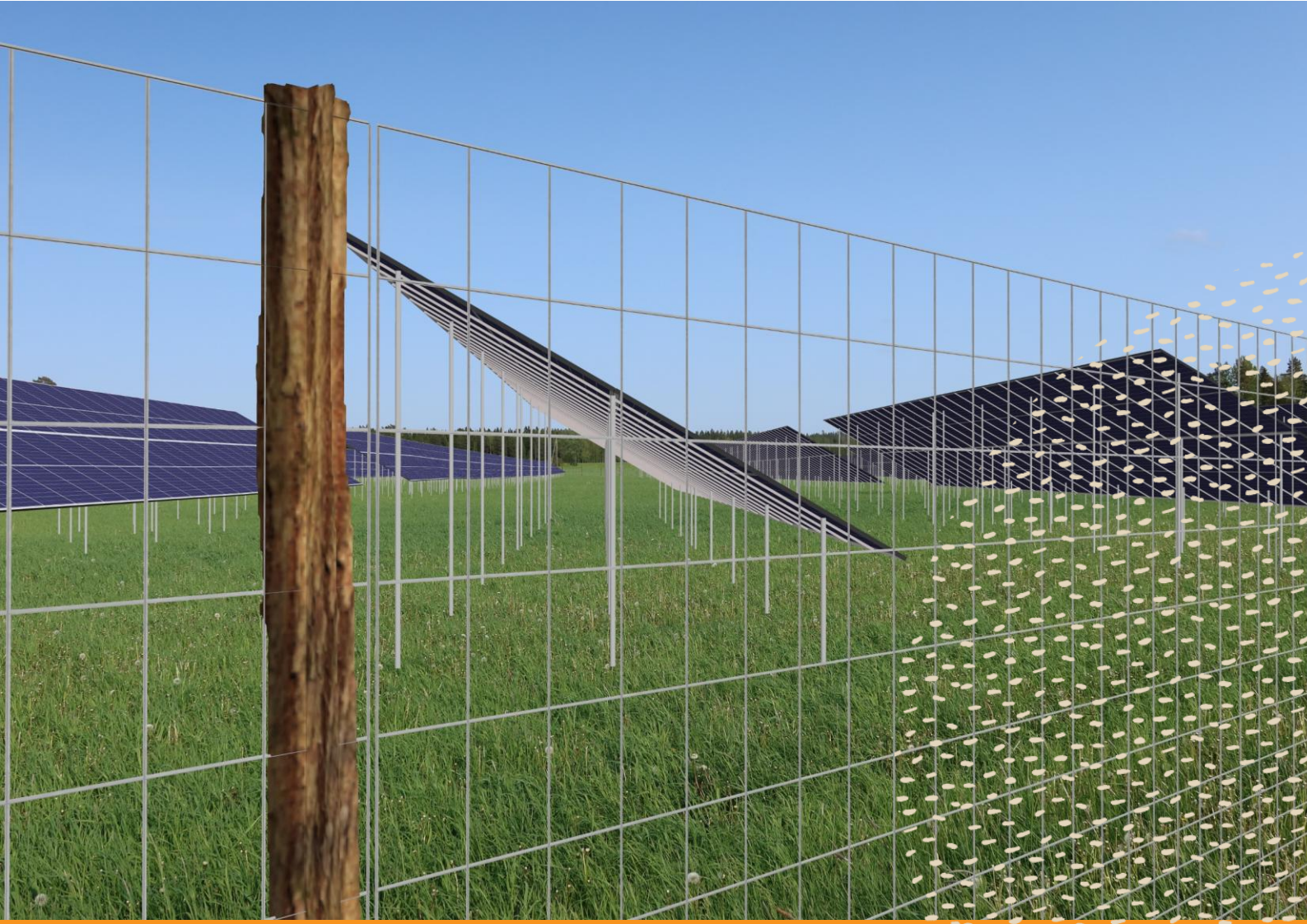




SKARTA ENERGY PAKKALA OY

Nakkilan Pakkalan aurinkovoimahankkeen heijastusselvitys

Skarta Energy Pakkala Oy

Aaro Hocksell

Julia Lineri

Maria Wimmer

Envineer Oy

Janne Nissinen

Petri Tiitta

Paula Salonen

etunimi.sukunimi@envineer.fi

www.envineer.fi

Y-tunnus: 2850396-1

Projektinnumero: 12881

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Heijastus	5
3	Heijastusmallinnus.....	7
3.1	Vertailuarvot.....	7
3.1.1	Asuinrakennukset sekä autotiet.....	7
3.1.2	Ilmailu.....	8
3.2	Näkemäalueanalyysi	8
3.3	Tarkastelualue ja -pisteet	11
3.4	Mallinnusmenetelmä	15
4	Heijastusmallinnuksen tulokset.....	15
4.1	Kiinteäasenteiset aurinkopaneelit.....	15
4.1.1	Rakennukset	15
4.1.2	Järvimaantie.....	16
4.2	Aurinkoa seuraavat aurinkopaneelit	16
4.3	Porin lentokenttä	16
5	Haitallisten vaikutusten estäminen.....	17
6	Arvioinnin epävarmuustekijät.....	17
7	Johtopäätökset	18

Liitteet

Liite 1 Kiinteäasenteisten aurinkopaneelien heijastuksen määrän karttakuvat

1 Johdanto

Skarta Energy Pakkala Oy suunnittelee Nakkilan Pakkalaan aurinkovoimapuistoa neljän kiinteistön alueelle. Aurinkovoimahankkeen kokonaispinta-ala on noin 48 ha ja se koostuu pääasiassa metsätalousalueesta. Hankealue sijaitsee noin 8 kilometrin etäisyydellä Nakkilan keskustasta luoteeseen ja rajautuu pohjoisreunaltaan Ulvilan kuntarajaan.

Tämä selvitys arvioi aurinkopaneelien heijastusvaikutuksia hankealueen ympäristöön. Olemme käyttäneet heijastuksen laskennallista mallia arvioidaksemme heijastusten mahdollisia vaikutuksia lähellä oleviin asuinrakennuksiin ja liikenteeseen.

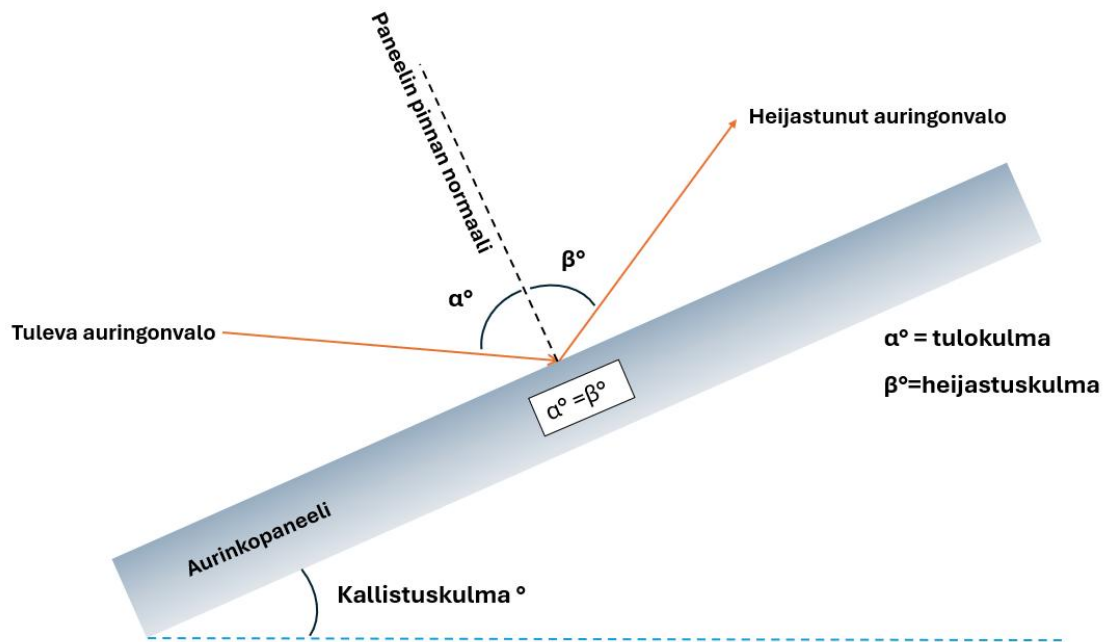
Tätä selvitystä on päivitetty 22.8.2025 laajentamalla selvitysaluetta kattamaan Porin lentokentän lennonjohtotorniin ja lentokentän lähestymissuuntiin kohdistuvat vaikutukset.

2 Heijastus

Heijastuksella tarkoitetaan tässä yhteydessä aurinkopaneelin pinnalta heijastuvaa näkyvää auringonsäteilyä, joka heijastuu havainnoijan silmiin ja voi häiritä näkökykyä. Aurinkopaneelista heijastuvan valon määrän vaikuttaa aurinkopaneelin heijastuskyky, maantieteellinen sijainti, vuodenaika, pilvisyys ja aurinkopaneelien suuntaus suhteessa etelän suuntaan (atsimuutti).

Noin 95 prosenttia aurinkopaneelin pinnalle tulevasta näkyvästä valosta absorboituu (imeytyy) aurinkopaneelin pintaan ja vain 5 % valosta heijastuu, joka vastaa likipitään veden heijastuskykyä.

Aurinkopaneeleista aiheutuvat heijastusvaikutukset muodostuvat auringon paistaessa aurinkopaneelin pintaan, josta auringonvalo heijastuu tulokulmaa vastaavassa kulmassa aurinkopaneelin pinnan normaaliin nähden (Kuva 1). Aurinkopaneelin suuntaus suhteessa etelään ja kallistuskulma ovat merkittävimmät tekijät heijastuksen muodostumisessa.



Kuva 1. Aurinkopaneelin heijastuksen muodostuminen.

Heijastusvaikutukset syntyvät ainoastaan auringonpaisteessa, pääasiassa aamuisin ja iltaisin. Kun aurinko nousee tarpeeksi korkealle taivaalla, heijastusta ei tapahdu maan tasalla oleville havaitsijoille, koska auringonpaisteen ja heijastuksen välinen kulma on liian pieni. Lentoliikenteeseen heijastuksia voi syntyä myös muina aikoina, mikäli lentoreitit kulkevat heijastuksen vaikutusalueella.

Heijastusvaikutusten syntyminen edellyttää esteettömän yhteyden auringon, paneelin ja heijastuksen havaitsijan välillä. Esimerkiksi puusto tai muut esteet voivat estää auringon säteiden osumisen paneeliin ja siten heijastusvaikutuksia ei synny.

Auringonvalon heijastuskulma suhteessa auringonpaisteeseen vaikuttaa heijastuksen havainnointiin. Heijastuneen auringonvalon osuessa samasta suunnasta havaitsijaan kuin auringonpaiste, heijastuksen merkitys on vähäisempi, koska auringonpaisteen suora säteily peittää sen alleen. Auringonpaisteen kirkkaus peittää tässä tapauksessa heijastuneen valon alleen.

Heijastusvaikutusten arvioinnissa kestolla on suuri merkitys. Mitä pidempään heijastus kestää, sitä merkityksellisempi se on paikallaan pysyville havaitsijoille, kuten asuinrakennuksille tai lennonjohtotorneille. Sen sijaan liikkuvien havaitsijoiden, kuten autojen tai junien, kohdalla heijastuksen kesto on vähemmän tärkeä. Heidän osaltaan olennaisempaa on havaitsijan nopeus ja se, ylipäättään syntyykö heijastusta.

Aurinkopaneelien tyyppi ja suuntaus (atsimuutti) vaikuttavat minne heijastusvaikutuksia voi syntyä. Suoraan etelään suunnatuilla aurinkopaneelille auringon nousu idästä ja liikkuminen kohti länttä aiheuttaa heijastuksien syntymisen itä-länsisuunnassa maantasossa olevalle havaitsijalle, mutta ei yleensä pohjoiselle tai eteläiselle puolelle.

3 Heijastusmallinnus

Pakkalan aurinkovoimahankkeen heijastusvaikutukset on arvioitu laatimalla aurinkopaneelialueesta heijastusmallinnus EMD:n WindPro-ohjelman GLARE-moduulilla. Heijastusmallinnusta varten on laadittu näkemäalueanalyysi, jonka avulla on arvioitu heijastusvaikutusalueen laajuus. Tältä alueelta tunnistettiin merkittävät kohteet, joille heijastusmallinnus tehtiin. Tässä osiossa esitetään heijastusvaikutusten arviointikriteerit, teoreettinen heijastusvaikutusalue ja käytetty mallinnusmenetelmä.

3.1 VERTAILUARVOT

3.1.1 ASUINRAKENNUKSET SEKÄ AUTOTIET

Suomessa ei ole määritelty heijastuksen määrälle tai vaikutuksille ohjearvoja tai ohjeistuksia. Vaikutusten suuruus arvioidaan mm. sen perusteella miten pitkään heijastusvaikutuksia muodostuu ja ovatko heijastusvaikutukset todennäköisiä. Tämä mallinnus ja arviointi mukailee isobritannialaisen yrityksen (Pager Power, 2022) vuonna 2022 laatimaa ohjeistusta aurinkopaneelien heijastuksen arvioinnille.

Pager Power -ohjeistuksen ja Saksan ympäristö-, terveys- ja kuluttajansuojaministeriön valopäästöohjeiden (Licht-Leitlinie, 2014) mukaiset heijastuksen ohjearvot ja raja-arvot asuinrakennuksille on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 1).

Taulukko 1. Vertailuarvojen vertailu.

Vertailuarvon lähde	Asuinrakennuksen vertailuarvo, heijastuksen määrä
Pager Power (2022)	alle 60 minuuttia päivässä alle 90 päivänä vuodessa
Saksan raja-arvot	alle 30 minuuttia päivässä alle 30 tuntia vuodessa

Saksan ohjeistuksen mukaisesti heijastusta arvioidaan asuinrakennuksiin 100 m etäisyydelle aurinkopaneeleista ja Pager Power ohjeistaa tarkastelemaan heijastuksen vaikutuksia 1 000 m etäisyydellä asuinrakennuksista. Tässä selvityksessä heijastusta on arvioitu 1 000 m etäisyydellä Pakkalan aurinkopaneelihankeesta, jolloin vertailuarvona asuinrakennuksille käytetään Pager Power -ohjeistuksen mukaisia ohjearvoja.

Autoteiden heijastuksen määrälle ei ole ohjearvoja, koska heijastuksen kokeminen liikkuvassa autossa riippuu nopeudesta. Tärkeimpänä kriteerinä arvioinnissa on heijastuksen syntyminen mahdollisuus, heijastuksen ajankohta ja kesto.

3.1.2 ILMAILU

Yhdysvaltain ilmailuviranomaisen ohjeistus (Federal Aviation Administration, 2021) edellyttää, että aurinkoenergiajärjestelmät tai muut heijastavat pinnat eivät saa aiheuttaa heijastusta lennonjohtotorniin, koska lennonjohtotornilla on kriittinen rooli visuaalisessa valvonnassa, jossa pienikin häikäisy voi vaarantaa kiitoteiden ja asematasojen turvallisuuden.

Loppulähestymisen osalta käytetään edelleen varovaisuusperiaatteeseen perustuvaa rajaa: kahden merimailin viimeisellä segmentillä (3° liukukulma, 15,2 metrin kiitotien kynnyksestä) ei saa esiintyä häikäisyä tai sen on oltava hyväksyttävällä tasolla. Tämä raja on perusteltu, koska loppulähestyminen on lentovaiheista kriittisin ja lyhytkin näköhäiriö voi vaikuttaa turvallisuuteen, vaikka aurinkopaneeleista aiheutuva heijastus vastaa vedenpinnalta aiheutuvaa heijastusta.

Aurinkopaneelien ja muiden heijastavien pintojen aiheuttaman häikäisyn vaikutuksia arvioidaan kansainvälisesti käytetyllä luokituksella, jonka tarkoituksena on varmistaa lentoturvallisuus erityisesti loppulähestymisen aikana. Luokitus perustuu heijastuksen intensiteettiin ja sen mahdollisuuteen aiheuttaa tilapäinen näköhäiriö (*after-image*).

Luokitus:

- **No potential for after-image** – Ei riskiä jälkikuvasta, täysin hyväksyttävä.
- **Low potential for after-image** – Vähäinen riski tilapäisestä näköhäiriöstä, katsotaan hyväksyttäväksi.
- **High potential for after-image** – Merkittävä riski jälkikuvasta, ei hyväksyttävä.

Luokitusta käytettiin FAA:n ja Sandia National Laboratoriesin kehittämässä SGHAT-mallissa, ja se tarjoaa selkeän, todennettavan perustan häikäisyriskin arviointiin.

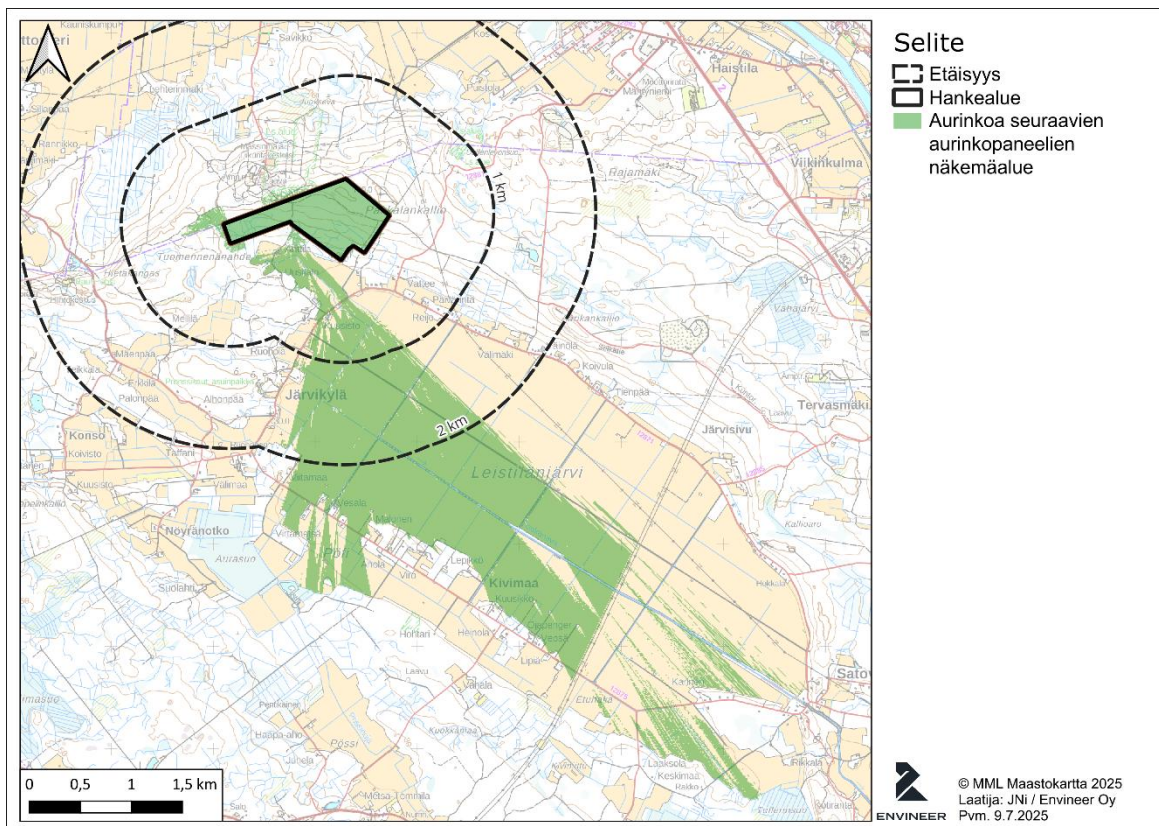
Tässä hankkeessa heijastusvaikutusten arviointi on toteutettu Yhdysvaltain ilmailuviranomaisen vakiintuneiden periaatteiden ja Sandia National Laboratories -pohjaisen luokituksen mukaisena teknisenä viitekehystenä. Hyväksyttävyyden vertailuarvot on esitetty lennonjohtotornin osalta tasolle "ei vaikutusta" ja loppulähestymisellä tasolle "ei vaikutusta tai enintään "low potential for after-image", ja tarvittaessa on määriteltä lievennystoimet näiden rajojen varmistamiseksi.

Muu lentoliikenne on rajattu tämän ohjeistuksen ensisijaisen tarkastelun ulkopuolelle, koska Yhdysvaltain ilmailuviranomaisen vuoden 2021 ohjeistuksen mukaan lentäjän kokemaa paneeliheijastusta pidetään pääosin ympäristön tavanomaisiin heijastuksiin verrattavana, empiirinen näyttö haitallisista vaikutuksista on vähäistä ja liikkuvien reseptorien altistukset ovat lyhyitä.

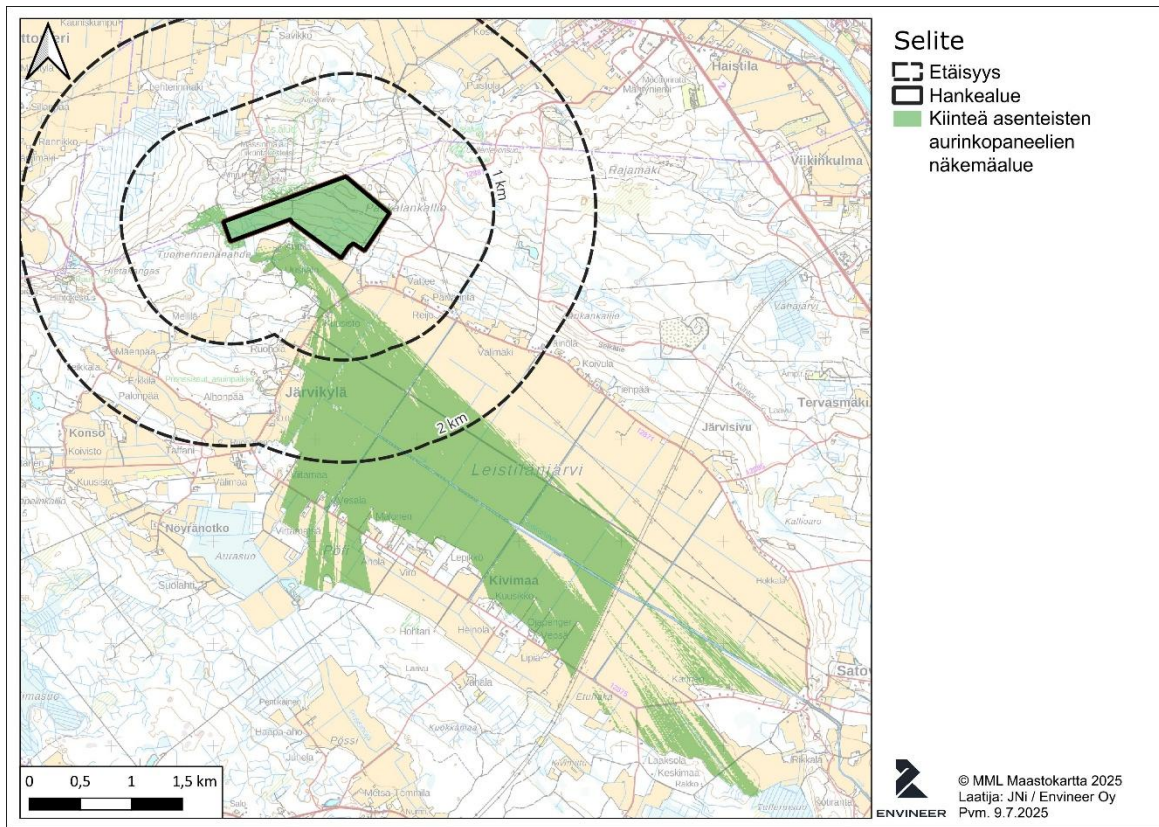
3.2 NÄKEMÄALUEANALYYSI

Näkemäalueanalyysi on laskennallinen malli, joka osoittaa, näkyykö jokin osa tarkasteltavasta alueesta laskenta-alueella. Siten laskennan tuloksissa voi pienikin osa aurinkopaneeleista aiheuttaa näkemäalueita, vaikka todellisuudessa näkemäalueilla ei välttämättä ole suoraa näköyhteyttä koko aurinkopaneelialueeseen tai kokonaiseen aurinkopaneeliin.

Näkemäanalyytikartat on mallinnettu WindPro-ohjelmiston ZVI-moduulilla. Näkemäalueanalyyseissa on maastomallina käytetty Maanmittauslaitoksen 2 m maastomallia sekä Metsäkeskuksen latvusmallia harvennettuna ruutukokoon 5x5 m. Mallinnuksen laskentaruudun koko on 10 m ja havaitsijan tarkastelukorkeutena on käytetty 1,5 metriä. Tarkastelualue, jolle laskenta tehtiin, oli noin 2 km x 2 km. Analyysi tehtiin sekä kiinteäasenteisille että aurinkoa seuraaville paneeleille. Kiinteäasenteisten paneelien korkeutena on käytetty 3,1 m ja aurinkoa seuraavien paneelien korkeutena on käytetty 2,6 m. Aurinkopaneelien sijoittelu on saatu tilaajan aineistoista. Näkemäalueanalyyysi laskee jokaisessa laskentaruudusta, näkykö voimala-alue kyseiseen laskentaruudukkoon. Todellisuudessa voimala-alue saattaa näkyä puuston läpi, mikäli puusto on harvaan kasvanutta tai metsän leveys on pieni. Alla olevissa kuvissa on esitetty näkemäalueanalyyisit kiinteäasenteisille ja aurinkoa seuraaville aurinkopaneeleille (Kuva 2-Kuva 3).

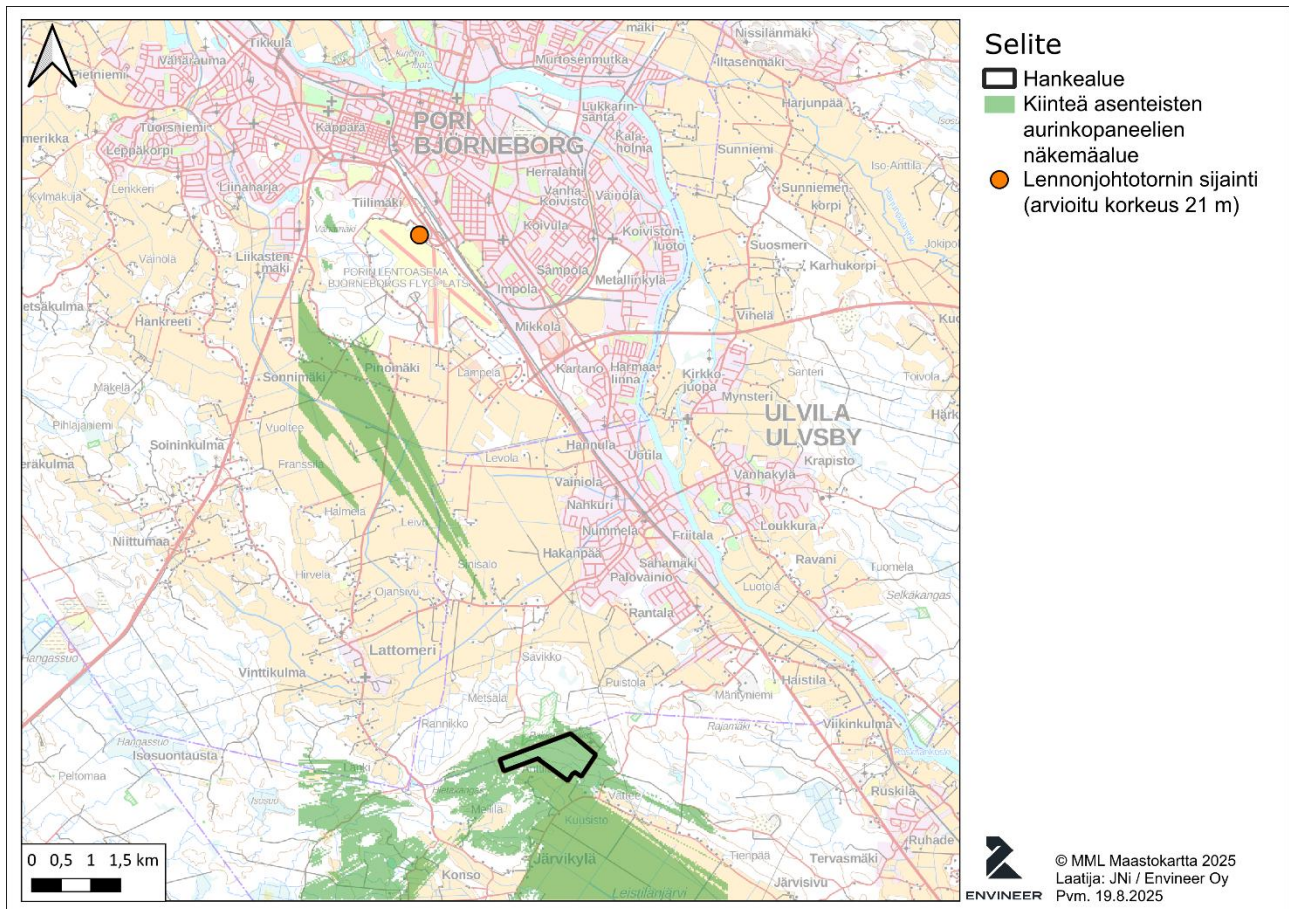


Kuva 2. Aurinkoa seuraavien aurinkopaneelien näkemäalue.



Kuva 3. Kiinteä asenteisten aurinkopaneelien näkemäalue.

Näkymäalueanalyysi arvioi näkymäalueita maantasolla. Kuvan 4 analyysi on laadittu Porin lennonjohtotornin korkeudelta (21 m). Analyysissä on huomioitu lennonjohtotornin ja hankealueen välinen puusto, joka mallinnuksen mukaan estää suoran näkymän alueelle. Ilman puuston suojaavaa vaikutusta näkymä lennonjohtotorniin on mahdollinen. Lähestyvät lentokoneet ovat korkeammalla, jolloin lähestyvästä lentokoneesta on suurella todennäköisyydellä suora näkymä aurinkopaneelialueisiin.



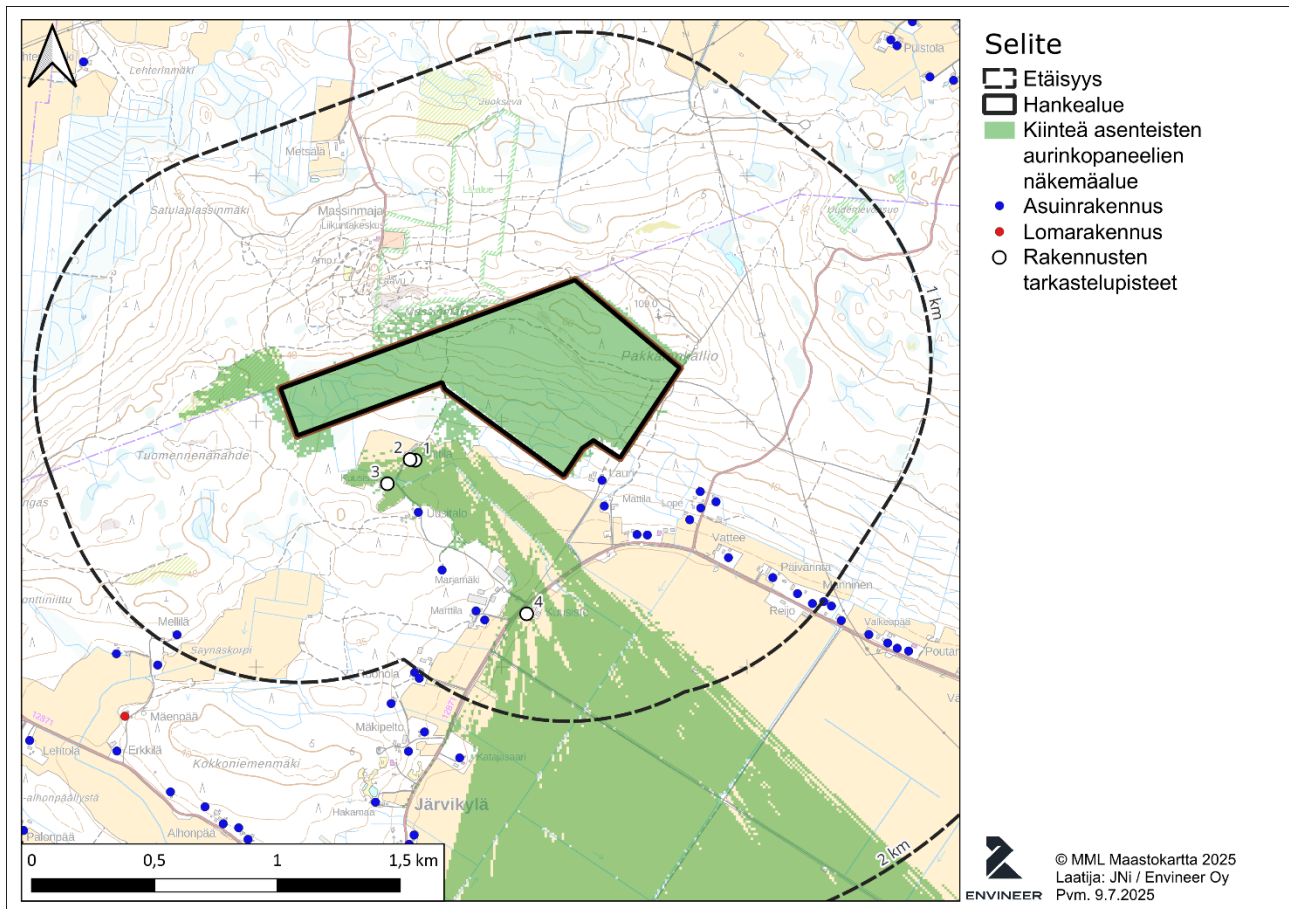
Kuva 4. Näkemäalueanalyysi, jossa havaitsijan korkeus on 21 metrin korkeudella.

3.3 TARKASTELUALUE JA -PISTEET

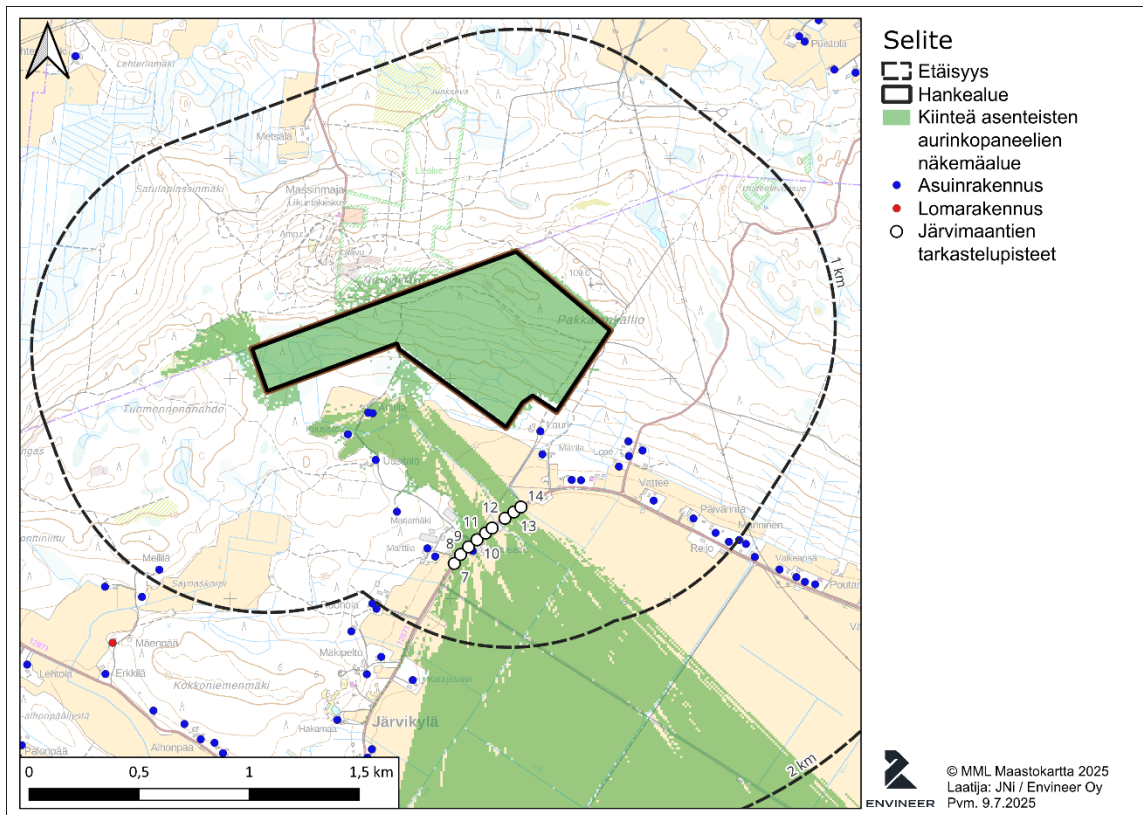
Suunniteltu hankealue sijoittuu alueelle, joka on nykyisellään pääasiassa metsätalouskäytössä. Alueen eteläpuolella sijaitsee peltoalue ja ympäristö on metsäaluetta. Alueen luoteispuolella sijaitsee Massinmajan Liikuntakeskus. Lähin asuinrakennus sijaitsee noin 110 metrin etäisyydellä hankealueen koilliskulman puolella (Kuva 5).

Näkemäalueanalyysien perusteella Pakkalan hankealueesta 1 kilometrin säteellä sijaitsee neljä asuinrakennusta, joihin on teoreettinen näköyhteys ja joille voi kohdistua heijastusvaikutuksia. Näkemäalueanalyysin perusteella heijastusvaikutusalueeseen kuuluu myös noin 340 metrin osuus Järvimaantietä, jonka keskimääräinen vuorokausiliikenne vuonna 2024 oli 132 ajoneuvoa. Tien osuus on otettu mukaan tarkasteluun, vaikka tien liikennemäärä on vähäinen.

Mallinnuksissa käytettiin tarkastelupisteinä asuinrakennusten sijainteja sekä Järvimaantien varrelle 100–150 metrin välein määriteltäviä pisteitä. Tarkastelupisteiden korkeudet Järvimaantiellä ovat 1,5 metriä ja havainnoijan näkökenttä 100 astetta kulkusuuntaan nähden. Rakennuksien kohdalla tarkastelupisteiden korkeudet ovat 2 metriä ja havainnoijan näkökenttä 360 astetta. Mallinnukset laadittiin kuvissa (Kuvat 4-5) esitetyille tarkastelupisteille.



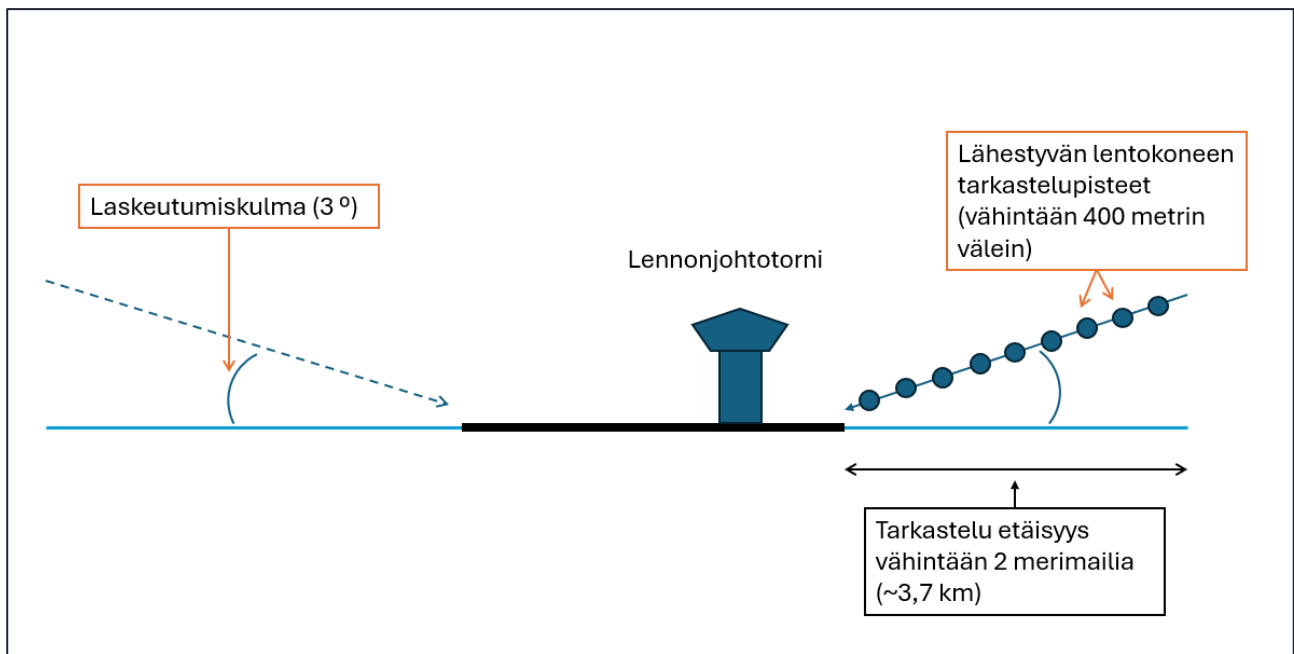
Kuva 5. Heijastusmallinnuksessa käytetyt rakennusten tarkastelupisteet.



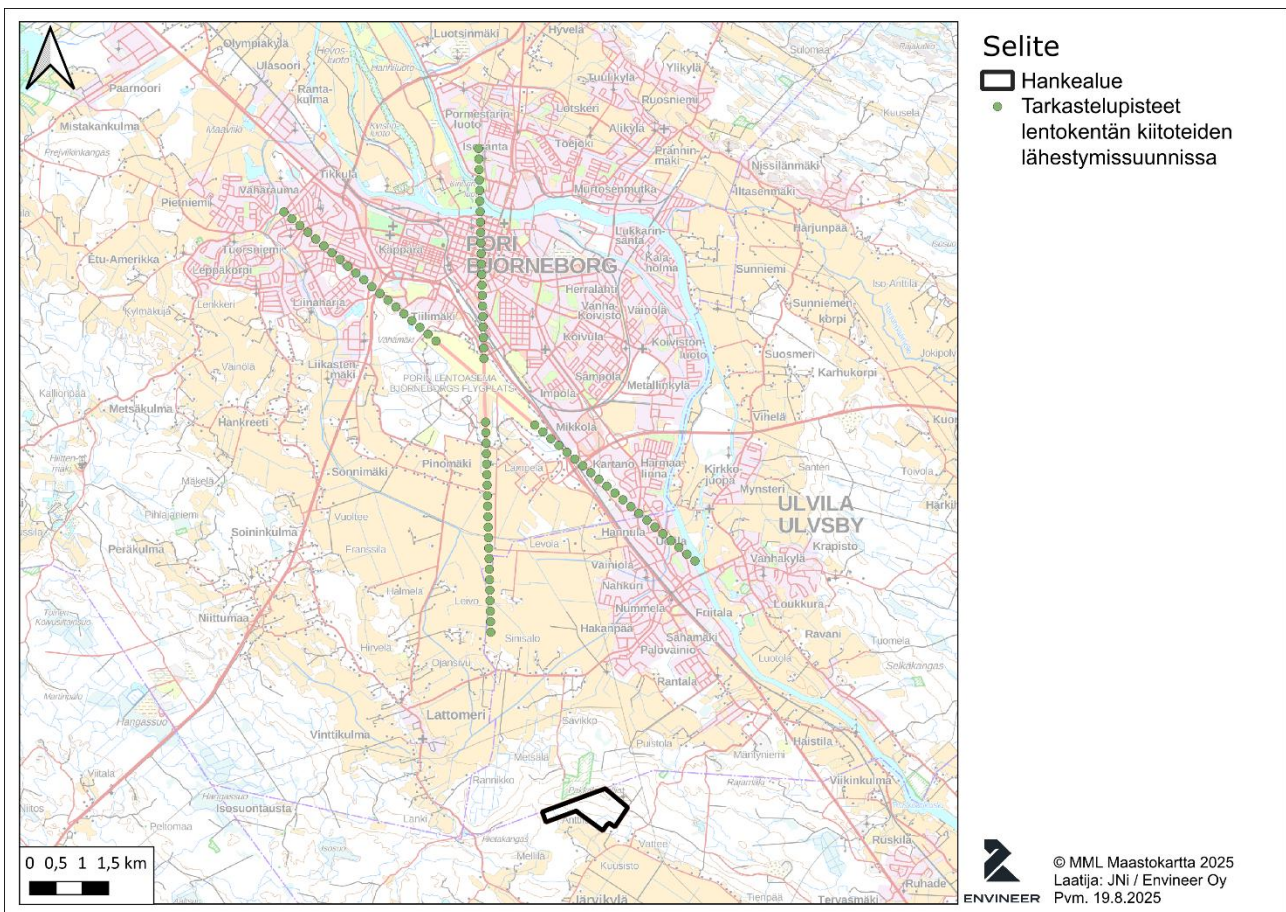
Kuva 6. Heijastusmallinnuksessa käytetyt Järvi- ja maantien tarkastuspisteet.

Ilmailun osalta tarkastuspisteet on asetettu Porin lentokentän mahdollisille lähestymisreiteille. Laaditun näkymäalueanalyysin perusteella Porin lentokentän lennonjohtotorniin ei muodostu näkymäaluetta aurinkopaneelientästä, jolloin mahdollisia heijastusvaikutuksia ei lennonjohtotorniin synny. Tästä huolimatta on mallinnus laadittu myös lennonjohtotornin tarkastuspisteeseen, jossa puuston suojaavaa vaikutusta ei otettu huomioon.

Porin lentokentällä on yksi pääkiitotie itä-länsi suunnassa ja pienempi kiitotie etelä-pohjoissuunnassa. Tarkastuspisteet on laadittu noin 4 kilometrin etäisyydelle kiitoteiden päistä suoraan laskeutumis suunnassa siten että tarkastuspisteitä on asetettu 200 metrin välein laskeutumiskulmassa 3 astetta. Mallinnuksessa on käytetty näkökenttänä 100 astetta lentokoneen kulkusuuntaan nähden (50 astetta kulkusuunnan molemmille puolille). Kuvassa 7 on esitetty periaatekuva lentokoneiden lähestymisreitien tarkastuspisteistä mallinnuksessa ja Kuvassa 8 tarkastuspisteet kartalla.



Kuva 7. Havainnekuva lentokoneen lähestymisreitinn mallinnuksesta. Mukailtu Pager Power (2022) ohjeistuksesta.



Kuva 8. Porin lentokentän kiitoteiden lähestymissuuntien tarkastelupisteet.

3.4 MALLINNUSMENETELMÄ

WindPro GLARE-ohjelma laskee, milloin ja kuinka pitkään aurinkopaneelien heijastukset näkyvät tiettyihin tarkastelupisteisiin vuoden mittaan. Heijastusvaikutusten mallinnus perustuu auringon nousu- ja laskuaikoihin, tarkastelupisteiden (reseptoreiden) sijainteihin, aurinkopaneelien sijaintiin, suuntaukseen ja kallistuskulmaan sekä maastomalliin. Mallinnuksessa on käytetty maastomallina Maanmittauslaitoksen 2 metrin korkeusmalliaineistoa ja hankkeen mukaisia aurinkopaneelien sijainteja. Hankealue on sama kaikissa hankevaihtoehtoissa. Taulukko 2 on esitetty hankevaihtoehdot eri aurinkopaneelien sijoitusvaihtoehdoille.

Taulukko 2. Mallinuksissa käytetyt hankevaihtoehdot.

	Aurinkopaneelien sijoitus	Korkeus maanpinnasta	Aurinkopaneelien riviväli	Aurinkopaneelien suuntaus
Hankevaihtoehto 1	Kiinteä asennus	Alareuna 0,8 m	10 m	Etelään
Hankevaihtoehto 2	Aurinkoa seuraava	Akselin keskikohta 2 m	6 m	Itä-länsi suuntaan

Heijastusmallinuksissa käytettiin minuutin aika-askelta ja auringon paistekulman resoluutio oli 0,05 astetta. Mallinnuksessa aurinkopaneelien pinnan oletettiin olevan sileää lasia, jossa ei ole heijastuksenestopinnoitetta. Mallinnuksessa auringonpaistetta ei ole huomioitu, kun heijastuskulman ja auringonvalon välinen kulma oli alle 10 astetta, jolloin heijastus havaitaan samasta suunnasta auringonpaisteen kanssa.

Metsä voi estää näkyvyyden auringon ja aurinkopaneelin tai aurinkopaneelin ja havaitsijan välillä, jos puusto ja mahdollinen muu kasvillisuus on riittävän korkeaa ja tiheää. Puuston tai kasvillisuuden vaikutusta ei ole otettu mallinnuksessa huomioon. Myös pilvet voivat estää heijastusvaikutusten syntymisen ja niiden vaikutusta ei ole huomioitu mallinnuksessa eli mallinnus on tehty olettaen auringon paistavan koko ajan.

4 Heijastusmallinnuksen tulokset

4.1 KIINTEÄASENTEISET AURINKOPANEELIT

4.1.1 RAKENNUKSET

Suurimmat päiväkohtaiset heijastuksen määrät sekä päivien lukumäärät on esitetty liitteen 1 karttakuvissa sekä Taulukko 3.

Taulukko 3. Asuinrakennuksiin kohdistuvan heijastuksen määrä kiinteäasenteisilla aurinkopaneeleilla. Punaisella on merkattu vertailuarvon ylitykset.

Tarkastelu- pisteen numero	Käyttötarkoitus	Päiväkohtainen heijastuksen maksimimäärä (minuuttia/päivä)	Päiväkohtainen vertailuarvo (minuuttia/päivä)	Heijastuksen esiintyvyys vuodessa (päiviä)	Heijastuksen esiintyvyyden vertailuarvo (päiviä)
1	Asuinrakennus	34,0	60	130	90
2	Asuinrakennus	35,0	60	131	90
3	Asuinrakennus	20,0	60	130	90
4	Asuinrakennus	0,0	60	0	90

Mallinnuksen mukaan tarkastelupisteisiin 1, 2 ja 3 muodostuu heijastusta huhtikuun puolivälistä elokuun loppuun. Tämä tapahtuu noin kello 7.00–7.30 välisenä aikana, kestäen noin 30 minuuttia sekä iltaisin noin kello 19–19.30 välisenä aikana ja kestäen alle 30 minuuttia.

Päiväkohtaiset heijastusmäärät jäävät alle tässä selvityksessä käytettyjen vertailuarvojen, mutta heijastusta voi esiintyä yli kolme kuukauden aikana, jolloin heijastus ylittää tarkastelupisteissä 1, 2 ja 3 tässä selvityksessä käytetyn ohjearvon. Ottaen huomioon tarkastelupisteiden ja aurinkopaneelialueen väliin jäävän puuston suojaavan vaikutuksen ovat heijastusvaikutukset asuinrakennuksiin epätodennäköisiä. Kuitenkin puuston pysyvyys koko hankkeen elinkaaren ajan on epävarmaa.

4.1.2 JÄRVIMAANTIE

Mallinnuksien perusteella Järvimaantielle ei aiheudu heijastusvaikutuksia koillisen ja lounaan ajosuunnissa.

4.2 Aurinkoa seuraavat aurinkopaneelit

Paneeleiden suuntaus itä-länsi suunnassa ei aiheuta hankealueen eteläpuolelle heijastuksia. Tästä johtuen mallinnuksen perusteella aurinkoa seuraavat paneelit eivät aiheuta heijastusvaikutuksia asuinrakennuksiin tai Järvimaantielle.

4.3 PORIN LENTOKENTTÄ

Mallinnuksien perusteella Porin lentokentän lähestymissuuntiin ei muodostu heijastusvaikutuksia kummallakaan hankevaihtoehdolla. Myöskään Porin lentokentän lennonjohtotorniin ei muodostu heijastusvaikutuksia mallinnuksien perusteella, vaikka puusto hankealueen ja lennonjohtotornin

välistä kaadettaisiin. Siten aurinkovoimahankkeen heijastusvaikutukset ilmailulle ovat hyväksyttävissä rajoissa tässä raportissa esitettyjen rajoituksen ja tarkastelupisteiden mukaan.

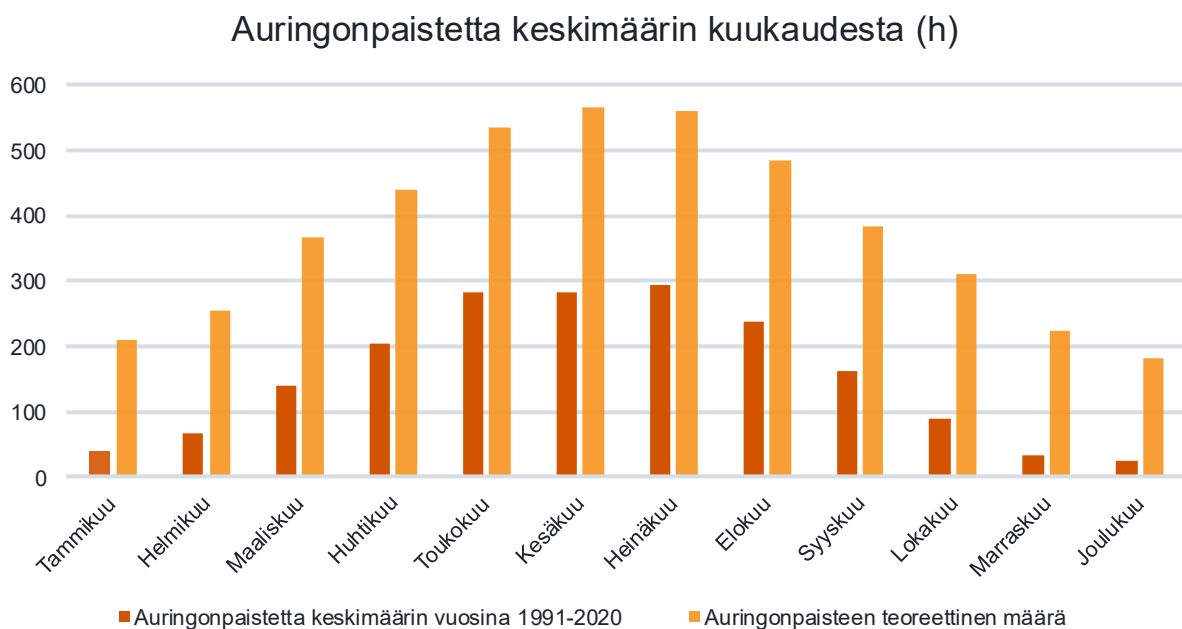
5 Haitallisten vaikutusten estäminen

Heijastusvaikutuksia voidaan vähentää jättämällä suojaviheralueita tai kasvillisuutta aurinkopaneelikenttien ja häiriintyvien kohteiden väliin. Aurinkopaneelien suuntausta muuttamalla voidaan heijastusvaikutuksia vähentää tiettyihin suuntiin, mutta suuntaamista muuttamalla heijastusvaikutukset lisääntyvät muualla.

Käyttämällä aurinkopaneeleissa heijastuksenestopinnoitteita tai muita teknisiä ratkaisuja voidaan heijastuksen vaikutusta vähentää. Heijastuksenestopinnoite vähentää pinnan heijastusta noin 2–3 % verrattuna pinnoittamattomaan paneeliin (M. Law, Adam., O. Jones, Luke., Walls, M, John, 2023).

6 Arvioinnin epävarmuustekijät

Ilmatieteen laitoksen Turun Artukaisen havaintoasemalla vuosina 1991–2020 mitattujen auringonpaistetuntien keskimääräiset kuukausiarvot (Ilmatieteen laitos, 2021) ja mahdollisten auringonpaistetuntien kuukausittainen määrä on esitetty Kuvassa 6.



Kuva 9. Keskimääräiset aurinkopaistetuntien kuukausiarvot ja auringonpaistetuntien teoreettinen määrä kuukausittain Turun Artukaisen havaintoasemalla.

Pylväsgraafin perusteella auringonpaistetta esiintyy eniten toukokuusta heinäkuuhun, jolloin sen määrä on 50–53 % teoreettisesta maksimista. Vähiten auringonpaistetta on talvella marraskuussa, jolloin määrät jäävät alle 20 %. Siten heijastusvaikutukset ovat todennäköisempiä kesäaikaan kuin talvella. Yksittäisen vuoden sääolosuhteet saattavat poiketa merkittävästi keskimääräisistä olosuhteista, jolloin kuukausittainen auringonpaistemäärä voi poiketa pylväsgraafissa esitetystä.

Mallinnuksessa on oletettu auringon paistavan kirkkaalta taivaalta koko vuoden ympäri, joka ei kuitenkaan vastaa todellista tilannetta. Ilmatieteen laitoksen tietojen perusteella talviaikaan auringonpaisteen todennäköisyys on pienempi.

Mallinnus on laadittu ilman puuston suojaavaa vaikutusta, jolla on suuri merkitys heijastuksen syntyyn. Puusto suojaa heijastusvaikutuksilta, kun puuston syvyys on tarpeeksi suuri, mutta jo vähäinen kasvillisuus vähentää heijastusvaikutuksia estämällä näköyhteyden auringonpaneelien suuntaan tai auringonvalon pääsyn aurinkopaneelien pintaan. Heijastusvaikutuksia syntyy pääosin aamu- ja iltaiikoina, jolloin auringon kulma horisontin yläpuolella on pienimmillään, jolloin puusto voi joko kokonaan estää tai merkittävästi vähentää heijastusvaikutusten syntyä. Puuston näköyhteyttä peittävä vaikutus vaihtelee vuosien ja vuodenaikojen mukaan, minkä vuoksi puuston heijastusta vähentävää vaikutusta ei pystytä arvioimaan tarkasti. Lisäksi puuston pysyvyydestä ei ole varmuutta muun muassa hakkuiden ja myrskyjen takia.

Tässä mallinnuksessa ei ole huomioitu heijastusvaikutuksen intensiteettiä, jolla tarkoitetaan heijastuksen aiheuttamaa valotehoa havaitsijan silmiin. Heijastusvaikutuksen intensiteetillä on suuri merkitys heijastusvaikutuksen häiritsevyyteen.

7 Johtopäätökset

Nakkilan Pakkalan aurinkovoimahankkeen heijastusvaikutuksia on mallinnettu ja arvioitu kahdella eri hankevaihtoehdolla. Heijastusmallinnus osoittaa, että kiinteästi asennettujen paneelien heijastusvaikutukset voivat olla tietyissä kohteissa merkittäviä, mikäli puuston suojaava vaikutusta ei huomioida. Aurinkoa seuraavien paneelien itä-länsisuuntainen suuntaus puolestaan estää heijastusvaikutusten synnyn alueen eteläpuolelle ja siten häiriintyviin kohteisiin.

Kiinteäasenteisten aurinkopaneelien osalta heijastuksia syntyy erityisesti huhtikuun puolivälistä elokuun loppuun aamuisin ja iltaisin. Päiväkohtaiset heijastusmäärät jäävät alle vertailuarvojen, mutta heijastuksia voi esiintyä yli kolmen kuukauden ajan. Puuston suojaava vaikutus kuitenkin todennäköisesti estää nykytilanteessa heijastusvaikutusten syntymisen tarkastelupisteisiin.

Aurinkoa seuraavien paneelien osalta heijastuksia ei synny aurinkopaneelialueen eteläpuolelle.

Porin lentokentän lennonjohtotorniin ja kiitoteiden lähestymissuuntiin ei synny heijastusvaikutuksia kummassakaan hankevaihtoehdossa.

Järvimaantielle kulkusuunnassa lounaaseen tai koilliseen ei synny merkittäviä heijastusvaikutuksia aurinkoa seuraavien paneelien tai kiinteäasenteisten paneelien osalta.

Heijastusvaikutuksia voidaan vähentää jättämällä suojaviheralueita tai kasvillisuutta aurinkopaneelikenttien reunoille, muuttamalla paneelien suuntausta tai käyttämällä heijastuksenestopinnoitteita.

Lähteet

Federal Aviation Administration (2021). *Federal Aviation Administration Policy: Review of Solar Energy System Projects on Federally-Obligated Airports*. Federal Register, Vol. 86, No. 89, 11.5.2021. Saatavilla: <https://www.federalregister.gov/documents/2021/05/11/2021-09862/federal-aviation-administration-policy-review-of-solar-energy-system-projects-on-federally-obligated>

Pager Power. (2022). *Solar Photovoltaic and Building Development – Glint and Glare Guidance* (Fourth Edition).

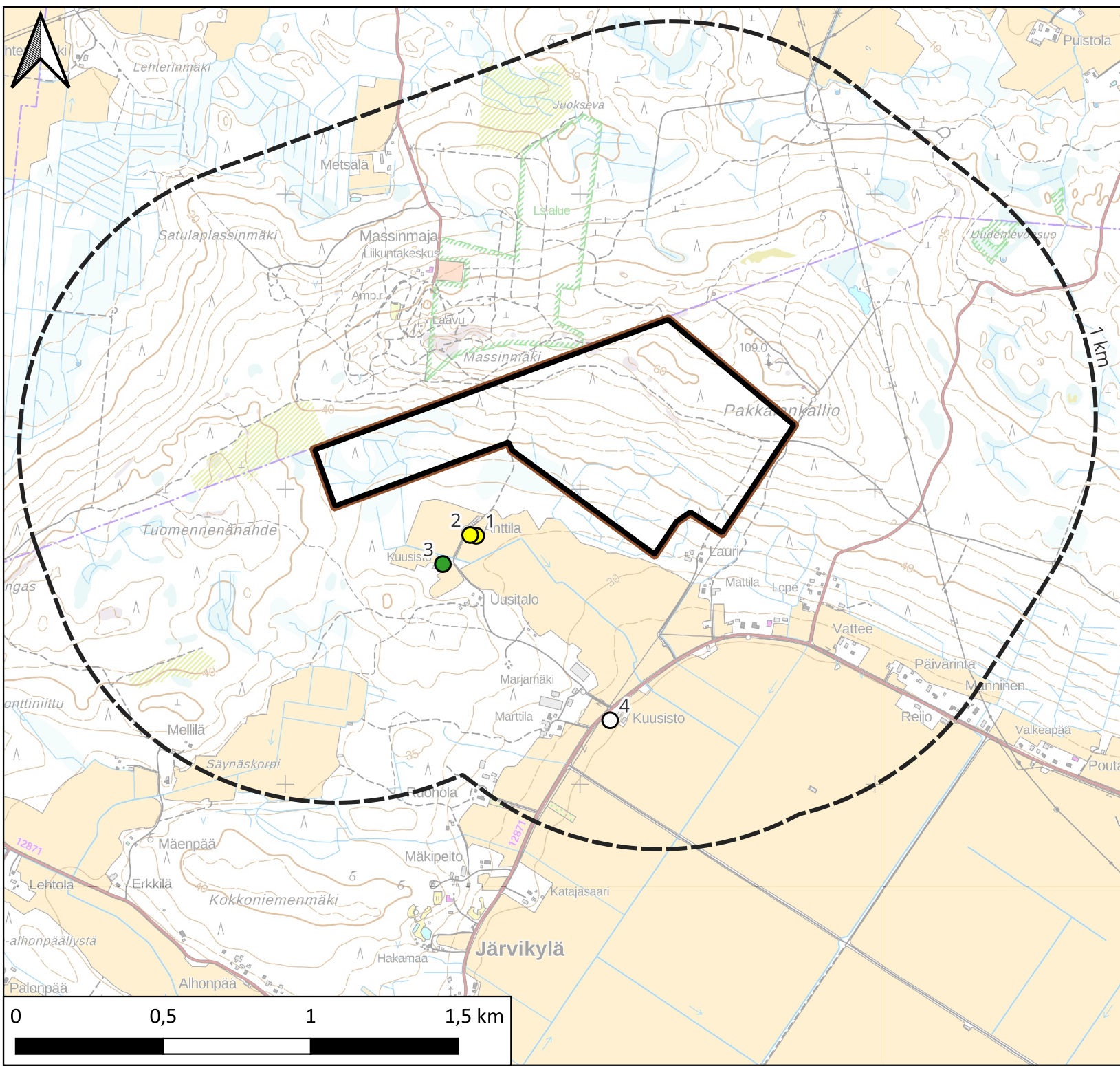
Saksan Ympäristö-, terveys- ja kuluttajansuojaministeriön ohjeet valopäästöjen mittaamiseksi ja arvioimiseksi (Licht-Leitlinie). (2014). Viitattu 18.6.2025.
https://bravors.brandenburg.de/sixcms/media.php/76/Amtsblatt%2021_14.pdf

Ilmatieteenlaitos. (2021). Tilastoja Suomen ilmastosta ja merestä 1991-2020. Raportteja 2021:8. Viitattu 18.6.2025. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/4a090295-f4a7-4b55-a3e4-39a0e370f5b9/content>

M. Law, Adam., O. Jones, Luke., Walls, M, John. The Performance and durability of Anti-reflection coatings for solar module cover glass – a review. Julkaistu Solar Energy- lehdessä (Volume 261) 1.9.2023. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.06.009>

Liite 1

Kiinteäasenteisten aurinkopaneelien heijastuksen määrän karttakuvat

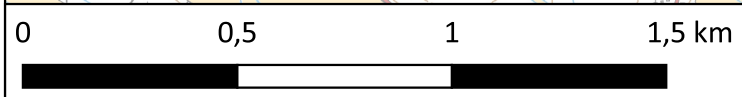


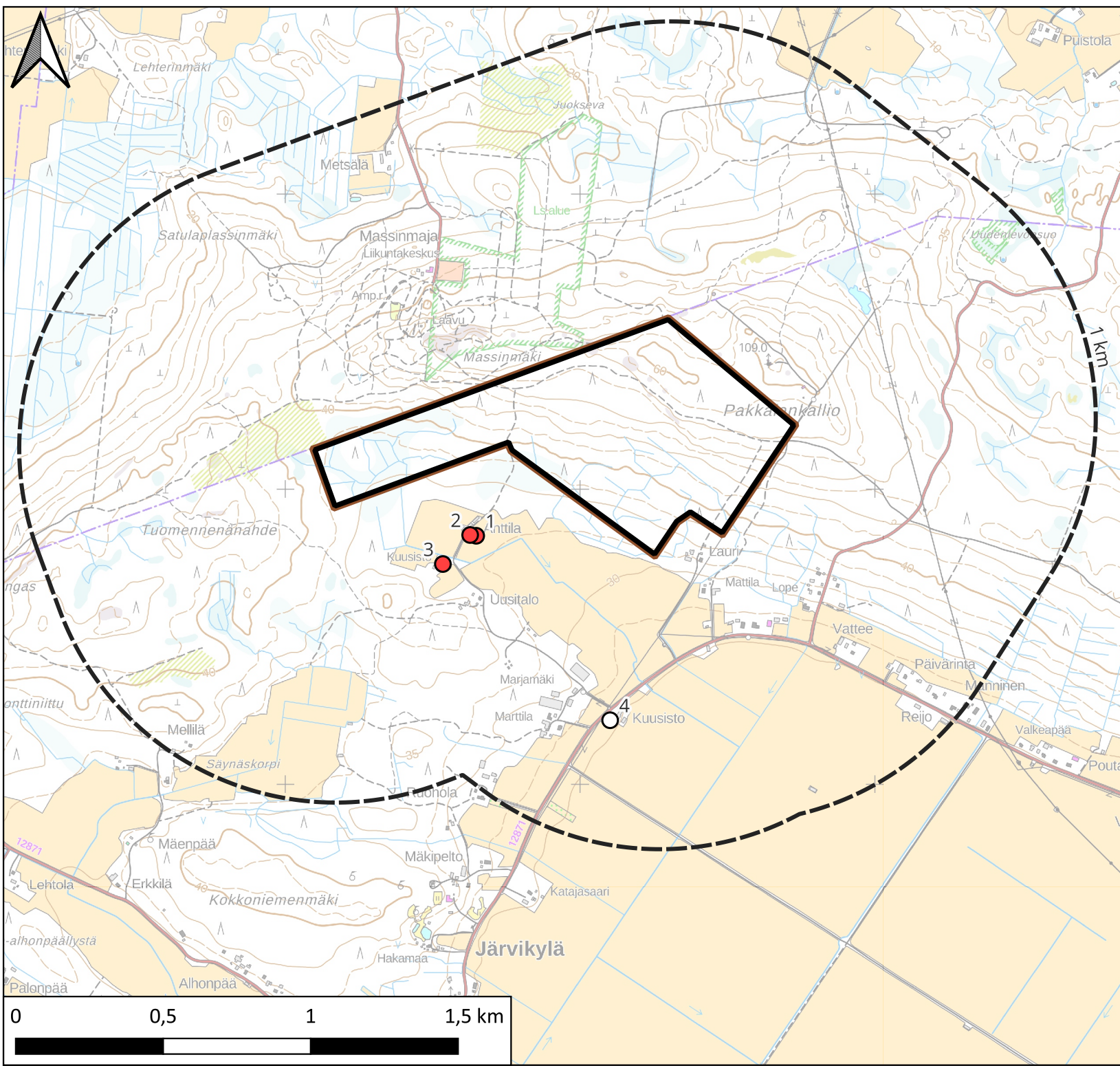
Selite

- Etäisyys
- Hankealue

Kiinteäasenteisten
aurinkopaneelien
heijastuksen päiväkohtainen
maksimimäärä (min/d)
rakennuksiin

- 0 - 0
- 0 - 30
- 30 - 60
- 60 - 90
- 90 -



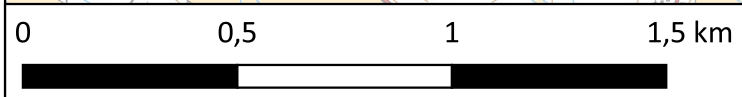


Selite

- Etäisyys
- Hankealue

Kiinteäasenteisten
aurinkopaneelien
heijastuksen päivien
lukumäärä vuodessa

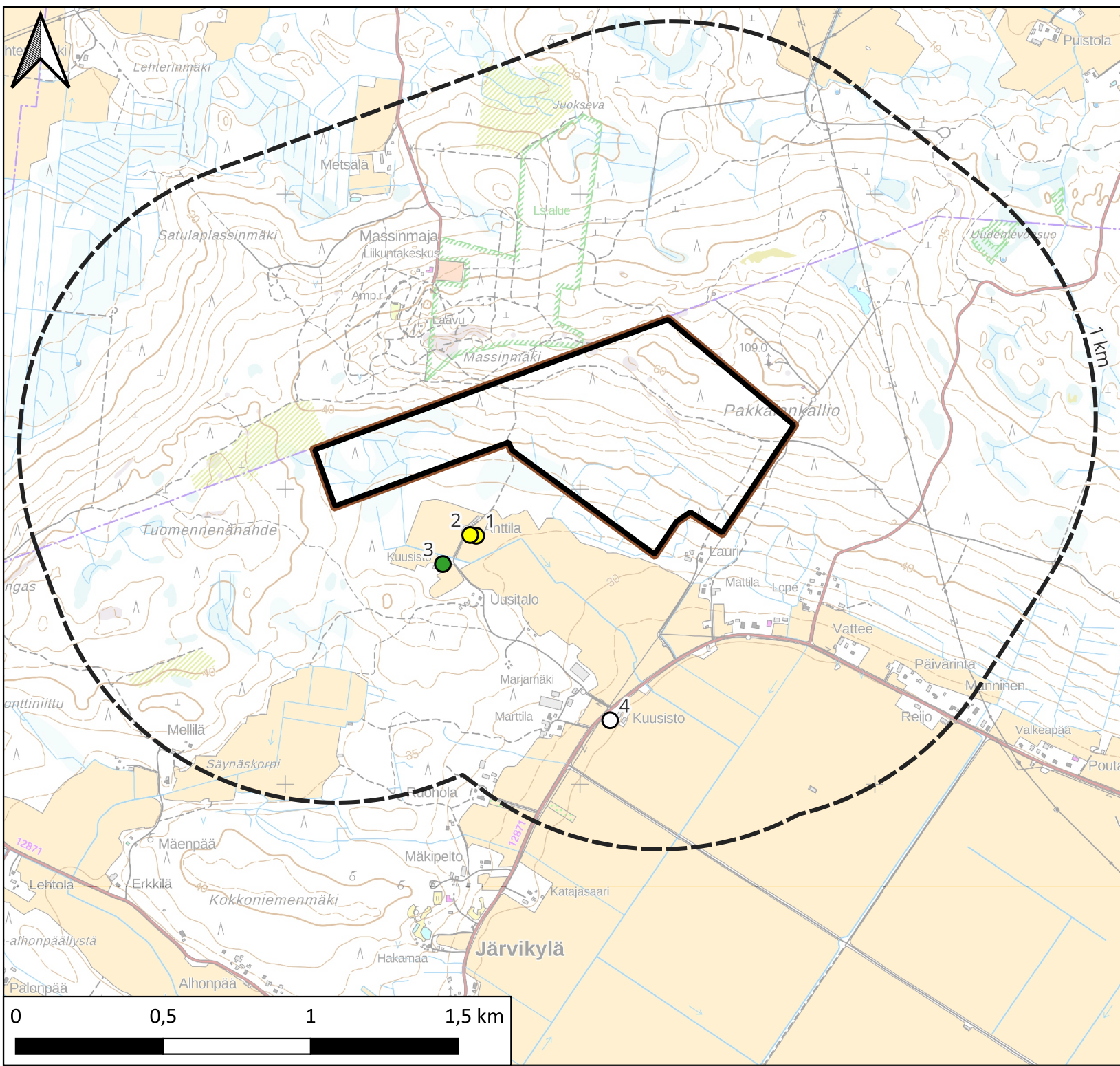
- 0 - 0
- 0 - 45
- 45 - 90
- 90 - 135
- 135 -





ENVINEER

envineer.fi

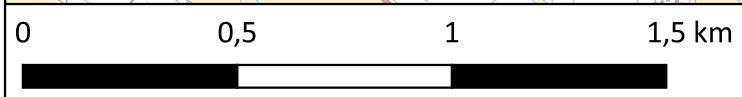


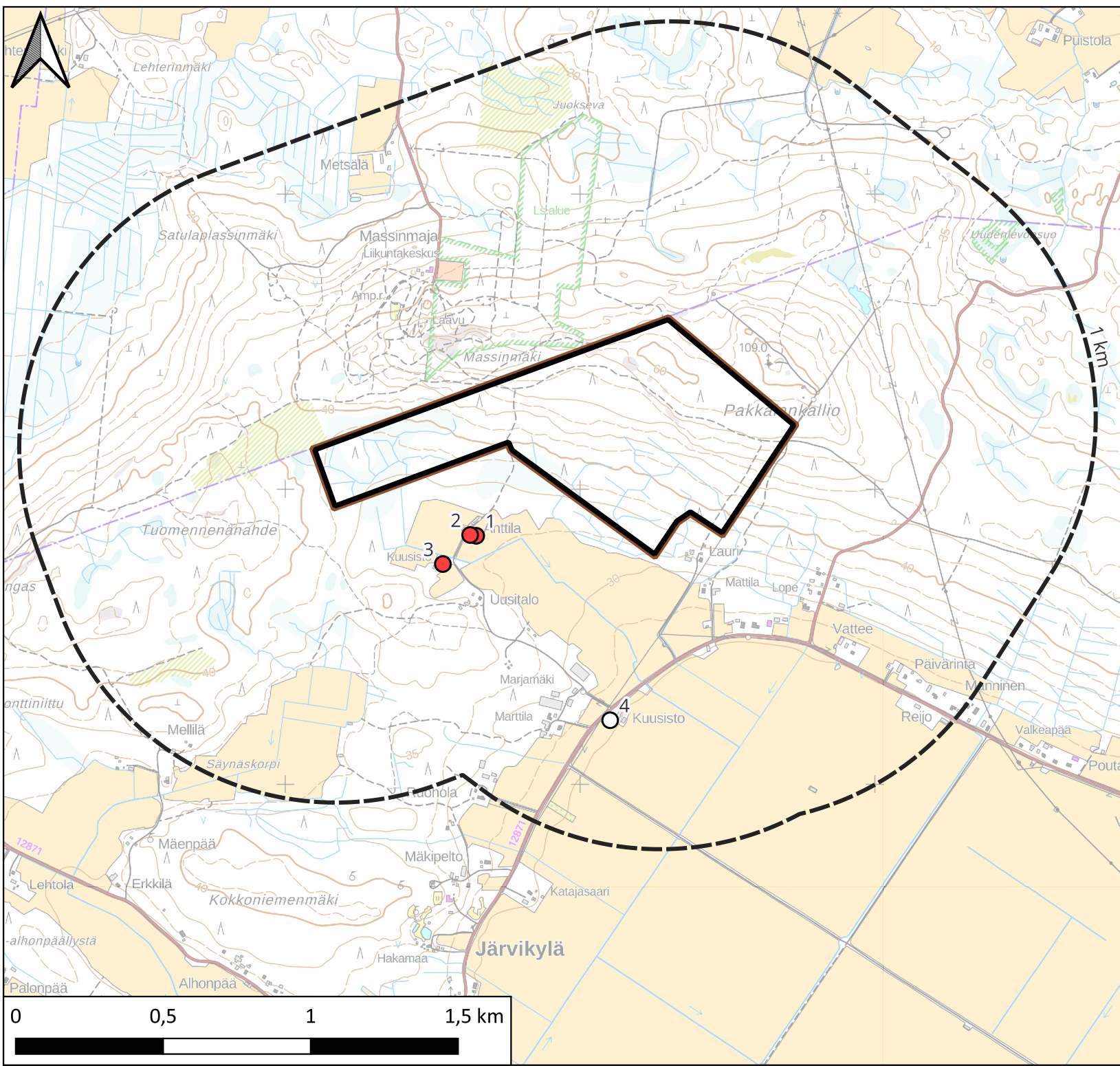
Selite

- Etäisyys
- Hankealue

Kiinteäasenteisten
aurinkopaneelien
heijastuksen päiväkohtainen
maksimimäärä (min/d)
rakennuksiin

- 0 - 0
- 0 - 30
- 30 - 60
- 60 - 90
- 90 -





Selite

- Etäisyys
- Hankealue

Kiinteäasenteisten
aurinkopaneelien
heijastuksen päivien
lukumäärä vuodessa

- 0 - 0
- 0 - 45
- 45 - 90
- 90 - 135
- 135 -

Pakkalan aurinkovoimalahanke -
Kiinteäasenteisten
aurinkopaneelien
heijastusmallinnus



© MML Maastokartta 2025
Laatija: JNi / Envineer Oy
Pvm. 10.7.2025