

# **Vindpark Ab Markjärv**

## Vindkraftsparken i Markjärv

Riskbedömning av iskast

07.09.2026

## KONTAKTUPPGIFTER

Kund:

**Vindpark Ab Markjärvi**

Hannele Konsén

hannele.konsen@winda.fi

Författare:

**AFRY Finland Oy**

Kalle Auvinen

kalle.auvinen@afry.com

Renewables & Energy Storage Development, Finland

[www.afry.com](http://www.afry.com)

Rapport:

Projektnummer: 101036955-001

Version: 002

Rapportstatus: KLAR

**Detta är en översättning av AFRY:s officiella rapport på finska.**

Rapportshistorik:

| Version | Datum/Författare                                      | Datum/Inspektör                                   | Anteckningar/Ändringar                      |
|---------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 001     | 10.09.2026/<br>Kalle Auvinen,<br>Technical Consultant | 10.09.2026/<br>Riku Suutari,<br>Senior Consultant | Originalrapport                             |
| 002     | 15.09.2026/<br>Kalle Auvinen,<br>Technical Consultant | 15.09.2026/<br>Riku Suutari,<br>Senior Consultant | Precisering av<br>åtgärdsrekommendationerna |

### Friskrivningsklausul

Detta dokument har upprättats av AFRY Finland Oy ("AFRY") enbart för användning av Vindpark Ab Markjärv ("Kunden"). Genom att acceptera leveransen av rapporten godkänner kunden dessa användarvillkor.

All information som presenteras i rapporten är konfidentiell och enbart avsedd att användas av kunden. Användning av denna rapport av någon annan än kunden och för något annat ändamål än det som avses i avtalet mellan kunden och AFRY är förbjudet utan AFRY:s skriftliga samtycke. Rapporten har upprättats i enlighet med villkoren i avtalet mellan AFRY och Kunden. AFRY:s ansvar i anknytning till eller utgående från denna rapport ska endast fastställas i enlighet med dessa villkor.

Tolkningar och slutsatser i rapporten baserar sig delvis på information som AFRY fått av tredje parter eller ur externa källor. AFRY har inte verifierat riktigheten eller fullständigheten i någon information som mottagits från tredje part eller ur externa källor och som använts för att förbereda rapporten, eftersom det inte ingick i AFRY:s mandat. AFRY ger inga garantier (uttryckliga eller underförstådda) baserat på eller i anknytning till rapporten och ansvarar inte för noggrannheten i eventuella kostnadsuppskattningar eller andra uppskattningar som ingår i den.

AFRY ansvarar inte inför tredje part för eventuella olägenheter eller direkt eller indirekt skada som orsakas den tredje parten till följd av användning av eller förlitande på denna rapport. AFRY:s ansvar är begränsat till den ersättning som erhålls för rapporten.

## INNEHÅLL

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| SAMMANFATTNING .....                                     | 5  |
| 1 INLEDNING .....                                        | 6  |
| 1.1 Bakgrund .....                                       | 6  |
| 1.2 Beskrivning av projektområdet .....                  | 6  |
| 1.3 Tekniska data om turbinerna .....                    | 7  |
| 1.4 Placering av kraftverken .....                       | 7  |
| 1.5 Klimatförhållanden .....                             | 8  |
| 2 ISBILDNING .....                                       | 6  |
| 2.1 Risk för iskast .....                                | 6  |
| 2.2 Isbildning .....                                     | 6  |
| 2.3 Modellering av isbildning .....                      | 7  |
| 3 RISKBEDÖMNING .....                                    | 11 |
| 3.1 Risknivåer .....                                     | 11 |
| 3.2 Sannolikhetskalkyler .....                           | 12 |
| 4 MODELLERING AV RISK FÖR ISKAST .....                   | 13 |
| 4.1 Standardparametrar .....                             | 13 |
| 4.1.1 Antal nedisningsdygn .....                         | 13 |
| 4.1.2 Nedisningsperiodens längd .....                    | 13 |
| 4.1.3 Objektens areal .....                              | 13 |
| 4.1.4 Antal isbitar .....                                | 13 |
| 4.1.5 Avisningssystem .....                              | 13 |
| 4.2 Sannolikheten för träff av iskast .....              | 14 |
| 4.3 Sannolikheter för incidenter .....                   | 14 |
| 4.3.1 Vanliga risker .....                               | 15 |
| 4.3.2 Rörliga objekt .....                               | 16 |
| 4.3.3 Vägsträckor .....                                  | 16 |
| 4.3.4 Permanenta konstruktioner .....                    | 17 |
| 4.4 Sammanfattning .....                                 | 18 |
| 5 REKOMMENDATIONER .....                                 | 19 |
| BILAGOR .....                                            | 20 |
| BILAGA A1 PLACERINGSKARTOR .....                         | 21 |
| BILAGA A2 KARTOR ÖVER SANNOLIKHETERNA AV ISNEDFALL ..... | 22 |
| BILAGA A3 ICETHROWER-STUDIE .....                        | 25 |
| A3-1 Beskrivning .....                                   | 26 |
| A3-2 Resultat från ICETHROWER-studien .....              | 26 |

## SAMMANFATTNING

AFRY har genomfört en studie om risken för iskast från vindkraftverk i vindkraftparken i Markjärv. Vindkraftparkens projektområde ligger i Österbotten i Finland. Klimatet i området är borealt, och köldperioden uppskattas vara cirka 182 dagar per år. Det årliga antalet nedisningsdygn uppskattades till 26 dagar.

De initiala antagandena i den riskbedömningsmodell för iskast som används i denna analys baserar sig på den svenska ICETHROWERN<sup>1</sup>-studien, där ett verktyg utvecklades för bedömning av sannolikheten för iskast baserat på tre års observationsdata. Verktöget, som används i denna bedömning, har vidareutvecklats för att ta hänsyn till faktorer som påverkar risken för iskast, exempelvis placering av turbiner och höjdskillnader i terrängen.

De totala risker som i analysen beräknats för människor respektive fordon är små. Om människor uppehåller sig i området under en längre tid kan risken för farliga iskast inte helt uteslutas. Särskilt vid köldknäppar under eftervinter och vår utsätts personal som arbetar i närheten av turbinen för betydande risk. Risken kan reduceras genom proaktiva åtgärder.

<sup>1</sup> ICETHROWER – mapping and tool for risk analysis, Swedish Energy Agency, 2017.  
Copyright © AFRY Finland Oy

## 1 INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

Vindpark Ab Markjärvi ("Kunden") planerar vindkraftsparken i Markjärvi i kommunen Kronoby i Österbotten. Sex vindkraft planeras ingå i parken. Vindkraftverken utsätts sannolikt för frost varje år, vilket utgör en risk för personal och utrustning i projektområdet.

AFRY har fått i uppdrag att upprätta en detaljerad bedömning av risken för iskast i projektområdet. Med hjälp av olika scenarier fastställs sannolikheten för att is som lossnar ska träffa något liksom riskzonerna för iskast i närheten av turbinerna.

AFRY har gedigen erfarenhet av bedömningar av risken för iskast i vindkraftparker i kalla regioner. Åren 2013–2016 ledde AFRY (då under namnet Pöyry) en fältstudie om ICETHROWER i Sverige. Studien beskrivs mer utförligt i bilaga A3. Huvudresultatet var att standardparametrar fastställdes för beräkningsmodellen för sannolikheten av iskast. Resultaten från studien används i denna studie.

### 1.2 Beskrivning av projektområdet

Vindkraftsparken ligger i Kronoby, cirka 35 km inåt landet från Bottenviken. Terrängen består huvudsakligen av skog och utdikade våtmarker och omges av små sjöar och åkrar. Turbinernas grundhöjder är cirka 63–73 meter över havet. Projektområdets läge på kartan framgår av bild 1-1.

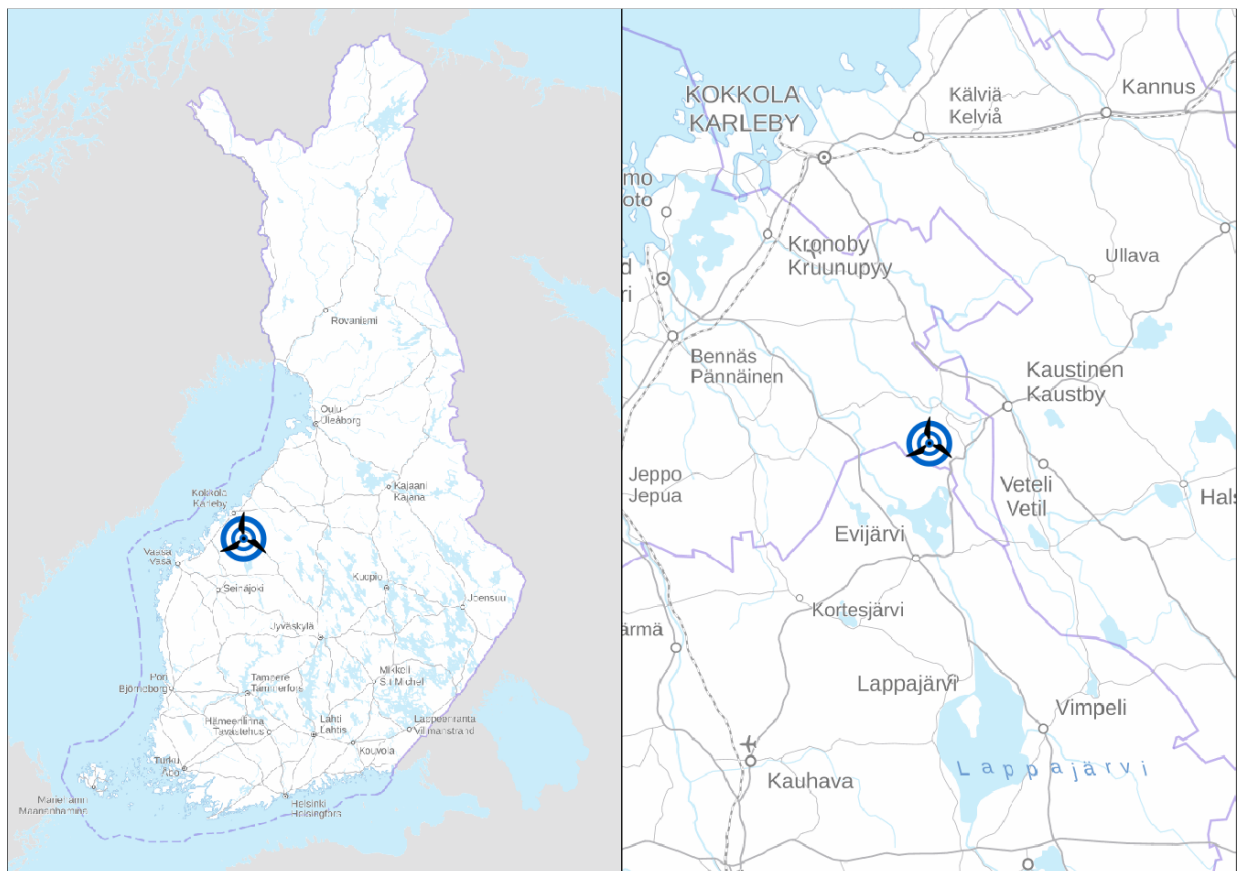


**Bild 1-1: Markjärvs vindkraftsverk på kartan.**

### 1.3 Tekniska data om turbinerna

I beräkningarna har rotordiameter 200 m och navhöjd 200 m använts för turbinerna. Avstånden mellan turbinerna varierar mellan 600 och 700 meter.

### 1.4 Placering av kraftverken

Markjärvi vindkraftspark består av 6 vindkraftverk. De närmaste bostadshusen ligger cirka 1,8 km från närmaste turbiner, enligt uppgifter från Finlands lantmäteri. Enligt Lantmäteriverkets terrängdatabas finns inga befintliga bostadshus i området kring vindkraftsparken. Vandringsleden Höbäck-Sarjärvi passerar vindkraftsparken på västra sidan, som närmast 500 meter från kraftverk WTG01. Utöver naturstigen löper den ungefärliga friluftsled som anges i regionalplanen för Österbotten genom vindkraftparksområdet och passerar alla turbiner på avstånd av mellan ca 100 och 600 meter. Dessutom har kunden tillhandahållit en alternativ sträcka för friluftsleden på större avstånd från turbinerna. Objektet ovan liksom det vägnät som anges i terrängdatabasen visas på kartunderlaget på bild 1-2. Koordinaterna för vindkraftverken anges i tabellen (Tabell 1-1).

Ingen kännedom finns om andra vindkraftparker, vandringsleder eller gångvägar som bör tas i beaktande vid bedömningen av risk för iskast. I bilaga A1 anges hur vindkraftverken i Markjärvi placerar sig på terrängkarta respektive flygfoto.

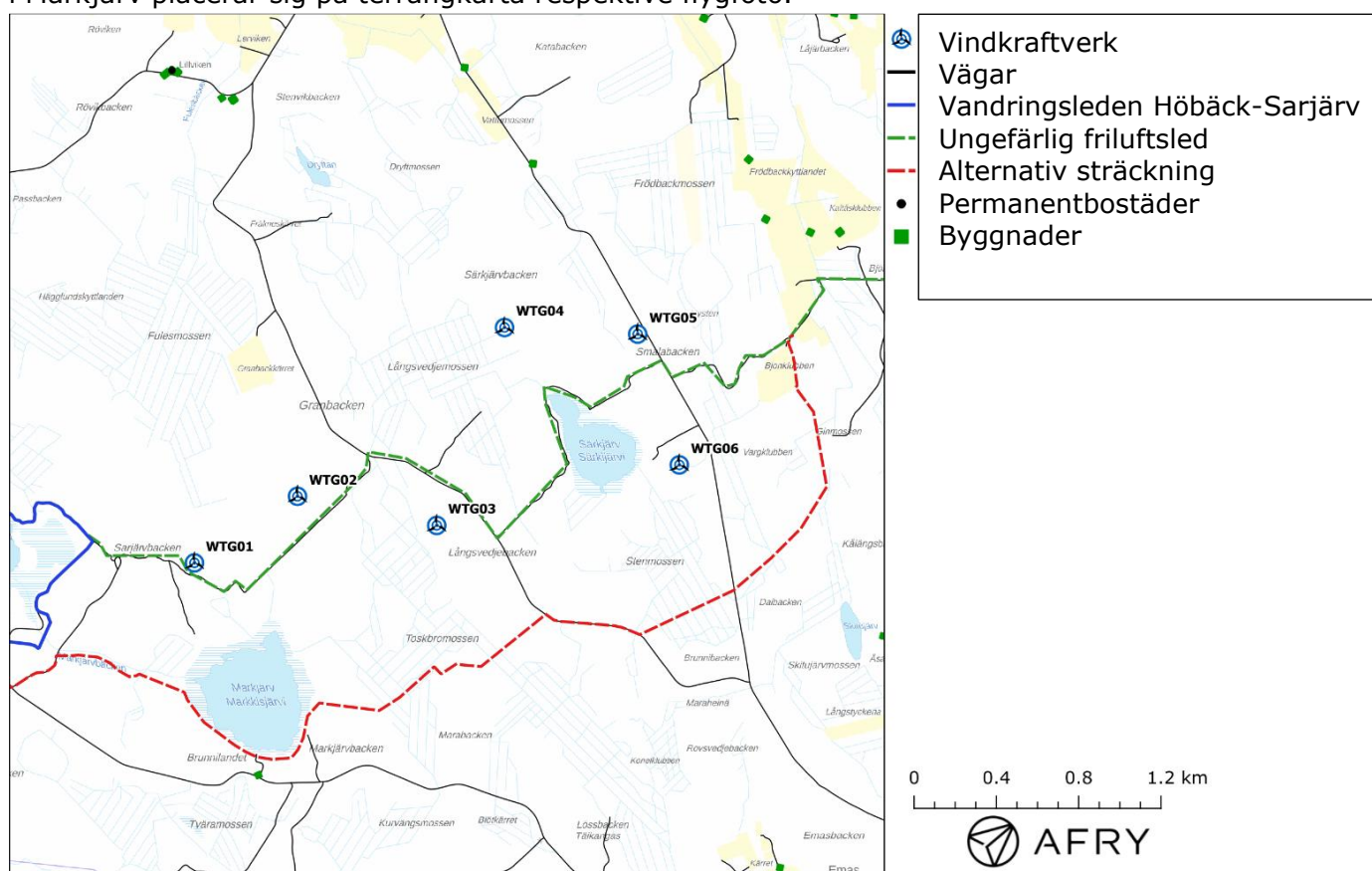


**Bild 1-2: Vindkraftverkens läge i projektområdet i Markjärvi. Av kartunderlaget framgår också vandringsleden Höbäck-Sarjärvi, en ungefärlig friluftsled samt det befintliga vägnätet, bostadshus och byggnader enligt terrängdatabasen.**

**Tabell 1-1: Platskoordinaterna för vindkraftverken (6 enheter) i ETRS-TM35FIN koordinatsystemet och terrängens höjd vid respektive vindkraftverk**

| Vindkraftverk | E      | N       | Terränghöjd [m] |
|---------------|--------|---------|-----------------|
| WTG01         | 323615 | 7045416 | 68              |
| WTG02         | 324117 | 7045739 | 67              |
| WTG03         | 324794 | 7045597 | 71              |
| WTG04         | 325123 | 7046558 | 69              |
| WTG05         | 325771 | 7046526 | 73              |
| WTG06         | 325973 | 7045891 | 63              |

## 1.5 Klimatförhållanden

Inga mätningar gjorda i målområdet fanns att tillgå för denna studie. Klimatförhållandena fastställdes därför utifrån referensmaterialet EMD-WRF Europe+ (ERA5)<sup>2</sup> på en höjd av 200 meter. Vindförhållandena i området fastställes för en period på exakt 20 år från 1 januari 2006 till 31 december 2025 för den rutnätspunkt som ligger närmast mittpunkten i målområdet<sup>3</sup>. De vindriktnings- och hastighetsfördelningar som fastställdes utifrån dessa vinddata för den kalla perioden användes i beräkningarna av riskbedömning för iskast.

AFRY:s isbildningsmodell ger en konservativ uppskattning av det årliga genomsnittet av nedisningsdygn över lång tid. Den uppskattning som isbildningsmodellen ger baserar sig på timvisa långtidsdata ur EMD-WRF Europe+ (ERA5) från målområdet och på simulering av isbildning som härleds ur detta referensmaterial. För kalibrering av modellen har observationsdata om isbildningsepisoder som uppmätts i finska vindkraftsparker använts. Isbildningsförhållandena kan i genomsnitt antas vara desamma för alla vindkraftverk i området och isbildning ske samtidigt på alla turbiner.

I AFRY:s isbildningsmodell prediceras i genomsnitt 26 nedisningsdygn årligen i projektområdet. Detta innebär att is kan bildas på och falla från kraftverk i genomsnitt 26 dagar under året. Området ligger i den boreala klimatzonen, och baserat på referensdata observeras isbildning i området främst mellan oktober och mars. Antalet nedisningsdygn är typiskt för området.

<sup>2</sup> [https://help.emd.dk/mediawiki/index.php/EMD-WRF\\_Europe%2B\\_\(ERA5\)](https://help.emd.dk/mediawiki/index.php/EMD-WRF_Europe%2B_(ERA5)) (hämtad 1.9.2026)

<sup>3</sup> Koordinater för rutnätspunkt i WGS84:s koordinatsystem: E 23.474, N 63.498

## 2 ISBILDNING

### 2.1 Risk för iskast

Isbildning är en viktig faktor att ta hänsyn till vid drift av vindkraftverk i områden med kallt klimat, och den kan orsaka betydande produktionsförluster och säkerhetsrisker för personal och utrustning i närheten av vindkraftverk. Droppar av flytande vatten i luften kan orsaka betydande isbildning på byggnader<sup>4</sup>. Isbildning är vanligast i kalla klimat, men kan också förekomma på andra håll under vissa förhållanden, till exempel vid underkyllt regn. Isbildningen är störst när temperaturen ligger mellan -6 °C och 0 °C, med lågt liggande moln runt vindkraftverkets rotorblad.

Snö och is kan samlas på ytan av vilken rörlig eller stillastående struktur som helst om temperaturen är tillräckligt låg och luftfuktigheten tillräckligt hög. Alla strukturella komponenter i vindkraftverk är känsliga för snö och isbildning. Is som samlas i turbintornet och nacellen faller vanligtvis nära turbinen medan is som samlas på rotorbladen kan under vissa förhållanden kastas från den roterande rotorn och slå i marken längre bort från turbinen<sup>5</sup>. Till och med en tätpackad isbit som väger 100 gram och är ungefär lika stor som en mandarin kan vara livshotande om den träffar en person.

De största problemen med isbildning i vindkraftverk är produktionsförluster, iskast, högre underhållskostnader och minskad teknisk livslängd för turbinerna. I denna bedömning ser vi särskilt på riskerna för människor och utrustning i vindkraftsområdet.

### 2.2 Isbildning

Isbildning i vindkraftverk sker på olika sätt beroende på meteorologiska förhållanden och om turbinen är i drift eller inte. För att is ska bildas krävs underkylda vattendroppar. Temperaturen måste alltså vara runt noll eller strax under och det måste finnas fukt i luften.

Isbildning av relevans för vindkraftverk kan delas in i två olika kategorier: nedisning i moln och isbildning på grund av nederbörd (t.ex. underkyllt regn, duggregn, snö). Tre typer av is är de viktigaste när det gäller vindkraftverk: frostig is, klar is och blötsnö<sup>6</sup>. På bild 2-1 visas exempel från ICETHROWER-projektet på de olika istyperna.

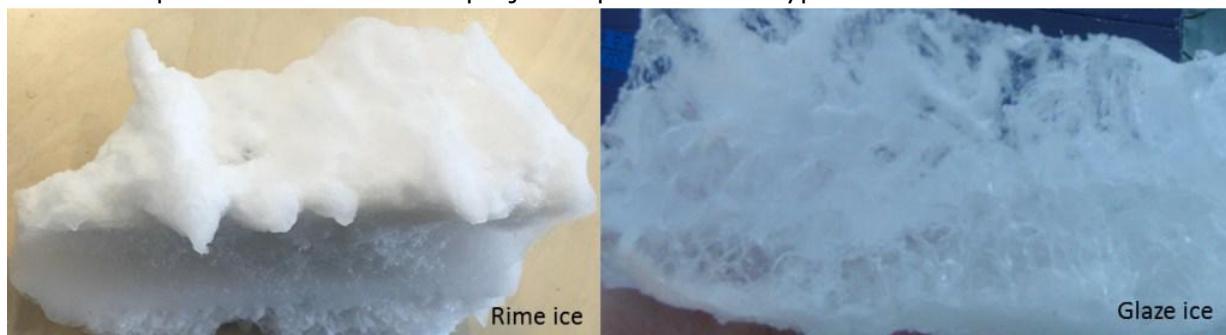


**Bild 2-1: Exempel på frostig is (vänster) och klar is (höger).**

<sup>4</sup> L. Makkonen, "Models for the growth of rime, icicles and wet snow on structures," *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, s. 358, 2000.

<sup>5</sup> K. Ingvaldsen, "Atmospheric icing in a changing climate," *University of Oslo*, 2017.

<sup>6</sup> Ian Baring-Gould et al., "13. Wind energy projects in cold climates," International Energy Agency, 2011.

Frostig is bildas av underkylda vattendroppar som bildas i dimma eller moln och fryser så fort de träffar fast material. Frost bildas särskilt på kala åsar dit fuktig luft vandrar uppåt. Frost är vit eller ogenomskinlig och samlas oregelbundet på framsidan av vindkraftverkens roterande blad.

Klar is bildar ett jämnt, transparent och enhetligt lager av hård is när duggregn eller regn fryser på ytor. Sådan is bildas ofta vid eller strax under noll grader<sup>7</sup>.

Blötsnö samlas i strukturer när fuktig snö fastnar på fasta ytor vid temperaturer strax över noll. Om temperaturen därefter sjunker under noll kan blötsnöen frysa fast på materialets yta<sup>7</sup>.

I områden med tillräcklig solinstrålning även under vintermånaderna kan isen smälta relativt snart efter att den bildats. I nordliga regioner däremot, där solinstrålningen är ringa på vintern och temperaturerna låga, kan is bli kvar på materialytorna länge efter att den bildats.

Is lossnar från stillastående strukturer främst när temperaturen stiger och isen börjar smälta, men det kan också ske vid regn eller ökad vindhastighet. Efter att en isbit lossnat kan den föras längre bort av vinden innan den träffar marken. Nedisning av roterande strukturer, såsom rotorblad, är ett mer komplext fenomen. Eftersom isbildning beror på luftmassans relativa hastighet i förhållande till en fast yta, samlas mer is i ändarna av bladen än på övriga delar. Dessutom kan bladens rotation ge isbiten en högre starthastighet när den väl lossnar från bladet.

## 2.3 Modellering av isbildning

I denna utredning används AFRY:s isbildningsmodell för en uppskattning av det genomsnittliga antalet nedisningsdygn per år i den vindkraftpark som undersöks. AFRY:s ismodell bygger på de fysikaliska principerna för isbildning, som beror på olika väderförhållanden liksom på vindkraftparkens särdrag. Modellen har validerats med historiska driftdata för flera finska vindkraftparker ur systemet SCADA.

isbildningsmodellen kan utnyttjas för fastställande av årlig isbildningsfrekvens utifrån relevanta väderreferensdata. På så vis är det möjligt att uppskatta hur ofta isbildning i genomsnitt per år sker i det aktuella området.

<sup>7</sup> Ian Baring-Gould et al., "13. Wind energy projects in cold climates," International Energy Agency, 2011.

### 3 RISKBEDÖMNING

#### 3.1 Risknivåer

På samhällsnivå accepteras generellt risker i anknytning till arbete, trafik eller andra aktiviteter som kan leda till allvarliga skador eller till och med dödsfall. Allmänt taget kan man anta att om risken för en händelse överstiger nivån  $10^{-5}$ , dvs. 1 fall per 100 000, kan risken inte anses acceptabel om händelsen kan orsaka allvarlig skada, död eller större skador på egendom. Ovannämnda risknivå motsvarar sannolikheten för en livshotande trafikolycka. Denna risknivå tillämpas om personen eller egendomen i fråga själv spelar en aktiv roll för att påverka risken, medan den acceptabla risknivån i en passiv roll är avsevärt lägre.

En isbit stor som en mandarin kan vid kollision orsaka en energi på mer än 40 J, vilket är livshotande om den träffar någon i huvudet. Isbitar som väger mer än 1 kg kan däremot orsaka stora skador på till exempel bilar eller egendom med ringa skydd.

Enligt det internationella energiorganets (IEA) rekommendationer<sup>8</sup> presenteras ett diagram som anger acceptabla risknivåer i närheten av vindkraftverk. Detta diagram visas på bild 3-1.

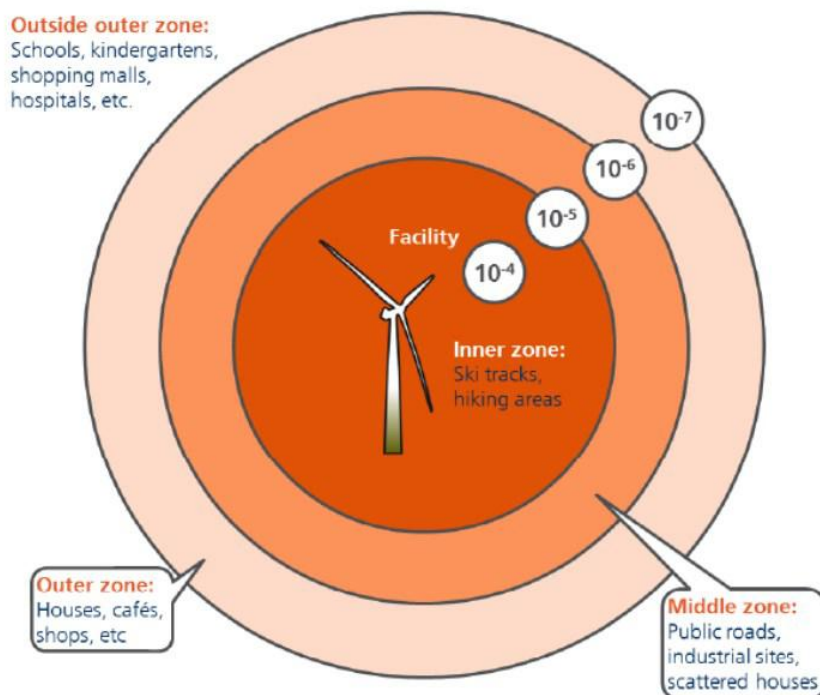


**Bild 3-1: Riktlinjer för acceptabla risknivåer för allvarliga eller livshotande skador i närheten av vindkraftverk. innersta sfären: skidspår, vandringsleder; mellersta sfären: allmänna vägar, industriområden, glest befolkade områden; yttersta sfären: hus, caféer, butiker etc. och bortom den yttersta sfären: skolor, förskolor, köpcentrum, sjukhus med mera.**

De internationella rekommendationerna för risknivå kan användas som vägledande verktyg för att bedöma hur acceptabla risker för människor, föremål eller strukturer i området kring en vindkraftspark är. AFRY:s rekommendationer om åtgärder i förhållande till risknivåerna presenteras i tabell 3-1.

<sup>8</sup> Andreas Krenn et al., "IEA Wind TCP Task 19, Technical Report - International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments," IEA Wind, 2022.  
Copyright © AFRY Finland Oy

**Tabell 3-1: AFRY:s rekommendationer om åtgärder för olika risknivåer baserat på de internationella rekommendationerna om acceptabla risknivåer.**

| Riskenivå  | Rutin                                                        |
|------------|--------------------------------------------------------------|
| $>10^{-4}$ | Tillträde till området begränsas eller skyddsåtgärder vidtas |
| $>10^{-5}$ | Tillträde till området begränsas                             |
| $>10^{-6}$ | Information ges om riskfaktorerna                            |

### 3.2 Sannolikhetskalkyler

Olika antaganden om antalet nedisningsdygn och nedisningsperiodens längd fordrar olika metoder för uppskattning av sannolikhet alltefter det exponerade objektets beteende. Data om nedisningsdygn påverkar sannolikheten för förekomst av frost och således risken. Risk R beräknas med formeln

$$R = p_i \cdot p_h \cdot A$$

där

- $p_i$  = sannolikheten för nedisningsdygn,
- $p_h$  = sannolikheten att en isbit träffar ett objekt och
- $A$  = det exponerade objektets projicerade yta.

Objektets projicerade yta beror på isbitens riktning.

Om det finns tecken på att is har bildats i kraftverken, är  $p_i = 1$ . Detta kan till exempel tillämpas när underhållspersonal anländer till vindkraftsområdet. Om det däremot är okänt huruvida is har bildats i turbinerna:

$$p_i = \frac{n_i}{n_s}$$

där

- $n_i$  = antalet nedisningsdygn och
- $n_s$  = nedisningsperiodens längd.

Utanför nedisningsperioden kan man anta att det inte förekommer nedisningsdygn.

Om det finns permanenta konstruktioner i närheten av turbinerna eller om människor vistas där längre tider, ökar sannolikheten för att träffas av is. Sannolikheten att en isbit träffar en permanent struktur under nedisningsperioden kan beräknas med följande formel:

$$R = n_i \cdot n_e \cdot p_h \cdot A$$

där

- $n_i$  = antalet nedisningsdygn per år,
- $n_e$  = antalet isbitar under ett nedisningsdygn,
- $p_h$  = sannolikheten att en isbit träffar ett objekt och
- $A$  = det exponerade objektets projicerade yta.

För att beräkna sannolikheten för att en isbit ska träffa en stor permanent konstruktion, såsom en solpanel, kan ovanstående formel skrivas enligt följande:

$$R = n_i \cdot n_e \cdot p_a \cdot r_1 \cdot r_2$$

där

- $p_a$  = sannolikhet för att isbiten träffar den permanenta konstruktionen,
- $r_1$  = andelen permanenta objekt i området och
- $r_2$  = andelen av de permanenta objektens projicerade yta av området horisontellt.

## 4 MODELLERING AV RISK FÖR ISKAST

### 4.1 Standardparametrar

#### 4.1.1 Antal nedisningsdygn

Det årliga antalet nedisningsdygn uppskattades med AFRY:s isbildningsmodell. Baserat på ismodelleringen prediceras för projektområdet i genomsnitt årligen 26 nedisningsdygn, som påverkar risken för iskast.

#### 4.1.2 Nedisningsperiodens längd

I stycket 1.5 påpekades att isbildningsepisoder främst observeras i området under perioden oktober–mars. Således antas nedisningsperioden vara i 182 dagar, vilket täcker perioden från början av oktober till slutet av mars.

#### 4.1.3 Objektens areal

För allmänna riskbedömningar antas att en enskild persons projicerade yta är 0,2 m<sup>2</sup> och ett fordon projicerade yta är 10 m<sup>2</sup>.

#### 4.1.4 Antal isbitar

Antalet isbitar kan uppskattas utifrån resultaten av ICETHROWER-studien samt IEA:s internationella rekommendationer. Enligt ICETHROWER-studien kan det i genomsnitt falla 50 isbitar från ett enda vindkraftverk under ett nedisningsdygn. Utgående från det tidigare uppskattade antalet nedisningsdygn motsvarar detta cirka 1300 isbitar per vindkraftverk och år.

Enligt AFRY:s isbildningsmodell kan målområdet klassificeras som Internationella energirådets (IEA) isbildningsklass 2, vilket motsvarar i genomsnitt 1200 isbitar per vindturbin per år. Uppskattningen om 1300 isbitar per vindkraftverk och år kan därför anses vara motiverad och realistisk.

#### 4.1.5 Avisningssystem

I denna rapport tas avisningssystem inte i beaktande vid uppskattning av antalet årliga nedisningsdygn. Antalet nedisningsdygn påverkar direkt sannolikheten för en isbildningsepisod,  $p_i$ , enligt formeln i stycke 3.2. Syftet med uppvärmningsmoduler i bladen är att minska produktionsförluster på grund av isbildning, men de minskar inte nödvändigtvis antalet nedisningsdygn i samma utsträckning. Risken för iskast föreligger också vid mindre isbildningsepisoder, så risknivån kan förbli oförändrad för vissa episoder. Å andra sidan kan avisningssystem påskynda avisningen av kraftverk, vilket kan förkorta en episod.

Det ska noteras att bladvärmesystemen endast reducerar mängden is på turbinbladen, så riskerna med andra delar av kraftverken kvarstår. Emellertid kan det antas att avisningssystem kan förhindra vissa isbildningsepisoder helt, vilket minskar riskerna med nedisningsdygn. Avisningssystem minskar riskerna, särskilt i situationer där det är okänt huruvida is har samlats i kraftverken.

Dessutom kan man anta att bladens värmesystem minskar den genomsnittliga storleken på de isbitar som faller från kraftverkens blad. Detta kan minska antalet livshotande iskast och förkorta isbitarnas färdsträcka eftersom

de minsta isbitarna vanligtvis faller i närheten av turbinen. Enligt IEA:s internationella rekommendationer kan det årliga antalet isbitar vara något lägre i kraftverk med frostskydds- eller avisningssystem, men deras totala påverkan på risknivån kan anses vara liten.

## 4.2 Sannolikheten för träff av iskast

Vid modellering av risken för iskast använder rotordiameter för turbinerna 200 m och navhöjd 200 m. På bild 4-1 presenteras vindkraftverkens placering, i stycke 1.4 de beskrivna objekten i projektområdet och dess närhet samt sannolikheten för att iskast ska träffa objekt i omgivningen. De olika zonerna av sannolikhet för träffar av iskast kallas i denna utredning också för riskzoner. Sannolikheten att träffas av iskast anges per kvadratmeter. Detta beskriver sannolikheten för att en enskild isbit som lossnar från ett kraftverk ska träffa ytan av den aktuella kvadratmetern. Mer detaljerade bilder av sådan sannolikhet runt varje turbin anges i bilaga A2.

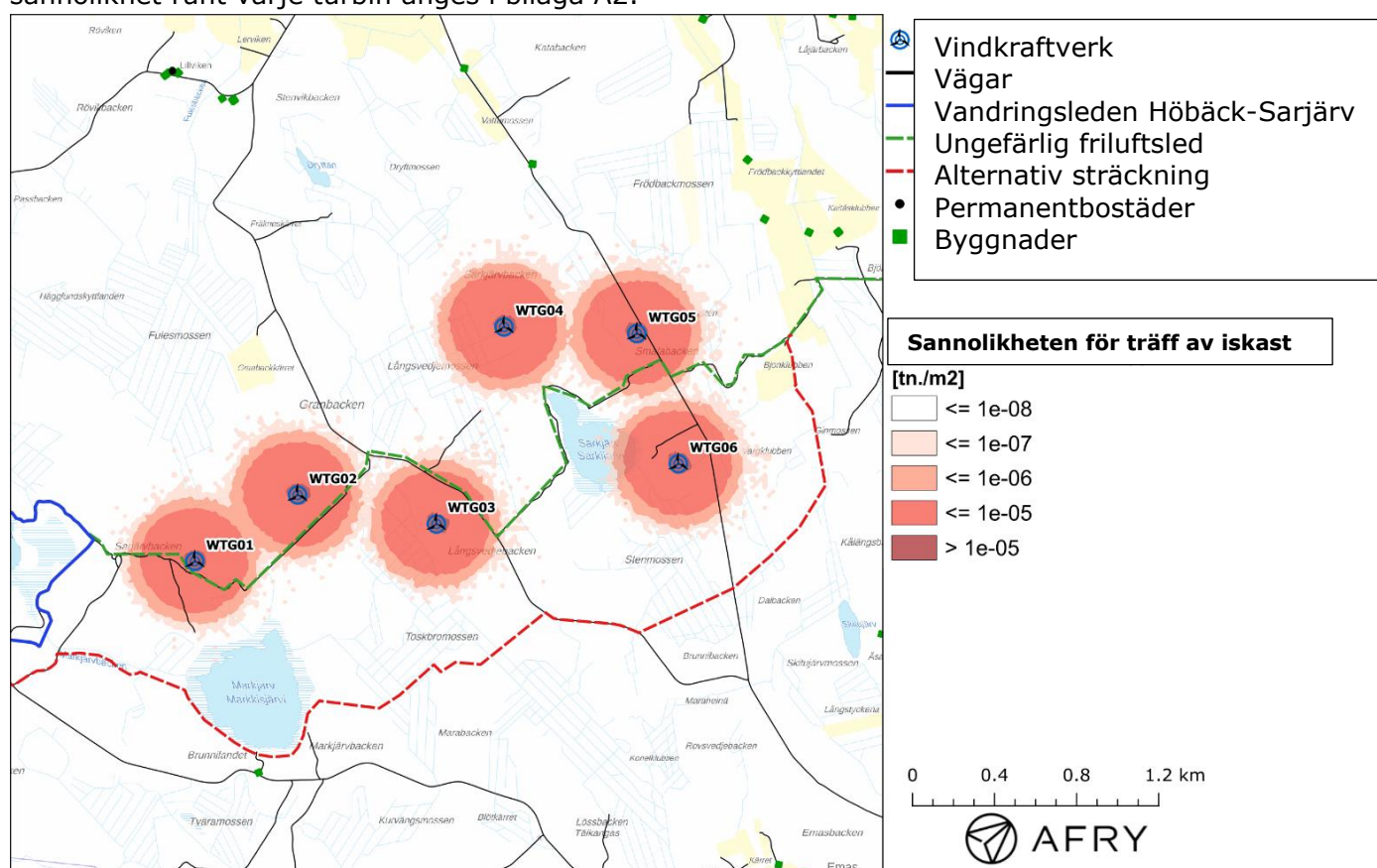


**Bild 4-1: Sannolikheter för träffar av iskast i projektområdet vid modellering med rotordiameter på 200 m och navhöjd på 200 m.**

## 4.3 Sannolikheter för incidenter

Riskkalkylen för människor och rörliga objekt beror på huruvida det finns kännedom om is i turbinerna när objekten närmar sig dem. Med antagandet om 26 nedisningsdygn under året och en nedisningsperiod på 182 dagar kan sannolikheten för nedisningsdygn beräknas enligt följande:

$$p_i = \frac{26}{182} \approx 0.143$$

De riskzoner som visas på bild 4-1 anger sannolikheten för att en enskild isbit som lossnar från kraftverket ska träffa ytan av den aktuella kvadratmetern. Med andra ord minskar mycket kortvarig vistelse i en riskzon sannolikheten för att träffas av iskast jämfört med långvarig vistelse i området. Det är rimligt att anta att isbildning och iskast kan pågå i flera timmar tills väderförhållandena förändras. Genom att inkludera en tidsparameter i granskningen och beräkna de specifika sannolikheterna för incidenter som integral av alla iskast under granskningsperioden, blir det möjligt att uppskatta risknivån för vistelser av olika längd.

#### 4.3.1 Vanliga risker

Riskenivåerna för träffar av iskast undersöktes i följande fall:

1. Risk för personer som vistas i projektområdet i 1 timme
2. Risk för personer som vistas i projektområdet i 12 timmar
3. Risk för bilar som befinner sig i projektområdet i 1 timme
4. Risk för bilar som befinner sig i projektområdet i 12 timmar

Sannolikheterna för träffar av iskast i ovanstående scenarier presenteras i tabellerna 4-2 och 4-3. Färgklassificeringar av de olika risknivåerna presenteras i tabell 4-1.

**Tabell 4-1: Färgklassificeringar av risknivåerna.**

|  |                                                                                |
|--|--------------------------------------------------------------------------------|
|  | Acceptabel nivå ( $R < 10^{-6}$ )                                              |
|  | Information ges om riskfaktorerna ( $10^{-6} < R < 10^{-5}$ )                  |
|  | Tillträde till området begränsas ( $10^{-5} < R < 10^{-4}$ )                   |
|  | Tillträde till området begränsas eller skyddsåtgärder vidtas ( $R > 10^{-4}$ ) |

**Tabell 4-2: Sannolikheten för att iskast ska träffa en person vid vistelse i de olika riskzonerna.**

| Person, A = 0,2 m <sup>2</sup> |                                      | Risknivå (*10 <sup>-5</sup> ) |                    |                    |
|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| Riskzon                        |                                      | < 10 <sup>-5</sup>            | < 10 <sup>-6</sup> | < 10 <sup>-7</sup> |
| 1 timmes vistelse              | Bekräftat nedisningsdygn             | < 0.417                       | < 0.042            | < 0.005            |
|                                | Information om nedisningsdygn saknas | < 0.060                       | < 0.006            | < 0.001            |
| 12 timmars vistelse            | Bekräftat nedisningsdygn             | < 5.000                       | < 0.500            | < 0.050            |
|                                | Information om nedisningsdygn saknas | < 0.715                       | < 0.072            | < 0.008            |

**Tabell 4-3: Sannolikheten för att iskast ska träffa en bil i de olika riskzonerna.**

| Auto, A = 10 m <sup>2</sup> |                                      | Risknivå (*10 <sup>-5</sup> ) |                    |                    |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| Riskzon                     |                                      | < 10 <sup>-5</sup>            | < 10 <sup>-6</sup> | < 10 <sup>-7</sup> |
| 1 timmes vistelse           | Bekräftat nedisningsdygn             | < 20.84                       | < 2.09             | < 0.21             |
|                             | Information om nedisningsdygn saknas | < 2.98                        | < 0.30             | < 0.03             |
| 12 timmars vistelse         | Bekräftat nedisningsdygn             | < 250.00                      | < 25.00            | < 2.50             |
|                             | Information om nedisningsdygn saknas | < 35.72                       | < 3.58             | < 0.36             |

#### 4.3.2 Rörliga objekt

Riskenivåerna för att rörliga objekt ska träffas av iskast undersöktes i följande fall:

1. Risk för en person som går förbi ett kraftverk
2. Risk för en bil som kör på en väg nära kraftverket

Om man antar att en person går 600 meter i riskzoner nära ett vindkraftverk med gånghastighet 5 km/h, tillbringar hen lite över 7 minuter i närheten av turbinen. På motsvarande sätt antas att ett fordon som passerar vindkraftverket längs en sträcka av 600 meter med en hastighet av 30 km/h, befinner sig i närheten av turbinen lite över 1 minut. Sannolikheten för att träffas av is i ovanstående fall visas i tabell 4-4. Färgklassificeringar av de olika riskenivåerna presenteras i tabell 4-1.

**Tabell 4-4: Sannolikheten för att is ska träffa ett rörligt objekt.**

| Rörligt objekt                        |                                      | Risknivå (*10 <sup>-5</sup> ) |                    |                    |
|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| Riskzon                               |                                      | < 10 <sup>-5</sup>            | < 10 <sup>-6</sup> | < 10 <sup>-7</sup> |
| Gående person, A = 0,2 m <sup>2</sup> | Information om nedisningsdygn saknas | < 0.008                       | < 0.001            | < 0.001            |
| Bil i rörelse, A = 10 m <sup>2</sup>  | Information om nedisningsdygn saknas | < 0.060                       | < 0.006            | < 0.001            |

#### 4.3.3 Vägsträckor

Särskilt två vägsträckor i projektområdet löper genom riskzonerna vid genomfart. Dessa vägsträckor visas på bild 4-2. Sannolikheten för att träffas av is vid genomfart har undersökts i följande fall:

1. Sannolikheten för att is ska träffa en bil vid genomfart längs vägsträckan en gång om kändedom om nedisningsdygn saknas.
2. Sannolikheten för att is ska träffa en bil under en nedisningsperiod vid genomfart 10 gånger per dag.

De utgångsdata som använts för att beräkna sannolikheten för träffar av iskast presenteras i tabell 4-5 medan den beräknade sannolikheten för träffar av iskast i bägge situationerna presenteras i tabell 4-6. Färgklassificeringar av de olika riskenivåerna presenteras i tabell 4-1.

**Tabell 4-5: Utgångsdata för beräkning av sannolikheter för att träffas av iskast på vägsträckorna.**

| Vägsträckor                                                 | Sträcka 1              | Sträcka 2              |
|-------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Vägsträckans längd                                          | 1570 m                 | 1320 m                 |
| Körhastighet                                                | 30 km/h                | 30 km/h                |
| Tid på vägsträckan                                          | 3,1 min                | 2,6 min                |
| Genomsnittlig risk för att träffas av iskast på vägsträckan | 3,384*10 <sup>-6</sup> | 1,233*10 <sup>-6</sup> |
| Fordonsarea                                                 | 10 m <sup>2</sup>      | 10 m <sup>2</sup>      |

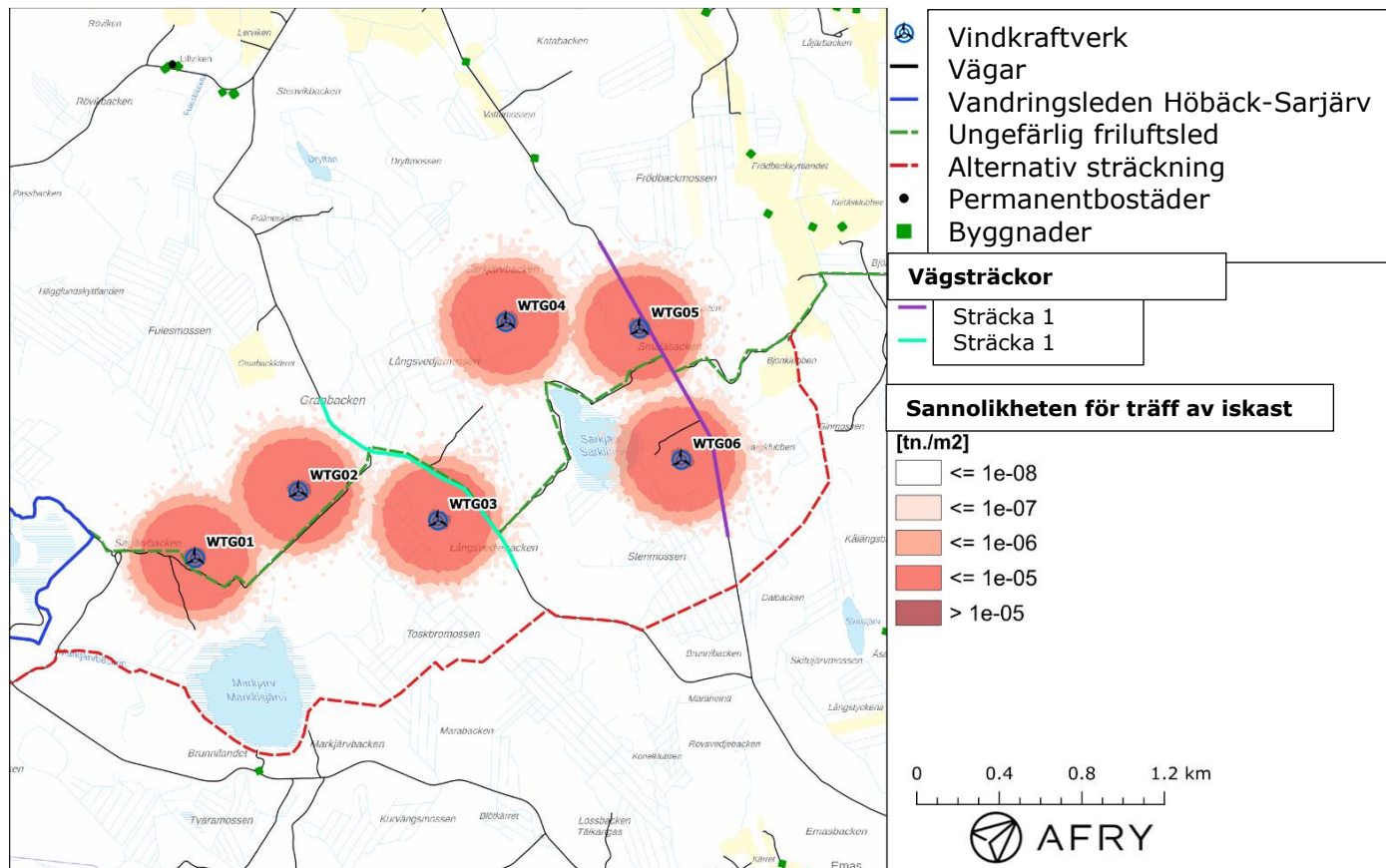


**Bild 4-2: Vägsträckor som använts för beräkning av risken att träffas av iskast. Tabell 4-6: Sannolikheten att träffas av iskast på vägsträckorna i de olika undersökta situationerna.**

| Vägsträckor                                                    | Sträcka 1             | Sträcka 2             |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Risk vid körning en gång, information om nedisningsdygn saknas | $0.053 \cdot 10^{-5}$ | $0.016 \cdot 10^{-5}$ |
| Risk vid genomfart 10 gånger per dag under en nedisningsperiod | $95.92 \cdot 10^{-5}$ | $29.39 \cdot 10^{-5}$ |

#### 4.3.4 Permanenta konstruktioner

Riskzonerna för iskast i vindkraftsparken i Markjärv sträcker sig cirka 450 meter från vindkraftverken, och de mest avlägsna enskilda nedslagspunkterna ligger cirka 600 meter från turbinerna. Bortom detta är sannolikheten för träff av iskast per kvadratmeter mindre än  $10^{-8}$ , varvid området i fråga om risken för iskast kan anses säkert för normal användning. Även om en del av vandringsleden Höbäck-Sarjärv ligger i en riskzon för att träffas av iskast, är sannolikheten att träffa is mindre än  $10^{-8}$  per kvadratmeter vid alla punkter längs leden. Därför bedöms leden inte vara utsatt för betydande risk för att någon ska träffas av is.

Hela den alternativa sträckning som kunden pekat ut för den ungefärliga leden i landskapsplanen går utanför riskzonerna för iskast, och därför uppskattas den alternativa ledsträckningen inte vara utsatt för någon betydande risk för att träffas av iskast.

#### 4.4 Sammanfattning

I denna riskbedömning har sannolikheterna för iskast i olika situationer modellerats med AFRY:s modell och utifrån de standardparametrar som anges i avsnitt 4.1.

Vistelse under längre perioder i närheten av kraftverken rekommenderas inte i specifika situationer baserat på resultaten i tabellerna 4-2 och 4-3. Om kännedom finns om pågående nedisningsepisoder i området bör vistelse i närheten av turbinerna endast ske under en kort tid och enbart om det är nödvändigt. Eftersom fordon har större yta är sannolikheten för att de ska träffas av iskast högre. Det kan dock antas att vägarna i närheten av turbinerna främst används av underhållspersonal på väg till turbinerna, medan andra i allmänhet bara passerar området. Resultaten i tabell 4-3 visar att riskerna för fordon i rörelse är relativt låga.

De vägar som löper genom vindkraftparken i sydost-nordvästlig riktning går på vissa ställen relativt nära de planerade turbinplatserna. Vid en enda körning genom området är risken att träffas av is relativt liten. Vid analysens genomförande hade AFRY inte kännedom om uppskattningar av hur aktivt vägen används. I tabell 4-6 görs en riskbedömning vid genomfart tio gånger om dagen. I detta fall är risken för att träffas av iskast på en nivå där åtgärder för riskminskning rekommenderas, exempelvis aktiv varningsskyltning om pågående isbildning.

Vid service- och underhållsarbeten där personer eller fordon befinner sig i närheten av turbinerna under längre perioder måste riskerna för iskast identifieras och kommuniceras på lämpligt sätt. Om det i området rör sig personer eller grupper som inte tillhör underhållspersonalen är det troligt att de inte är medvetna om eventuell nedisning. Vid nedisningsepisoder kan risken för personer överstiga den acceptabla risknivån. Eftersom icke-underhållspersonal sannolikt inte vistas i området under längre perioder är riskerna med kortvariga vistelser minimala. Trots detta rekommenderas att alla som rör sig runt vindkraftsområdet informeras om eventuella risker för iskast.

## 5 REKOMMENDATIONER

När det gäller en enskild person som rör sig i området kan situationen i princip anses vara säker i det fall att vistelsen i närheten av turbinerna är kortvarig. Situationen kan dock upplevas som hotfull om en isbit faller nära en person. Generellt förbättras säkerheten ju längre avståndet från turbinerna är. Även om enskilda isbitar i mycket sällsynta fall kan kastas längre än 600 m från turbiner, är risknivån vid avstånd på över 400 m generellt mycket låg.

I denna bedömning anses det osannolikt att andra fordon än de som används av underhållspersonal skulle befinna sig i närheten av turbinerna under längre perioder. Servicefordon som står längre perioder parkerade i närheten av turbinerna löper dock en ökad risk för iskast. Personer som rör sig längs rutter i närheten av turbinerna eller vistas i området under längre perioder bör informeras om dessa risker, särskilt under vintersäsongen.

Underhållspersonal löper betydande risk för iskast när de rör sig i närheten av turbinerna på vintern. Riskreducerande åtgärder rekommenderas för att hantera risken och skydda personalen. De viktigaste metoderna för riskhantering inkluderar att säkerställa riskmedvetenhet hos personalen, omfattande instruktioner för att identifiera och undvika farliga situationer samt aktiv kommunikation om nedisningsläget.

## BILAGOR

|           |                                          |
|-----------|------------------------------------------|
| Bilaga A1 | Placeringskartor                         |
| Bilaga A2 | Kartor över sannolikheterna av isnedfall |
| Bilaga A3 | ICETHROWER-studie                        |

## BILAGA A1

## PLACERINGSKARTOR

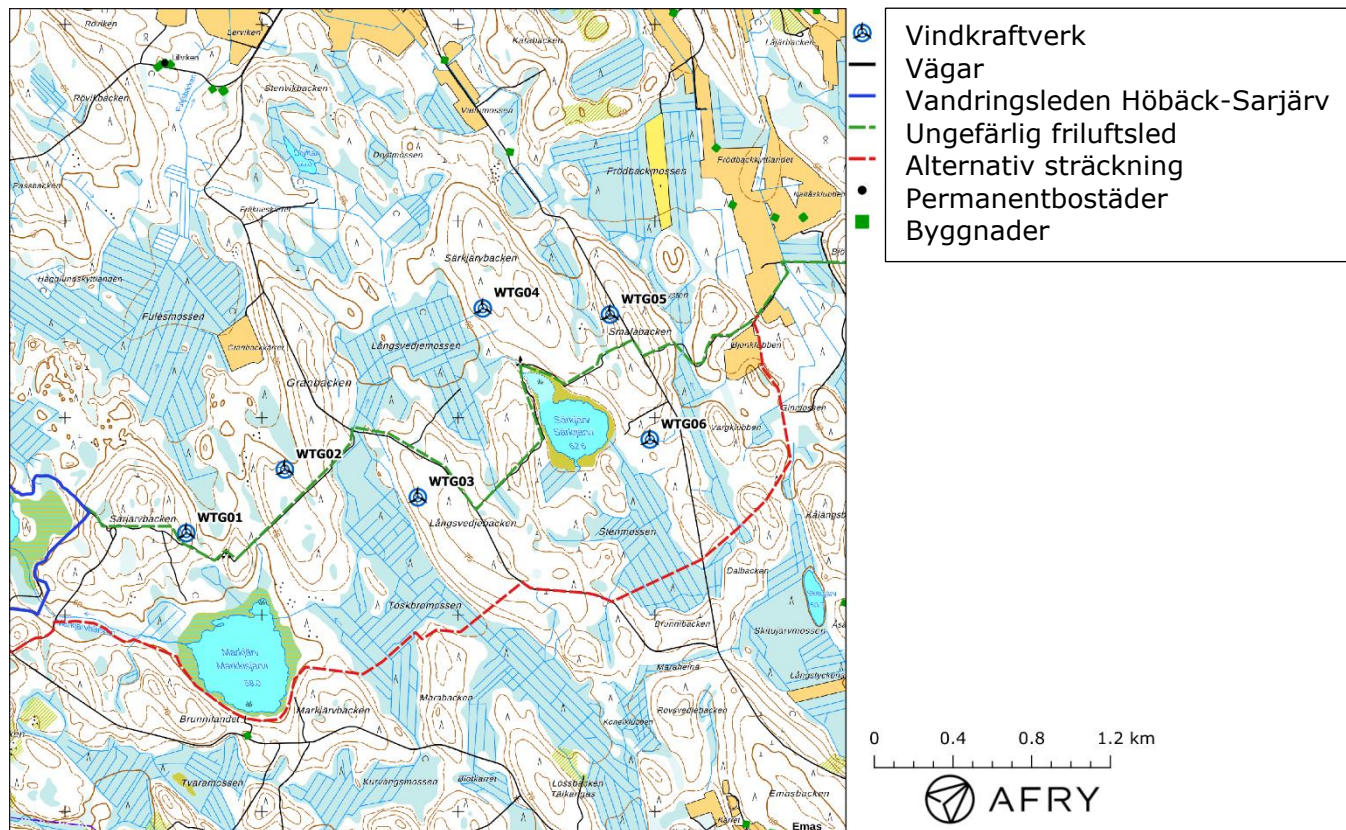


**Bild A1-1: Den planerade placeringen av kraftverken i Markjärvs vindkraftpark på terrängkartan.**

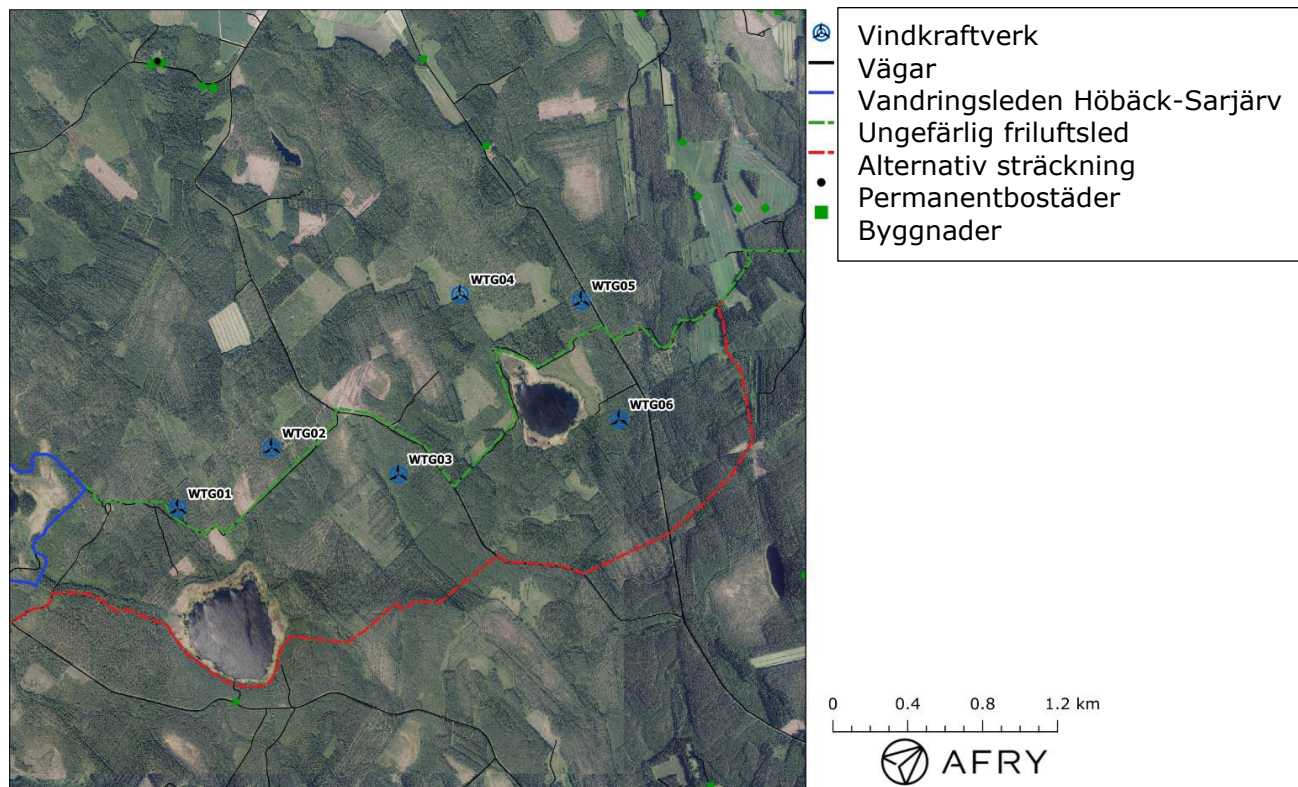
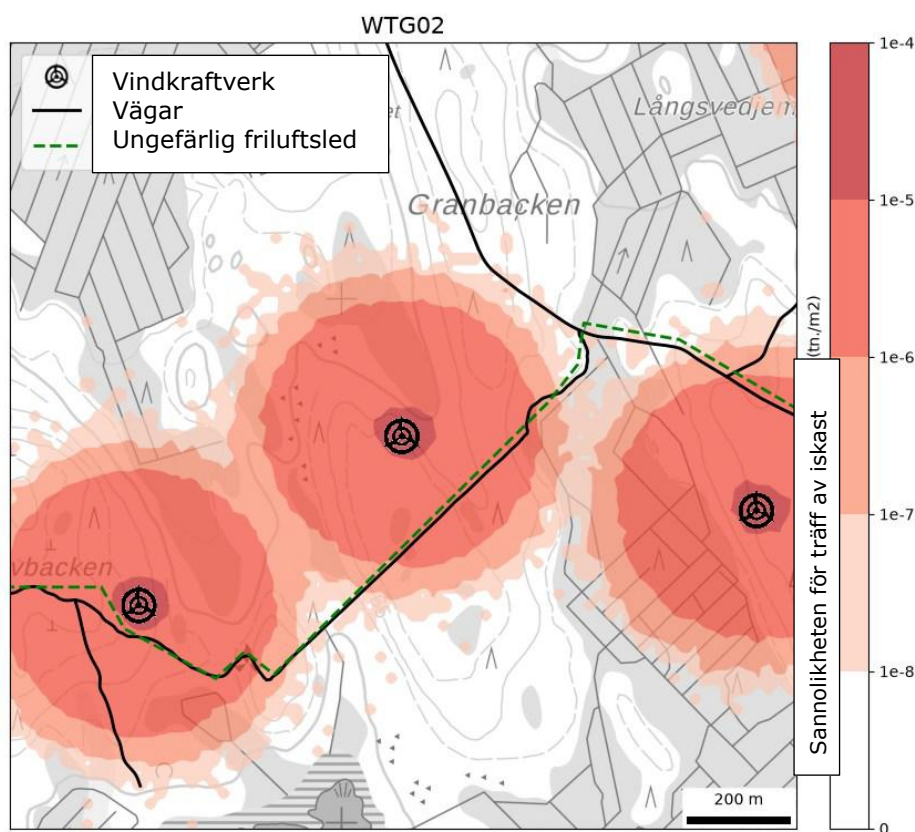
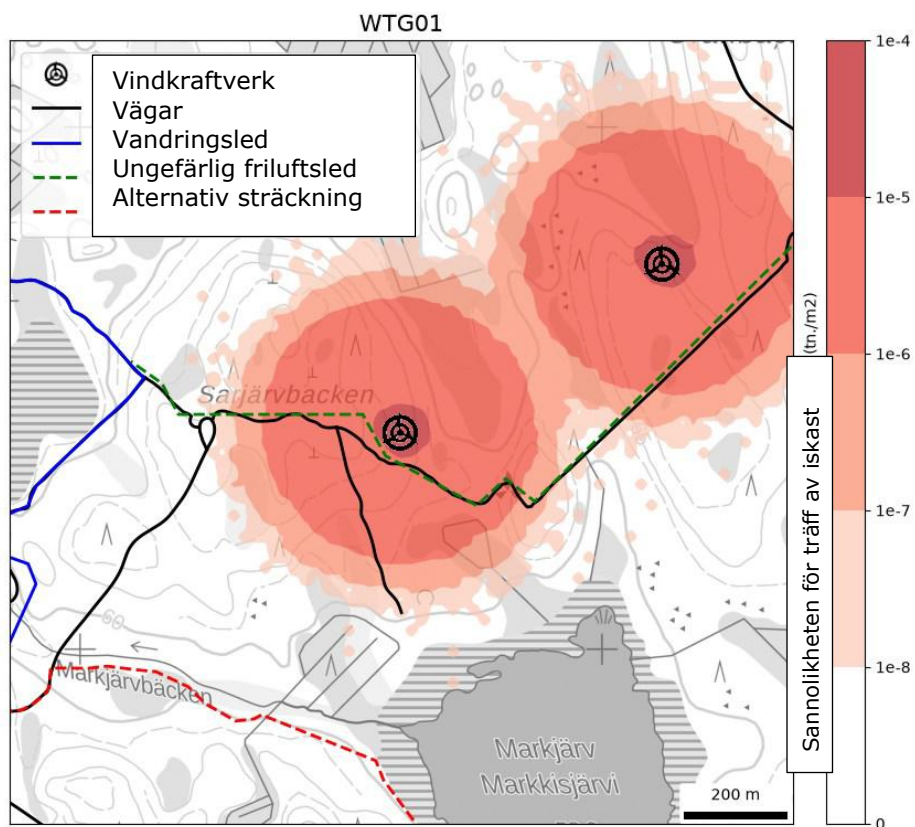
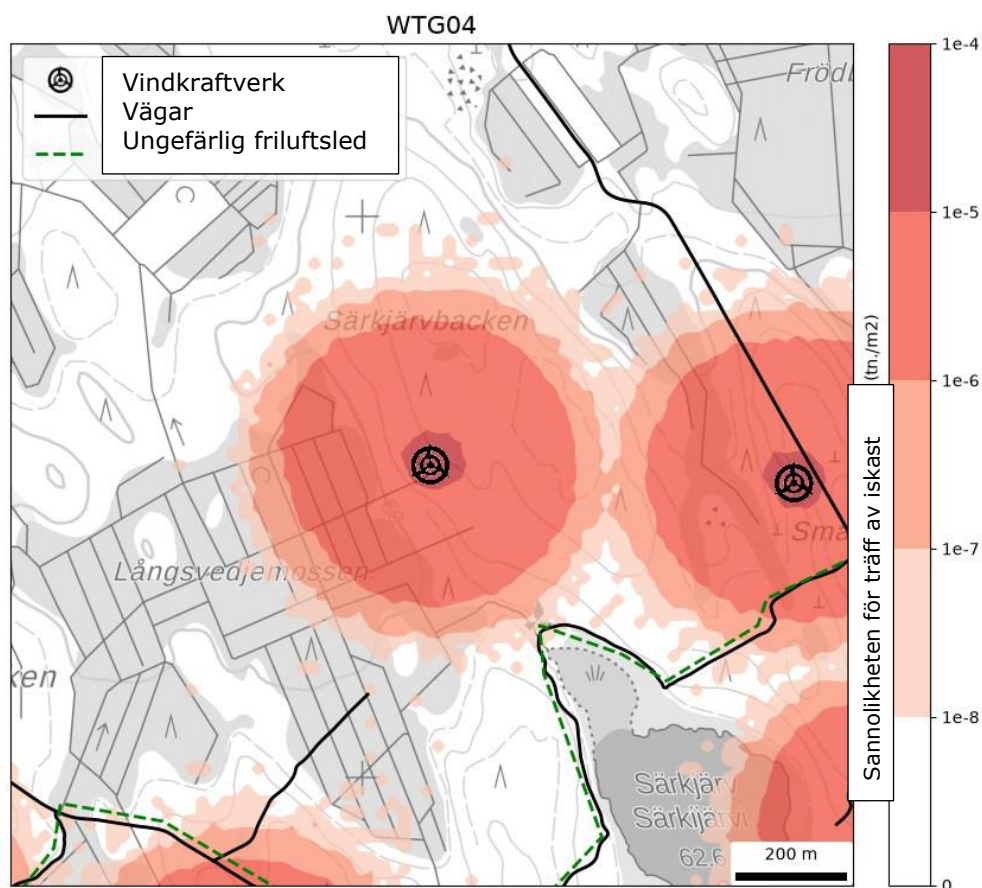
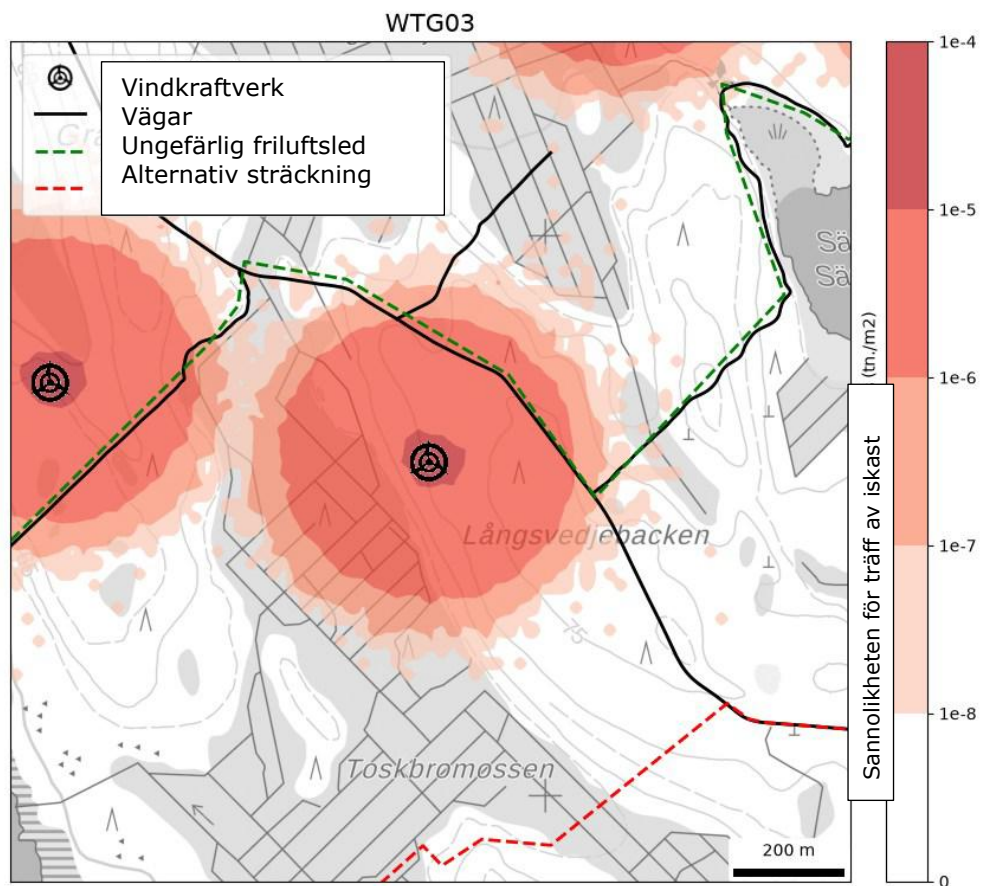
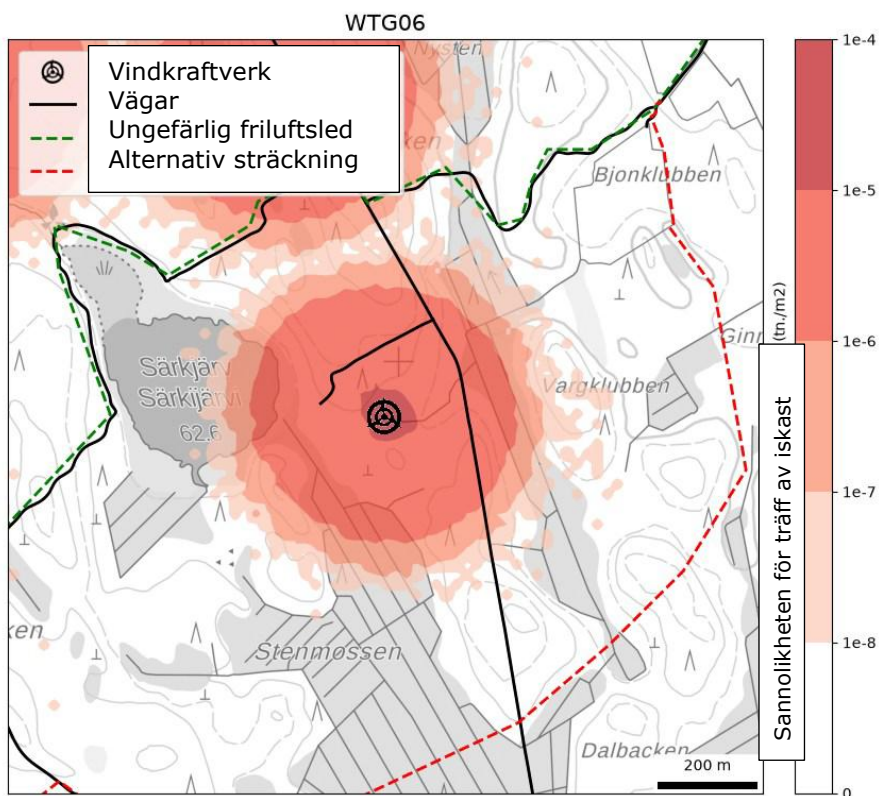
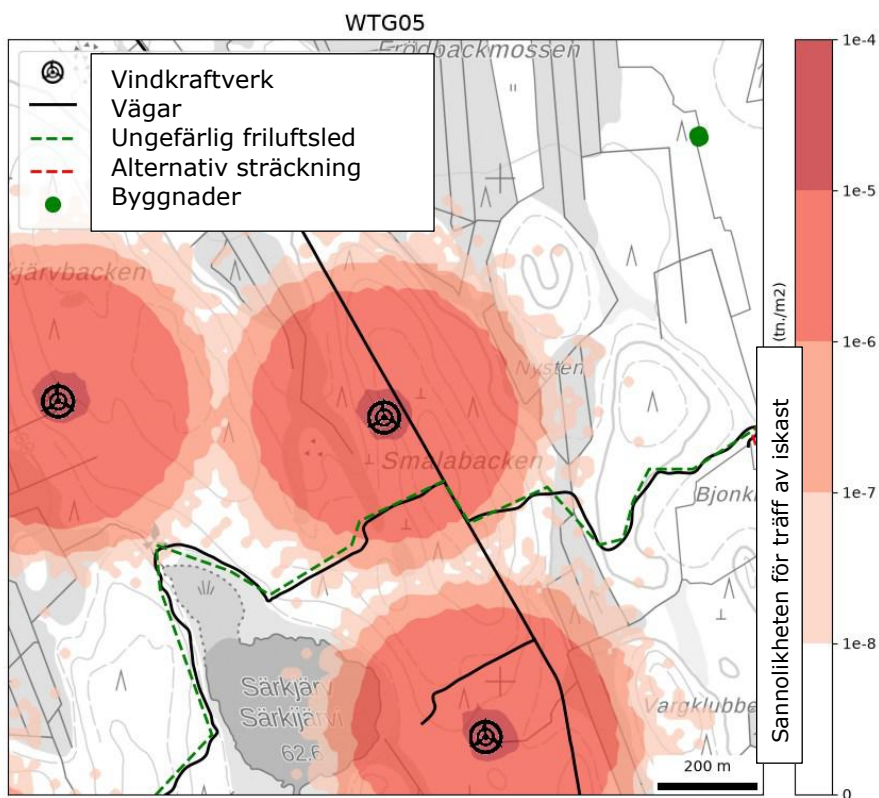


**Bild A1-2: Den planerade kraftverksplaceringen av Markjärvs vindkraftpark på ett flygfoto.**

## BILAGA A2 KARTOR ÖVER SANNOLIKHETERNA AV ISNEDFALL







## **BILAGA A3    ICETHROWER-STUDIE**

|      |                                |
|------|--------------------------------|
| A3-1 | Beskrivning                    |
| A3-2 | Resultat av ICETHROWER-studien |

### A3-1 Beskrivning

ICETHROWER-projektet genomfördes som ett gemensamt projekt mellan Pöyry (numera AFRY), Vattenfall, Skellefteå Kraft och Dalavind, av vilka de tre sista energibolagen opererar vindkraftparker i kalla klimatförhållanden i Sverige. Projektet genomfördes mellan åren 2013 och 2016 och finansierades av den svenska Energimyndigheten. Sammanlagt samlade man in över 500 isfragment inom projektet från Vestas V90-kraftverk (navhöjd 95 m) under flera iskast, och isfragmenten mättes och vägdes. Dessutom markerades platsen där isfragmentet föll. Isbitarnas massor varierade mellan 0,1 och 5 kg. Under varje insamlingsdag samlade man in 9–81 isbitar.

I den andra delen av projektet framtogs en modell för beräkning av sannolikheten av isbitarnas spridning i närheten av vindkraftverken för att öka kunskapen om riskerna med iskast för människor och anordningar.

### A3-2 Resultat från ICETHROWER-studien

Resultaten från studien har presenterats i rapporten ICETHROWER – *Mapping and Tool for Risk Analysis*. De viktigaste resultaten var:

- Utifrån gjorda observationer och modelleringar bör det rekommenderade säkerhetsavstånd som tidigare använts kunna minskas. Samma beräkningsformel kan användas både för stillastående och roterande turbiner. Nytt förslag till formel blev:

$$s = D + H$$

där  $s$  är säkerhetsavståndet vid sporadiska besök på vindkraftparker,  $D$  är turbindiametern och  $H$  navhöjden. Kastavstånd som var längre än säkerhetsavståndet modellerades också, men sannolikheten för att ett iskast sker utanför säkerhetsavståndet är betydligt lägre än gängse risker i samhället. Bild A3-1 visar den relativa frekvensen av iskast som en funktion av avståndet från vindkraftverket, och de relativa längderna på iskasten och vindhastigheten visas på bild A3-2.

- Mycket tunga och stora isbitar kan falla nära kraftverket, men även relativt stora isbitar kan också kastas längre bort. Dylika isstycken kan bestå av stora sjok av is från torn och nacelletak. Dessa iskast utgör en väldigt hög risk eftersom is på nacelletaket kan finnas kvar lång tid efter att is lossnat från bladen och bestå av mycket stora stycken.
- Det är alltid säkrast att vistas i lovert av turbinen under drift.
- I parkerat läge kan turbinrotorn ha en annan riktning gentemot vinden och då är det inte automatiskt säkert att vistas på någon av turbinens sidor.
- Generellt har den position där isbiten lämnar rotorbladet liten betydelse för kastlängden förutom vid väldigt sällsynta avvikelser. De initiala hastigheterna för även stora isbitar bromsas snabbt på grund av luftmotståndet. Vindhastighet och gravitation inverkar mest på iskastens dynamik.

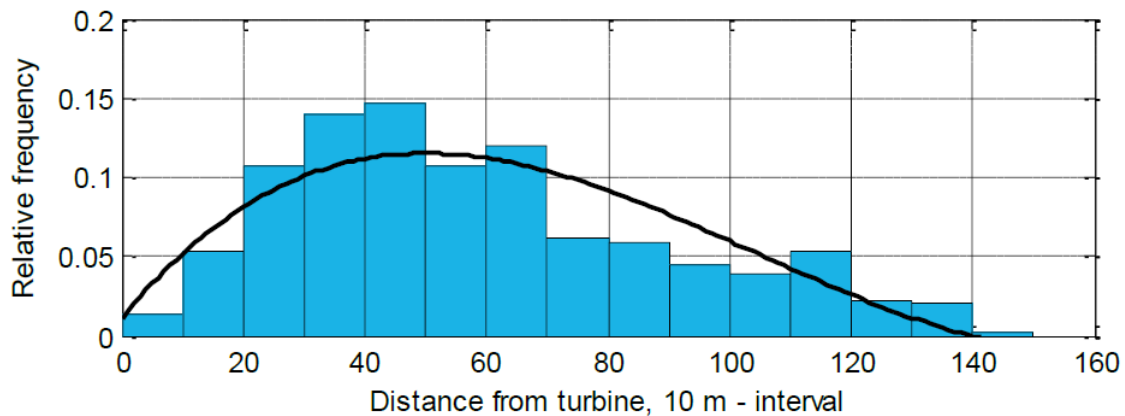


**Bild A3-1: Relativ frekvens av iskast som funktion av avstånd från vindkraftverket**

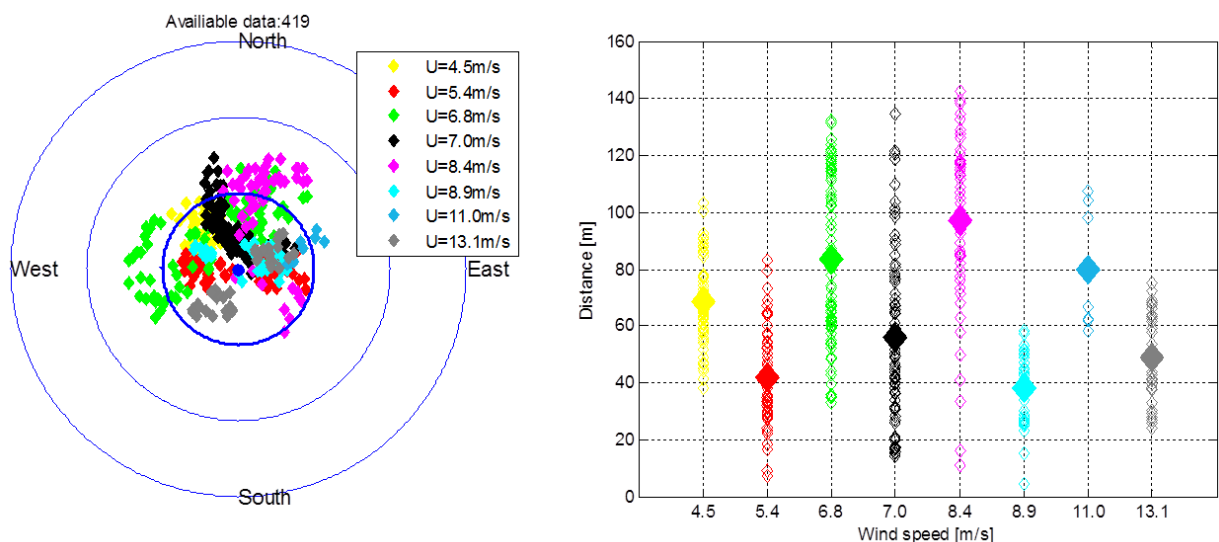


**Bild A3-2: Till vänster: Iskast i relation till vindkraftverket (blåa punkter). De blåa cirklarna visar avstånden till en, två och tre rotordiameter. Färgen anger vindhastigheten vid olika iskast. Till höger: Sambandet mellan vindhastighet och kastavstånd vid åtta olika iskast. De stora romberna anger det genomsnittliga kastavståndet för varje iskast.**

Ett modelleringsverktyg baserat på fältstudien utvecklades med hjälp av rörelseekvationen och en Monte Carlo-simulering. Förekomstfördelningen och sannolikheterna härleddes genom att genomföra 100 000 slumpmässiga simuleringar.

Bilderna (bild A3-3, bild A3-4 och bild A3-5) visar tre diagram där sammansättningen av vindkraftverket, isbitens massa och vindhastigheten fungerar som parametrar och beskriver sannolikheten för isnedslag per kvadratmeter under ett enskilt iskast.

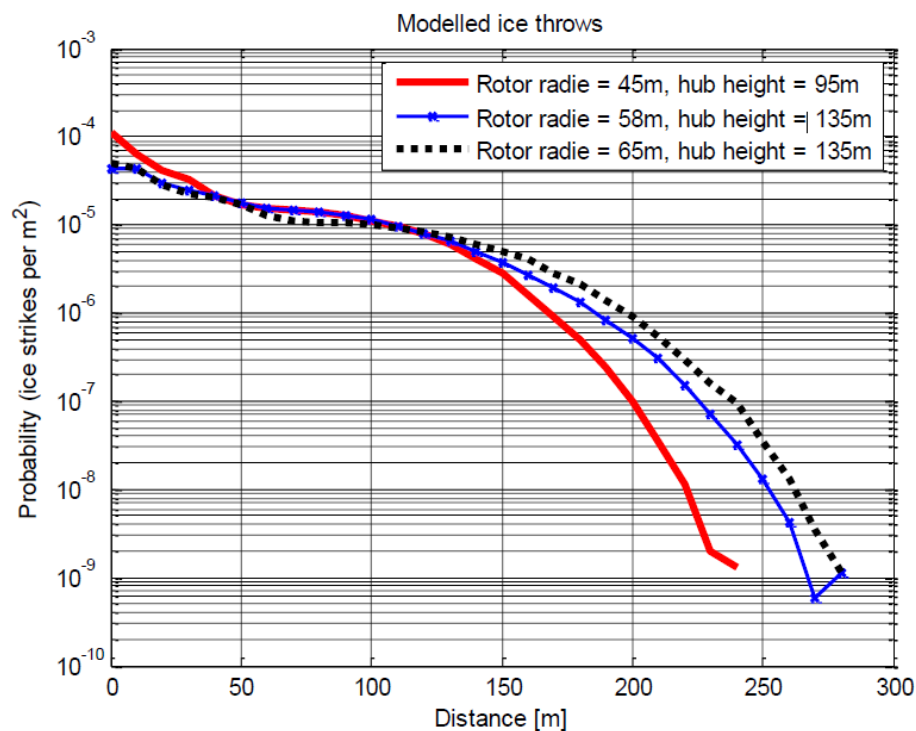


**Bild A3-3. Sannolikheten för iskast som funktion av avstånd från vindkraftverket vid olika rotordiameter och navhöjder.**

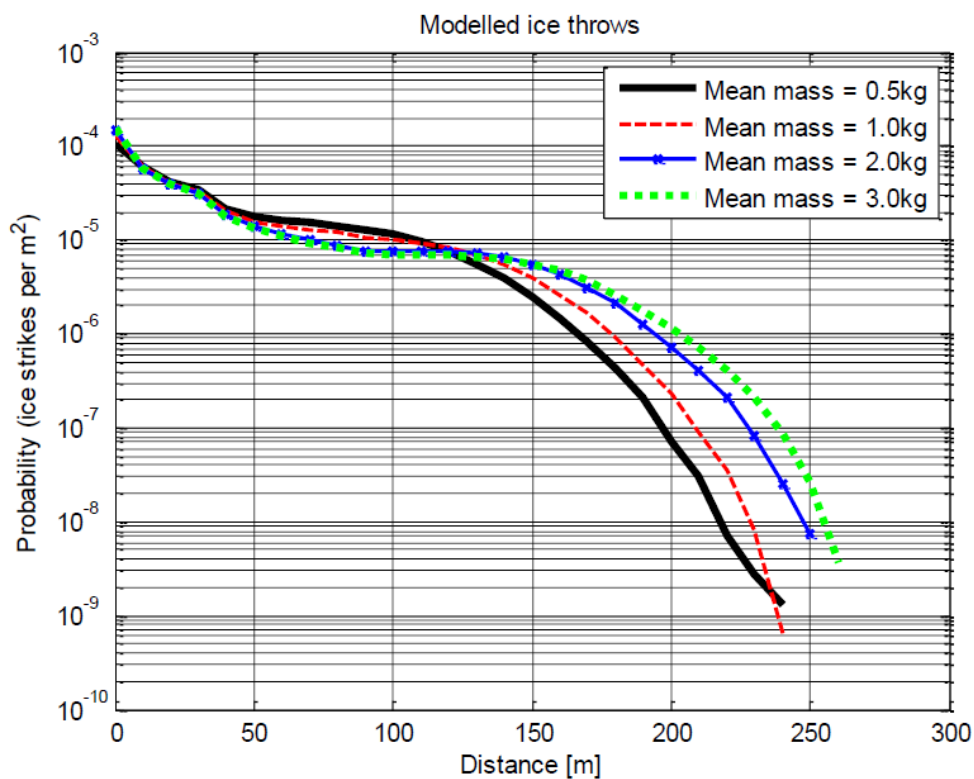


**Bild A3-4. Sannolikheten för iskast som funktion av avstånd från vindkraftverket med olika massor av isbitar**

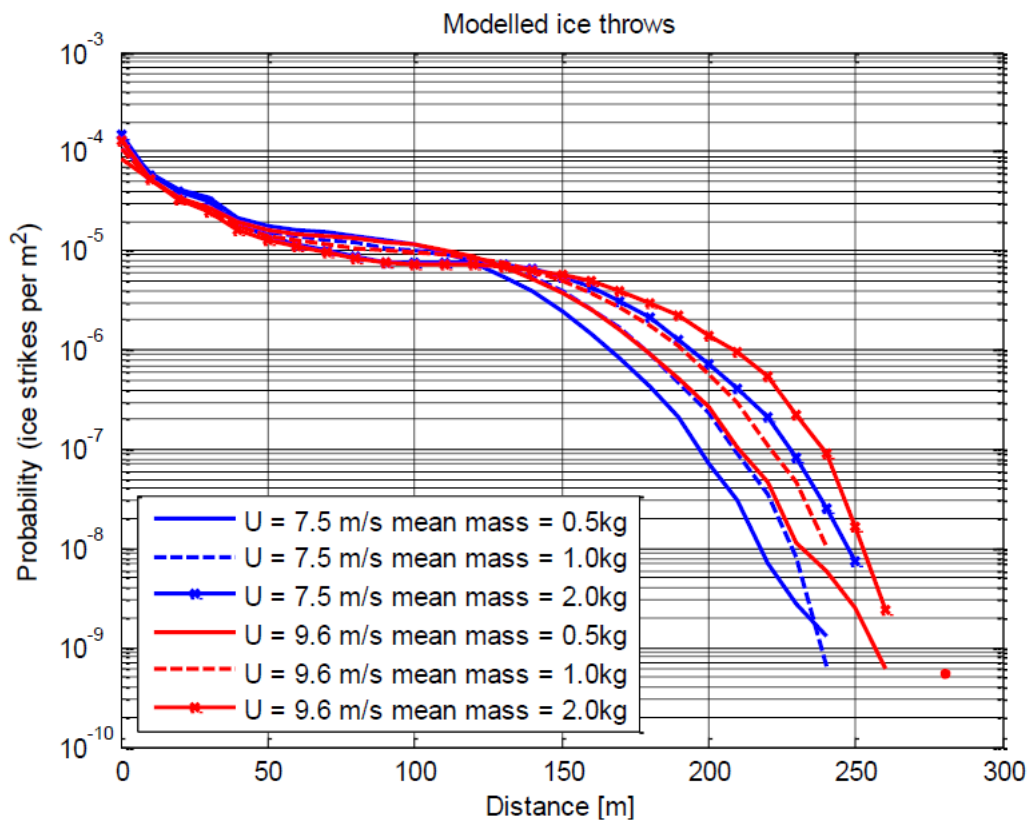


**Bild A3-5. Sannolikheten för iskast som funktion av avstånd från vindkraftverket vid olika kasthastigheter och massor av isbitar.**

Ovanstående diagram leder till följande slutsatser:

- Isens kastavstånd påverkas mer av rotordiametern än av tornets höjd.
- Ökning av isbitens massa och högre vindhastighet ökar kastavståndet endast marginellt.
- Resultaten från diagrammen kan extrapoleras för att motsvara storleken på vindkraftverken i det aktuella projektet.