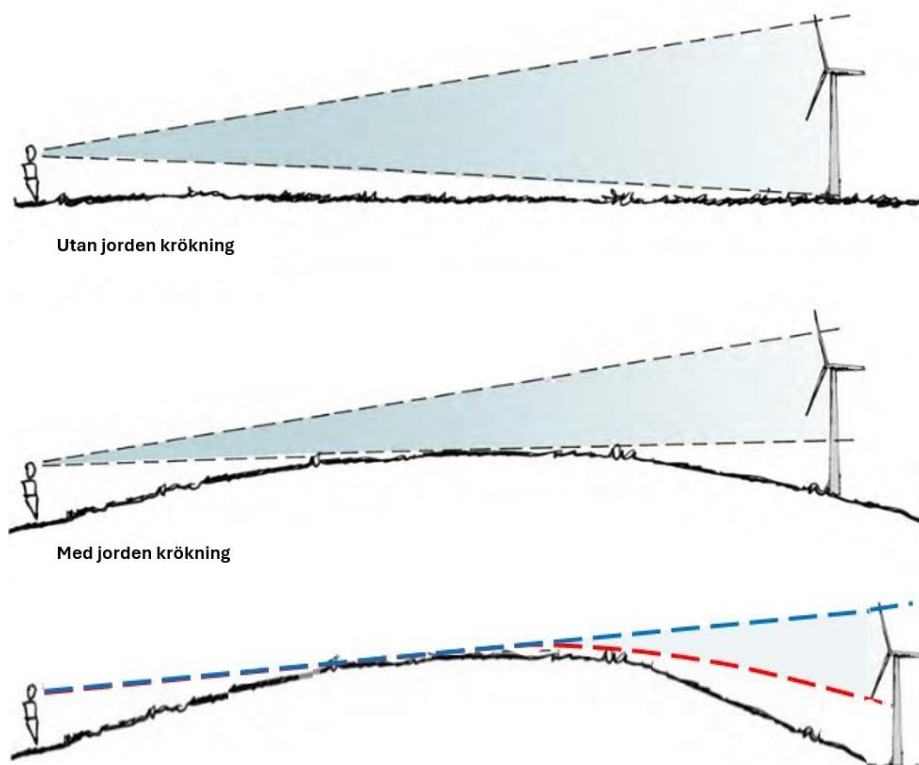
Samtliga modelleringsanalyser bygger på ett antal antaganden, vilka listas nedan. I kapitlen 2.1.1 och 2.1.2 utvecklas de antaganden som kräver en mer djupgående förklaring.

1. Analysen utgår från ett scenario om 325 vindkraftverk placerade i ett geometriskt mönster inom planområdets gränser, där avståndet mellan varje vindkraftverk uppgår till minst 1,6 km. Sedan denna analys utförts har förutsättningarna förändrat sig och antalet vindkraftverk i planen avgränsats från till 301. Den faktiska utformningen av parken och placeringen av vindkraftverken kommer i realiteten även att behöva anpassas efter en rad olika faktorer som exempelvis vattendjup och havsbottens geologiska egenskaper.

2. I synbarhetsanalysen antas att vindkraftverken inte döljer varandra. Detta innebär att varje vindkraftverk analyseras som om det vore det enda vindkraftverk i synfältet, och bedöms som synligt i analysresultaten om någon del av det teoretiskt sett skulle kunna ses. Till exempel skulle vindkraftverk längst borta från en observationspunkt på land i praktiken döljas av framförliggande vindkraftverk, men dessa inkluderas i den kumulativa synbarheten.
3. Objekt som befinner sig i siktlinjen mellan observatören och de teoretiska vindkraftverken antas blockera sikten helt, vilket i verkligheten varierar beroende på typ av vegetation och årstid.
4. För att ta hänsyn till ljusbrytningseffekten i atmosfären bestämdes refraktionskoefficienten till 0,13. Refraktionskoefficienten anger ljusbrytningseffekt och detta värde är industristandarden i synbarhetsanalyser, då värdet 0,13 uppkommer vid standardatmosfärstryck (se kapitel 2.1.1) (Yoeli, 1985).
5. Den teoretiska siktlängden för det mänskliga ögat under optimala väderförhållanden är 71 km vilket användes som det maximala avståndet mellan observatören och de teoretiska vindkraftverken (se kapitel 2.1.2).
6. För att ta hänsyn till exponeringen av vindkraftverkens turbinblad utgår synbarhetsanalysen från en bladspets höjd på 340 m. Forskning visar att en viss del av turbinbladens yta måste vara exponerad för att det mänskliga ögat ska kunna uppfatta det (Palmer, 2022). En reduktion av vindkraftverkens totala höjd med 10 m är ett konservativt antagande.

2.1.1 Jordens krökning och ljusbrytningseffekt

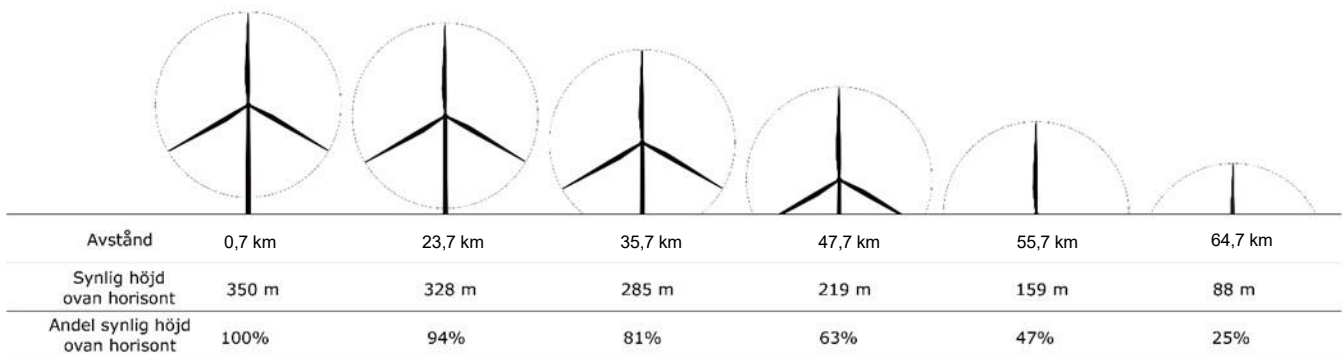
På långa avstånd börjar jordens krökning att delvis skymma objekt vid horisonten. Vid stora avstånd påverkas även ljusets utbredning av atmosfärisk refraktion (ljusbrytning), vilket medför att ljusstrålar avviker från en rät linje när de passerar genom atmosfären. Denna avvikelse uppstår på grund av variationer i luftens densitet som en funktion av höjd. Som en konsekvens kan objekt som i verkligheten befinner sig under horisonten framstå som synliga ovanför den (figur 1). Effekten av jordens krökning är dock i vanliga fall betydligt mer påtaglig än den atmosfäriska refraktionen, vilket innebär att refraktionen endast har en begränsad korrigerande inverkan på den synbara horisonten (Sullivan & Meyer, 2014).



Figur 1. Figureerna visar effekten av jordens krökning på sikten vid stora avstånd. Den nedre figuren illustrerar en förenklad bild av effekten av refraktion vilket medför att objekt som egentligen befinner sig under horisonten blir synliga (Earth Curvature and Refraction, 2014).

I synbarhetsanalysen beaktades jordens krökning genom att höjdmodeller omvandlades till ett geocentriskt 3-dimensionellt koordinatsystem innan synbarheten beräknades (ESRI, 2024). För att ta hänsyn till ljusbrytningseffekten användes koefficienten 0,13 i modelleringsprocessen, vilken innebär att ljuset följer en svagt konkav bana, böjd med jordens krökning. Beroende på atmosfäriska förhållanden och tidpunkt på dagen kan ljusets brytning i atmosfären variera kraftigt, men 0,13 är den allmänt accepterade konstanten som används inom geomatik (Sullivan & Meyer, 2014).

Det är särskilt viktigt att ta hänsyn till jordens krökning i en synbarhetsanalys av ett vindkraftsområdet till havs på grund av de långa avstånden mellan vindkraftverken och de påverkade observatörerna. Figur 2 visar andelen av ett 350 m högt vindkraftverk som skulle synas ovanför horisonten på olika avstånd till följd av jordens krökning. I verkligheten kan storleksförhållanden avvika från figuren beroende på väderlek och hur stark ljusbrytningseffekten är vid observationstillfället.



Figur 2. Schematisk figur som visar andelen av ett vindkraftverk som skulle synas ovanför horisonten på olika avstånd till följd av jordens krökning. Figuren är baserad på en vindkraftverkshöjd om 350 m, med en frigång på 30 m samt en fundamentsdiameter på 10m.

2.1.2 Maximal siktlängd

För att begränsa delar av synbarhetsanalysen till ett 'worst case' scenario antogs en maximal siktlängd "d" på 71 km. Även om maximal siktlängd kan variera och är beroende av ett antal variabler (bland annat genomsnittlig syn hos observatören, väder och atmosfäriska förhållanden), utgör 71 km det teoretiska maximala avståndet som en person med perfekt syn och med en ögonhöjd på 1,63 m kan se ett objekt som är 350 m högt under perfekta väderförhållanden och med hänsyn till jordens krökning.

Formeln nedan kommer från Pythagoras sats och används i geografiska och mätningstillämpningar. Variabeln "d" är den maximala siktlängden, "R" är jordens radie i kilometer (Moritz, 2000) och "h" är observatörens höjd i kilometer.

$$d = \sqrt{2 \times R \times h}$$

För att definiera avstånd mellan två olika observatörshöjder – i detta fall en ögonhöjd på 1,63 m och en vindkraftverkshöjd på 350 m – beräknas följande summa:

$$d_{total} = (d_{ögat} = \sqrt{2 \times 6371 \times 0,00163}) + (d_{vindkraftverk} = \sqrt{2 \times 6371 \times 0,35}) = 71 \text{ km}$$

Denna beräkning är mycket konservativ och tar inte hänsyn till väderförhållanden (särskilt luftfuktighet) eller mänskliga synnedsättningar, som vanligtvis kan begränsa synavståndet avsevärt. Till exempel har det visat sig att ett objekt som tydligt sticker ut mot sin bakgrund när det ses på nära håll i god sikt blir osynligt på ett avstånd av 55 km om kontrasten mellan objektet och dess omgivning skulle minska (Nielsen, *et al.*, 2007a).

2.2 Digitala höjdmodeller

Digitala höjdmodeller är nödvändiga för att kunna utföra en Visual Impact Assessment, VIA, och utgör även en viktig del av underlaget vid modelleringen av den teoretiska synbarhetszonen, ZTV.

För att skapa höjdmodellerna användes laserdatabaser från Lantmäteriverkets nationella laserskanningsprogram. Programmet har delat in Finland i ett antal områden där en yta på 55 000 km² skannas årligen. Det laserskannade materialet är i punktform där varje kvadratmeter innehåller ett antal punkter, ett så kallat punktmoln. Punktmoln är ett tredimensionellt material som beskriver hur jordytan och objekt på markytan ser ut och där varje punkt i punktmolnet innehåller uppgifter om x-, y- och z-koordinater (Lantmäteriverket, 2024).

Det öppna data som användes i synbarhetsanalysen har en punkttäthet på 0,5 punkter/m² vilket innebär att medelavståndet mellan punkterna är högst 0,40 m. Punktdensiteten har genomgått kvalitetskontroller och bearbetning för att utgöra grunden för den finska nationella höjdmodellen. Data har även genomgått en automatisk klassificeringsprocess som resulterat i flera punktklasser, vilka möjliggör filtrering och datarensning för att ta bort felaktiga punkter (Lantmäteriverket, 2024).

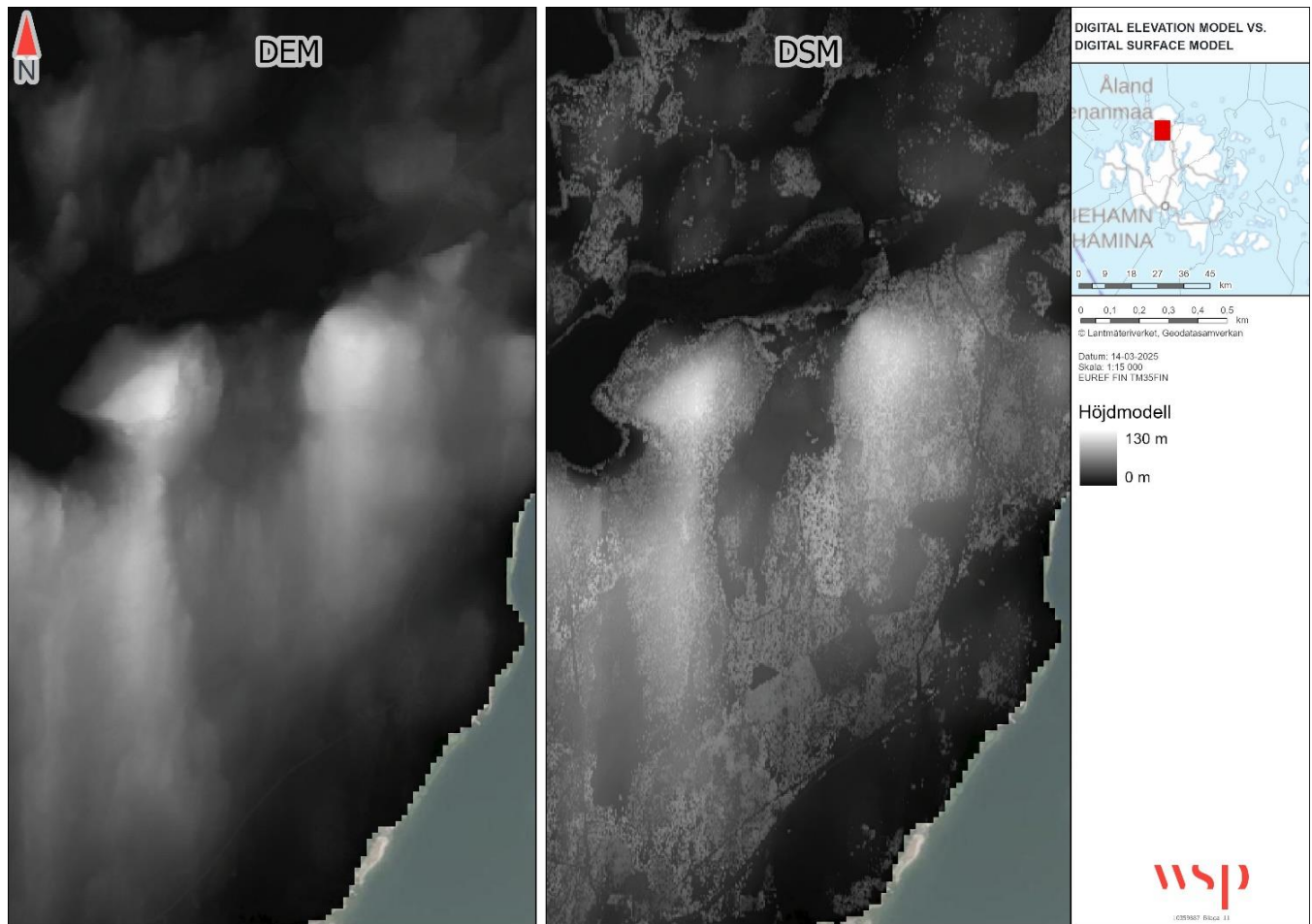
2.2.1 Markhöjdmodell

I synbarhetsanalysen användes en markhöjdmodell (Digital Elevation Model, DEM) hämtad från Lantmäteriverket med en upplösning på 2x2 m. Markhöjdmodellen baseras på punkter som är klassificerade som mark eller vatten i Lantmäteriverkets ursprungliga laserskanningsdata, vilket innebär att inga ovanjordiska objekt ingår i markhöjdmodellen. För att möjliggöra en smidigare bearbetning i synbarhetsanalysen minskades höjdmodellens spatiala rasterupplösning från 2 m till 5 m.

2.2.2 Ythöjdmodell

Ythöjdmodellen (Digital Surface Model, DSM) skapades genom att filtrera bort oönskade punkter från laserdatats punktmoln, såsom fåglar, kraftledningar och andra avvikelser. Efter filtreringen användes den klassificerade första returen från varje laserskanningspuls för att bestämma ythöjden vid varje punkt. Dessa punkter kan representera toppen av en byggnad, sidan eller toppen av ett träd eller markytan om inga andra objekt förekommer.

I denna analys har både vegetation och byggda strukturer behandlats som ogenomskinliga, oavsett årstid, typ av vegetation eller byggnadskonstruktion. I och med detta antagande skapades en modell som inkluderade både naturliga och konstruerade objekt på markytan. Den slutliga modellen interpolerades till ett rasterformat med en upplösning på 5x5 m för vidare analys. I figur 3 redovisas en jämförelse mellan markhöjdmodellen och ythöjdmodellen över ett mindre område på norra Åland.



Figur 3. En jämförelse mellan markhöjdmodellen (vänster), och ythöjdmodellen (höger) över ett mindre område på norra Åland. Vegetation och byggnader inkluderas i ythöjdmodellen vilket gör den mer lämplig för synbarhetsanalyser.

2.2.3 Normaliserad höjdmödel

Både markhöjdmödel och ythöjdmödel representerar höjd i meter över havet. För en mer detaljerad synbarhetsanalys krävs även en normaliserad höjdmödel (NHM). En normaliserad höjdmödel beräknas genom att subtrahera markhöjdmödel från ythöjdmödel vilket resulterar i ett lager som representerar höjd i meter över marknivå vid varje pixel. På platser utan objekt på markytan får den normaliserade höjdmödel ett värde på 0.

Den normaliserade höjdmödel användes i denna analys både för dataförbearbetning och efterbearbetning. Dessa steg krävdes eftersom modelleringsprocessen endast accepterar en höjdmödel som indata och behandlar alla pixlar som marknivå. Således genereras siktlinjer mellan alla observerade objekt (vindkraftverk) och en fast höjd (ögonhöjd) över varje pixel i höjdmödel.

För det första användes den normaliserade höjdmödel i förbearbetningen genom att exkludera vegetation och andra objekt på markytan vars höjd i ythöjdmödel (DSM) understeg ögonhöjd. Till exempel sänktes pixlar som representerade en buske som var 1,6 m hög till marknivå i ythöjdmödel, medan pixlar som representerade ett träd som var 1,8 m höga behölls. Detta var ett nödvändigt steg eftersom objekt under ögonhöjd inte blockerar siktlinjer, men om de ingick i modellen skulle dessa pixlar modelleras som en del av markytan. En höjmgräns av 1,7 m (i stället för den antagna ögonhöjden på 1,63 m) valdes som en konservativ åtgärd, med hänsyn till att vegetationens övre skikt ofta är delvis genomskinligt.

Vidare användes den normaliserade höjdmödel efter genomförd synbarhetsanalys för att exkludera synliga pixlar i resultatskikten som hade en höjd på 1,7 m eller högre i den normaliserade höjdmödel. Denna justering motiverades av det faktum att det är ovanligt att betrakta en vy från en position ovanpå en byggnad eller från ett träd.

2.3 Synbarhetsanalys

I detta kapitel presenteras synbarhetsanalysen av vindkraftsområdet. Analysen omfattar olika höjder på vindkraftverken, observatörshöjd, avståndszoner, samt varierande siktförhållanden. Syftet är att ge en objektiv bedömning av vindkraftsområdets synbarhet under olika förhållanden.

2.3.1 Avståndszoner

Avståndet till ett havsbaserat vindkraftsområde är en avgörande faktor för hur tydligt vindkraftverken uppfattas av en betraktare på land. För att på ett strukturerat sätt analysera denna faktor har landskapet delats in i fyra zoner (figur 4) baserat på avståndet från vindkraftsområdet (tabell 1). I Miljöministeriets publikation från 2024, *“Bedömning av vindkraftsutbyggnadens konsekvenser för landskapet”*, presenteras fyra indikativa avståndszoner för 300 m höga havsbaserade vindkraftverk baserat på tidigare undersökningar av dessa områdens visuella påverkan från landskapsbilden (Miljöministeriet, 2024; Nielsen, *et al.*, 2007b).

I denna analys extrapolerades dessa zoner för att omfatta vindkraftverk med en höjd på 350 m. Dessa zoner är inte fasta gränser utan snarare indikativa markörer för ett mer gradvist fenomen. I tabell 2 redovisas den totala ytan av Åland som omfattas av respektive avståndszon. För mer information om avståndszoner och den visuella påverkan av projekt Sunnanvind, se Bilaga 12 ”Kulturmiljö och landskapsbild”.

Tabell 1. Avståndszoner och dess specifika egenskaper i relation till vindkraftsområdets visuella påverkan på landskapet (Miljöministeriet, 2024).

Avståndszon	Avstånd	Synbarhet
Närzon	Cirka 0–23 km	<ul style="list-style-type: none"> I närzonen kan den visuella påverkan vara så betydande att landskapets karaktär och kvalitet påverkas. I närzonen kan vindkraftverken dominera landskapsbilden i öppna havsområden.
Mellanzon	Cirka 23–47 km	<ul style="list-style-type: none"> I mellanzonen kan vindkraftverken vara tydligt synbara men andra element i synfältet konkurrerar om uppmärksamheten. I mellanzonen minskar vindkraftverkens potentiella påverkan på landskapets karaktär och kvalitet med ökat avstånd. I mellanzonen är rotorbladens roterande rörelse möjlig att observera. I mellanzonen är vindkraftverken en del av landskapets komposition. I mellanzonen kan det vara svårt att uppfatta vindkraftverkens storlek och på vilket avstånd dom befinner sig.
Fjärrzon	Cirka 47–64 km	<ul style="list-style-type: none"> I fjärrzonen kan vindkraftverk och hinderbelysning synas, men det har kanske inte längre betydelse för landskapets karaktär och kvalitet.
Icke synbar zon	>64 km	<ul style="list-style-type: none"> I icke synbar zon är vindkraftverken inte längre synliga.



Figur 4. Planområdet, vindkraftsområdet och avståndszoner för projekt Sunnanvind. En yttre avståndszon har lagts till vid 71 km för att avgränsa det mänskliga ögats teoretiska maximala räckvidd (se kapitel 2.1.3).

Tabell 2. Total landyta (ha) av Åland som omfattas av respektive avståndszon.

	Total landyta (km ²)
Närzon	117,5
Mellanzon	940,5
Fjärrzon	336,5
Icke-synbar zon	131,5

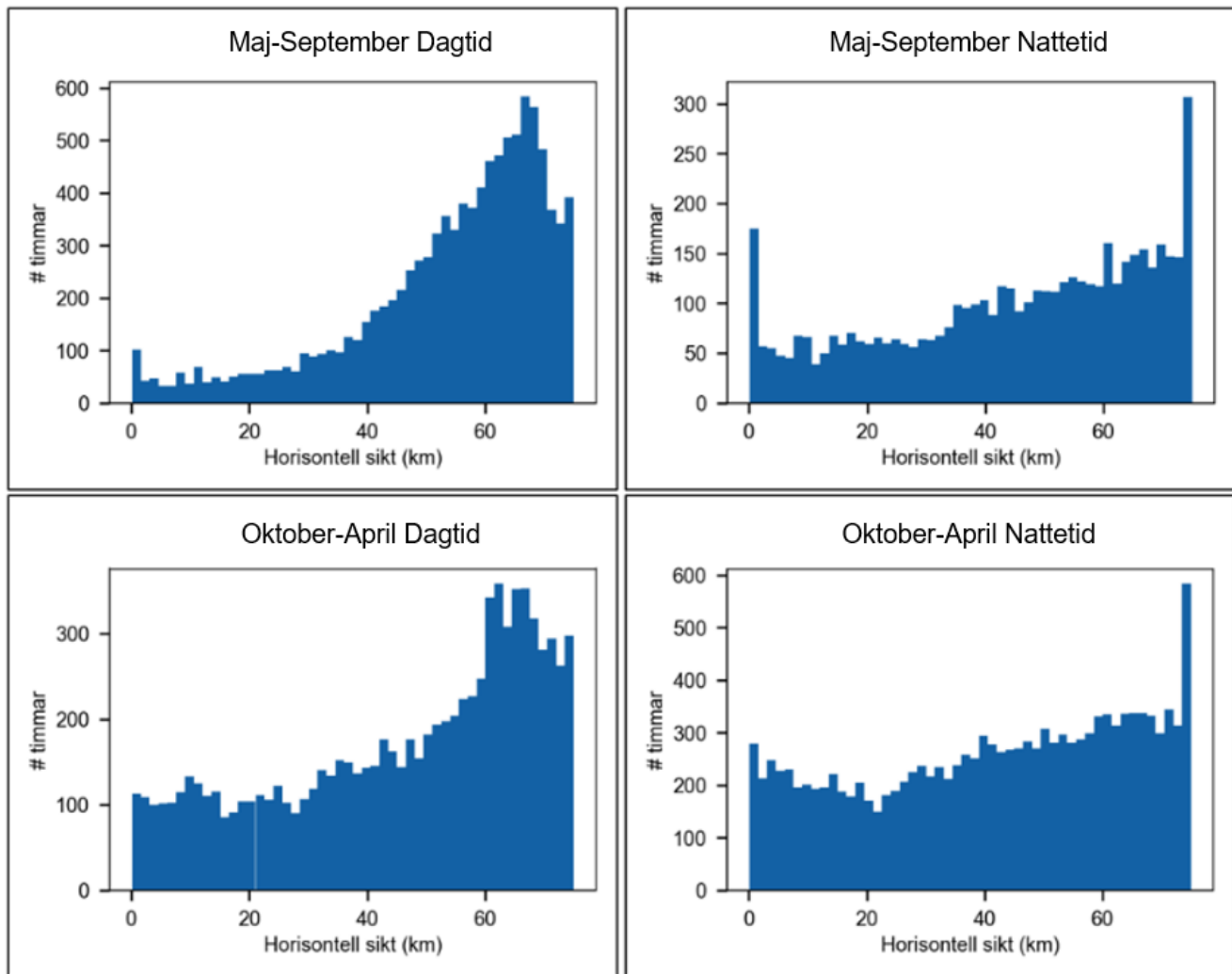
2.3.2 Väderförhållanden

Siktlängd är en viktig faktor i en synbarhetsanalys. Siktlängden kan variera kraftigt beroende på geografisk plats och rådande väderförhållanden. I en förenklad synbarhetsanalys antas ofta att siktlängden endast begränsas av jordens krökning. I denna synbarhetsanalys har dock lokala väderdata inkluderats för att ge en mer nyanserad och realistisk bild av synbarheten. För att ta hänsyn till typiska väderförhållanden på Åland skapades olika siktscenarier baserat på den genomsnittliga siktlängden dagtid under sommaren (maj-september) respektive vintern (oktober-april) under perioden 2019–2022. Den meteorologiska sikten beror dock endast på väderförhållanden och inte på om det är mörkt eller ljust ute (Meteorologiska Institutet, 2024).

Sikts scenarierna utvecklades med hjälp av automatiserade momentana horisontella siktobservationer från väderstationen på Mariehamns flygplats (Meteorologiska Institutet, 2024). Väderstationen använder en optisk mätare som mäter sikten med hjälp av infrarött ljus. Den optiska mätaren skickar ut ljus, vilket reflekteras på vattendroppar i luften, för att sedan i viss mån studsas tillbaka mot mätaren. Ju fler vattendroppar som finns i luften, desto mer ljus reflekteras tillbaka till mätaren. Baserat på mängden ljus som mätaren registrerar fastställer mätaren den aktuella sikten.

Siktlängden mäts i en liten luftvolym och med 10 minuters intervall. Siktlängden extrapoleras sedan upp till ett maximalt avstånd på 75 km. Denna metodik tar inte hänsyn till lokala variationer som påverkar siktlängden, men är mer konsekvent och tillförlitlig jämfört med visuella observationer.

Siktlängdsobservationerna kopplades till tidpunkterna för soluppgång och solnedgång för respektive dag under den fyraåriga undersökningsperioden. På detta sätt särskildes observationer utförda dagtid från de utförda nattetid. För att ytterligare differentiera observationerna delades data upp baserat på om de utförts under sommar- eller vintermånaderna vilket resulterade i fyra separata dataset (figur 5).



Figur 5. Resultaten av histogrammen för respektive dataset med siktlängdsobservationer.

Statistiska beräkningar för siktlängden genomfördes för de specificerade tidsperioderna i syfte att fastställa begränsande parametrar för den efterföljande synbarhetsanalysen (tabell 3). Medelvärdet för siktlängden användes som en referens för att bestämma den yttre radien i de olika scenarierna, vilket möjliggör en mer realistisk bedömning av synbarheten. Siktlängdsdata har analyserats i 10-minutersintervall, med totalt 34 558 timmar analyserade över en fyraårsperiod. På grund av saknad siktlängdsdata har 506 timmar uteslutits från synbarhetsanalysen.

Tabell 3. Sammanställning av siktlängder.

	Siktlängd >71 km (%)	Timmar analyserade	Min siktlängd (km)	Max siktlängd (km)	Medel siktlängd (km)
Maj-september, dagtid	11,9	9 773	63	75	54,1
Maj-september, nattetid	12,0	4 457	57	75	45,0
Oktober-april, dagtid	10,4	7 969	88	75	46,5
Oktober-april, nattetid	9,5	12 359	50	75	41,9

2.3.3 Siktlängder och vindkraftverkens höjd

Synbarhetsanalysen utgår från tre tänkbara höjder på vindkraftverken - 350 m, 340 m samt 190 m, där 350 m motsvarar planens maximala höjd på vindkraftverken. I detta scenario användes den maximala siktlängden på 71 km.

För att återspegla mer realistiska förhållanden analyserades även en total höjd på 340 m i kombination med en siktlängd på 54 km. Denna höjd motsvarar det faktum att själva spetsen på rotorbladet sällan är synligt för det mänskliga ögat på långa avstånd. Siktlängden representerar typiska förhållanden dagtid under sommarhalvåret.

Det tredje scenariot motsvarar en nacellhöjd (navhöjden på vindkraftverket) på 190 m. I tabell 4 presenteras en sammanställning av dessa tre scenarier där markhöjdmodellen (DEM) har använts som grundparameter.

Tabell 4. Synbarhetsanalysens tre scenarierna där markhöjdmodellen (DEM) har använts som grundparameter.

DEM			
Scenario-ID	Höjd (m)	Yttre radie (km)	Beskrivning av scenario
1	350	71	"Worst-case"-scenario beräknat utifrån den absoluta bladspetsen och den maximala siktlängden exkluderat vegetation eller byggnader i höjdmodellen
2	340	54	Scenario beräknat utifrån bladspets höjd (se 2.1 Analysantaganden, punkt 6), genomsnittlig siktlängd dagtid under sommarperioden exkluderat vegetation eller byggnader i höjdmodellen
3	190	54	Scenario beräknat utifrån nacellhöjd, genomsnittlig siktlängd dagtid undersommarperioden exkluderat vegetation eller byggnader i höjdmodellen

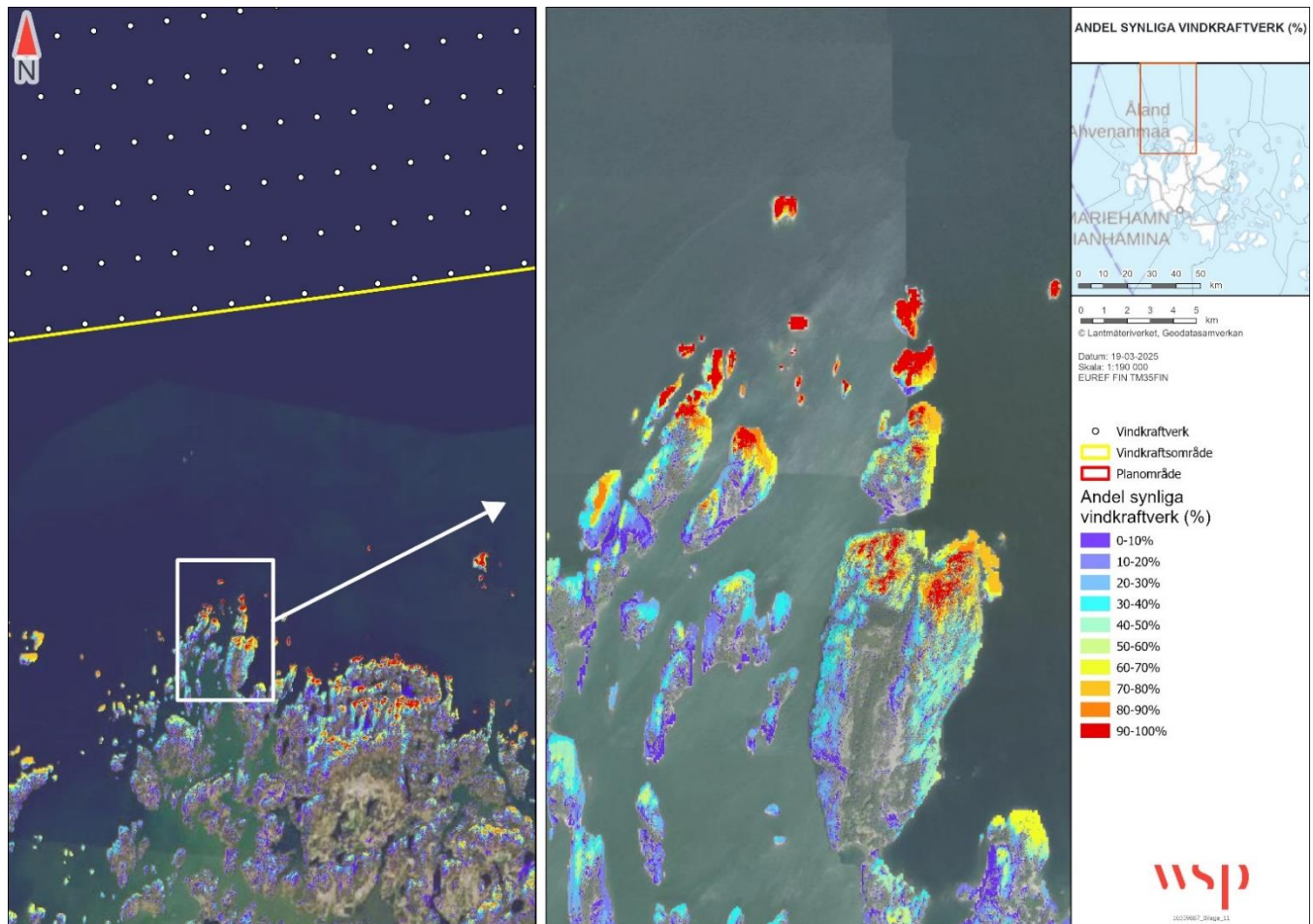
För ythöjdmodellen (DSM) användes ytterligare två scenarier. Siktlängden 47 km adderades tillsammans med höjderna på vindkraftsverken - 340 m och 190 m, för att representera typiska siktförhållanden under en genomsnittlig dag under vinterperioden. Tabell 5 presenterar en sammanställning av de fem scenarierna där ythöjdmodellen (DSM) har använts som grundparameter.

Tabell 5. Synbarhetsanalysens fem scenarier där ythöjdsmodellen (DSM) har använts som grundparameter.

DSM			
Scenario-ID	Höjd (m)	Yttre radie (km)	Beskrivning av scenario
4	350	71	“Worst-case”-scenario beräknat utifrån den absoluta bladspetsen och den maximala siktlängden inklusive vegetation och byggnader i höjdsmodellen
5	340	54	Scenario beräknat utifrån bladspetshöjd (se 2.1 Analysantaganden, punkt 6), genomsnittlig siktlängd dagtid under sommarperioden inklusive vegetation och byggnader i höjdsmodellen
6	340	47	Scenario beräknat utifrån genomsnittlig siktlängd dagtid under vinterperioden inklusive vegetation och byggnader i höjdsmodellen
7	190	54	Scenario beräknat utifrån nacellhöjd, genomsnittlig siktlängd dagtid under sommarperioden inklusive vegetation och byggnader i höjdsmodellen
8	190	47	Scenario beräknat utifrån nacellhöjd, genomsnittlig siktlängd dagtid under vinterperioden inklusive vegetation och byggnader i höjdsmodellen

2.4 Visualisering

Synbarhetsanalysen resulterade i nya data som demonstrerar den teoretiska synbarheten av vindkraftsområdet från Ålands kustlinje. Dessa data möjliggör en frekvensanalys av synbarheten, där en procentuell synlighet har beräknats och satts i relation till avståndszonerna. I figur 6 redovisas ett exempel på hur visualiseringen av synbarheten presenteras i denna rapport. I mörkröda områden där synbarheten uppgår till 90–100 % innebär detta att **någon** beståndsdel av konstruktionen hos 90–100 % av vindkraftverken teoretiskt sett är synliga från dessa platser, men inte i vilken omfattning. Se figur 2 i kapitel 2.1.1 för en förklaring av en ”beståndsdel” av ett vindkraftverk



Figur 6. Exempel på hur synbarheten redovisas i rapporten. Mörkröda områden innebär att någon beståndsdel av konstruktionen hos 90–100 % av vindkraftverken är synliga från dessa platser. Mörkblått indikerar en lägre synbarhet där endast 0–10 % av vindkraftverken är synliga från den specifika platsen. Synbarhetsanalysen tar inte hänsyn till om vindkraftverken döljer varandra.

För att tydliggöra vindkraftsområdets visuella påverkan på Ålands kustlinje har statistiska beräkningar genomförts. Resultaten har sammanställts för att kvantifiera den visuellt påverkade landytan, uttryckt både i km² och som procentandel av den totala landytan.

I tabell 6 redovisas ett utsnitt från en av resultattabellerna för att exemplifiera hur dessa ska tolkas. Tabellen redovisar den yta på Åland som skulle påverkas visuellt av vindkraftsområdet vid en nacellhöjd på 190 m under vinterförhållanden (DSM med siktlängd 47 km). Tabellen presenterar hur stor yta (av Ålands totala landyta angett i %) där en viss procentandel av vindkraftverken är synliga. Maximalt 10 % av vindkraftsområdet är synbart från ett område som motsvarar 3,3 % av Ålands totala landyta och 90–100 % av vindkraftsområdet är synligt från ett område som motsvarar endast 0,1 % av Ålands landyta. Sammanlagt beräknas totalt 7,7 % av Ålands landyta påverkas visuellt av vindkraftsområdet under genomsnittliga vinterförhållanden dagtid.

Tabell 6. Exempel på resultattabell.

#8 – DSM Vinter 190 m (47 km)	
Andel (%) synliga vindkraftverk	Andel påverkad landyta (%)
10 %	3,3
20 %	1,2
30 %	0,9
40 %	0,7
50 %	0,6
60 %	0,4
70 %	0,2
80 %	0,2
90 %	0,1
100 %	0,1
Total andel påverkad landyta (%)	7,7

3 Resultat

I detta kapitel presenteras resultaten av synbarhetsanalysen. Analysen visar hur vindkraftsverkens synbarhet varierar beroende på faktorer så som höjdm modell (markhöjdm modell DEM och ythöjdm modell DSM), bladspets- och nacellhöjd, årstid samt avståndet från vindkraftsområdet. Resultaten redovisas både som total landyta i km² samt som andelen av den totala landytan som teoretiskt sett skulle påverkas visuellt vid ett fullt utbyggt vindkraftsområde. Dessutom redovisas en analys av synbarheten från specifika utsiktspunkter på land.

3.1 Samtliga scenarier – Statistiska resultat

Resultaten visar att markhöjdsbaserade analyser ger högre synlighet då dessa enbart tar hänsyn till terrängens topografi. Ythöjdsbaserade analyser, som inkluderar vegetation och andra objekt på landytan, visar generellt på en lägre synlighet. Årstidsvariationer har även en betydande roll. Synligheten är ofta något högre under sommaren enligt de genomsnittliga siktlängderna från väderstationerna, men resultaten varierar beroende på höjd och antal synliga vindkraftverk. I tabell 7 redovisas en sammanställning av samtliga analyserade scenarier, där synbarheten uttrycks som total landyta i kvadratkilometer för varje kombination av **höjdm modell, vindkraftverkens höjd samt årstid**. Det framgår att synbarheten är störst för bladspetshöjden. Synbarheten minskar markant vid lägre höjder eller när fler hinder inkluderas i ythöjdm modellen.

Tabell 7. Sammanställning av påverkad landyta i km² inom respektive scenario (höjdmodell, vindkraftverkens höjd, årstid).

Andel (%) synliga vindkraftverk	Påverkad landyta (km ²)							
	#1 DEM 350 m (71 km)	#2 DEM Sommar 340 m (54 km)	#3 DEM Sommar 190 m (54 km)	#4 DSM 350 m (71 km)	#5 DSM Sommar 340 m (54 km)	#6 DSM Vinter 340 m (47 km)	#7 DSM Sommar 190 m (54 km)	#8 DSM Vinter 190 m (47 km)
10 %	313	288,8	256,6	76,8	70,7	69,3	52,4	52
20 %	131,5	129,4	87,9	24,5	23,3	24	19	19,7
30 %	98,3	91,2	64,3	18,7	17,9	18	14,4	15
40 %	77,9	80,2	51,2	15,1	14,6	13,8	12	11,4
50 %	70,3	69,7	41,5	14	14	12,2	10,8	9,3
60 %	59,7	60,8	23,5	12,2	12,5	8	8,4	6,2
70 %	54,6	27,3	13,2	11,8	7,5	5,5	5,7	3,8
80 %	50	13	8,5	9,8	5,6	3,8	3,5	2,5
90 %	20,4	10,8	6,1	7,1	3,7	2,2	2,3	1,4
100 %	24,4	11,3	5,4	9,8	4,1	1,5	2,5	1,1
Total påverkad landyta (km²)	900,1	782,5	558,2	199,8	173,9	158,3	131	122,4

I tabell 8 presenteras en sammanställning av samtliga analyserade scenarier, där synligheten i stället uttrycks i hur stor andel av den totala landytan på Åland som påverkas visuellt för varje specifik kombination av höjdmodell, vindkraftverkens höjd och årstid. I scenariot där 350 m höga vindkraftverk och ett siktdjup på 71 km kombineras med ythöjdmodellen (scenario #4) påverkas exempelvis 12,6 % av Ålands landyta visuellt.

Tabell 8. Sammanställning av samtliga scenarier (höjdmodell, vindkraftverkens höjd, årstid) i synbarhetsanalysen i procent.

Andel (%) synliga vindkraftverk	Andel påverkad landyta (%)							
	#1 DEM 350 m (71 km)	#2 DEM Sommar 340 m (54 km)	#3 DEM Sommar 190 m (54 km)	#4 DSM 350 m (71 km)	#5 DSM Sommar 340 m (54 km)	#6 DSM Vinter 340 m (47 km)	#7 DSM Sommar 190 m (54 km)	#8 DSM Vinter 190 m (47 km)
10 %	19,7	18,2	16,1	4,8	4,4	4,4	3,3	3,3
20 %	8,3	8,1	5,5	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2
30 %	6,2	5,7	4	1,2	1,1	1,1	0,9	0,9
40 %	4,9	5	3,2	1	0,9	0,9	0,8	0,7
50 %	4,4	4,4	2,6	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6
60 %	3,8	3,8	1,5	0,8	0,8	0,5	0,5	0,4
70 %	3,4	1,7	0,8	0,7	0,5	0,3	0,4	0,2
80 %	3,2	0,8	0,5	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2
90 %	1,3	0,7	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1
100 %	1,5	0,7	0,3	0,6	0,3	0,1	0,2	0,1
Total andel påverkad landyta (%)	56,6	49,2	35,1	12,6	11	10	8,3	7,7

3.2 Nacellhöjd 190 m

Synbarhetsanalysen inkluderar vindkraftverk vars nacellhöjd uppgår till 190 m. Analysen utgår från närzonen (0–23 km), mellanzonen (23–47 km) och fjärrzonen (47–64 km) och inkluderar ythöjdmodellen för att redovisa synligheten dagtid under sommar- och vinterperioden. Syftet är att ge en mer realistisk bild av synbarheten genom att inkludera faktorer som vegetation och byggnader. Synligheten uttrycks som total landyta i km² (tabell 9) där en viss procentandel av vindkraftverken är synliga.

Synbarhetsanalysen visar att synligheten är störst nära vindkraftsområdet. I närzonen (0–23 km) uppgår den totala arealen med minst 10 % synlighet till 8,9 km² under sommaren och 9,2 km² under vintern. Synligheten minskar med ökade avstånd, men är fortfarande betydande inom mellanzonen (23–47 km). Arealen med maximalt 10 % synlighet i denna zon uppgår till 40,7 km² under sommaren respektive 45 km² under vintern. Den totala arealen där synligheten är högre (minst 40 %) är dock betydligt mindre och är nära noll vid längre avstånd. I fjärrzonen (47–64 km) är det endast totalt 5,2 km² som visuellt påverkas av vindkraftområdet och då enbart under sommarperioden.

Tabell 9. Synbarheten uttryckt som total landyta i km² där en viss andel av vindkraftverken med nacellhöjden 190 m är synliga. Tabellen redovisar resultaten från analysen av scenario #7 och #8.

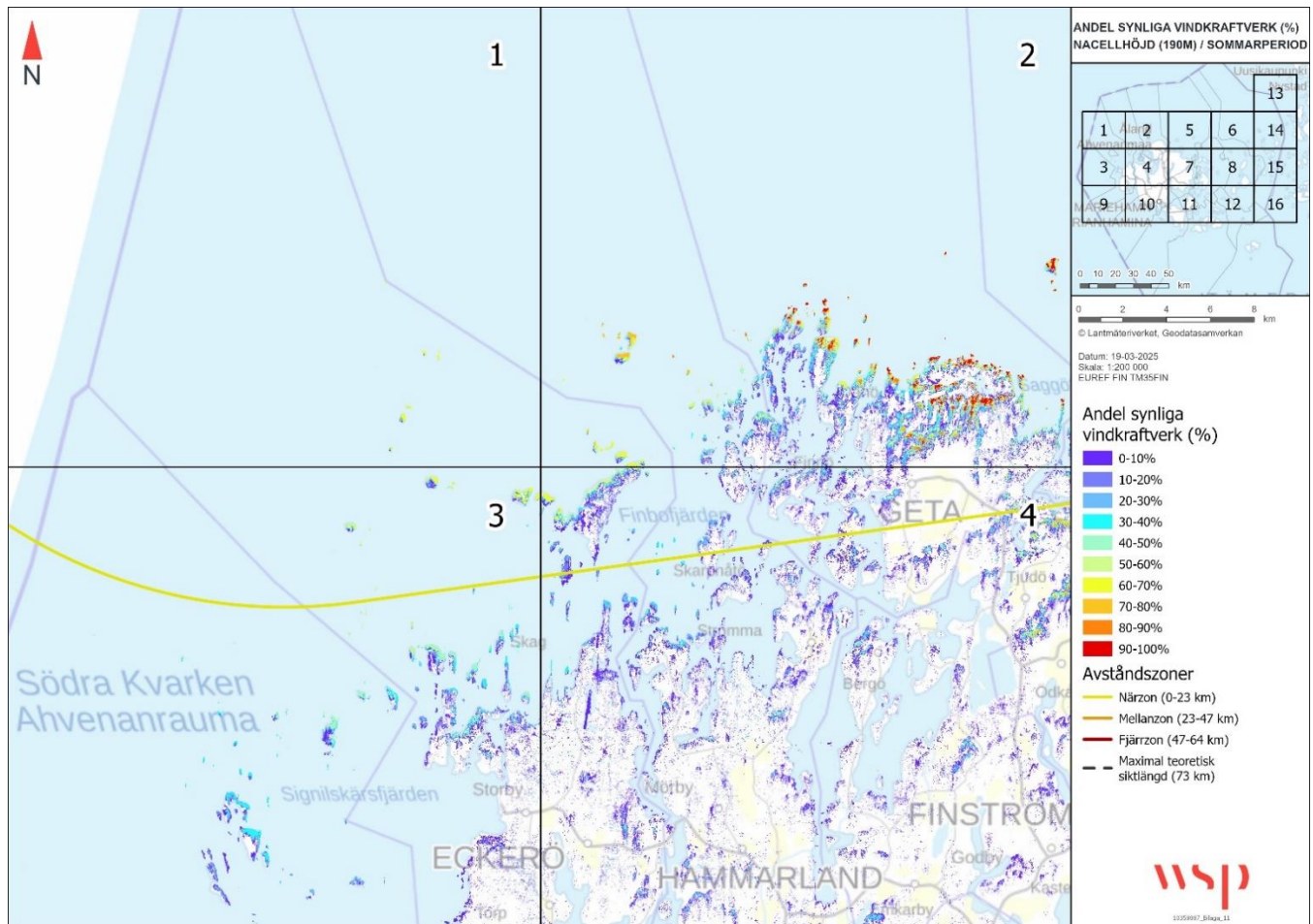
Andel (%) synliga vindkraftverk	Påverkad landyta (km ²)					
	Närzon (0-23 km)		Mellanzon (23-47 km)		Fjärrzon (47-64 km)	
	#7 Sommar	#8 Vinter	#7 Sommar	#8 Vinter	#7 Sommar	#8 Vinter
10 %	8,9	9,2	40,7	45	4,8	0
20 %	5,3	5,5	14,5	15,3	0,3	0
30 %	4,7	5,1	10,5	10,2	0	0
40 %	4,5	5,3	8,3	6,7	0	0
50 %	4,6	5,2	5,8	3,5	0	0
60 %	4,1	3,4	3,7	1,7	0	0
70 %	2,4	2,6	1,8	0,4	0	0
80 %	2,2	1,9	0,6	0,03	0	0
90 %	2,1	1,1	0,1	0	0	0
100 %	0,4	0,04	0	0	0	0
Total påverkad landyta (km²)	39,2	39,3	86	82,8	5,1	0

I tabell 10 redovisas synbarheten som procentandel av den totala landytan. Inom närzonen (0–23 km) finns den högsta procentuella synbarheten över vindkraftsområdet, där minst 10 % av vindkraftverken är synliga från 7,6 % av landytan under sommaren respektive 7,8 % under vintern. Inom mellanzonen (23–47 km) har 4,3 % av den totala landytan under sommaren och 4,8 % under vinter minst 10 % synbarhet av vindkraftverken. Vid längre avstånd, inom fjärrzonen (47–64 km), är synligheten i princip obefintlig. I denna zon är maximalt 10 % av vindkraftverken synliga från ett område som motsvarar 0,5 % av landytan under sommarperioden. Vid högre synlighetsnivåer (andel vindkraftverk) minskar synbarheten över vindkraftområdet, speciellt för mellan- och fjärrzonen.

Tabell 10. Synbarheten uttryckt som procentandel av den totala landytan. Tabellen redovisar resultaten från analysen av scenario #7 och #8.

Andel (%) synliga vindkraftverk	Andel påverkad landyta (%)					
	Närzon (0-23 km)		Mellanzon (23-47 km)		Fjärrzon (47-64 km)	
	#7 Sommar	#8 Vinter	#7 Sommar	#7 Vinter	#8 Sommar	#7 Vinter
10 %	7,6	7,8	4,3	4,8	0,5	0,0
20 %	4,5	4,8	1,5	1,6	0,0	0,0
30 %	4,1	4,4	1,1	1,1	0,0	0,0
40 %	3,9	4,5	0,9	0,7	0,0	0,0
50 %	4,0	4,4	0,6	0,4	0,0	0,0
60 %	3,5	3,0	0,4	0,2	0,0	0,0
70 %	2,1	2,2	0,2	0,1	0,0	0,0
80 %	1,9	1,6	0,1	0,0	0,0	0,0
90 %	1,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
100 %	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total andel påverkad landyta (%)	33,8	33,8	9,2	8,8	0,6	0,0

I figur 7 presenteras resultaten av synbarhetsanalysen för nordvästra Åland, genomförd på en nacellhöjd av 190 m. Kartan illustrerar andelen synliga vindkraftverk (vid nacellhöjden) i procent under sommarförhållanden, med en siktgräns på 54 km. I bilagorna A-D redovisas samtliga kartserier över hela Åland för denna analys.



Figur 7. Redovisning av kartserie 1–4 med resultatet av synbarheten över nordvästra Åland utförd med vindkraftverkens nacellhöjd (190 m). Kartan redovisar antalet synliga vindkraftverk i procent under sommarperioden med en siktgräns på 54 km.

3.3 Bladspetshöjd 340 m

Synbarhetsanalysen har genomförts för vindkraftverk med en bladspetshöjd på 340 m. Ythöjdmodellen har använts för att analysera synligheten dagtid inom närzonen (0–23 km), mellanzonen (23–47 km) och fjärrzonen (47–64 km) under sommar- respektive vinterperioden. Resultaten uttrycks i km² (tabell 11) och syftar till att ge en mer realistisk uppskattning av den landyta som påverkas av antalet synliga vindkraftverk i vindkraftsområdet.

Resultaten visar att synligheten är störst inom de närmaste avståndszonerna, där 8,8 km² landyta under sommaren och 9,1 km² landyta under vintern har minst 10 % synlighet inom närzonen (0–23 km). Inom mellanzonen (23–47 km) är synligheten alltså hög, då 55,3 km² landyta (sommarperiod) och 62,8 km² landyta (vinterperiod) har minst 10 % sikt över vindkraftsområdet. Vid längre avstånd minskar synbarheten avsevärt. Inom fjärrzonen (47–64 km) har endast 9,1 km² landyta en synbarhet på minst 10 %, medan 0,6 km² har en maximal synbarhet på 20 % under sommarperioden.

Tabell 11. Synbarheten uttryckt som total landyta i km². Tabellen redovisar resultaten från analysen av scenario #5 och #6.

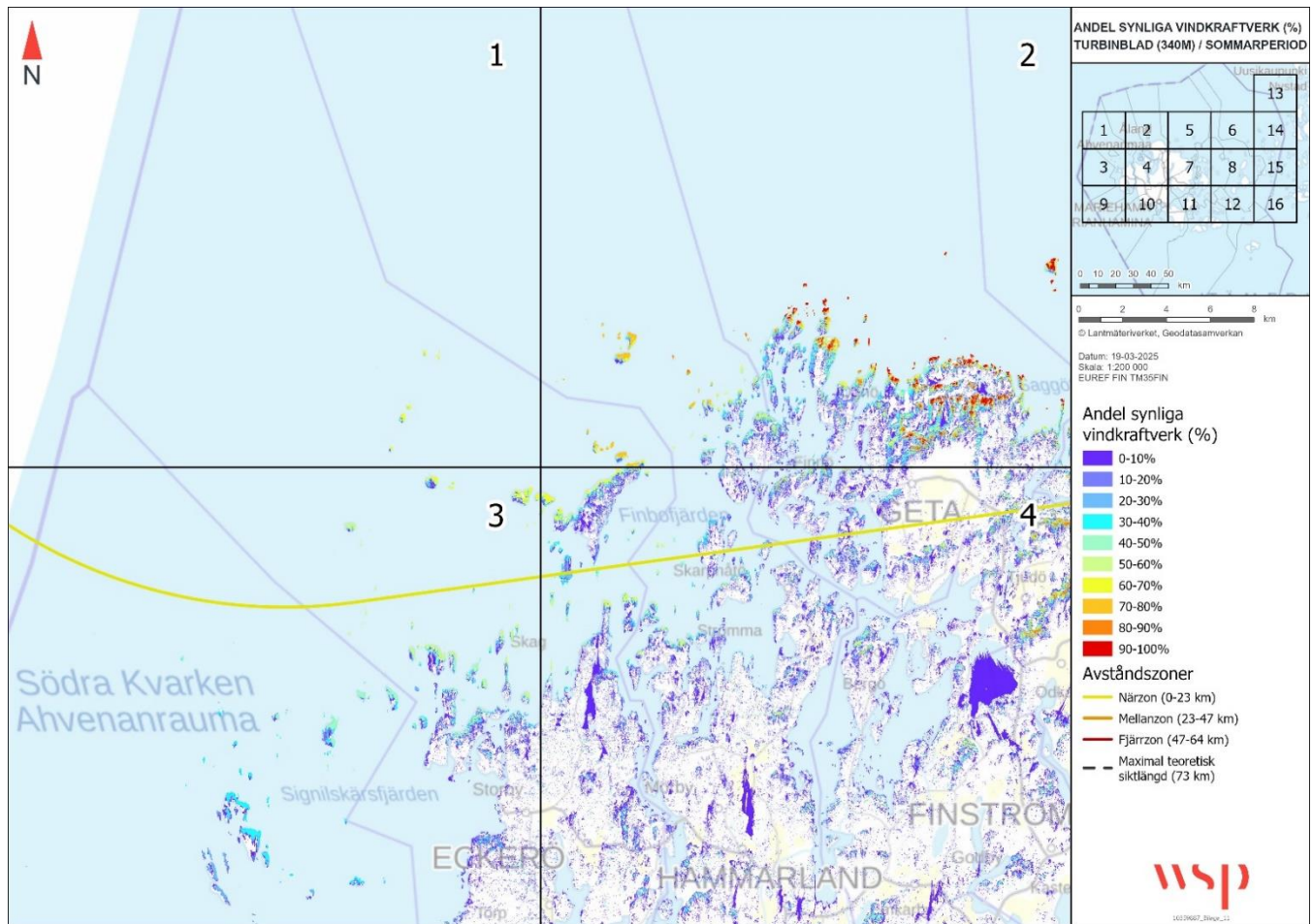
Andel (%) synliga vindkraftverk	Påverkad landyta (km ²)					
	Närzon (0-23 km)		Mellanzon (23-47 km)		Fjärrzon (47-64 km)	
	#5 Sommar	#6 Vinter	#5 Sommar	#6 Vinter	#5 Sommar	#6 Vinter
10 %	887	917	5 534	6 289	912	0
20 %	504	533	1 906	2 012	68	0
30 %	468	510	1 435	1 348	0	0
40 %	475	567	1 088	929	0	0
50 %	516	591	995	554	0	0
60 %	467	431	585	266	0	0
70 %	339	331	332	130	0	0
80 %	295	279	165	29	0	0
90 %	297	171	65	0	0	0
100 %	89	4	0	0	0	0
Total påverkad landyta (km²)	4 339	4 335	12 106	11 557	980	0

I tabell 12 redovisas synbarheten som andel av den totala landytan på Åland. Närzonen (0–23 km) har den högsta procentandelen landyta med synlighet, där 7,6 % respektive 7,8 % har minst 10 % synbarhet under sommar- och vinterperioden. Inom mellanzonen (23–47 km) är synbarheten fortfarande betydande med 5,9 % respektive 6,7 % med minst 10 % synbarhet under sommar- respektive vinterperioden. För högre synbarhetsnivåer, såsom minst 40 % minskar de påverkade procentandelarna markant, speciellt i mellan- och fjärrzonen.

Tabell 12. Synbarheten uttryckt som procentandel av den totala landytan. Tabellen redovisar resultaten från analysen av scenario #5 och #6.

Andel (%) synliga vindkraftverk	Andel påverkad landyta (%)					
	Närzon (0-23 km)		Mellanzon (23-47 km)		Fjärrzon (47-64 km)	
	#5 Sommar	#6 Vinter	#5 Sommar	#6 Vinter	#5 Sommar	#6 Vinter
10 %	7,6	7,8	5,9	6,7	1,0	0,0
20 %	4,3	4,5	2,0	2,1	0,1	0,0
30 %	4,0	4,3	1,5	1,4	0,0	0,0
40 %	4,0	4,8	1,2	1,0	0,0	0,0
50 %	4,4	5,0	1,1	0,6	0,0	0,0
60 %	4,0	3,7	0,6	0,3	0,0	0,0
70 %	2,9	2,8	0,4	0,1	0,0	0,0
80 %	2,5	2,4	0,2	0,0	0,0	0,0
90 %	2,5	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0
100 %	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total andel påverkad landyta (%)	36,9	36,9	12,9	12,3	1,0	0,0

I figur 8 presenteras resultaten av synbarhetsanalysen för nordvästra Åland, genomförd på bladspetshöjden av 340 m. Kartan illustrerar andelen synliga vindkraftverk i procent under sommarförhållanden, med en siktgräns på 54 km. I bilagorna E-H redovisas samtliga kartserier för synbarhetsanalysen.



Figur 8. Redovisning av kartserie 1–4 med resultatet av synbarheten över nordvästra Åland utförd med vindkraftverkens bladspethöjd på 340 meter. Kartan redovisar antalet synliga vindkraftverk i procent under sommarperioden med en siktgräns på 54 km.

3.4 Synbarhet från utsiktspunkter på land

Synbarheten av enskilda vindkraftverk från följande sex utsiktsplatser på land har analyserats. Utsiktsplatser 1-4 redovisas i figur 9, och utsiktsplatser 5-6 redovisas i figur 10.

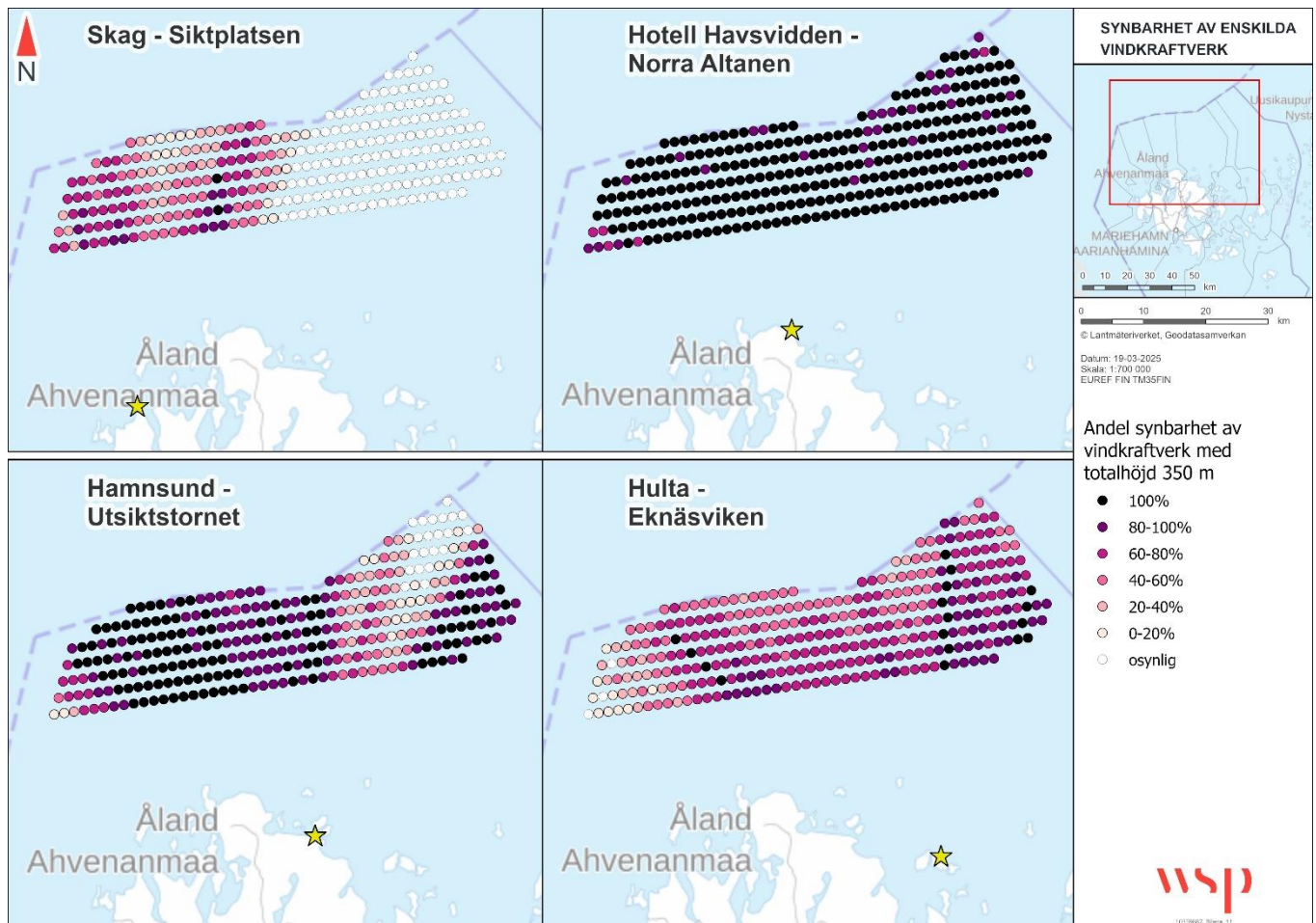
1. **Skag (Eckerö kommun):** Året runt- och sommarboende längs stränderna mot väst.
2. **Havsvidden- Hotell Havsvidden, norra altanen (Geta kommun):** Den enda storskaliga verksamheten och viktigaste siktpunkten vid Norrhavet.
3. **Hamnsund Utsiktstorn (Saltvik kommun):** Tätt året runt- och sommarboende längs stränderna. Utsiktsplatsen har placerats på utsiktstornet.
4. **Hulta (Sund kommun):** ca. 15 fritidsstugor mot Norrhavet Året runt-boende finns längre in i udden.
5. **Östra Simskäla (Vårdö kommun):** Skärgårdsholmar med året runt- och fritidsboende. Denna utsiktsplats är en bra representant för Vårdö-Kumlinge-skärgård.
6. **Jurmo (Brändö kommun):** Långt avstånd till vindkraftsområdet men representera synbarheten från den östra skärgården.

Även om det inte är möjligt att omfatta alla platser på Åland i denna analys, ger resultatet en god förståelse för terrängens och vegetationens inverkan på den visuella upplevelsen från specifika platser.

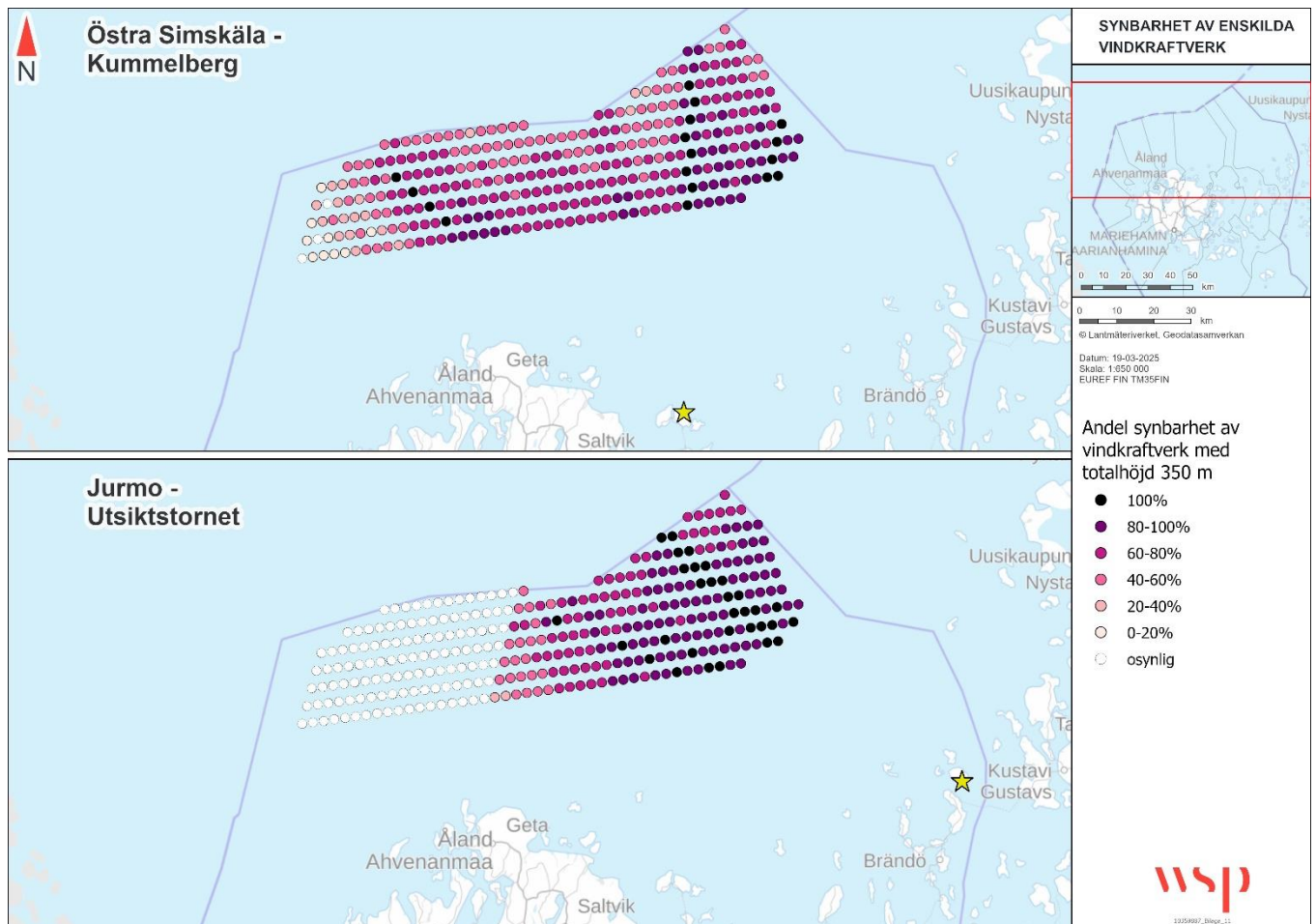
Forskning har visat att ett vindkraftverks visuella påverkan i det omgivande landskapet är mest betydande när hela rotorbladssvepet kan ses. Denna påverkan minskar avsevärt om bara delar över nacellhöjden är synliga, i detta fall

mer än cirka 40 % av ett vindkraftverk (Palmer, 2022). Enligt figur 2 i kapitel 2.1.1 kan det ses att den största visuella påverkan uppstår på avstånd av 23 km eller mindre där hela rotorbladssvepet är synligt, och minskar avsevärt på avstånd större än 55 km där nacellen inte längre är synlig.

I figur 9 och 10 presenteras resultaten från denna analys där synbarheten för varje enskilt vindkraftverk redovisas samt i vilken omfattning dessa syns. I verkligheten kommer enskilda vindkraftverk att skymma sikten av varandra och ge en lägre synbarhet totalt sett.



Figur 9. Andelen vindkraftverk som är synliga från viktiga utsiktsplatser på norra Åland vid en ögonhöjd på 1,63 m. Vindkraftverkens synbarhet visualiseras i intervall om 20 %, vilket motsvarar en räckvidd på 70 m för ett 350 m högt vindkraftverk. Svarta markeringar symboliserar vindkraftverk som är helt synliga från utsiktsplatserna, medan mörklila (80–100 %) är synliga från bladspetsen ner till 5–70 m över havet. Endast de översta 1–70 m (0–20 %) av turbinerna symboliserade som ljusast rosa är synliga. Terräng och andra hinder påverkar både antalet synliga vindkraftverk och den procentuella andelen av de som kan ses. Den maximala siktlängden på 71 km har använts för att begränsa synbarhet från samtliga utsiktsplatser. För fotomontage av projektet se <https://visualisering.gitech.ax/sunnanvind/>.



Figur 10. Andelen av alla vindkraftverk som är synliga från två utsiktspunkter i Ålands östra skärgård vid en ögonhöjd på 1,63 m. Vindkraftverkens synbarhet visualisera i intervall om 20 %. Den maximala siktlängden på 71 km har använts för att begränsa synbarhet från samtliga utsiktsplatser. För fotomontage av projektet se <https://visualisering.gitech.ax/sunnanvind/>.

4 Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultaten från synbarhetsanalysen av vindkraftsområdet. Diskussionen fokuserar på hur olika faktorer som årstidsvariationer, markhöjdmodeller och vindkraftverkens höjd och avstånd från land påverkar synbarheten. Genom att analysera dessa aspekter skapas en djupare förståelse för hur vindkraftverkens visuella påverkan varierar beroende på omständigheterna.

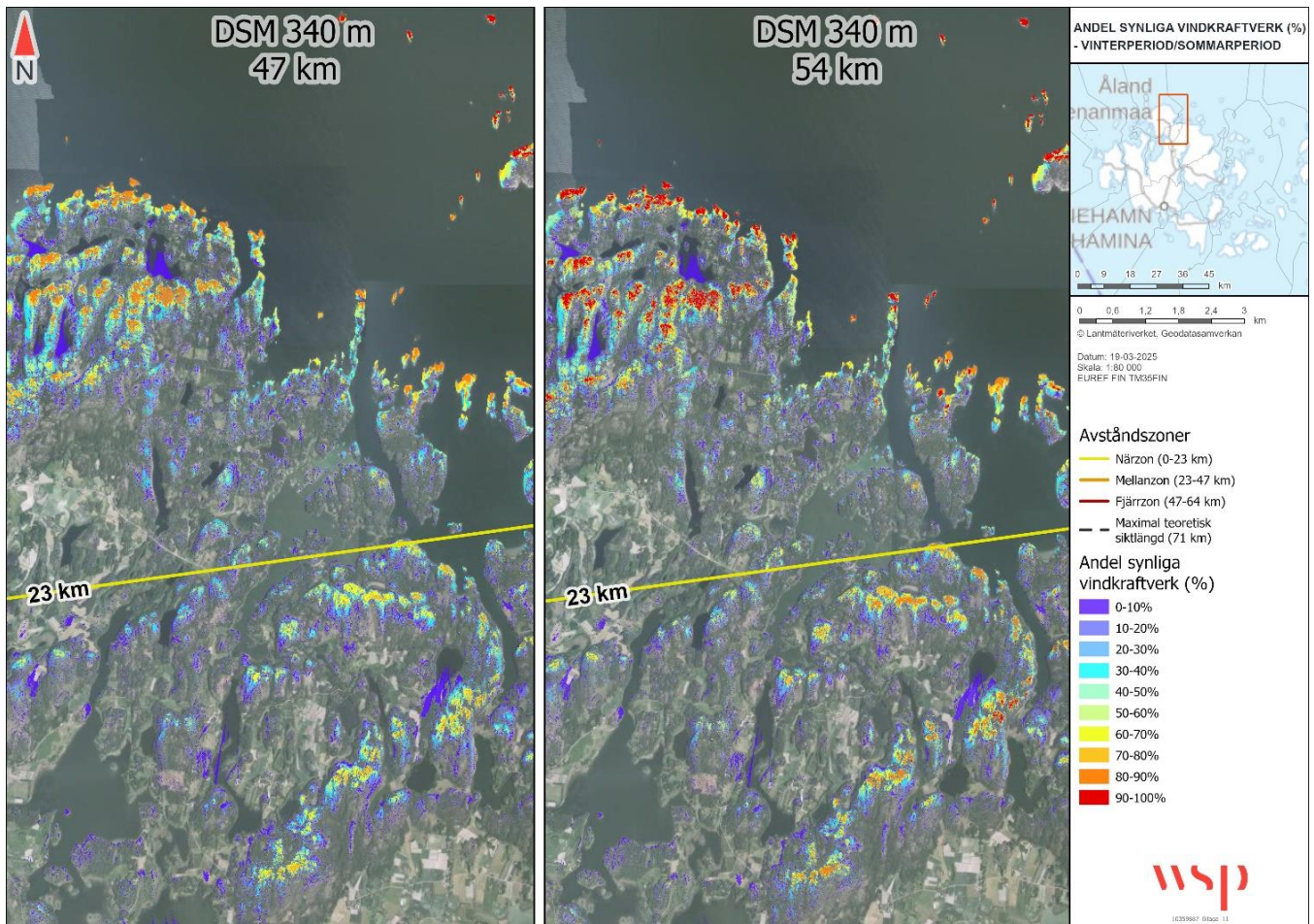
4.1 Årstidsvariationer

En viktig aspekt i synbarhetsanalysen är skillnaderna i siktlängderna under vinter- och sommarperioden. Medelvärdet för siktlängd dagtid under sommaren är längre (54 km) än under vintern (47 km), vilket bidrar till ökad synbarhet av vindkraftsområdet under denna period. Skillnaden är mer påtaglig vid längre avstånd utanför närzonen 0–23 km. Detta visar hur atmosfäriska förhållanden, som ofta förbises, kan ha en betydande inverkan på en synbarhetsanalys. Figur 11 redovisar hur synbarheten förändras mellan vinter- och sommarperioden, där fler mörkröda områden under sommarperioden indikerar att andelen synliga vindkraftverk ökar vid 23 km från den planerade vindkraftsparken jämfört med vinterperioden.

I tillägg har synbarhetsanalysen beaktat solens upp- och nedgång, vilket innebär att de timmar då när solen är uppe har inkluderats i beräkningarna. Denna metod bidrar till en mer realistisk bild av synbarheten, då det är osannolikt att vindkraftverkens visuella påverkan upplevs lika starkt under mörka förhållanden. Denna aspekt

säkerställer att synbarhetsanalysen fokuserar på faktiska visuella förhållanden som människor upplever under dagtid.

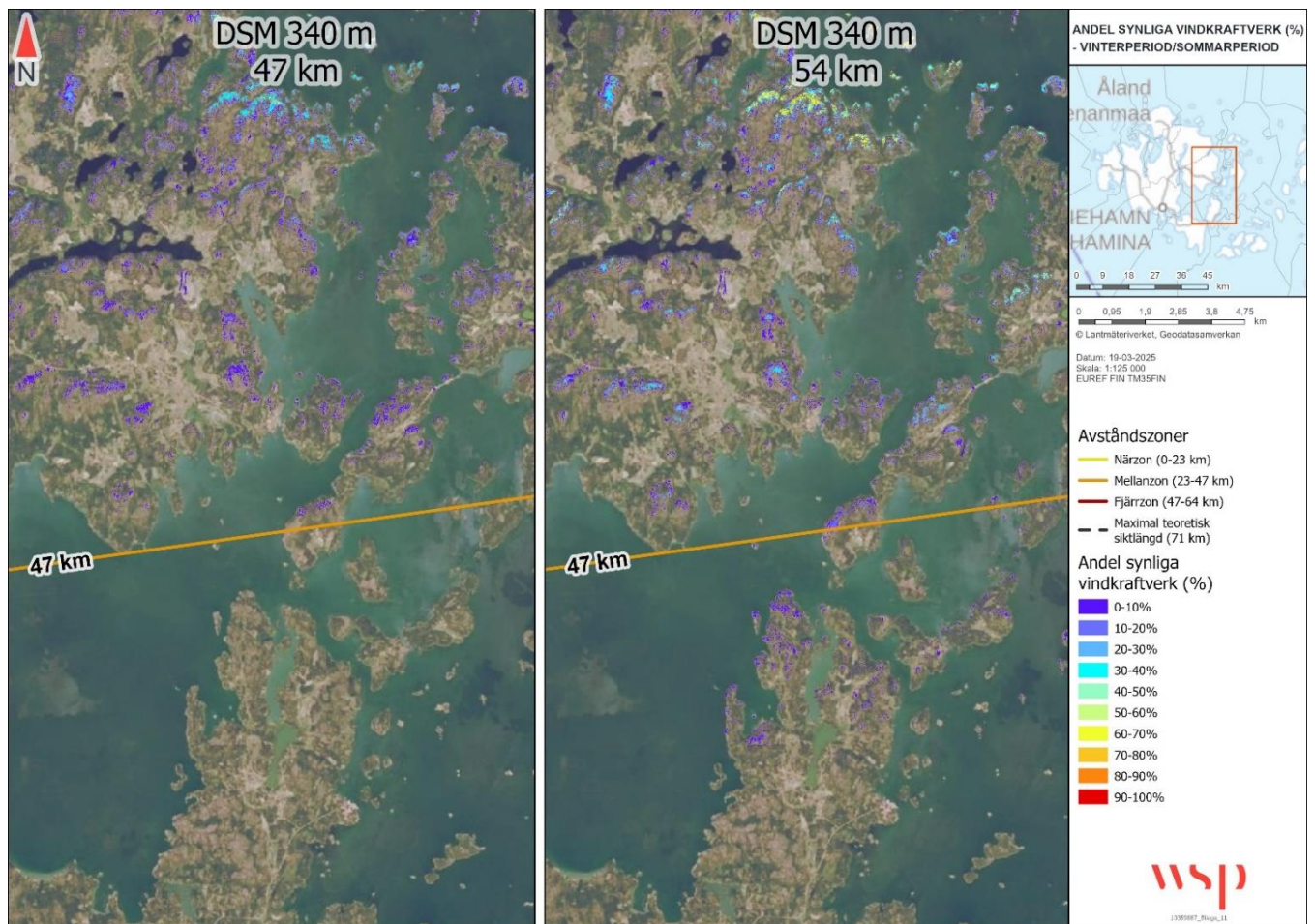
Förmågan att se genom växtlighet i verkligheten beror på bland annat vegetationstyp och tid på året. I denna analys har det dock antagits att all växtlighet är ogenomskinlig.



Figur 11. Jämförelse mellan synbarheten under vinter- (till vänster) respektive sommarperioden (till höger). Antalet mörkröda pixlar ökar under sommarperioden (sikt längd 54 km) vilket indikerar att antalet synliga vindkraftverk blir fler runt 23 km från den planerade vindkraftsparken jämfört med vinterperioden (sikt längd 47 km).

4.2 Avståndets påverkan

Resultaten visar att synbarheten avtar med ökande avstånd från vindkraftsområdet. Inom närzonen 0–23 km är synbarheten som högst, där över 10 % av landytan ser minst 10 % av vindkraftverken i området. Inom mellanzonen (23–47 km) minskar synbarheten till cirka 1 % eller lägre under sommarperioden och under vinterperioden är synbarheten obefintlig i denna avståndszon. Detta mönster illustrerar hur den visuella påverkan från vindkraftverk är koncentrerad till de närmaste omgivningarna och hur påverkan minskar exponentiellt med distans. I figur 12 redovisas hur de framtagna sikt längderna på 47 km (vinterperiod) och 54 km (sommarperiod) påverkar synbarheten i området runt Lumparland på ett avstånd runt 47 km från vindkraftsparken.

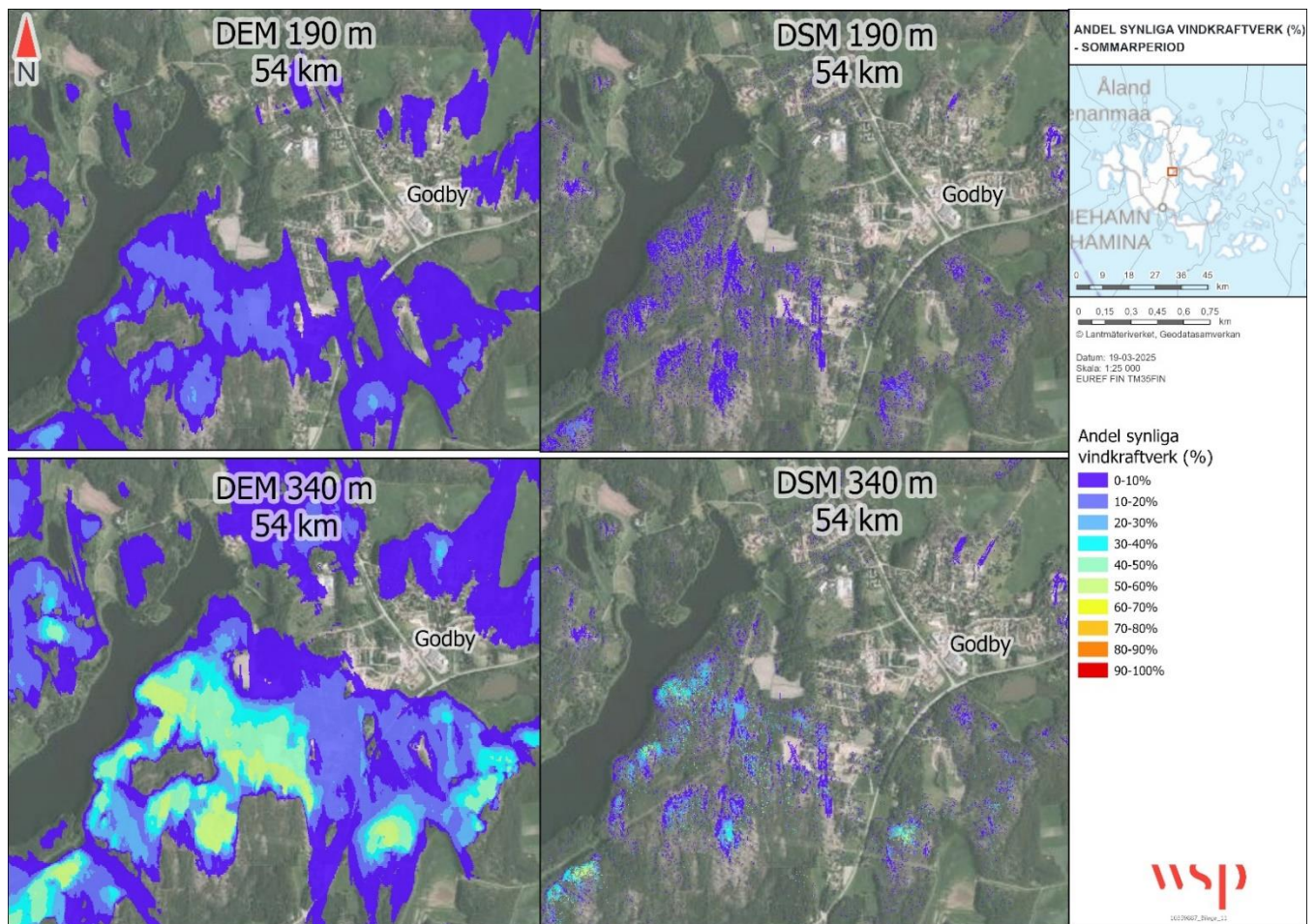


Figur 12. Redovisning av hur synbarheten under vinterperioden (47 km) och sommarperioden (54 km) påverkar synbarheten i området runt Lumparland på ett avstånd runt 47 km från vindkraftparken.

4.3 Markhöjdmodell och ythöjdmodell

Markhöjdmodellen, som endast beaktar ett områdes topografi, ger en högre synbarhet jämfört med ythöjdmodellen där vegetation och byggnader tas i beaktande. Ythöjdmodellen ger därför en mer realistisk representation av synbarheten och är bättre anpassad för att förmedla den faktiska visuella påverkan. Samtidigt visar skillnaderna mellan markhöjdmodellen och ythöjdmodellen tydligt hur hinder i form av vegetation och byggnader bidrar till att minska synligheten.

Jämförelsen mellan höjdmodellerna visar att vegetations- och byggnadshinder kan reducera synbarheten med över 50 % i vissa områden. I figur 13 redovisas hur de olika höjdmodellerna och vindkraftverkens höjd påverkar synbarheten i byn Godby som är belägen i mitten av Åland. Det är tydligt att vindkraftsområdets synbarhet blir större vid analyser utförda med en markhöjdmodell. Synbarheten minskar markant när synbarhetsanalysen utförs med ythöjdmodellen och påvisar hur stor inverkan vegetation och andra hinder har för synbarheten runt om på Åland.

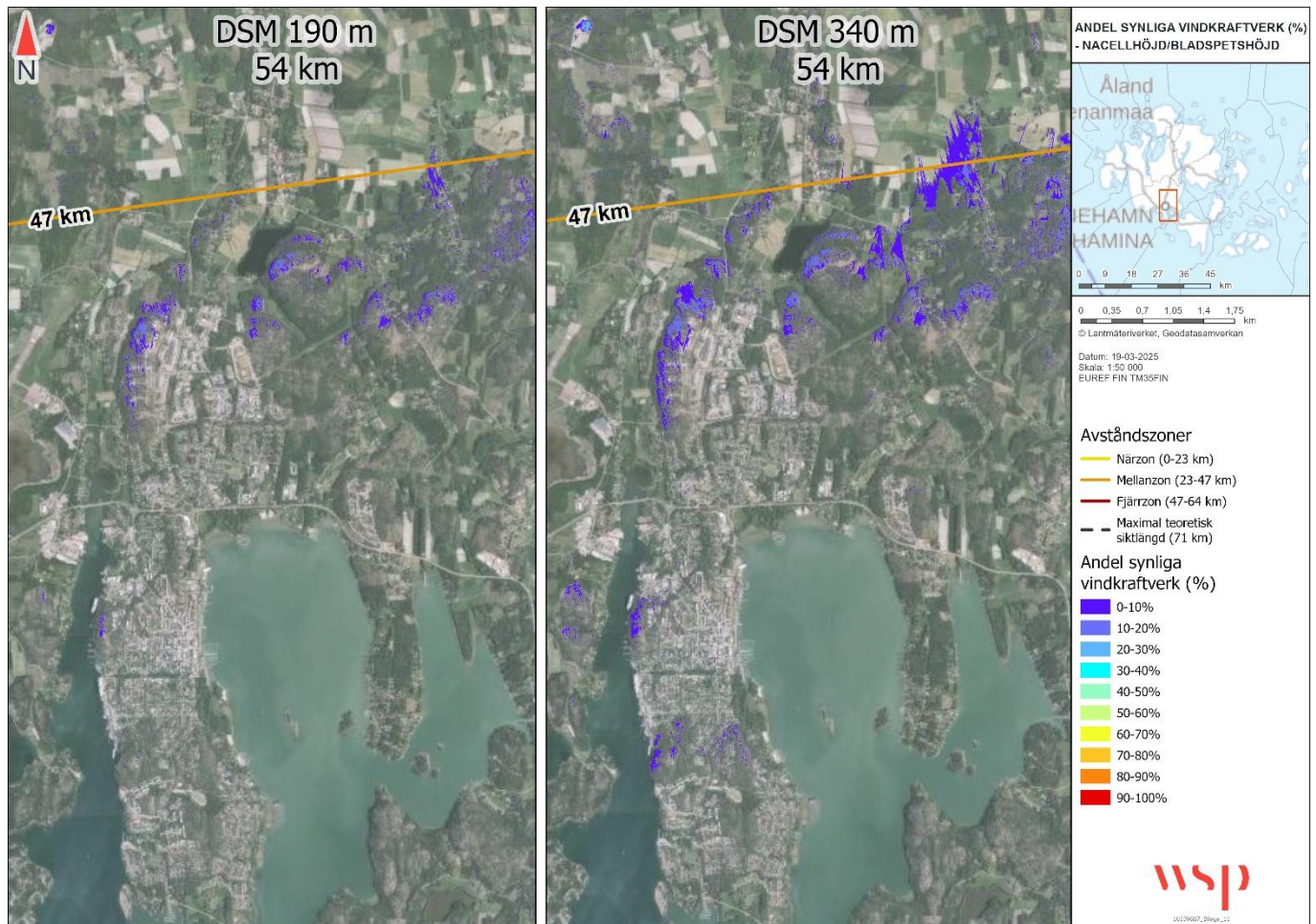


Figur 13. Redovisning av hur de olika höjdmodellerna och vindkraftverkens höjd påverkar synbarheten i byn Godby. Det är tydligt att analyser utförda med ythöjdmodellen (DSM) ger en lägre synbarhet än analyser utförda med markhöjdmodellen (DEM).

4.4 Vindkraftverkens höjd

Skillnaden mellan nacellhöjd (190 m) och bladspetshöjd (340–350 m) visar hur vindkraftverkens totala höjd spelar en avgörande roll för deras synlighet. Analyser utförda med vindkraftverkens bladspetshöjd ger en högre synbarhet från landskapet runt om på Åland.

Det är också intressant att notera att skillnaden mellan nacellhöjd och bladspetshöjd blir särskilt påtaglig i högre områden med låg vegetation eller i öppna landskap med till exempel berghällar. I figur 14 redovisas hur synbarheten i Mariehamn skiljer sig mellan nacellhöjd och bladspetshöjd under sommarperioden. Dock ska det noteras att avståndet till vindkraftsområdet är långt (~50 km) och vindkraftverken kan vara svåra att urskilja från dessa platser. Bladspetshöjden ökar synbarheten från högre platser i området Mariehamn med omnejd, men antalet potentiellt synliga vindkraftverk ökar inte nämnvärt.



Figur 14. Redovisning av hur synbarheten skiljer sig mellan nacellhöjd (till vänster) och bladspetshöjd (till höger) under sommarperioden från Mariehamn med omnejd.

5 Sammanfattning

Denna rapport presenterar en scenariobaserad synbarhetsanalys av det planerade vindkraftsområdet inom projekt Sunnanvind. Analysen syftar till att objektivt bedöma vindkraftsområdets visuella påverkan på landskapet genom att inkludera centrala parametrar som har inverkan på den teoretiska synbarheten. Subjektiva faktorer som påverkar synbarheten, så som landskapets karaktär och människors individuella uppfattning, inkluderas inte i denna analys men diskuteras i detalj i Bilaga 12 "Kulturmiljö och landskapsbild".

Den teoretiska synbarheten vid en maximal utbyggnad av området redovisas visuellt och kvantitativt och analysen visar hur vindkraftsverkens synbarhet varierar beroende på faktorer så som använd höjdmodell, siktålgder samt avståndet från vindkraftsområdet. Vindkraftsverkens totala höjd har dessutom stor inverkan på synbarheten och analyser utförda med vindkraftsverkens bladspetshöjd ger en generellt sett högre synbarhet jämfört med scenarion som utgår från lägre höjder.

Analysen visar att synbarheten avtar med ökade avstånd från vindkraftsparken och den visuella påverkan är som mest påtaglig i de närmsta omgivningarna, det vill säga i norra Ålands närzon. I närzonen (0–23 km) skulle åtminstone delar av det planerade vindkraftsområdet teoretiskt sett vara synliga från ungefär en tredjedel av landytan. I mellanzonen (23–47 km) och fjärrzonen (47–64 km) minskar den teoretiska synbarheten avsevärt och för områden utanför fjärrzonen skulle vindkraftsområdet i princip vara osynligt. Avståndszonerna som används bör ses som en vägledning vid tolkning av resultaten. Även om synbarhetsanalysen indikerar att delar av vindkraftsområdet teoretiskt sett skulle vara synliga från vissa platser på södra Åland, såsom Mariehamn, befinner sig dessa platser i fjärrzonen, där vindkraftsverkens visuella dominans kraftigt skulle reduceras på grund av det långa avståndet.

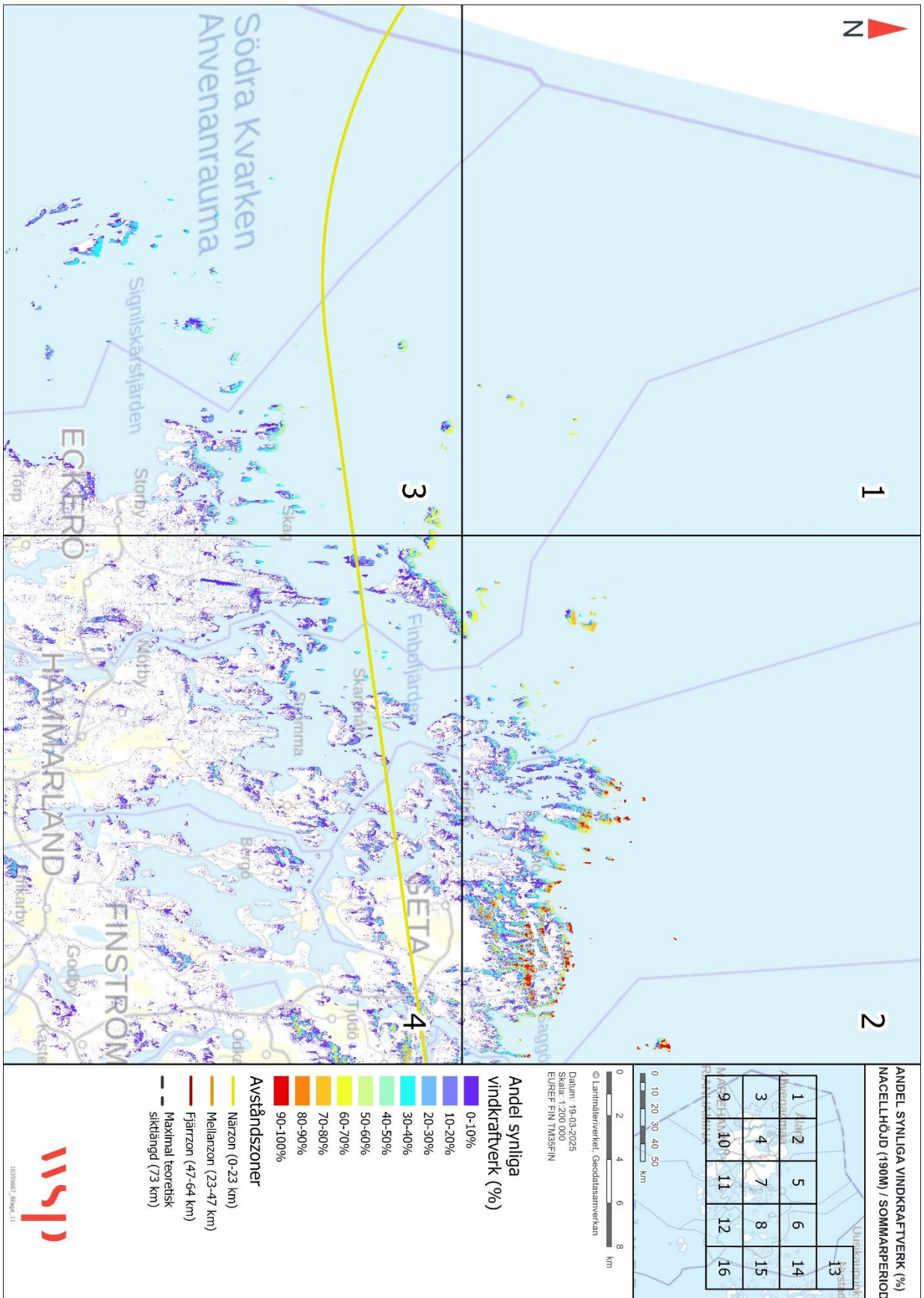
Skillnader i resultaten vid användning av de olika höjdmodellerna visar tydligt på terrängens och vegetationens inverkan på synbarheten. Ythöjdmodellen ger en mer realistisk representation av synbarheten och är bättre anpassad för att förmedla den faktiska visuella påverkan. Analysen visar att vegetations- och byggnadshinder kan reducera synbarheten med över 50 % i vissa områden och genom att även ta hänsyn till platsspecifika väderförhållanden återfås en mer realistisk representation av vindkraftsparkens potentiella synbarhet.

Analysen beaktar flera centrala parametrar som påverkar synbarhet, såsom mark- och ythöjdmodeller, observatörens genomsnittliga ögonhöjd, ljusbrytningseffekter, jordens krökning, samt väderförhållanden under sommar- och vintertid. Dessutom inkluderas vegetation, bebyggelse och andra siktblockerande objekt. Synbarhetsanalysen är en modelleringsprocess och är därför en databaserad representation av hur vindkraftsområdet teoretiskt skulle kunna uppfattas från olika områden på Åland. Analysen kommer med vissa antaganden kring till exempel medelvärde för siktlängd samt väderförhållanden och utgår även från en teoretisk placering av vindkraftverken som i realiteten kan komma att skilja sig vid en faktisk utbyggnad av området. Flera av antagandena är konservativa och analysen omfattar dessutom ett större antal vindkraftverk än vad som tillåts enligt planens byggbestämmelser. Denna rapport ger en objektiv bedömning av vindkraftsområdets teoretiska synbarhet och kan användas för att uppskatta hur den visuella påverkan blir.

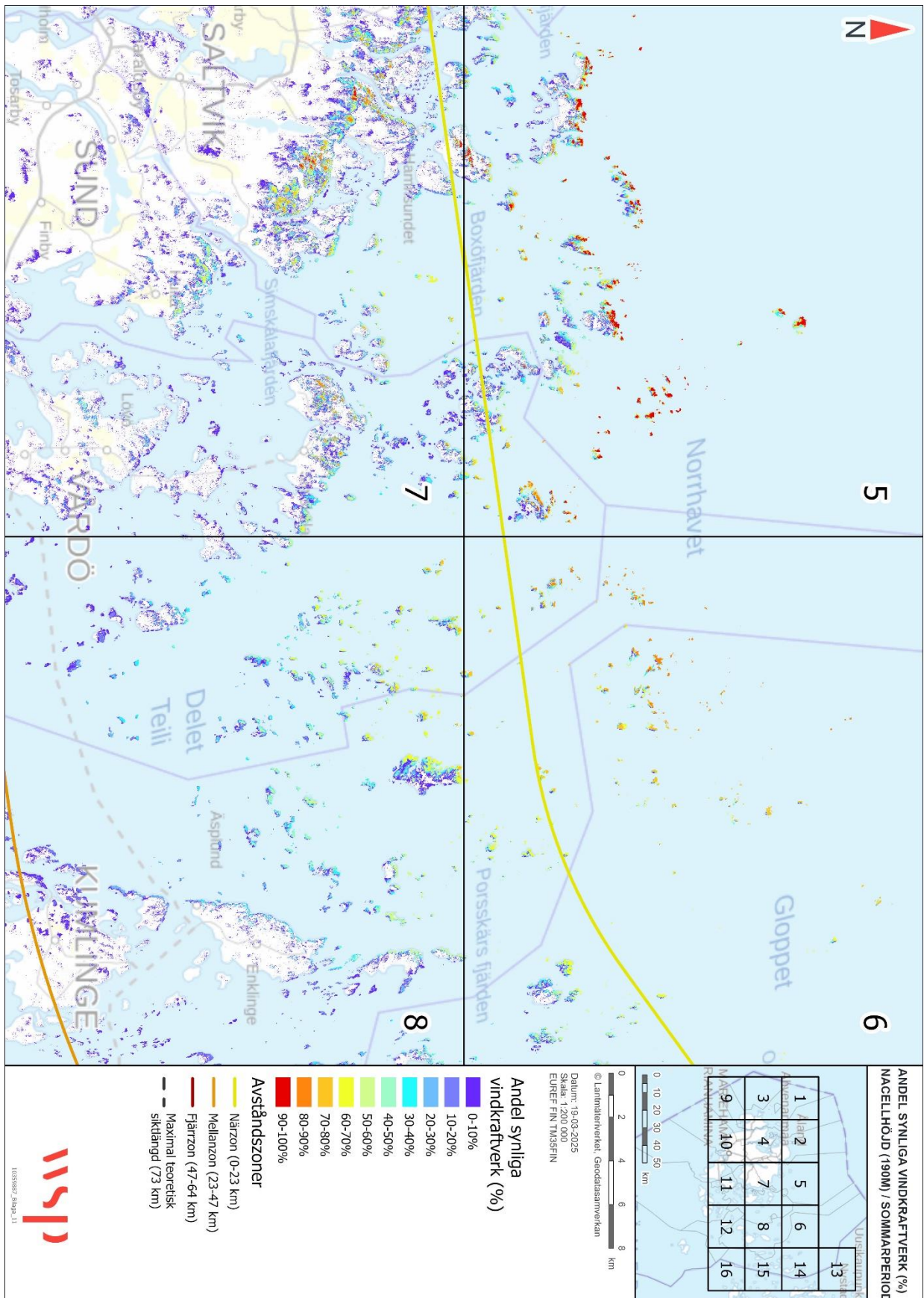
6 Referenser

- Miljöministeriet, 2024. *Bedömning av vindkraftsutbyggnadens konsekvenser för landskapet*. Helsingfors: Miljöministeriet.
- Nielsen, B., Nielsen, F.B., Pouplier, J., Achermann, C., Dalmer, C., 2007a. *Fremtidens havmølleplaceringer 2025 – Udvalget for fremtidens havmølleplaceringer*. Energistyrelsen.
- Nielsen, B., Nielsen, F.B., Pouplier, J., Achermann, C., Dalmer, C., 2007b. *Store vindmøller i det åbne land en vurdering af de landskabelige konsekvenser*. Miljøministeriet, Skovog Naturstyrelsen, Landsplanområdet.
- Sullivan R. G & Meyer M., 2014. *Earth Curvature and Refraction*. Guide to Evaluating Visual Impact Assessments for Renewable Energy Projects (ss. A-2). Fort Collins: U.S. Department of the Interior.
- ESRI, 2024. *How Geodesic Viewshed works*. [Online] <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.2/tool-reference/spatial-analyst/how-viewshed-2-works.htm>> [Hämtad den 15 11 2024].
- Landscape Institute & Institute of Environmental Management and Assessment, 2013. *Guidelines for landscape and visual impact assessment* (3:a uppl.). London, UK: Routledge.
- Lantmateriverket, 2024. *Laserskannat material 0,5 p*. [Online] <<https://www.maanmittauslaitos.fi/sv/kartor-och-geodata/datamaterial-och-granssnitt/produktbeskrivningar/laserskannat-material-05-p>> [Hämtat den 17-09-2024]
- Meteorologiska Institutet, 2024. *Observationsstorheter*. [Online] <<https://sv.ilmatieteenlaitos.fi/observationsstorheter>> [Hämtat den 10-09-2024]
- Moritz, H., 2000. *Geodetic Reference System 1980*. Journal of Geodesy, 128-133.
- Palmer, J. F., 2022. *Deconstructing viewshed analysis makes it possible to construct a useful*. Landscape and Urban Planning, 225.
- WorldData.info, 2022. *Average sizes of men and women*. [Online] < <https://www.worlddata.info/average-bodyheight.php>> [Hämtat den 15-11-2024].
- Yoeli, 1985. *The Making of Intervisibility Maps with Computer and Plotter*. Cartographica, 88–103.

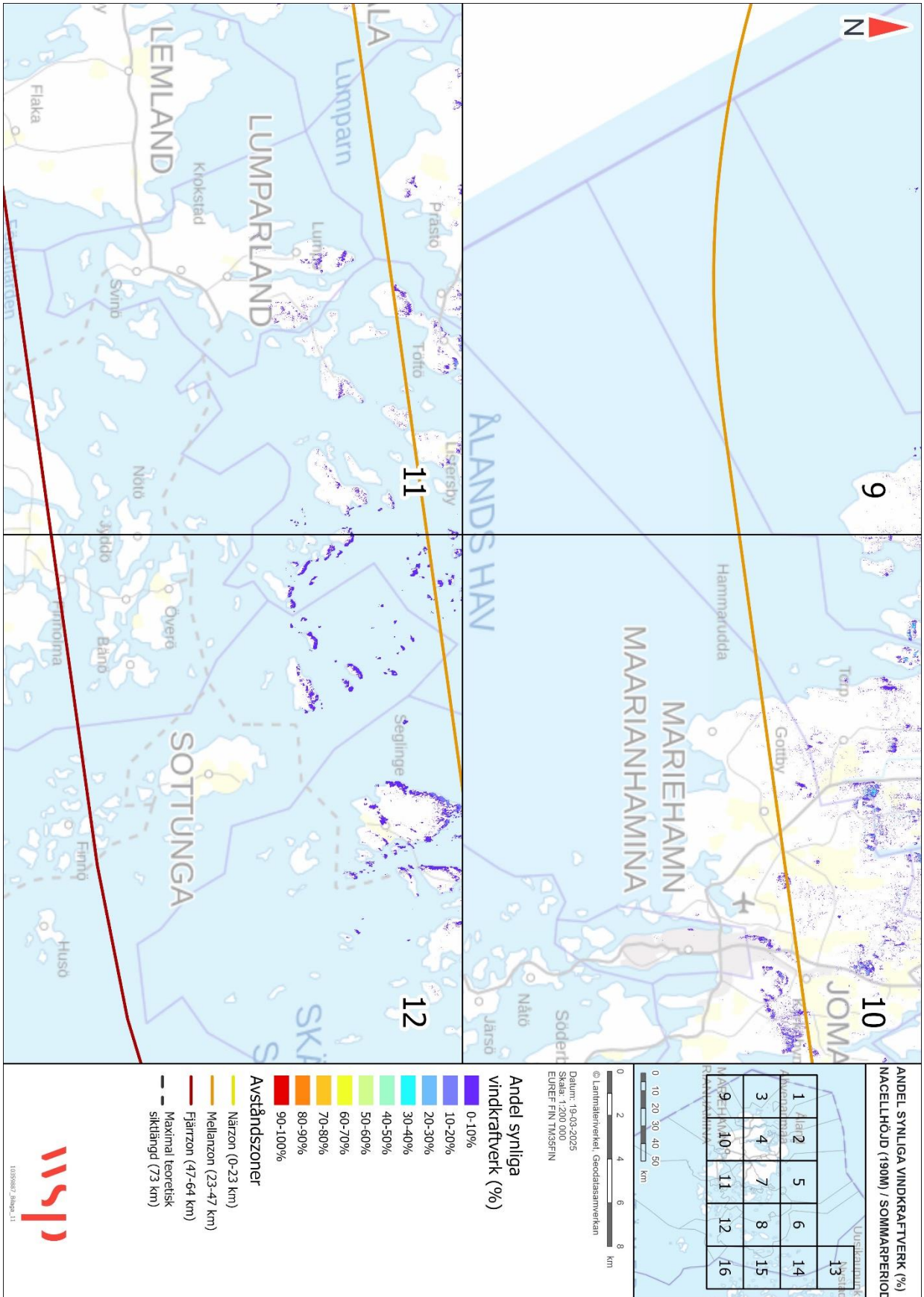
Bilaga A: Synbarhet nacellhöjd sommarperiod kartserie 1-4



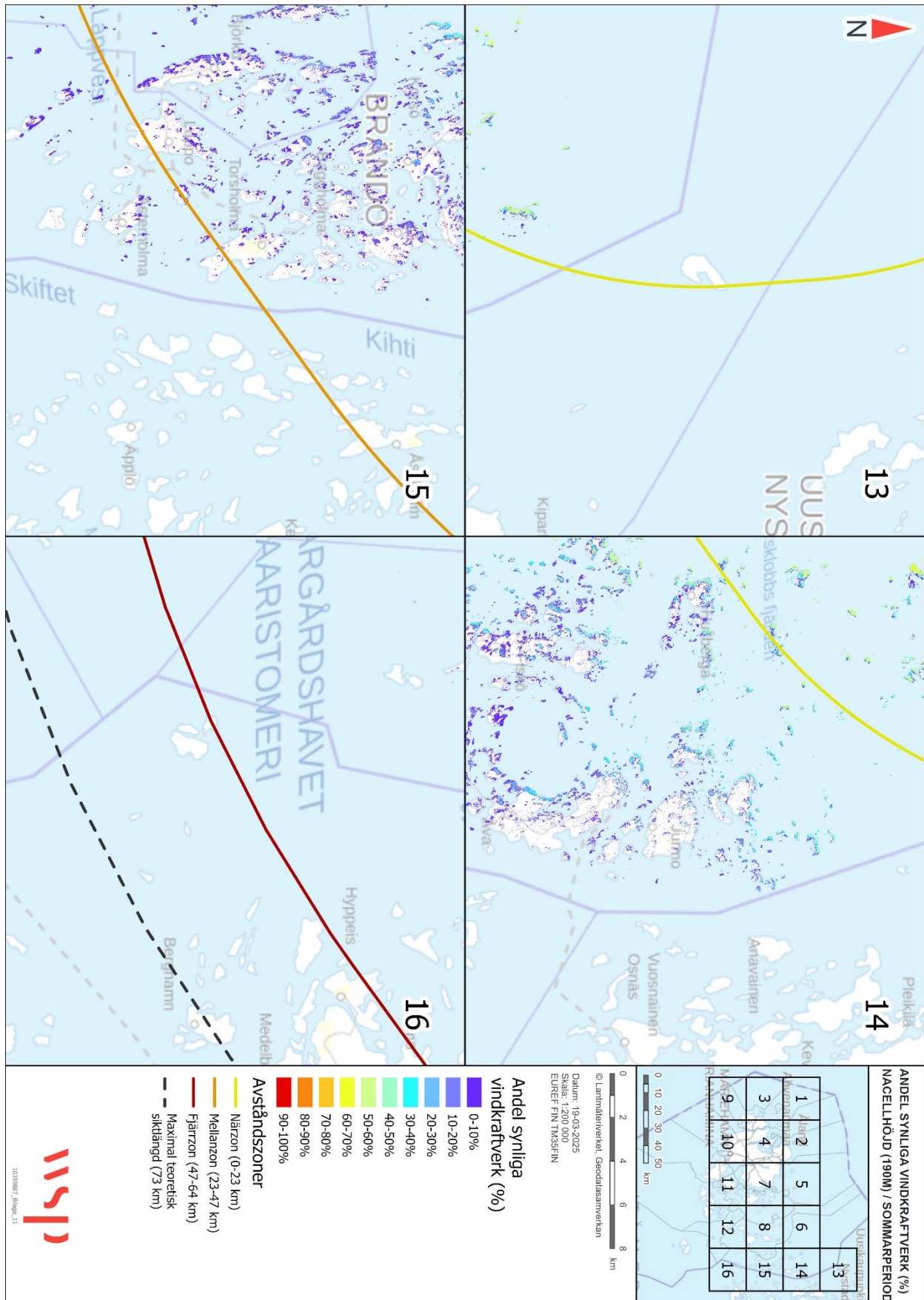
Bilaga B: Synbarhet nacellhöjd sommarperiod kartserie 5–8



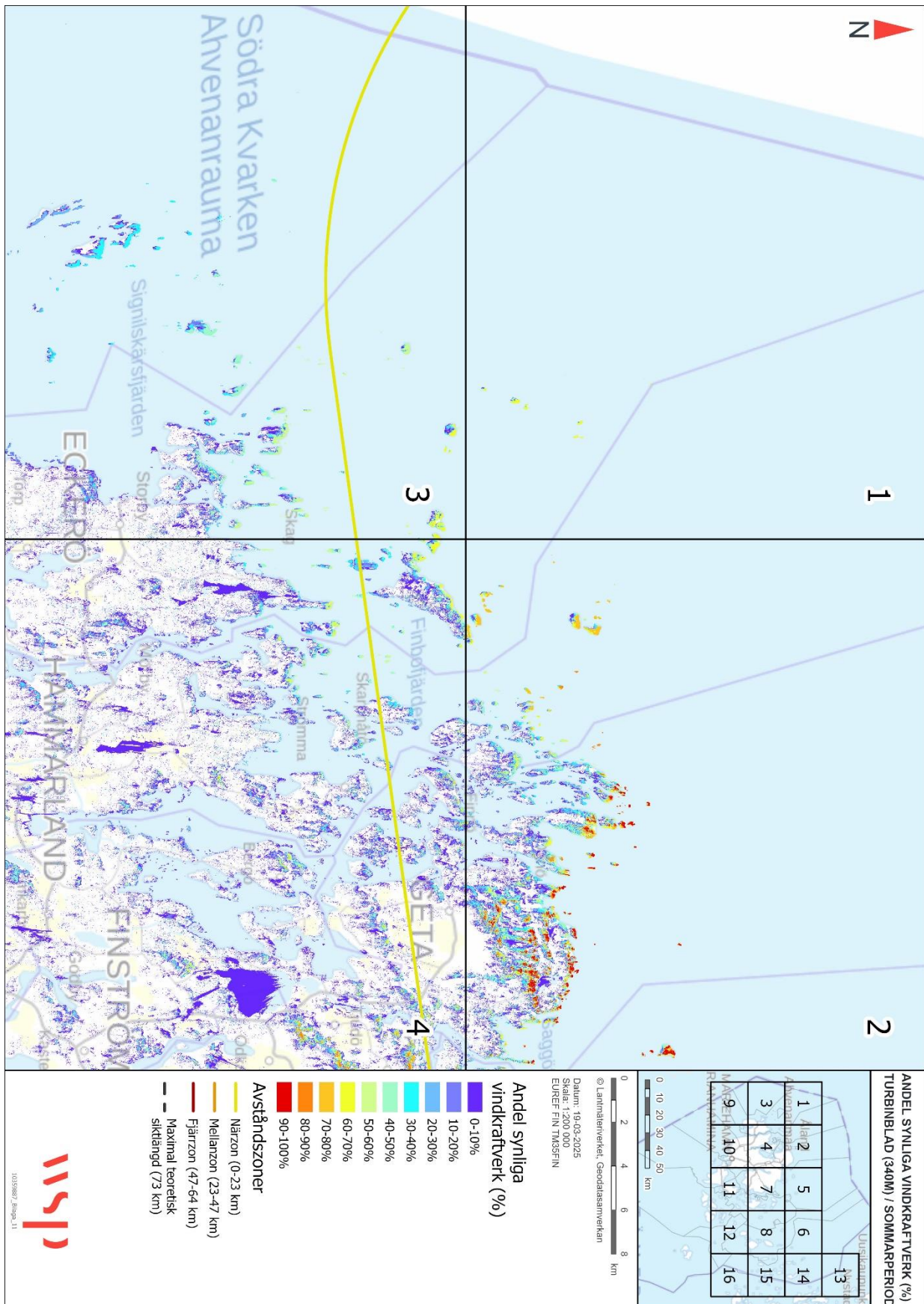
Bilaga C: Synbarhet nacellhöjd sommarperiod kartserie 9–12



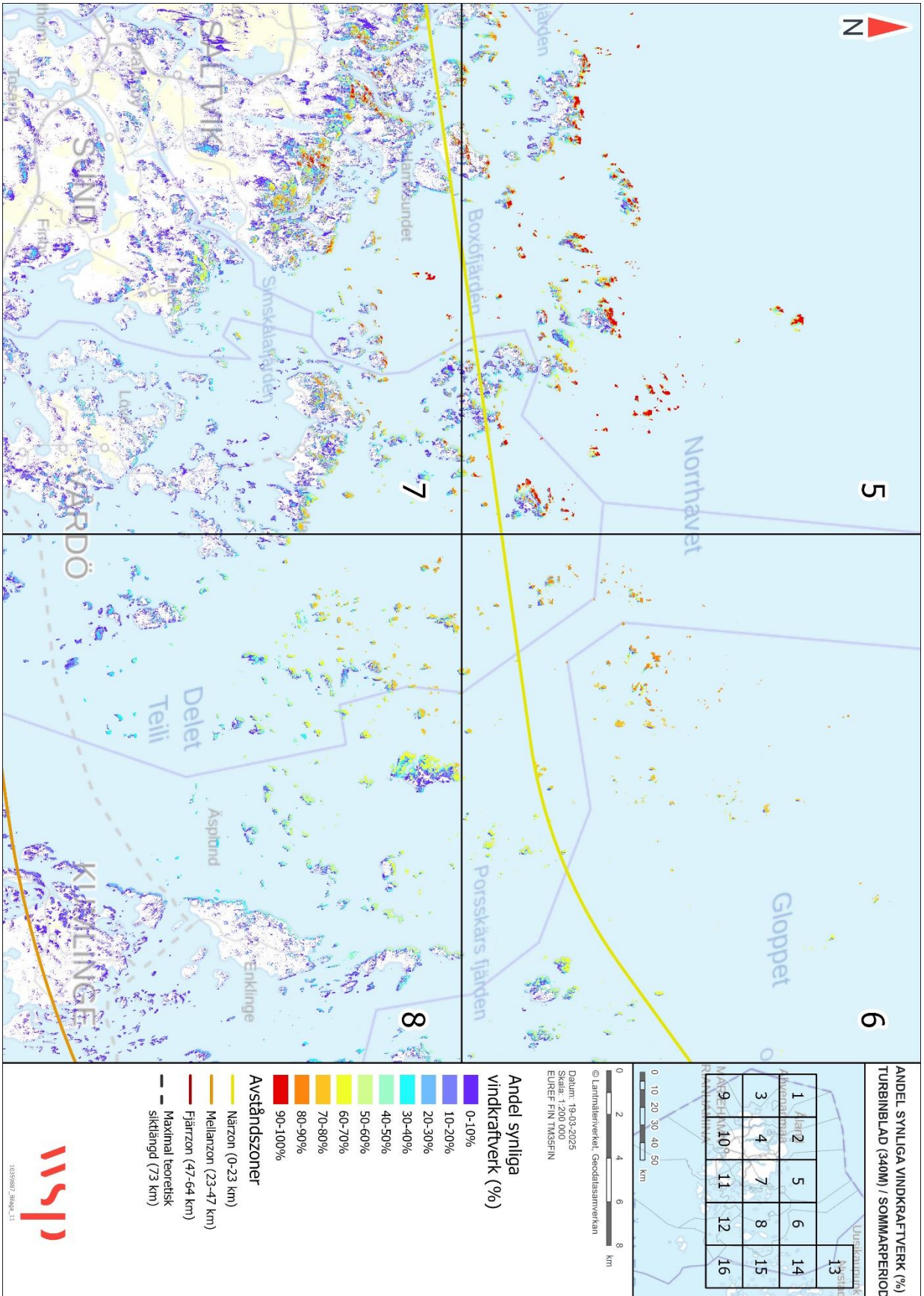
Bilaga D: Synbarhet nacellhöjd sommarperiod kartserie 13–16



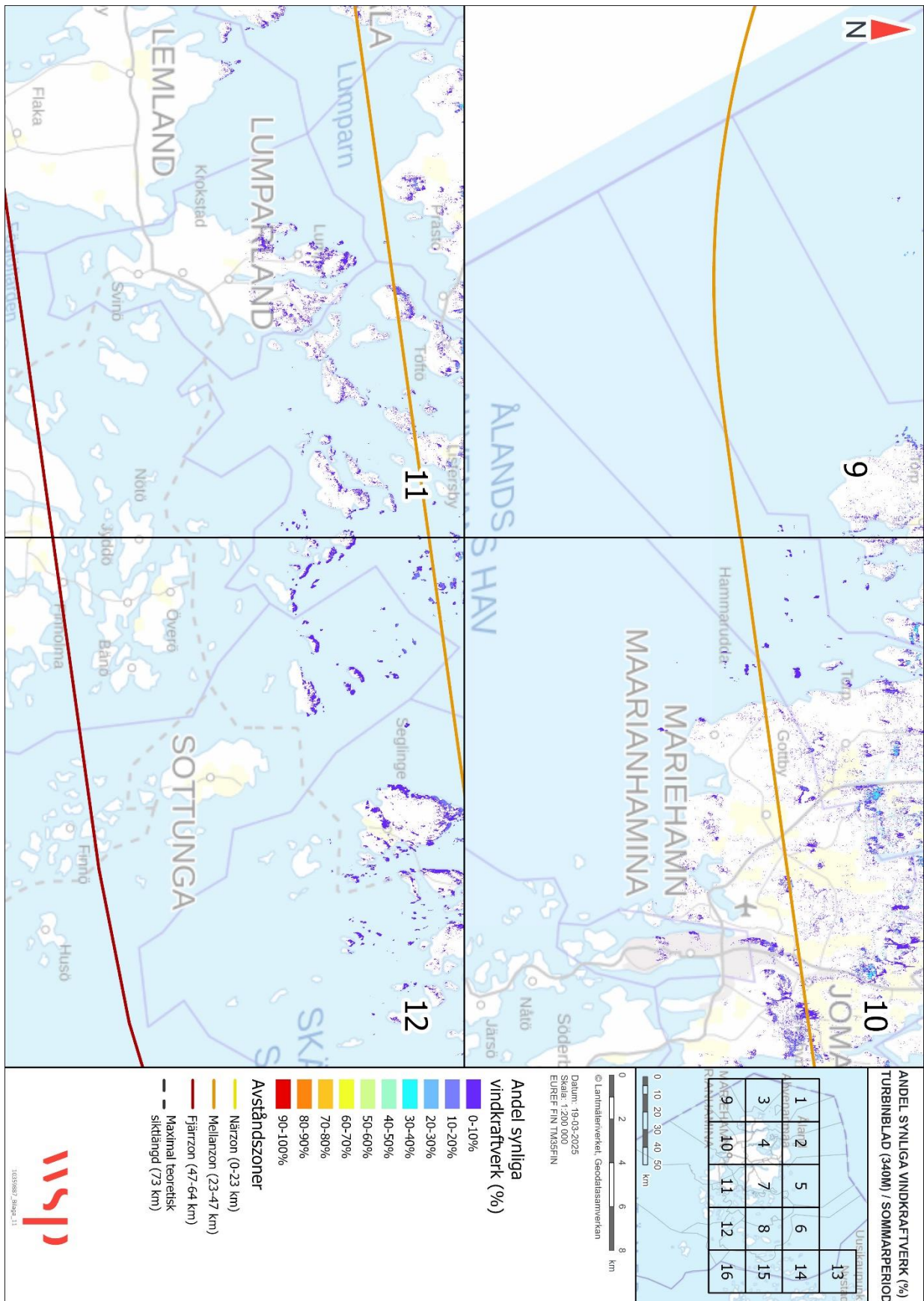
Bilaga E: Synbarhet bladspetshöjd sommarperiod kartserie 1-4



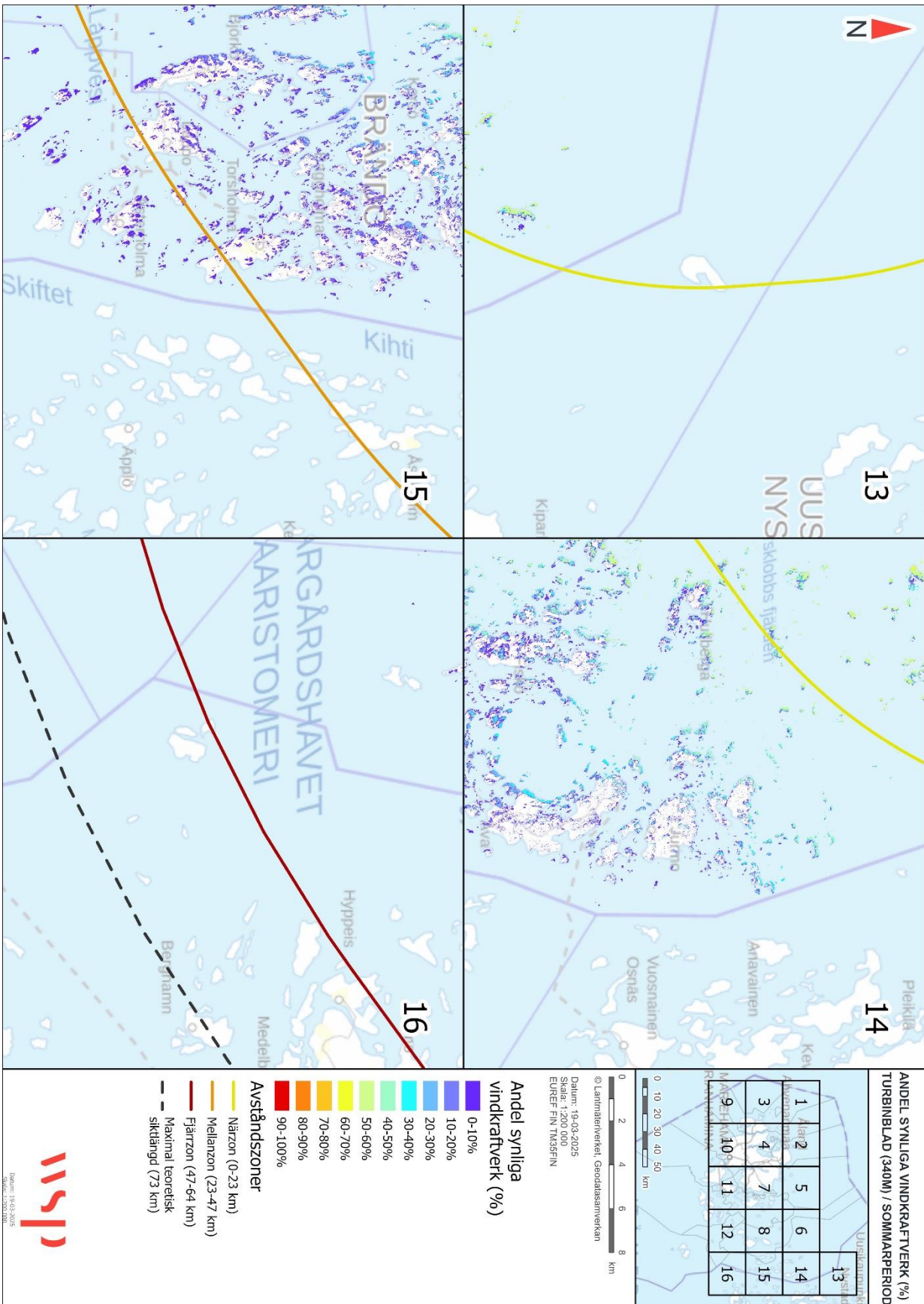
Bilaga F: Synbarhet bladspetshöjd sommarperiod kartserie 5–8



Bilaga G: Synbarhet bladspetshöjd sommarperiod kartserie 9–12



Bilaga H: Synbarhet bladspetshöjd sommarperiod kartserie 13–16



wsp

