



Tuulivoiman jääennusteet

WindFinland Oulu, 6.2.2025

Ville Lehtomäki, Mona Kurppa, Pyry Pentikäinen

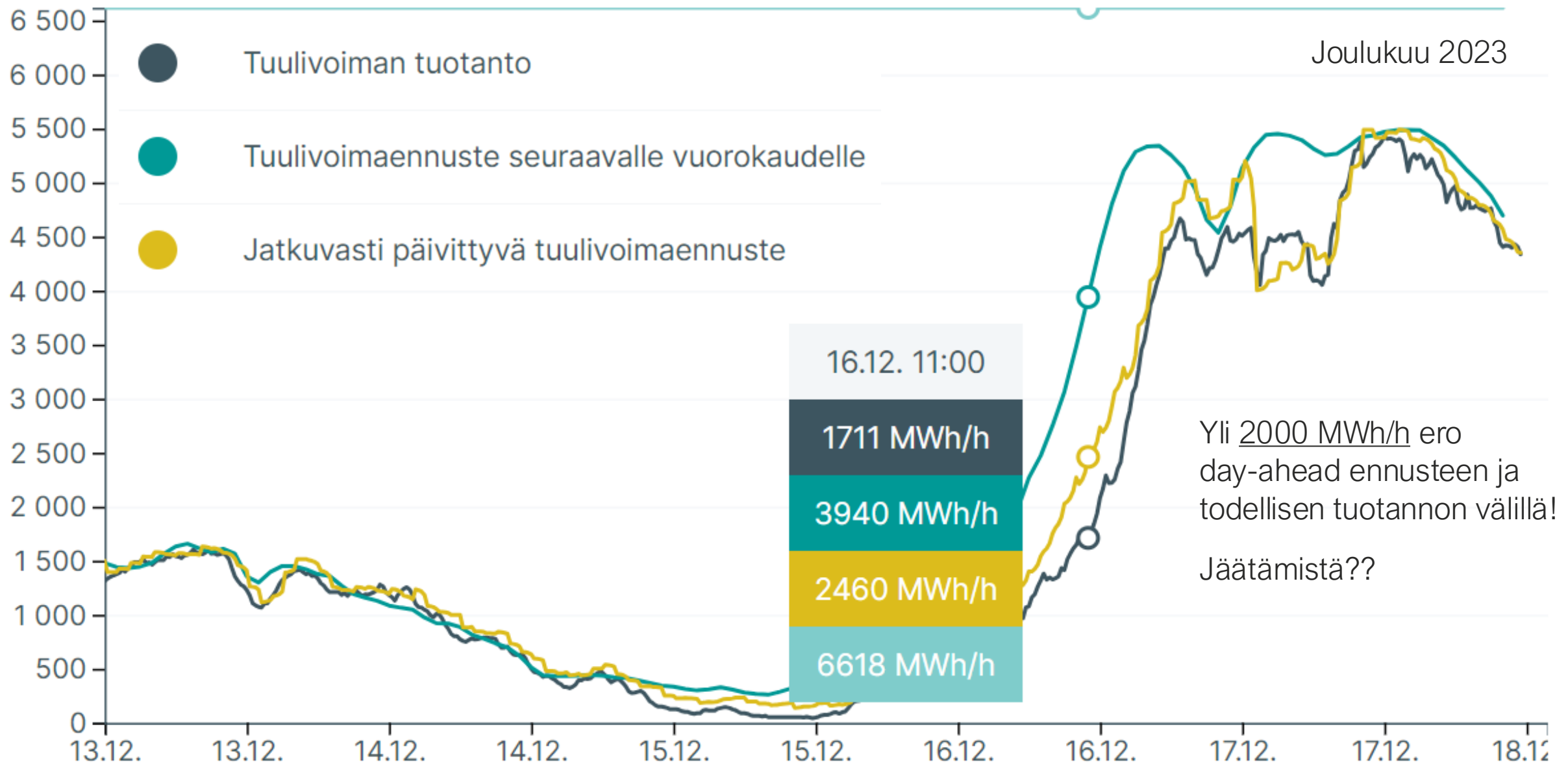
Kjeller Vindteknikk Oy / Norconsult

Sisältö

- ▶ Miten jäätäminen näkyy?
- ▶ Case: puisto Suomessa 2016-2024, tappiot ja kustannukset
- ▶ Case: Suomi Oy
 - ▶ Tilastoja 2003-2023
 - ▶ Marraskuu 2022
 - ▶ SPOT day-ahead (24h) ennusteita Fingridille
- ▶ Yhteenveto

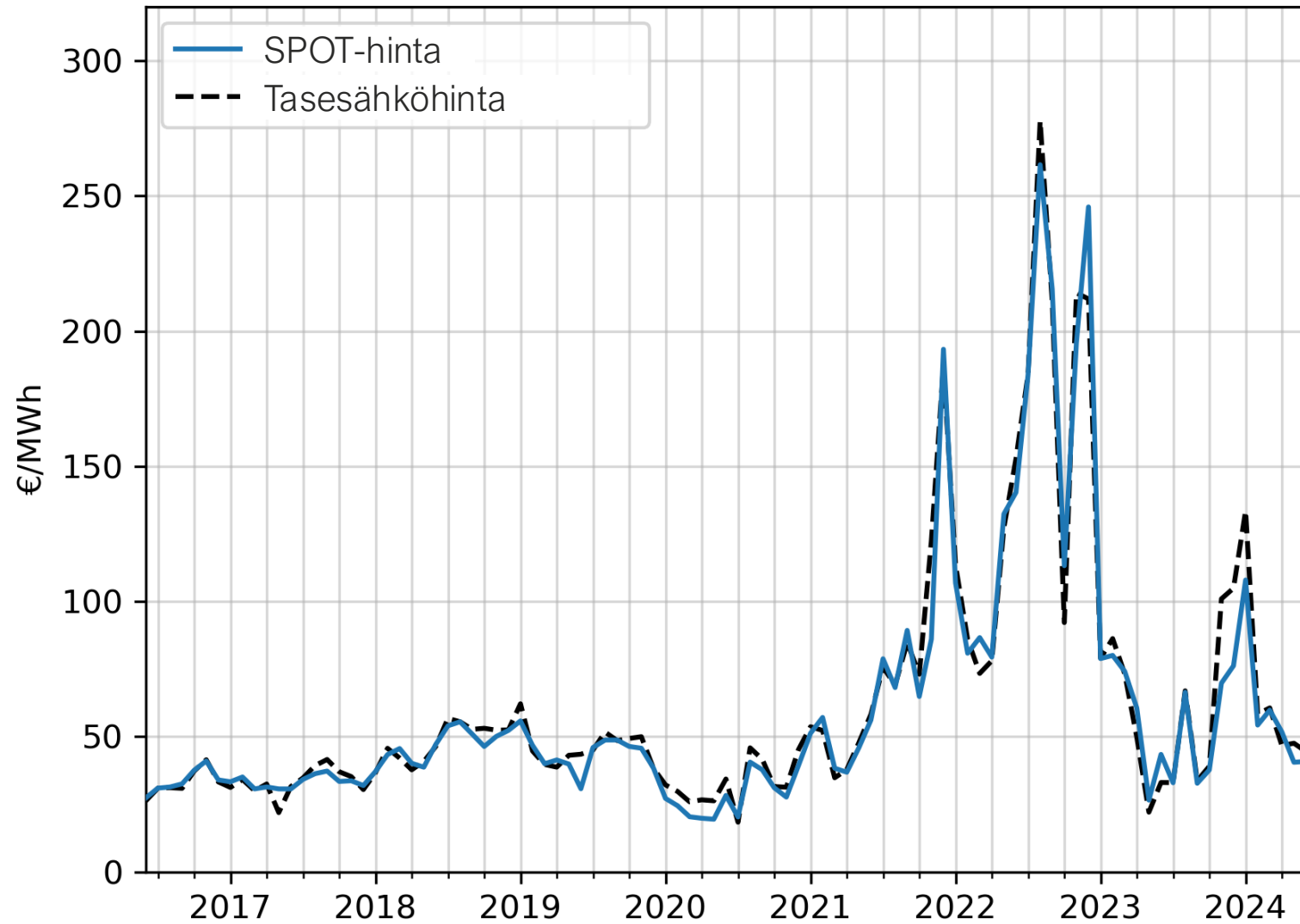


Miten jäätäminen näkyy?



Lähde: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/tuulivoiman-tuotanto/>

Kuukausikeskiarvohinnat

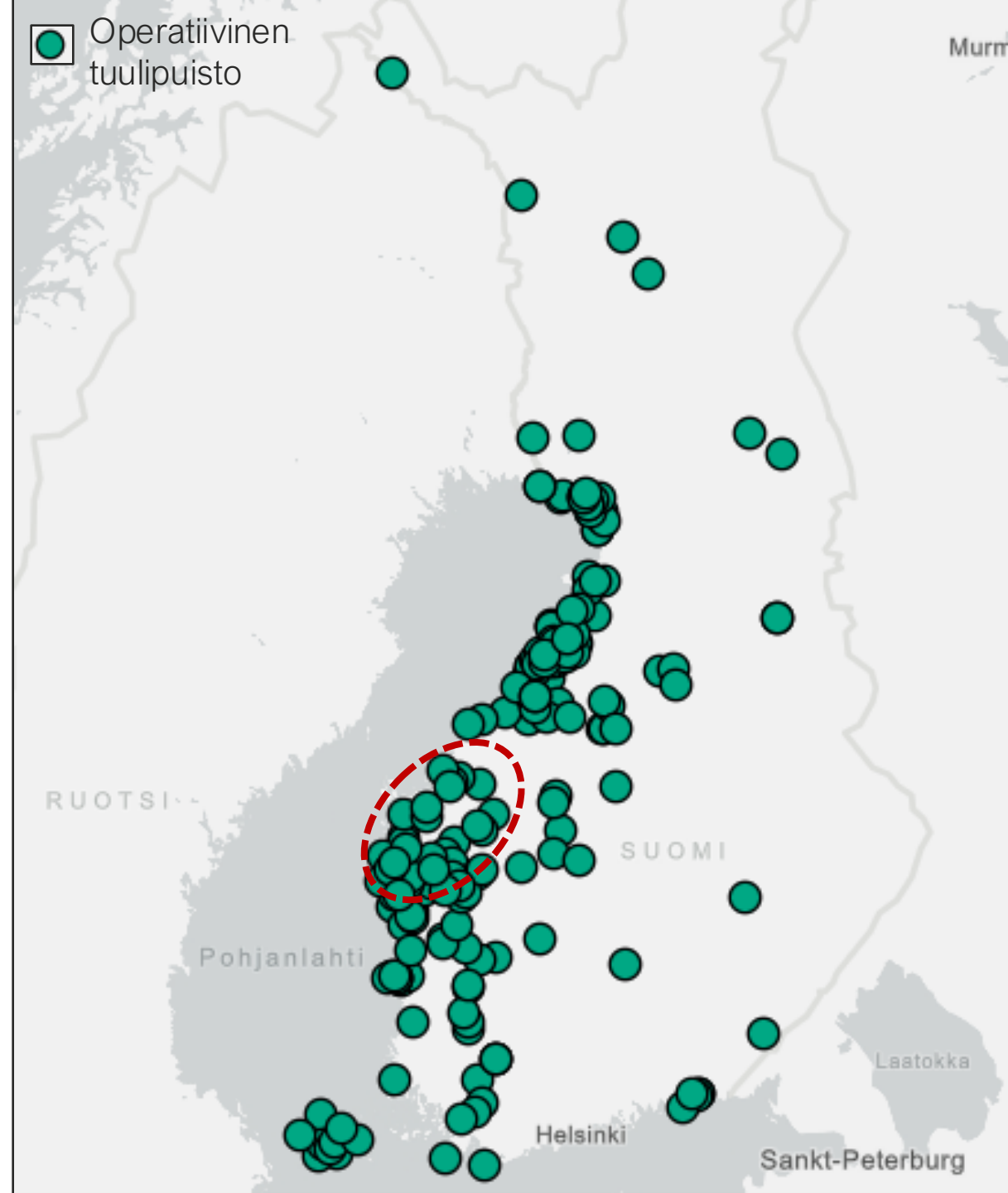


Esimerkki

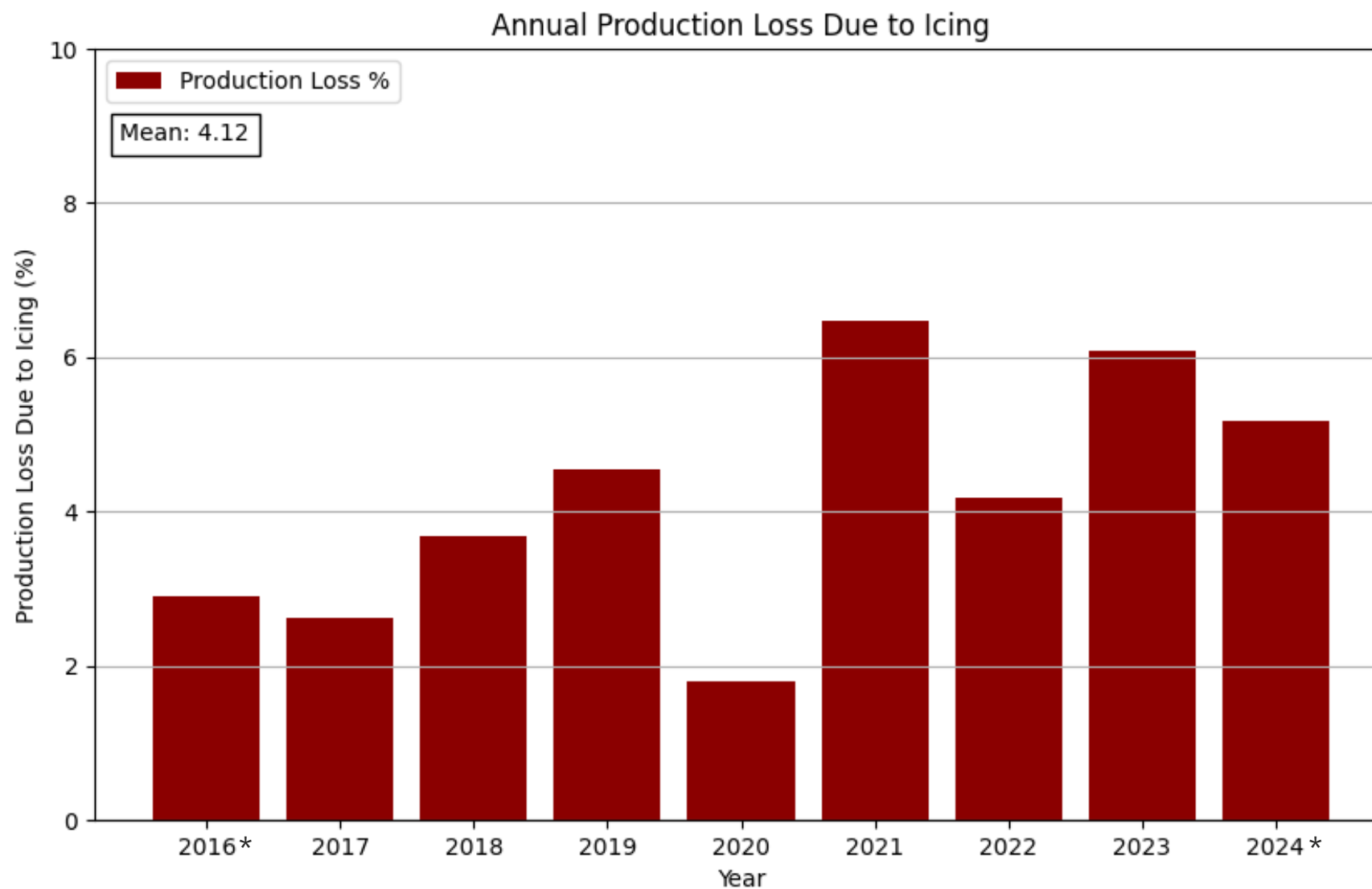
Tuulipuisto Suomessa

Jäätämisen hinta esimerkkituulivoimapuistolle

- ▶ Sijainti Etelä-Pohjanmaalla
- ▶ Kokonaiskapasiteetti 50-80 MW
- ▶ 15-25 turbiinia
- ▶ SCADA-dataa 07/2016-06/2024
- ▶ Oletus: Tuulivoimatuottaja ostaa kaiken puuttuvan sähkön tasesähkömarkkinoilta



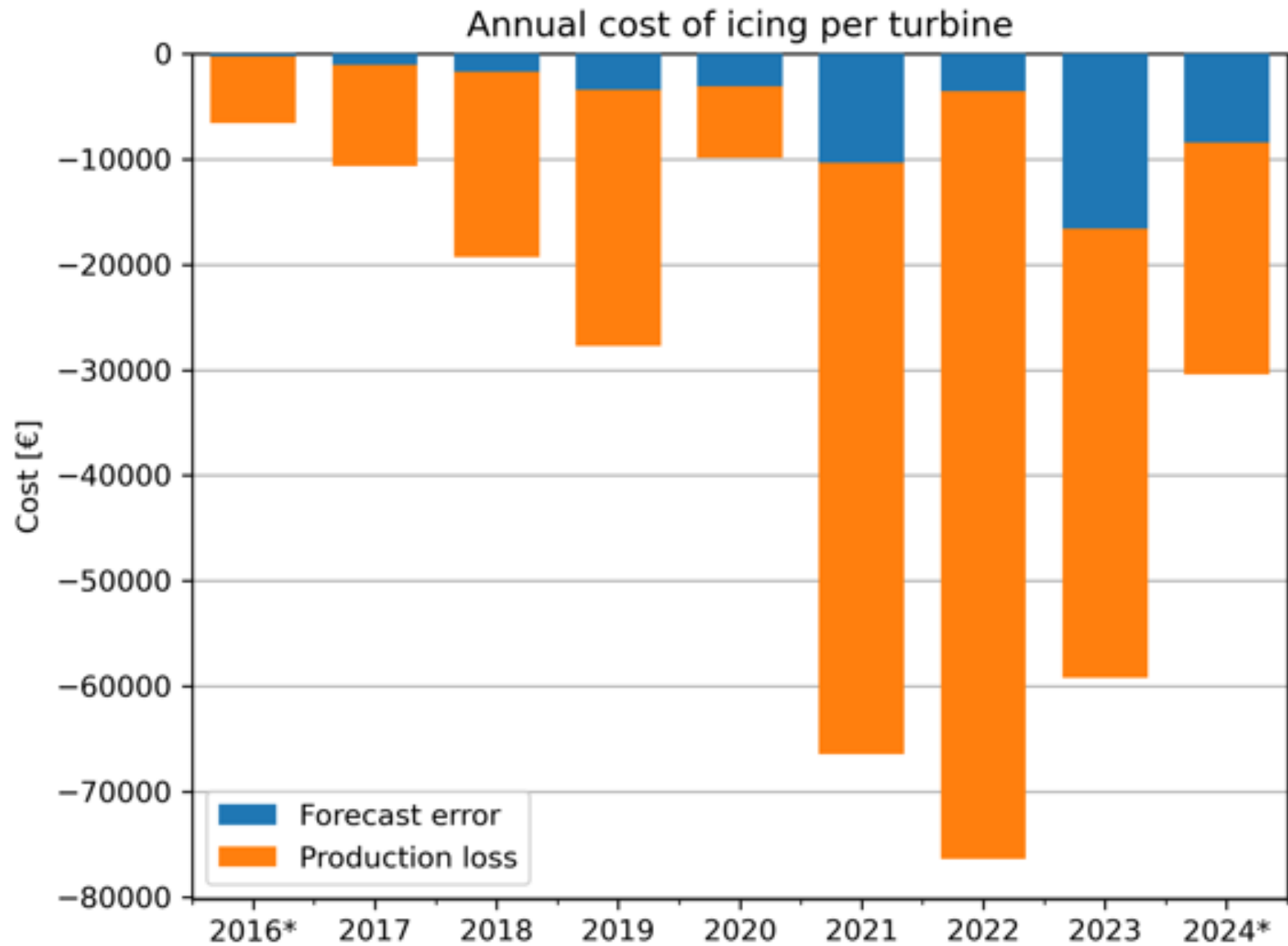
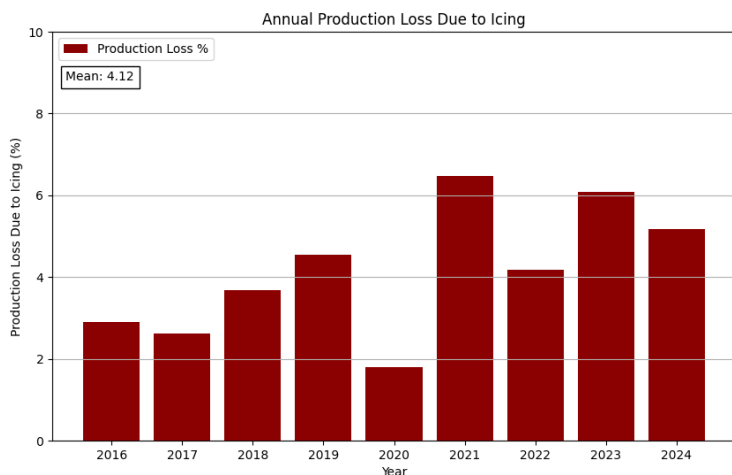
Tuulipuiston jääolosuhteet



*: vain 6kk dataa

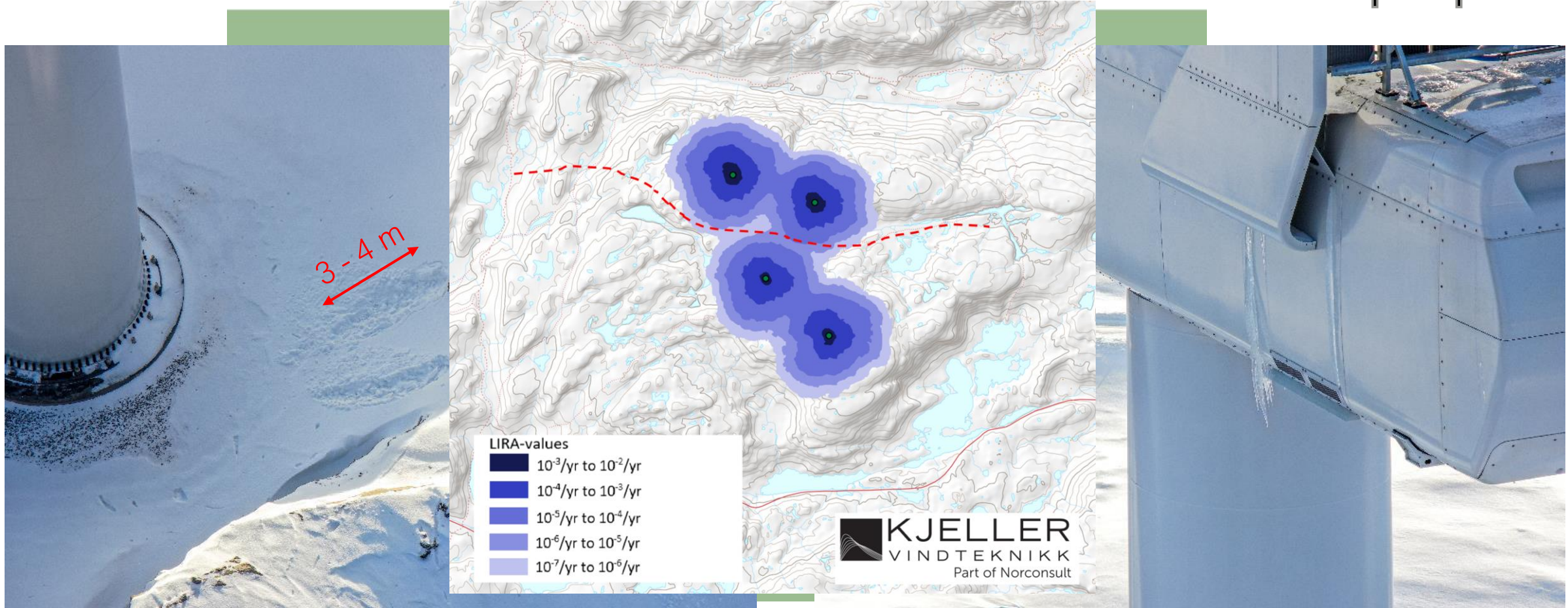
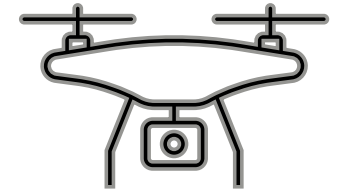
Jäätämisen hinta

- ▶ Ennus tai tasevirhe määrä (**sin**) kasvaa (tasekustannus nousu)
 - ▶ Ratkaisu: jääennusteet ja jäänesto
- ▶ Suorat kustannukset isossa kasvussa (**oranssi**) vaikka jäähäviöt nousseet vain hiukan (SPOT hinnan nousu)
 - ▶ Ratkaisu: jäänesto



*: vain 6kk dataa

Turvallisuus



Jäätämismallinnus ja – ennustaminen Kjellerillä

► Jäätämisen aiheuttama tuotantotappio

- Historia mallinnus v2003-> (+200 raporttia)
- Day-ahead ennuste (+25 puistoa Suomessa)

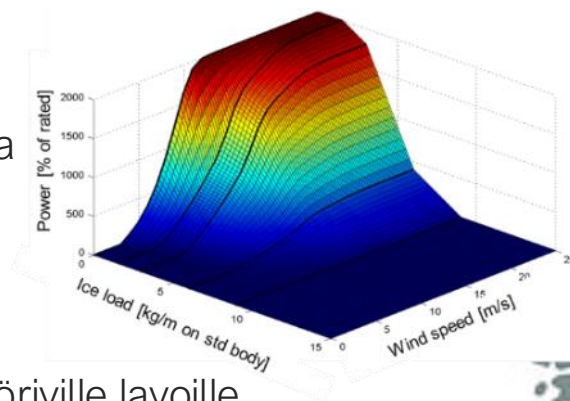
► Oma sääennustemalli

- Pilvien mikrofysiikan mahdollisimman tarkka mallintaminen

► Jäätämisen mallintaminen

- **Fysikaalinen malli:** Jään muodostuminen pyöriville lavoille ja sen vaikutus tehokäyrään
- **Koneoppimismalli/AI** (uutta!): Tuotantotappion mallintaminen suoraan meteorologisista muuttujista ja mallinnetusta lapajäästä

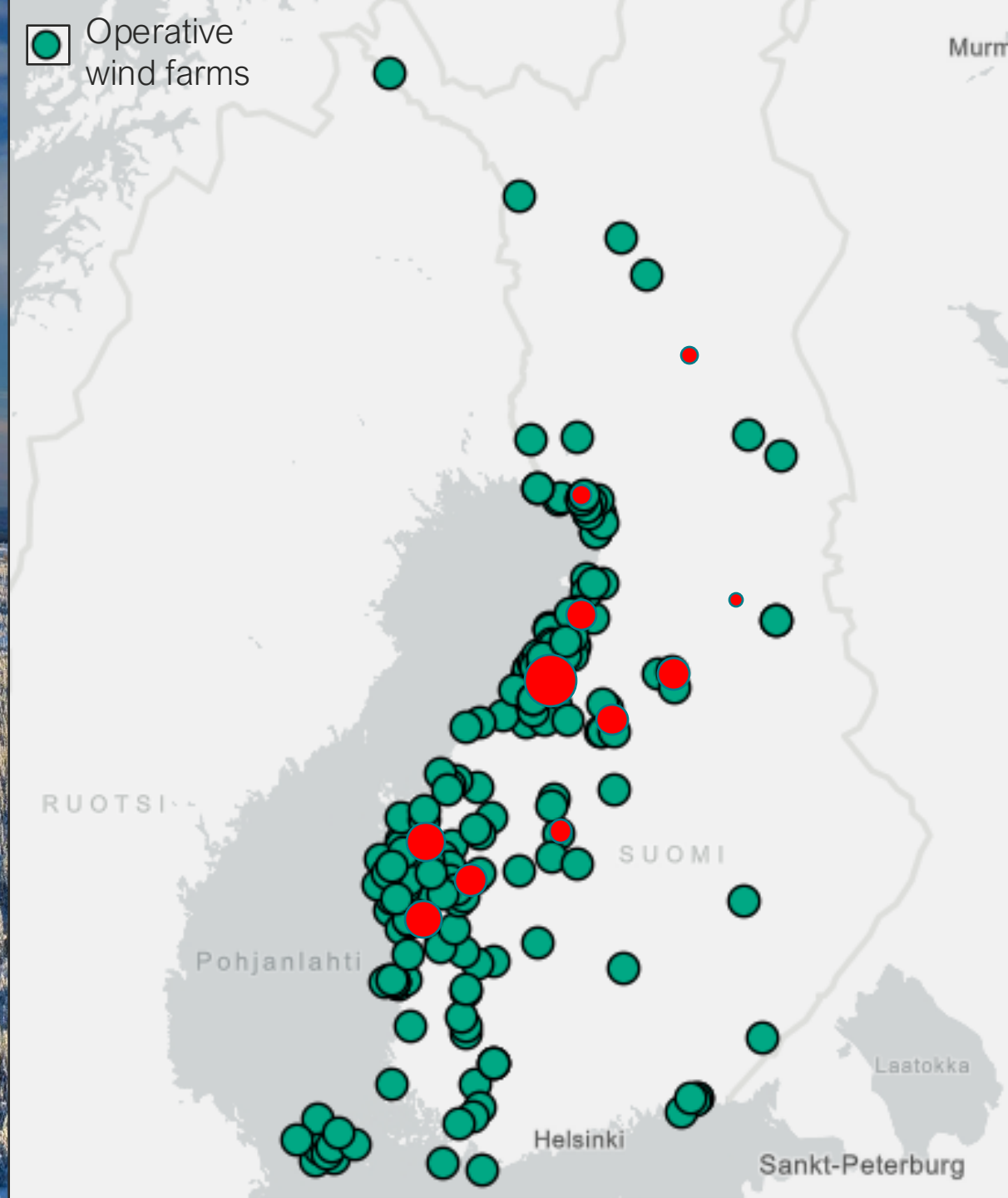
Mallikalibroinnissa
hyödynnetty SCADA-
data



Esimerkkejä

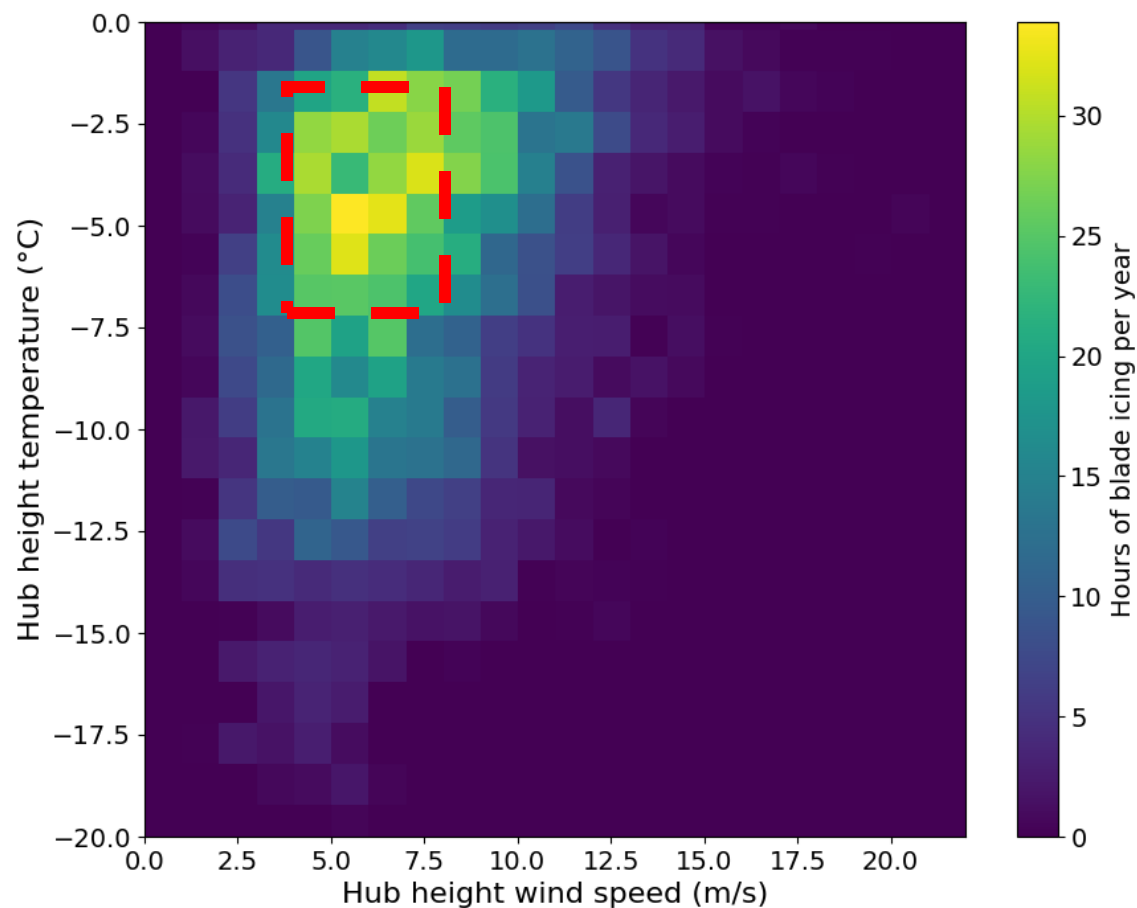
- 1) Jäätäminen Suomi Oy tasolla 2003-2024**
- 2) Fingridille tuotetuista jäätämisenennusteista

Case: jäätymallinnus Suomi v2003-2023

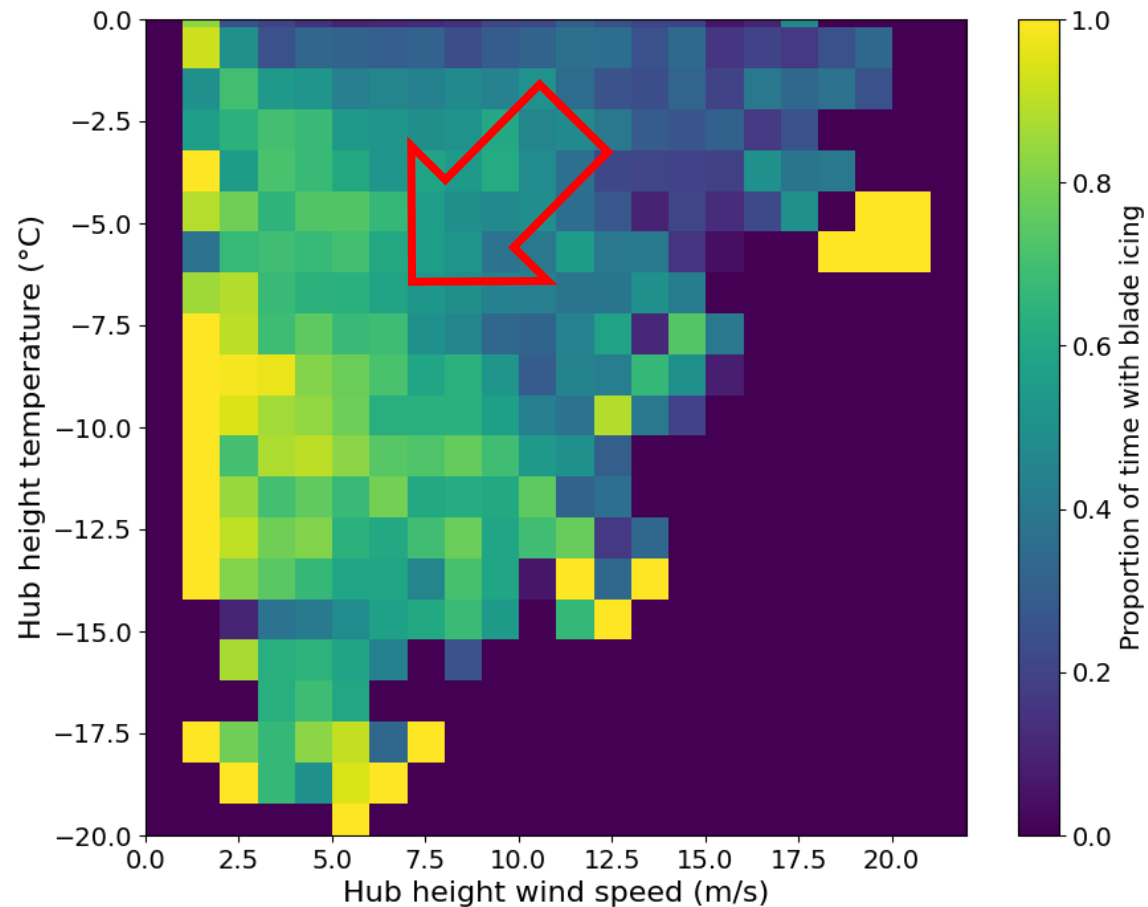


Missä olosuhteissa jäätämistä yleensä tapahtuu?

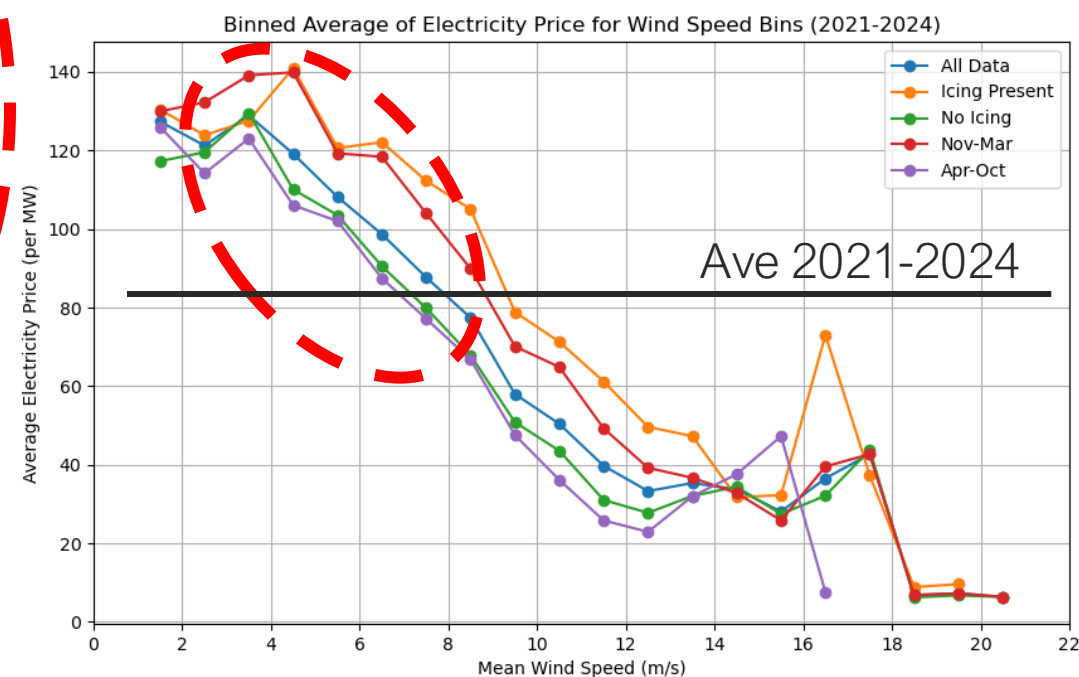
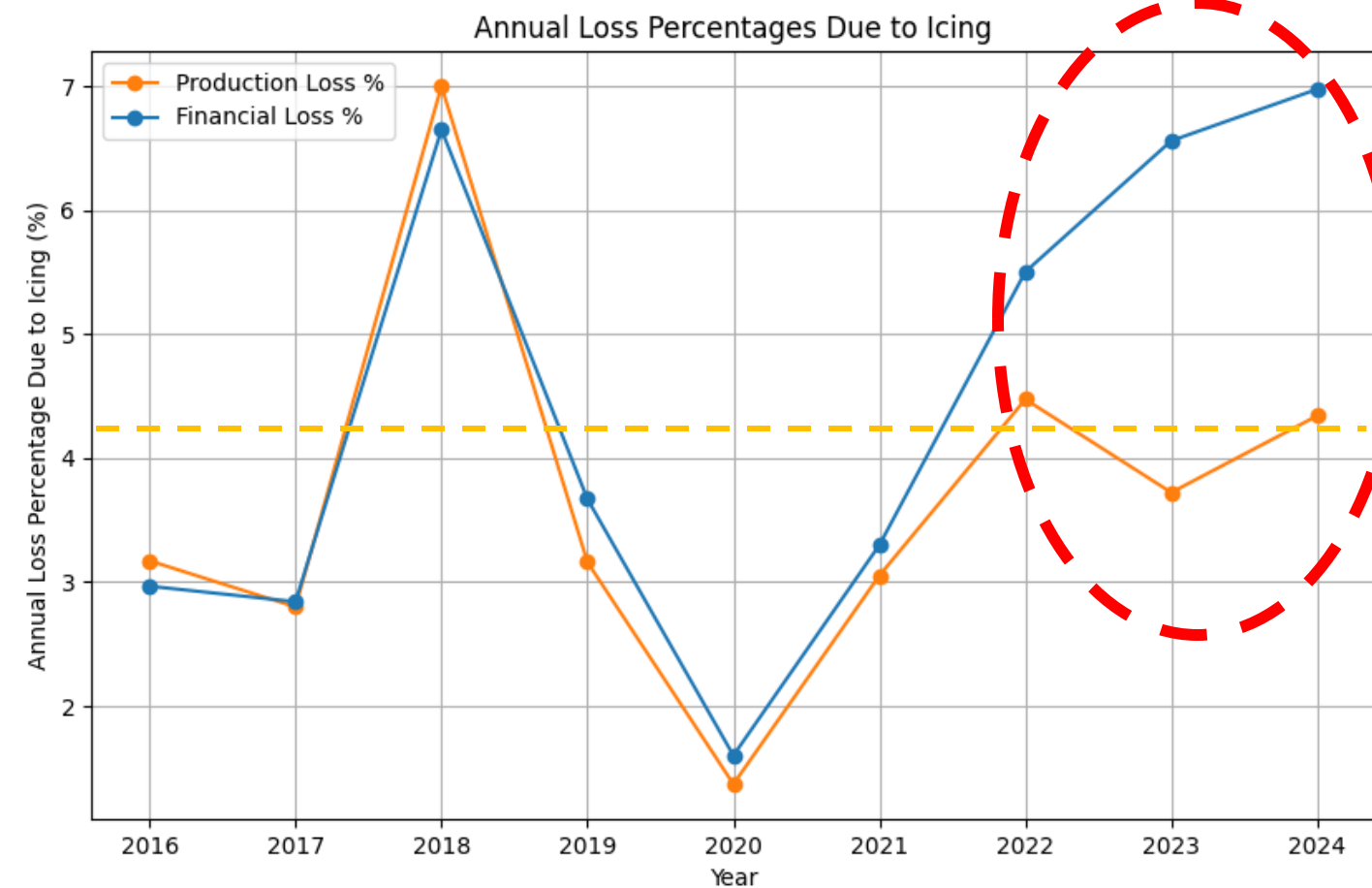
Blade icing and environmental conditions



Proportion of time with blade icing and environmental conditions



Jäätämishäviöt ja taloudelliset tappiot

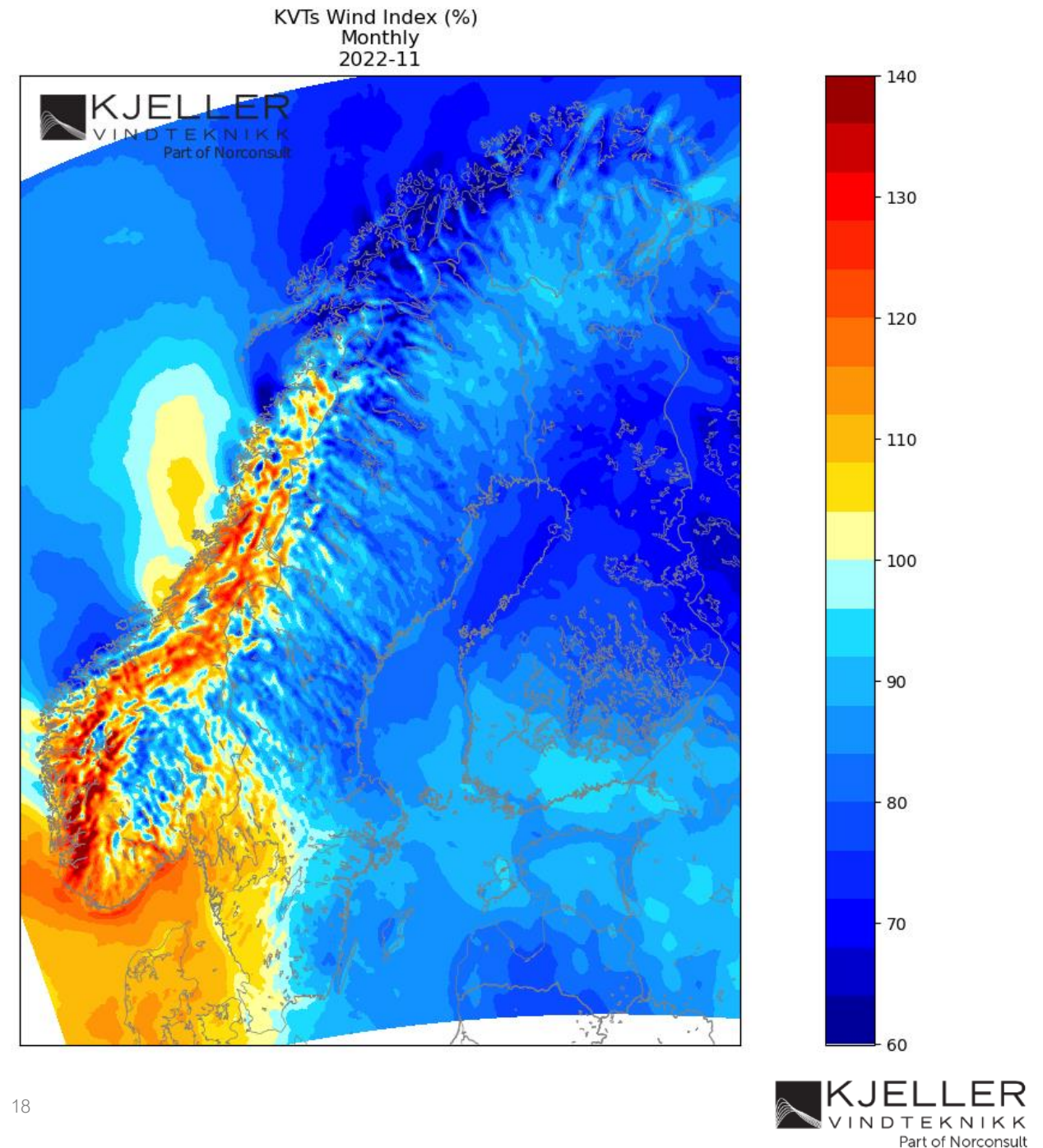


Case: marraskuu 2022



Marraskuu 2022, tuulisuus

- ▶ Poikkeuksellisen matala tuulisuus koko Suomessa
- ▶ -20 % tuuli = -40 % tuotanto



Jäätäminen uutisissa

Yllättävä syy nostaa nyt sähkön hintaa: Tuulivoimalat jäätyvät, eivätkä ennusteet osaa laskea vaikutusta

30.11.2022 08:03 | päivitetty 30.11.2022 08:03 SÄHKÖ UUSIUTUVAT



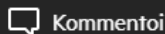
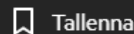
Jäässä. Tuulivoimaloiden tuotantoa ovat heikentäneet pakkaset.
KUVA: KAI TIRKKONEN

Sähkön hinta on taas korkealla. Apua.
<https://www.kauppalehti.fi/uutiset/tuulivoimalat-jaatyvat-eivatka-ennusteet-osaa-laskea-vaikutusta/6fee0995-fa98-4d>

Tiede ja teknologia

Tämä viheliäinen ongelma voi nyt pysäyttää tuulivoimaloiden tuotannon – Siihen on kuitenkin Tampereella ratkaisu

Tampereen yliopiston Hervannan kampuksella toimivassa jäälaboratoriossa tehdään ainutlaatuista jäätä hylkivien pinnoitteiden tutkimusta. Pinnoitteet toisivat apua myös sähköntuotannon huoltovarmuuteen. Pahimmassa tapauksessa jäätyminen keskeyttää yhtä aikaa useita tuulivoimaloita.



<https://www.aamulehti.fi/tiedejateknologia/art-2000009224522.html>

Energia

Suomen sähköntuotanto ei pyöri täydellä teholla, vaikka energian hinta hipoo jo huippulukemia

Suomen oma sähköntuotanto on viime päivät ollut noin 8 000 megawatin luokkaa, vaikka kapasiteetti yltäisi 11 000 megawattiin.



en tehoa. Kuvassa TuuliSaimaan tuulivoimala.
ilmikuussa. Kuva: Kare Lehtonen / Yle

<https://yle.fi/a/74-20006719>

Energia

Pörssisähköllä lämmittävän painajainen jatkuu – jään kertyminen voi jopa pysäyttää tuulivoimaloita

Ilmatieteen laitoksen mukaan sää jatkuu tuulivoimatuotannon kannalta erittäin huonona. Tuulet ovat heikkoja ja voimaloiden jäätyminen jatkuu.



Tuulivoimaa on paljon esimerkiksi Etelä-Lapin Simossa. Kuva: Antti Ullakko / Yle

JARNO TIIHONEN

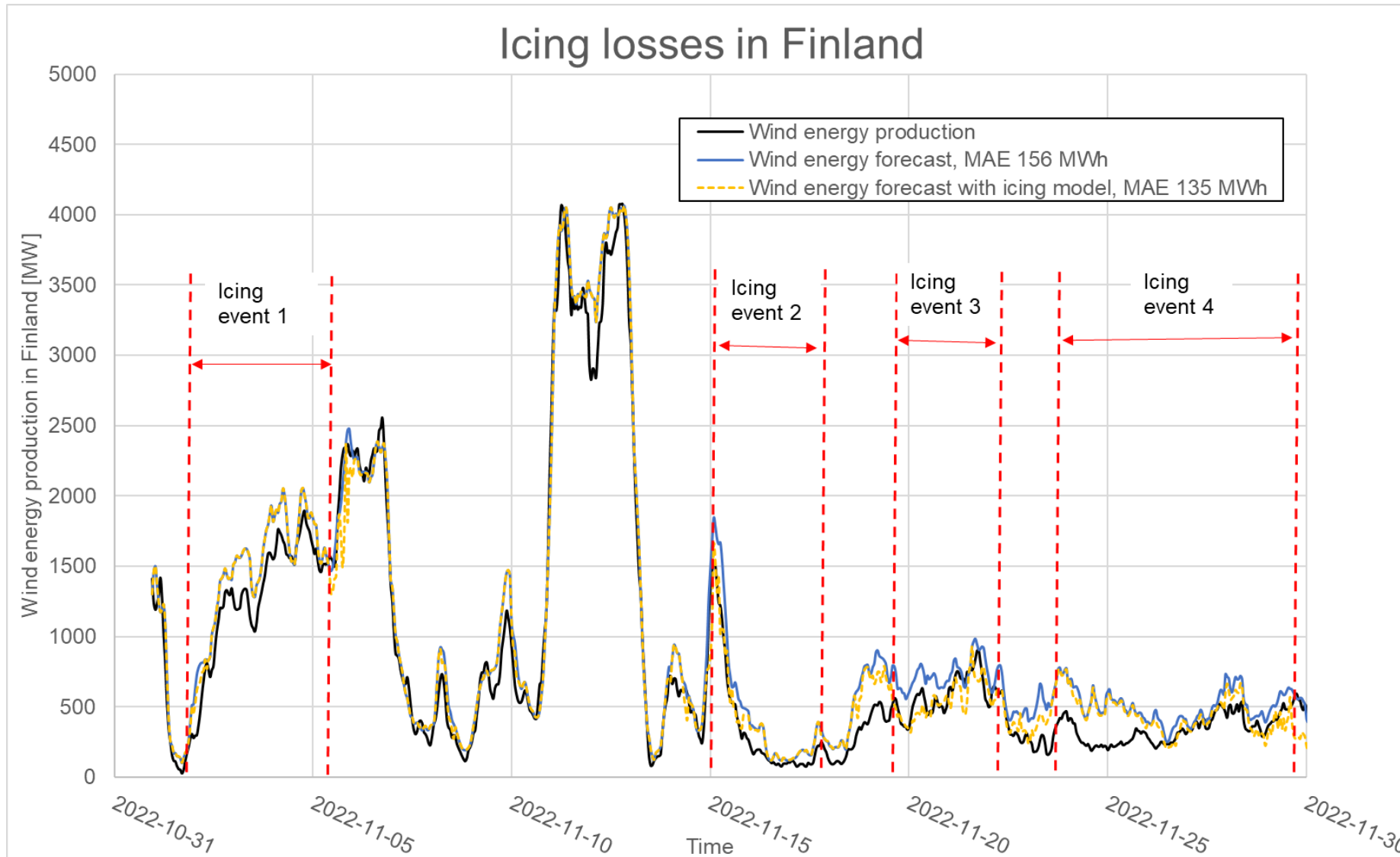
1.12. 7:30 • Päivitetty 1.12. 12:20

<https://yle.fi/a/74-20006772>

Jaa

Jäätäminen Suomessa: tuottamatta jäi 222 GWh (-27 % ennusteesta)

222 GWh x 195 €/MWh = **43 M€** (noin 4 300 € per turbiini)

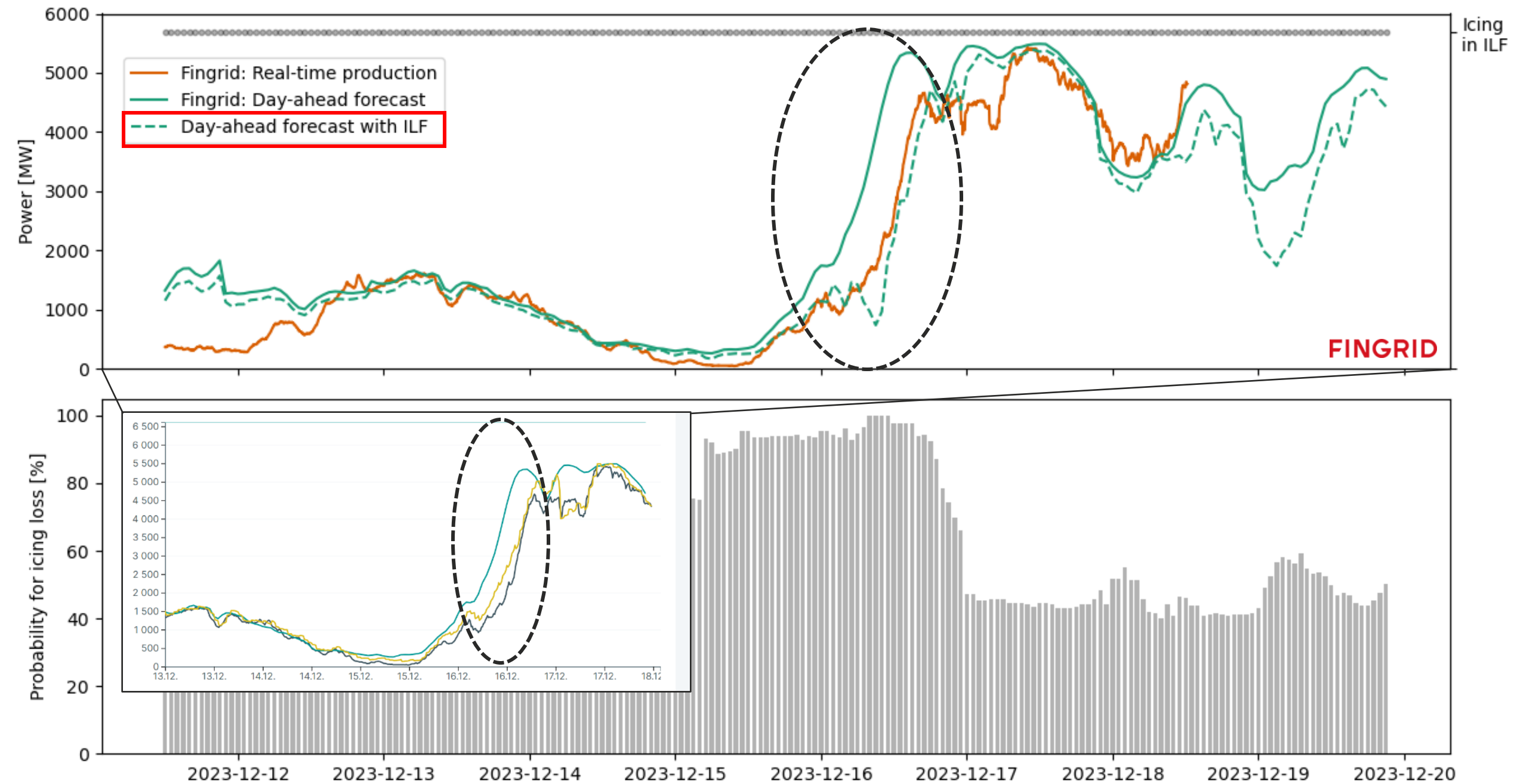


Esimerkkejä

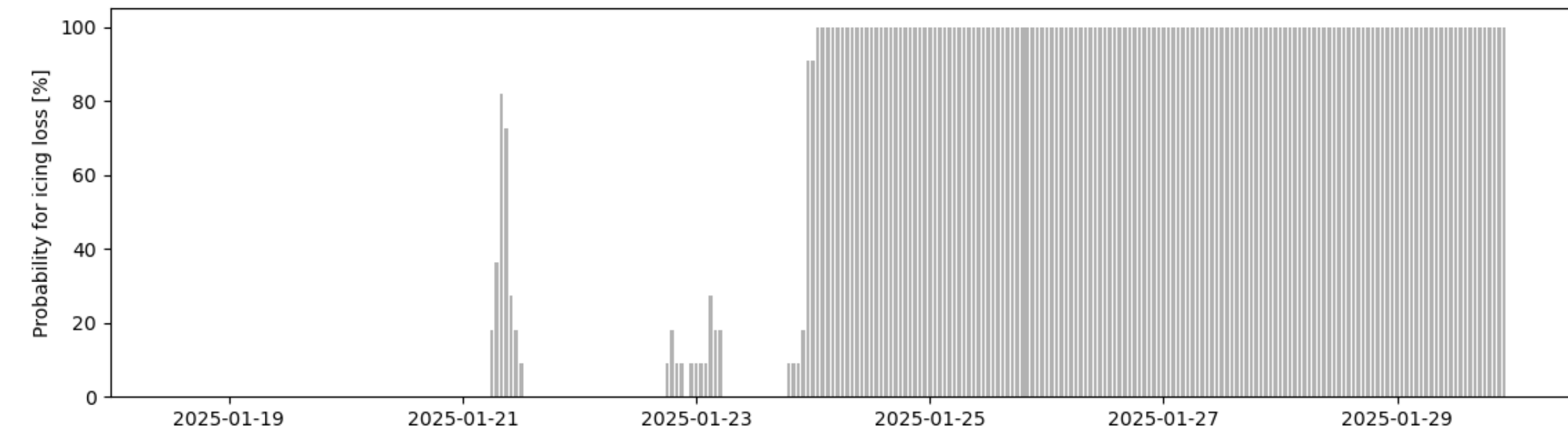
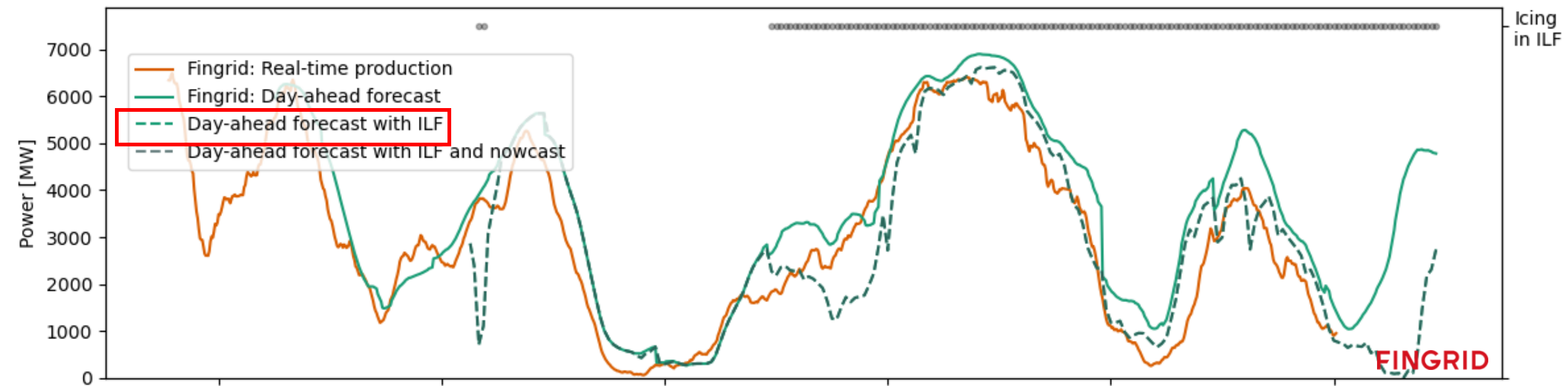
1) Jäätäminen Suomi Oy tasolla

2) Fingrid jäätämisenennusteet

ILF = IceLossForecast



ILF = IceLossForecast



Yhteenveto

- ▶ Jäätäminen on turvallisuus ja raha asia -> ratkaisuja on!
- ▶ Jäätämisen vaikutukset näkyvät jo Suomi Oy tasolla, ratkaisuja otettava käyttöön enemmän
- ▶ Jäätämisen hinta on kasvanut, 2021-24 keskiarvo noin 60 k€/turbiini josta 15 % tasekustannuksia
- ▶ Jäätämisen ennustaminen vaikeaa mutta mahdollista
 - Alapilvien sijainti ja koostumus yksi vaikeimmin mallinnettavista ilmiöistä

Kiitos!