

Saarde Tuulepargi poolt tekitatav keskkonnamõju Mulgi valla eluruumides

Villu Ruusmann, M.Sc.
Copyright (C) 2026, Openscoring OÜ

Sisukord

- Teooria - "kust millist keskkonnamõju otsida?"
- Indikatiivne mikrobaromeetriline monitooring
- Senised leiud
- Saarde valla uuele üldplaneeringule tehtud ettepanekud
- Lisad

Tuugen kui keskkonnamõju allikas

Õhu kaudu leviv vibratsioon ("müra"):

- Kuuldav heli: 20 -- 20'000 Hz
 - Madalsageduslik heli: 10 -- 200 Hz
- Infraheli: 1 -- 20 Hz
- Madalsageduslik infraheli: 0 -- 1 Hz

Maapinna kaudu leviv vibratsioon

Tuugen "Enercon E40" (Virtsu 1)

- Tiiviku diameeter 44 m, kolm laba
- Rootori pöörlemiskiirus tööolekus 18 -- 33 rpm
 - Pöörlemisperiood 1.82 -- 3.33 sek
 - Laba mastist möödumise periood 0.61 -- 1.11 sek
 - Laba mastist möödumise sagedus 0.90 -- 1.64 Hz
- Gondli kõrgus maapinnast 46 m
- Generaatori nominaalvõimsus 640 kW
- Generaatori pöörlemiskiirus 36 rpm ehk 0.6 Hz

Tuugen "Vestas V150" (Saarde 1)

- Tiiviku diameeter 150 m, kolm laba
- Rootori pöörlemiskiirus tööolekus 5 -- 12 rpm
 - Pöörlemisperiood 5 -- 12 sek
 - Laba mastist möödumise periood 1.67 -- 4.00 sek
 - Laba mastist möödumise sagedus 0.25 -- 0.60 Hz
- Gondli kõrgus maapinnast 155 m
- Generaatori nominaalvõimsus 4'250 (4'450) kW
- Generaatori pöörlemiskiirus 1'450 -- 1'550 rpm ehk 25 Hz

Mõned eeldused

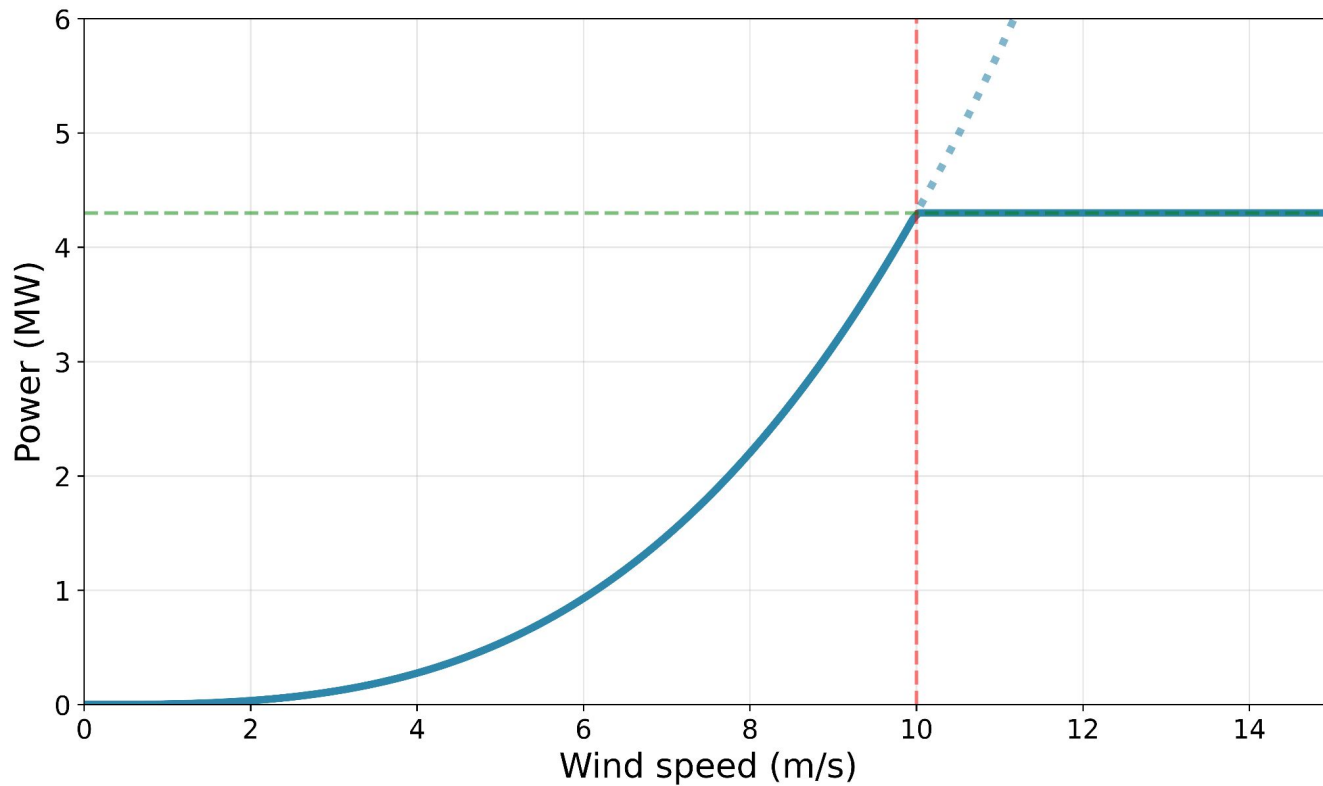
- Tuugeni interakteerub keskkonnaga läbi oma tiiviku
- Newtoni seadused kehtivad:
 - Betzi piir - tuugen saab kinni püüda mitte rohkem kui $16/27$ (~59.3 %) tiivikut läbiva tuule kin. energiast
 - Tänapäevane tuugen saavutab sellest 80 -- 85%
- Energia jäävuse seadus kehtib

Tuugeni keskkonnamõju

Tuugeni tiivik interakteerub õhuvooluga, ja tekitab sellesse ***häirituse*** mille võimsus on a) proportsionaalne ja b) suurem kui tuugeni genereeritav elektriline võimsus.

- Erinevad komponendid (sagedus ja võimsus)
- Erinev suunatus
- Sõltuvus tiiviku seadistusest (labade nurgad)
- Sõltuvus keskkonnatingimustest

Vestas V150 võimsuskõver



Kehtiv seadusandlus

Käsitleb õhu kaudu levivat vibratsiooni ("müra") ainult *inimese kuulmismeele* parameetrite kohaselt:

- Kuuldav heli: **elamumaal** päeval 60 dB(A), öösel 45 dB(A)
- Infraheli: **eluruumis** 85 dB(G) vastavalt EVS-ISO 7196
- Madalsageduslik infraheli: (puudub)

"Kui ei ole kõrvaga kuulda, siis ei lähe häiringuna arvesse"

Terviseameti mürauuringud (1/2)

- Saarde Tuulepargi mürauuring (november 2024):
 - Kuuldav heli: 25 -- 10'000 Hz
 - Madalsageduslik heli: 6 -- 200 Hz
- Sopi-Tootsi tuulepargi mürauuring (märts, aprill 2025):
 - Kuuldav heli: 20 -- 10'000 Hz
 - Madalsageduslik heli: 10 -- 200 Hz
 - Infraheli 0.8 Hz -- 20 Hz

Kõik alla < 20 Hz tulemused esitatud G-korrigeeritud kujul.

Terviseameti mürauuringud (2/2)

- "Kui ei ole kõrvaga kuulda, siis ei saa ka mitte mingisugust tervisemõju esineda".
- "Me peame tänapäevaste tuugenite hindamisel lähtuma > 20 aastat vanadest standarditest ja regulatsioonidest".
- "Meil puudub < 1Hz mõõtmisteks instrumendid ja oskusteave, järelikult ei saa seal midagi mõõdetavat olla".
- "Tartu Ülikooli teadlased ei suuda teaduskirjandusest leida ühtegi fakti mis indikeeriks vastupidist".
- "Tõestage ise kõik ära".

Tuugeni tekitatav õhurõhu-lainetus (1/2)

Üksiku tiiviku lained perioodilisusega 2 -- 4 sek, tiivikutegrupi rütmvõnkumise (nn. *beat*) lained perioodilisusega 2 -- 60 sek.

Keskkonnamõju seisneb pikaajalises, korrapäraste suure amplituudiga rõhumuutuste tekitamises.

- Rõhu muutumise kiirus on *inimese kuulmismeele* jaoks liiga aeglane, aga muutub tajutavaks *teiste meeltega*.
- Otsene füüsikaline mõju *rõhutundlikele objektidele*.

Tuugeni tekitatav õhurõhu-lainetus (2/2)

Objektiivne reaalsus: Saarde Tuulepargist 2 -- 5 km kaugusel esineb eluruumides 2 -- 3 sek perioodiga >100 Pa ulatusega õhurõhu-võnkumine (õhu vibratsioon).

$$100 \text{ Pa} = 100 \text{ N/m}^2 \Rightarrow 10 \text{ kg/m}^2$$

- Inimese keha pindala 1.5 -- 2.0 m²
- Eluhoone välispindala (katus ja seinad) 200 -- 500 m²

Füüsikalistes mõõtmistes ei rakendata G-korreksiooni.

Mikrobaromeeter Infiltec INFRA20

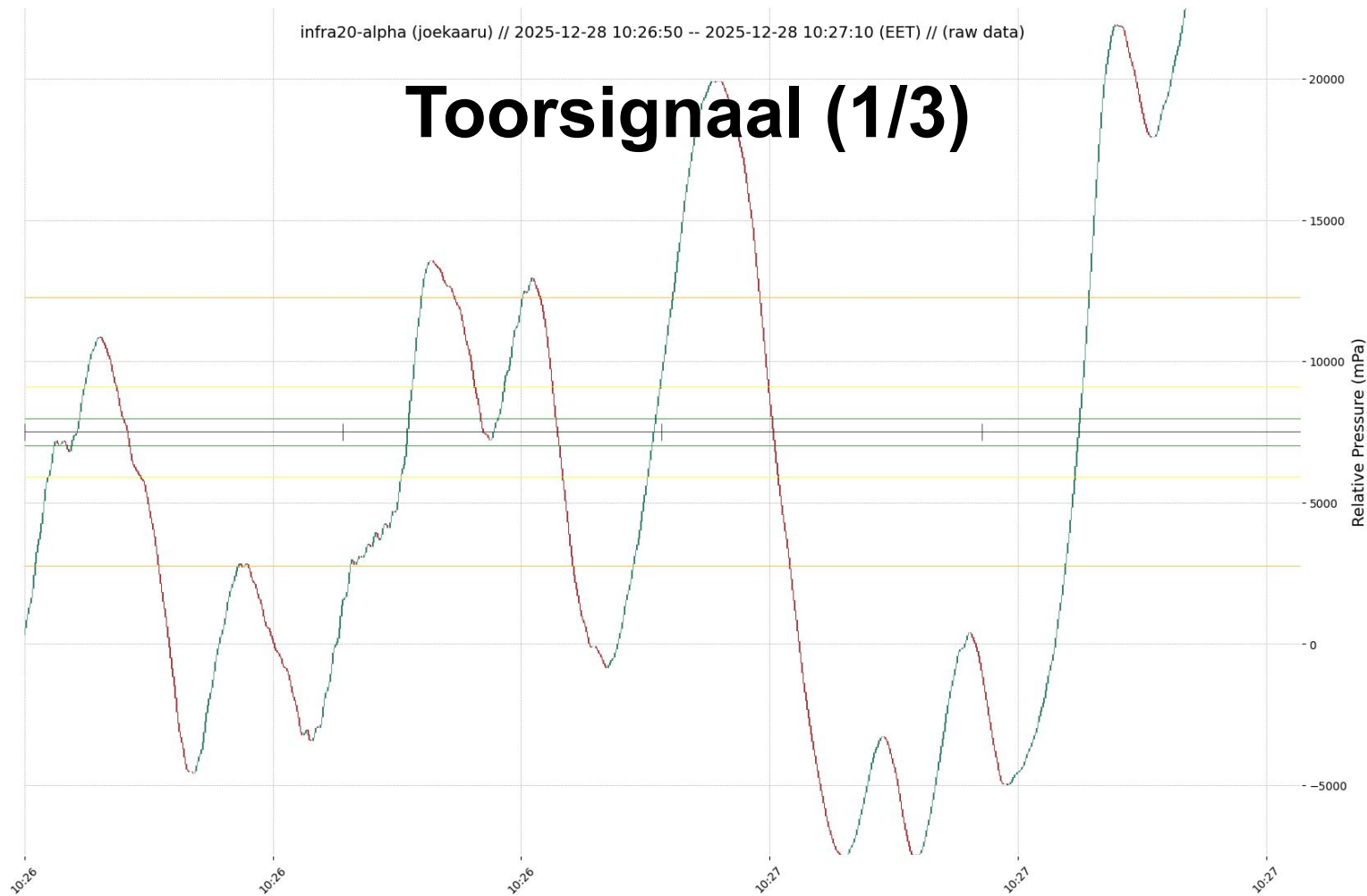
Microbarograph design with solid-state differential pressure sensor and high-pass pneumatic filter.

- Mõõtevahemik: 0.05 -- 20 Hz
- Mõõtelahutus: 0.001 Pa (1 mPa) vahemikus -25 -- 25 Pa
- Mõõtevigaga: tootja hinnangul "kuni 20%"
- Mõõtmiste ajaline samm: 0.02 sek

Keskmiselt 4'320'000 lugemit objekti kohta ööpäevas. Iga lugem on ajatembeldatud < 1ms täpsusega.

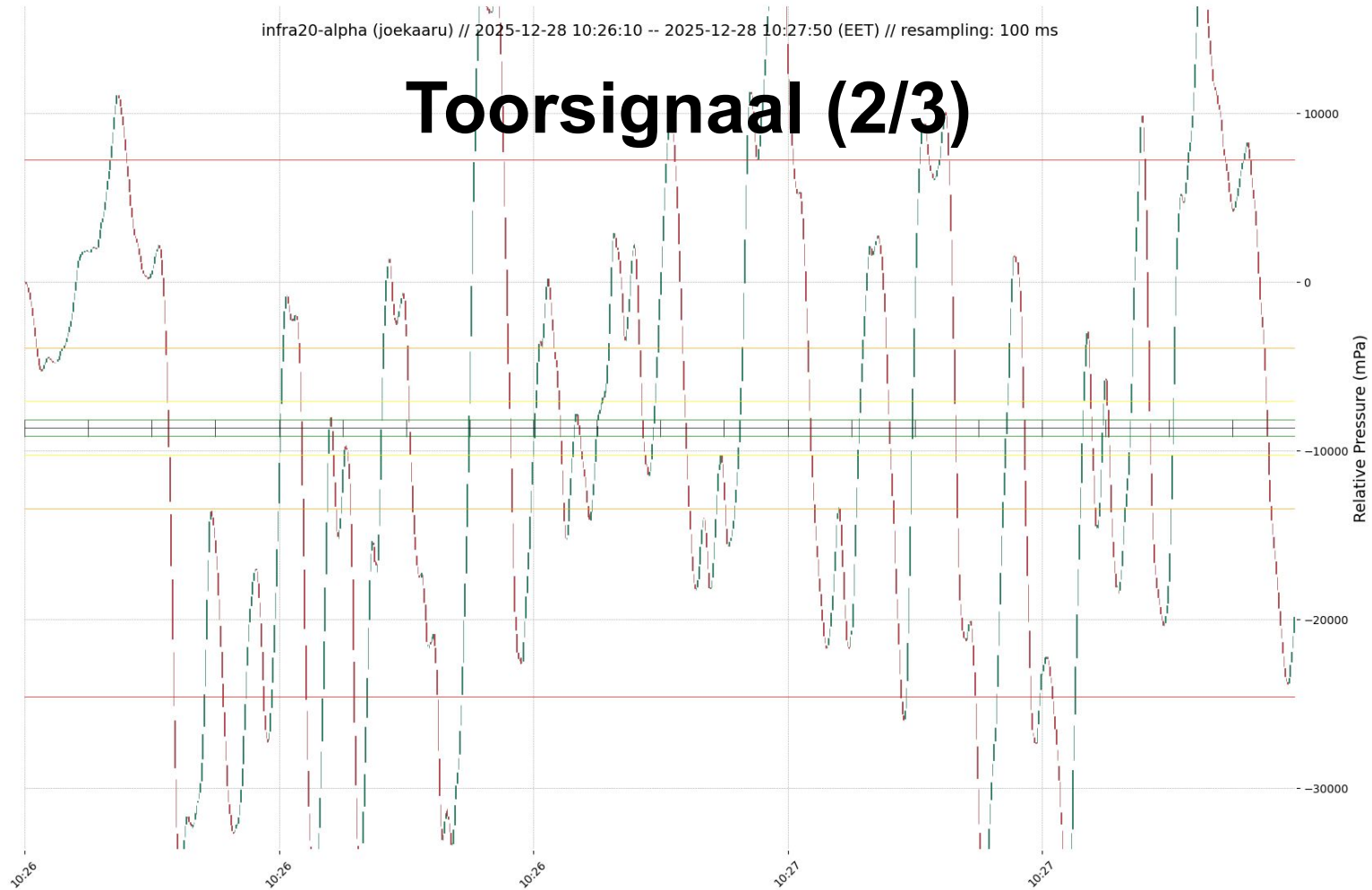
infra20-alpha (joekaaru) // 2025-12-28 10:26:50 -- 2025-12-28 10:27:10 (EET) // (raw data)

Toorsignaal (1/3)



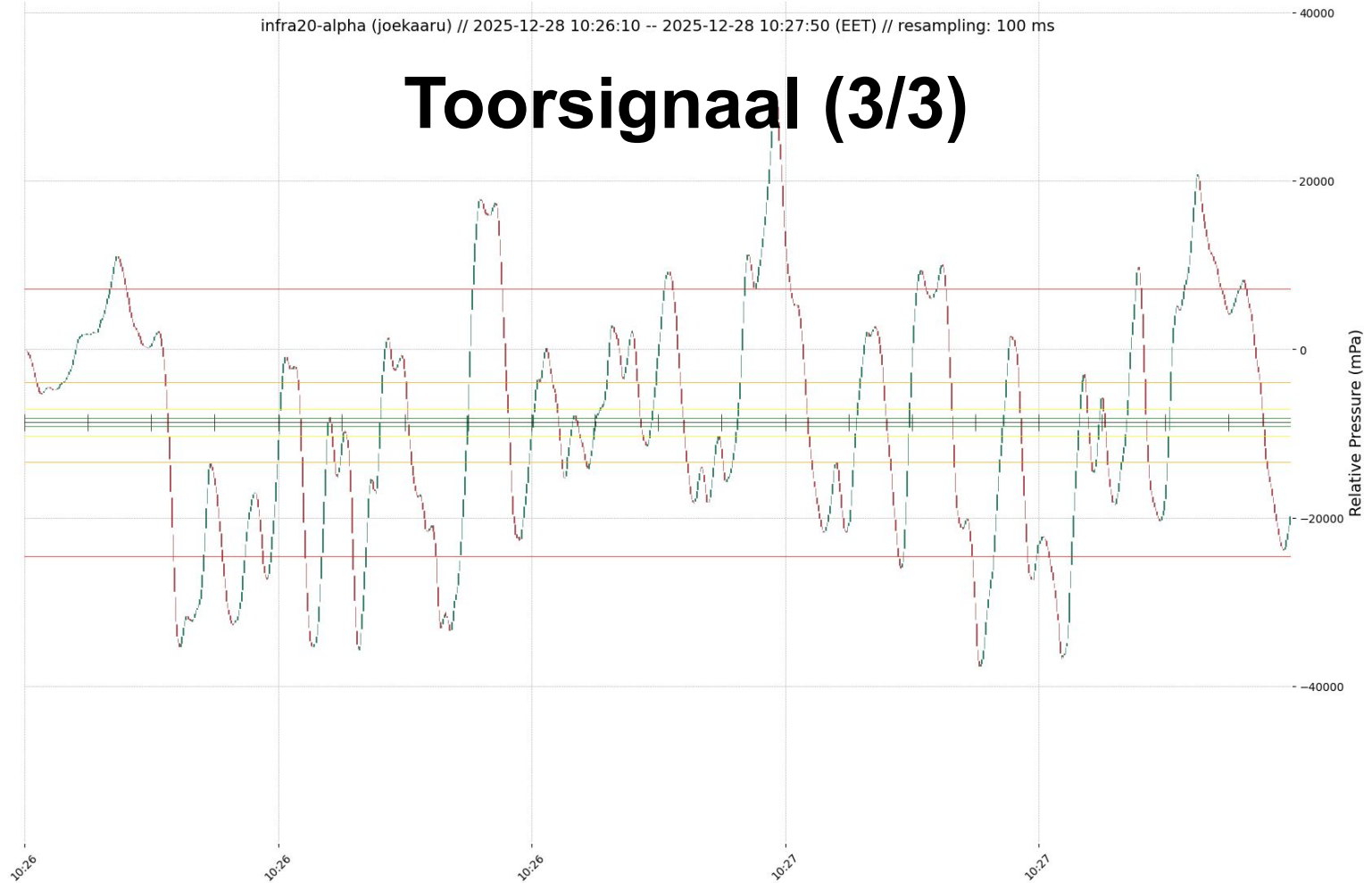
infra20-alpha (joekaaru) // 2025-12-28 10:26:10 -- 2025-12-28 10:27:50 (EET) // resampling: 100 ms

Toorsignaal (2/3)



infra20-alpha (joekaaru) // 2025-12-28 10:26:10 -- 2025-12-28 10:27:50 (EET) // resampling: 100 ms

Toorsignaal (3/3)



Signaalitöötlus

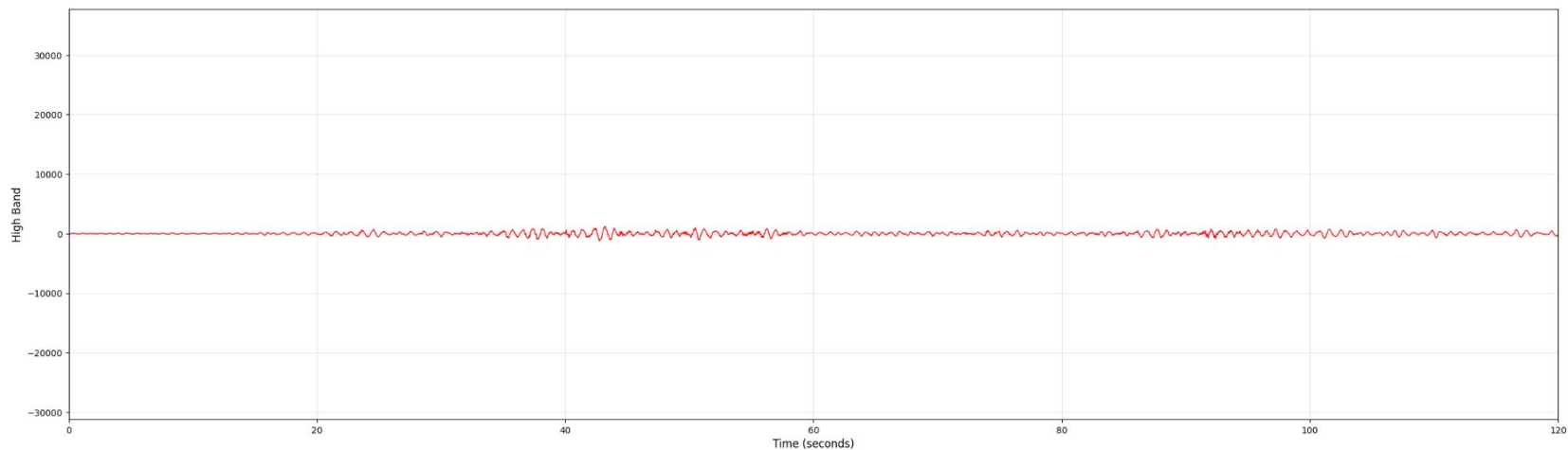
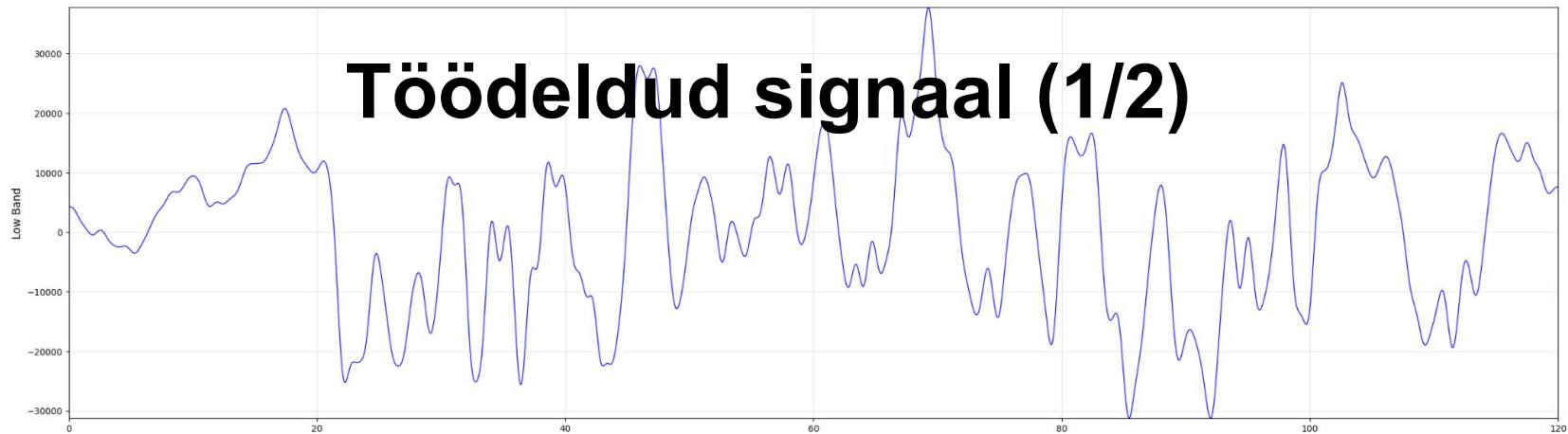
Toorsignaal lahutatakse kaheks komponendiks (kasutades 8. järku Butterworth' filtreid ühise ristumissagedusega 1Hz):

- Kõrgsagedusriba: 1 -- 20 Hz
- Madalsagedusriba: 0.01 -- 1 Hz

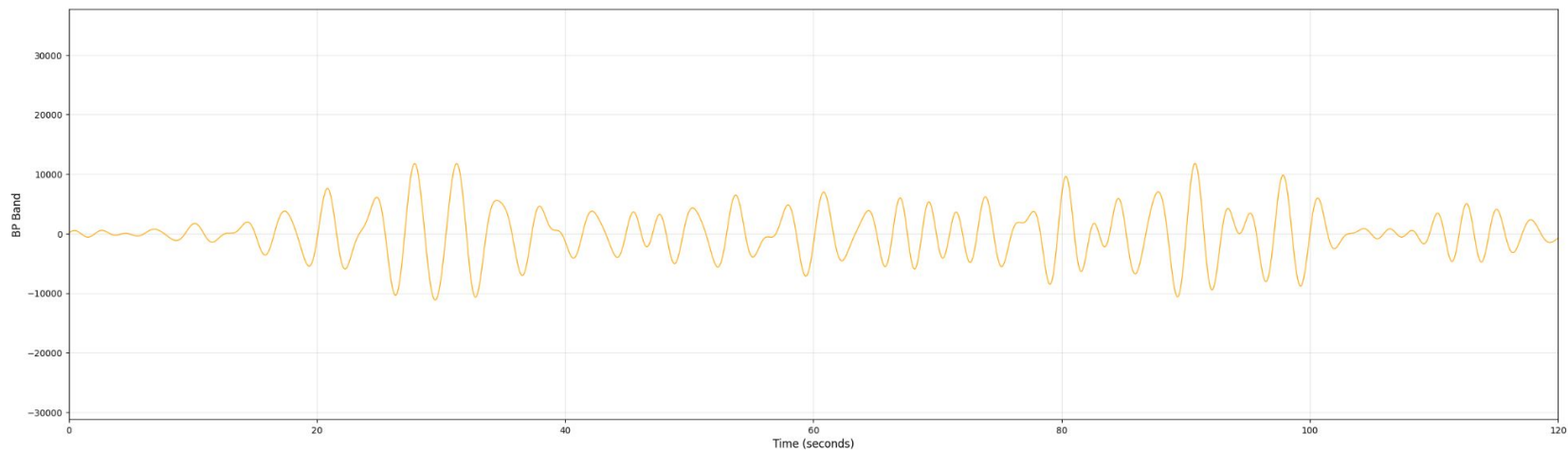
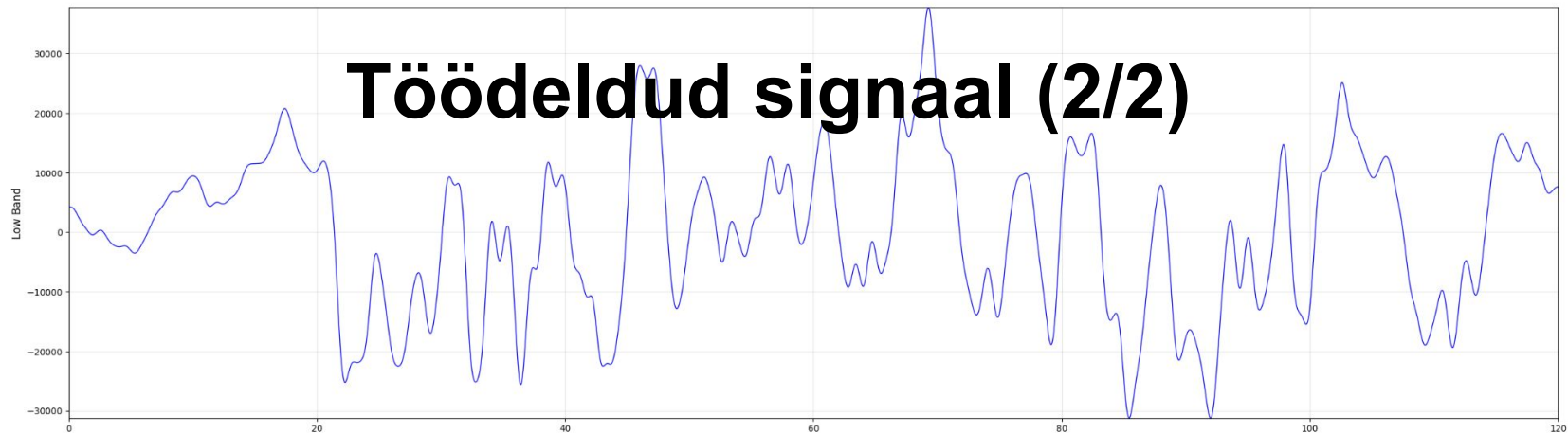
Madalsagedusribast eristatakse omakorda (kasutades 6. järku Butterworth' filtrit):

- "Laba mastist möödakäimise" sagedusriba: 0.25 -- 0.5 Hz

Töödeldud signaal (1/2)

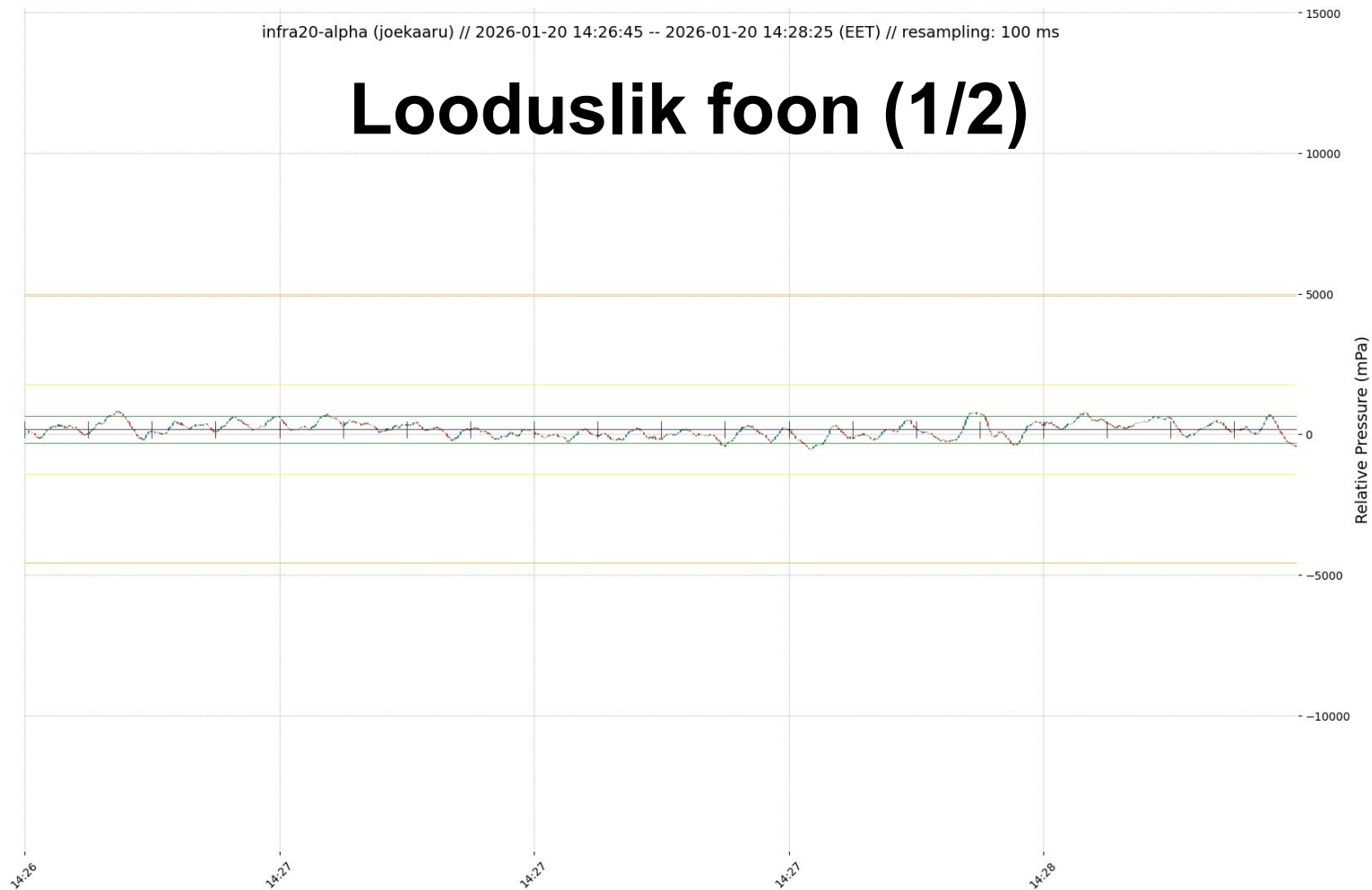


Töödeldud signaal (2/2)



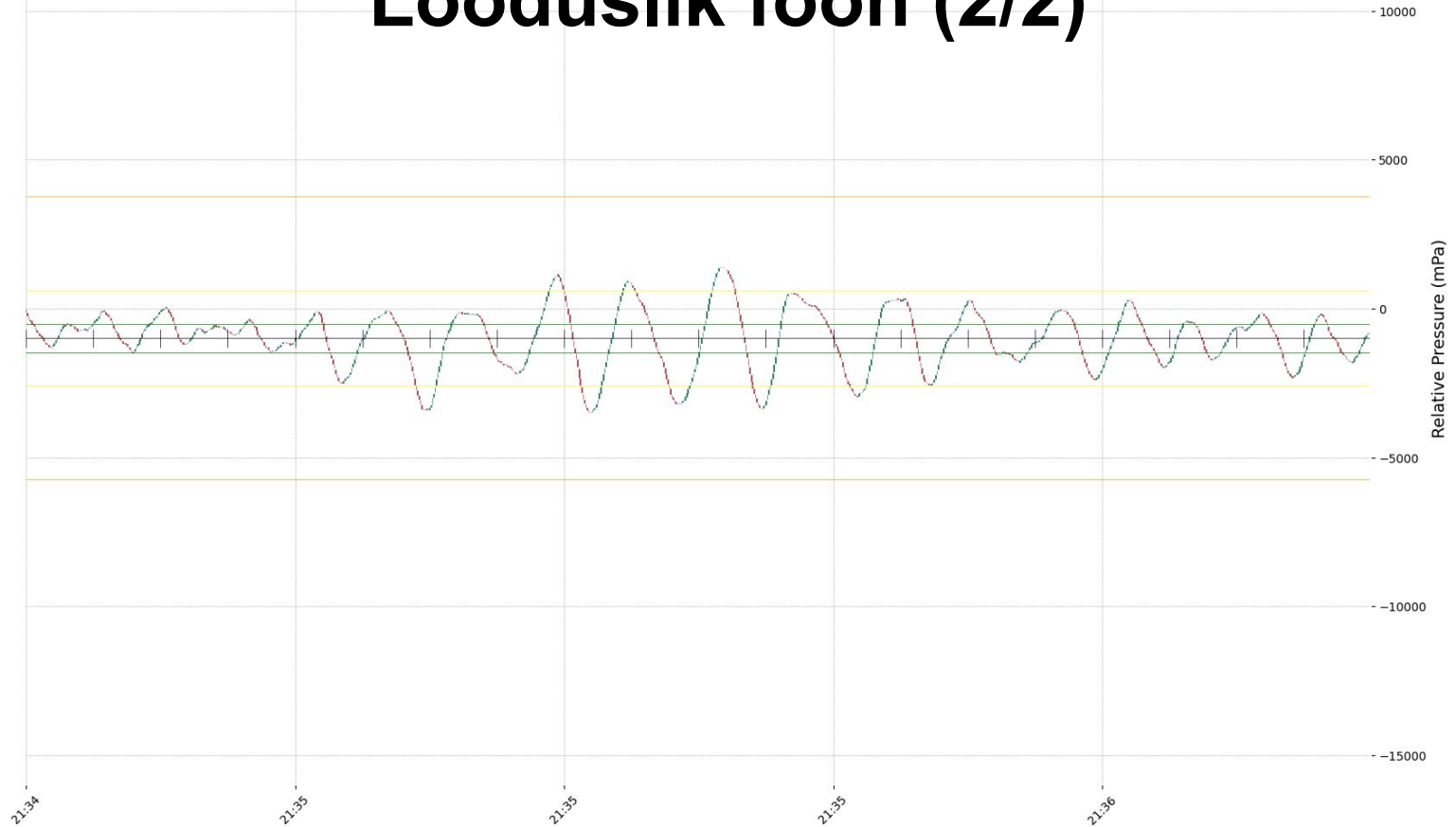
infra20-alpha (joekaaru) // 2026-01-20 14:26:45 -- 2026-01-20 14:28:25 (EET) // resampling: 100 ms

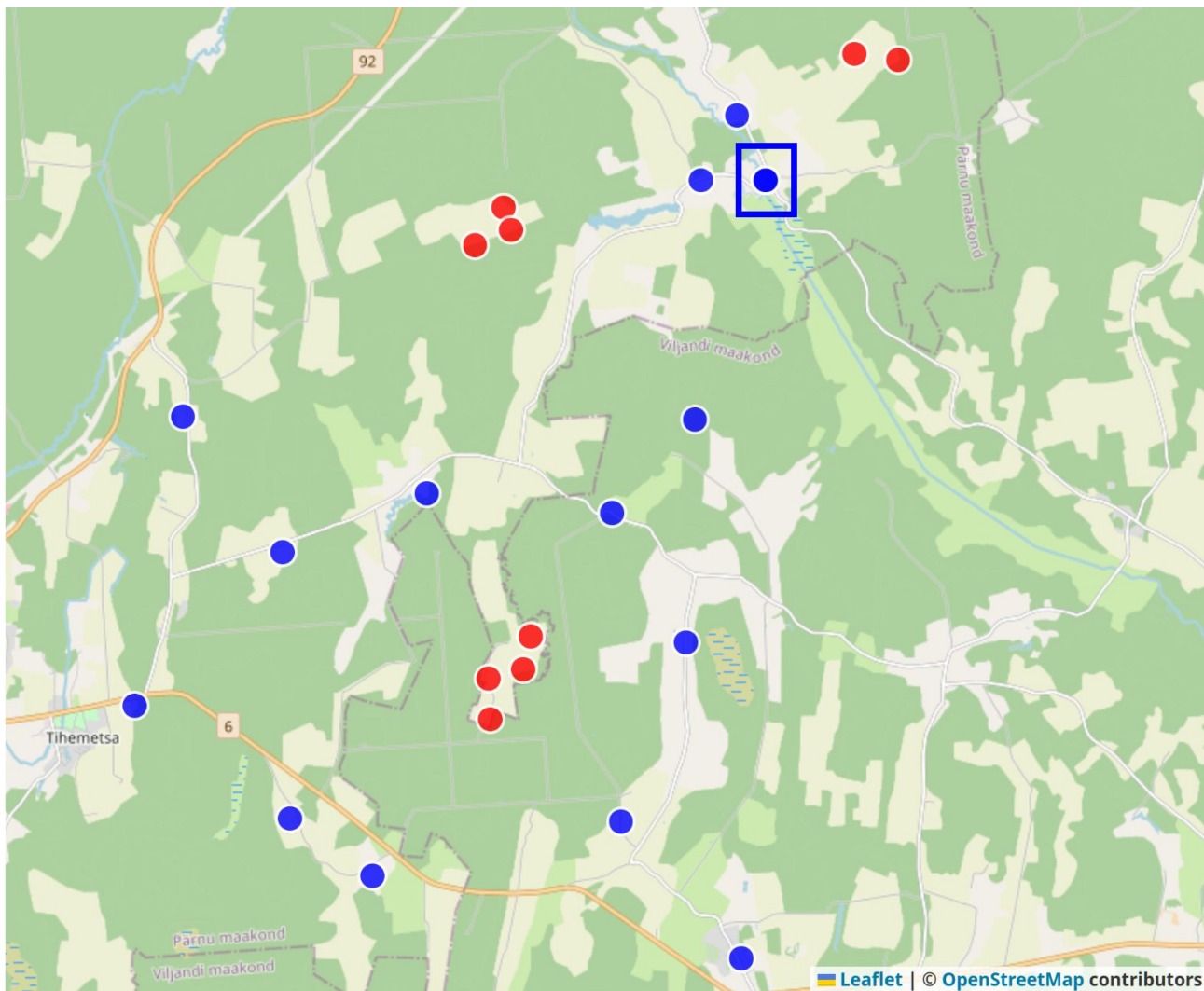
Looduslik foon (1/2)



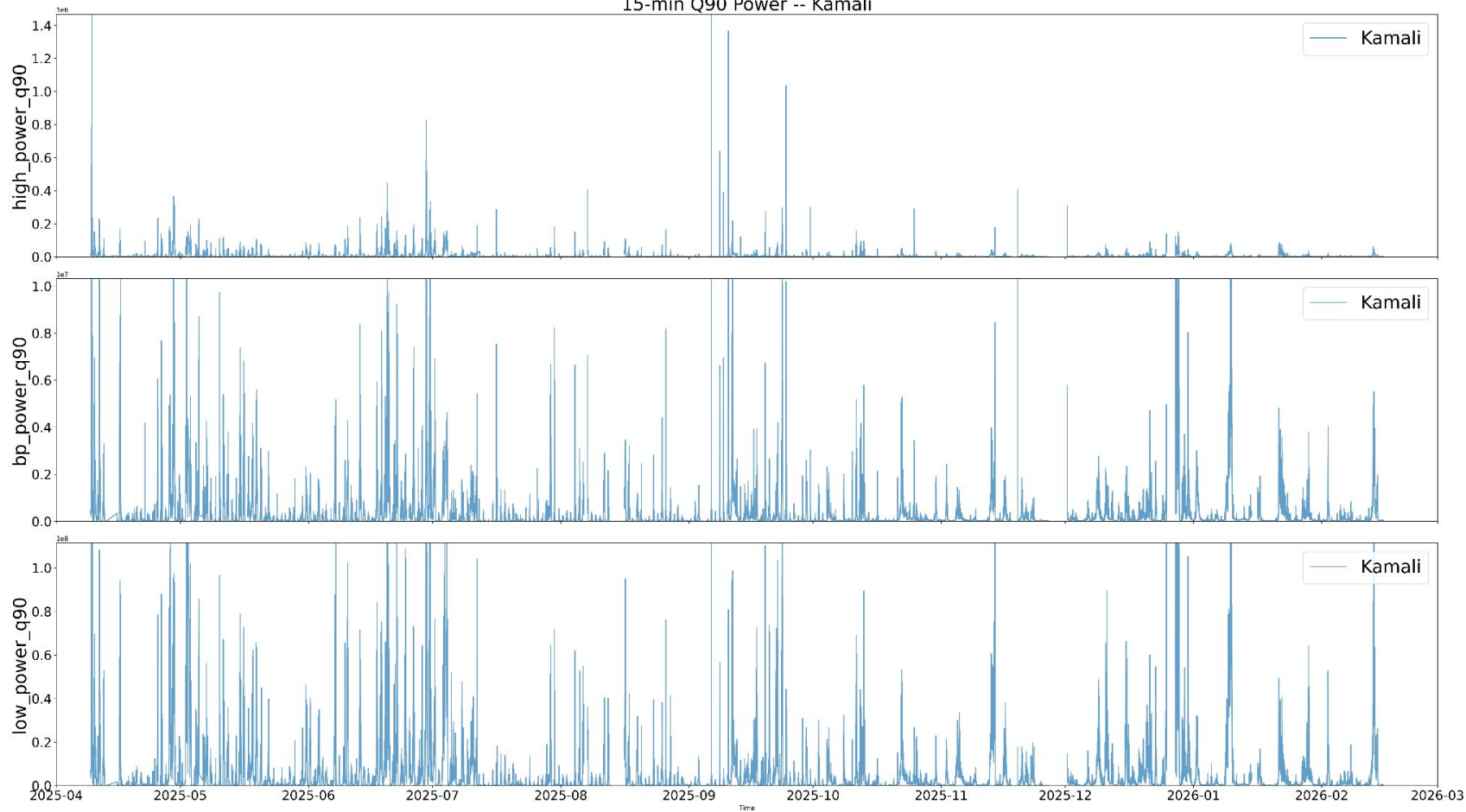
infra20-alpha (joekaaru) // 2025-12-11 21:34:45 -- 2025-12-11 21:36:25 (EET) // resampling: 100 ms

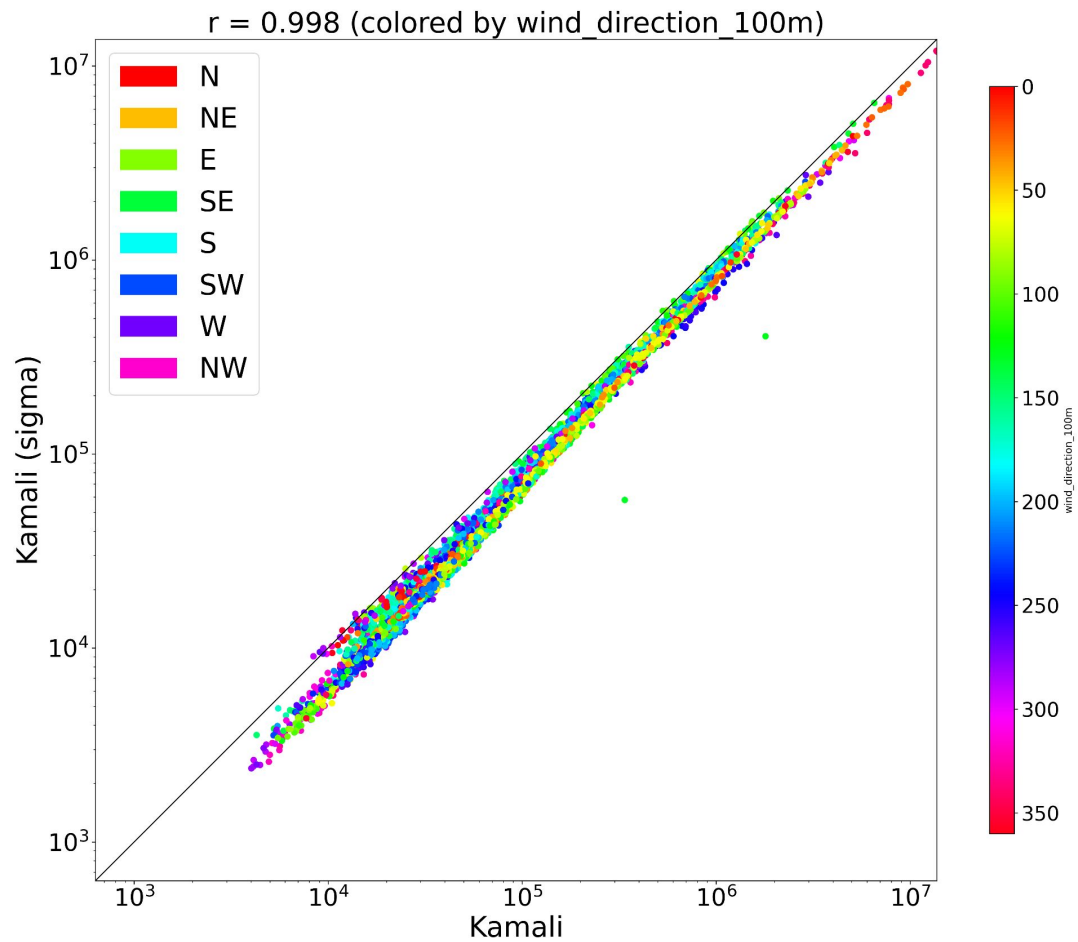
Looduslik foon (2/2)

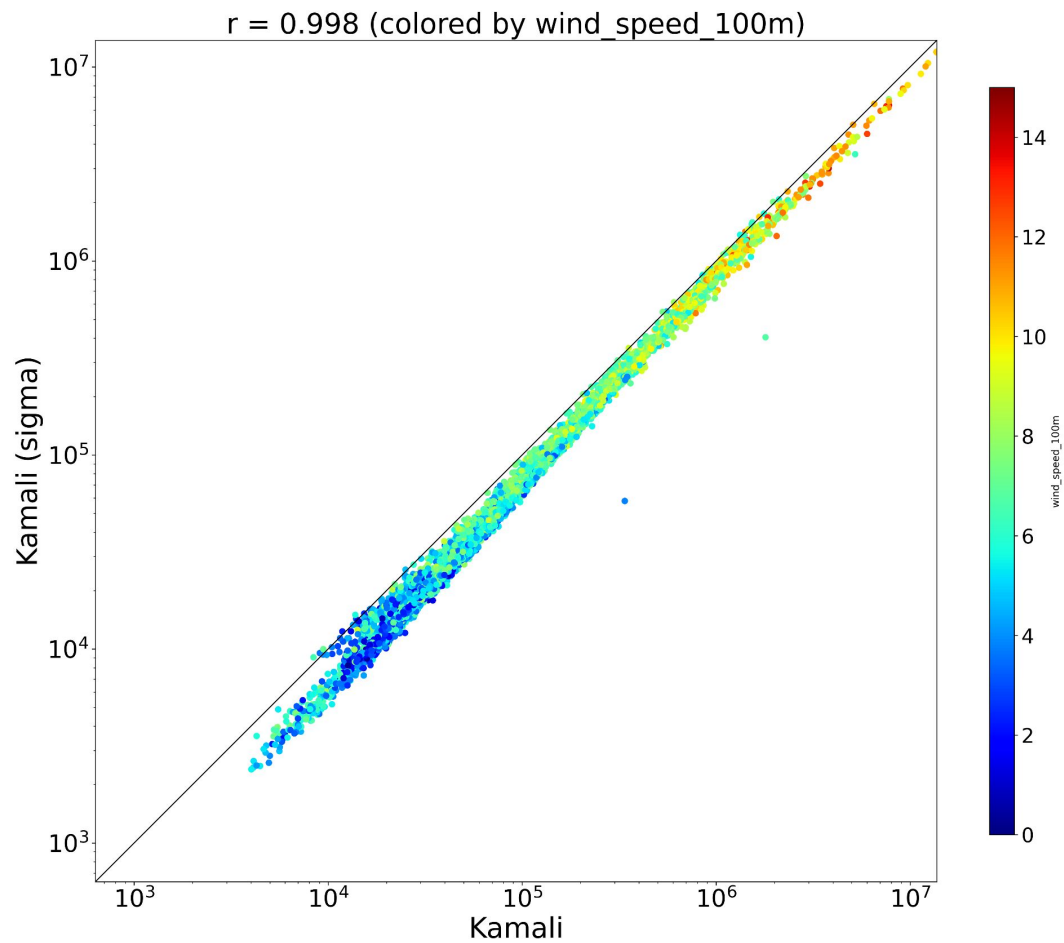


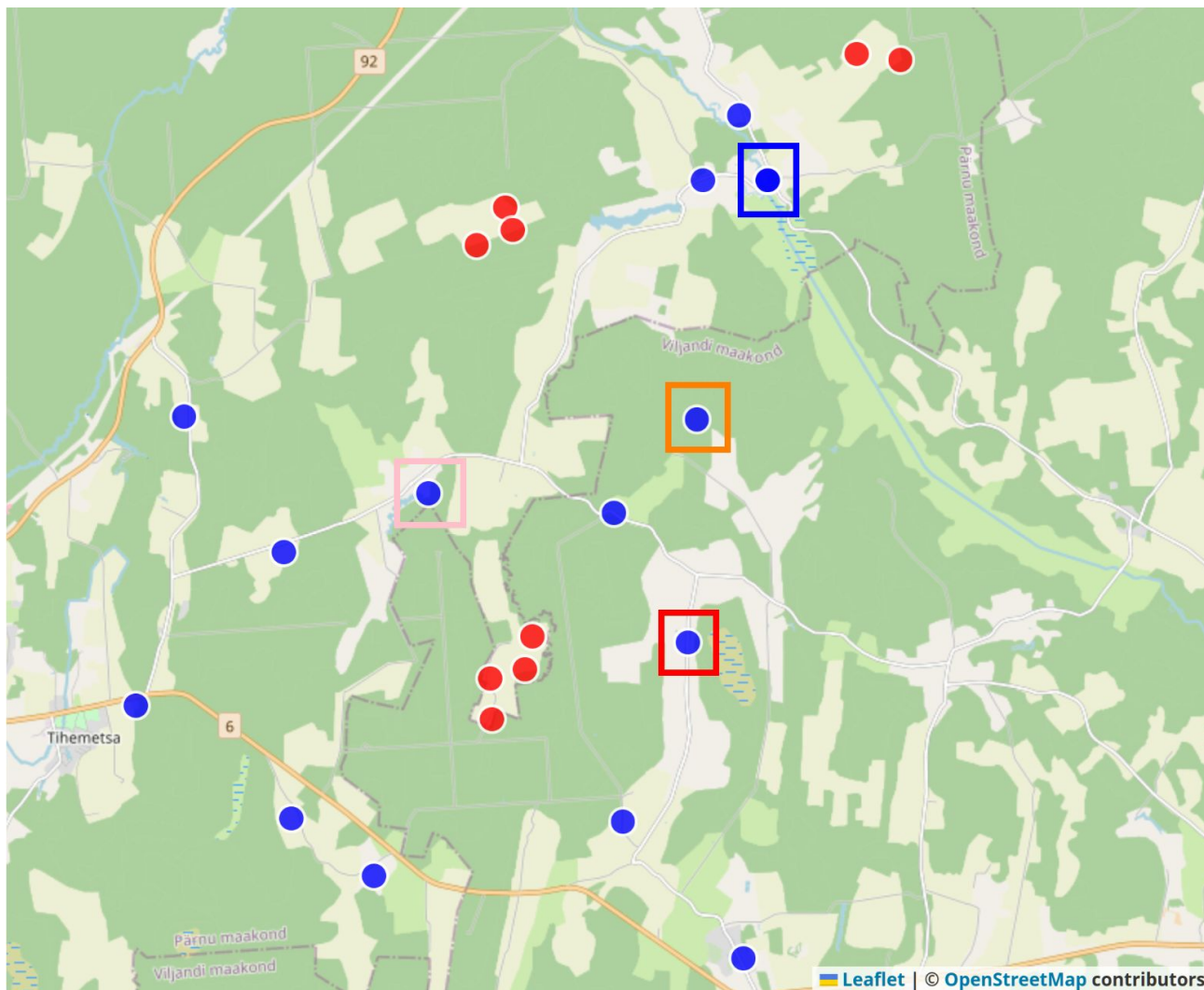


15-min Q90 Power -- Kamali

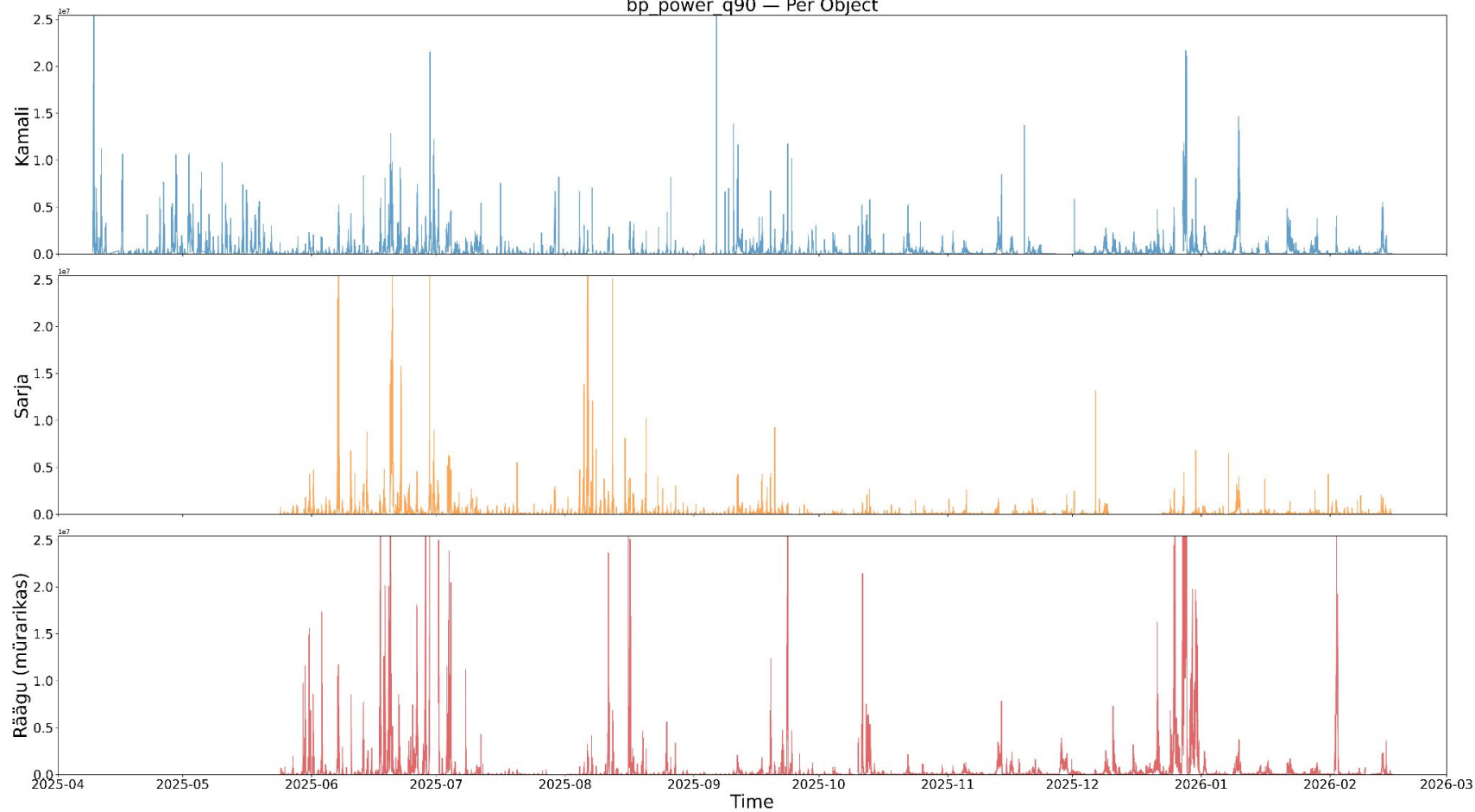




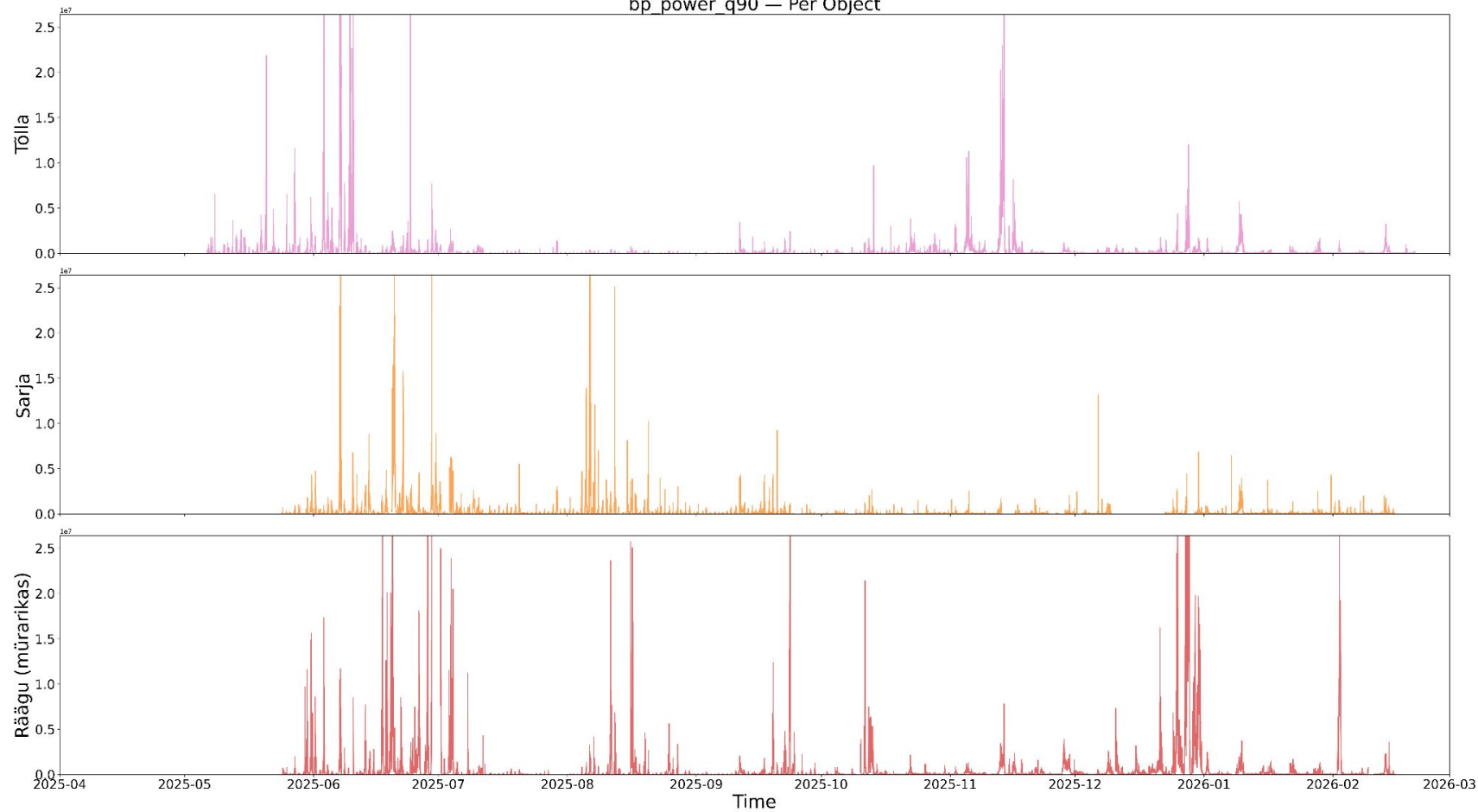


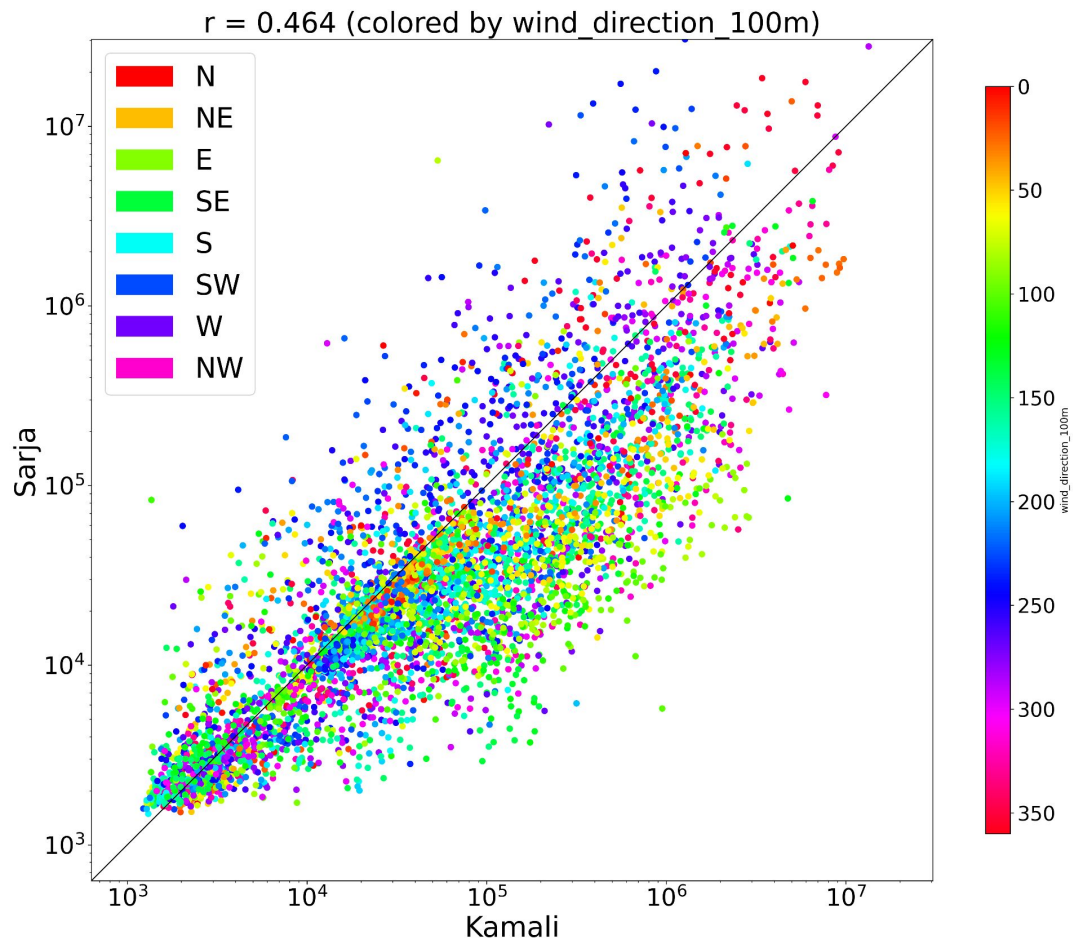


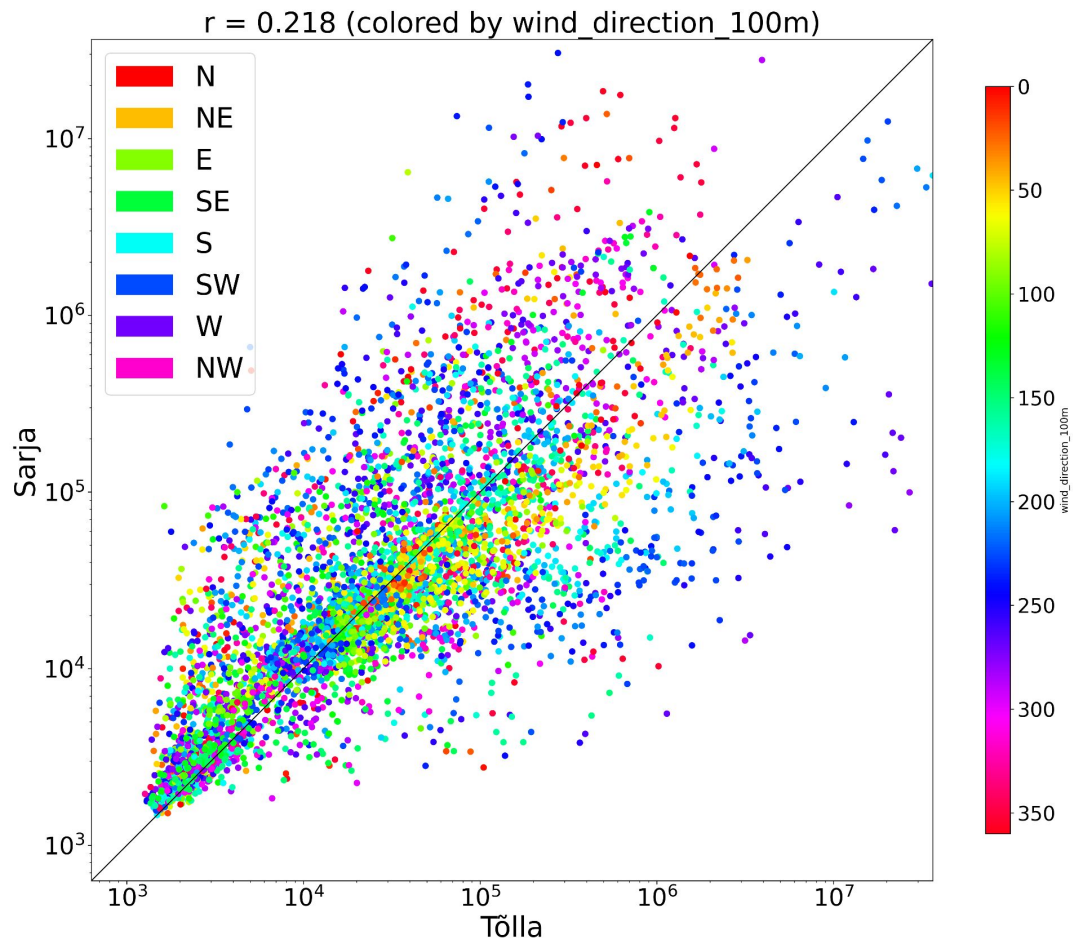
bp_power_q90 — Per Object

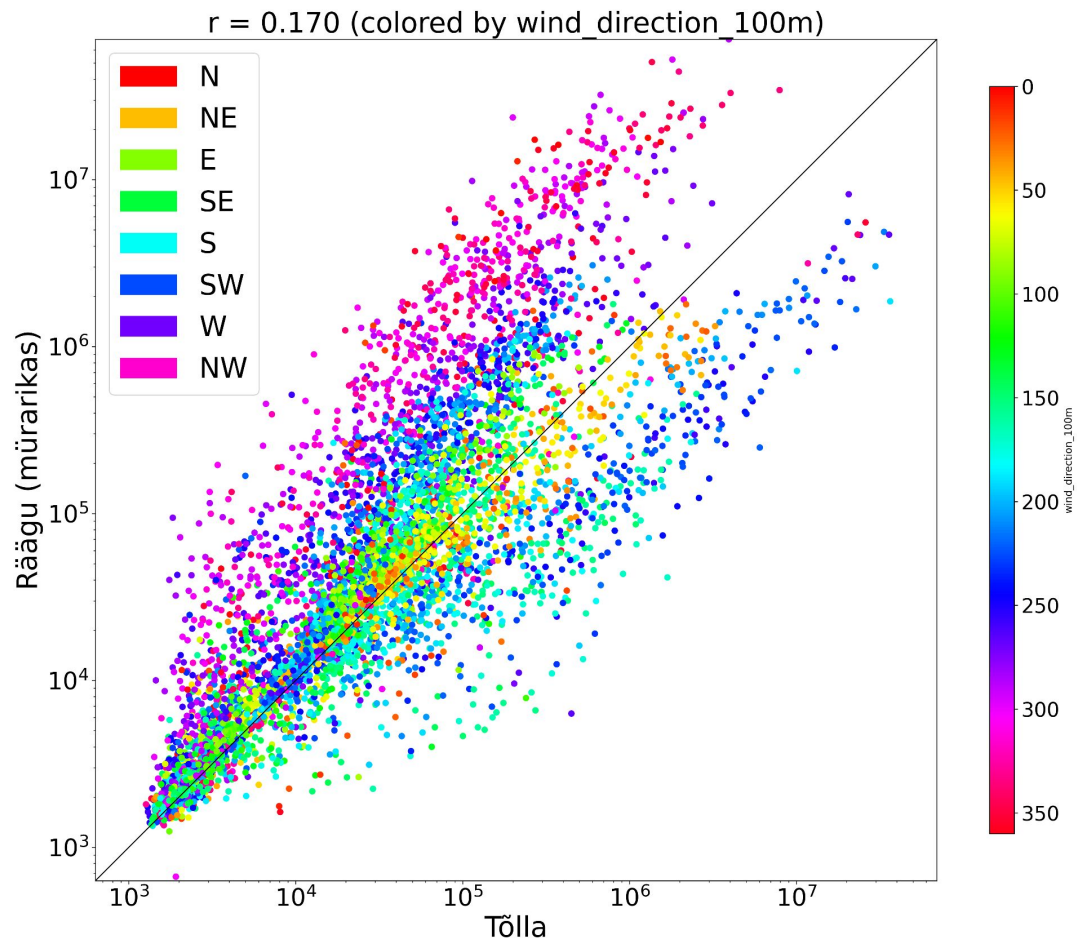


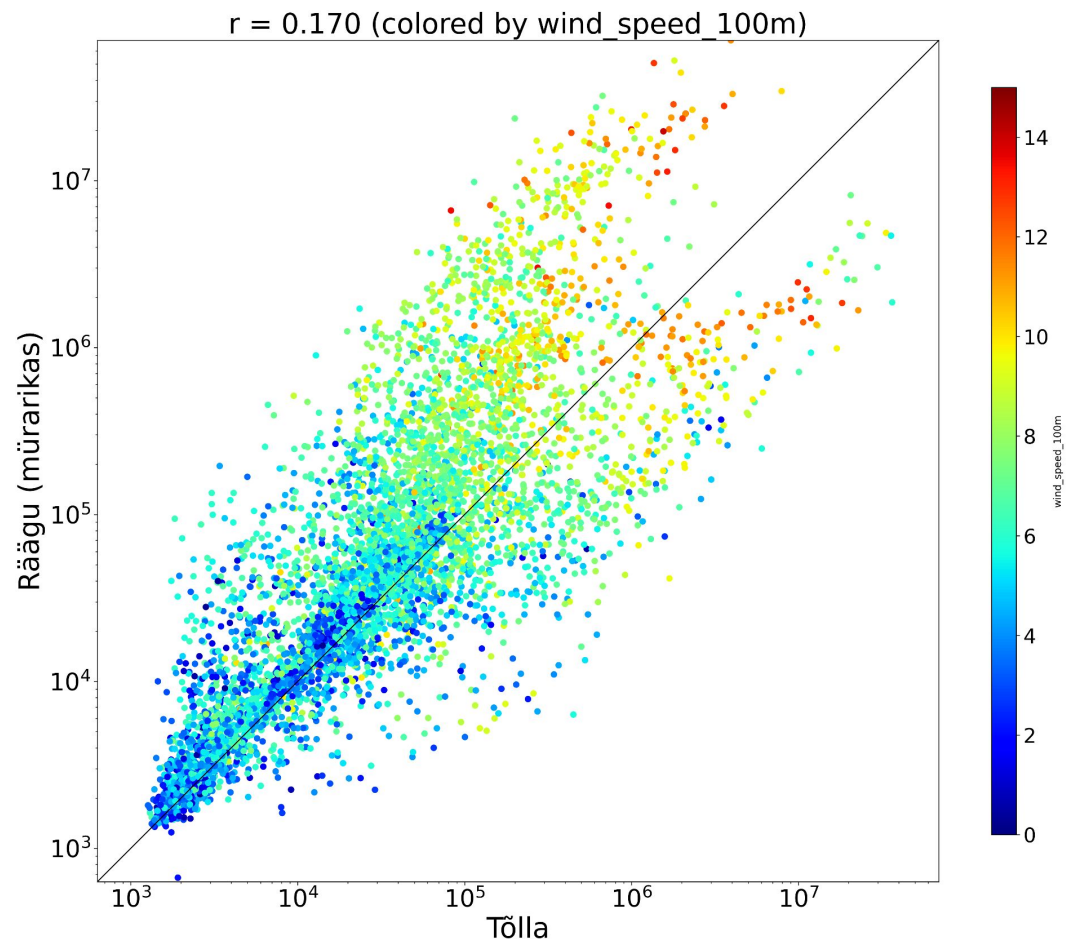
bp_power_q90 — Per Object

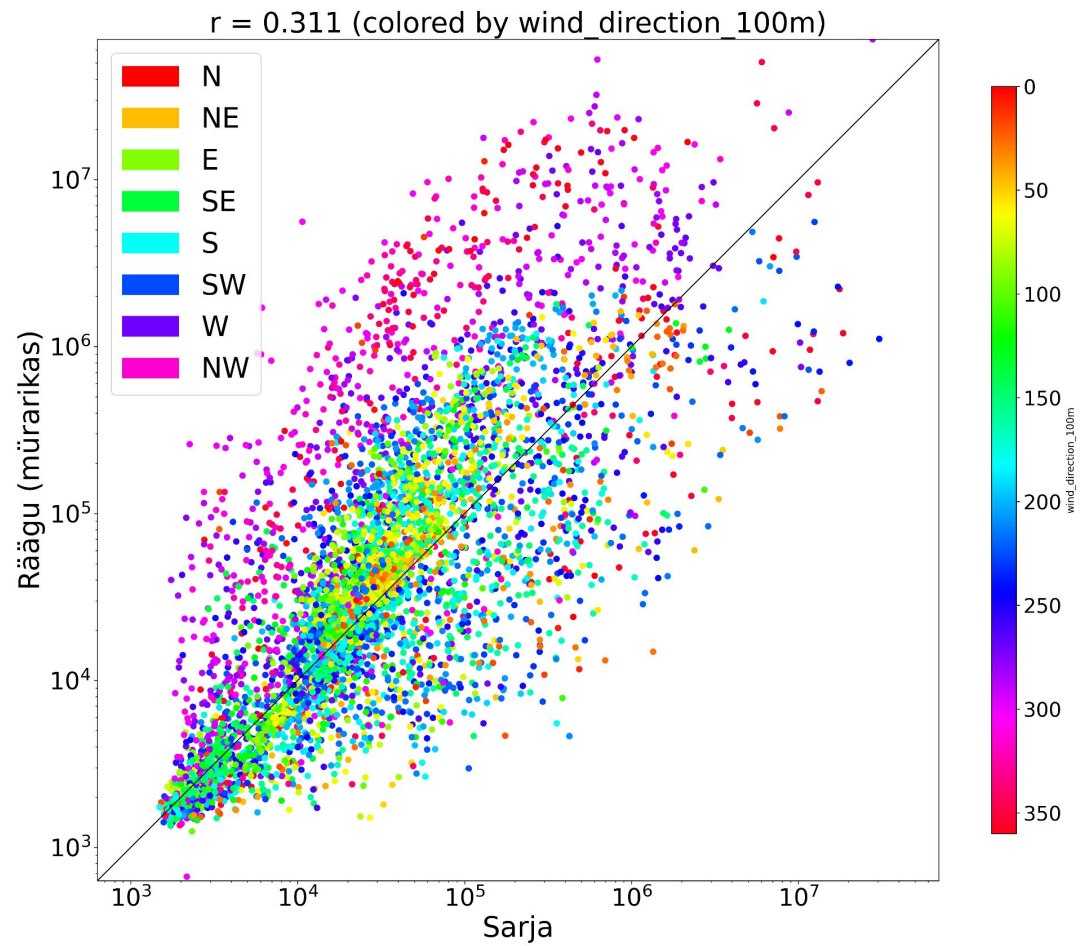


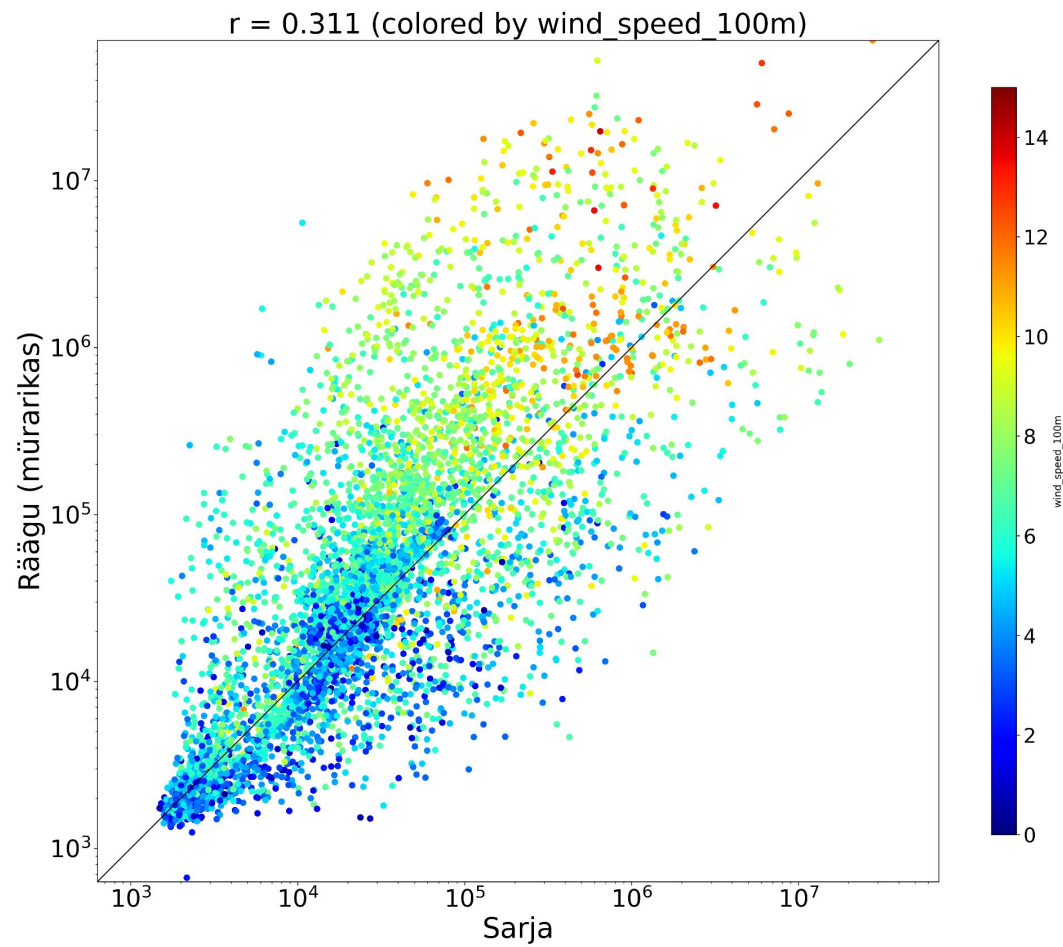


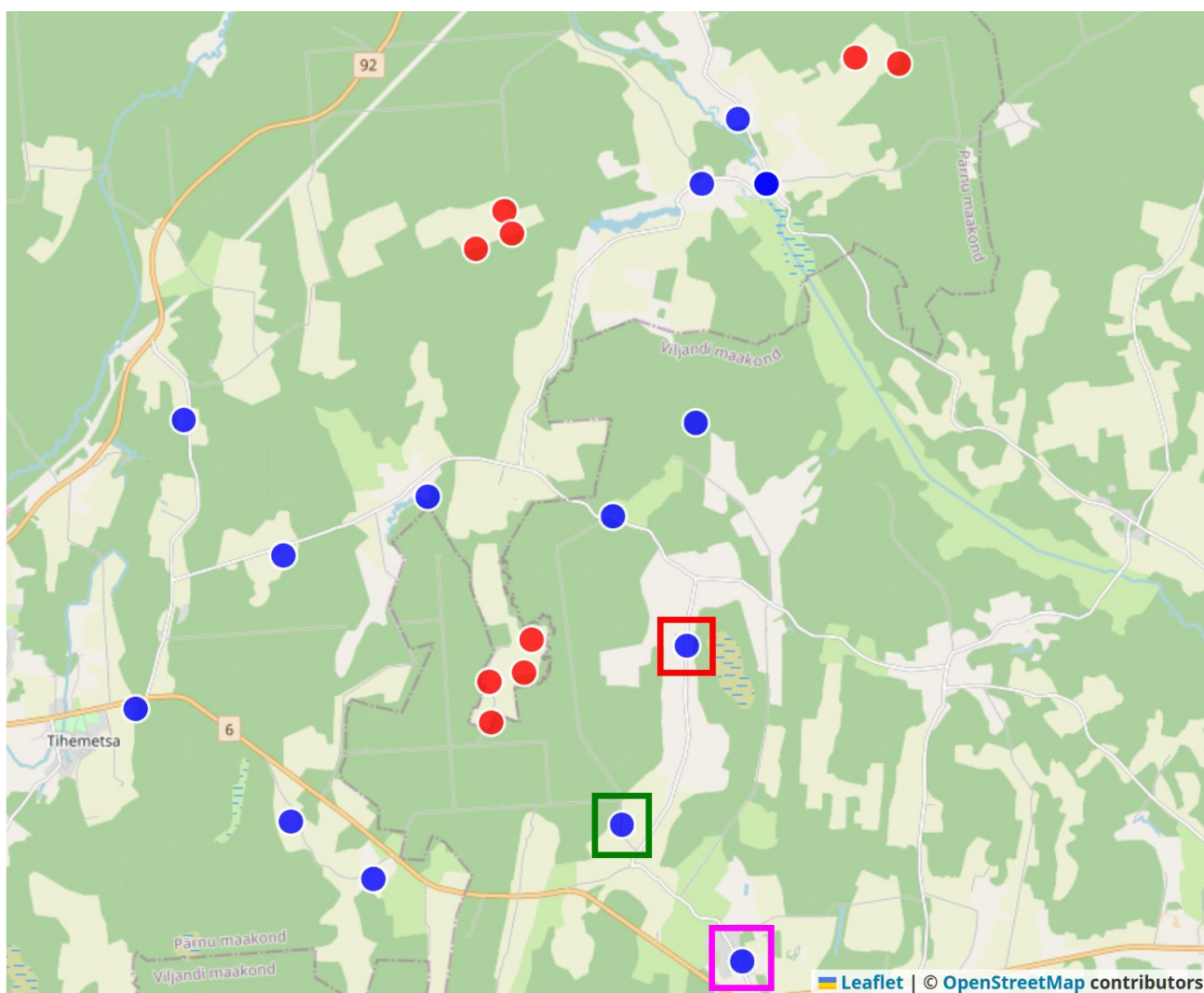




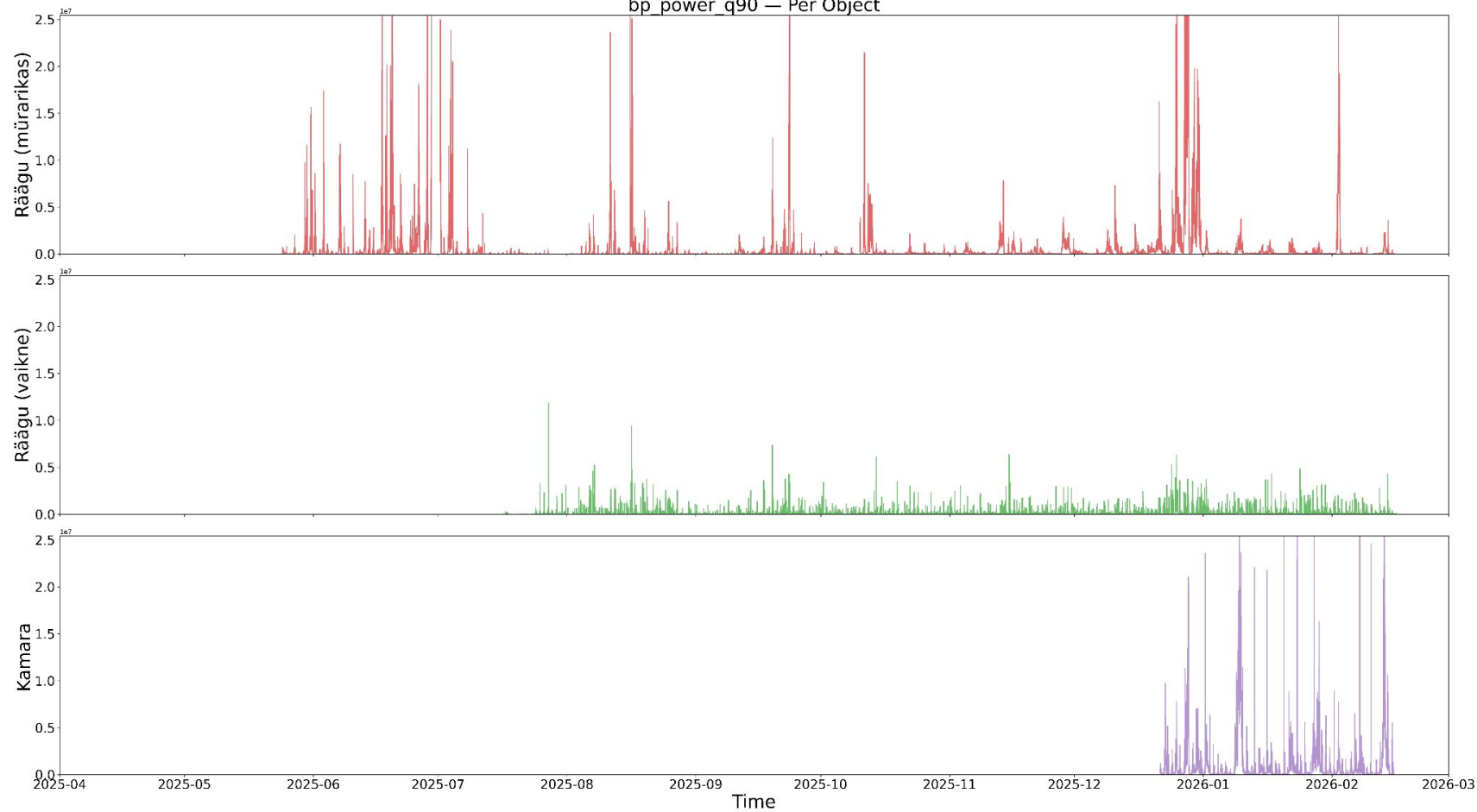


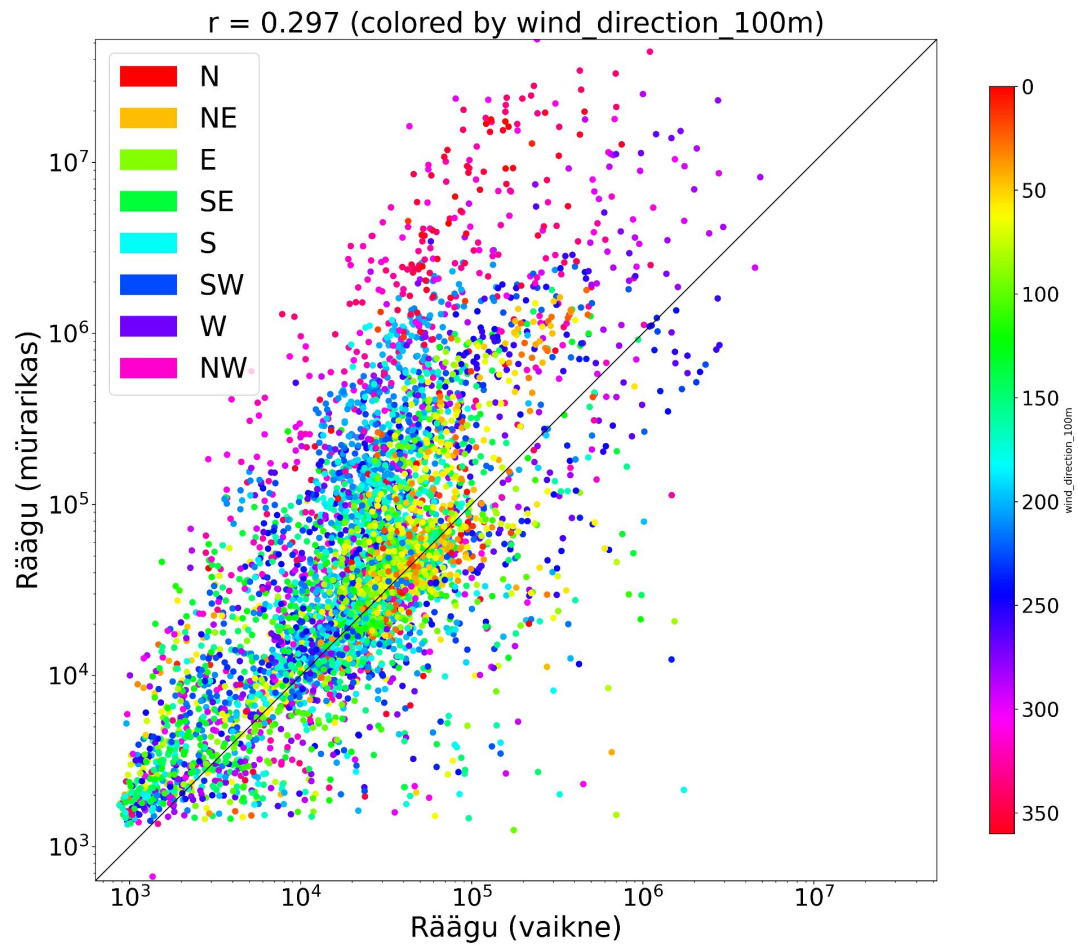


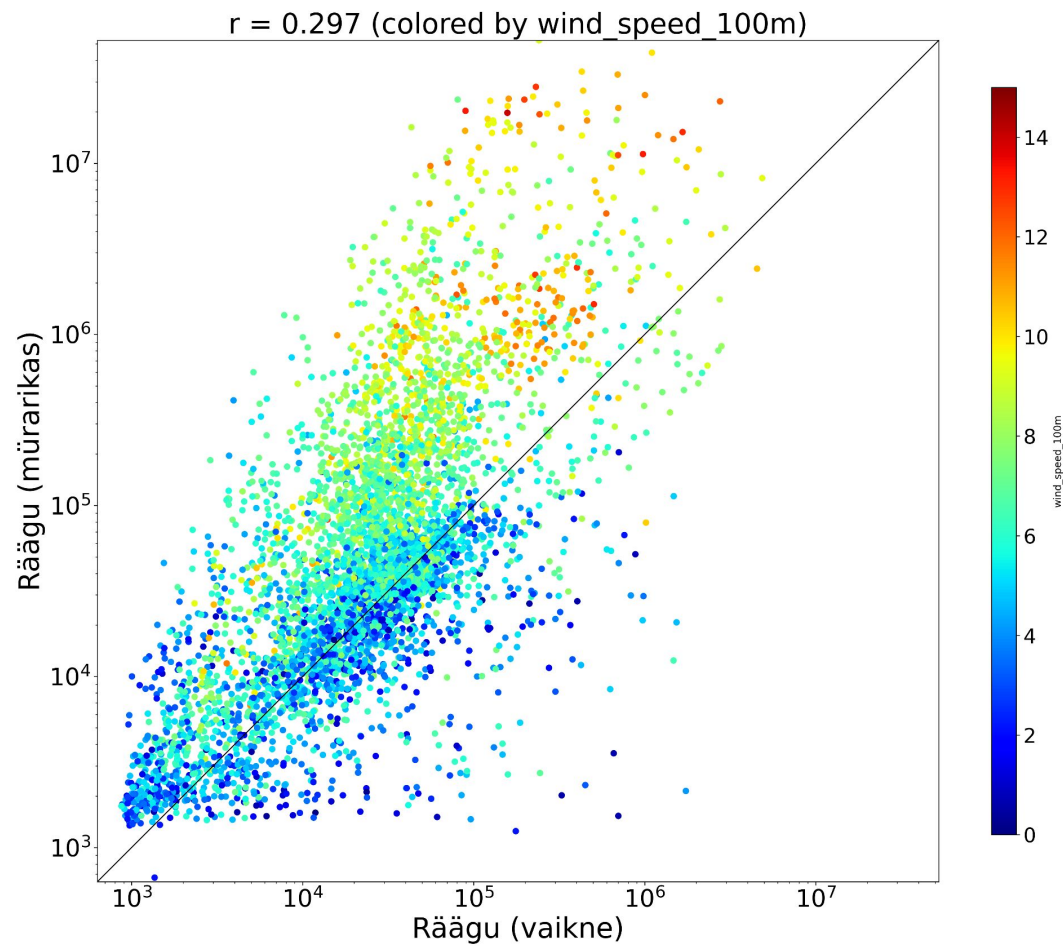


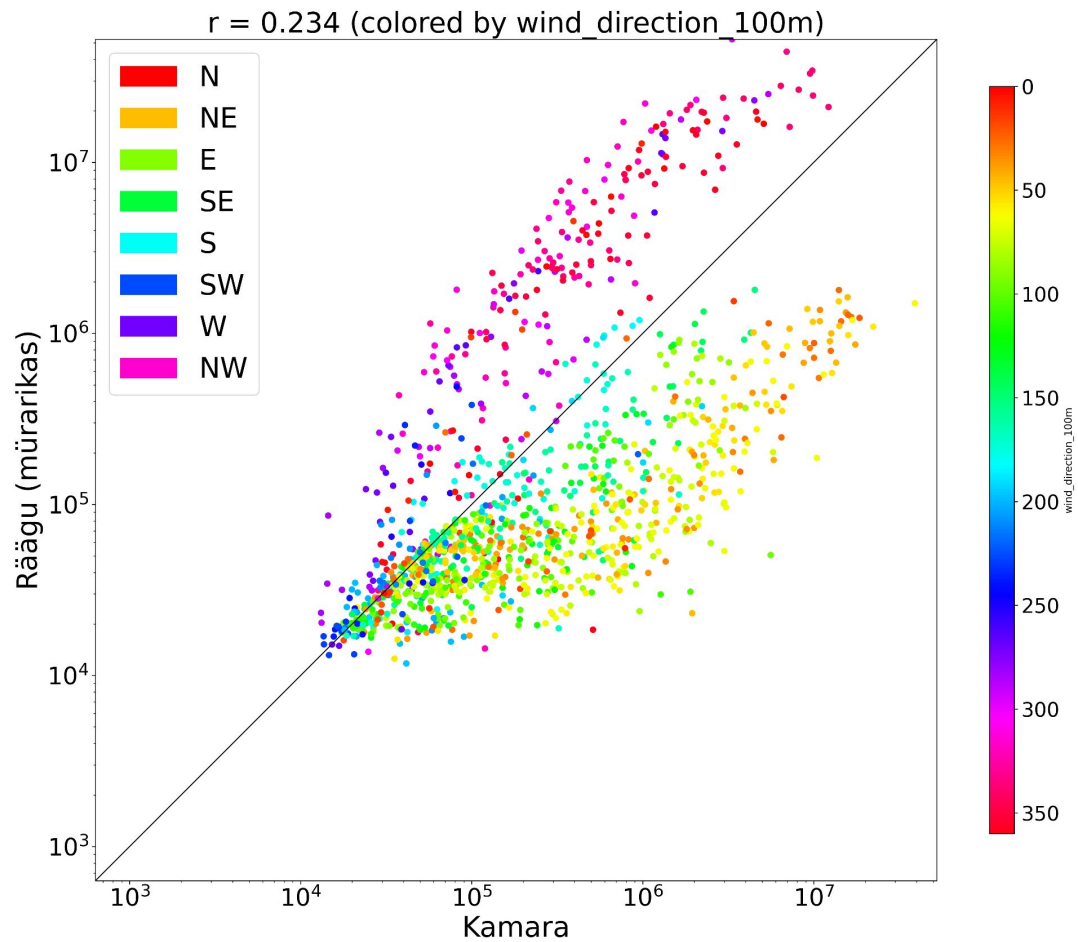


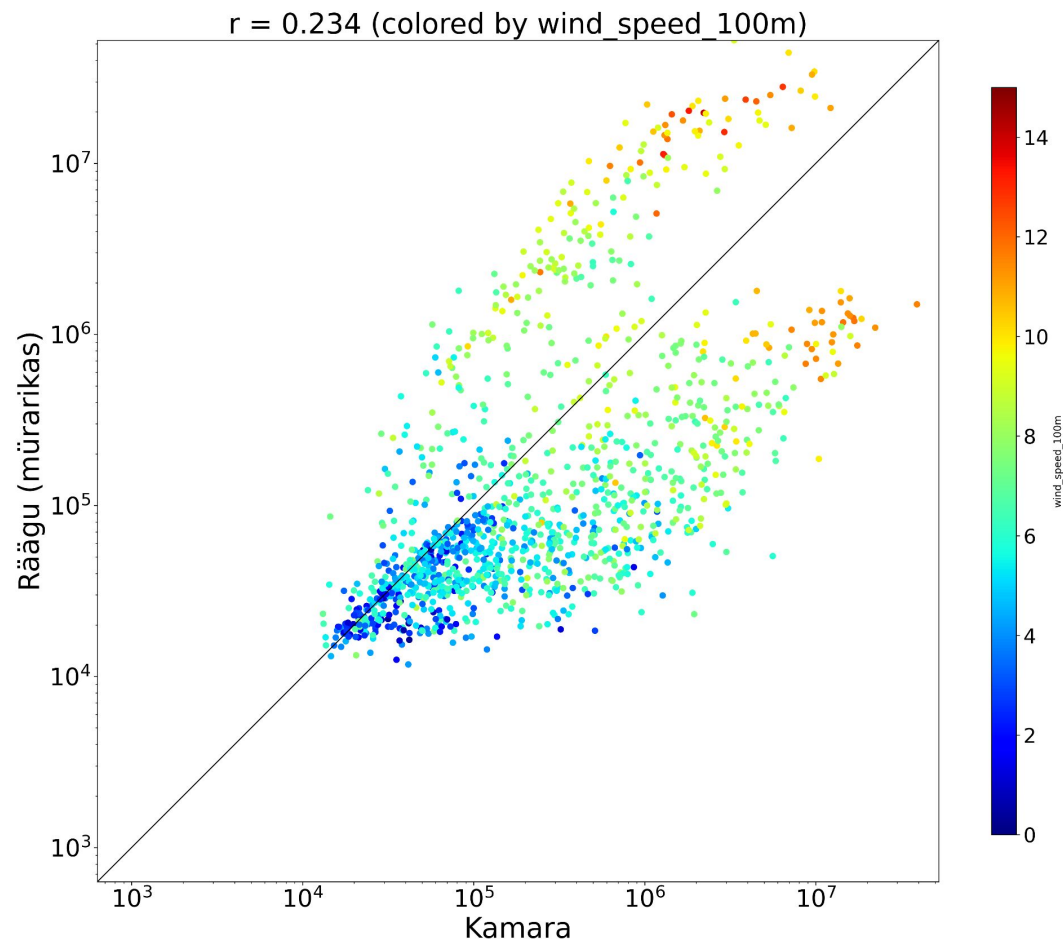
bp_power_q90 — Per Object





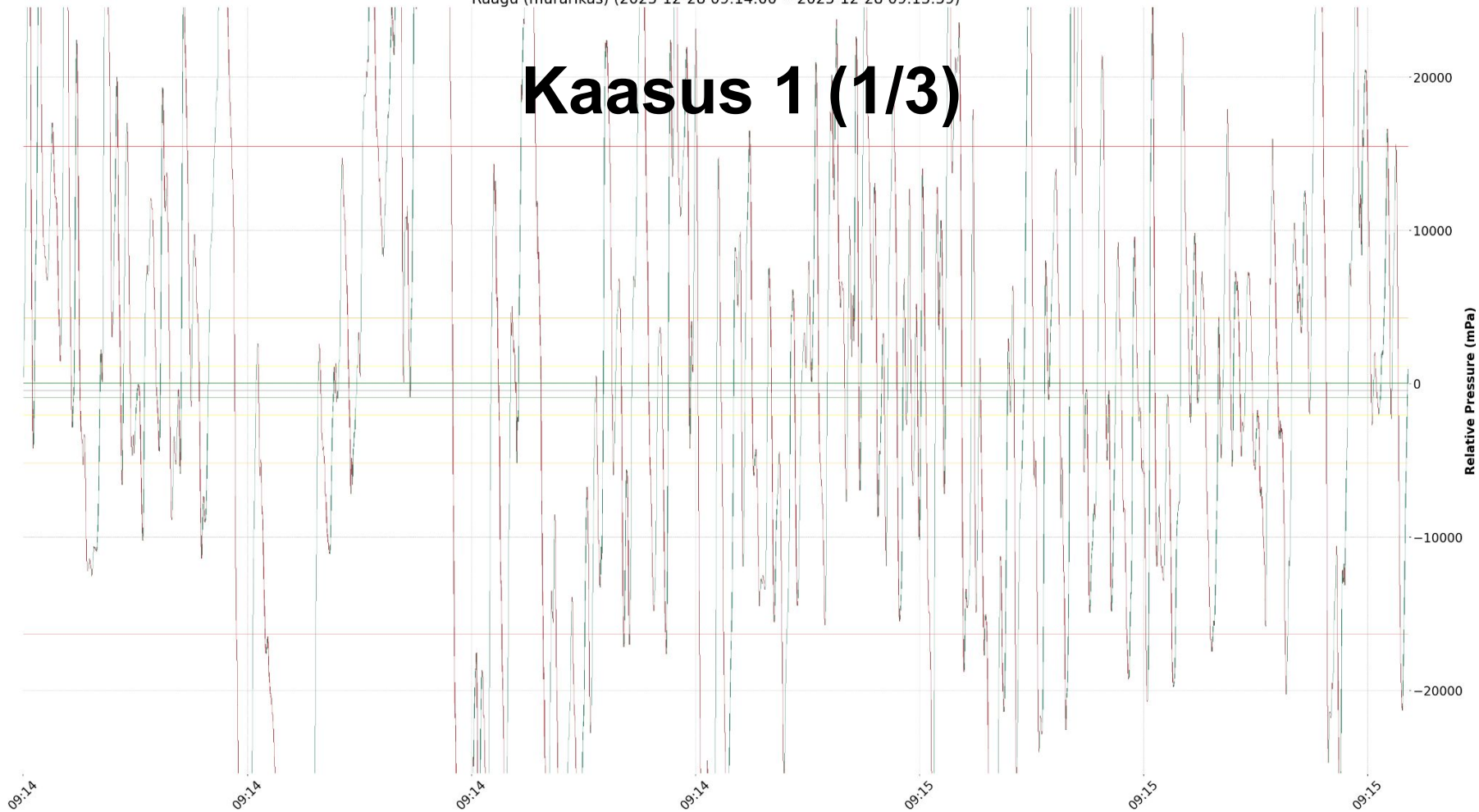






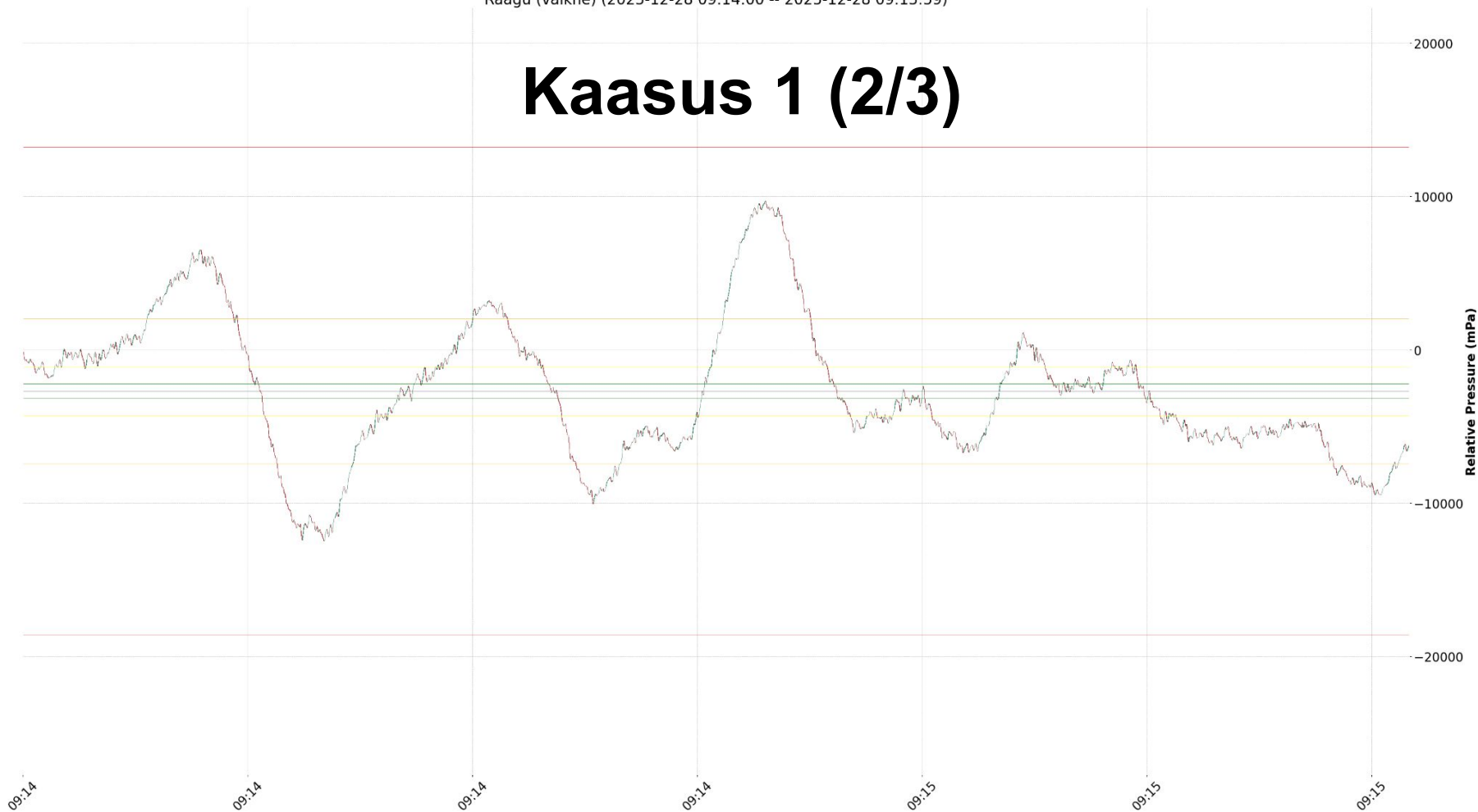
Räägu (mürarikas) (2025-12-28 09:14:00 -- 2025-12-28 09:15:59)

Kaasus 1 (1/3)

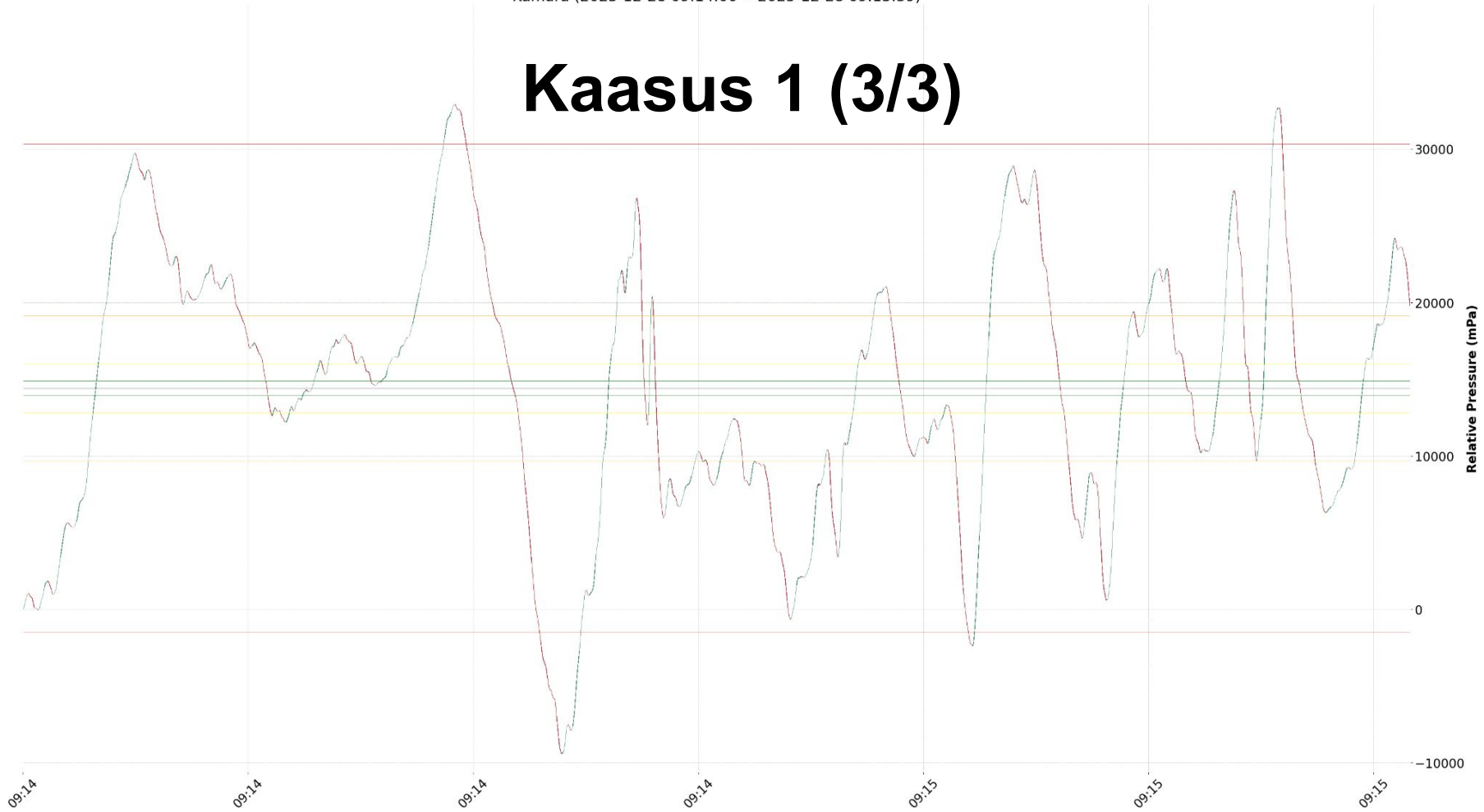


Räägu (vaikne) (2025-12-28 09:14:00 -- 2025-12-28 09:15:59)

Kaasus 1 (2/3)

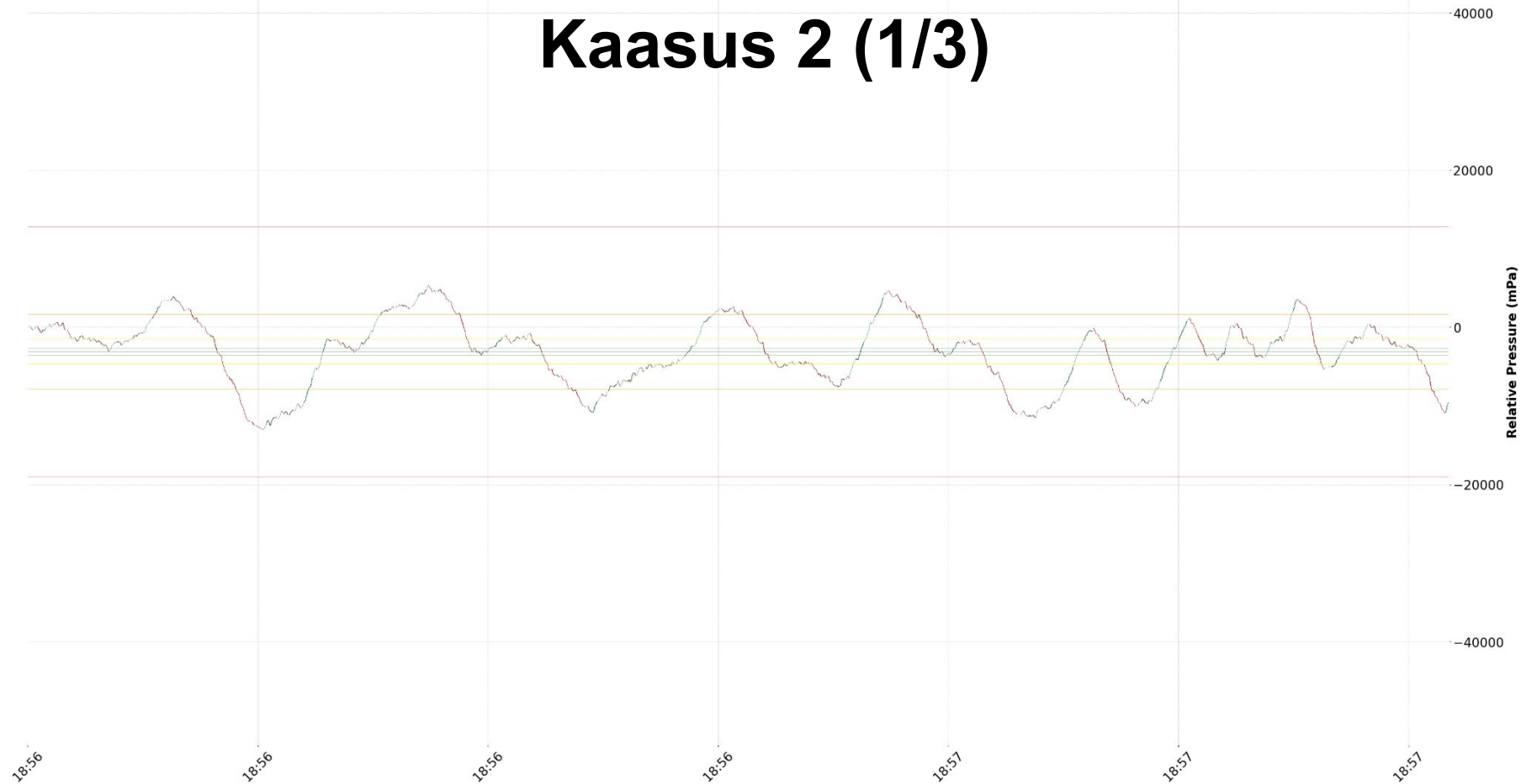


Kaasus 1 (3/3)



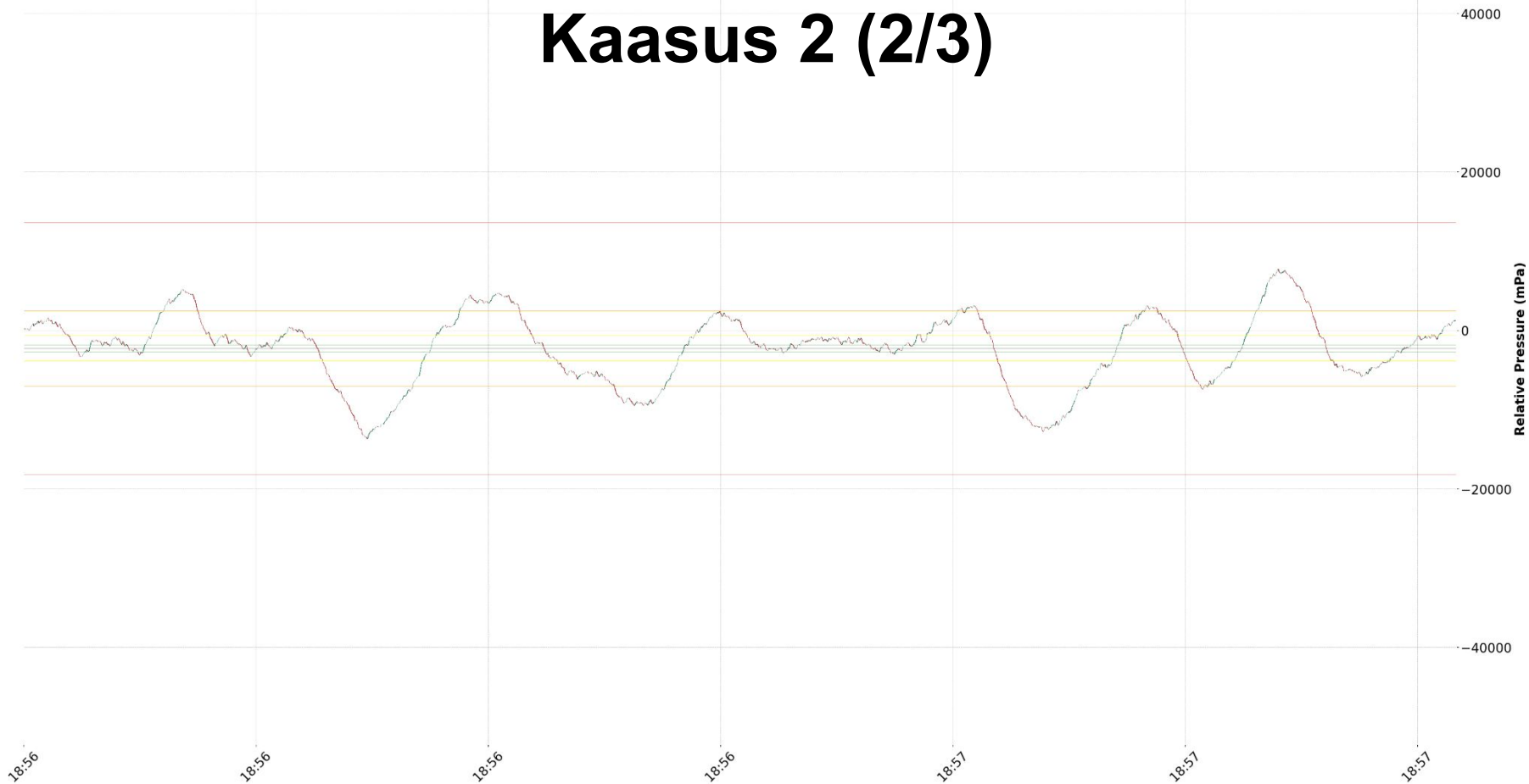
Räägu (mürarikas) (2026-01-09 18:56:00 -- 2026-01-09 18:57:59)

Kaasus 2 (1/3)

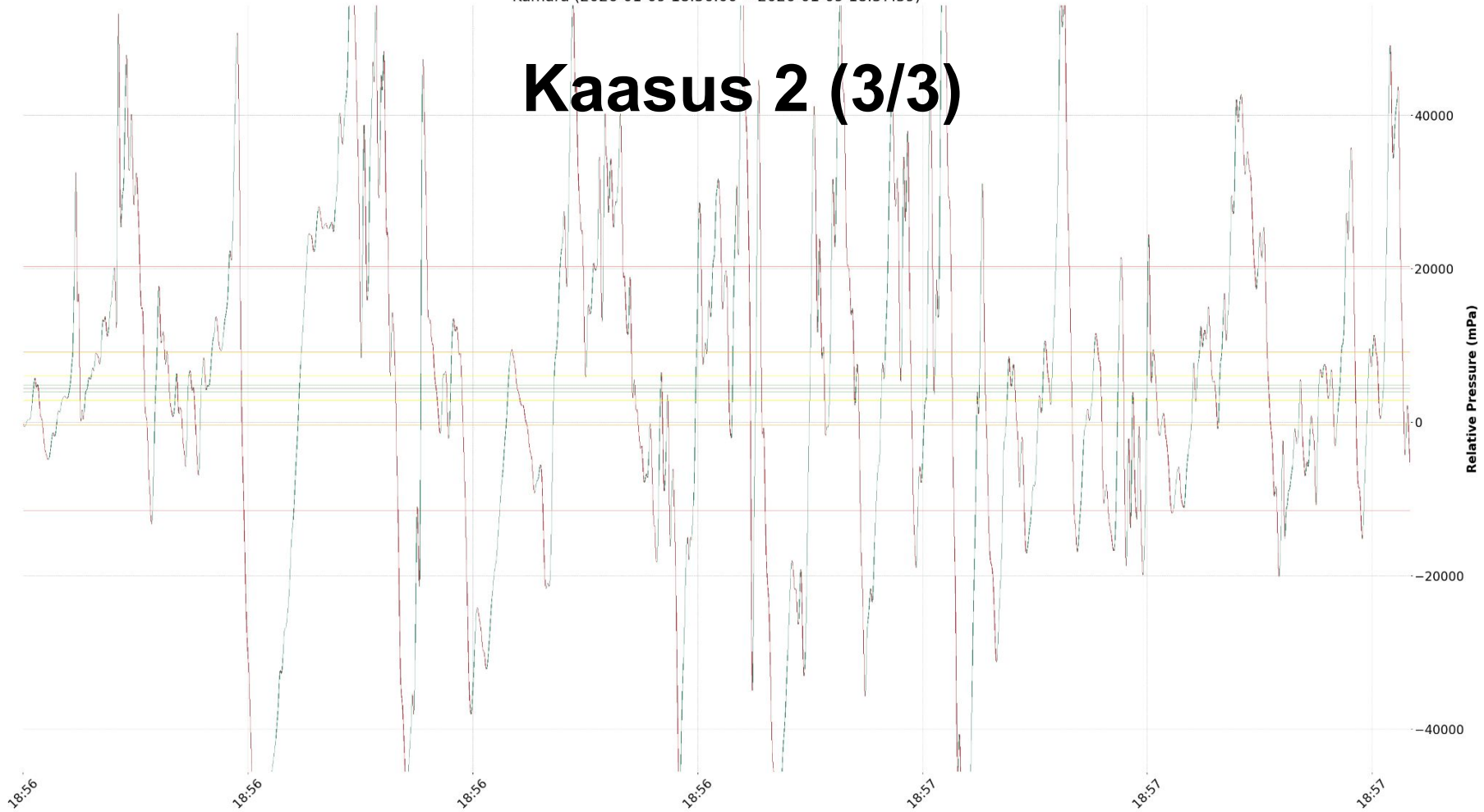


Räägu (vaikne) (2026-01-09 18:56:00 -- 2026-01-09 18:57:59)

Kaasus 2 (2/3)

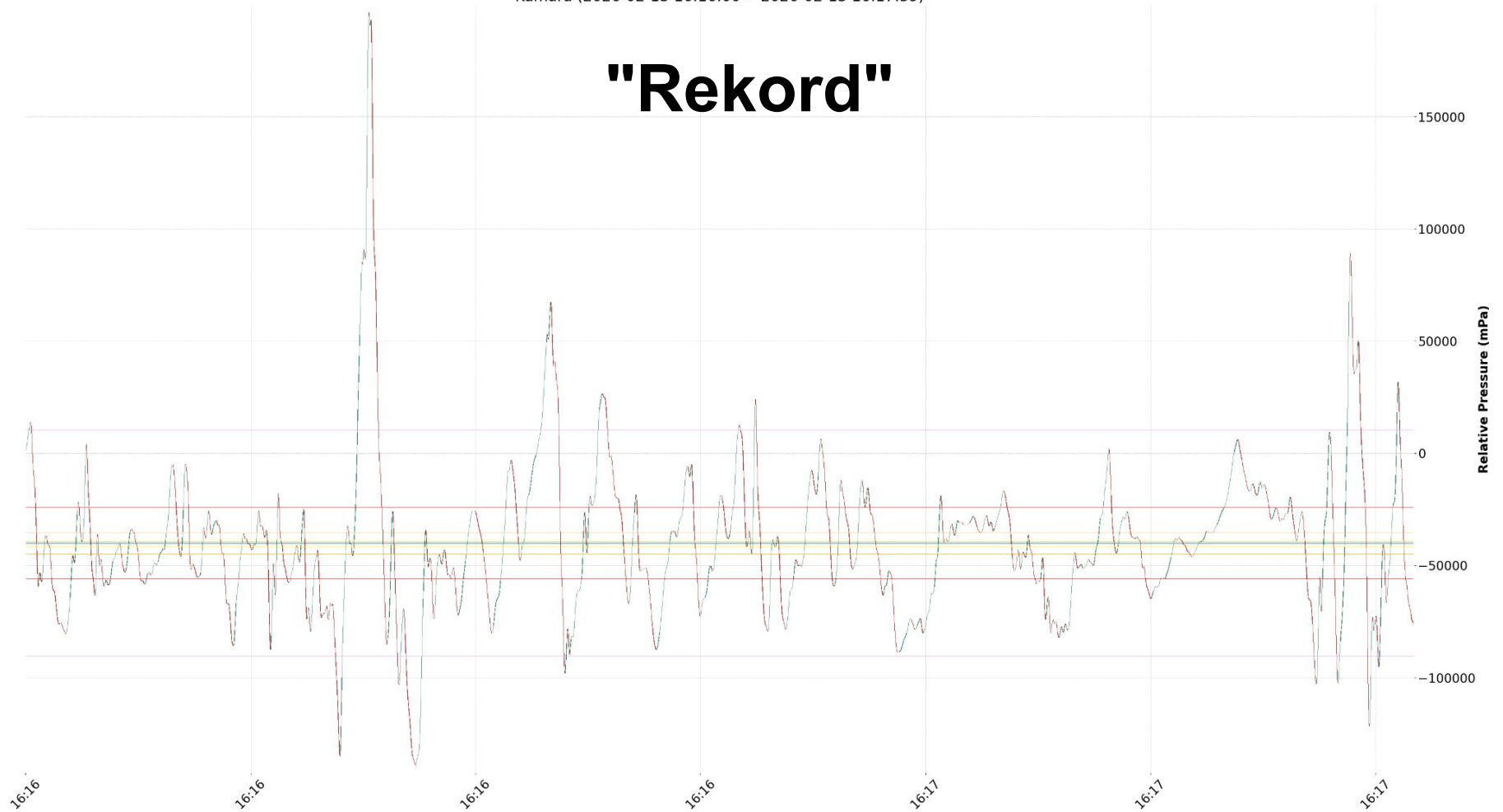


Kaasus 2 (3/3)



Kamara (2026-02-13 16:16:00 -- 2026-02-13 16:17:59)

"Rekord"



Järeldused

- Erinevad mürakomponendid on omavahel seotud.
- Suurima energiaga on nn. madalsagedusliku infraheli sagedusriba 0.01 -- 1 Hz.
- Võnkumise esinemine (jah/ei) sõltub tuule suunast. Määrav tegur objekti asukoht lähimate tuugenite suhtes.
- Võnkumise amplituud sõltub tuule kiirusest. Skaleerub kõigil objektidel ühtemoodi. Esineb laeväärtus.
- Võnkumine nõrgeneb vahemaa kasvades minimaalselt.
- Otsenähtavus tiivikutega halvendab olukorda.

Ettepanekud ÜP täiendamiseks (1/5)

Täpsustada riiklikku regulatsiooni, et helispektri nn. madalsagedusliku infraheli lõiku (0 -- 1 Hz) tuleb käsitleda eraldiseisvana infraheli ja kuuldava heli lõikudest.

Eelmise põlvkonna tuugenid tekitavad suurima häirituse infraheli sagedusriba alumises osas (1 -- 3 Hz).

Uusimad väga suuremõõtmelised tuugenid tekitavad seda aga suurusjärg madalamatel sagedustel (0.2 -- 0.5 Hz).

Ettepanekud ÜP täiendamiseks (2/5)

Täpsustada riiklikku regulatsiooni, et infraheli (1 -- 20 Hz) ja eriti madalsagedusliku infraheli (0 -- 1 Hz) sagedusribades tuleb (heli-)rõhutasemeid hinnata nende **füüsikalise sisu**, mitte inimese kuulmismeele parameetrite järgi.

Absoluutväärtuste asemel võiks kaaluda piirnormide formuleerimist loodusliku fooni suhtes (nt. LF + 10 dB). Eesmärk motiveerida tuuleparkide arendajaid valima alternatiivseid, vähem-mürarikkeid tehnoloogiaid.

Ettepanekud ÜP täiendamiseks (3/5)

Tuulepargi operaatoril peab olema kohustus teostada *pikaajalist instrumentaalset monitooringut* seni kuni kõik oluline keskkonnamõju on ammendavalt välja selgitatud.

Monitoorimisandmed kättesaadavad nn. avaandmete vormis.

Tuulepargi operaator peab reageerima põhjendatud kahtlustele ja kaebustele seoses piirnormide ületamisega.

Ettepanekud ÜP täiendamiseks (4/5)

Tuulepargi planeerimisel tuleb kinnistute ja eluruumide omanikke teavitada ja kaasata 5 km, veel parem 10 km raadiuses.

Senikogutud indikatiivsed mõõtmisandmed näitavad, et Saarde Tuulepark tekitab Kamara keskuse eluruumi(de)s keskkonnamõju, millest oleks nende omanikke pidanud teavitama ja vajadusel abistama evakueerumisel.

Ettepanekud ÜP täiendamiseks (5/5)

Piirata metsaraiet, mis võiks avada uue vaatekoridori eluruumist tuulepargi tuugenite (tiivikud) peale.

Selline metsaosa täidab olulist müratõkke-funktsiooni (kaitsemetsa kategooria Metsaseaduses).

Piirang kehtib tuulepargi ekspluatatsiooniaja vältel. Tuulepargi operaator kohustub metsaomanikule kompenseerima selles ajavahemikus saamatajääva tuluosa.