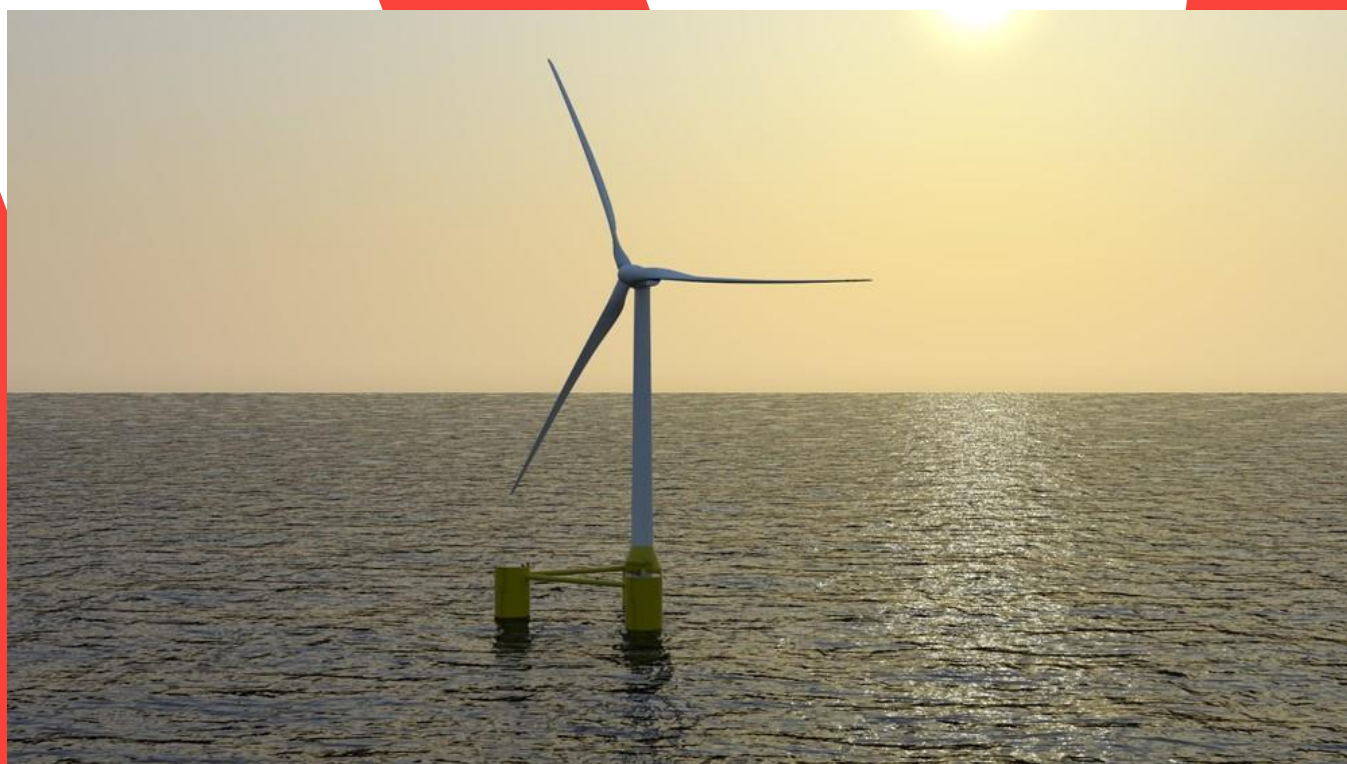


Ålands landskapsregering

Planläggning och miljöbedömning av generalplan Sunnanvind

Bilaga 15. Underlagsutredning: Driftbullerutredning

14-03-2025



Uppdragsinformation

Uppdragsnamn	Planläggning och miljöbedömning av generalplan Sunnanvind
Uppdragsnummer	10359887
Författare	Anders Lindberg
Datum	2025-03-14
Granskad av	Roger Fred
Godkänd av	Jonas Sahlin

Kund

Ålands landskapsregering

Konsult

WSP

WSP Sverige AB

Org nr: 556057-4880

wsp.com

Kontaktpersoner

Ålands landskapsregering

Ralf Häggblom, projektledare

ralf.haggblom@regeringen.ax

Tel: +358 18 25 000

WSP

Jonas Sahlin, uppdragsledare WSP

Jonas.sahlin@wsp.com

Tel: +46 010 722 88 09

SAMMANFATTNING

WSP har på uppdrag av Ålands landskapsregering genomfört en driftsbullerutredning. Uppdraget omfattade en driftsbullerberäkning utomhus av ett planerat vindkraftsområde. Driftsbullerberäkningen utgår från det maximala antalet vindkraftverk som anges i generalplanen och är genomförd med 301 vindkraftverk med en rotordiameter på 320 m och navhöjd 190 m. Dessa verk finns ännu inte på marknaden.

Driftsbullerberäkningen är utförd enligt den nordiska beräkningsmetoden Nord 2000 i SoundPLANnoise, v 9.1.

Driftsbullerberäkningen är konservativ och motsvarar ett moderat värsta fall. Driftsbullerberäkningen är genomförd med ett antagande om att ljudeffektnivån är 116 dBA utan pålagd säkerhetsmarginal för ett vindkraftverk vid en vindhastighet om 8 m/s på en höjd 10 m över mark. En säkerhetsmarginal på 3 dB är pålagd i beräkningen. Vindkraftverken modelleras som punktljudkällor.

Driftsbullerberäkningen visar att merparten av Norra Ålands fastland kan få en ljudnivå inom 30–35 dBA på höjden 1,5 m över mark. Detta är jämförbart med naturlig bakgrundsnivå.

Endast en mindre del av fastlandet, längs med Norra Ålands kust, och öar norr om fastlandet beräknas ha ljudnivåer över 35 dBA och upp till 40 dBA. Utifrån en stickprovsberäkning bedöms det även vara relativt få fastigheter på Norra Åland som har ett frifältsvärde vid fasad över 35 dBA. Den högsta beräknade ljudnivån vid fasad är 37 dBA. Över 35 dBA kan ljud från vindkraftverk ibland uppfattas som störande.

Riktvärde för utomhusbuller i Finland innehålls under de förutsättningar som anges i rapporten.

Innehåll

SAMMANFATTNING

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Vindros	2
1.3	Avgränsning	2
1.4	Infraljud	3
1.5	Disposition	3
2	Nyckelbegrepp	4
3	Bedömningsgrunder	6
3.1	Riktvärden i Finland	6
3.2	Riktvärden i Sverige	7
3.3	Övriga kriterier	7
3.4	Normal bakgrundsnivå	7
4	Ljudkällor	8
4.1	Extrapolering av ljudeffektnivå	8
4.2	Ljudeffektnivå	9
5	Underlag	10
5.1	Bearbetning av marktäcke	10
6	Beräkning	12
6.1	Beräkningsfall	12
6.2	Beräkningsparametrar	12
6.3	Beräkningsareor	14
6.4	Val av byggnader i fasadbullerberäkning	14
7	Resultat	16
7.1	Ljudspridningskarta	16
7.2	Ljudnivåer på Fasad	16
7.3	Differenskartor för olika vindriktningar	20
7.4	Diskussion	21
8	Slutsatser	22
	Referenser	23

Appendix A: Omklassningstabell	24
Appendix B: Impedansklasser	25
Appendix C: Ljudspridningskarta	26

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

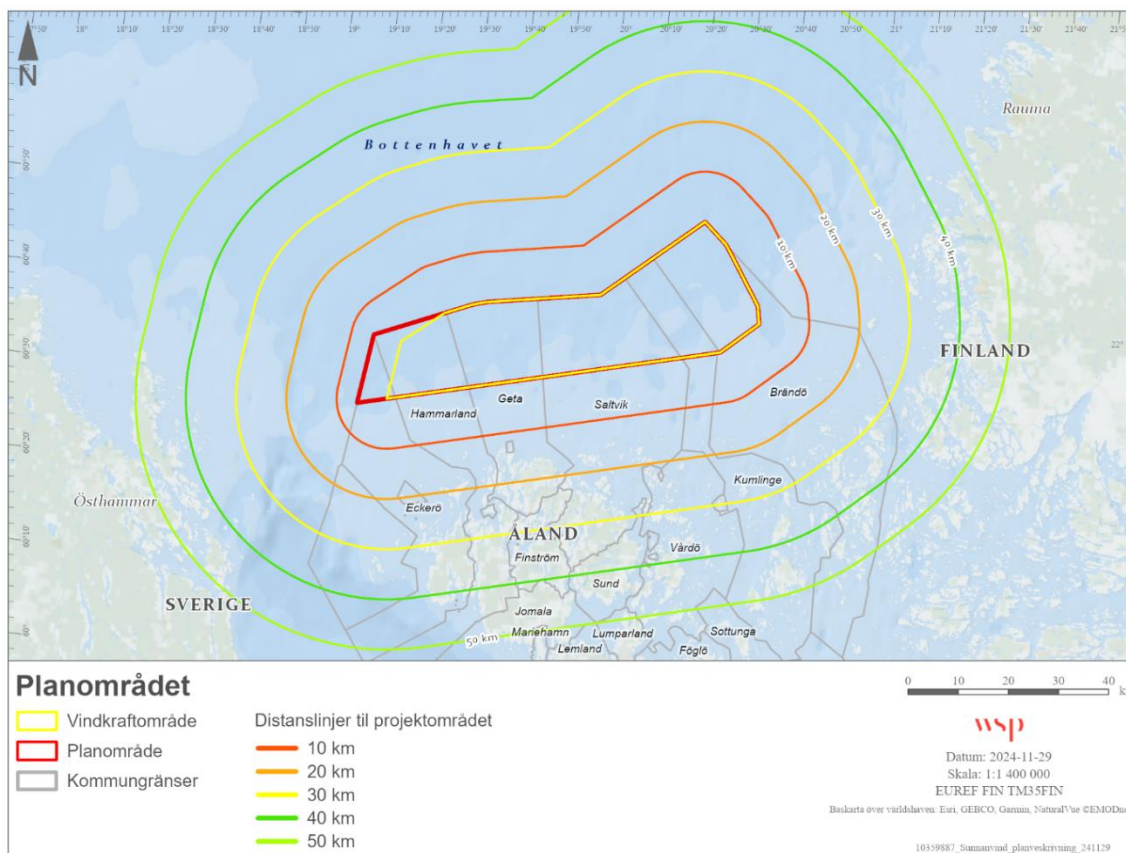
Projekt Sunnanvind initierades av Ålands landskapsregering år 2021, med målet att möjliggöra etableringen av storskalig havsbaserad vindkraft i de norra havsområdena på Åland. Syftet är att inbringa ekonomisk samhällsnytta, bidra till förnybar energiomställning och främja entreprenörskap, forskning, utbildning samt utveckling inom landskapet. För att uppnå de målsättningar som landskapsregeringen har för etablering av storskalig havsbaserad vindkraft, utvecklas delgeneralplaner inom samtliga kommuner för de allmänna vattenområden inom vilken etablering kan ske (vidare benämnt som en generalplan). Landskapsregeringen avser att auktionera ut nyttjanderätt för etablering av vindkraft inom planläggningsområdet till aktörer i branschen.

Planområdet för Sunnanvind är beläget norr om Åland på allmänna vatten som förvaltas av landskapsregeringen. Delar av området är inom kommungränserna för Eckerö, Hammarland, Geta, Saltvik, Kumlinge, och Brändö, se Figur 1.

Planområdet har en areal på cirka 1320 kvadratkilometer och är beläget cirka 15 kilometer från den närmaste åländska kusten (till Dånö 13 kilometer fågelvägen). Planområdet är beläget till största del utanför Ålands ytterskärgård i de marina havsområdena. I Brändö går planområdet in en liten bit över gränsen.

Planområdets västligaste punkt ligger cirka 40 kilometer ifrån Sveriges fastland och planområdets gräns ligger angränsande till Sveriges ekonomiska zon. Planområdets östligaste punkt ligger cirka 35 kilometer ifrån Finlands fastland, och cirka 40 kilometer från Nystad.

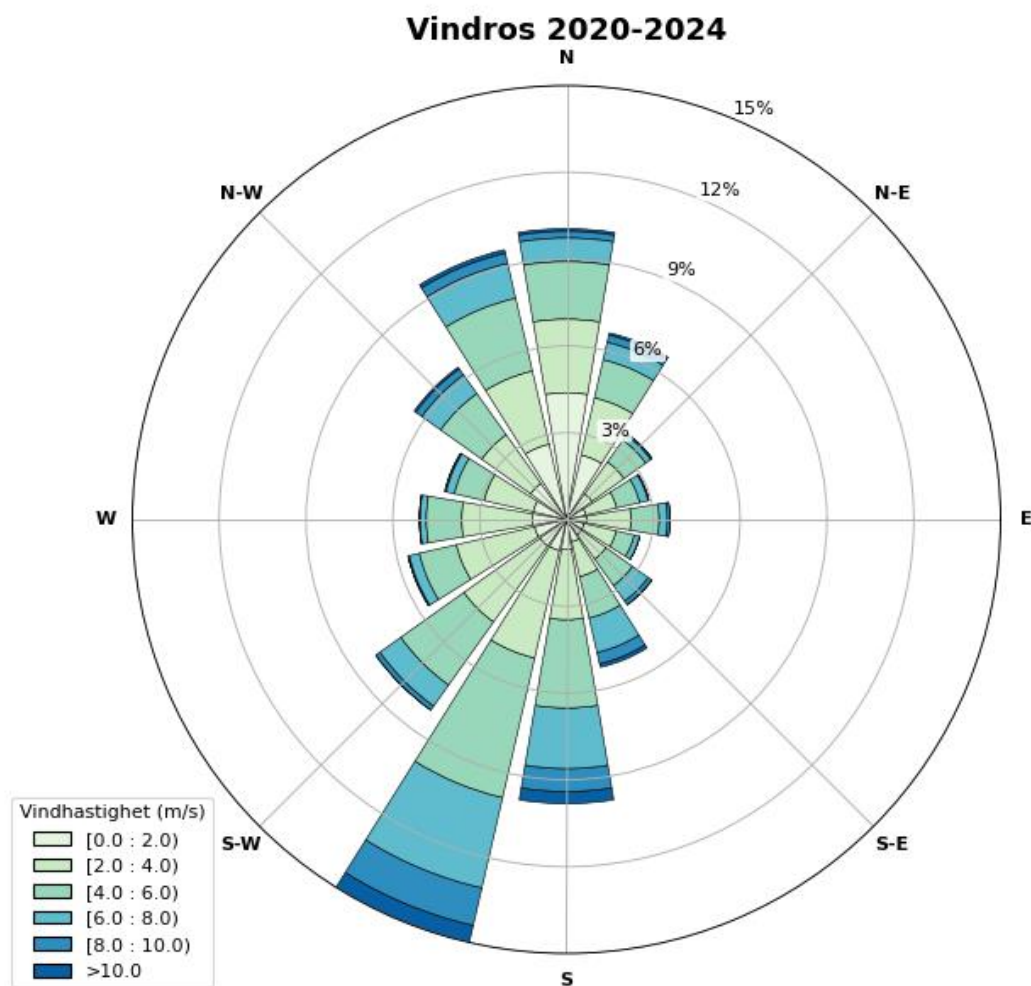
Denna utredning utgör en underlagsutredning till generalplanen.



Figur 1. Planområde för Sunnanvind.

1.2 Vindros

WSP har sammanställt en vindros (Figur 2) som visar genomsnittlig vindriktning och vindhastighet på Åland under perioden 2020–2024. Data är hämtat från FMI Meteorologiska Institutet¹ och observationsstationen Jomala Mariehamn flygplats. Data är uppmätt på en höjd av ca 10 m över mark². Vindrosen visar att den förhärskande vindriktningen på Åland är sydsydväst och att vindhastigheten oftast är under 8 m/s.



Figur 2. Vindriktning och vindhastighet under åren 2020–2024 på observationsstationen Jomala Mariehamn flygplats. På axeln i polardiagrammet visas %-förekomst och vindhastighet visas i färgerna. WSP har sammanställt vindrosen med data från FMI.

1.3 Avgränsning

WSP har på uppdrag av Ålands landskapsregering genomfört en driftsbullerutredning. Vindkraftsområdet, antalet vindkraftverk och deras antagna position i driftsbullermodellen utgår från den maximala utbyggnad av Sunnanvind som anges i generalplanen. Maximal utbyggnad betyder att driftsbullerutredningen är gjord med vindkraftverk med maximal höjd och maximalt antal vindkraftverk. Driftsbullerutredningen motsvarar ett moderat värsta fall (från eng. *moderate worst case*) och är därför konservativ. Konservativ betyder att antaganden i modelleringen är försiktiga, så att beräknad ljudnivå är något högre än vad som egentligen kan förväntas. Moderat värsta fall betyder att driftsbullerberäkningen är gjord i akustiskt ogynnsamma förhållanden, i ett väderförhållande där ljud sprids relativt lätt, men att det kan finnas andra förhållanden som är ytterligare något värre.

¹ <https://sv.ilmatieteenlaitos.fi/ladda-ner-observationer>

² <https://sv.ilmatieteenlaitos.fi/observationsstorheter#7qkPnzYp4qxAfXknFzh2IK>

Uppdraget omfattar en driftsbullerberäkning utomhus av ett planerat vindkraftsområde med 301 vindkraftverk med en rotordiameter på 320 m och en navhöjd på 190 m. Dessa verk finns ännu inte på marknaden idag.

Driftsbullerutredningen begränsas till hörbara frekvenser och utomhusbuller.

Driftsbuller har beräknats enligt den nordiska beräkningsmetoden Nord 2000 i SoundPLANnoise. Beräkningen motsvarar väderförhållande med medvind i alla riktningar och med en vindhastighet på 8 m/s på höjden 10 m över mark³. Lufttemperaturen har antagits vara 15 grader, relativ luftfuktighet 70% och atmosfäriskt tryck 1013,3 mbar. Även fallet med motvind från alla håll beräknas i en förenklad modell utan terräng för jämförelsens skull.

Driftsbullerberäkningen begränsas till (a) en spridningskarta av driftsbuller runt vindkraftsområdet och (b) en stickprovsberäkning av frifältsvärde⁴ vid fasad för hus längs med Ålands norra kustlinje. I uppdraget ingick det att redovisa driftsbuller ned till ljudnivån 30 dBA.

Utöver jämförelse med riktvärden för utomhusbuller i Finland eller i Sverige så förs även ett kort resonemang kring vad beräknade ljudnivåer innebär.

1.4 Infra ljud

Naturvårdsverket definierar i *Vägledning om buller från vindkraftverk (2020)* infra ljud som ljud med en frekvens under ca 20 Hz. Infra ljud är inte hörbara, men kan påverka människor negativt om infra ljudnivån är tillräckligt hög. Vindkraftverkens rotation ger upphov till infra ljud som ofta ligger kring 1 Hz (Naturvårdsverket, 2020). I det frekvensområdet krävs en ljudnivå på ca 120 dB för att man ska se en påverkan på människor (Naturvårdsverket, 2020). Det finns enligt Naturvårdsverkets bedömning ingen evidens för negativa hälsoeffekter orsakat av infra ljud från vindkraftverk (Naturvårdsverket, 2020). Naturvårdsverkets slutsats i Sverige är alltså att infra ljud inte är något bekymmer och bedömningen är därmed att infra ljud inte kommer vara ett bekymmer kopplat till Sunnanvind. I Finland har Statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet (Maijala et al, 2020) i *Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines* kommit till samma slutsats, att det saknas evidens för att infra ljud från vindkraftverk påverkar människor. Infra ljud kommer inte hanteras ytterligare i denna utredning om driftsbuller.

1.5 Disposition

Nyckelbegrepp som ljudeffektnivå förklaras i kapitlet *Nyckelbegrepp* och detta följs av bedömningsgrunder i Finland och i Sverige som förklaras i kapitlet *Bedömningsgrunder*.

Driftsbullermodellen är framtagen med fiktiva vindkraftverk eftersom vindkraftverk med rotordiameter 320 m inte finns på marknaden i dagsläget. WSP har därför extrapolerat elektrisk effekt, tersbandspektrum och ljudeffektnivå från data på mindre vindkraftverk och lagt på en säkerhetsmarginal. Extrapoleringen beskrivs i kapitlet *Ljudkällor*.

Marktäcket har bearbetats något i syfte att förenkla beräkningen och därefter översatts till impedansklasser för Nord 2000. Bearbetningen beskrivs i kapitlet *Underlag*.

Därefter redovisas beräkningsfall, beräkningsparametrar och beräkningsareor i kapitlet *Beräkning* och detta följs av resultatet av beräkningen som redovisas i kapitlet *Resultat*. Detta kapitel avslutas med en diskussion kring beräkningen och resultatet.

Slutligen så ges slutsatser från uppdraget i kapitlet *Slutsatser*.

³ Standardparametrar för vind i Nord2000 är medvind från alla håll och en vindhastighet om 6 m/s på en höjd 10 m över mark.

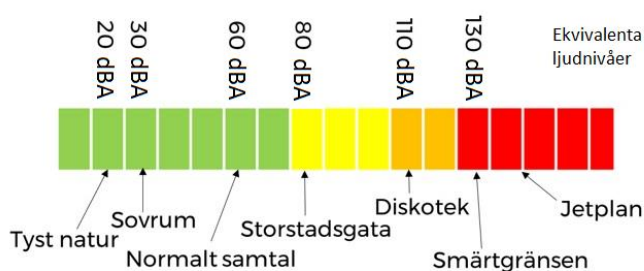
⁴ Frifältsvärde är en ljudnivå som inte är påverkad av reflektion från egen fasad.

2 Nyckelbegrepp

I detta kapitel förklaras olika begrepp och definitioner som används i denna utredning.

Ljudnivå och decibel

Ljudnivån beskriver hur starkt ett ljud uppfattas och anges i enheten decibel (dB). Skalan är logaritmisk, där hörseltröskeln vid 0 dB motsvarar det lägsta ljud en människa kan uppfatta och smärtröskeln vid ca 130 dB motsvarar den ljudnivå då vi upplever fysisk smärta. I Figur 3 visas ungefärliga typiska ljudnivåer för olika ljudkällor eller ljudmiljöer.

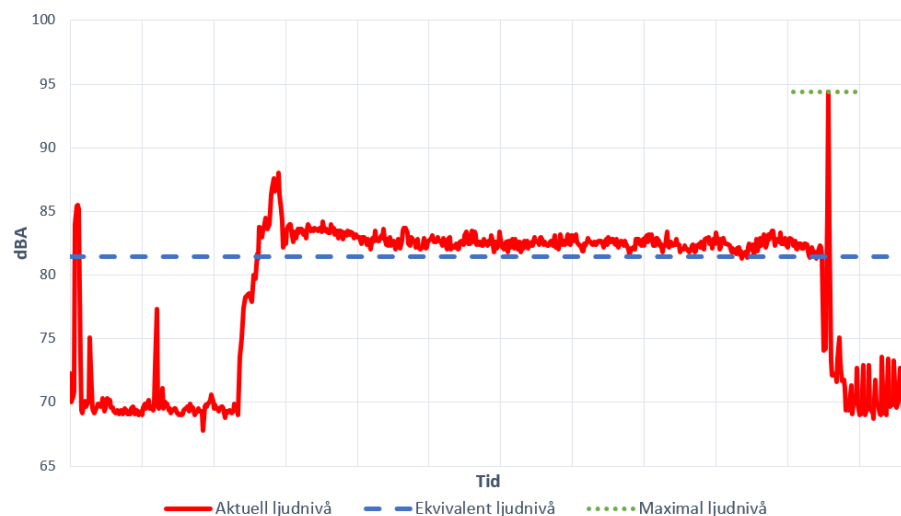


Figur 3. Exempel på typiska ljudnivåer.

En ökning av ljudnivå med 3 dB motsvarar en fördubbling av ljudenergin medan den subjektivt upplevda förändringen beror på ljudkällans karaktär. Normalt upplevs en ökning med 6 dB som en fördubbling av ljudnivån.

Ekvivalent och maximal ljudnivå

Den ekvivalenta ljudnivån är ett medelvärde över en bestämd tidsperiod. Den högsta momentana ljudnivån som uppstår under en viss tidsperiod eller under en bullerhändelse kallas för maximal ljudnivå. Illustration av ekvivalent och maximal ljudnivå visas i Figur 4.



Figur 4. Illustration av ekvivalent och maximal ljudnivå under en bestämd tidsperiod.

Frekvens och A-vägning

Ljudtrycket varierar kring ett jämviktsläge, oftast det normala lufttrycket. Antalet svängningar kring jämviktsläget per sekund, frekvensen, anges med enheten Hertz (Hz). Människan kan uppfatta ljud inom frekvensområdet 20 Hz - 20 000 Hz, där tonhöjden ökar med frekvensen. Den totala ljudnivån innehåller bidrag från alla frekvenser, men eftersom örat har varierande känslighet vid olika frekvenser korrigeras ofta den totala ljudnivån efter örats känslighet med en så kallad vägning. Den vanligaste vägningen, A-vägning, redovisas ofta genom att den ekvivalenta ljudnivån anges i dBA.

Oktavband och tersband

Det hörbara frekvensområdet brukar delas in i frekvensband. Detta görs för att beskriva ett visst ljuds fördelning över frekvensen. De olika banden ansluter till varandra så att hela det hörbara frekvensområdet täcks. Begreppet oktav förekommer inom musiken och en höjning/sänkning med en oktav motsvarar en fördubbling/halvering av frekvensen. Det är alltså en oktav mellan 250 Hz och 500 Hz. En oktav består av tre terser. Mittfrekvensen används som beteckning för varje band.

Frifältsvärde vid fasad

Med frifältsvärde avses en ljudnivå som inte är påverkad av reflexer i den egna fasaden. Denna ljudnivå kallas även frifältskorrigerad ljudnivå och innebär en beräknad eller uppmätt ljudnivå inklusive alla relevanta reflexer, som sedan reduceras med 6 dB vid mätning dikt an mot fasad.

Elektrisk effekt

Effekt är energi per tidsenhet. Elektrisk effekt, P , mäts i watt. För ett vindkraftverk beskriver elektrisk effekt hur stor del av energin i vinden som tas tillvara per tidsenhet.

Ljudtryck och ljudeffekt

Ljudeffektnivå, L_w , är den styrka på ljudnivå som strålar ut från en ljudkällas akustiska centrum. Ljudeffektnivån ansätts som en punkt, linje eller area. Ljudtrycksnivå, L_p , är det uppmätta/beräknade värdet i en viss punkt, exempelvis vid en bostad.

3 Bedömningsgrunder

Naturvårdsverket (2020) beskriver ljud från vindkraftverk med att det består av två komponenter – ett svischande ljud (aerodynamiskt ljud) och ett mekaniskt ljud. Vindkraftverk alstrar ett karaktäristiskt svischande ljud orsakat av bladens rotation genom luften. Svischandet sker med en frekvens av i storleksordningen en Hertz. Därutöver alstras även ljud från generatoren, växellådan och övriga mekaniska delar. Detta mekaniska ljud kan innehålla toner.

Bullerstörning beror främst på det upprepade svischande ljud som uppstår när rotorbladen rör sig genom luften (Naturvårdsverket, 2021). Detta ljud har sitt huvudsakliga frekvensinnehåll i mellanregistret och är inte mer lågfrekvent än andra vanligt förekommande ljud, till exempel buller från vägtrafik (Naturvårdsverket, 2021). Beträffande infraljud genererar vindkraft nivåer långt under vad som är hörbart (Naturvårdsverket, 2021).

Nedan presenteras riktvärden för utomhusbuller i Finland och i Sverige. Riktvärdena kompletteras även med kriterier för vad som kan anses vara tyst och vad som kan anses vara normal bakgrunds nivå i avsaknad av samhällsbuller. Detta görs i syfte att förklara resultaten av driftsbullerberäkningen.

I Finland görs ingen skillnad på buller från vindkraftverk och buller från andra ljudkällor i lagstiftningen. I Sverige finns det en separat vägledning från Naturvårdsverket.

3.1 Riktvärden i Finland

I Finland är samhällsbuller reglerat i Statsrådets beslut om riktvärden för bullernivå 993/1992 ⁵. För driftsbuller från vindkraftverk gäller dock Statsrådets förordning om riktvärden för utomhusbuller från vindkraftverk 1107/2015 ⁶. Riktvärdena i 1107/2015 återges i Tabell 1.

Tabell 1. Utomhusriktvärden från Statsrådets förordning om riktvärden för utomhusbuller från vindkraftverk 1107/2015.

Områdesanvändning	Ekvivalent ljudnivå i dBA	
	Dag kl. 06-18	Natt kl. 22-06
Permanent bebyggelse	45	40
Fritidsbebyggelse	45	40
Vårdinrättningar	45	40
Läroanstalter	45	-
Rekreationsområden	45	-
Campingplatser	45	40
Nationalparker	45	40

⁵ <https://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/1992/19920993>

⁶ <https://finlex.fi/sv/laki/alkup/2015/20151107>

3.2 Riktvärden i Sverige

Specifikt för vindkraftverk är Naturvårdsverkets *Vägledning om buller från vindkraftverk*⁷ det dokument som är vägledande vid bullerutredning i Sverige. Riktvärdena i Sverige återges i Tabell 2.

Tabell 2. Utomhusriktvärden från *Vägledning om buller från vindkraftverk*. Tabellen avser frifältsvärden, d.v.s. en ljudnivå som inte påverkas av reflexer i egen fasad.

Områdesanvändning	Ekvivalent ljudnivå i dBA
Utomhus vid bostäder (permanent- och fritidsboende)	40
Utomhus inom friluftsområden	35

Riktvärdet bör gälla för totalnivån från alla närliggande vindkraftverk. Riktvärdet vid bostäder bör gälla vid fasad och på uteplatser och andra ytor för utevistelse i bostadens närhet. För en normal villatomt (ca 1000–1500 kvm) är det rimligt att riktvärdet gäller på hela tomten.

En del vindkraftverk alstrar ljud med tonala komponenter. I sådana fall bör riktvärdet vara 5 dBA lägre, eftersom ljud med tonala komponenter upplevs som mer störande än annat ljud.

3.3 Övriga kriterier

I glesbebyggda områden och naturområden så kan det vara avsaknaden av samhällsbuller som är målet, det vill säga att områden avses vara fria från samhällsbuller (Novak et al, 2016). För samhällsbuller så kan följande indelning av områden användas (Novak et al, 2016):

- 40 dBA kan anses motsvara en begränsad bullerstörning i närhet till bostadsområde
- 30 dBA kan anses motsvara en begränsad bullerstörning
- 25 dBA kan anses motsvara en liten bullerpåverkan

Specifikt för driftsbuller från vindkraftverk så kan följande indelning av område utomhus användas (Møller och Pedersen, 2011):

- 35 dBA motsvarar den ljudnivå där andelen människor som störs av vindkraftverk är omkring 10%

3.4 Normal bakgrundsnivå

Ljudet från vindkraftsområdet kan även sättas i relation till naturligt förekommande ljud. I avsaknad av samhällsbuller så finns det en naturlig bakgrundsnivå från vind som blåser i träden, vågskvalp, fågelkvitter med mera. Bakgrundsnivån understiger sällan 30 dBA dagtid (Novak et al, 2016).

Bakgrundsnivån ökar med vindhastigheten eftersom naturliga ljud produceras av vind som gräs- och lövprassel (Hessler och Hessler, 2006). Lägst förekomst av naturliga bakgrundsljud är under vinterhalvåret då det saknas grönskande vegetation (Hessler och Hessler, 2006).

Även under vinterhalvåret är naturliga bakgrundsnivåer upp emot 40 dBA vid en vindhastighet om 8 m/s på en höjd 10 m över mark (Hessler och Hessler, 2006). Detta motsvarar vindhastigheten i driftsbullerberäkningen.

⁷ Naturvårdsverket (2020). *Vägledning om buller från vindkraftverk*.

Med detta sagt skulle man behöva mäta faktiska bakgrundsljudnivåer på Norra Åland över tid för att fastslå normal bakgrundsnivå på Åland.

4 Ljudkällor

Vindkraftverk med navhöjd 190 m och rotordiameter 320 m som är aktuella för Sunnanvind finns inte på marknaden idag. Därmed saknas data på ljudeffektnivå. WSP har därför extrapolerat ljudeffektnivå från befintliga data från mindre vindkraftverk.

4.1 Extrapolering av ljudeffektnivå

Elektrisk effekt P (kW) kan antas vara proportionell mot rotorns area $A = \pi a^2$ (m²) där $2a$ är rotorns diameter (van den Berg et al., 2024). Van den Berg et al. (2024) fann att $P = 0,284A$ (kW). Detta samband ger att ett fiktivt vindkraftverk med rotordiameter 320 m har en elektrisk effekt på ca 22,5 MW.

Ljudeffektnivå beror på logaritmen av elektrisk effekt plus en konstant (Møller och Pedersen, 2011; Van den Berg, 2024):

$$L_{WA} = C_1 \log_{10}(P) + C_2.$$

Detta samband har utnyttjats till att uppskatta tersbandspektrum och ljudeffektnivå från data för vindkraftverk med elektriska effekter på 10, 5 och 2,5 MW i Møller och Pedersen (2011). Denna data motsvarar medvind med en vindhastighet på 8 m/s på en höjd 10 m över mark (Møller och Pedersen, 2011). Koefficienterna C_1 och C_2 bestämdes för respektive tersband med minstakvadratmetoden. Därefter extrapolerades L_{WA} för respektive tersband till en elektrisk effekt på 22,5 MW.

Då data saknades för de lägsta tersbanden, under 25 Hz, gjordes även en extrapolering i frekvensled med hjälp av ett andragradspolynom:

$$L_{WA} = C_0 + C_1 \log_{10}(f) + C_2 (\log_{10}(f))^2.$$

Polynomet anpassades till det uppskattade tersbandsspektrumet för 22,5 MW med minstakvadratmetoden. Därefter extrapolerades L_{WA} till lägsta tersbanden.

Extrapoleringen resulterade i ett uppskattat tersbandspektrum från ett fiktivt vindkraftverk med rotordiameter 320 m utan pålagd säkerhetsmarginal.

Data utan pålagd säkerhetsmarginal motsvarar en risk att ljudeffektnivån överskrider 50% av gångerna och är genomsnittsvärdet av uppmätt ljudeffektnivå på flera vindkraftverk (Møller och Pedersen, 2011). WSP har valt att lägga på en säkerhetsmarginal på 3,2 dB för att det ska bli ett moderat värsta fall. Detta motsvarar ett konfidensintervall på 95% för ursprungliga data för mindre vindkraftverk där standardfelet var 1,64 dB (Møller och Pedersen, 2011).

Det finns dock en osäkerhet i uppskattningen av ljudeffektnivå och tersbandsspektrum och verkliga data kan skilja sig från denna uppskattning.

Uppskattningen gjordes i programvaran GNU Octave version 6.2.0.

4.2 Ljudeffektnivå

Ljudeffektnivå utan säkerhetsmarginal redovisas i Tabell 3.

Tabell 3. Uppskattad ljudeffektnivå L_{WA} i dBA för ett vindkraftverk med rotordiameter 320 m utan säkerhetsmarginal.

Møller och Pedersen (2011)				Uppskattning
Elektrisk effekt	2,5 MW	5 MW	10 MW	22,5 MW (320 m)
Ljudeffektnivå	105,5	108,8	112,1	116,0

Tersbandsspektrum med säkerhetsmarginal på ca 3 dB redovisas i Tabell 4. Detta spektrum har använts som indata för att modellera ett vindkraftverk med rotordiameter 320 m och navhöjd 190 m som en punktljudkälla.

Tabell 4. Uppskattat tersbandsspektrum i dBA för ett vindkraftverk med rotordiameter 320 m med säkerhetsmarginal om 3 dB.

Tersband (Hz)	10	12,5	16	20	25	31	40	50	63	80
Ljudeffektnivå	70,0	74,9	80	84,3	88,5	92,7	96,2	99,2	101,9	103,9
Tersband (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
Ljudeffektnivå	105,4	106,8	107,6	108,2	108,6	108,9	108,8	108,7	108,4	108,1
Tersband (kHz)	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8
Ljudeffektnivå	107,4	106,3	105,1	103,2	100,8	97,6	94,0	89,3	83,4	77,4
Tersband (kHz)	10									
Ljudeffektnivå	70,0									

Tersbandspektrumet motsvarar en ljudeffektnivå på 119,4 dBA.

5 Underlag

Driftbullermodellen är framtagen från underlag som innehåller höjddata, marktäckte, kustlinje, vägar och fastigheter. Höjddata är hämtad från Lantmäteriet, Höjdmodell 2 m⁸, i rasterform med upplösning 2×2 m. Rasterdata importerades direkt till SoundPLANnoise och bearbetades till en terrängmodell med en största elementstorlek på 80 m. Marktäcktet är hämtat från Syke CORINE Land Cover 2018 dataset⁹ och har tagits fram med Copernicus satellitdata. Kustlinje, vägar och fastigheter är hämtade från Lantmäteriverkets Terrängdatabas¹⁰.

5.1 Bearbetning av marktäckte

Enligt den nordiska beräkningsmetoden Nord 2000 ska marktäckte klassificeras i impedansklasserna A-H som beskriver markens akustiska egenskaper utifrån strömningsmotstånd¹¹. Klass A är akustiskt mjuk mark, exempelvis mossor, och skalan går sedan gradvis till Klass H som är akustiskt hård mark, exempelvis vatten. Akustiskt mjukare mark är mer absorberande i sin karaktär medan akustiskt hårdare mark är mer reflekterande i sin karaktär.

Det marktäckte för Åland som använts som grunddata är däremot klassificerat enligt Copernicus¹². Copernicus delar in marktäckte i ett antal beskrivande klasser som exempelvis *Blandad skog* (från eng. *Mixed forest*) eller *Kala klippor* (från eng. *Bare rock*).

WSP har, i samband med detta uppdrag, tagit fram en omklassningstabell för att översätta de Copernicus-klasser som fanns i underlaget för Åland till Nord 2000. Omklassningen utgår från en bedömning av respektive markklass utifrån dess beskrivning med bilder i Copernicus riktlinjer¹³. Den framtagna omklassningstabellen redovisas i Appendix A: Omklassningstabell. Impedansklasserna i Nord 2000 redovisas i Appendix B: Impedansklasser.

Copernicus marktäcktet består av ett stort antal små ytor som gör driftbullermodellen alltför detaljerad i relation till osäkerhet i ljudeffektnivån. WSP har därför bearbetat marktäcktet före omklassning. Bearbetningen gjordes med hjälp av ett *majoritetsfilter* (från eng. *majority filter*). Filtret hade till syfte att reducera antalet små separata ytor med en avvikande Copernicus klass vilket förenklar beskrivningen av marken.

Ett exempel på hur det resulterande (filtrerade) marktäcktet ser ut ges i Figur 5.

Bearbetningen gjordes i programvaran ArcGIS Pro version 3.2.

⁸ <https://www.maanmittauslaitos.fi/sv/kartor-och-geodata/datamaterial-och-granssnitt/produktbeskrivningar/terrangdatabas>

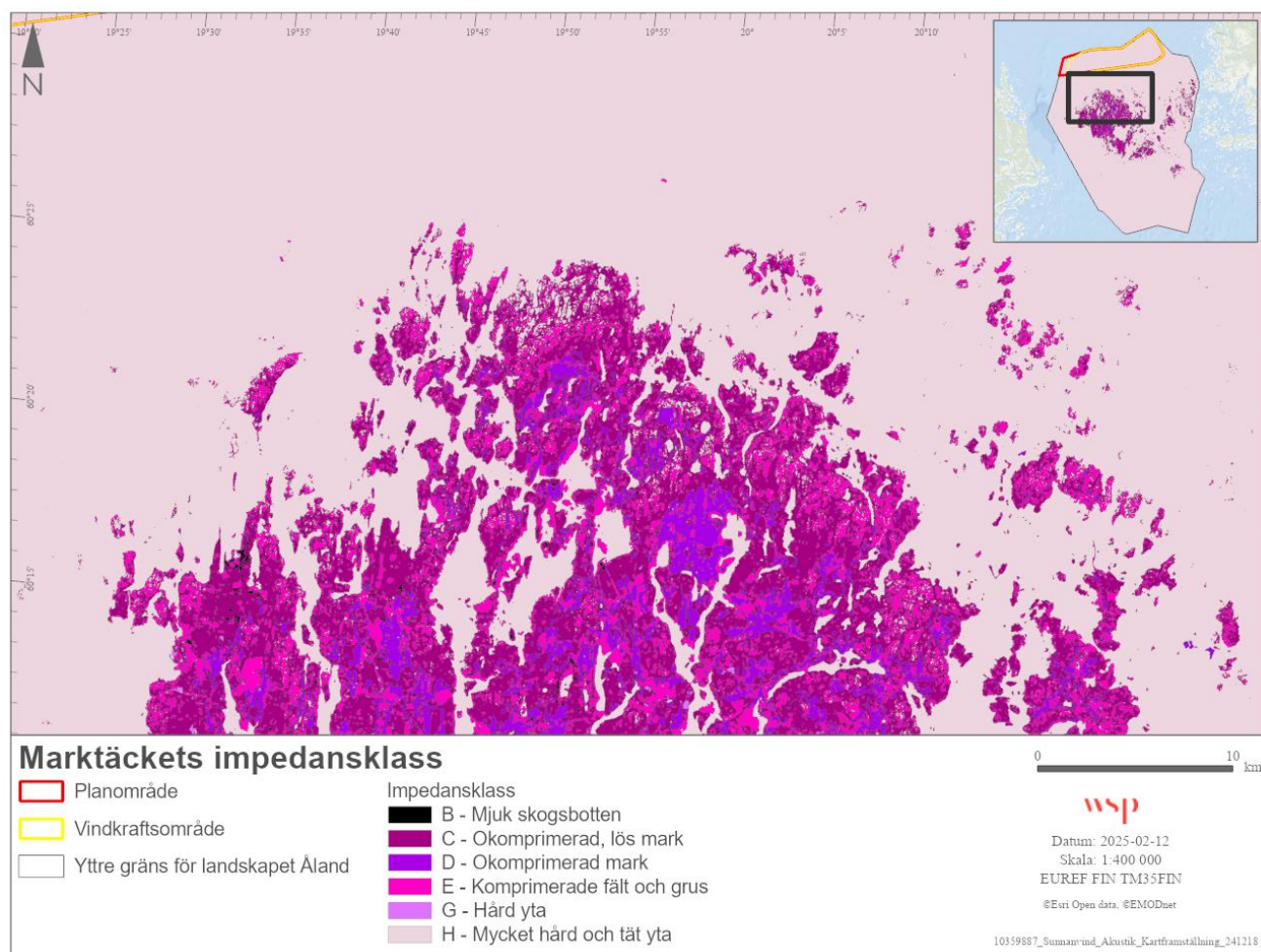
⁹ <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/%7B0B4B2FAC-ADF1-43A1-A829-70F02BF0C0E5%7D>

¹⁰ <https://www.maanmittauslaitos.fi/sv/kartor-och-geodata/datamaterial-och-granssnitt/produktbeskrivningar/terrangdatabas>

¹¹ Kunskapscentrum om buller (2024). Nord 2000 - Användarhandledning för beräkning av buller från väg- och spårtrafik för svenskt bruk.

¹² <https://land.copernicus.eu/en>

¹³ <https://land.copernicus.eu/content/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/html/index.html>



Figur 5. Exempel på hur en del av Åland är indelat i impedansklasser efter filtrering. Klass A är akustiskt mjuk mark, exempelvis mossor, och skalan går sedan gradvis till Klass H som är akustiskt hård mark, exempelvis vatten.

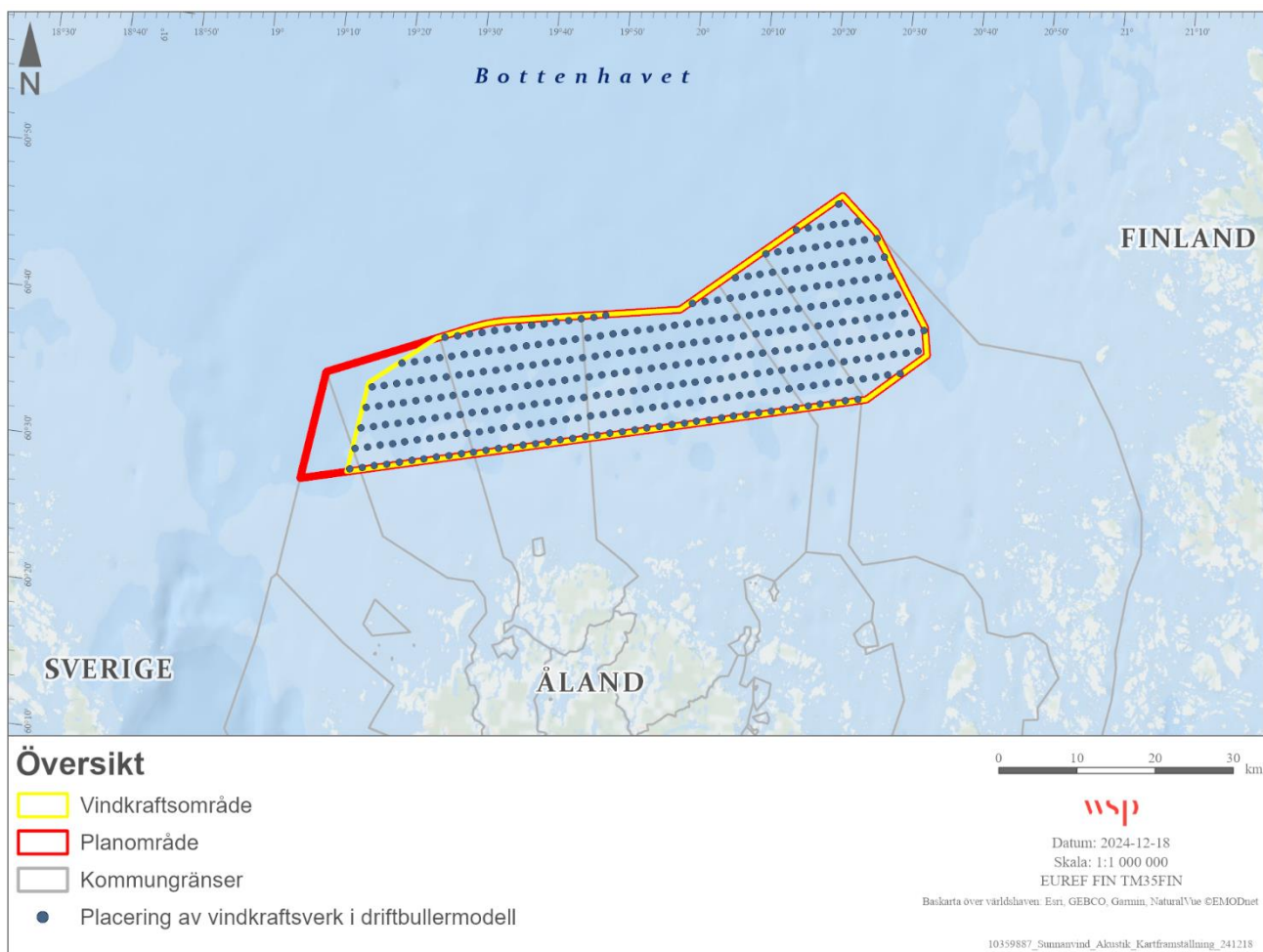
6 Beräkning

Driftsbuller har beräknats enligt den nordiska beräkningsmetoden Nord 2000 i SoundPLANnoise.

6.1 Beräkningsfall

Driftsbullermodellen utgår från den maximala bygggrätt som anges i generalplanen. Beräkningsfallet med 301 fiktiva vindkraftverk visas i Figur 6. Respektive vindkraftverk har en navhöjd på 190 m, en ljudeffektnivå på 119,4 dBA och tersbandsspektrum från Tabell 4. Detta motsvarar en turbin med en elektrisk effekt på ca 22,5 MW. Vindkraftverken modelleras som rundstrålande punktljudkällor, vilka strålar ut ljud med samma intensitet i alla riktningar. Detta är ett akustiskt värsta fall.

I praktiken är vindkraftverk inte rundstrålande och strålar främst ljud i och mot vindens riktning (Friman, 2011). Ingen hänsyn tas till detta i modellen eftersom vindens riktning varierar.



Figur 6. Placering av vindkraftverk i driftsbullermodell och placering av de byggnader som valts ut till stickprovsberäkning av fasadbuller.

6.2 Beräkningsparametrar

Eftersom väder varierar under ett år väljs beräkningsparametrarna till standardparametrar för Nord2000 i SoundPLANnoise som motsvarar ett moderat värsta fall med skillnaden att vindhastigheten är 8 m/s och temperaturgradienten 0,05 °C/m. Vindhastigheten motsvarar väderförhållande för den data i Møller och Pedersen (2011) som ligger till grund för uppskattningen av ljudeffektnivå. Temperaturgradienten motsvarar det högsta tillåtna värdet vid mätning av vindkraft enligt metoden Elforsk 98:24 (Energimyndigheten, 1998).

Beräkningsparametrarna redovisas i Tabell 5.

Tabell 5. Parametrar som har använts i beräkningsprogrammet vid driftsbullerberäkningen.

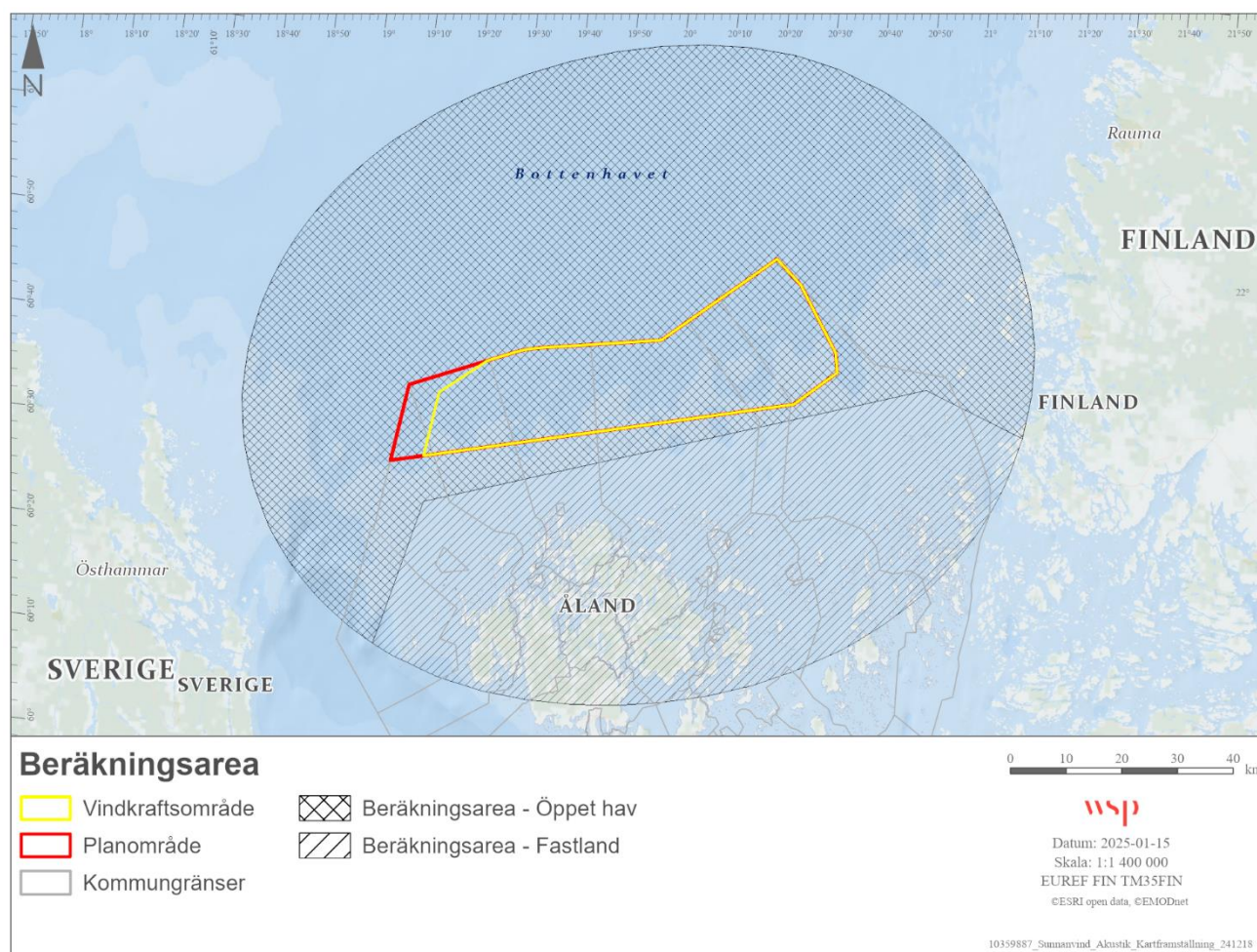
Program	SoundPLANnoise version 9.1
Standard	Nord 2000
Sökradie	100 km
Antal reflektioner	1
Beräkningshöjd	Beror på beräkning: • 1,5 m över mark i ljudspridningskarta. • Mittpunkt på fasad i fasadbullerberäkning.
Luftryck	1013,3 mbar
Relativ luftfuktighet	70%
Temperatur	15 °C
Temperaturgradient	0,05 °C/m
Markråhetslängd	0,025 m
Höjd anemometer	10,0 m
Vindhastighet	8,0 m/s
Standardavvikelse vindhastighet	0,50 m/s
Vindriktning	Beror på beräkning: • Medvind från alla håll i ljudspridningskarta och fasadbullerberäkning. • Medvind från alla håll samt motvind från alla håll i differenskarta.
Turbulenta vindhastighetsfluktuationer	$0,120 \text{ m}^{4/3}/\text{s}^2$
Turbulenta temperaturfluktuationer	$0,008 \text{ K}/\text{s}^2$
Marktäcke	Beror på beräkning: • Impedansklass A-H bedömd utifrån Copernicus-data som är förenklad med majoritetsfilter. Detta används på Ålands fastland i ljudspridningskarta och fasadbullerberäkning. • Impedansklass H i övriga beräkningar. • Råhetsklass är satt till N +/- 0,25 m.
Höjddata	Beror på beräkning: • Rasterdata 2x2 m för Ålands fastland i ljudspridningskarta och för beräkning på fasad. • Planmark på öppet hav i ljudspridningskarta och för beräkning på fasad. • Planmark i differenskarta.

6.3 Beräkningsareor

Terrängdata, höjddata kombinerat med marktäckte, har använts i en mer detaljerad beräkning av driftsbuller på Ålands fastland. Terrängdata används här i en avgränsad sektor, en beräkningsarea, som inkluderar fastlandet i ljudspridningskartan och fasadbullerberäkningen.

I övrigt har en planmarksmodell använts för mer översiktliga beräkningar på öppet hav samt i beräkningen av en differenskartan mellan medvind från alla håll och motvind från alla håll. Det öppna havet ligger i en annan beräkningsarea. Öar som ligger inom beräkningsarean för fastlandet men utanför Ålands landskapsgräns har inte tagits hänsyn till och betraktas som öppet hav.

För att få ut en komplett ljudspridningskarta har de båda beräkningarna fogats samman. Indelningen mellan detaljerad beräkning och förenklad beräkning ses i Figur 7.



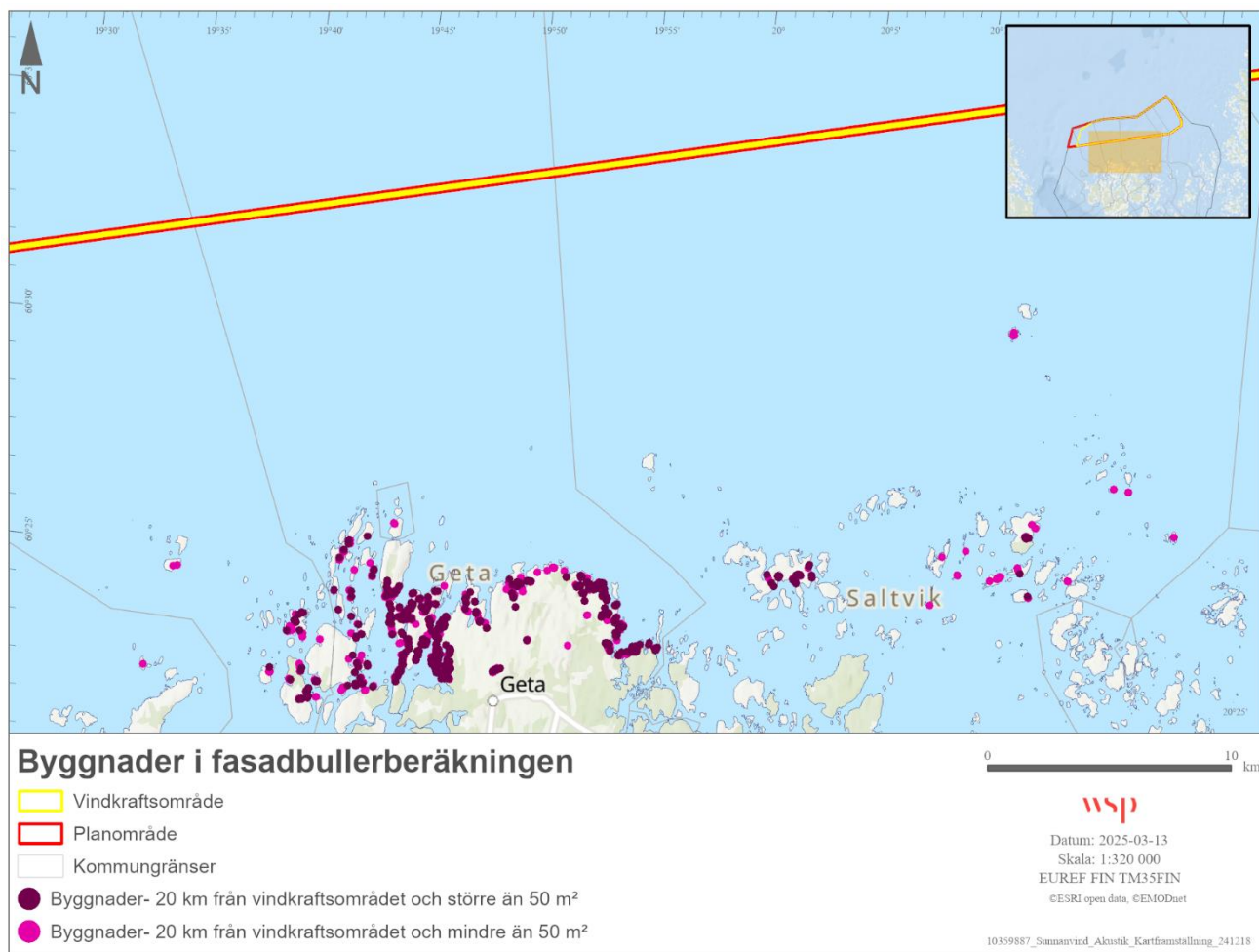
Figur 7. Areor för beräkning av ljudnivåer från vindkraftsparken.

6.4 Val av byggnader i fasadbullerberäkning

En stickprovsberäkning av ljudnivå på fasad har genomförts genom att beräkna fasadbuller för samtliga byggnader i underlaget som är större än 50 m² inom ett avstånd av 20 km från vindkraftsområdet.

De byggnader som har valts ut för stickprovsberäkningen visas i Figur 8.

Ljudnivå på fasad har beräknats i mittpunkten på respektive fasad för samtliga byggnader i stickprovet.

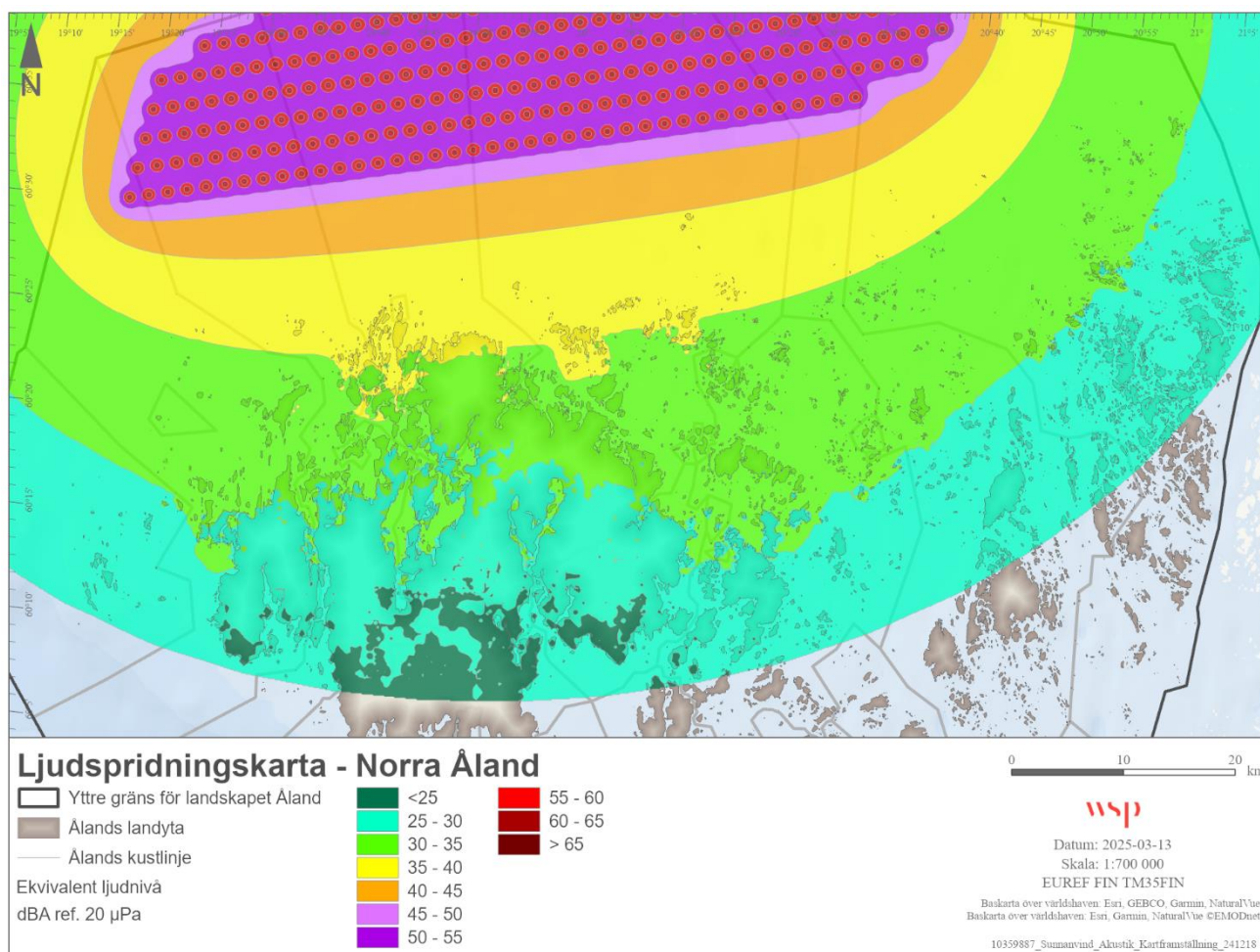


Figur 8. Byggnader på Norra Åland som valts ut för stickprovsberäkning av ljudnivå på fasad. De utvalda byggnaderna ligger inom 20 km från vindkraftsområdet och har en area större än 50 m².

7 Resultat

7.1 Ljudspridningskarta

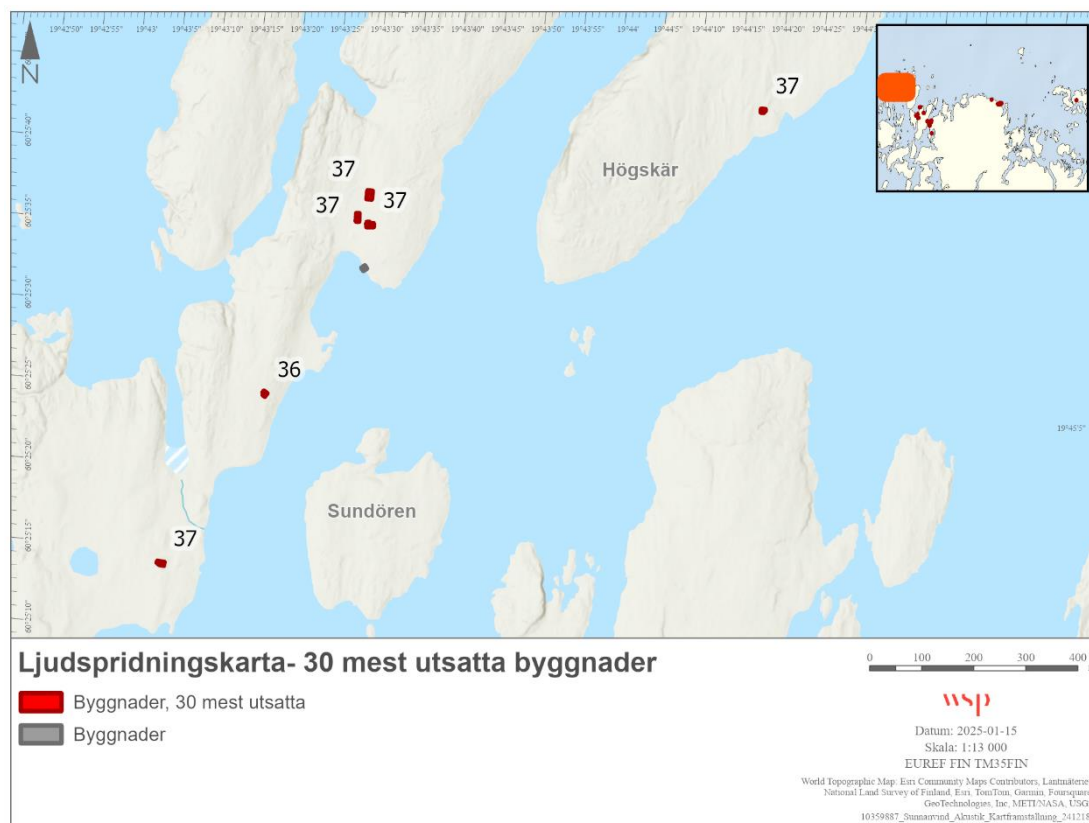
Ljudspridningskarta över Norra Åland visas i Figur 9. Kartan visar att ljudnivån, på höjden 1,5 m över mark, beräknas vara inom spannen 30–35 och 35–40 dBA längs med Ålands norra kustlinje. Konturen för 40 dBA passerar strax norr om ön Norrskäret. En ljudspridningskarta som visar hela det beräknade området samt en ljudspridningskarta över Norra Åland i större format finns i *Appendix C: Ljudspridningskarta*.



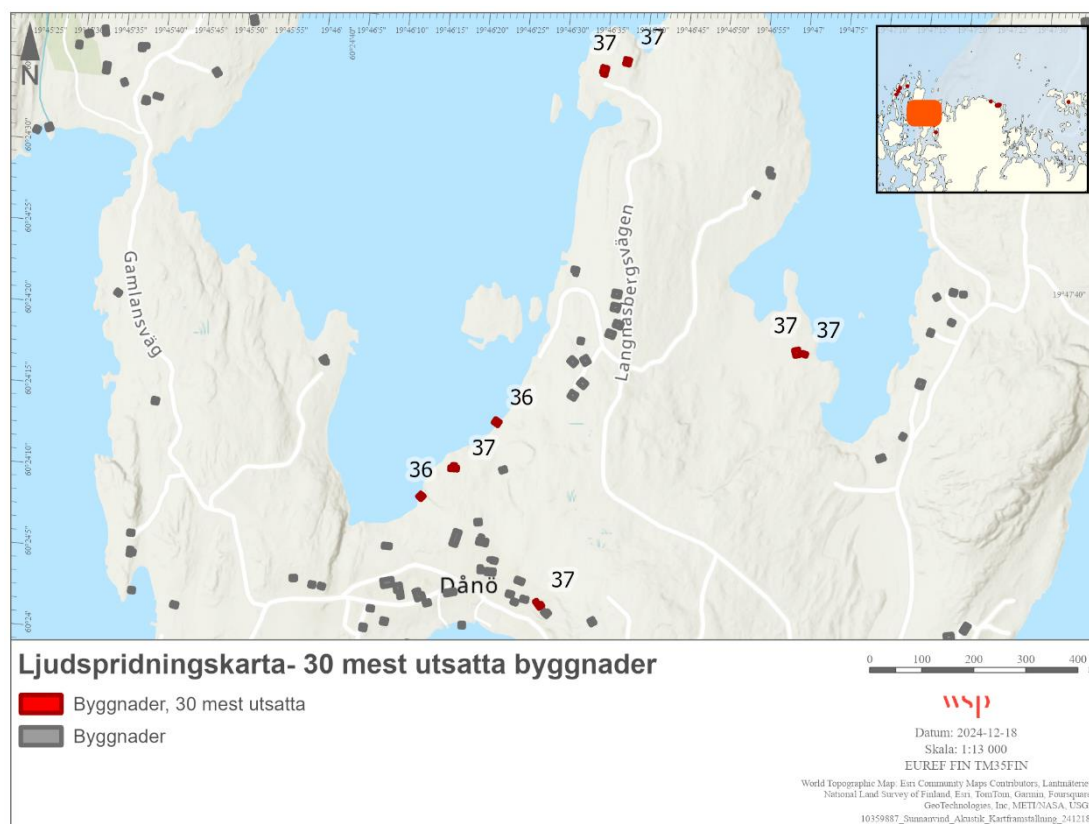
Figur 9. Ljudspridningskarta över Norra Åland för väderförhållande som motsvarar ett moderat värsta fall. Ljudnivåer under 30 dBA från vindkraftsområdet kan maskeras av naturliga ljud som lövprassel.

7.2 Ljudnivåer på Fasad

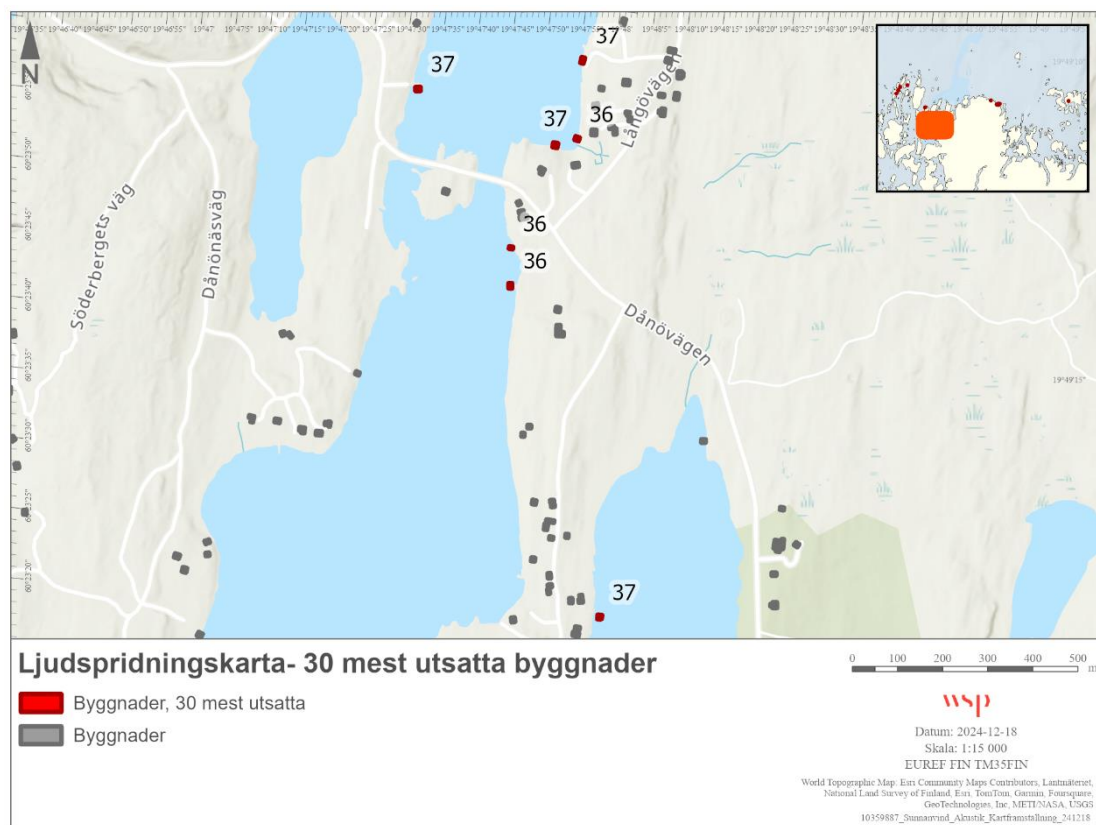
Ljudnivåer på fasad beräknades för fler än 400 byggnader inom ett avstånd av 20 km från vindkraftsområdet. Den högsta beräknade ljudnivån är 37 dBA. Den lägsta beräknade ljudnivån är 31 dBA. De trettio värst drabbade byggnaderna i stickprovsberäkningen visas i Figur 10, Figur 11, Figur 12, Figur 13 och Figur 14 tillsammans med det högsta frifältsvärdet vid fasad på respektive byggnad. Havsvidden syns i Figur 13.



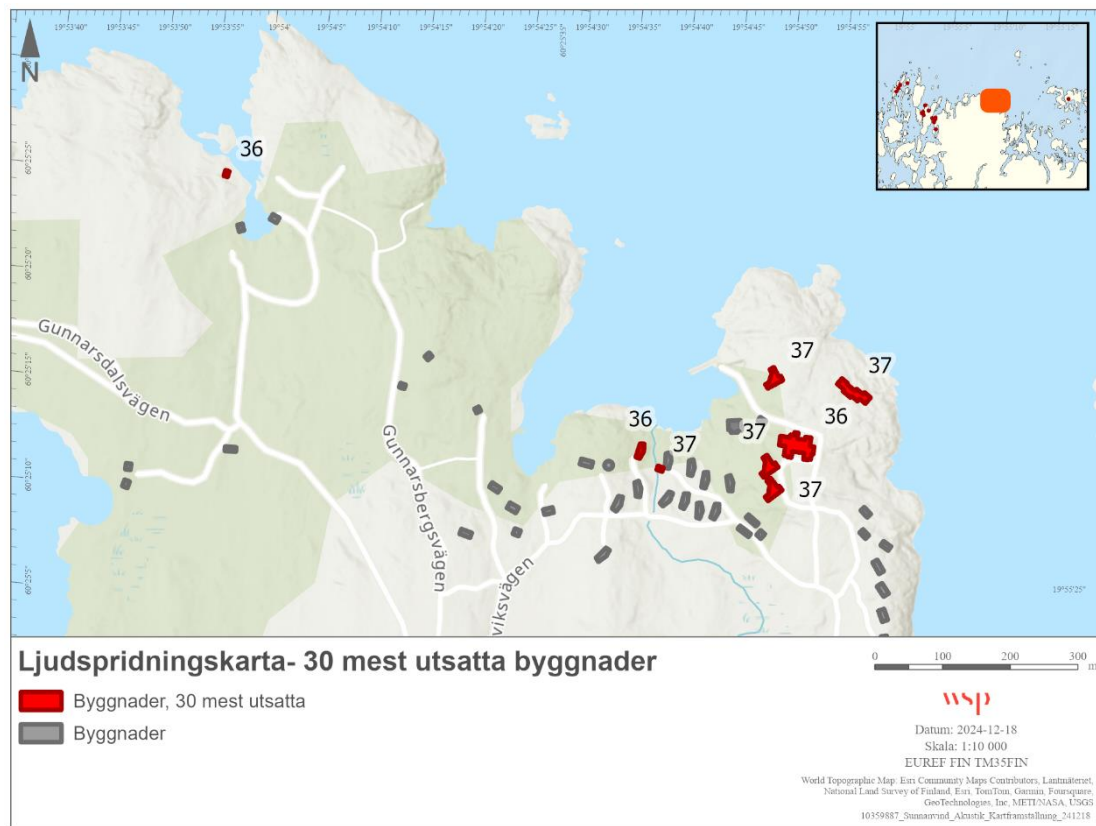
Figur 10. De trettio byggnader som beräknas ha högst frifältsvärde på fasad i stickprovsberäkningen, del 1 av 5.



Figur 11. De trettio byggnader som beräknas ha högst frifältsvärde på fasad i stickprovsberäkningen, del 2 av 5.



Figur 12. De trettio byggnader som beräknas ha högst frifältsvärde på fasad i stickprovsberäkningen, del 3 av 5.



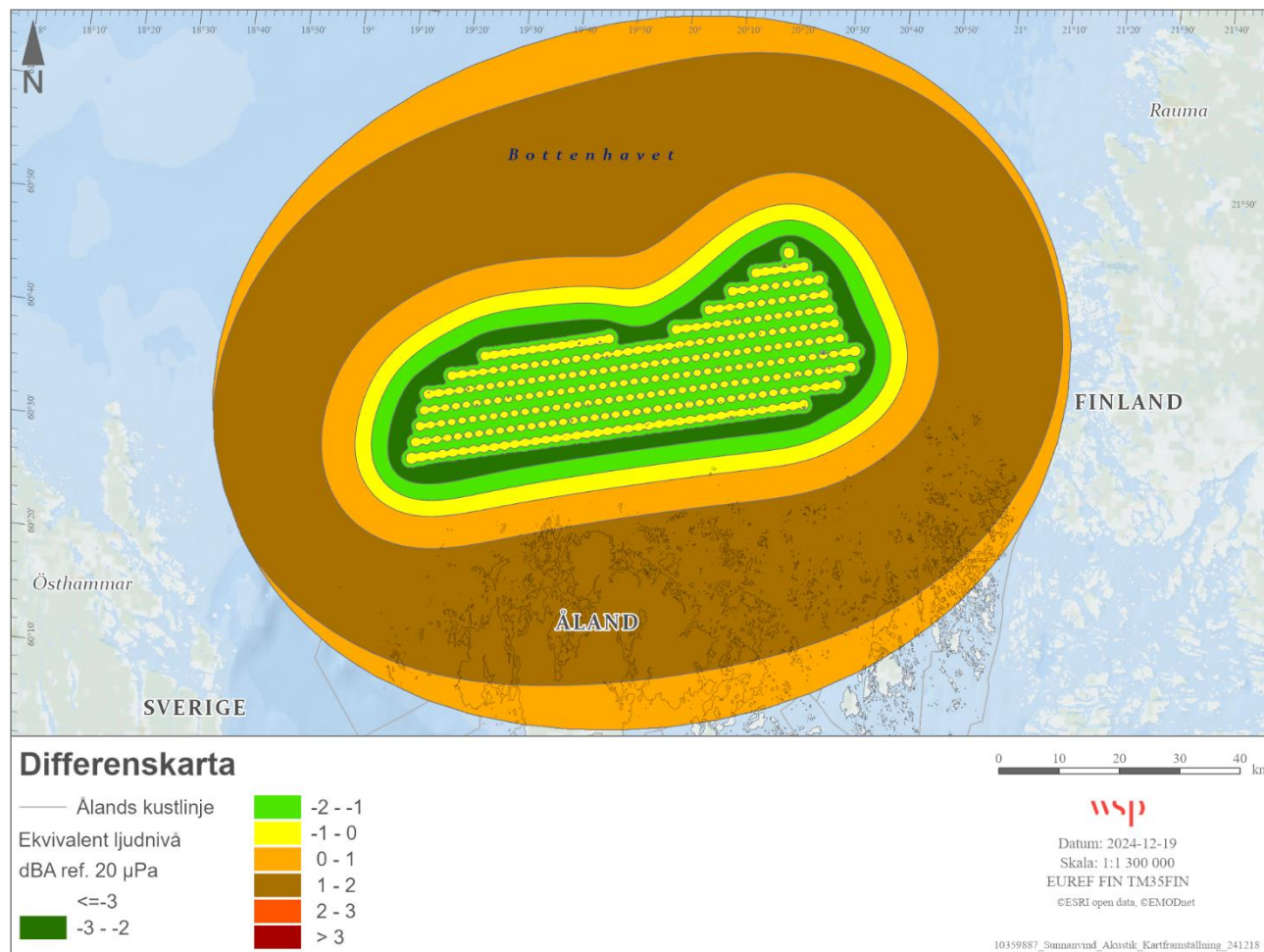
Figur 13. De trettio byggnader som beräknas ha högst frifältsvärde på fasad i stickprovsberäkningen, del 4 av 5.



Figur 14. De trettio byggnader som beräknas ha högst frifältsvärde på fasad i stickprovsberäkningen, del 5 av 5.

7.3 Differensskarta för olika vindriktningar

Skillnaden mellan medvind från alla håll och motvind från alla håll har beräknats i två i övrigt identiska planmarksmodeller. I motvindsförhållande, det vill säga att det blåser från mottagare till ljudkälla, fås en reduktion på 1–2 dB på Norra Åland. En differensskarta som visar skillnaden i beräknad ljudnivå ses i Figur 15.



Figur 15. Differensskarta som visar skillnaden i ljudnivå mellan medvind och motvind.

Andra väderfaktorer som kan påverka spridning är temperatur, temperaturgradient och vindhastighet. Det ingick inte i uppdraget att beräkna differenskartor mellan fler väderförhållanden.

7.4 Diskussion

Nedan följer ett resonemang om vad beräknade ljudnivåer innebär i avsaknad av annat samhällsbuller och jämfört med normal bakgrundsnivå på naturligt förekommande ljud.

Beräkningen utgår från det maximala antalet vindkraftverk som anges i generalplanen och är gjord med ett vindkraftsområde som omfattar 301 fiktiva vindkraftverk med en rotordiameter på 320 m. En minskning av antalet vindkraftverk leder dock inte nödvändigtvis till en reduktion av ljudnivå eftersom även avståndet mellan vindkraftsområdet och Norra Åland avgör ljudnivån längs med kusten. Anläggs vindkraftsområdet med vindkraftverk som har en lägre ljudeffektnivå än den antagna så kommer det ha en positiv påverkan så att ljudnivån sänks.

Ljudeffektnivån och tersbandsspektrum på de fiktiva vindkraftverken i driftsbullerberäkningen är bestämda genom extrapolering, från data på mindre vindkraftverk, och justerade med en säkerhetsmarginal på ca 3 dB. Detta resulterade i en antagen ljudeffektnivå på 116 dBA utan pålagd säkerhetsmarginal. Extrapoleringen är gjord för en vindhastighet på 8 m/s på en höjd 10 m över mark. Säkerhetsmarginalen gör att ljudeffektnivån kan betraktas som ett värsta fall även om extrapoleringen gör driftsbullerberäkningen mer osäker än om verkliga data hade funnits att tillgå.

Vindkraftverken har modellerats som rundstrålande punktljudkällor, vilka strålar ut ljud med samma intensitet i alla riktningar, och detta är ett akustiskt värsta fall. Vindkraftverk är inte rundstrålande och strålar främst i och mot vindens riktning. Den dominerande vindriktningen på Åland är sydsydväst vilket innebär att Norra Åland ofta är i den riktning där vindkraftverken förväntas stråla ut ljud. I denna riktning fås samma effekt som en punktljudkälla, i andra riktningar kan ljudnivån från faktiska vindkraftverk förväntas avta något.

Väderförhållanden med medvind från alla håll och enligt de beräkningsparametrar som redovisas i Tabell 5 motsvarar ett moderat värsta fall. Medvind från alla håll kan inte inträffa i verkligheten.

Kombinationen av ljudeffektnivå med säkerhetsmarginal, rundstrålande punktljudkällor och ett moderat värsta fall för väderförhållandena gör att driftsbullerberäkningen är konservativ. Konservativ betyder att antaganden är försiktiga, så att beräknad ljudnivå är något högre än vad som egentligen kan förväntas.

Under de redovisade förutsättningarna visar driftsbullerberäkningen att merparten av Norra Ålands fastland beräknas få en ljudnivå inom 30–35 dBA på höjd 1,5 m över mark. Det finns en mindre del av fastlandet som beräknas kunna ha ljudnivåer över 35 dBA och upp till 40 dBA. Detta innebär att riktvärde för utomhusbuller i Finland innehålls under de förutsättningar som anges i rapporten.

En ljudnivå på 35 dBA motsvarar ljudnivån där ca 10% av berörda människor riskerar att störas av driftsbuller från vindkraftverk. Det finns därför en risk att människor på Norra Åland störs trots att riktvärdet innehålls.

Både ljudnivån från vindkraftverk och bakgrundsnivån ökar med vindhastighet. Bakgrundsnivån ökar eftersom naturliga ljud produceras av vind som exempelvis vågskvalp, gräs- och lövprassel. Lägst förekomst av naturliga bakgrundsljud och därmed störst risk för att man upplever en störning är under vinterhalvåret då det saknas grönskande vegetation.

Även under vinterhalvåret är naturliga bakgrundsnivåer upp emot 40 dBA vid en vindhastighet på 8 m/s på en höjd 10 m över mark. Detta gör att ljudet från vindkraftsområdet kan maskeras på avstånd bortom den redovisade konturen för 30 dBA. Med detta sagt skulle man behöva mäta bakgrundsljudnivåer på Norra Åland över tid för att fastslå den förändrade ljudbild som kan förväntas där efter utbyggnad.

Sammanfattningsvis bör inte vindkraftsområdet ge mer än en begränsad störning för zonen 30–35 dBA vilken omfattar stora delar av Norra Ålands fastland. Över 35 dBA, det vill säga längs med Norra Ålands kust och öar norr om fastlandet, kan ljudet uppfattas som störande.

8 Slutsatser

Driftsbullerberäkningen utgår från det maximala antalet vindkraftverk som anges i generalplanen och är genomförd med 301 vindkraftverk med en rotordiameter på 320 m. Driftsbullerberäkningen är konservativ och motsvarar ett moderat värsta fall. Beräkningen är genomförd med ett antagande om att ljudeffektnivån är 116 dBA utan pålagd säkerhetsmarginal för ett vindkraftverk med rotordiameter 320 m vid en vindhastighet om 8 m/s på höjden 10 m över mark. En säkerhetsmarginal på 3 dB är pålagd i beräkningen. WSP rekommenderar att de vindkraftverk som planeras i Sunnanvind inte har en högre ljudeffektnivå än den som använts i beräkningen. Om ljudeffektnivån överstiger 116 dBA förväntas ljudnivåer överstiga beräknade.

Under de redovisade förutsättningarna visar driftsbullerberäkningen att merparten av Norra Ålands fastland beräknas få en ljudnivå inom 30–35 dBA på höjd 1,5 m över mark. Detta kan antas vara jämförbart med naturlig bakgrunds nivå som finns på platsen idag. WSP rekommenderar att bakgrundsljudnivåer mäts på enstaka platser över tid för att fastslå naturlig bakgrunds nivå på Norra Åland samt den förändrade ljudbild som kan uppstå efter utbyggnad.

Endast en mindre del av fastlandet, längs med Norra Ålands kust, och öar norr om fastlandet beräknas ha ljudnivåer över 35 dBA och upp till 40 dBA. Utifrån en stickprovsberäkning så bedöms det vara relativt få fastigheter på Norra Åland som har ett frifältsvärde vid fasad över 35 dBA. Den högsta beräknade frifältsvärdet vid fasad är 37 dBA. När ljudnivån utomhus överstiger 35 dBA, men är inom riktvärden, ökar risken för att man kan uppleva ljudet som störande.

Riktvärde för utomhusbuller i Finland innehålls under de förutsättningar som anges i rapporten.

Referenser

- Bolin, K., Hammarlund, K., Mels, T., och Westlund, H., 2021. *Vindkraftens påverkans på människors intressen*. Teknisk rapport med nummer 7013. Naturvårdsverket. ISBN: 978-91-620-7013-7
- Friman, M., 2011. *Directivity of sound from wind turbines. A study on the horizontal sound radiation pattern from a wind turbine*. M.Sc. Thesis. Kungliga Tekniska Högskolan – The Marcus Wallenberg Laboratory for Sound and Vibration Research (2011)
- Gustafson, A., Genell, A. och Ögren, M., 2024. *Nord 2000 – Användarhandledning för beräkning av buller från väg- och spårtrafik för svenskt bruk*. Teknisk rapport. Kunskapscentrum om buller, Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- Hessler, George & Hessler, David., 2006). *Baseline environmental sound levels for wind turbine projects*. Sound and Vibration. 40. 10-15.
- Ljunggren, S., 1998. *Mätning av bullerimmission från vindkraftverk*. Teknisk rapport. Energimyndigheten.
- Maijala, P., Turunen, A., Kurki, I., Vainio, L., Pakarinen, S., Kaukinen, C., Lukander, K., Tiittanen, P., Yli-Tuomi, T., Taimisto, P., Lanki, T., Tiippana, K., Virkkala, J., Stickler, E. och Sainio, M., 2020. *Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines*. Prime Minister's Office. Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2020:34. ISBN: 978-952-287-907-3.
- Møller, H. & Pedersen, C. S., 2011. *Low-frequency noise from large wind turbines*. The Journal of the Acoustical Society of America, 129(6), 3727-3744.
- Naturvårdsverket, 2020. *Vägledning om buller från vindkraftverk*. Version 2020-12-01.
- Novak, A., Gredenman, T., Fred, R., Bellander, T. och Eriksson, C., 2016. *Kartläggning av bullerfria områden. Metodbeskrivning för Stockholms län*. Teknisk rapport. Centrum för arbets- och miljömedicin. ISBN: 978-91-88361-05-9
- Van den Berg, F. G. P., Koppen, E., Boon, J. och Ekelschot-Smink, M., 2024. *Development of Sound Power of Onshore Wind Turbines including Its Spectral Distribution*. Manuskriptet är en preprint och ej vetenskapligt granskad. MDPI

Appendix A: Omklassningstabell

WSP har i samband med detta uppdrag tagit fram en omklassningstabell för att översätta de Copernicus-klasser som fanns i underlaget till impedansklasser A-H i Nord 2000. En beskrivning av impedansklasserna återges i *Appendix B: Impedansklasser*. Omklassningen utgår från en bedömning av respektive markklass utifrån dess beskrivning med bilder i Copernicus riktlinjer¹⁴.

Nord 2000	Copernicus	
A	-	
B	- Broad-leaved forest on mineral soil - Broad-leaved forest on peatland	Broad-leaved forest on rocky soil
C	- Coniferous forest on mineral soil - Coniferous forest on peatland - Coniferous forest on rocky soil - Mixed forest on mineral soil	- Mixed forest on peatland - Mixed forest on rocky soil - Transitional woodland/shrub under power lines
D	- Non-irrigated arable land - Fruit trees and berry plantations	- Arable land outside farming subsidies - Agro-forestry areas
E	- Continuous urban fabric - Discontinuous urban fabric - Commercial units - Road and rail networks and associated land - Green urban areas - Summer cottages - Sport and leisure areas - Golf courses - Racecourses - Pastures - Natural pastures - Transitional woodland/shrub, cc <10% - Transitional woodland/shrub, cc 10-30%, on mineral soil	- Transitional woodland/shrub, cc 10-30%, on peatland - Transitional woodland/shrub, cc 10-30%, on rocky soil - Beaches, dunes, and sand plains - Inland marshes, terrestrial - Inland marshes, aquatic - Peatbogs - Salt marshes, terrestrial - Salt marshes, aquatic
F	-	
G	- Industrial units - Port areas - Airports	- Mineral extraction sites - Dump sites - Construction sites
H	- Bare rock - Water courses	- Water bodies - Sea and ocean

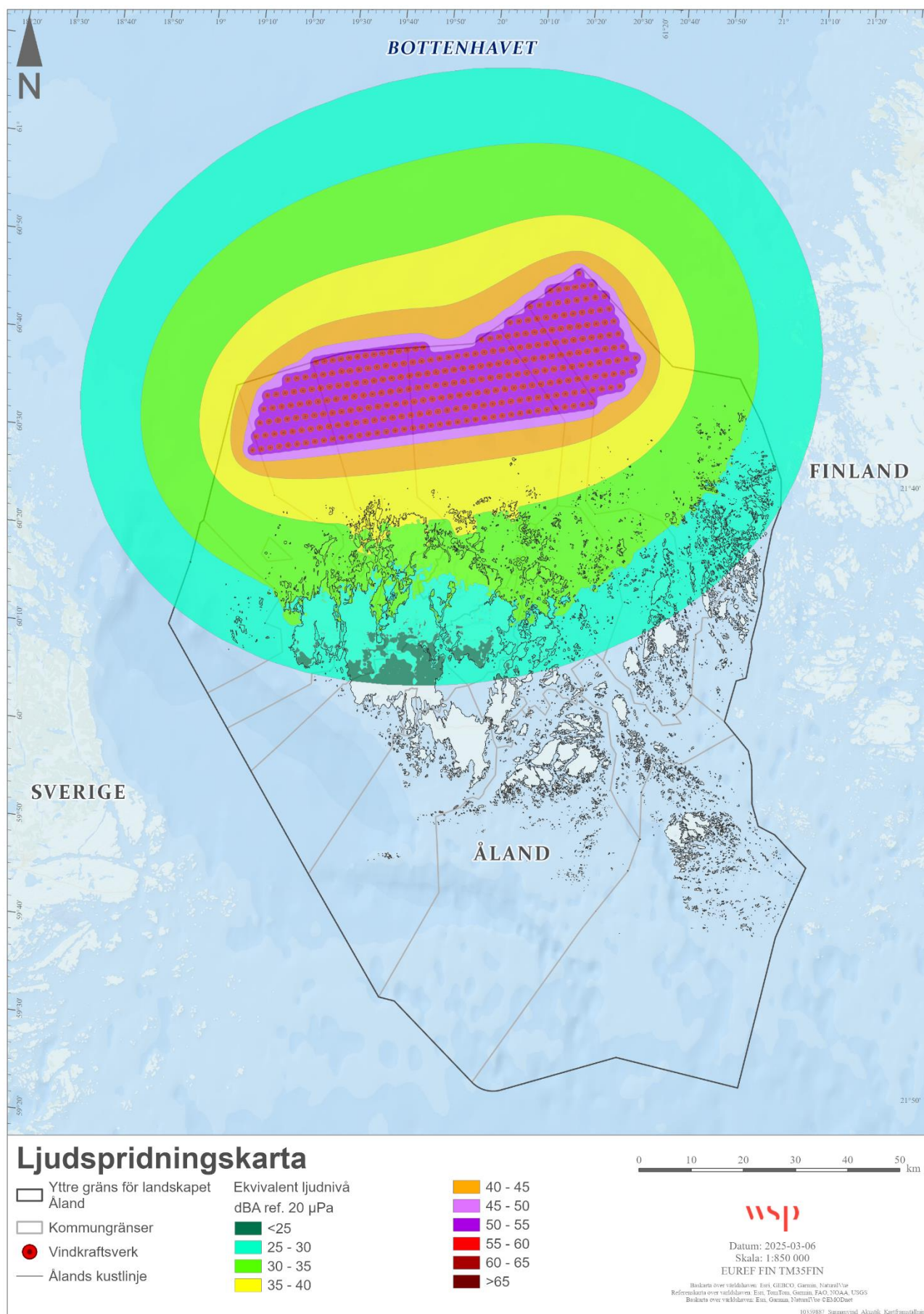
¹⁴ B. Kosztra, G. Büttner, G. Hazeau, S. Arnold. Updated CLC illustrated nomenclature guidelines. Teknisk rapport. European Environment Agency

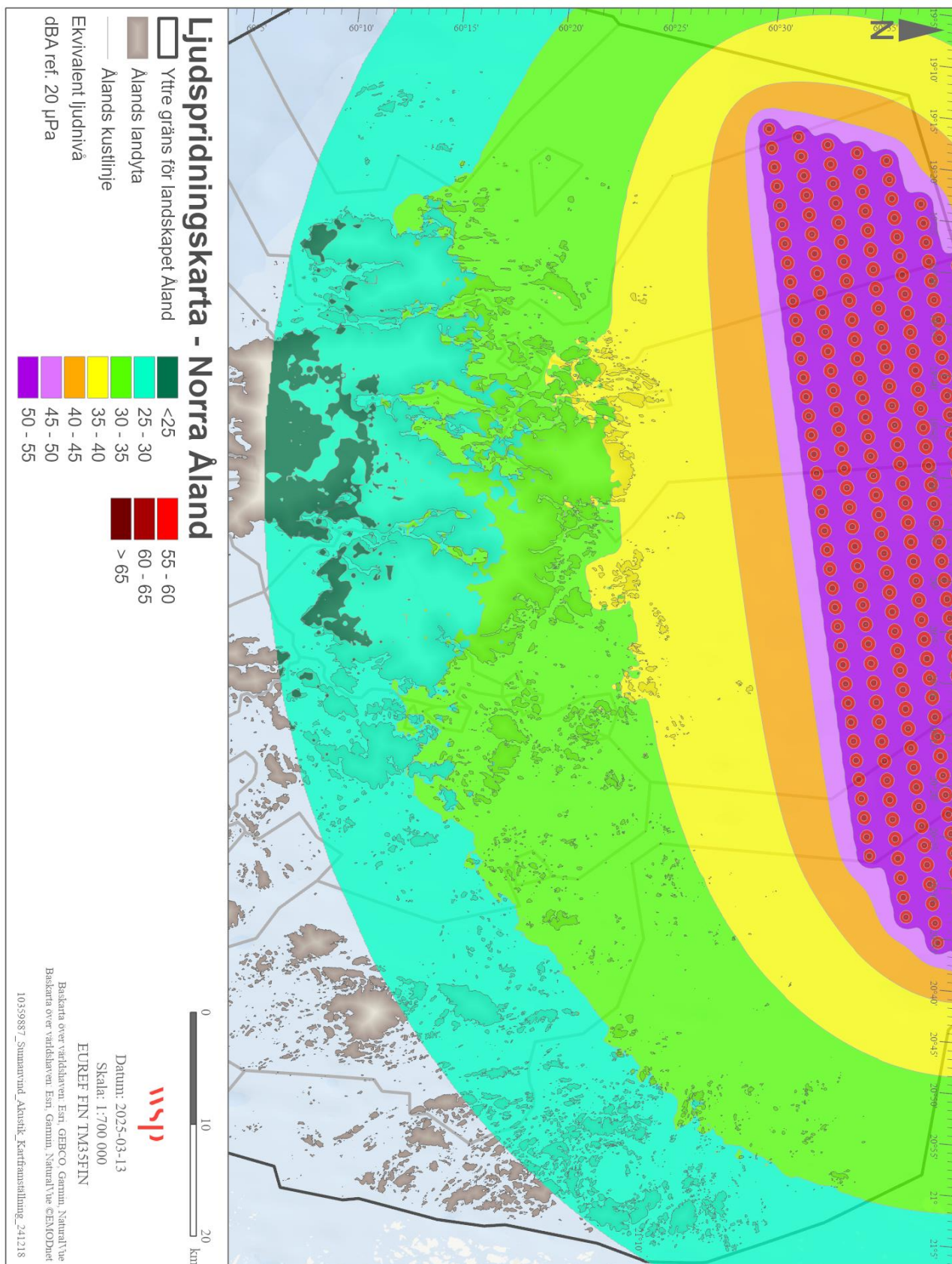
Appendix B: Impedansklasser

Nord 2000 utgår från markytans strömningsmotstånd för att bestämma akustisk impedans (Gustafson, Genell och Ögren, 2024). Markimpedans väljs från åtta impedansklasser A-H som beskriver olika markförhållanden i tabellen nedan. Tabellen är hämtad från (Gustafson, Genell och Ögren, 2024).

Impedansklass	Strömningsmotstånd (kPas/m ²)	Beskrivning
A	12,5	Mycket mjuk (snö eller mossliknande)
B	31,5	Mjuk skogsbotten (kort, tät, ljunglik eller tjock moss)
C	80	Okomprimerad, lös mark (gräs, lös jord)
D	200	Normal okomprimerad mark (skogsbotten, ängsmark), järnvägsspår på ballast
E	500	Komprimerade fält och grus (komprimerade gräsmattor, parkområden)
F	2 000	Komprimerad, tät mark (grusväg, p-plats av grus, vägyta enligt ISO 10844), dränasfalt
G	20 000	Hård yta (normal belagd väg, ballastfria spår)
H	200 000	Mycket hård och tät yta (tät asfalt, betong, vatten)

Appendix C: Ljudspridningskarta





wsp

