

Handläggare Samuel Rosko	Mottagare Charlotte Mattsby
Tel +46 105 055 613	Tel +46 10 505 10 81
Mobil +46 722 161 101	Mobil +46 72 217 92 98
E-post samuel.rosko@afry.com	E-post charlotte.mattsby@afry.com
Datum 2024-04-08	
Projekt ID 5 061 017 126	

Palojärvi vindkraftspark – synbarhetsanalys & skuggberäkning

Innehåll

1	Synbarhetsanalys	3
1.1	Metod och beskrivning.....	3
1.2	Fjärrzon.....	5
1.2.1	Fjärrzon – totalhöjd 330m	6
1.2.2	Fjärrzon – navhöjd 244m	8
1.2.3	Fjärrzon – kommentarer.....	9
1.3	Mellanzon	10
1.3.1	Mellanzon – totalhöjd 330m.....	10
1.3.2	Mellanzon – navhöjd 244m	12
1.3.3	Mellanzon – detalj Haparanda/Tornio	13
1.3.4	Mellanzon – detalj Kalix.....	14
1.3.5	Mellanzon – detalj Kemi	15
1.4	Närzon	16
1.4.1	Närzon – totalhöjd 330m	17
1.4.2	Närzon – navhöjd 244m	18
2	Skuggberäkning.....	19
2.1	Metod och beskrivning.....	19
2.2	Worst case scenario	22
2.2.1	Timmar per år.....	22
2.2.2	Minuter per dag.....	23
2.3	Real case scenario	24
2.3.1	Timmar per år.....	24
2.3.2	Minuter per dag.....	25
2.4	Kommentarer.....	26
3	Källor	27

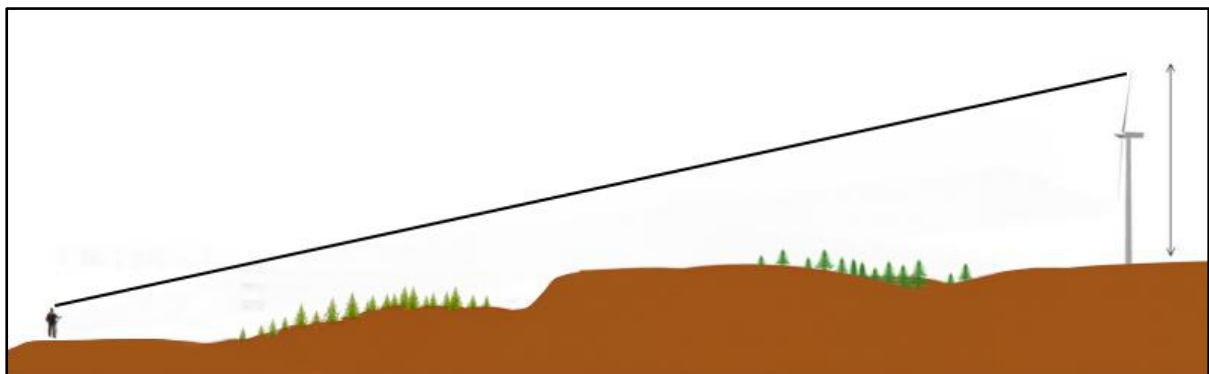
1 Synbarhetsanalys

1.1 Metod och beskrivning

Ett vanligt steg i processen inför etablering av vindkraftparker är att utföra en så kallad synbarhetsanalys. Denna genomförs, då landskapets bild kan påverkas av vindkraftsetableringar och det är därför viktigt att undersöka var och hur vindkraftverken kommer att vara synliga. Hur vindkraften påverkar landskapet beror bland annat på verkens dimensioner, antal, utformning, rådande väderförhållanden och avstånd till parken.

Synbarhetsanalysen kan utföras med hjälp av olika mjukvaror, i det här fallet har WindPRO´s ZVI (Zones of Visual Influence) modul använts i beräkningen. Beräkningen tar hänsyn till topografin, verkens storlek och placering, åskådarens ögonhöjd, trädhöjd i området, samt jordens krökning.

Beräkningen tar fram den teoretiska synbarheten i kartform genom att identifiera vilka områden kommer att påverkas visuellt. Programmet använder en digital 3D-modell av landskapet, lokala hinder, samt skogshöjd och skickar därefter en signal från varje beräkningspunkt mot vindkraftverkens bladspets eller navhöjd. Ifall terrängen eller skogen är i vägen så returneras signalen som icke-synlig, om signalen är oavbruten så returneras den som synlig, se schematisk bild nedan i Figur 1.



Figur 1. Schematisk bild över beräkningsprogrammets tillvägagångsätt, signalen returneras oavbruten i det här fallet, modifierat efter EMD International A/S (2024).

Beräkningen tar inte hänsyn till atmosfäriska förhållanden och bör därför ses som ett *worst case scenario*. Den faktiska synbarheten kommer att vara lägre än vad synbarhetsanalysen kommer att presentera.

Beräkningen i programmet kan göras antingen på totalhöjd av vindkraftverken, då vindbladspetsen antas vara synlig, eller på vindkraftverkens navhöjd, som är viktig utifrån hinderbelysningens visuella påverkan. För Palojärvi, en beräkning görs för vindkraftverkens totalhöjd och en på vindkraftverkens navhöjd.

Beräkningen kan göras med en upplösning på mellan 1m och 250m. Upplösningen rekommenderad av själva beräkningsprogrammet för stora beräkningsområden (ej definierat kvantitativt) är 100m, för mindre områden med en storlek på 5*5 km är rekommendationen 25m.

För beräkningen i Palojärvi har tre olika beräkningssteg valts:

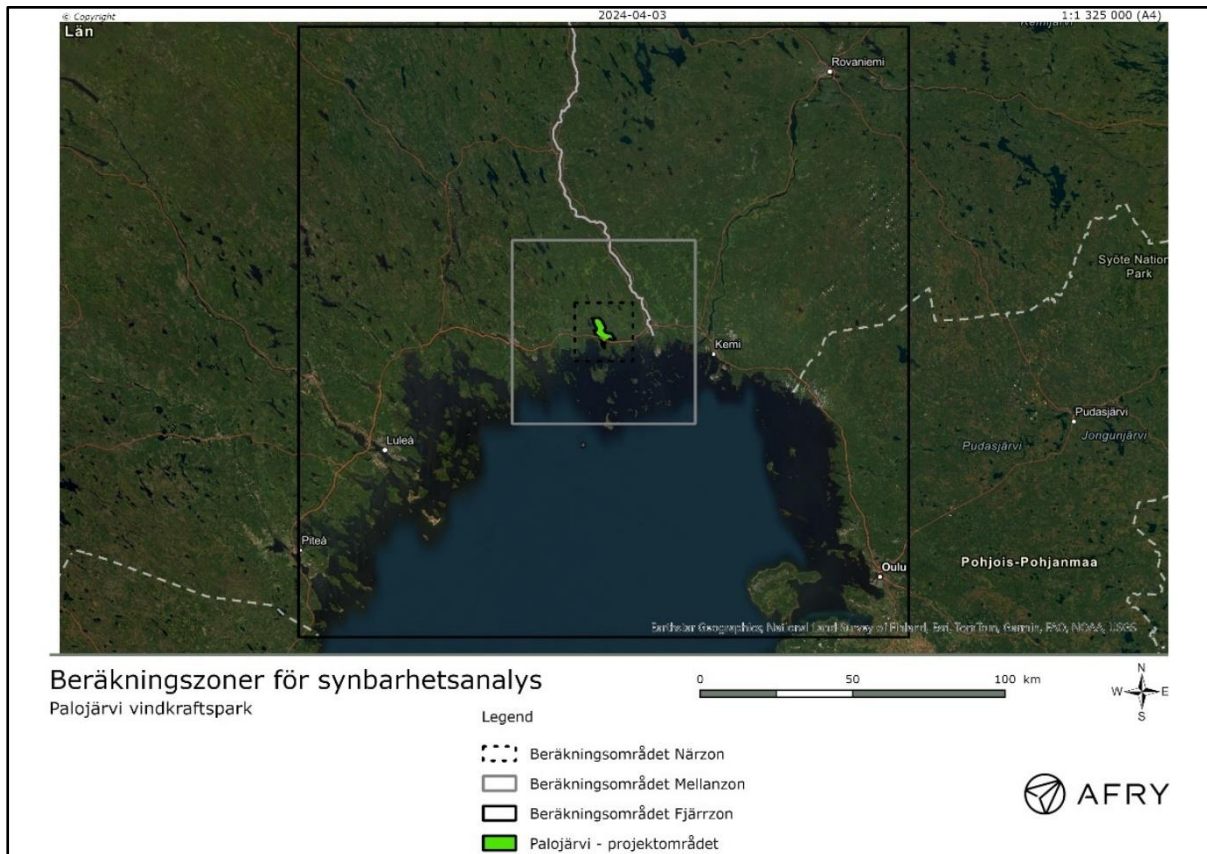
- fjärrzon (200 * 200 km)
- mellanzon (60 * 60 km)
- närzon (19 * 19 km)

Beräkningssteg fjärrzon har definierats utifrån behovet att visa på den maximala teoretiska synbarheten utifrån topografi, jordens krökning och vindkraftverkens totalhöjd på 330m.

Beräkningssteg mellanzon har definierats utifrån en standard som råder för landbaserade vindkraftsparker, där man beräknar för ett område med ett ungefärligt avstånd på 60 km från vindkraftsparken, för vindkraftverk som har en totalhöjd högre än 150m (NatureScot, 2021).

Beräkningssteg närzon har definierats utifrån den tillgängliga, högupplösta terrängdata (upplösningen är på 5m).

Se kartan i Figur 2 nedan för de olika beräkningsområden i förhållande till placeringen av Palojärvi vindkraftspark.



Figur 2. Zoner för ZVI-beräkningar.

Beräkningen för fjärrzonen har en upplösning på 50m, mellanzonens upplösning är 25m och närzonens beräkning har en upplösning på 5m. En samlad information om zonerna och deras in-data finns i Tabell 1, i kapitel 1.2.

1.2 Fjärrzon

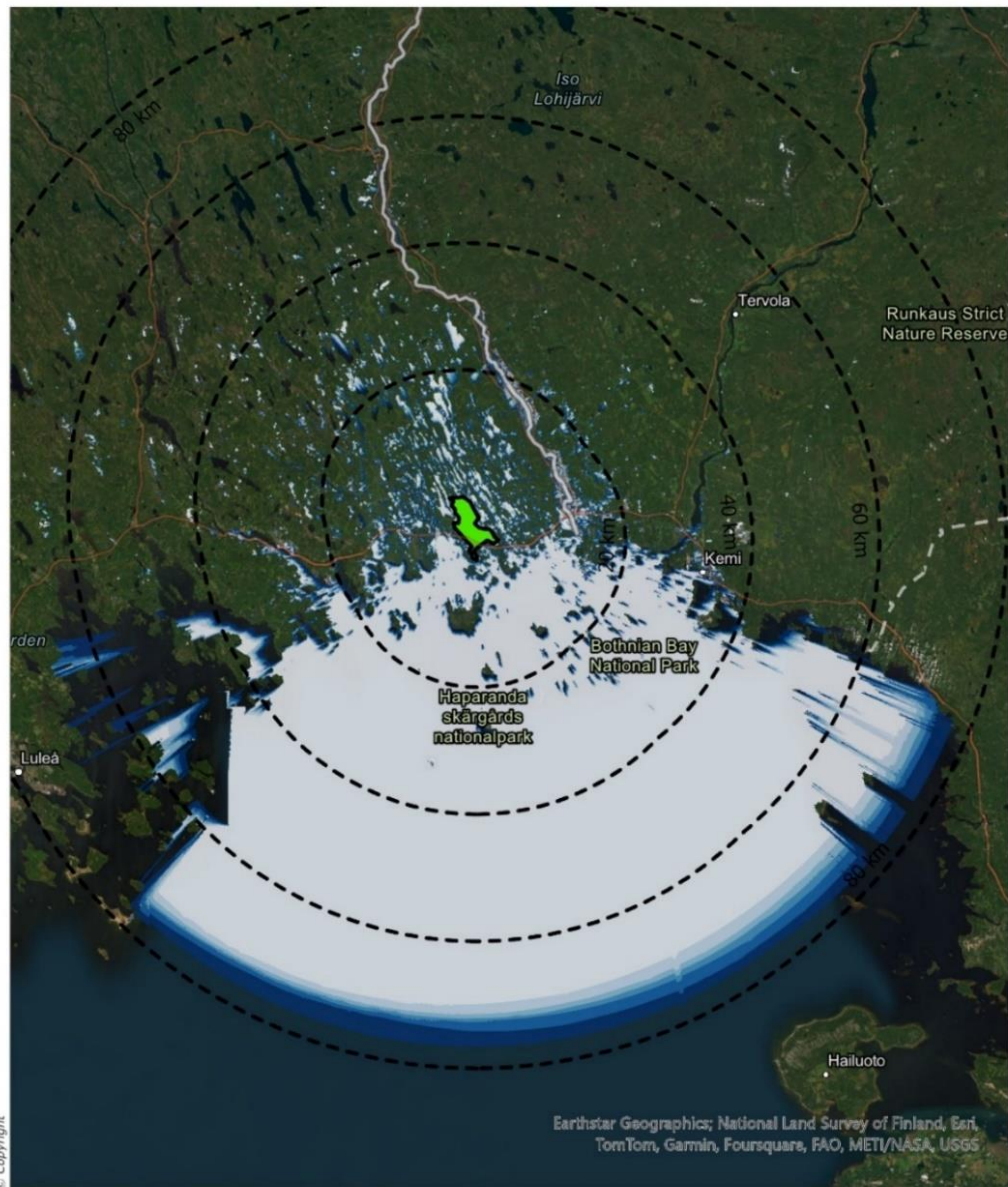
Avsnittet 1.2 presenterar resultat av synbarhetsberäkningen för fjärrzonen, alltså beräkningen med en upplösning på 50 m och ett område på 200 * 200 km. Fjärrzonens beräkning visar den maximala teoretiska synbarheten och använder indata för att beräkna resultatet som finns i Tabell 1 nedan.

Tabell 1. Samlad information om zonerna och beräkningsunderlaget (TH – totalhöjd, NH – navhöjd, RD – rotordiameter).

	Fjärrzon	Mellanzon	Närzon
Antal vindkraftverk	54	54	54
Vindkraftverkens dimensioner (m)	TH 330 NH 244 RD 172	TH 330 NH 244 RD 172	TH 330 NH 244 RD 172
Beräkningsområdet (km)	200 * 200	60 * 60	19 * 19
Ögonhöjd (m)	1,5	1,5	1,5
Upplösning (m)	50	25	5
Terrängdata Sverige	Swedish Elevation Model (GSD Höjddata, grid 50m nh)	Copernicus DEM GLO (30m)	Inköpt höjddata från Metria runt projektområdet (5m)
Terrängdata Finland	Finnish Elevation Model - 10m grid	Finnish Elevation Model - 10m grid	Finnish Elevation Model - 10m grid
Skogsdata Sverige	SLU FOREST MAP 2010, Sweden	SLU FOREST MAP 2010, Sweden	SLU FOREST MAP 2010, Sweden
Skogsdata Finland	Luke forest inventory of Finland, 2021	Luke forest inventory of Finland, 2022	Luke forest inventory of Finland, 2023

1.2.1 Fjärrzon – totalhöjd 330m

Figur 3 nedan visar en karta med resultatet på synbarhetsberäkningen för fjärrzonen. Beräkningen använder den totala höjden på 330m för varje vindkraftverk i Palojärvi vindkraftspark. Den totala arean av visuellt påverkade områden uppgår till ca 7190 km² enligt beräkningen.




Palojärvi - Synbarhetsanalys

54 vindkraftverk med totalhöjd på 330m

0 10 20 30 km



 Palojärvi - projektområdet

Antal synliga verk

 50-54

 40-50

 30-40

 20-30

 10-20

 1-10

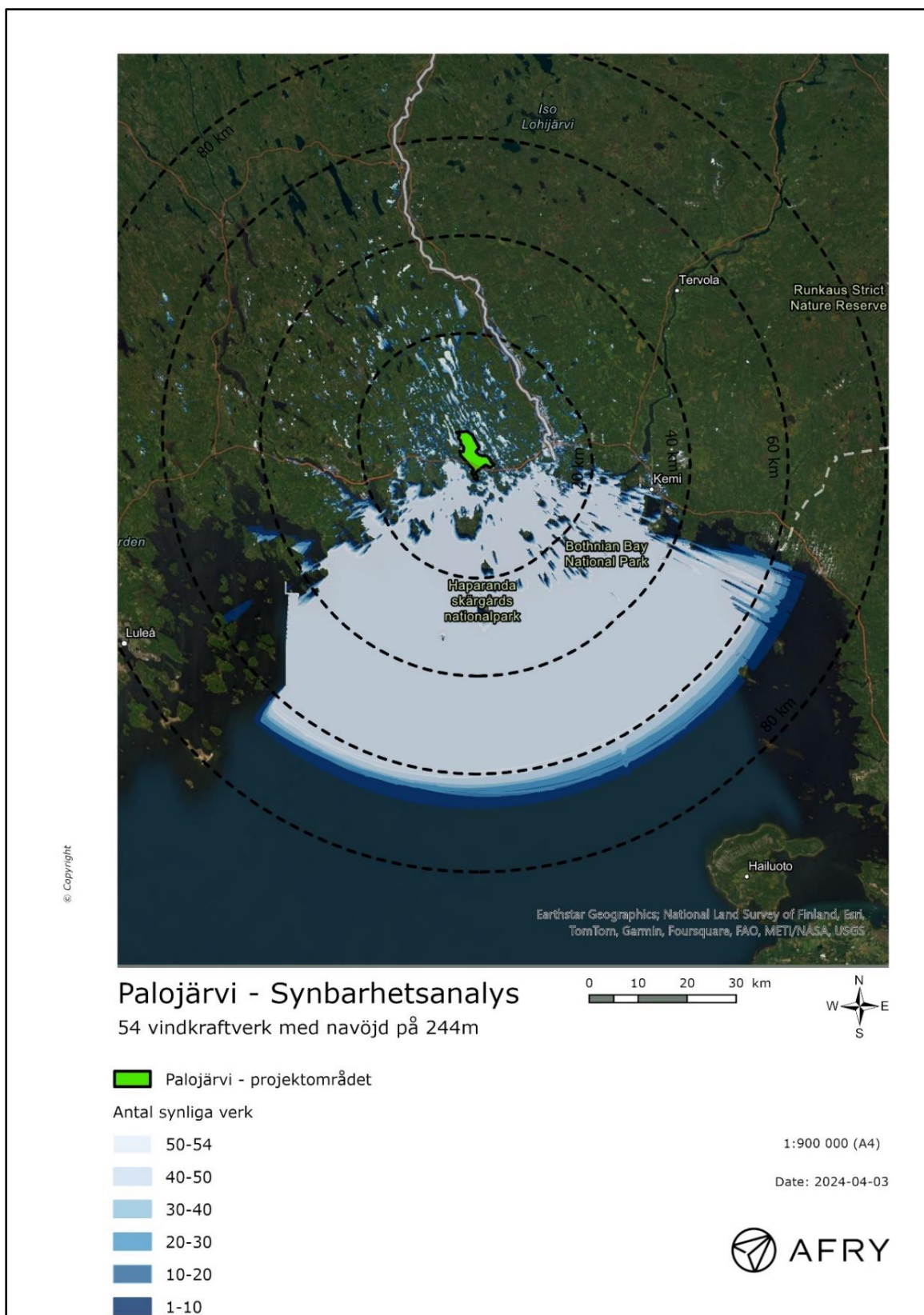
1:900 000 (A4)

Date: 2024-04-03

Figur 3. Synbarhetsresultatet för fjärrzonen baserad på totalhöjd av 330m.

1.2.2 Fjärrzon – navhöjd 244m

Figur 4 nedan visar en karta med resultatet på synbarhetsberäkningen för fjärrzonen.



Figur 4. Synbarhetsresultatet för fjärrzonen baserad på navhöjd på 244m.

Beräkningen använder i stället för totalhöjden en navhöjd på 244m för varje vindkraftverk i Palojärvi vindkraftspark. Den totala arean av visuellt påverkade områden uppgår till ca 5500 km² enligt beräkningen.

1.2.3 Fjärrzon – kommentarer

Den maximala utbredningen av visuellt påverkade områden varierar åt olika håll men är generellt sätt något lägre än 80 km. Områden som visar särskilt stora visuella påverkan inkluderar öppna ytor till havs, floder, sjöar, skogsfria områden och bergstoppar. Det finns flera områden ute till havs som ingår i det visuellt påverkade området enligt beräkningen som kan vara värda att nämna, såsom naturreservat (NR) och nationalparker (NP) på den svenska sidan av bottniska viken:

- Haparanda Skärgård Nationalpark
- Haparanda Sandskär Naturreservat
- Malören Naturreservat
- Kalix yttre skärgård

Ovan nämnda är långt ifrån en lista på alla visuellt påverkade områden, men är en lista på några NP och NR som har tidigare nämnts av länsstyrelsen/kommuner i samband med landskapsbild och etablering av vindkraftsprojekt i och runt Bottenviken. Då även hinderljusbelysningen har nämnts i tidigare yttranden, så är det viktigt att även visa på den teoretiska maximala utbredningen av visuell påverkan som är beräknad på vindkraftverkens navhöjd, i stället för totalhöjden. I det fallet minskar det maximala visuella påverkansområdet med ungefär 9–10 km mot den öppna havsytan. Detta har även betydelse för visuell påverkan på öarna i den finska delen av Bottenviken, som kan komma att bli en del av Espoo-processen för den gränsöverskridande konsekvensbedömningen av landskapsbilden.

Den maximala utbredningen visar också att den visuella påverkan inte når till Luleå stad, och minskar ytterligare för Luleås skärgård när man gör beräkningen på vindkraftverkens navhöjd i stället för totalhöjd. Beräkningen gjord för fjärrzonen visar även att alla viktiga samhällen i trakten kommer mer eller mindre att påverkas, några viktiga att nämna är:

- De flesta städer och samhällen längs med Torne älven inom 60 km från vindkraftsparken
- Norra delar av sjöarna mot inlandet som används som badplatser
- Stränder längst kusten i närheten av parken, eventuellt fiskelägen
- Vandringsleder, stigar, utkiksplatser och hamnar

- Städerna Kalix, Haparanda*, Seskarö, samhällen runt parken som Nikkala, Vuppio, Pentheikki
- Städerna Royttä, Kemi, Tornio*

Några ställen från listan ovan kommer även att ha sina egna detaljkartor i kapitel 1.3 nedan.

Slutligen – den maximala utbredningen av visuellt påverkade områden är bara ett sätt att visa ett *worst case scenario*. Beräkningen tar inte hänsyn till vad ögat kan uppfatta rent fysiologiskt. Fysiologin är i stället kopplat till betraktarens synförmåga men beror även på tjockleken på objekt som betraktas på stort avstånd.

Den verkliga visuella påverkan bör kompletteras i ett senare skede med fördjupad analys över vindkraftverkens dimensioner som kan vara uppfattas av mänskliga ögat och fotomontage som punktvis visar den faktiska påverkan på landskapet.

Beräkningen tar inte heller hänsyn till vilka atmosfäriska förhållanden som råder för betraktaren, speciellt med tanke på sikt som mått i kilometer.

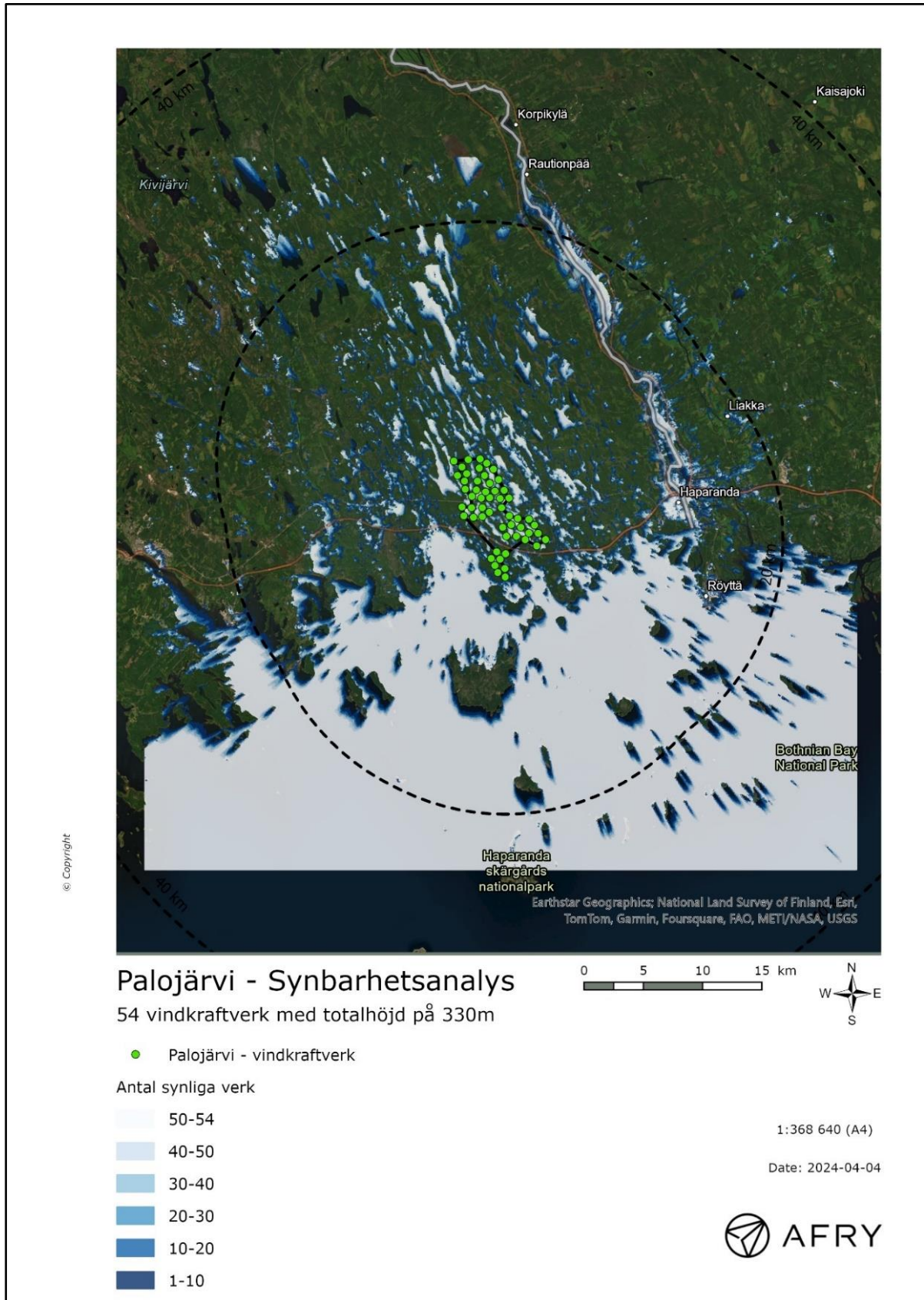
Så den visuella påverkan bör även kompletteras med uppmätt och analyserat väderdata för sikt, förslagsvis från SMHI:s närliggande väderstationer, som kommer att komplettera den visuella bedömningen och oftast sänka antalet timmar och dagar som vindkraftparken kommer att faktiskt vara synlig under olika årstider.

1.3 Mellanzon

Avsnittet 1.3 presenterar resultat av synbarhetsberäkningen för mellanzonen, alltså beräkningen med en upplösning på 25 m och ett beräkningsområde som är en ruta på 60 * 60 km runt Palojärvis projektområde. Mellanzonens beräkning visar den teoretiska synbarheten med en finare upplösning än fjärrzonens och använder indata från Tabell 1 i beräkningen.

1.3.1 Mellanzon – totalhöjd 330m

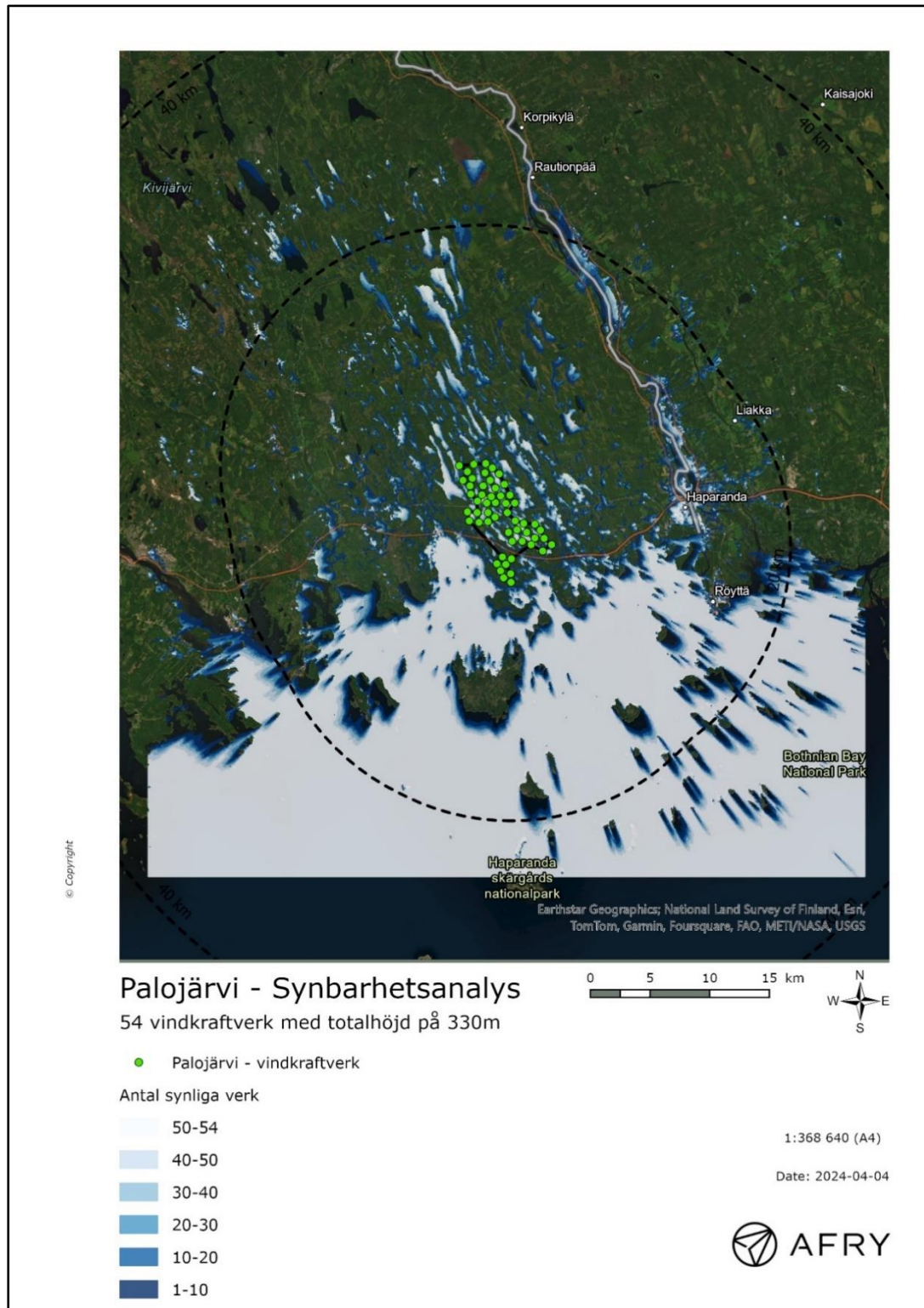
Figur 5 nedan visar en karta med resultatet på synbarhetsberäkningen för mellanzonen. Beräkningen använder den totala höjden på 330m för varje vindkraftverk inom Palojärvi vindkraftspark.



Figur 5. Synbarhetsresultatet för mellanzonen baserad på totalhöjd på 330m.

1.3.2 Mellanzon – navhöjd 244m

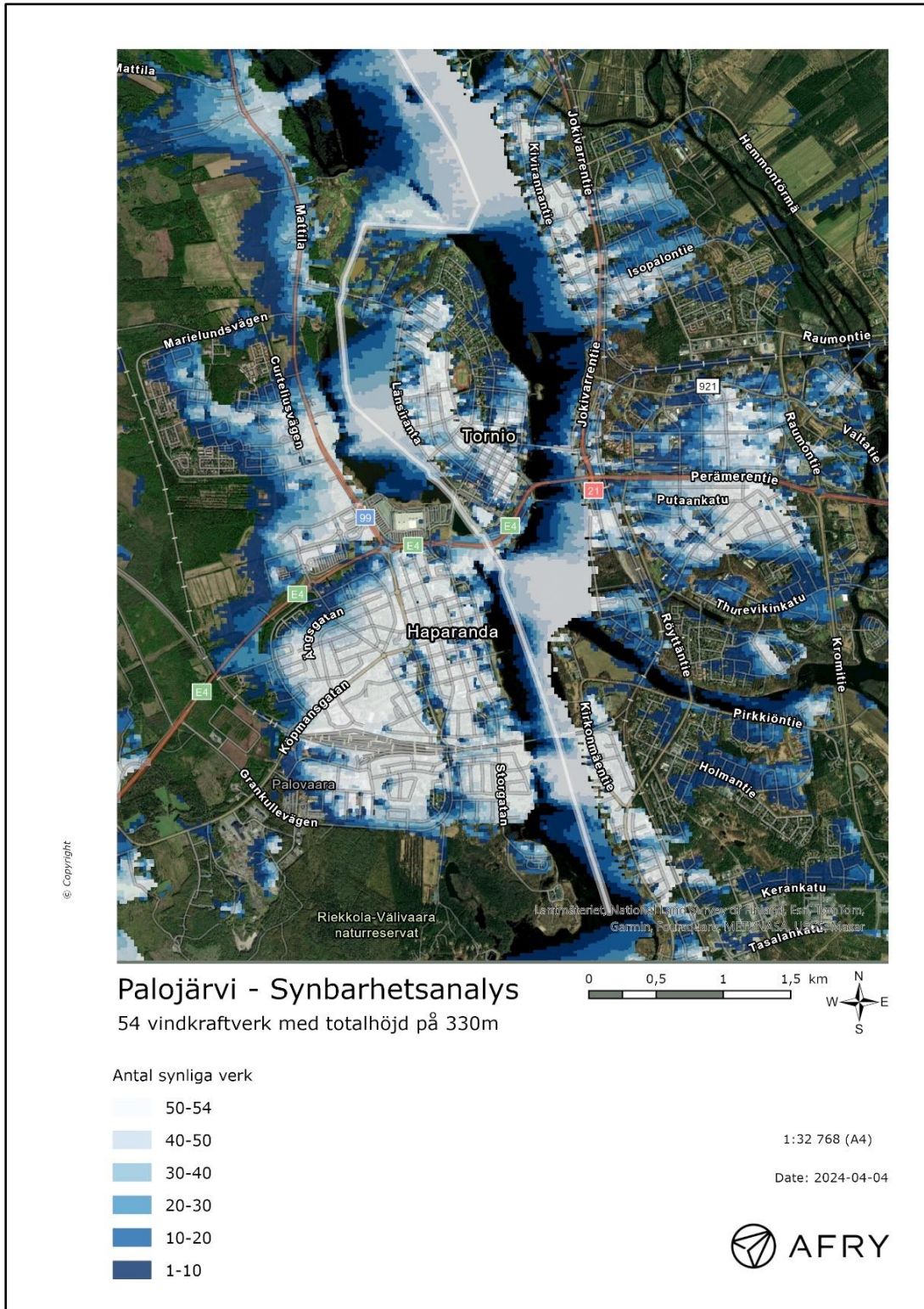
Figur 6 nedan visar en karta med resultatet på synbarhetsberäkningen för mellanzonen. Beräkningen använder navhöjden på 244m för varje vindkraftverk inom Palojärvi vindkraftspark.



Figur 6. Synbarhetsresultatet för mellanzonen baserad på navhöjd på 244m.

1.3.3 Mellanzon – detalj Haparanda/Tornio

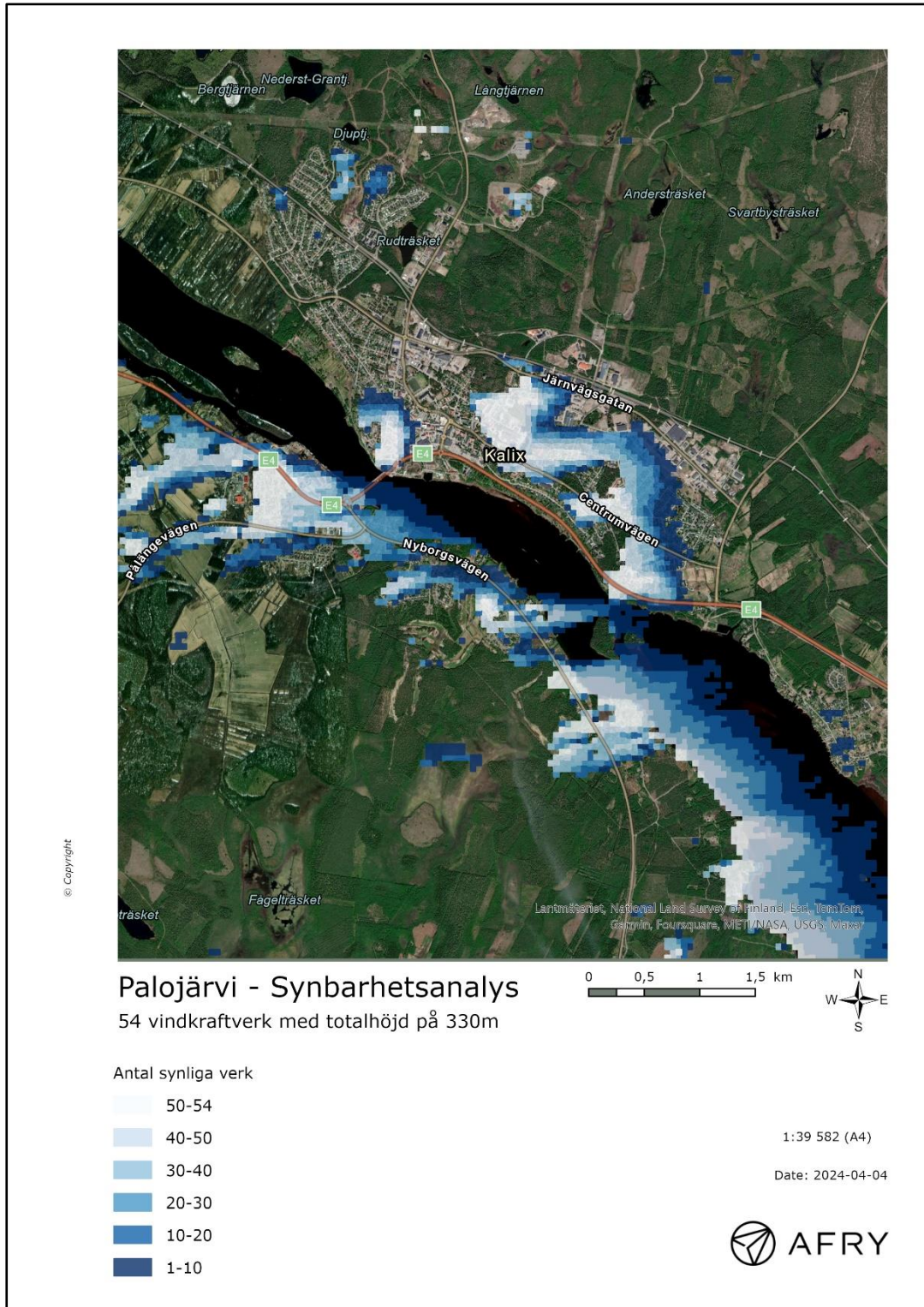
Figur 7 nedan visar en karta med resultatet på synbarhetsberäkningen för mellanzonen med detaljerad vy över Haparanda/Tornio och närliggande områden. Beräkningen använder totalhöjden på 330m för varje vindkraftverk inom Palojärvi vindkraftspark.



Figur 7. Synbarhetsresultatet för mellanzonen baserad på totalhöjd på 330m, detalj – Haparanda.

1.3.4 Mellanzon – detalj Kalix

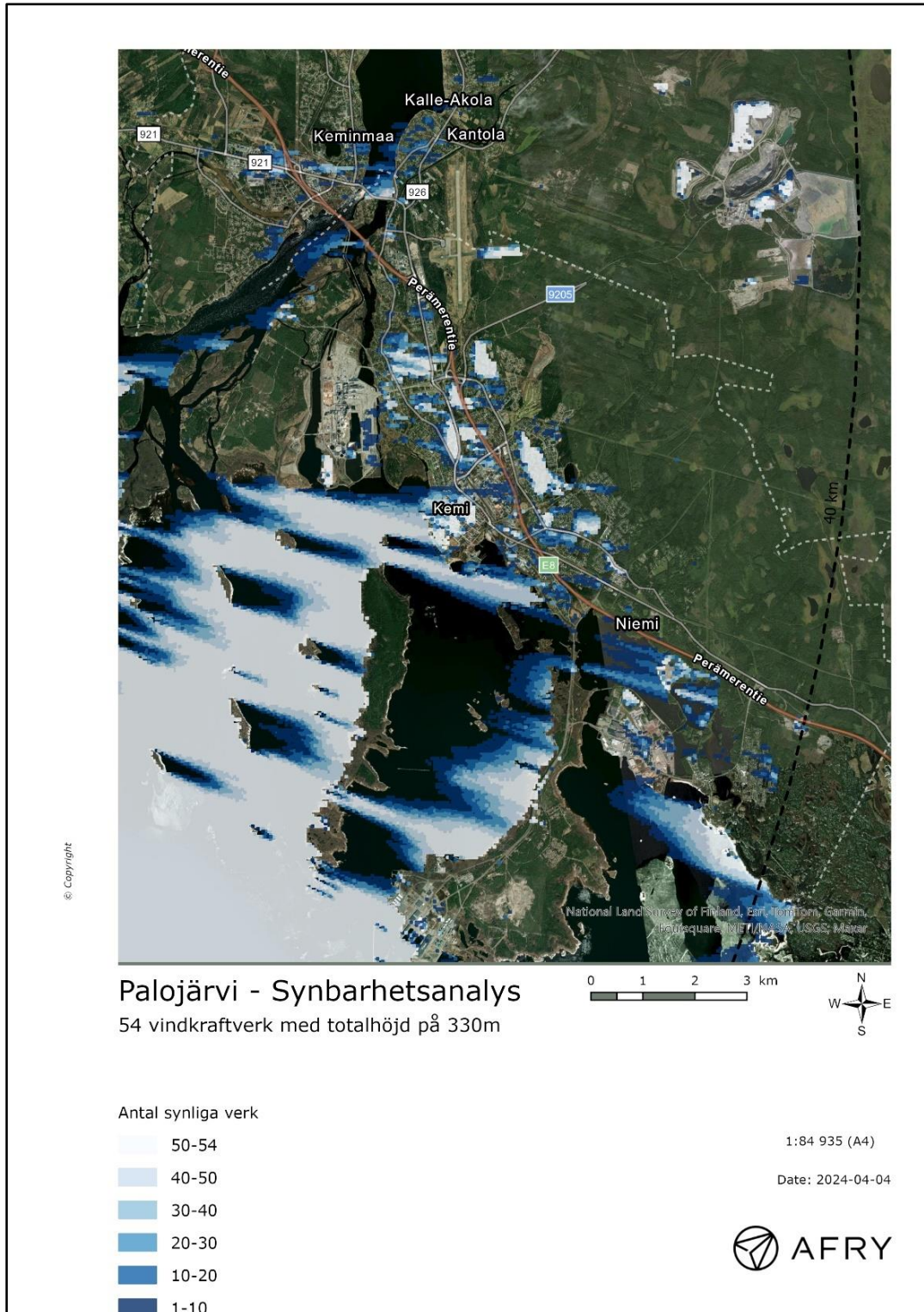
Figur 8 nedan visar en karta med resultatet på synbarhetsberäkningen för mellanzonen med detaljerad vy över Kalix och närliggande områden. Beräkningen använder totalhöjden på 330m för varje vindkraftverk inom Palojärvi vindkraftspark.



Figur 8. Synbarhetsresultatet för mellanzonen baserad på totalhöjd på 330m, detalj – Kalix.

1.3.5 Mellanzon – detalj Kemi

Figur 9 nedan visar en karta med resultatet på synbarhetsberäkningen för mellanzonen med detaljerad vy över Kemi och närliggande områden. Beräkningen använder totalhöjden på 330m för varje vindkraftverk inom Palojärvi vindkraftspark.



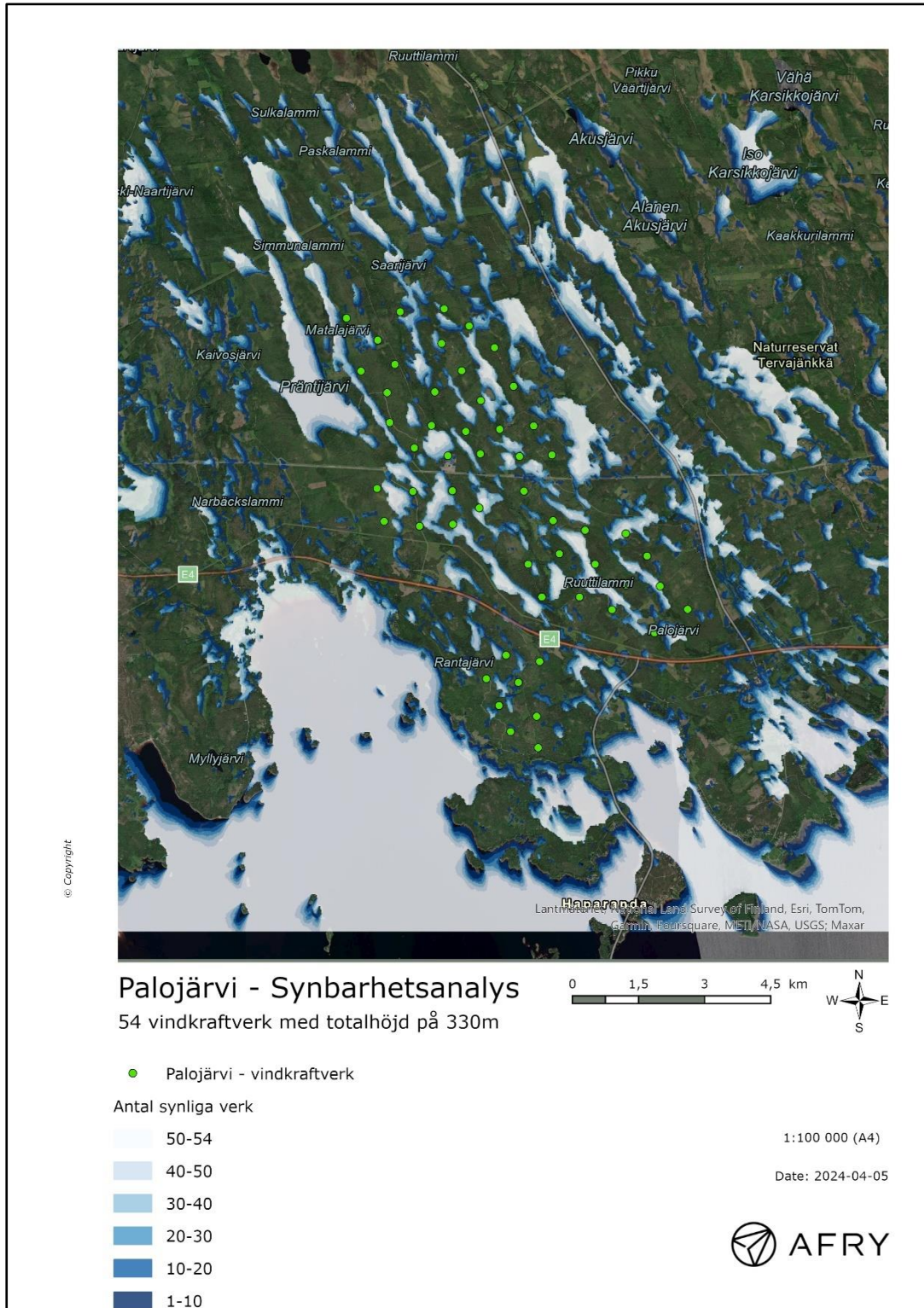
Figur 9. Synbarhetsresultatet för mellanzonen baserad på totalhöjd på 330m, detalj – Kemi.

1.4 Närzon

Avsnittet 1.4 presenterar resultatet av synbarhetsberäkningen för närzonen, alltså beräkningen har en upplösning på 5 m och ett beräkningsområde som är en ruta på 19 * 19 km runt Palojärvis projektområde. Närzonens beräkning visar den teoretiska synbarheten med en finare upplösning än den för fjärrzonen och mellanzonen och använder indata från Tabell 1 i beräkningen. Närzonens beräkningsområde har en storlek på 19 * 19km vilket sammanfaller (med avseende på storlek) med den högupplösta höjdmodellen baserad på höjdkurvor som var inköpta som underlagsmaterial från Metria.

1.4.1 Närzon – totalhöjd 330m

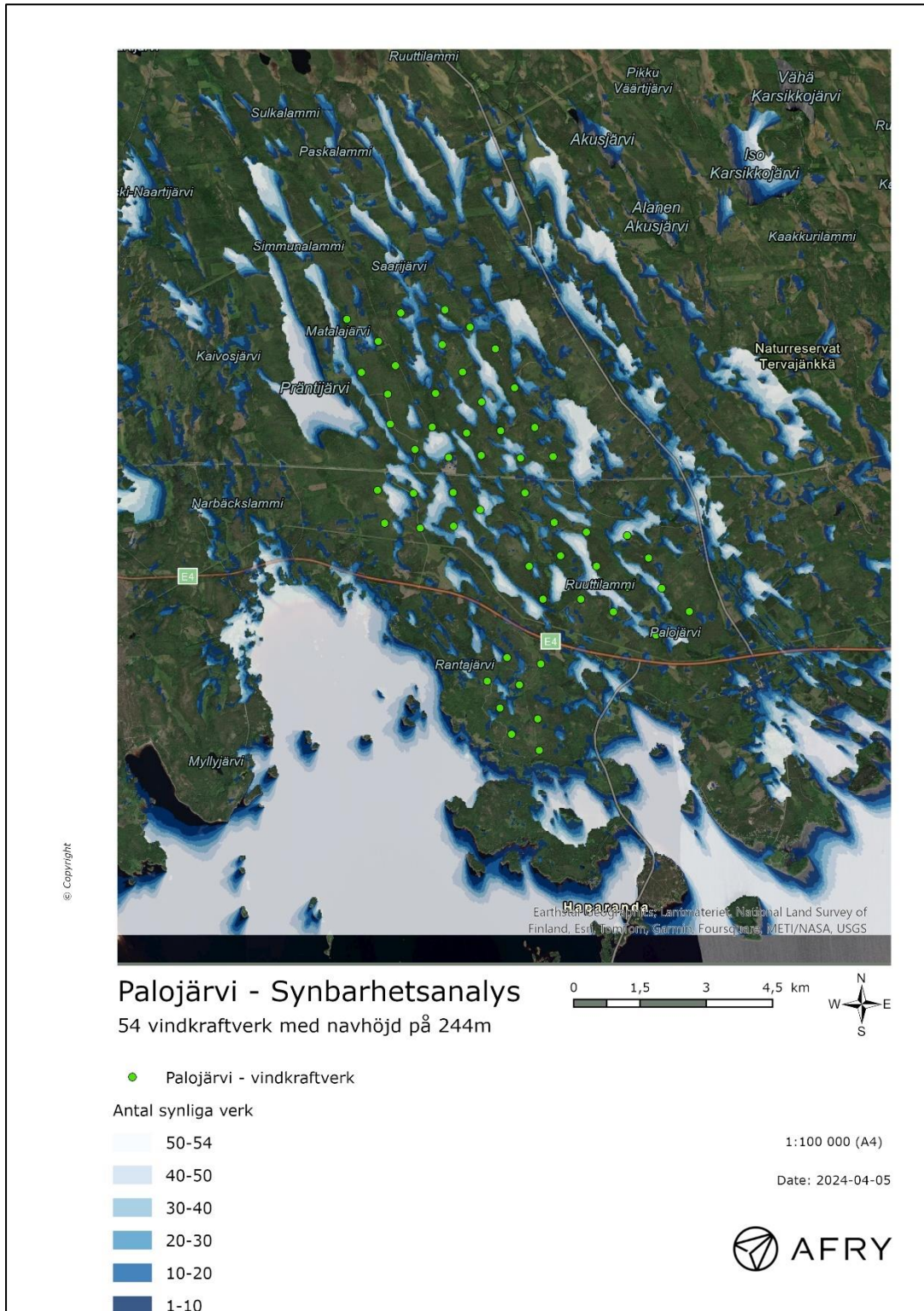
Figur 10 nedan visar en karta med resultatet på synbarhetsberäkningen för mellanzonen. Beräkningen använder den totala höjden på 330m för varje vindkraftverk inom Palojärvi vindkraftspark.



Figur 10. Synbarhetsresultatet för närzonen baserad på vindkraftverkens totalhöjd på 330m.

1.4.2 Närzon – navhöjd 244m

Figur 11 nedan visar en karta med resultatet på synbarhetsberäkningen för mellanzonen. Beräkningen använder navhöjden på 244m för varje vindkraftverk inom Palojärvi vindkraftspark.



Figur 11. Synbarhetsresultatet för närzonen baserad på vindkraftverkens navhöjd på 244m.

2 Skuggberäkning

2.1 Metod och beskrivning

Under särskilda förhållanden kan vindkraftsetableringar orsaka skuggning på närliggande områden och även rörliga skuggor kan i vissa fall uppstå, vilka kallas för *shadow flicker*. Skuggning av båda typer, särskild *flickering* kan uppfattas som störande för närboende. Störningen kan upplevas störst när solen står lågt och skuggorna når långt, alltså under solnedgång och soluppgång.

Faktorer som spelar in när det gäller skuggornas uppkomst, storlek och frekvens är av atmosfärisk karaktär, till exempel molnigheten, solens läge på himlen och vindriktningen. Förutom dessa beror skuggningen även på vindkraftverkens dimensioner, placering, närheten till bostad och eventuella topografiska hinder, alternativt vegetationen eller andra objekt som kan vara i vägen.

Enligt Boverkets (2012) rekommendationer bör inte skuggtiden överstiga 30 minuter per dag eller 8 timmar per år vid störningskänslig bebyggelse. Det senare nämnda har även bekräftats av praxis efter flera avgöranden i Mark- och miljööverdomstolen.

En initial skuggningsberäkning har utförts i programmet WindPRO, genom att använda modulen SHADOW för att skapa en karta över skuggtidens utbredning runt Palojärvis projektområde. Beräkningsmodellen grundar sig på en astronomisk modell där en teoretisk maximal exponeringstid för rörlig skugga beräknas på två olika sätt:

- worst case scenario (WCS)
- real case scenario (RCS)

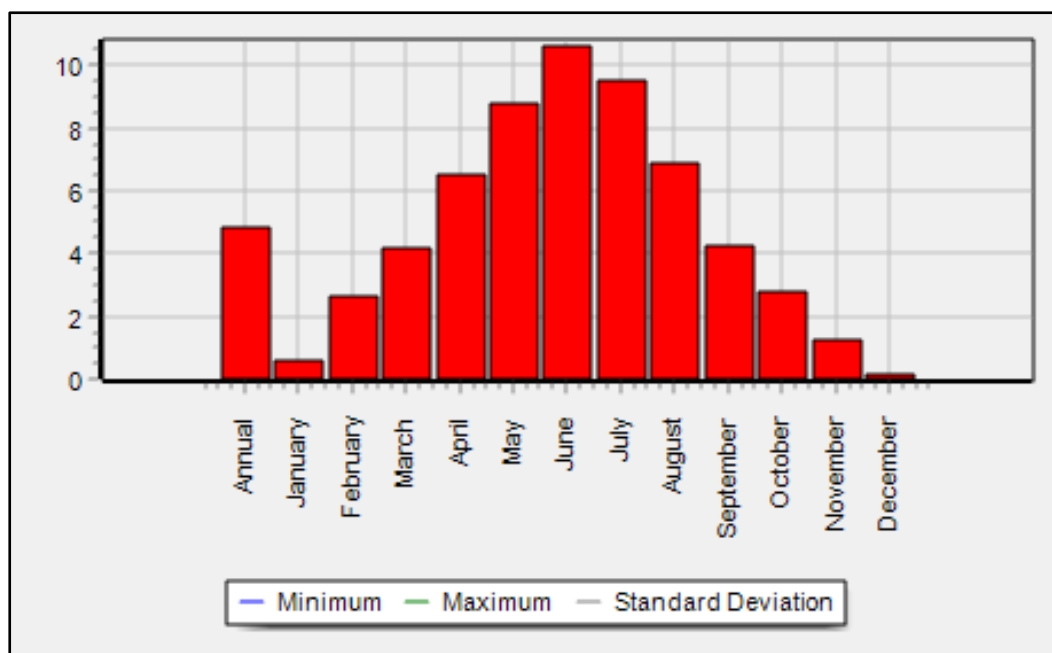
Båda scenarion antar att vinden alltid blåser, alltså turbinen är alltid i gång. WCS antar att solen alltid skiner, medan RCS använder statistiska värden från närmaste tillgängliga väderstationen i WindPRO:s databas.

Uträkningen använder även andra underlag som en terrängmodell och en viss ögonhöjd mm., som kan hittas i Tabell 2. Underlaget används för att ta fram teoretiska skuggningskartor runt Palojärvis projektområde.

Tabell 2. Underlag för skuggberäkningen (TH – totalhöjd, NH – navhöjd, RD – rotordiameter).

	Skuggning - WCS	Skuggning - RCS
Antal vindkraftverk	54	54
Vindkraftverkens dimensioner (m)	TH 330 NH 244 RD 172	TH 330 NH 244 RD 172
Beräkningsområdet (km)	10*10	10*10
Ögonhöjd (m)	1,5	1,5
Upplösning (m)	10	10
Terrängdata Sverige	Inköpt höjddata från Metria runt projektområdet (5m)	Inköpt höjddata från Metria runt projektområdet (5m)
Skogsdata Sverige	Används ej	Används ej
Solstatistik	Används ej	Luleå

Den närmaste tillgängliga väderstationen i den tillgängliga databasen från WindPRO, befinner sig i Luleå och mer info om den går att hitta i Figur 12, samt Tabell 3. I RCS uträkningen används alltså statistiken över soltimmarna från Figur 12 nedan.

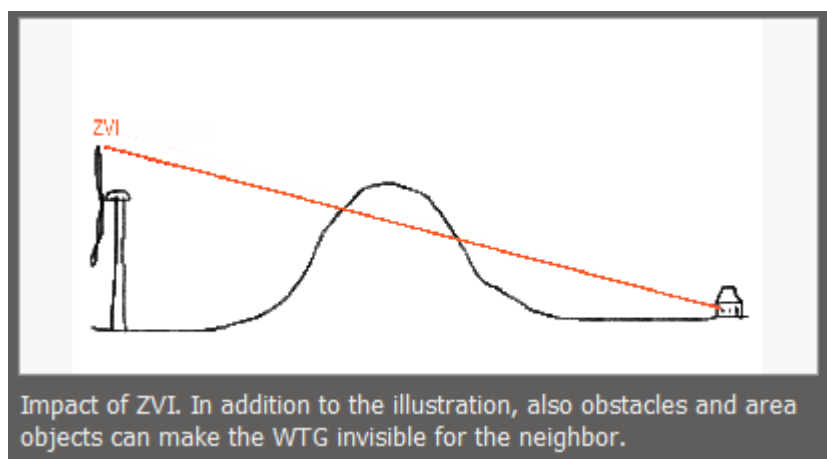


Figur 12. Månadsvis statistik presenteras över medelantal soltimmar per dag vid väderstationen i Luleå. Ett värde på årsmedel presenteras också.

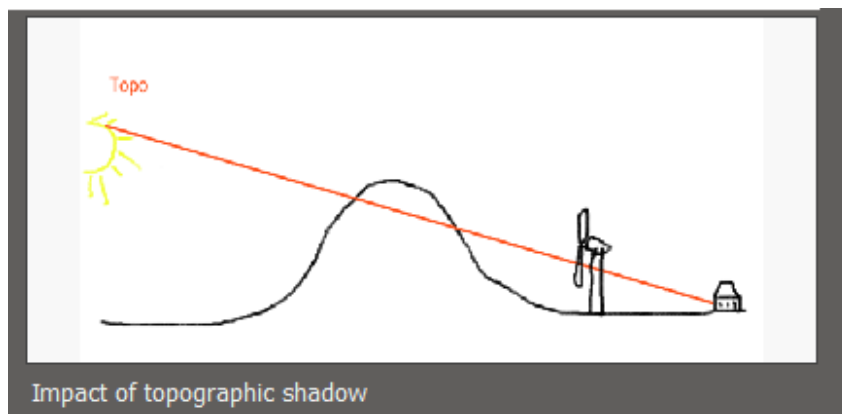
Tabell 3. Allmän information om väderstationen i Luleå, från WindPRO:s databas.

Name	Luleå
Country	Sweden
Elevation (m)	17
Lat (deg)	65,55
Lon (deg)	22,13
Pressure data	No
Temperature data	No
Sunshine data	Yes (1969-1993)

Det är också viktigt att poängtera att skuggberäkningen tar hänsyn till ZVI men tar inte hänsyn till *topographic shadow*, vilket också rekommenderas av själva beräkningsprogrammet. En förklaring till båda termer kan hittas på de schematiska bilderna nedan, både Figur 13, samt Figur 14 är från EMD International A/S (2024).



Figur 13. Förklaringen till påverkan av ZVI, som används i skuggberäkningen.

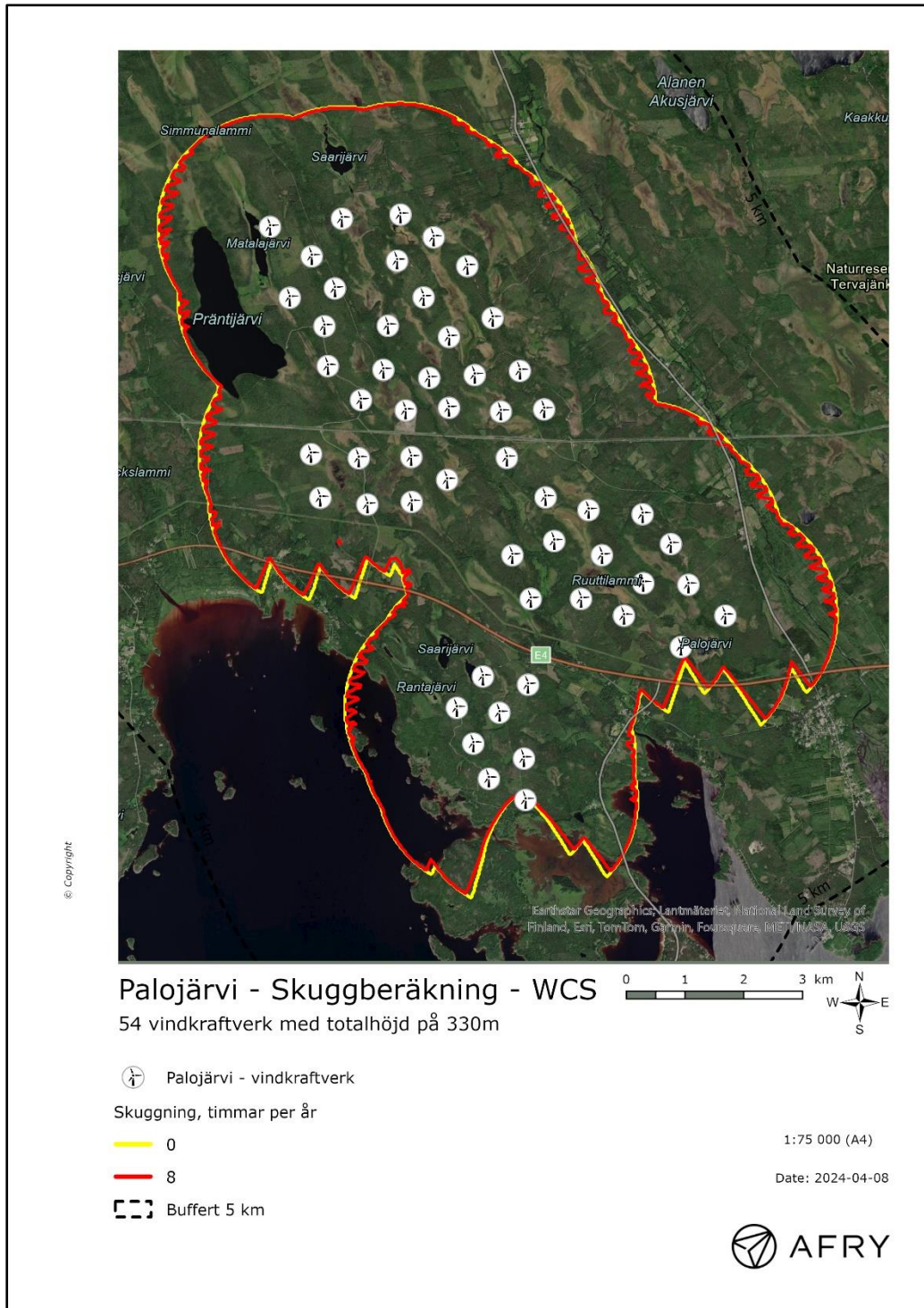


Figur 14. Förklaringen till påverkan av *topographic shadow*, som används inte i skuggberäkningen.

2.2 Worst case scenario

2.2.1 Timmar per år

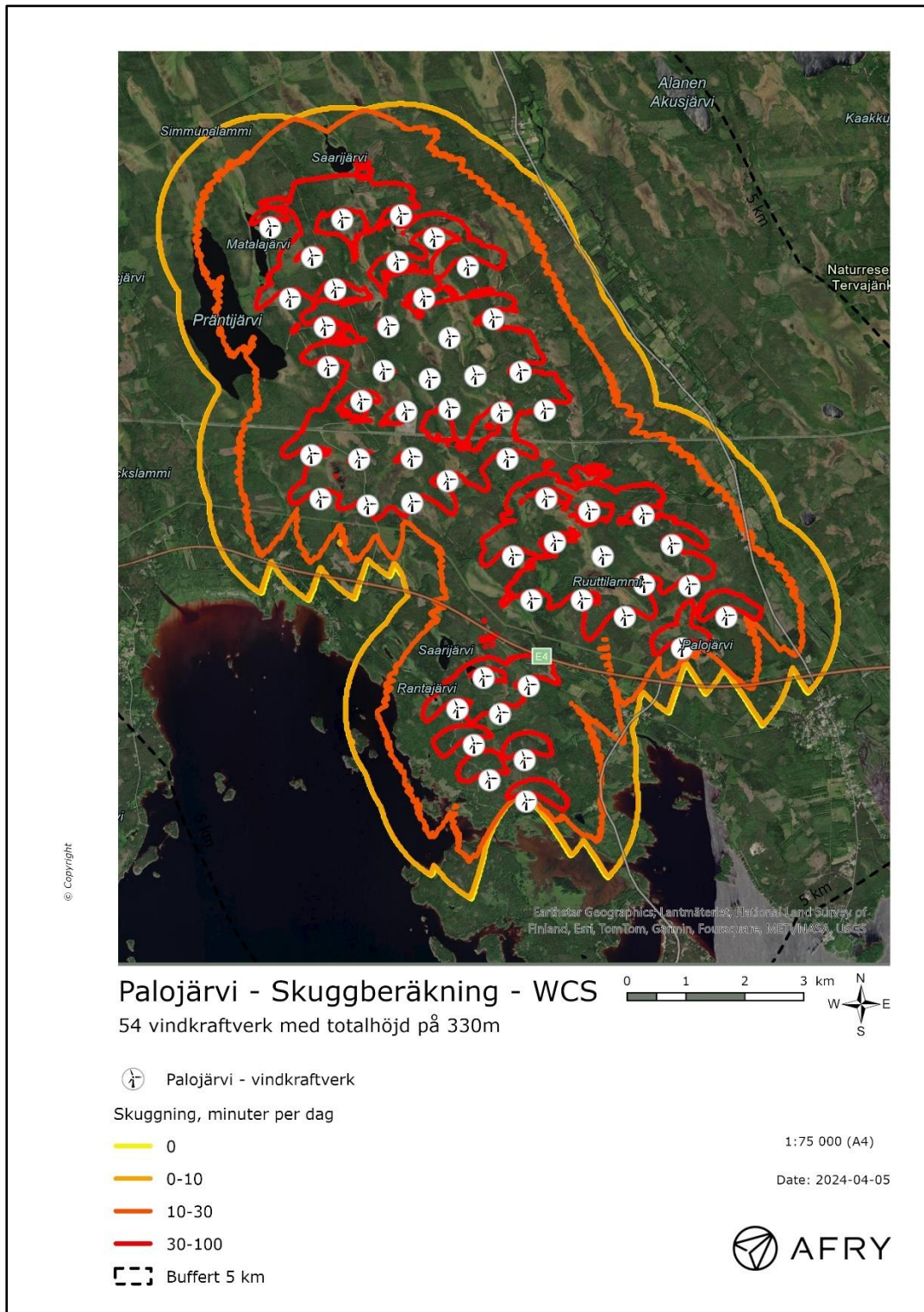
Figur 15 nedan visar en karta med resultatet för skuggberäkningen för Palojärvi vindkraftpark. Beräkningen använder totalhöjden på 330m för varje vindkraftverk inom Palojärvi vindkraftspark och avser en *worst case scenario*.



Figur 15. Skuggberäkning, worst case scenario, timmar per år.

2.2.2 Minuter per dag

Figur 16 nedan visar en karta med resultatet för skuggberäkningen för Palojärvi vindkraftpark. Beräkningen använder totalhöjden på 330m för varje vindkraftverk inom Palojärvi vindkraftspark och avser en *worst case scenario*.

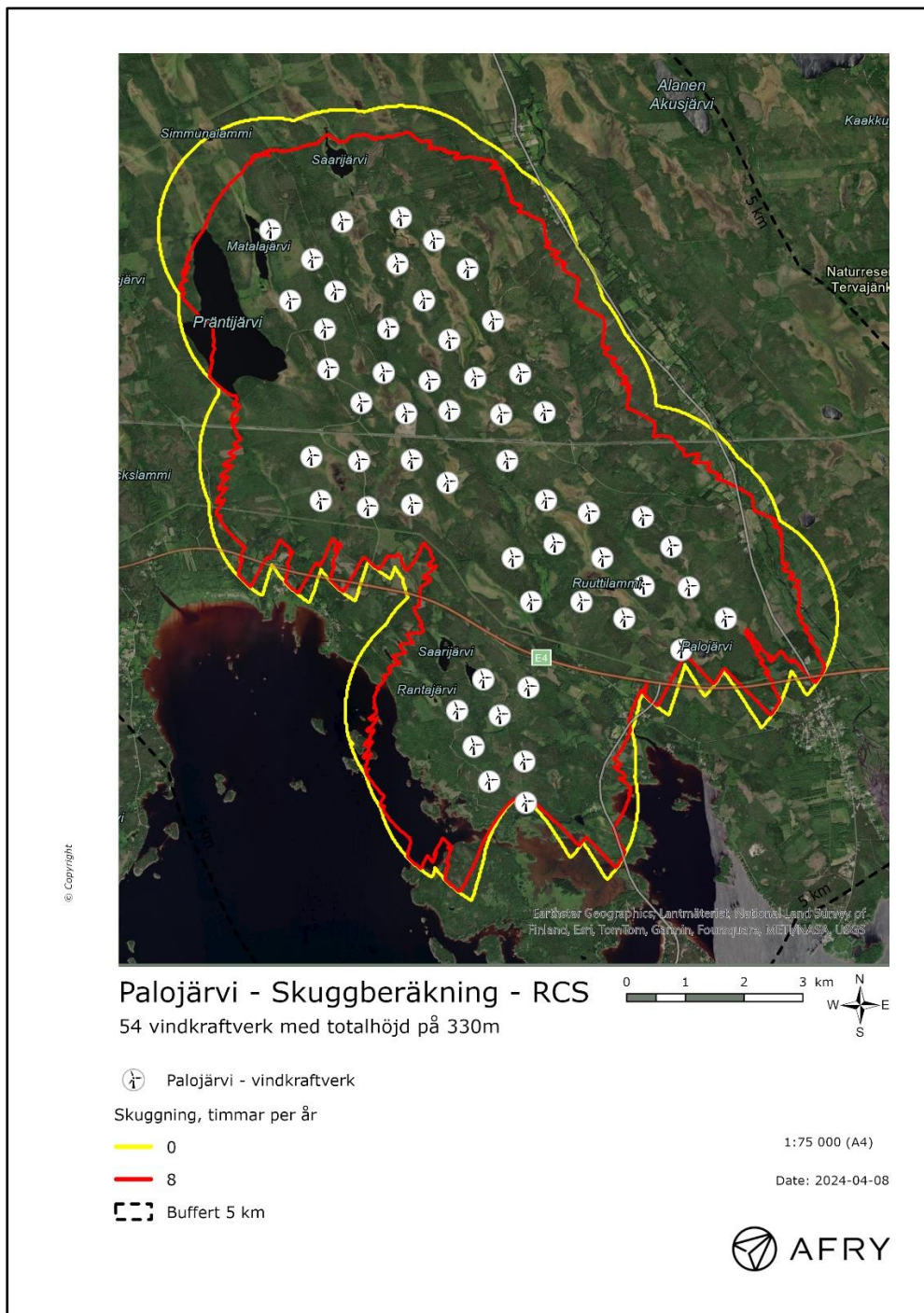


Figur 16. Skuggberäkning, worst case scenario, minuter per dag.

2.3 Real case scenario

2.3.1 Timmar per år

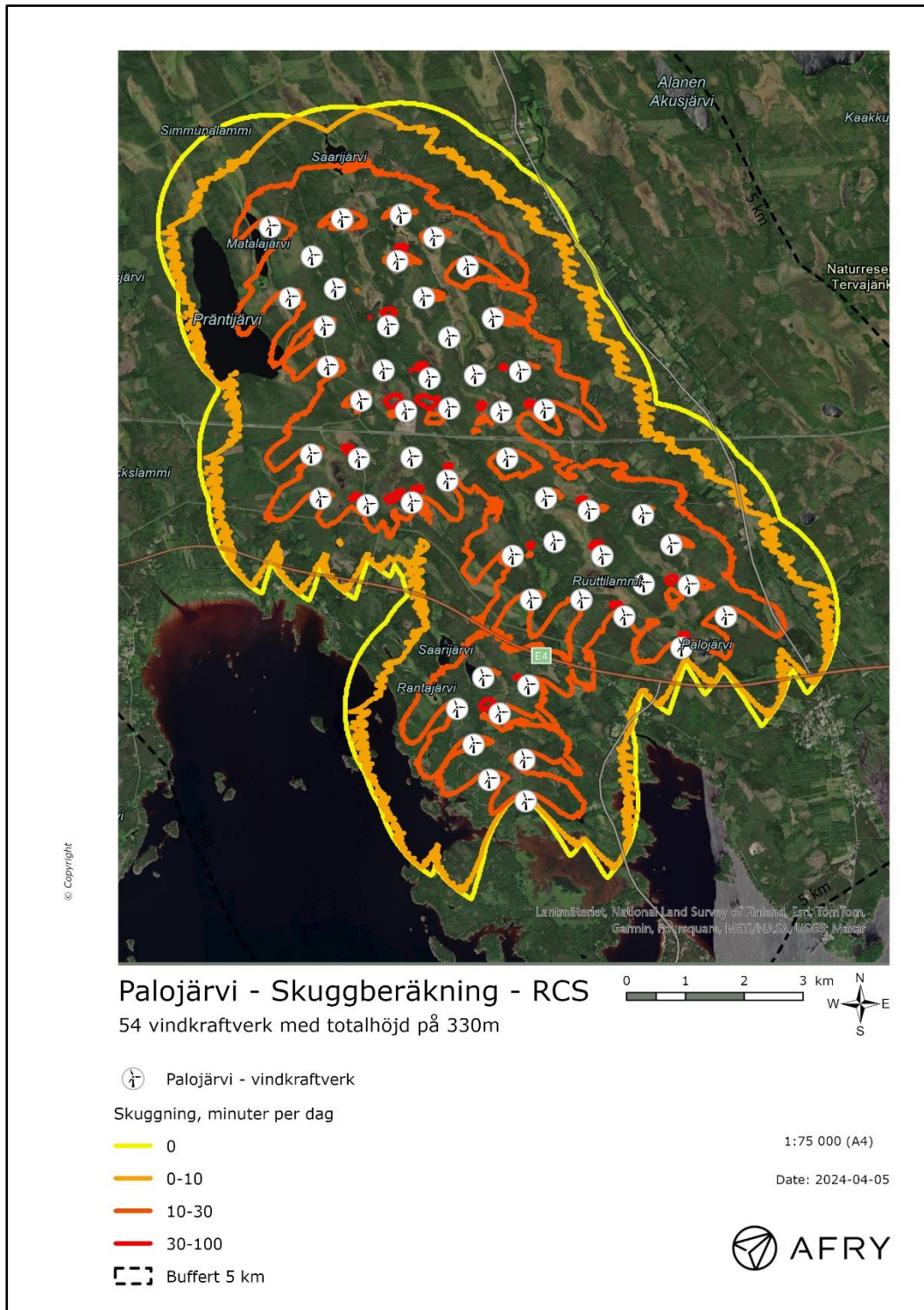
Figur 17 nedan visar en karta med resultatet för skuggberäkningen för Palojärvi vindkraftpark – timmar per år. Beräkningen använder totalhöjden på 330m för varje vindkraftverk inom Palojärvi vindkraftspark och avser en *real case scenario*, alltså troligt utfall av skuggningen utifrån solstatistik från väderstationen i Luleå.



Figur 17. Skuggberäkning, real case scenario, timmar per år.

2.3.2 Minuter per dag

Figur 18 nedan visar en karta med resultatet för skuggberäkningen för Palojärvi vindkraftpark – minuter per dag. Beräkningen använder totalhöjden på 330m för varje vindkraftverk inom Palojärvi vindkraftspark och avser en *real case scenario*, alltså troligt utfall av skuggningen utifrån statistik från väderstationen i Luleå.



Figur 18. Skuggberäkning, real case scenario, minuter per dag.

2.4 Kommentarer

Skuggberäkningarna från ovan kan användas under samrådsprocessen för att visa den rörliga skuggans mått och utbredning på ett geografiskt sätt. Vanligtvis så tillkommer, i kategorin för skuggningsberäkningarna, en till beräkning under MKB-processen. Denna beräkning kommer att estimeras skuggningstiden för varje identifierad bostad/hus (en så kallad mottagarpunkt) i närheten av vindkraftsparken. Detta görs för att estimeras ifall värden nämnda av Boverkets som rekommendationer gällande rörliga skuggor från vindkraftverk understigs vid varje mottagarpunkt.

Ifall beräkningen visar att vissa värden för rörliga skuggor överstiger Boverkets rekommendationer för någon mottagarpunkt, så kan vindkraftverken flyttas och layouten ändras ytterligare. Ett annat vanligt sätt att åtgärda potentiella överstigande värden för rörliga skuggor innebär att enskilda vindkraftverk programmeras om för att stängas av under vissa timmar (och väderförhållanden) under året. Därmed kan man undvika rörliga skuggors påverkan på närliggande fastigheter.

3 Källor

Boverket (2012). *Handbok: Vindkraftshandboken Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden*. [online] Available at: <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2013/vindkraftshandboken.pdf> [Accessed 4 Apr. 2024].

EMD International A/S (2024). *WindPRO Online Help*. [online] help.emd.dk. Available at: <https://help.emd.dk/knowledgebase/> [Accessed 3 Apr. 2024].

NatureScot (2021) *Guidance - assessing the cumulative landscape and visual impact of onshore wind energy developments*, NatureScot. (Accessed: 03 April 2024).