

Vastaanottaja

**Hollolan kunta**

**Kaavoitusarkkitehti Pentti Klemetti**

**Elinvoiman palvelualue kaavoituspalvelut**

**p. 044 780 1455**

**pentti.klemetti@hollola.fi**

Asiakirjatyyppi

**Raportti**

Päivämäärä

**24.2.2026**

# Nostavan VAK-ratapihan onnettomuustilanteiden ar- viointi

Hollolan kunta



# Nostavan VAK-ratapihan onnettomuustilanteiden arviointi

Hollolan kunta

|                 |                                                                      |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------|
| Projekti        | <b>Nostavan ratapihan kemikaalivaunujen logistiikan turvallisuus</b> |
| Projekti nro    | <b>1510095043</b>                                                    |
| Vastaanottaja   | <b>Hollolan kunta</b>                                                |
| Asiakirjatyyppi | <b>Raporttiluonnos</b>                                               |
| Versio          | <b>1.0</b>                                                           |
| Päivämäärä      | <b>24.2.2026</b>                                                     |
| Laatija         | <b>Toni Keskitalo, Amanda Ilkko, Juha Riihiranta</b>                 |
| Tarkastaja      | <b>Mikko Happonen</b>                                                |



## Sisältö

|         |                                             |    |
|---------|---------------------------------------------|----|
| 1.      | Johdanto                                    | 3  |
| 2.      | Kohde ja ympäristö                          | 3  |
| 2.1     | Kohteen kuvaus                              | 3  |
| 2.2     | Ympäristön kohteet                          | 5  |
| 2.3     | Ympäristön herkäät kohteet ja asutus        | 6  |
| 3.      | Mallinnettavat kemikaalit                   | 8  |
| 3.1     | Vety ( $H_2$ )                              | 8  |
| 3.2     | Nesteytetty maakaasu (LNG)                  | 9  |
| 3.3     | Ammoniakki ( $NH_3$ )                       | 9  |
| 3.4     | Suolahappo                                  | 10 |
| 4.      | Vertailutasot                               | 10 |
| 4.1     | Terveydelle haitalliset pitoisuudet         | 10 |
| 4.2     | Syttyvät pitoisuudet                        | 11 |
| 4.3     | Lämpösäteily                                | 12 |
| 4.4     | Painevaikutukset                            | 12 |
| 4.5     | Sallitut onnettomuusvaikutukset kohteissa   | 13 |
| 5.      | Onnettomuustilanteiden arviointi            | 13 |
| 5.1     | ALOHA-malli                                 | 13 |
| 5.2     | HyRAM+-malli                                | 14 |
| 5.3     | Säiliövaunut                                | 14 |
| 5.4     | Mallien lähtötiedot ja skenaariot           | 15 |
| 5.4.1   | Vety                                        | 15 |
| 5.4.2   | LNG                                         | 16 |
| 5.4.3   | Ammoniakki                                  | 16 |
| 5.4.4   | Suolahappo                                  | 17 |
| 6.      | Sääolot                                     | 17 |
| 6.1     | Tuuliolot                                   | 17 |
| 6.2     | Ilmakehän stabiilisuus                      | 18 |
| 7.      | Epävarmuustarkastelu                        | 19 |
| 8.      | Tulokset                                    | 20 |
| 8.1     | Vety ( $H_2$ )                              | 20 |
| 8.2     | Nesteytetty maakaasu/metaani (LNG/ $CH_4$ ) | 21 |
| 8.3     | Ammoniakki ( $NH_3$ )                       | 22 |
| 8.4     | Suolahappo/kloorivety (HCl)                 | 22 |
| 9.      | Tuloskartat                                 | 23 |
| 9.1     | Vety (YK 1049)                              | 23 |
| 9.1.1   | Vety, syttyvät alueet                       | 23 |
| 9.1.1.1 | Vety, vuoto 0,5 cm, syttyvät alueet         | 23 |
| 9.1.1.2 | Vety, vuoto 1 cm, syttyvät alueet           | 24 |
| 9.1.1.3 | Vety, vuoto 2 cm, syttyvät alueet           | 25 |

|         |                                                     |                    |
|---------|-----------------------------------------------------|--------------------|
| 9.1.2   | Vety, lämpösäteilyn tehotasot                       | 26                 |
| 9.1.2.1 | Vety, vuoto 0,5 cm, lämpösäteilyn tehotasot         | 26                 |
| 9.1.2.2 | Vety, vuoto 1 cm, lämpösäteilyn tehotasot           | 27                 |
| 9.1.2.3 | Vety, vuoto 2 cm, lämpösäteilyn tehotasot           | 28                 |
| 9.1.3   | Vety, räjähdysten ylipaine                          | 29                 |
| 9.1.3.1 | Vety, vuoto 0,5, räjähdysten ylipaine               | 29                 |
| 9.1.3.2 | Vety, vuoto 1 cm, räjähdysten ylipaine              | 30                 |
| 9.1.3.3 | Vety, vuoto 2 cm, räjähdysten ylipaine              | 31                 |
| 9.2     | Nesteytetty maakaasu (LNG) (YK 1972)                | 32                 |
| 9.2.1   | LNG, syttyvät alueet                                | 32                 |
| 9.2.1.1 | LNG, vuoto 0,5 cm, syttyvät alueet                  | 32                 |
| 9.2.1.2 | LNG, vuoto 2,5 cm, syttyvät alueet                  | 34                 |
| 9.2.1.3 | LNG, vuoto 8 cm, syttyvät alueet                    | 36                 |
| 9.2.2   | LNG, lämpösäteilyn tehotasot                        | 38                 |
| 9.2.2.1 | LNG, vuoto 0,5 cm, lämpösäteilyn tehotasot          | 38                 |
| 9.2.2.2 | LNG, vuoto 2,5 cm, lämpösäteilyn tehotasot          | 40                 |
| 9.2.2.3 | LNG, vuoto 8 cm, lämpösäteilyn tehotasot            | 42                 |
| 9.2.3   | LNG, räjähdysten ylipaine                           | 44                 |
| 9.2.3.1 | LNG, vuoto 0,5 cm, räjähdysten ylipaine             | 44                 |
| 9.2.3.2 | LNG, vuoto 2,5 cm, räjähdysten ylipaine             | 46                 |
| 9.2.3.3 | LNG, vuoto 8 cm, räjähdysten ylipaine               | 48                 |
| 9.3     | Ammoniakki (YK 1005)                                | 50                 |
| 9.3.1   | Ammoniakki, vuoto 0,5 cm, AEGL                      | 50                 |
| 9.3.2   | Ammoniakki, vuoto 2,5 cm, AEGL                      | 52                 |
| 9.3.3   | Ammoniakki, vuoto 8 cm, AEGL                        | 54                 |
| 9.4     | Suolahappo 33 % (YK 1789)                           | 56                 |
| 9.4.1   | Suolahappo, 50 litraa, 5 m <sup>2</sup> , AEGL      | 56                 |
| 9.4.2   | Suolahappo, 5 000 litraa, 32 m <sup>2</sup> , AEGL  | 58                 |
| 9.4.3   | Suolahappo, 10 000 litraa, 65 m <sup>2</sup> , AEGL | 60                 |
| 10.     | <a href="#">Yhteenveto ja suositukset</a>           | <a href="#">62</a> |
| 10.1    | Yleistä taustaa tuloksista                          | 62                 |
| 10.2    | Yhteenveto leviämismallinnuksen tuloksista          | 62                 |
| 10.2.1  | Vety                                                | 62                 |
| 10.2.2  | LNG                                                 | 62                 |
| 10.2.3  | Ammoniakki                                          | 62                 |
| 10.2.4  | Suolahappo                                          | 63                 |
| 10.3    | Vaikutuksia ympäristöön                             | 63                 |
| 10.4    | Ratapiha-alueen turvallisuus                        | 64                 |
| 10.5    | Yleisiä suosituksia tulosten perustella             | 64                 |
| 10.6    | Yleiskaavoitusta koskevia suosituksia               | 64                 |
| 10.7    | Päätelmät                                           | 66                 |
| 11.     | <a href="#">Kirjallisuus</a>                        | <a href="#">67</a> |

## LIITE 1: Muistio pelastusviranomaisen kanssa käydystä pa-laverista

Työssä on käytetty Maanmittauslaitoksen avointa dataa, 11/2025: maastotietokanta, peruskartta-rasteri, maastokarttarasteri 1:50 000, maastokarttarasteri 1:100 000, lisenssi BY-CC 4.0.

## 1. Johdanto

Tämä selvitys sisältää osayleiskaavan mukaisen esiselvityksen kemikaalivaunujen logistiikan turvallisuudesta. Työssä tarkastellaan ennalta valittujen kemikaalien onnettomuustilanteiden seurausvaikutuksia, ja se liittyy Hollolan kunnan Nostavan-Tikkakallion osayleiskaavaan liittyvään selvitystyöhön. Tavoitteena on ollut tutkia, millaisia seurauksia kemikaalivaunujen vuototilanteilla voisi olla ja tuleeko ilmi joitain kemikaaleja, joita ei voitaisi käsitellä suunnitellulla Nostavan ratapihalla.

Seuraavassa on listattu työhön tarkasteltavaksi valitut kemikaalit ja mallinnettavat onnettomuustilanteet (Taulukko 1). Tarkemmin kemikaalien valintaa on perusteltu kappaleessa 3.

**Taulukko 1. Mallinnettavat kemikaalit ja tilanteet sekä mallinnuksen tulos.**

| Kemikaali         | Mallinnettavat onnettomuustilanteet                                               | Mallinnuksen tulos             |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Vety</b>       | Vety vuotaa syttymättä                                                            | syttyvät alueet                |
|                   | Vety vuotaa, ja vuotokohtaan syntyy pistoliekki                                   | lämpösäteilyn tehotasot        |
|                   | Vety vuotaa muodostaen suihkun, syttyy ja räjähtää                                | räjähdyksen ylipainetasot      |
| <b>LNG</b>        | LNG:tä vuotaa säiliöstä lammikkoon ja metaania haihtuu syttymättä                 | syttyvät alueet                |
|                   | LNG:tä vuotaa säiliöstä lammikkoon ja haihtuva metaani syttyy palamaan            | lämpösäteilyn tehotasot        |
|                   | LNG:tä vuotaa säiliöstä lammikkoon ja haihtuva metaani räjähtää minuutin kuluttua | räjähdyksen ylipainetasot      |
| <b>Ammoniakki</b> | Vedetöntä, nestemäistä ammoniakkia vuotaa säiliövaunusta, ja se höyrystyy         | terveydelle haitalliset alueet |
| <b>Suolahappo</b> | Väkevää suolahappoa on vuotanut säiliöstä lammikkoon, josta haihtuu kloorivetyä   | lämpösäteilyn tehotasot        |

## 2. Kohde ja ympäristö

### 2.1 Kohteen kuvaus

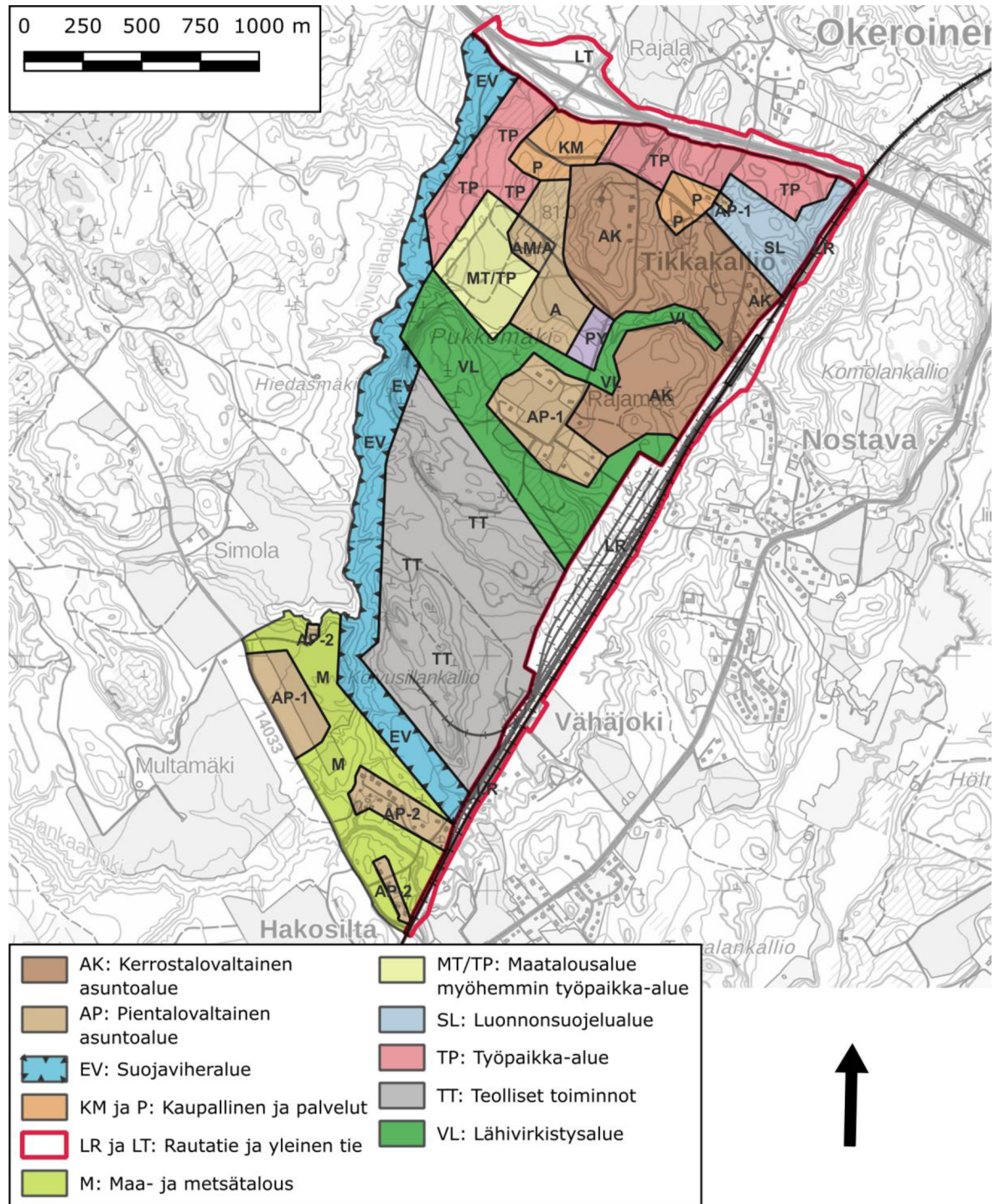
Hollolan kunnassa on vireillä Nostavan-Tikkakallion osayleiskaava (kaavoitustunnus 098 Y23). Kaa-  
van tavoitteena on mahdollistaa alueelle henkilöjunaseisake, tiivis asemataajama sekä Lahden kau-  
punkiseutusuunnitelman mukainen tavararatapiha sekä EU:n TEN-T-asetuksen edellyttämä raide-  
rekkaterminali (ns. multimodaaliterminali). Tavoitteena on myös mahdollistaa yritystoimintaa  
kaavan yritysalueille (Hollola 2024).

Multimodaaliterminalista on tehty raideliikenneselvitys, johon liittyy suunnitelmakartta terminali-  
sta (Welado 2025). Osayleiskaavasta on tehty kaavaluonnoskartta 11.9.2025 (Hollola 2025).

Terminalin suunnitellaan sijoittuvan Riihimäki–Lahti-radan länsipuolelle siten, että kalliota louhi-  
taan 120–190 metrin etäisyydelle ratapihan tasoittamiseksi. Kauimpana radasta suunnitelmassa  
sijaitsee kaksi pistoraidetta, joilla voidaan kuormata suunnitelman mukaan kivi- ja puuaineista tai  
kontteja. Niiden ja radan välissä sijaitsee läpiajettava kuormausraide, jota voitaisiin käyttää viljan  
lastaukseen. Tämän läpiajettavan raiteen ja radan välissä on vielä kolme järjestelyraidetta (Welado  
2025).

Kahden pistoraiteen suurin pituus, jolla kuormasta voitaisiin tehdä, on 750 m, joista lännenpuo-  
leisella pituus on alun perin 550 m (200 m pidentämisvaraa) ja idänpuoleisella 650 m (100 m pi-  
dentämisvaraa). Kuormauspistoraiteiden on oletettu olevan maksimipituisia eli 750 metrin pituisia.

Näin saadaan pahinta mahdollista tilannetta edustavat tarkastelut ja tulokartat, koska vuoto voi periaatteessa olla missä tahansa säiliövaunussa koko junan tai raiteen mitalla.



**Kuva 1. Kaavakartta (yksinkertaistettu) Nostavan-Tikkakallion alustavasta osayleiskaavaluonnoksesta (11.9.2025) (kaavakartta Hollola 2025).** Karttaan on piirretty näkyviin myös Riihimäki–Lahti-rata (Maanmittauslaitos, maastotietokanta) sekä ratapihan suunnitellut raiteet (Welado 2025).

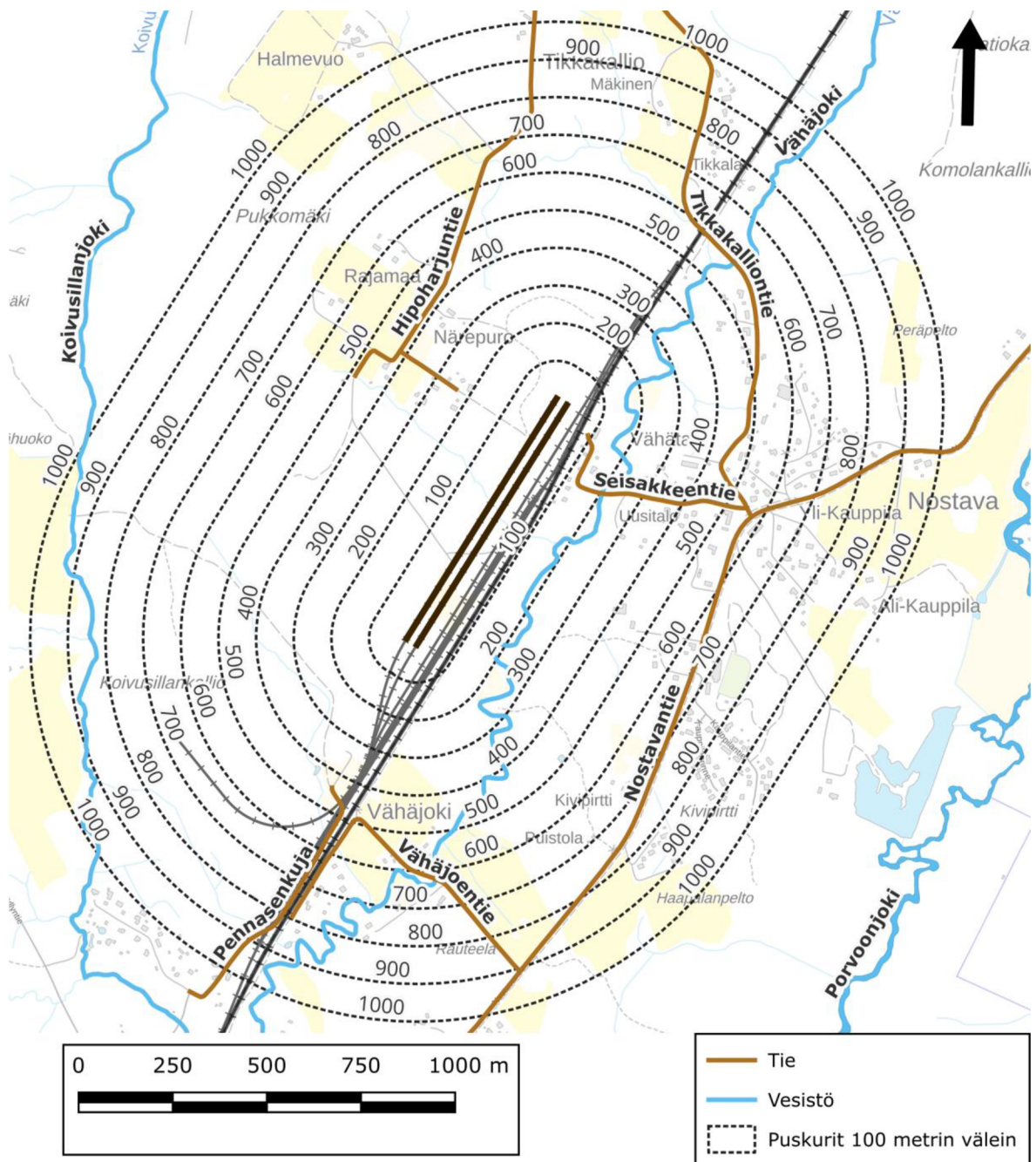


## 2.2 Ympäristön kohteet

Alla on lueteltu ratapiha-alueen ympäristön kohteita: liikenneväyliä ja infrastruktuuria. Taulukon sarake "Ilmansuunta kohteesta raiteiden lähimpään pisteeseen" kertoo, mihin ilmansuutaan pitää kulkea, että päästään lähimmälle pistoraiteelle. Se kertoo myös, minkä suuntainen tuuli (se, mistä tuuli puhaltaa) kuljettaisi kaasua raiteen lähimmästä pisteestä kohteeseen (Taulukko 2).

**Taulukko 2. Etäisyyksiä kahdesta pistoraiteesta ympäristön kohteisiin.**

| Kohde                       | Lyhin etäisyys ratapihan kahdesta pistoraiteesta [m] | Ilmansuunta kohteesta raiteiden lähimpään pisteeseen | Huomautuksia                                          |
|-----------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>Riihimäki–Lahti-rata</b> | 58                                                   | länsiluode                                           | Sähköistetty                                          |
| <b>Seisakkeentie</b>        | 90                                                   | länsiluode                                           |                                                       |
| <b>Vähäjoki</b>             | 160                                                  | itäkoillinen–lounas                                  |                                                       |
| <b>Sähkölinja</b>           | 200                                                  | länsiluode                                           | Sähkölinjoja on useissa muissakin suunnissa etäämpänä |
| <b>Närepurontie</b>         | 230                                                  | itäkaakko                                            |                                                       |
| <b>Hipoharjuntie</b>        | 410                                                  | itäkaakko                                            |                                                       |
| <b>Tikkakalliontie</b>      | 440                                                  | koillinen–itäkaakko                                  |                                                       |
| <b>Pennasenkuja</b>         | 440                                                  | etelälounas–lounas                                   | Jää suunniteltujen raiteiden alle                     |
| <b>Vähäjoentie</b>          | 490                                                  | eteläkaakko–etelälounas                              |                                                       |
| <b>Nostavantie</b>          | 560                                                  | itäkaakko–kaakko                                     |                                                       |
| <b>Koivusillanjoki</b>      | 750                                                  | lounas–länsi                                         |                                                       |
| <b>Valtatie 12</b>          | 1 400                                                | pohjoiskoillinen–itäkoillinen                        |                                                       |



**Kuva 2. Nostavan suunnitellun ratapihan pistoraiteiden ympäristön kohteita sekä puskurit 100 metrin välein. Kuvassa näkyvät myös nykyinen rata sekä ratapihan suunnitellut raiteet (pistoraiteet tummennettuna).**

### 2.3 Ympäristön herkat kohteet ja asutus

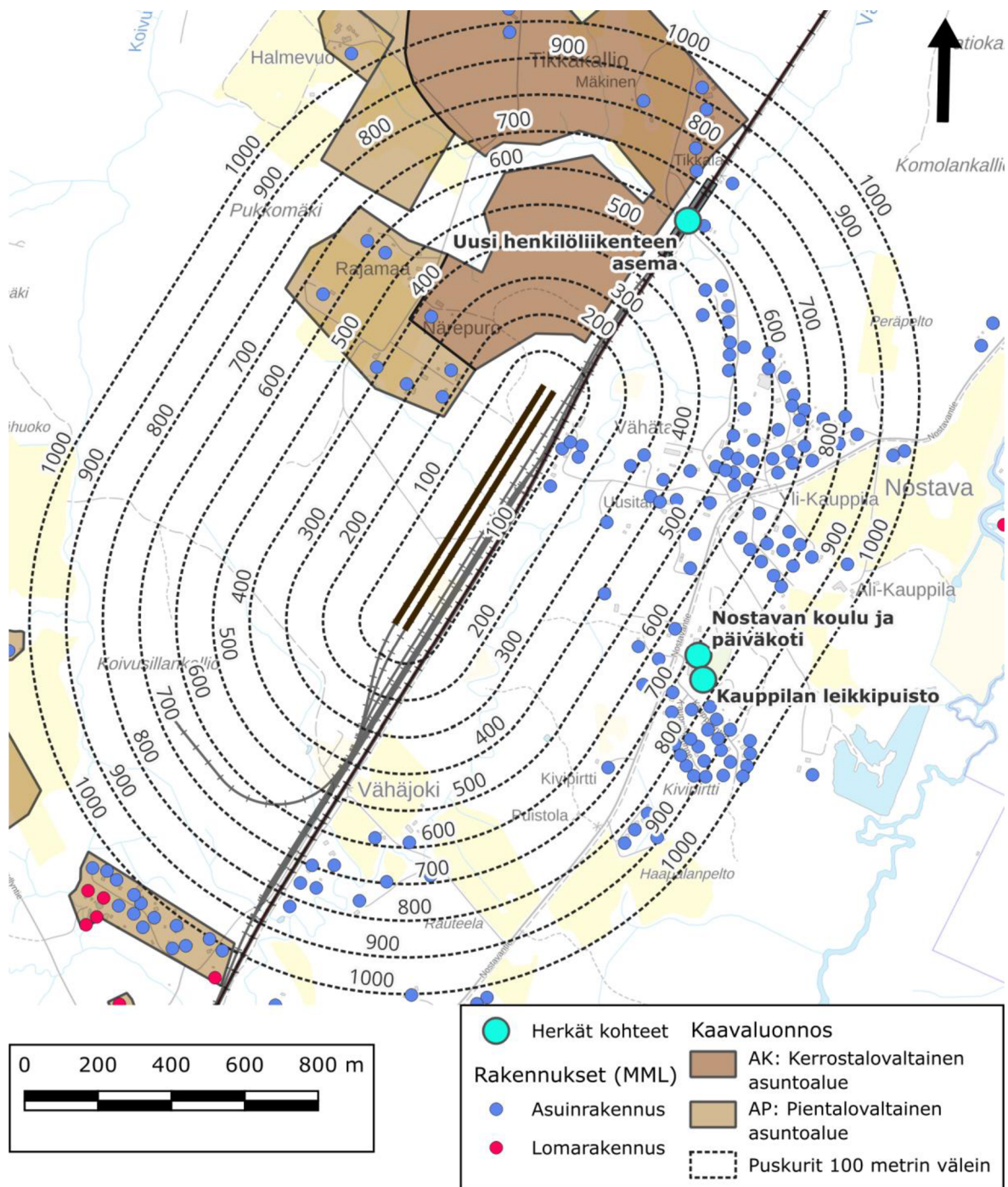
Nykytilanteessa suunnitellun ratapihan ympäristössä herkeksi kohteiksi lasketaan Nostavan koulu ja päiväkoti, Kauppilan leikkipuisto sekä pientaloasutus. Lähimmälle asuintalolle on ratapihan pistoraiteilta 96 m itään päin. Nostavan koululle ja päiväkodille etäisyyttä on noin 680 m (idän suuntaan), ja samalla kiinteistöllä sijaitsee myös Kauppilan leikkipuisto.

Nostavan-Tikkakallion osayleiskaavassa on kaavoitettu kerrostalovaltainen asuntoalue lähimmillään noin 150 metrin etäisyydelle pistoraiteista. Varsinaiset, lopulta rakennettavat kerrostalot voivat olla

kauempanakin kuin välittömästi kaavoitusalueen reunassa. Osayleiskaavassa on myös varattu henkilöliikenteelle uusi liikennepaikka rautatien varteen. Sinne on pistoraiteilta etäisyyttä noin 480 m.

**Taulukko 3. Asuintalojen lukumäärä eri etäisyyksillä pistoraiteista.**

| <b>Etäisyys kahdesta sisimmästä raiteesta [m]</b> | <b>Asuintalojen lukumäärä etäisyyden sisällä</b> |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>100</b>                                        | 1                                                |
| <b>200</b>                                        | 5                                                |
| <b>300</b>                                        | 9                                                |
| <b>400</b>                                        | 16                                               |
| <b>500</b>                                        | 28                                               |
| 600                                               | 50                                               |
| <b>700</b>                                        | 75                                               |
| <b>800</b>                                        | 98                                               |
| <b>900</b>                                        | 120                                              |
| <b>1 000</b>                                      | 134                                              |



**Kuva 3. Nostavan suunnitellun ratapihan ympäristön herkät kohteet, asuin- ja lomarakennukset sekä osayleiskaavaluonnoksen asuntoalueet. Kuvassa näkyvät myös nykyinen rata sekä ratapihan suunnitellut raiteet (pistoraiteet tummennettuna).**

### 3. Mallinnettavat kemikaalit

#### 3.1 Vety ( $H_2$ )

Vety valittiin mallinnettavaksi kemikaaliksi tulevaisuuden vihreän siirtymän suunnitelmien ja vetytalon taidia, kuten vedyn käyttö teollisuuden prosesseissa ja vety polttoaineena. Suomessa on



käynnissä Gasgridin hanke vedyn kansallisesta siirtoverkosta. Esitetty verkko yltää Tornioista Lapista Inkooseen Uudellemaalle, ja verkoston laajennuksia on esitetty Hyvinkään ja Riihimäen kautta Porvoon Kilpilahden satamaan sekä kaavailtu myös Mäntsälän seudulta itään päin. Tämänhetkisten tietojen perusteella vetyputkea ei ole suunnitteilla Hollolaan ja Lahden seudulle, vaan käytettävä vety jouduttaisiin kuljettamaan vetyputken purkuasemalta käyttökohteisiin.

Vedyn kumipyöräkuljetukset ovat olemassa olevaa tekniikkaa maailmalla, ja niissä paineistettu vety on kontissa säilöttyinä kaasupulloihin. Euroopassa ei vuoden 2026 alussa ole käynnissä säännöllisiä vetykuljetuksia rautateitse, mutta prototyyppisiä vaunuista on olemassa (Rheinmetall 2025, DB Cargo 2025). Vedyn kysynnän kasvaessa kuljetusten merkitys kasvaa, ja rautateillä vetyä voisi kulkea enemmän ja edullisemmin vetykiloa kohti kuin maanteitse.

Vety on kaikkein kevein kaasu, minkä vuoksi vuotanut vety kohoaa nopeasti ylöspäin. Vedyn voi nesteyttää vasta alemmissa lämpötiloissa kuin  $-240\text{ °C}$  (33 K), joten ilman erityisjärjestelyjä se on kaasumaisessa muodossa. Vety molekyylin keveyden takia vetykaasu diffundoituu helposti läpi liittokohdista. Vety on myös erittäin herkästi syttyvää. Vetyvuoto voi syttyä näennäisesti ilman syytä hankauksen aiheuttamasta staattisesta sähköstä. Puhtaan vedyn palamisesta muodostunut liekki on näkymätön tai miltei näkymätön päivänvalossa (TTL 2025c). Seuraavassa on lueteltu vedyn tärkeimpiä ominaisuuksia (Taulukko 4).

**Taulukko 4. Vedyn ominaisuuksia (TTL 2025c).**

| Suure                        | Arvo ja yksikkö  |
|------------------------------|------------------|
| <b>Molekyylin moolimassa</b> | 2,02 g/mol       |
| <b>Sulamispiste</b>          | $-259\text{ °C}$ |
| <b>Kiehumispiste</b>         | $-253\text{ °C}$ |
| <b>Kaasun tiheys</b>         | 0,07 (ilma = 1)  |

### 3.2 Nesteytetty maakaasu (LNG)

Nesteytetty maakaasu eli LNG (*liquefied natural gas*) on maakaasua, joka matalan lämpötilan ja ylipaineen avulla on muutettu nestemäiseen olomuotoon. LNG koostuu enimmäkseen metaanista ( $\text{CH}_4$ ), mutta mukana on myös jonkin verran muita hiilivetyjä kuten etaania ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ). LNG on erittäin kylmää, lämpötilaltaan noin  $-162\text{ °C}$ . Se voi aiheuttaa paleltumia joutuessaan kosketuksiin ihon kanssa. Kylmät metaanihöyryt voivat aiheuttaa paleltumia hengitysteissä ja vaurioittaa silmiä (TTL 2025a).

LNG:tä käytetään sellaisenaan nesteenä raskaan tieliikenteen polttoaineena. Höyrystämällä LNG:stä saadaan taas maakaasua, jota voidaan esimerkiksi käyttää kaasukäyttöisten henkilöautojen polttoaineena tai se voidaan pumpata maakaasuverkostoon. Jos metaani on tuotettu uusiutuvan energian avulla tuotetusta vedystä ja hiilidioksidista, nesteytettynä sitä kutsutaan nimellä eLNG, joka on uusiutuva polttoaine.

Suomessa maakaasun siirtoverkosto ulottuu Hollolan lähiympäristössä Lahteen ja Orimattilaan. Nostavan ratapihan alueelta on Lahteen kaasuputkelle vajaan 6 km ja Orimattilaan noin 19 km. Siirtoputkisto ulottuu pohjoisessa Tampereelle ja Hämeenkyröön ja idässä Lappeenrantaan. Tampere, Lahti ja Lappeenranta pohjoisempaan LNG:n siirto toteutetaan nykyisin maanteitse. Siirtopotentialiaa on myös rautateillä. Metaania voidaan valmistaa myös metanointiprosesseissa, joita on käytössä energian varastoinnissa sekä hiilidioksidin talteenoton yhteydessä.

### 3.3 Ammoniakki ( $\text{NH}_3$ )

Ammoniakki on väritön kaasu, jolla on tunnusomainen pistävä haju. Ammoniakkikaasu on normaalioloissa ilmaa kevyempää, ja se voidaan nesteyttää helposti. Ammoniakki liukenee veteen erittäin



hyvin. Ammoniakki on monikäyttöistä, ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi lannoitteiden ja typpihaapon raaka-aineena sekä jäähdytysaineena kylmävarastoissa ja tekojääradoilla (TTL 2025d). Suomen rautateillä kuljetetaan ammoniakkia.

Ammoniakki alkaa ärsyttää ja tuottaa haittavaikutuksia pitoisuudessa 20–25 ppm (14–18 mg/m<sup>3</sup>). Pitoisuus 400–700 ppm (280–500 mg/m<sup>3</sup>) ärsyttää välittömästi hengitysteitä ja silmiä. Ammoniakin haju voidaan aistia (eli sen hajukynnys) pitoisuudessa 5–50 ppm henkilöstä riippuen, joten haju ei ole hyvä varoitusmerkki. Vesiliöille ammoniakki on erittäin myrkyllistä. Akuutit LC50-arvot kalalle ovat 0,14–1,5 mg/l ja katkalle 2–2,5 mg/l (TTL 2025d).

### 3.4 Suolahappo

Suolahappo eli vetykloridihappo on kloorivedyn (HCl) vesiliuos. Kyseessä on vahva happo. Suolahappo ja kloorivety ovat syövyttäviä, ja voivat vaurioittaa vakavasti ihoa, silmiä ja hengityselimiä. Kun suolahappoa vapautuu säiliöstä, niin siitä alkaa haihtua kloorivetyä riippuen hapon väkevyydestä, lämpötilasta ja leviämisolosta. Kloorivety on ilmaa raskaampi kaasu. Makeassa, heikosti puskuroidussa vedessä alle 100 mg/l kloorivetyä voi johtaa kalojen kuolemaan (TTL 2025e).

Suolahappoa käytetään esimerkiksi metsäteollisuudessa klooridioksidin valmistukseen, metallien peittaukseen ja syövytykseen, kloridisuolojen valmistukseen. Suomessa käytetään väkevää suolahappoa pitoisuuksissa 30–33 % (TTL 2025e). Rautateillä kuljetetaan suolahappoa jatkuvasti.

## 4. Vertailutasot

### 4.1 Terveydelle haitalliset pitoisuudet

Tukes-ohjeessa ”Turvallisuusselvitys” (Tukes 2025) ohjeistetaan, että terveysvaaran arvioimiseen tulee käyttää kemikaalin AEGL-pitoisuustasoa (*Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals*). Ellei niitä ole tarkasteltavalle aineelle olemassa, niin ne voidaan korvata ERPG-arvoilla (*Emergency Response Planning Guidelines*). AEGL-3-tason puuttuessa vastaavana vyöhykkeenä voisi käyttää IDLH-arvon (*Immediately Dangerous to Life or Health*) mukaista pitoisuutta, jos sellainen on olemassa.

AEGL-arvot on tarkoitettu normaaliväestölle niin, että myös herkät yksilöt olisi otettu huomioon ja siten niiden ajatellaan suojaavan lähes kaikkia ihmisiä. AEGL-3-taso tarkoittaa pitoisuutta, joka on hengenvaarallinen tai kuolettava. AEGL-2 on pitoisuus, jossa henkilölle syntyy altistusajassa palautumattomia tai muunlaisia vakavia terveyshaittoja tai hänen kykynsä poistua paikalta on heikentynyt (Taulukko 5). Pitoisuuden lisäksi AEGL-tasoon vaikuttaa altistusaika, koska ihmiset sietävät korkeampia pitoisuuksia lyhyen aikaa. Tukesin ohjeen mukaan 10 minuutin ja 30 minuutin altistusajat ovat tarkastelun kohteena. Tässä selvityksessä käytettiin pelkästään altistusaikaa 30 min.

**Taulukko 5. AEGL-tasojen määritelmät (Tukes 2025).**

| AEGL-taso     | Määritelmä                                                                                                         |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>AEGL-1</b> | Huomattavaa epämukavuutta, ärsytysoireita tai tiettyjä oireettomia, ei aistinvaraisia vaikutuksia.                 |
| <b>AEGL-2</b> | Palautumattomia tai muita vakavia, pitkäkestoisia haitallisia terveysvaikutuksia tai heikentynyt kyky pelastautua. |
| <b>AEGL-3</b> | Hengenvaarallisia vaikutuksia tai kuolema.                                                                         |

Suuret kaasupitoisuudet syrjäyttävät happea. Jos hapen pitoisuus laskee pienemmäksi kuin 18 % (normaalisti ilmassa on 21 % happea), niin hapenpuutteen oireita alkaa ilmetä (TTL 2025b). Pitoi-

suus 13–16 % aiheuttaa huimausta, sykkeen nousua ja huomiokyvyn laskua (TTL 2025a). Happipitoisuus 6–10 % aiheuttaa pahoinvointia, oksentelua, uupumuskohtauksia ja mahdollisesti tajutomuutta. Alle 6 %:n pitoisuus voi olla välittömästi kuolettava (EIGA 2018).

Kaasuille, jotka eivät sinänsä aiheuta myrkytystä, on määritelty TEEL-arvot (*Temporary Emergency Exposure Limit*), jotka perustuvat hapen syrjäyttämiseen (Taulukko 6). Näitä kaasuja ovat tässä selvityksessä vety ja metaani. Vety ja metaani ovat ilmaa kevyempiä, ja etenkin vety hajaantuu ulkona nopeasti yläilmoihin, joten sisätiloissa tapahtuvissa vuototilanteissa uhka olisi merkittävämpi.

**Taulukko 6. TEEL-tasot vedylle ja metaanille (TTL 2025a).**

| TEEL-taso | TEEL-pitoisuus     | Likimääräinen happipitoisuus TEEL-tasolla |
|-----------|--------------------|-------------------------------------------|
| TEEL-1    | 65 000 ppm (6,5 %) | 19,5 %                                    |
| TEEL-2    | 230 000 ppm (23 %) | 16 %                                      |
| TEEL-3    | 400 000 ppm (40 %) | 12,5 %                                    |

**Taulukko 7. Ammoniakin (NH<sub>3</sub>) AEGL-arvot eri altistusajoille (EPA 2025a).**

| AEGL-taso | 10 min | 30 min | 60 min | 4 h | 8 h |
|-----------|--------|--------|--------|-----|-----|
| AEGL-1    | 30     | 30     | 30     | 30  | 30  |
| AEGL-2    | 220    | 220    | 160    | 110 | 110 |
| AEGL-3    | 2 700  | 1 600  | 1 100  | 550 | 390 |

**Taulukko 8. Kloorivedyn (HCl) AEGL-arvot eri altistusajoille (EPA 2025b).**

| AEGL-taso | 10 min | 30 min | 60 min | 4 h | 8 h |
|-----------|--------|--------|--------|-----|-----|
| AEGL-1    | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8 | 1,8 |
| AEGL-2    | 100    | 43     | 22     | 11  | 11  |
| AEGL-3    | 620    | 210    | 100    | 26  | 26  |

#### 4.2 Syttyvät pitoisuudet

Syttymisraja eli räjähdysraja eli LEL (lower explosive limit) on pitoisuus, jossa kaasu muodostaa ilman kanssa syttyvän ja räjähtävän seoksen. Koska kaasun virtaus on aina pyörteistä, niin kaasun levitessä sen pitoisuudet vaihtelevat. Tämän takia alueella, jossa pitoisuus on 50 % räjähdysrajasta, oletetaan räjähdyskynnyksen olevan periaatteessa mahdollinen (Taulukko 9).

**Taulukko 9. Tuloksissa esitetyt pitoisuudet osuuksina räjähdysrajasta (LEL) (Tukes 2025).**

| Osuus syttymisrajasta | Kuvaus                                                                              |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 100 %                 | Syttymisraja ylittyy alueella, räjähdys mahdollinen                                 |
| 50 %                  | Vaikutusalueella voi olla alueita ("flame pockets"), joissa räjähdys on mahdollinen |

Seuraavassa on esitetty tarkasteltujen kaasujen syttymisrajat (Taulukko 10). Kloorivety ei ole palava kaasu, mutta siitä voi muodostua syttyvää vetykaasua (TTL 2025e).

**Taulukko 10. Syttymisrajat (LEL) ja 50 % syttymisrajasta vedylle, metaanille ja ammoniakille (TTL 2025c, TTL 2025a, TTL 2025d).**

| Kaasu      | 100 % LEL [%] | 50 % LEL [%] |
|------------|---------------|--------------|
| Vety       | 4             | 2            |
| Metaani    | 4,4           | 2,2          |
| Ammoniakki | 16            | 8            |

#### 4.3 Lämpösäteily

Palotilanteessa kehittyy runsaasti lämpöä, jonka säteilyvaikutukset voivat aiheuttaa vammoja ihmisille, vaikuttaa pelastustoimiin sekä sytyttää rakennuksia tuleen. HyRAM+-mallin oletuksena on, että vety syttyy vuotokohdassa tuleen ja muodostaa pistoliekin. ALOHalla lasketun LNG:n lammikopalon tapauksessa haihtuva kaasu syttyy palamaan koko lammikon pinta-alalla. Ammoniakin ja kloorivedyn ei ole oletettu syttyvän tuleen.

**Taulukko 11. Lämpösäteilyn arviointikriteerit. Taso 8 kW/m<sup>2</sup> on suunnittelun lähtökohtana oleva korkein sallittu lämpösäteilyintensiteetti tontin rajalla (Tukes 2025).**

| Lämpösäteilyn intensiteetti kW/m <sup>2</sup> | Vaikutus                                                                                 | Sallitut toiminnot                                                                              |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12–15                                         | Kasvillisuus ja rakennukset voivat syttyä                                                | Paloa kestävä tai palosuojatut rakennukset                                                      |
| 8                                             | Riski palon leviämislle kasvaa, helposti palavat materiaalit voivat syttyä tai rikkoutua | Rakennukset, paloa levittävät kohteet                                                           |
| 5                                             | Ihmisen toiminta vaikeutuu, aiheuttaa palovammoja nopeasti                               | Rakennukset ja muut kohteet, joissa oleskelee ihmisiä                                           |
| 3                                             | Pitkäaikainen altistus aiheuttaa palovammoja                                             | Rakennusten poistumisovet ja -reitit                                                            |
| 1,5                                           | Epämiellyttävä lämpö                                                                     | Tuotantolaitoksen ulkopuolella olevat vaikeasti evakuoitavat rakennukset tai suuri asukastiheys |

#### 4.4 Painevaikutukset

Räjähdyksessä syntyvä ylipaine voi aiheuttaa vammoja ihmisille ja vaurioita rakennuksille. ALOHA-malleissa on oletettu, että räjähdys tapahtuu minuutin kuluttua vuodon alkamisesta ja että kipinä sytyttää kaasun. LNG-laskelmissa räjähdys tapahtuu siten, että lammikosta haihtuva höyry syttyy. HyRAM+-malli olettaa, että ensin muodostuu vetysuihku, joka räjähtää kokonaisuutena. Alla on esitetty painevaikutuksen tasot (Taulukko 12).

**Taulukko 12. Räjähdyksen ylipaineen arviointikriteerit (Tukes 2025).**

| Huippuylipaine [kPa (bar)] | Vaikutus                                                                                         | Sallitut toiminnot                                                                                    |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 30 (0,3)                   | Rakennusten sortuminen, onnettomuuden leviäminen                                                 | Tuotantolaitteistot ja -rakenteet                                                                     |
| 15 (0,15)                  | Rakennusten vaurioituminen, vammautumisriski                                                     | Painevaikutuksille vähemmän alttiit rakennukset ja rakenteet tai muu perusteltu syy hyväksyä ylipaine |
| 10 (0,1)                   | Suunnittelun lähtökohtana oleva korkein ylipaine tontin rajalla                                  |                                                                                                       |
| 5 (0,05)                   | Vähäinen vammautumisriski, korkeintaan pieniä vaurioita rakennuksille, ikkunoiden rikkoontuminen | Rakennukset ja alueet, joissa normaalisti oleskelee ihmisiä                                           |

#### 4.5 Sallitut onnettomuusvaikutukset kohteissa

Tukes on antanut yhteenvedon sallituista onnettomuusvaikutuksista eri kohteissa (Taulukko 13). Tämän työn kannalta olennaisimpia ovat pientaloasuminen, tärkeät infrastruktuurit (rautatie) ja luontoarvot. Pientaloalueilla pitoisuustaso 30 minuutin AEGL-3-taso ei saa ylittyä. Taustalla on se, että kyseisessä asumismuodossa ihmisten määrä on pienehkö ja että alueelta poistuminen on nopeampaa kuin esimerkiksi kerrostaloalueilla.

**Taulukko 13. Yhteenvedo sallituista onnettomuusvaikutuksista eri kohteissa (Tukes 2025).**

| Kohde                                                        | Lämpösäteily, joka ei saa ylittyä [kW/m <sup>2</sup> ] | Huippuylipaine, joka ei saa ylittyä [barg] | Kaasupitoisuus, joka ei saa ylittyä | Heitteet   |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|------------|
| <b>Herkät vaikeasti evakuoitavat kohteet</b>                 | 1,5                                                    | 0,05                                       | AEGL-2 (30 min)                     | Ei sallita |
| <b>Herkät kohteet</b>                                        | 3                                                      | 0,05                                       | AEGL-2 (30 min)                     | Ei sallita |
| <b>Kerrostalovaltaiset, tiiviisti rakennetut asuinalueet</b> | 3                                                      | 0,05                                       | AEGL-2 (30 min)                     |            |
| <b>Pientaloasuminen</b>                                      | 3                                                      | 0,05                                       | AEGL-3 (30 min)                     |            |
| <b>Toimistotyöpaikat</b>                                     | 3                                                      | 0,05                                       | AEGL-3 (10/30 min)                  |            |
| <b>Tuotannon työpaikat</b>                                   | 5                                                      | 0,15 (jos rakennukset kestävät tämän)      | AEGL-3 (10/30 min)                  |            |
| <b>Muinaismuistot ja kulttuuriperintökohteet</b>             | 3                                                      | 0,15                                       | Ei määräystä                        | Ei sallita |
| <b>Tärkeät infrastruktuurit</b>                              | Kriittinen infrastruktuuri ei saa häiriintyä liikaa    |                                            |                                     |            |
| <b>Luontoarvot</b>                                           | Keskeiset luontoarvot eivät saa tuhoutua lopullisesti  |                                            |                                     |            |
| <b>Muut onnettomuusvaaralliset kohteet</b>                   | Dominovaikutuksia ei saa syntyä                        |                                            |                                     |            |

## 5. Onnettomuustilanteiden arviointi

### 5.1 ALOHA-malli

Onnettomuusmallinnukset tehtiin käyttäen ALOHA-ohjelmaa (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*), joka on NOAA:n (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) ja EPAn (*U.S. Environmental Protection Agency*) kehittämä sovellus. Se on suunniteltu pelastustoimen käytettäväksi terveydelle uhaksi olevien olosuhteiden paikallistamiseen kemikaalionnettomuuden aikana.

ALOHAlla mallinnetaan kemikaalivuodon höyrystymisessä syntyneen kemikaalipilven leviämistä; mallin avulla voidaan tunnistaa alueet, joilla altistutaan terveyden kannalta haitallisille pitoisuuksille. Sen lisäksi ohjelmalla voidaan mallintaa tulipalon lämpövaikutuksia, mutta myös höyryn leimahduksen ja palavan kemikaalin aiheuttamia lämpövaikutuksia.

Mallilla voidaan arvioida riskialueita kemikaalionnettomuuden aikana. Malliin syötetään lähtötietoina tarkasteltava aine ja sääolosuhteet, mm. tuulen nopeus ja suunta, pinnan karkeus (avoin, kaupunki/metsä, vesistö), pilvisuus, lämpötila, stabiilisuusluokka, inversio ja ilman kosteus. Valittavia päästötyyppejä ovat lammikko, säiliö, kaasuputki ja suora päästö. Kun käytetään suorassa päästöä, lähtötiedoiksi syötetään kemikaalin päästönopeus, päästökorkeus ja päästön kesto. Muita päästötyyppejä käytettäessä ALOHA laskee itse päästönopeuden ja päästön keston.



## 5.2 HyRAM+-malli

HyRAM+ (Hydrogen Plus Other Alternative Fuels Risk Assessment Models) on työkalu, jolla voidaan laskea vedyn sekä metaanin ja propaanin vuotojen leviämistä, näiden kaasujen palaessa syntyvää lämpösäteilyä sekä vuotojen aiheuttamien räjähdysten ylipainevaikutuksia. HyRAM+:n käyttämä laskenta on validoitua. HyRAM+ ottaa huomioon ilmaa kevyempien kaasujen ominaisuudet paremmin kuin ALOHA. HyRAM+:n käytetty versio oli 5.1.1.

## 5.3 Säiliövaunut

VR Logistiikka esittää käyttämänsä kaluston tietoja julkisesti (<https://logistics.vr.fi/fi/vr-logistiikka/asiakkaan-opas/kalusto/>). Listattuja säiliövaunuja on yhteensä 10 kpl. Niistä valittiin mallivaunuksi nestekaasuvaunu **Zagkks-z**, jonka säiliön tilavuus on 77 m<sup>3</sup>, vaunun kokonaispituus 16,06 m ja leveys 3,1 m. Itse säiliön halkaisija on noin 2,7 m. Nestepuolen täyttö-/purkuputki on DN 80 ja kaasupuolella on putki DN 50 (VR Logistiikka 2025).

LNG-kuljetuksen tulee olla kylmä, ja malleissa on oletettu, että Zagkks-z-vaunua vastaava vaunu voidaan kylmentää vaadittuun lämpötilaan –162 °C:een.

Ammoniakkivaunua VR Logistiikka ei ole listannut, mutta Suomessa rautateillä liikkuu ammoniakia. Esimerkiksi vuonna 2021 Oulussa oli kuljetuksessa ammoniakkivaunu, jonka tyyppi oli Zakks ja tilavuus 77 m<sup>3</sup>. Tyyppikilven mukaan suurin lastattava määrä on 40 800 kg, josta saatiin ammoniakin määrä säiliössä (Kuva 4). Tämä oli sama tilavuus kuin nestekaasuvaunulla Zagkks-z, ja venttiilien kokojen oletettiin olevan ammoniakkivaunuissa samat.



**Kuva 4. Ammoniakkivaunu 18.9.2021 Oulun rautatieasemalla (Putkonen 2021, kuva rajattu).**

Vetyä ei Euroopassa nykyään kuljeteta rautateitse. Mallinnuslaskelmissa vedyn kuljetusten oletettiin tapahtuvan vastaavissa vaunuissa kuin Rheinmetallin valmistamat ja DB Cargon vuonna 2025 esittelemät vaunut. Vedyn kuljetus tapahtuu niissä lukuisissa tyyppin IV kaasupulloissa, jotka valmistetaan pinnoitetuista komposiittimateriaaleista. Kuljetusmenetelmän nimitys on MEGC (*Multiple Element Gas Container*). Kaasupullot sijoitetaan pituudeltaan ja leveydeltään merikontin kokoiseen kuoreen, joka voidaan kuljettaa rautateitse. Merikontin pituus on joko 20 jalkaa (6,1 m) tai 40 jalkaa (12,2 m) (Rheinmetall 2025, DB Cargo 2025) (Kuva 5).



**Kuva 5. Rheinmetallin havainnekuva vetykontista, joka voidaan kuljettaa rautateitse, pituus 12,2 m (40 jalkaa). Kuvassa on kontin seiniä osittain poistettu (Rheinmetall 2025).**

#### 5.4 Mallien lähtötiedot ja skenaariot

Mallien lähtötiedot olivat Tukesin oppaan ”Turvallisuusselvitys” mukaiset. Mallit tulee laskea koko putken tai liitoskohdan vuotokoolla sekä kymmenellä prosentilla putken poikkipinta-alasta (Tukes 2024b). Tässä selvityksessä LNG- ja ammoniakivuodot laskettiin siten putkiko’oilla 8 cm sekä 2,5 cm, jolla tulee noin 10 % koko kahdeksan senttimetrin kokoisen putken pinta-alasta. Lisäksi mallit laskettiin vuotokoolla 0,5 cm, joka kuvaa pientä vuotoa. Perustelu tämän vuotokoon mukaan ottamiselle on, että pienten vuotojen voidaan olettaa olevan todennäköisempiä kuin suuronnettomuuksiin johtavat suuret vuodot.

Ulkoilman lämpötila malleissa on +15 °C, ja ALOHAa käytettäessä mallit tulee laskea sekä neutraaleihin että stabiileihin oloihin (ks. kappale 6.2).

##### 5.4.1 Vety

Vetyvuodon on oletettu tapahtuvan vaunun suojakuoren ulkopuolelle, eikä siten kontin sisälle tapahtuvan vetyvuodon seurauksia ole laskettu. Pahimman mahdollisen tilanteen periaatteen mukaisesti on oletettu, että kaikki vuotava vety on käytettävissä eikä vain yksittäinen kaasupullo vuoda. HyRAM+ ei ota huomioon leviämisolojen merkitystä. Vaunussa käytettyjen kaasulinjojen koot eivät ole tiedossa. Laskelmat tehtiin kolmella eri putkikoolla (vähintään 0,5 cm), jotta saataisiin haaroitua vaikutusten vakavuutta. Vetyasennuksissa putkikoko voi olla myös alle 0,5 cm (Taulukko 14).

**Taulukko 14. Vetymalleissa käytettyjä lähtötietoja (Rheinmetall 2025, DB Cargo 2025).**

| Suure                      | Arvo ja yksikkö      |
|----------------------------|----------------------|
| <b>Paine säiliössä</b>     | 380 bar              |
| <b>Lämpötila säiliössä</b> | +15 °C               |
| <b>Vedyn kokonaismäärä</b> | 1 100 kg             |
| <b>Vedyn olomuoto</b>      | paineenalainen kaasu |
| <b>Vuodon suunta</b>       | vaakasuoraan         |

|                                 |                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kontin pituus</b>            | 12,2 m (40 jalkaa)                                                                                                                                                                            |
| <b>Mallinnetut vuotokoot</b>    | 0,5 cm; 1 cm; 2 cm                                                                                                                                                                            |
| <b>Ulkoilman lämpötila</b>      | +15 °C                                                                                                                                                                                        |
| <b>Mallinnettavat tilanteet</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vety vuotaa syttymättä</li> <li>Vety vuotaa, ja vuotokohtaan syntyy pistoliekki</li> <li>Vety vuotaa muodostaen suihkun, syttyy ja räjähtää</li> </ul> |

#### 5.4.2 LNG

Mallinnuksissa on oletettu, että LNG on puhdasta metaania. Todellisuudessa mukana on pieni määrä muitakin kaasuja. Tämän seurauksena seoksen syttymisraja on korkeampi kuin puhtaan metaanin. Höyrystyessään LNG:n on oletettu tuottavan pelkästään kaasumaista metaania, joka on erittäin helposti syttyvä kaasu. LNG-säiliövaunun täyttöasteen oletettiin olevan 85 %. Tästä saadaan LNG:n massaksi säiliövaunussa 28 000 kg. (Taulukko 15)

**Taulukko 15. LNG-mallien lähtötietoja**

| Suure                           | Arvo ja yksikkö                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Vaunun täyttöaste</b>        | 85 %                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>LNG:n määrä säiliössä</b>    | 28 000 kg                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>LNG:n lämpötila</b>          | −162 °C                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>LNG:n olomuoto</b>           | paineenalainen, kylmä neste                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Mallinnetut vuotokoot</b>    | 0,5 cm; 2,5 cm; 8 cm                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Vuotokohdan sijainti</b>     | vaunun alaosaan                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Räjähdyksen alkuaika</b>     | 1 min vuodon alun jälkeen                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Räjähdyksen sytyttäjä</b>    | kipinä                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Ulkoilman lämpötila</b>      | +15 °C                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Leviämisolot</b>             | 5D (neutraali, tuuli 5 m/s)<br>2F (stabiili, tuuli 2 m/s)                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Mallinnettavat tilanteet</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>LNG:tä vuotaa säiliöstä lammikkoon ja metaania haihtuu syttymättä</li> <li>LNG:tä vuotaa säiliöstä lammikkoon ja haihtuva metaani syttyy palamaan</li> <li>LNG:tä vuotaa säiliöstä lammikkoon ja haihtuva metaani räjähtää minuutin kuluttua</li> </ul> |

#### 5.4.3 Ammoniakki

Ammoniakki kuljetetaan vedettömänä eli puhtaana ammoniakkinä. Säiliövaunun oletettiin olevan mallinnuksen lähtötietojen mukaan ulkoilman lämpötilassa +15 °C, jolloin vaunussa on riittävä paine, jotta ammoniakki on siellä nestemäisessä muodossa. Jos vuoto syntyy vaunun alaosaan siten, että nestemäinen ammoniakki vapautuu, niin se kaasuuntuu voimakkaasti samalla ja se vapautuu aerosolina (nesteen ja kaasun seoksena). Toinen mahdollinen vuotoskenaario on, että vuoto tapahtuisi vaunun yläosassa, jolloin paineen alenemisen takia höyrystyvä ammoniakki vapautuisi kaasuna. Tässä selvityksessä mallinnettiin nestemäisen ammoniakin vuoto vaunun alaosasta.

Ammoniakkivaunun täyttöasteen oletettiin olevan maksimikuorman mukainen noin 85 %. Ammoniakkihöyry voi palaa, mutta se ei syty helposti (TTL 2025d). Tämän takia palotilanteita ei tarkasteltu.

**Taulukko 16. Ammoniakkimallien laskennassa käytettyjä lähtötietoja.**

| Suure                             | Arvo ja yksikkö |
|-----------------------------------|-----------------|
| <b>Ammoniakin määrä säiliössä</b> | 40 800 kg       |
| <b>Ammoniakin lämpötila</b>       | +15 °C          |

|                                 |                                                                           |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ammoniakin olomuoto</b>      | paineenalainen neste                                                      |
| <b>Vuotokohdan sijainti</b>     | vaunun alaosassa                                                          |
| <b>Mallinnetut vuotokoot</b>    | 0,5 cm; 2,5 cm; 8 cm                                                      |
| <b>Ulkoilman lämpötila</b>      | +15 °C                                                                    |
| <b>Leviämisolot</b>             | 5D (neutraali, tuuli 5 m/s)<br>2F (stabiili, tuuli 2 m/s)                 |
| <b>Mallinnettavat tilanteet</b> | Vedetöntä, nestemäistä ammoniakkia vuotaa säiliövaunusta, ja se höyrystyy |

#### 5.4.4 Suolahappo

ALOHA ei pysty mallintamaan suolahapon vuotoa säiliöstä ja kloorivedyn haihtumista. Tämän takia mallinnus tehtiin lammikkomalleina, joissa eri kokoisille lammikoille ja eri määriille suolahappoa arvioitiin kloorivedyn haihtuminen.

Olennainen lähtötieto on suolahapon pitoisuus. OVA-ohjeiden mukaan Suomessa valmistettava kloorivety liuotetaan veteen 30–33-prosenttiseksi liuokseksi eli suolahapoksi. Sen sulamispiste on –58 °C (TTL 2025e) (Taulukko 17).

**Taulukko 17. Suolahappomallien laskennassa käytettyjä lähtötietoja.**

| Suure                                    | Arvo ja yksikkö                                                                          |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Suolahapon pitoisuus</b>              | 33 %                                                                                     |
| <b>Suolahapon lämpötila</b>              | +15 °C                                                                                   |
| <b>Lammikon koko ja suolahapon määrä</b> | 5,0 m <sup>2</sup> , 50 l<br>32 m <sup>2</sup> , 5 000 l<br>65 m <sup>2</sup> , 10 000 l |
| <b>Ulkoilman lämpötila</b>               | +15 °C                                                                                   |
| <b>Leviämisolot</b>                      | 5D (neutraali, tuuli 5 m/s)<br>2F (stabiili, tuuli 2 m/s)                                |
| <b>Mallinnettavat tilanteet</b>          | Väkevää suolahappoa on vuotanut säiliöstä lammikkoon, josta haihtuu kloorivetyä          |

## 6. Sääolot

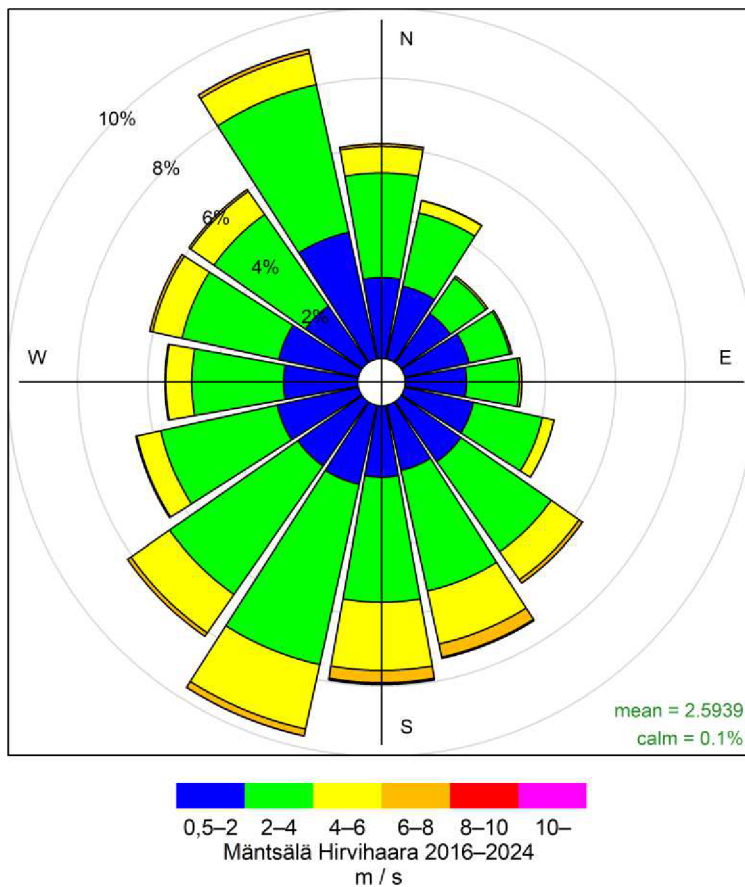
### 6.1 Tuuliolot

Nostavan ratapiha-aluetta lähimpänä sijaitseva Ilmatieteen laitoksen sääasema on Lahden Sopen korpi, joka sijaitsee itäkoillisen suuntaan noin 5,5 kilometrin etäisyydellä, mutta siellä ei mitata tuulia. Toiseksi lähin sääasema on Hämeenlinna Lammi Pappila (noin 29 km länsiluoteeseen), mutta sielläkään ei mitata tuulia. Tuulimittauksia tehdään Asikkalan Pulkkilanharjun sääasemalla (noin 36 km pohjoiseen), mutta sijainti harjulla Päijänteen keskellä ja harjun puiden vaikutus tekee havainnoista epäedustavia. Mäntsälän Hirvihaaran ja Heinolan Asemantauksen asemille on ratapiha-alueelta likimain sama matka (noin 40 km), mutta vain edellisellä mitataan tuulia. Käytettäväksi sääasemaksi valitaan Mäntsälän Hirvihaara, joka sijaitsee ratapihaa vastaavasti alueella, jossa on peltoja ja kallioita eikä olla suuren vesistön keskellä. Sääolojen tarkastelujakso oli yhdeksän vuoden jakso 2016–2024.

Mäntsälän Hirvihaaran sääasemalla yleisimmät tuulen suunnat tuntitasolla olivat etelälounas (9,7 % yhdeksän vuoden aikana tuntitasolla), pohjoisluode (9,1 %), lounas (8,1 %), etelä (8,0 %) ja eteläkaakko (7,4 %) (Kuva 6). Kuvassa sektorit osoittavat, mistä suunnasta on tuullut. Onnettomuustilanteessa kaasu leviäisi tuulen suuntaan eli vastakkaiseen suuntaan kuin kuvan sektorit. Kuitenkin



joka suunnasta on vähintään 3 % ajasta tuulia, eli mitään päästön kulkeutumissuuntaa ei voi täysin poissulkea pitkän ajan tuulijakauman perusteella.



**Kuva 6. Tuulen suuntien ja nopeuksien jakauma Mäntsälän Hirvihaaran sääasemalla vuosina 2016–2024 (Ilmatieteen laitos, avoin data). Kaavio osoittaa, mistä suunnasta on tuullut.**

## 6.2 Ilmakehän stabiilisuus

Ilmakehän stabiilisuusluokat kuvaavat sitä, miten tehokkaasti sekoittumista tapahtuu. Yleisesti ovat käytössä Pasquillin–Giffordin luokat eli P–G-luokat. Eri luokkien esiintyminen selvitetään tarkastelemalla edellä mainittuja Hirvihaaran säähavaintoja yhdeksän vuoden ajalta jaksolla 2016–2024. Stabiilisuusluokat määritettiin U.S. EPA:n menetelmällä (U.S. EPA 2000), jossa tarvittavat suureet ovat tuulen nopeus, auringon säteily ja korkeuskulma ja pilvipeite. Auringon säteilytiedot saatiin Helsinki-Vantaan lentoaseman säteilyhavainnoista (Ilmatieteen laitos, avoin data).

Stabiilisuusluokat merkitään kirjaimilla A:sta F:ään A-luokan ollessa epästabiilein ja F:n stabiilein. A- ja B-luokissa esiintyy pystyvirtauksia ja maanpinnan lähellä muodostuvat päästöt pääsevät nousemaan ylöspäin ja laimenemaan nopeasti. F-luokassa tuuli on heikkoa, ja sekoittuminen vähäistä, jolloin vuodosta muodostuvassa kaasupilvessä voi esiintyä suhteellisen pitkän aikaa korkeampia pitoisuuksia.

Stabiilisuusluokkatarkastelun tulokset on esitetty alla (Taulukko 18). Käytetty EPA:n menetelmä antaa tuloksena joidenkin luokkien välimuotoja. Neutraali D-luokka havaittiin yleisimmäksi esiintyen noin 55 % ajasta, ja stabiilia F-luokkaa esiintyi selvästi vähemmän, noin 13 % yhdeksän vuoden aikana.

Kun tarkastellaan osuuksia vähintään lämpötilassa +15 °C (lämpötila, johon mallinnukset tehtiin), niin osuudet ovat lähes kauttaaltaan selvästi pienempiä. Stabiilin luokan F osuus putoaa puoleen



prosenttiin, eli sitä esiintyy lähes pelkästään kylmemmissä oloissa. Tällöin kloorivedyn haihtuminen suolahaposta on selvästi vähäisempää kuin onnettomuusmalleissa, ja vyöhykkeet jäävät pienemmiksi kuin esitetyissä tuloksissa.

**Taulukko 18. Stabiilisuusluokkien suhteelliset osuudet tuntitasolla Mäntsälän Hirvihaaran säähavaintojen ja Helsinki-Vantaan säteilyhavaintojen perusteella 2016–2024. Taulukossa on myös esitetty luokan osuus, kun lämpötila on vähintään +15 °C.**

| Luokka                      | Osuus  | Osuus, kun lämpötila vähintään +15 °C |
|-----------------------------|--------|---------------------------------------|
| <b>A</b>                    | 0,7 %  | 0,6 %                                 |
| <b>A/B</b>                  | 3,0 %  | 2,0 %                                 |
| <b>B</b>                    | 9,8 %  | 4,0 %                                 |
| <b>B/C</b>                  | 3,7 %  | 2,0 %                                 |
| <b>C</b>                    | 8,7 %  | 3,2 %                                 |
| <b>C/D</b>                  | 0,5 %  | 0,3 %                                 |
| <b>D</b>                    | 54,8 % | 4,9 %                                 |
| <b>E</b>                    | 4,7 %  | 0,2 %                                 |
| <b>F</b>                    | 12,6 % | 0,5 %                                 |
| <b>puuttuvia havaintoja</b> | 1,3 %  | 0,8 %                                 |

## 7. Epävarmuustarkastelu

ALOHA-mallissa on rajoituksia. ALOHA-malli rajoittaa onnettomuuden keston maksimissaan yhden tunnin pituiseksi, sekä se olettaa maaston olevan tasaista. Sääolojen oletetaan olevan vakiot tunnin ajan. Se ei myöskään ota huomioon rakennusten tai muiden esteiden aiheuttamia muutoksia virtauksiin lukuun ottamatta yleistä maaston rosoisuutta (kasvillisuus, rakennettu ympäristö) vaikutusta. ALOHA-malli ei myöskään sovellu suoraan sisätiloissa tapahtuvien onnettomuuksien laskentaan, kuten tässä työssä tehdyt laskelmat vedyn kohdalta kontin sisätiloihin.

Mallissa päästölähde on paikoillaan. Malli ei myöskään sovellu tynien olosuhteiden mallintamiseen. Suurin arvo, jonka ALOHA laskee turvaetäisyydelle, on 10 km ja pienin 10 m.

HyRAM+-mallissa maaston tai leviämisolojen vaikutusta ei voida ottaa huomioon.

Suomessa on suuren osan aikaa kylmempää kuin Tukesin ohjeen mukainen lämpötila +15 °C. Kylmemmässä kloorivedyn haihtuminen suolahaposta on vähäisempää. Toisaalta lämpimämissä oloissa haihtuminen on voimakkaampaa, joten tällöin vyöhykkeet muodostuvat suuremmiksi. Tukes-ohjeen mukaiset stabiilit olot lämpötilassa +15 °C ovat harvinaisia.

Ammoniakkivuodot mallinnettiin nestemäisen ammoniakin vuotona säiliövaunusta. Nestemäisen ammoniakin lämpötilan oletettiin olevan +15 °C eli mallien ulkoilman lämpötila. Matalammissa lämpötiloissa höyrystyminen ja leviäminen on heikompaa, koska ammoniakin kiehumispiste on –33 °C. Mallinnuksissa ei tarkasteltu kaasumaisen ammoniakin vuotoa säiliövaunun kaasuventtiilistä.

Mahdollisia BLEVE-tilanteita (*boiling liquid expanding vapour explosion*) ei ole arvioitu. ALOHA antaa BLEVE-mallinnuksen tuloksena räjähdysen aiheuttamat lämpösäteilyn tehotasot mutta ei ylipainetasoja. BLEVEN seurauksena voi syntyä myös heitteitä, jotka aiheuttavat vaaraa ympäristölle. ALOHA tai HyRAM+ ei pysty mallintamaan heitteiden vaikutusta.

## 8. Tulokset

Tässä kappaleessa on esitetty mallinnusten tuloksina kaikki lasketut vaikutusetäisyydet taulukko-muodossa. Kappaleessa 9 on esitetty kuvat kaikista skenaarioista.

### 8.1 Vety ( $H_2$ )

Vedyn syttymisrajaetäisyyksille on esitetty (Taulukko 19) kokonaisetäisyys ja etäisyys maanpinnalla. Koska vetysuihku nousee ylöspäin, niin maanpinnalla LEL-tason etäisyys jää pienemmäksi kuin se etäisyys, jolla LEL yleensä ylittyy. Tässä tapauksessa itse syttymisrajan (100 %) ylittymisen etäisyys on pieni, kun vuoto on pieni (0,5 cm).

**Taulukko 19. Vedyn syttymisrajaetäisyydet (LEL) (HyRAM+).**

| Vuotokoko [cm] | Kokonaisetäisyys [m] |          | Maanpinnalla [m] |          |
|----------------|----------------------|----------|------------------|----------|
|                | 100 % LEL            | 50 % LEL | 100 % LEL        | 50 % LEL |
| 0,5            | 23                   | 45       | 22               | 37       |
| 1              | 45                   | 86       | 42               | 63       |
| 2              | 88                   | 156      | 74               | 97       |

Pistoliekkipalon lämpösäteilyn esiintyminen on maanpinnalla likimain maksimietäisyyden mukaista, eikä kokonaisetäisyyksiä ole esitetty. Itse vetyliekki nousee kevyenä ja kuumana ylöspäin, mutta lämpö säteilee tasaisesti joka suuntaan. Lämpösäteilyn tehotasojen vastaavat, lasketut etäisyydet likimain kaksinkertaistuvat, kun vuodon koko kaksinkertaistuu (Taulukko 20).

**Taulukko 20. Lämpösäteilyn tehotasojen etäisyydet pistoliekkipalossa (HyRAM+).**

| Vuotokoko [cm] | Liekin näkyvä pituus [m] | Etäisyys tehotasolle [m] |                     |                     |                     |                       |
|----------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
|                |                          | 12 kW/m <sup>2</sup>     | 8 kW/m <sup>2</sup> | 5 kW/m <sup>2</sup> | 3 kW/m <sup>2</sup> | 1,5 kW/m <sup>2</sup> |
| 0,5            | 12                       | 13                       | 15                  | 16                  | 18                  | 22                    |
| 1              | 24                       | 28                       | 31                  | 34                  | 39                  | 47                    |
| 2              | 48                       | 54                       | 63                  | 70                  | 81                  | 101                   |

Jos muodostunut vetysuihku räjähtää, niin ylipainetaso 30 kPa ei ylity ollenkaan. Myös tässä tarkastelussa ylipainetasojen vastaavat, lasketut etäisyydet likimain kaksinkertaistuvat, kun vuodon koko kaksinkertaistuu (Taulukko 21).

**Taulukko 21. Räjähtävän vetysuihkun aiheuttaman ylipaineen tasojen etäisyydet (HyRAM+).**

| Vuotokoko [cm] | Etäisyys ylipainetasolle [m] |        |        |       |
|----------------|------------------------------|--------|--------|-------|
|                | 30 kPa                       | 15 kPa | 10 kPa | 5 kPa |
| 0,5            | – <sup>1</sup>               | 7      | 9      | 16    |
| 1              | – <sup>1</sup>               | 13     | 18     | 32    |
| 2              | – <sup>1</sup>               | 26     | 35     | 64    |

<sup>1</sup> Taso ei ylity.

8.2 Nesteytetty maakaasu/metaani (LNG/CH<sub>4</sub>)

Nesteytetyn maakaasun/metaanin onnettomuusmallilaskelmien tulokset on esitetty taulukkomuodossa taulukoissa 22–24.

**Taulukko 22. LNG-vuodon (CH<sub>4</sub>) mallinnustulokset: lammikosta haihtuvan metaanin aiheuttamat syttymisrajaetäisyydet eri vuoto-ko'illa. Säiliövaunun tilavuus 77 m<sup>3</sup>, LNG:n lämpötila –162 °C. Ulkoilman lämpötila +15 °C.**

| Vuoto-koko [cm] | Lammikon halkaisija enintään [m] | Lasketut etäisyydet tasolle [m] |                  |                            |                  |
|-----------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------|----------------------------|------------------|
|                 |                                  | Neutraali (luokka D, 5 m/s)     |                  | Stabiili (luokka F, 2 m/s) |                  |
|                 |                                  | 100 % LEL (4,4 %)               | 50 % LEL (2,2 %) | 100 % LEL (4,4 %)          | 50 % LEL (2,2 %) |
| 0,5             | 1,1                              | <10                             | <10              | 11                         | 11               |
| 2,5             | 5,6                              | 11                              | 19               | 21                         | 40               |
| 8               | 13,1                             | 62                              | 91               | 46                         | 89               |

**Taulukko 23. LNG-vuodon (CH<sub>4</sub>) mallinnustulokset: lammikosta haihtuvan, palavan metaanin aiheuttamat lämpösäteilyn tehotasot eri vuoto ko'illa. Säiliövaunun tilavuus 77 m<sup>3</sup>, LNG:n lämpötila –162 °C. Ulkoilman lämpötila +15 °C.**

| Vuoto-koko [cm] | Lammikon halkaisija enintään [m] | Lasketut etäisyydet tasolle [m] |                     |                     |                     |                       |
|-----------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
|                 |                                  | Neutraali (luokka D, 5 m/s)     |                     |                     |                     |                       |
|                 |                                  | 12 kW/m <sup>2</sup>            | 8 kW/m <sup>2</sup> | 5 kW/m <sup>2</sup> | 3 kW/m <sup>2</sup> | 1,5 kW/m <sup>2</sup> |
| 0,5             | 0,6                              | <10                             | <10                 | <10                 | <10                 | <10                   |
| 2,5             | 3,0                              | 11                              | 13                  | 15                  | 17                  | 22                    |
| 8               | 9,3                              | 31                              | 35                  | 42                  | 51                  | 66                    |

| Vuoto-koko [cm] | Lammikon halkaisija enintään [m] | Lasketut etäisyydet tasolle [m] |                     |                     |                     |                       |
|-----------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
|                 |                                  | Stabiili (luokka F, 2 m/s)      |                     |                     |                     |                       |
|                 |                                  | 12 kW/m <sup>2</sup>            | 8 kW/m <sup>2</sup> | 5 kW/m <sup>2</sup> | 3 kW/m <sup>2</sup> | 1,5 kW/m <sup>2</sup> |
| 0,5             | 0,6                              | <10                             | <10                 | <10                 | <10                 | <10                   |
| 2,5             | 3,0                              | <10                             | 11                  | 14                  | 18                  | 25                    |
| 8               | 9,3                              | 22                              | 67                  | 36                  | 48                  | 67                    |

**Taulukko 24. LNG-vuodon (CH<sub>4</sub>) mallinnustulokset: räjähdysen ylipainetasot lammikosta haihtuneen metaanin räjähdysen seurauksena. Säiliövaunun tilavuus 77 m<sup>3</sup>, LNG:n lämpötila –162 °C. Ulkoilman lämpötila +15 °C. Ympäristön kuvaus "congested" eli alueella sijaitsee virtauksia hidastavia rakenteita tai puustoa.**

| Vuoto-koko [cm] | Lammikon halkaisija enintään [m] | Lasketut etäisyydet tasolle [m] |                |                |                |
|-----------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|
|                 |                                  | Neutraali (luokka D, 5 m/s)     |                |                |                |
|                 |                                  | 30 kPa                          | 15 kPa         | 10 kPa         | 5 kPa          |
| 0,5             | 1,1                              | – <sup>1</sup>                  | – <sup>1</sup> | – <sup>1</sup> | – <sup>1</sup> |
| 2,5             | 5,6                              | – <sup>2</sup>                  | <10            | <10            | 12             |
| 8               | 13,1                             | – <sup>2</sup>                  | 36             | 42             | 59             |

| Vuoto-koko [cm] | Lammikon halkaisija enintään [m] | Lasketut etäisyydet tasolle [m] |        |        |       |
|-----------------|----------------------------------|---------------------------------|--------|--------|-------|
|                 |                                  | Stabiili (luokka F, 2 m/s)      |        |        |       |
|                 |                                  | 30 kPa                          | 15 kPa | 10 kPa | 5 kPa |

|            |      |                |     |    |    |
|------------|------|----------------|-----|----|----|
| <b>0,5</b> | 1,1  | – <sup>2</sup> | <10 | 11 | 15 |
| <b>2,5</b> | 5,6  | – <sup>2</sup> | 13  | 16 | 24 |
| <b>8</b>   | 13,1 | – <sup>2</sup> | 31  | 38 | 57 |

<sup>1</sup> Kaasupilvi ei räjähdä.

<sup>2</sup> Taso ei ylity.

### 8.3 Ammoniakki (NH<sub>3</sub>)

Taulukossa on esitetty säiliöstä vuotavan, nestemäisen ammoniakkin aiheuttamat AEGL-tasojen etäisyydet. Ammoniakki höyrystyy heti vapauduttuaan, ja vuoto tapahtuu aerosolina. ALOHA-malli olettaa, ettei nestemäisen ammoniakkin lammikkoa synny (Taulukko 25).

**Taulukko 25. Vedettömän ammoniakkin (NH<sub>3</sub>) mallinnustulokset: Säiliöstä vuotavan ammoniakkin aiheuttamat terveysvaikutusten kannalta olennaiset AEGL-tasot. Säiliövaunun tilavuus 77 m<sup>3</sup>, ammoniakkin lämpötila –33 °C. Ulkoilman lämpötila +15 °C.**

| Vuotokoko<br>[cm] | Lasketut etäisyydet tasolle [m] |                    |                    |                            |                    |                    |
|-------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
|                   | Neutraali (luokka D, 5 m/s)     |                    |                    | Stabiili (luokka F, 2 m/s) |                    |                    |
|                   | AEGL-3<br>(30 min)              | AEGL-2<br>(30 min) | AEGL-1<br>(30 min) | AEGL-3<br>(30 min)         | AEGL-2<br>(30 min) | AEGL-1<br>(30 min) |
| <b>0,5</b>        | 96                              | 276                | 789                | 131                        | 469                | 1 800              |
| <b>2,5</b>        | 486                             | 1 500              | 4 500              | 692                        | 2 300              | 8 100              |
| <b>8</b>          | 1 500                           | 4 900              | >10 000            | 2 200                      | 5 200              | >10 000            |

### 8.4 Suolahappo/kloorivety (HCl)

Taulukossa on esitetty eri kokoisten lammikoiden ja eri suolahappomäärien aiheuttamat kloorivedyn AEGL-tasojen etäisyydet. Taulukossa on esitetty myös halkaisija, joka olisi ympyrän muotoisilla lammikoilla (Taulukko 26).

**Taulukko 26. Vuotaneen suolahapon muodostamasta lammikosta haihtuvan kloorivedyn (HCl) aiheuttamat terveysvaikutusten kannalta olennaiset AEGL-tasot.**

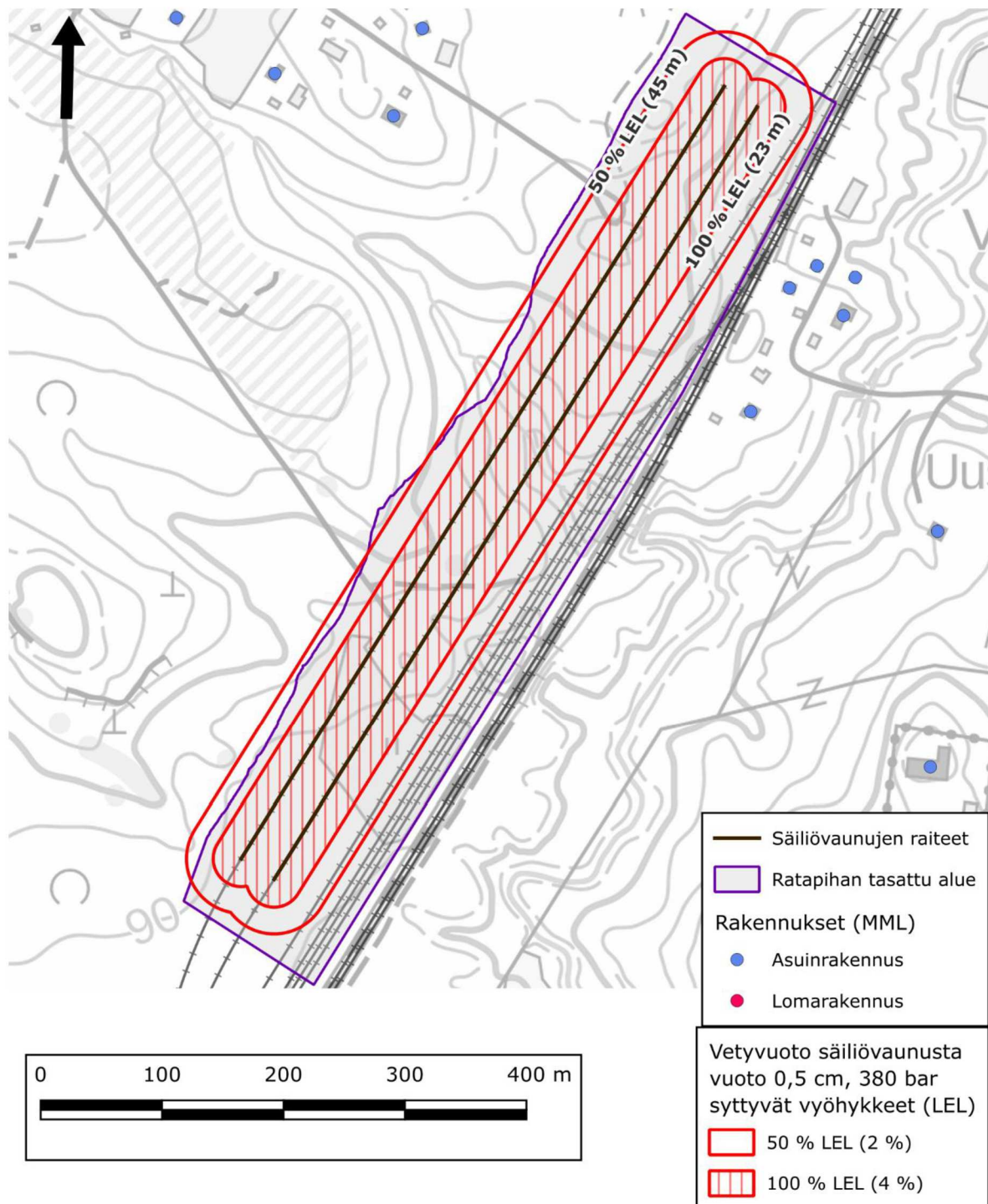
| Lammikon<br>pinta-ala<br>[m <sup>2</sup> ] | Pyöreän<br>lammikon<br>halkaisija<br>[m] | Suolahapon<br>määrä<br>[l] | Lasketut etäisyydet tasolle [m] |                    |                    |                            |                    |                    |
|--------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
|                                            |                                          |                            | Neutraali (luokka D, 5 m/s)     |                    |                    | Stabiili (luokka F, 2 m/s) |                    |                    |
|                                            |                                          |                            | AEGL-3<br>(30 min)              | AEGL-2<br>(30 min) | AEGL-1<br>(30 min) | AEGL-3<br>(30 min)         | AEGL-2<br>(30 min) | AEGL-1<br>(30 min) |
| <b>5</b>                                   | 2,5                                      | 50                         | <10                             | 20                 | 109                | 27                         | 67                 | 356                |
| <b>32</b>                                  | 6,4                                      | 5 000                      | 17                              | 55                 | 312                | 71                         | 180                | 1 000              |
| <b>65</b>                                  | 9,1                                      | 10 000                     | 24                              | 78                 | 453                | 99                         | 254                | 1 500              |

## 9. Tulokartat

### 9.1 Vety (YK 1049)

#### 9.1.1 Vety, syttyvät alueet

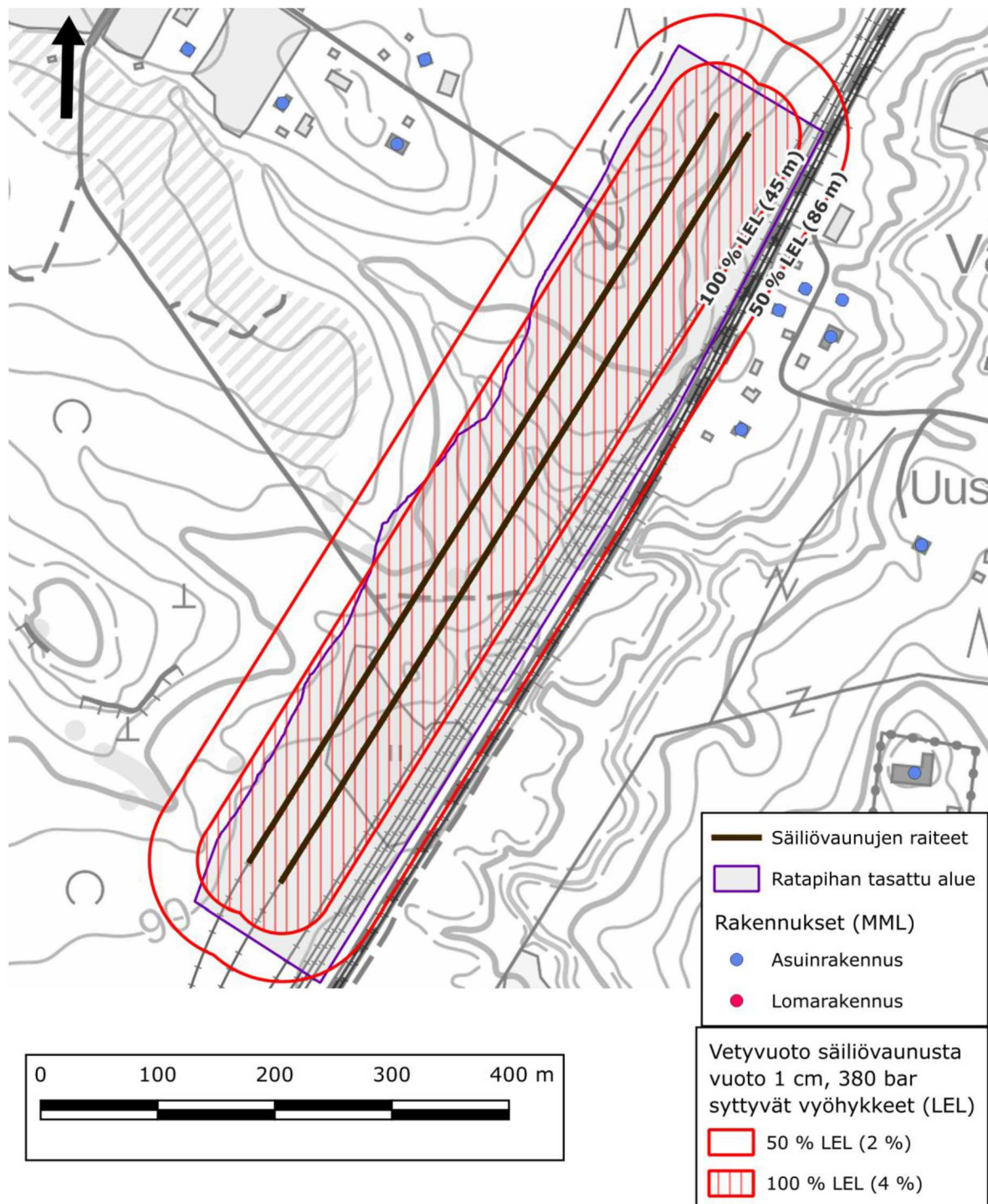
##### 9.1.1.1 Vety, vuoto 0,5 cm, syttyvät alueet



**Kuva 7. Vetyvuoto säiliövaunusta, vuodon koko 0,5 cm. Vetykaasu vuotaa syttymättä: lasketut syttymisrajaetäisyydet.**

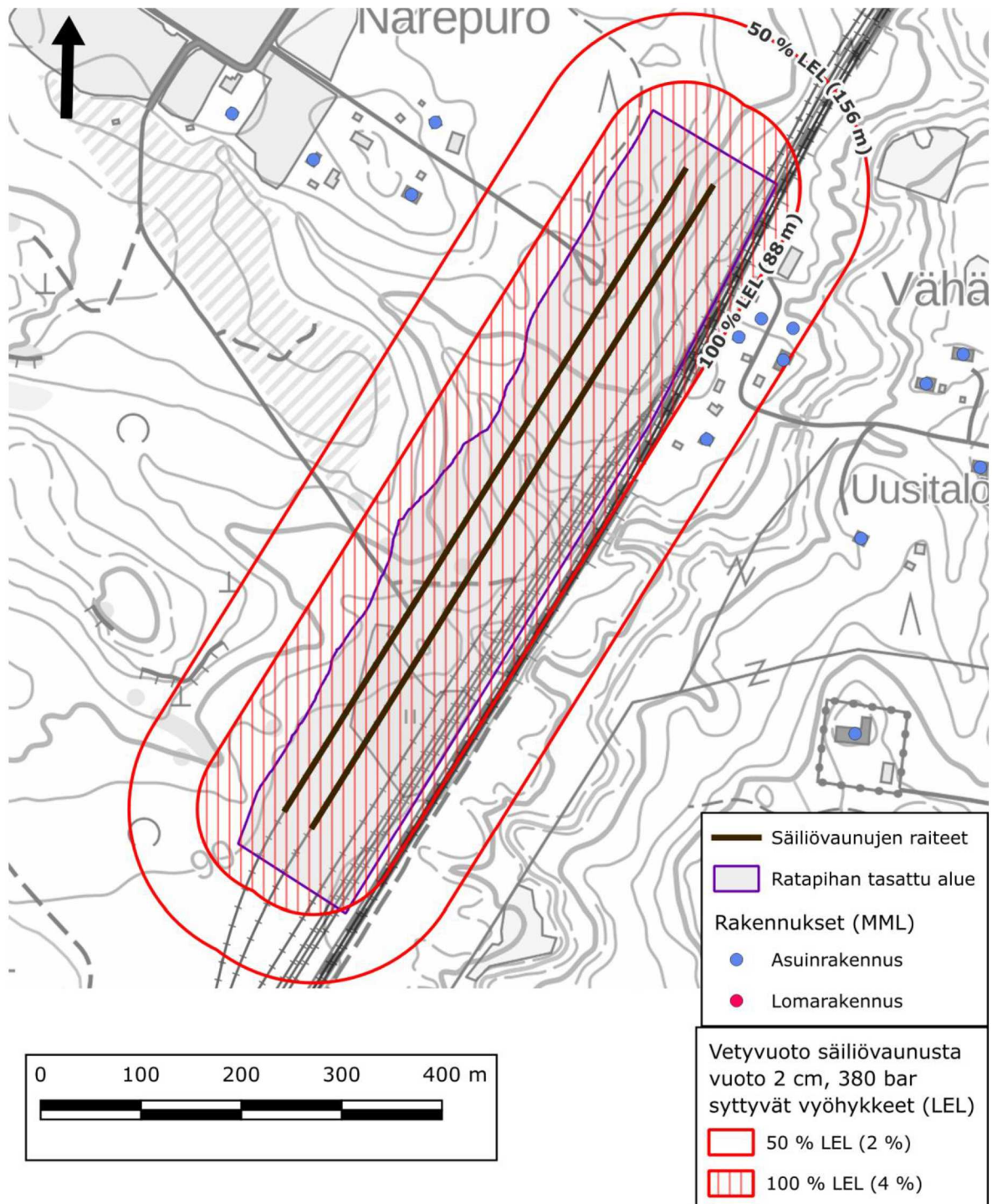


### 9.1.1.2 Vety, vuoto 1 cm, syttyvät alueet



**Kuva 8. Vetyvuoto säiliövaunusta, vuodon koko 1 cm. Vetykaasu vuotaa syttymättä: lasketut syttymisrajaetäisyydet.**

### 9.1.1.3 Vety, vuoto 2 cm, syttyvät alueet

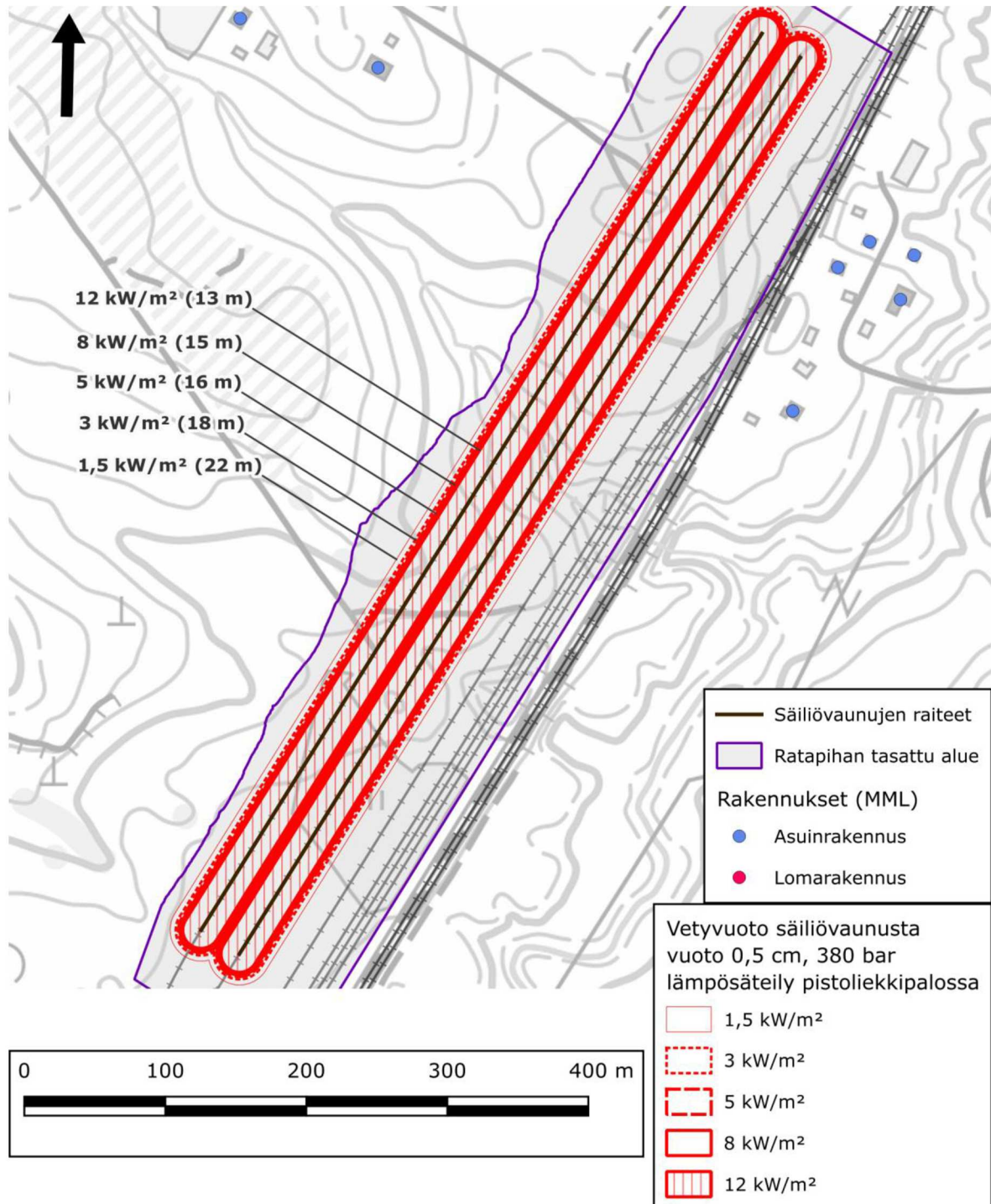


**Kuva 9. Vetyvuoto säiliövaunusta, vuodon koko 2 cm. Vetykaasu vuotaa syttymättä: lasketut syttymisrajaetäisyydet.**



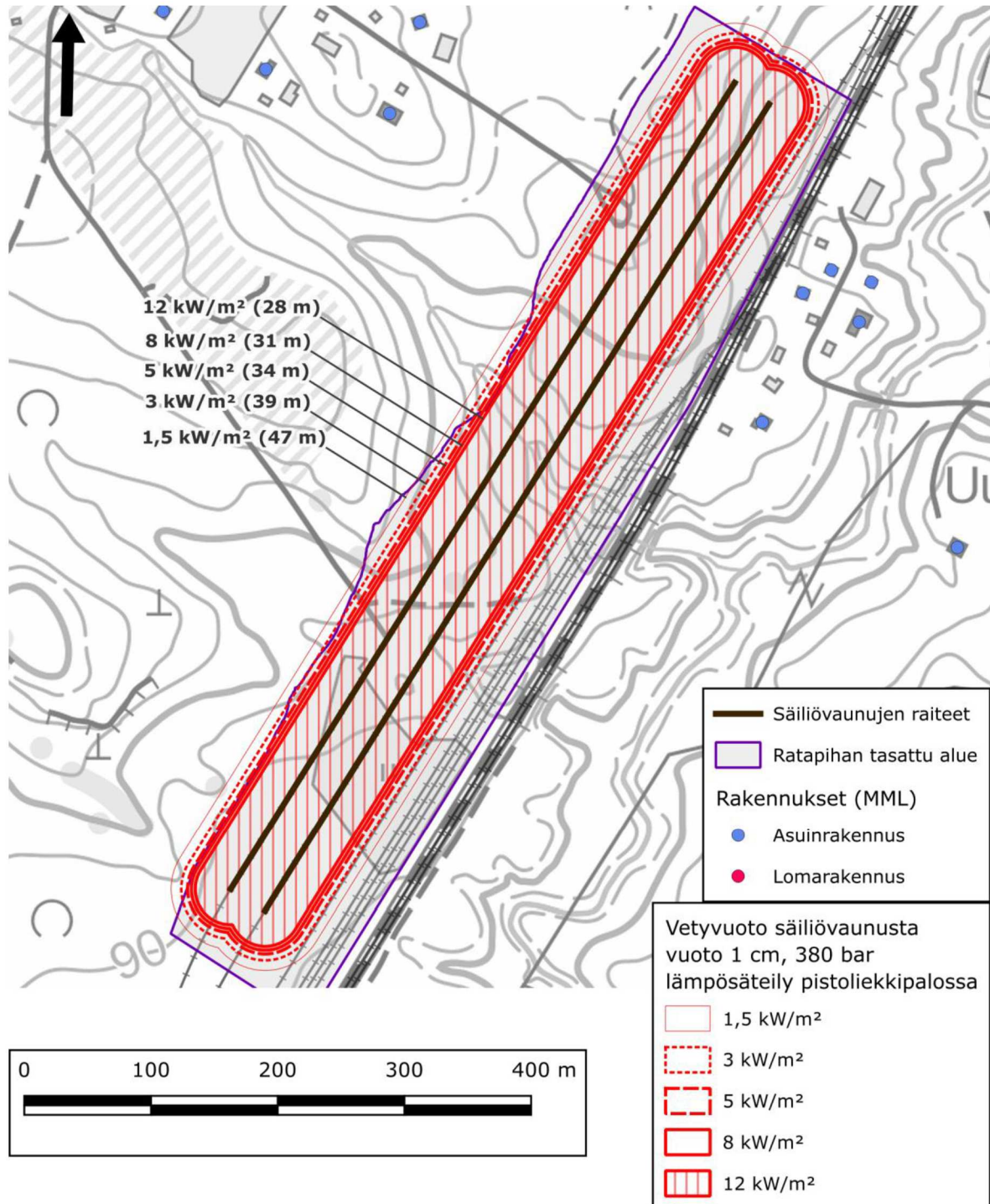
## 9.1.2 Vety, lämpösäteilyn tehotasot

### 9.1.2.1 Vety, vuoto 0,5 cm, lämpösäteilyn tehotasot



**Kuva 10. Vetyvuoto säiliövaunusta, vuodon koko 0,5 cm. Palava vetykaasu muodostaa pistoliekin vuotokohtaan: lämpösäteilyn tehotasot.**

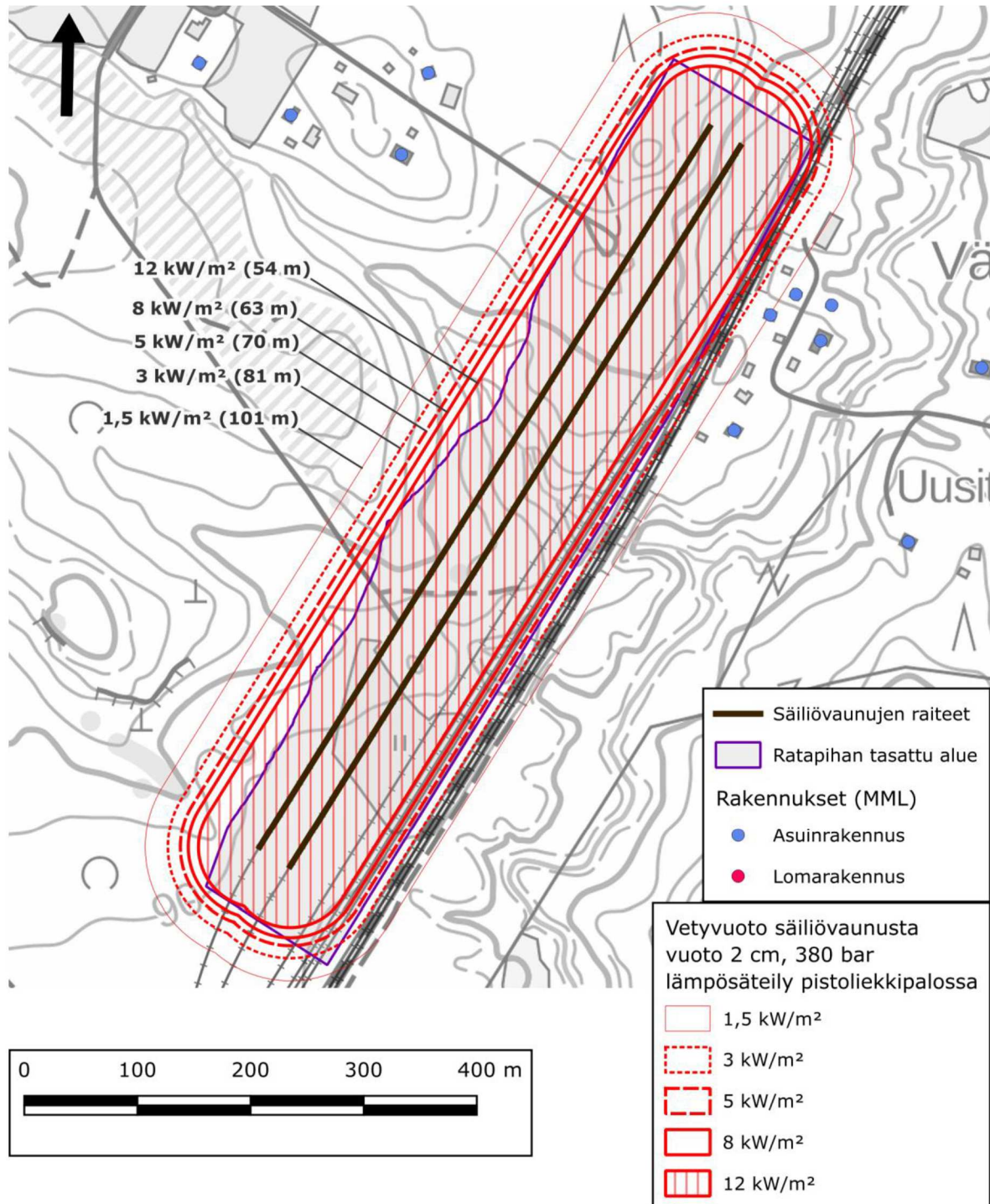
### 9.1.2.2 Vety, vuoto 1 cm, lämpösäteilyn tehotasot



**Kuva 11. Vetyvuoto säiliövaunusta, vuodon koko 1 cm. Palava vetykaasu muodostaa pistoliekin vuoto-  
 tokohtaan: lämpösäteilyn tehotasot.**



### 9.1.2.3 Vety, vuoto 2 cm, lämpösäteilyn tehotasot

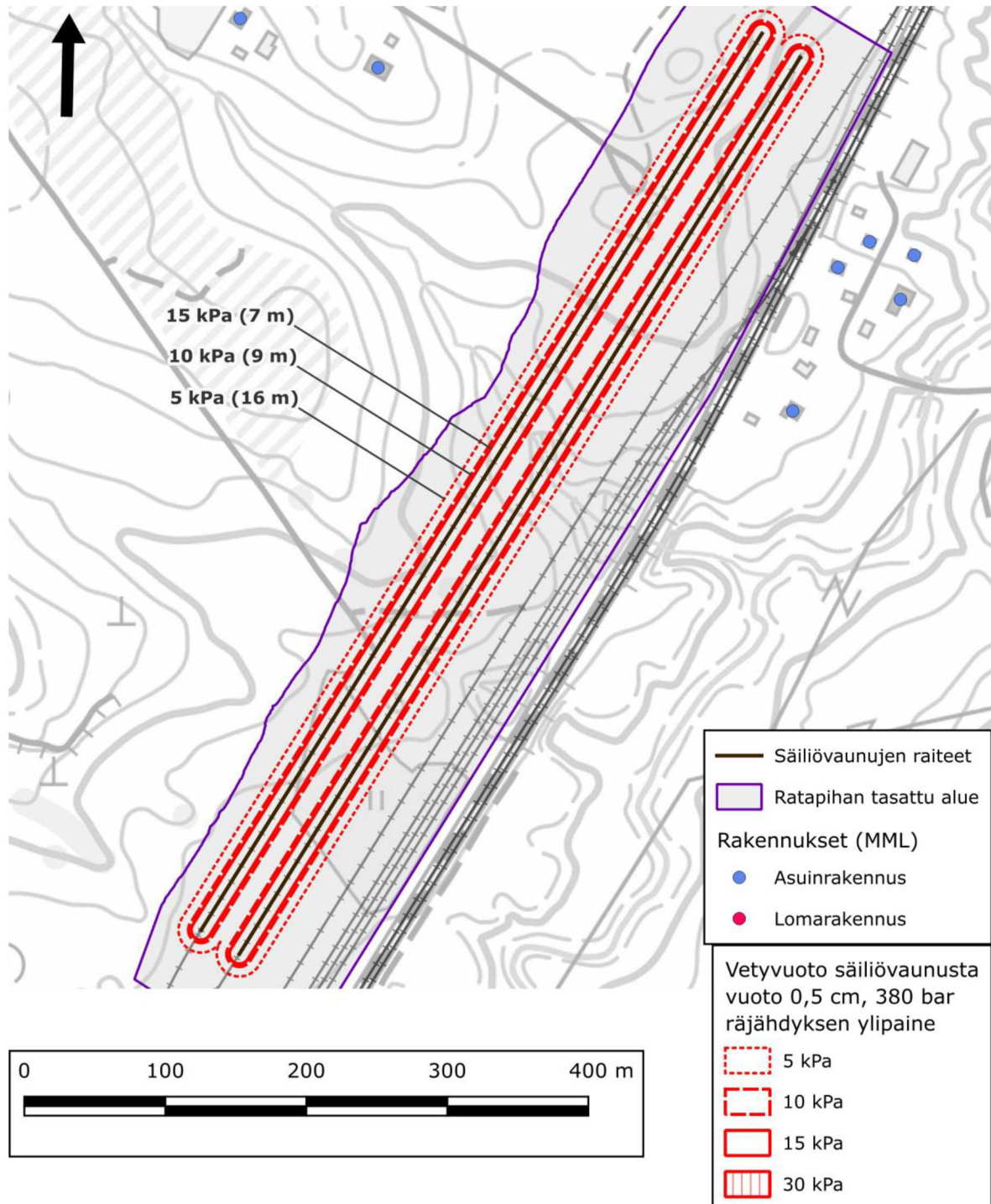


**Kuva 12. Vetyvuoto säiliövaunusta, vuodon koko 2 cm. Palava vetykaasu muodostaa pistoliekin vuoto-  
tokohtaan: lämpösäteilyn tehotasot.**



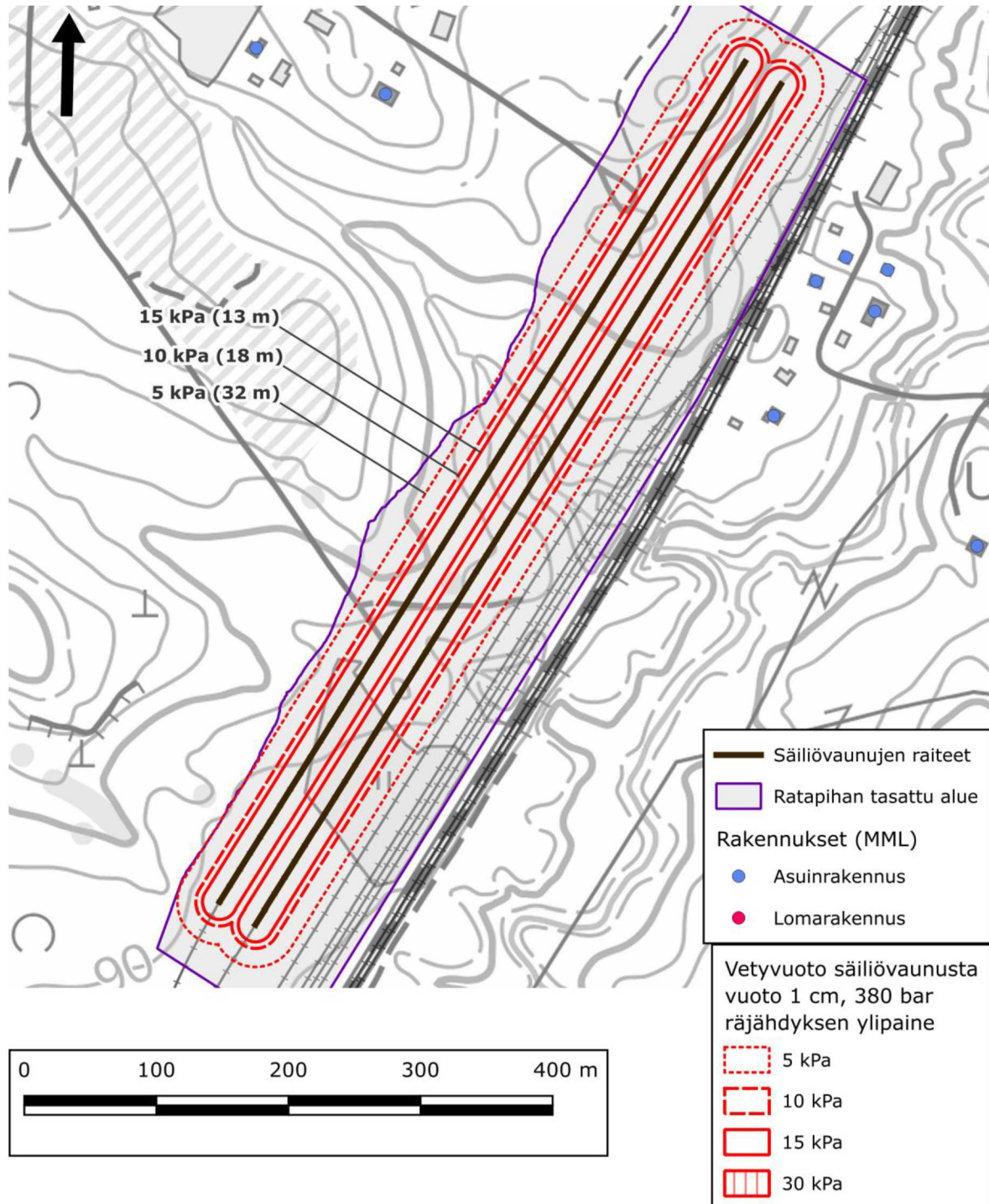
### 9.1.3 Vety, räjähdysen ylipaine

#### 9.1.3.1 Vety, vuoto 0,5, räjähdysen ylipaine



**Kuva 13. Vetyvuoto säiliövaunusta, vuodon koko 0,5 cm. Vuotava vetykaasu muodostaa suihkun, joka räjähtää: räjähdysen ylipainetasot.**

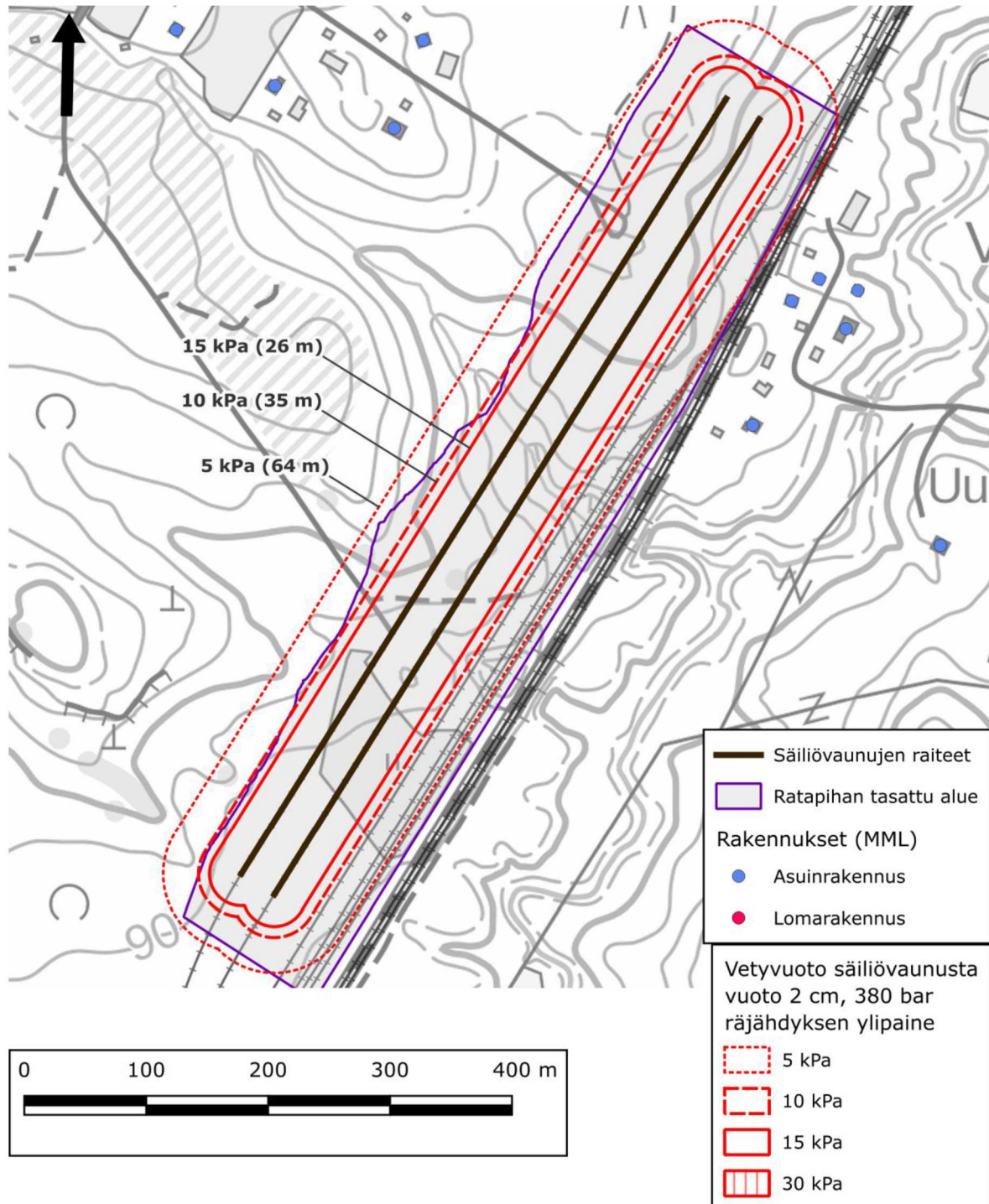
### 9.1.3.2 Vety, vuoto 1 cm, räjähdysen ylipaine



**Kuva 14. Vetyvuoto säiliövaunusta, vuodon koko 1 cm. Vuotava vetykaasu muodostaa suihkun, joka räjähtää: räjähdysen ylipainetasot.**



### 9.1.3.3 Vety, vuoto 2 cm, räjähdysen ylipaine

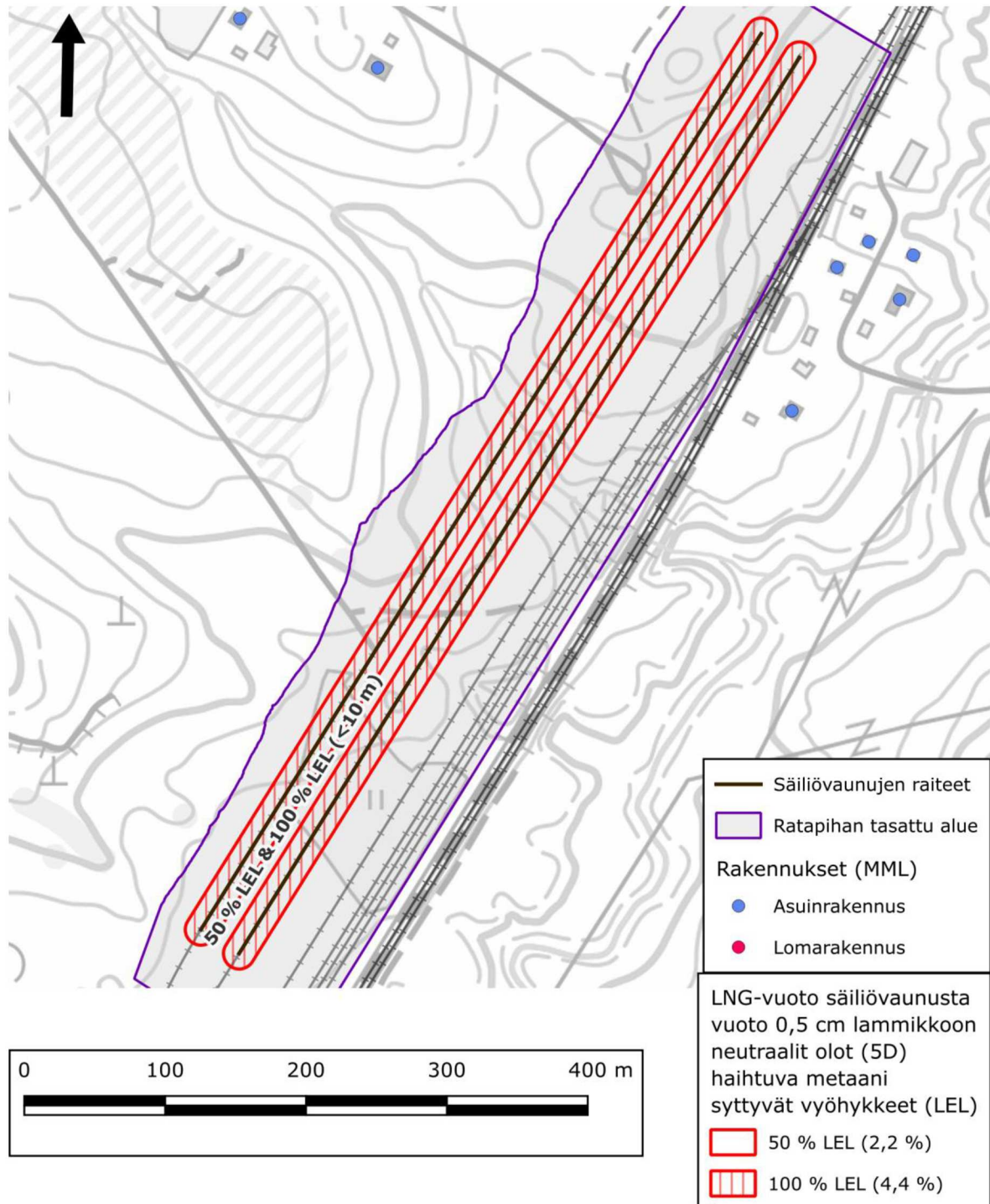


**Kuva 15. Vetyvuoto säiliövaunusta, vuodon koko 2 cm. Vuotava vetykaasu muodostaa suihkun, joka räjähtää: räjähdysen ylipainetasot.**

## 9.2 Nesteytetty maakaasu (LNG) (YK 1972)

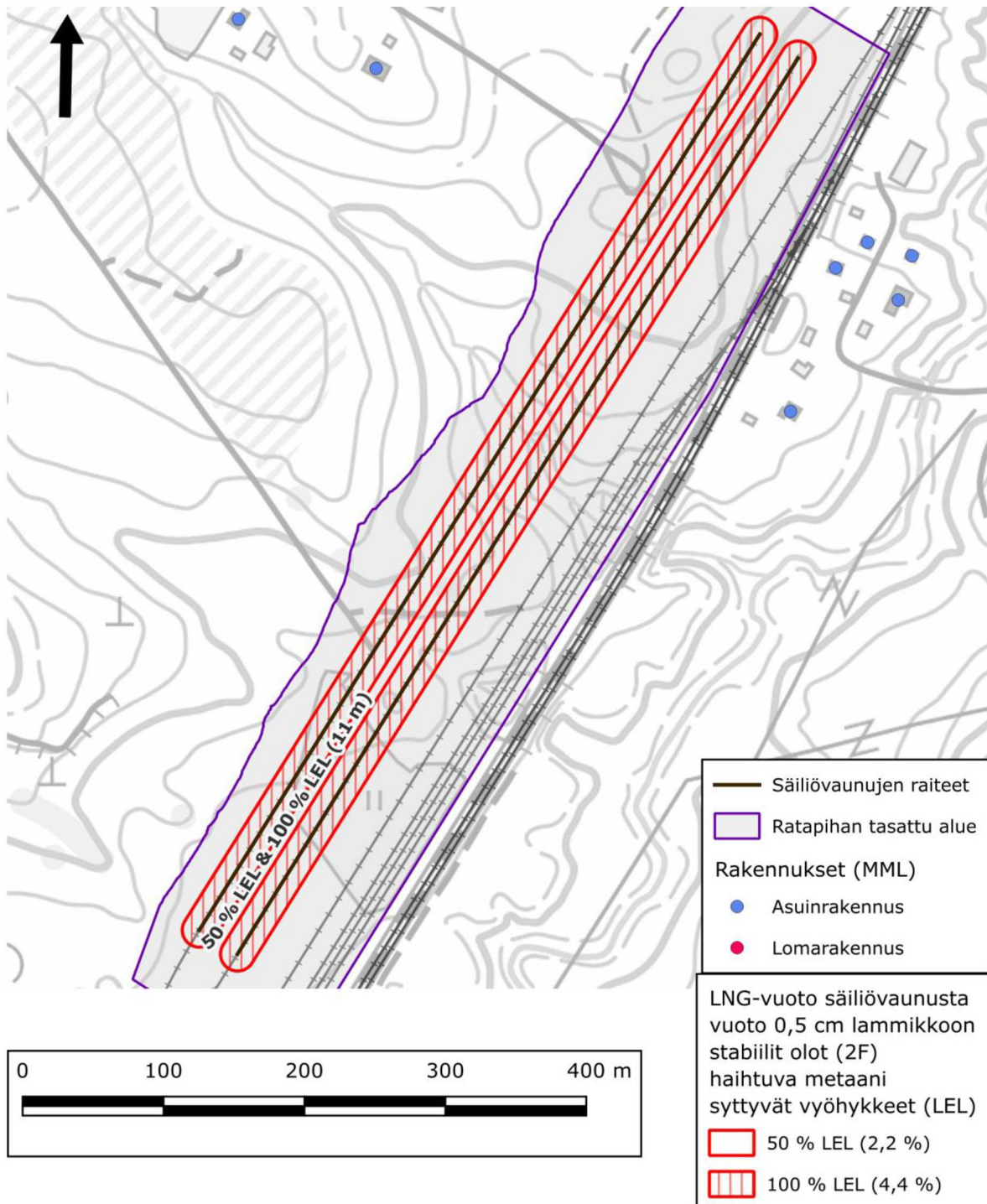
### 9.2.1 LNG, syttyvät alueet

#### 9.2.1.1 LNG, vuoto 0,5 cm, syttyvät alueet



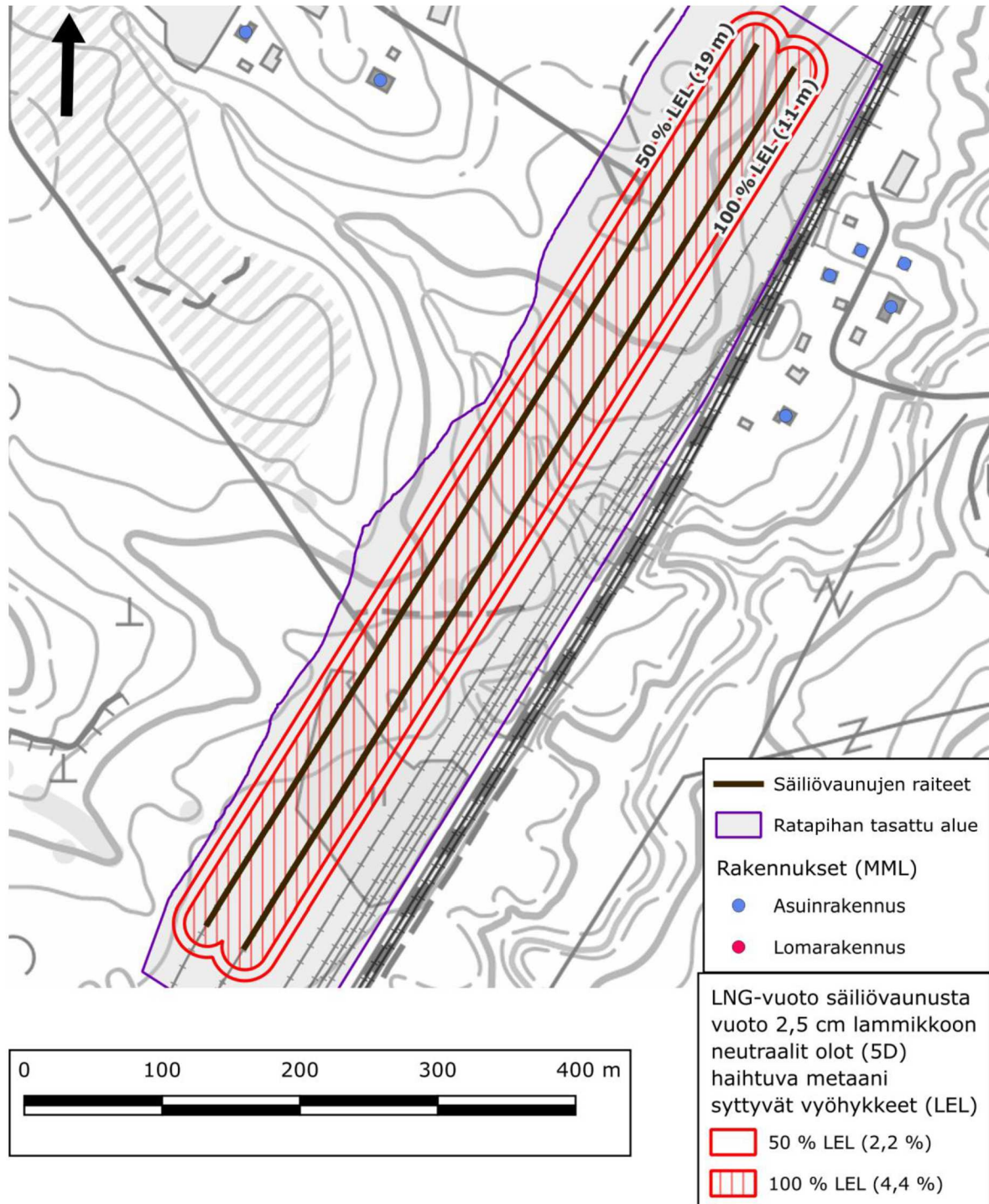
**Kuva 16. Syttyvät vyöhykkeet metaanin haihtuessa vuotaneen LNG:n muodostamasta lammikosta. Vuodon koko 0,5 cm. Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 5 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**





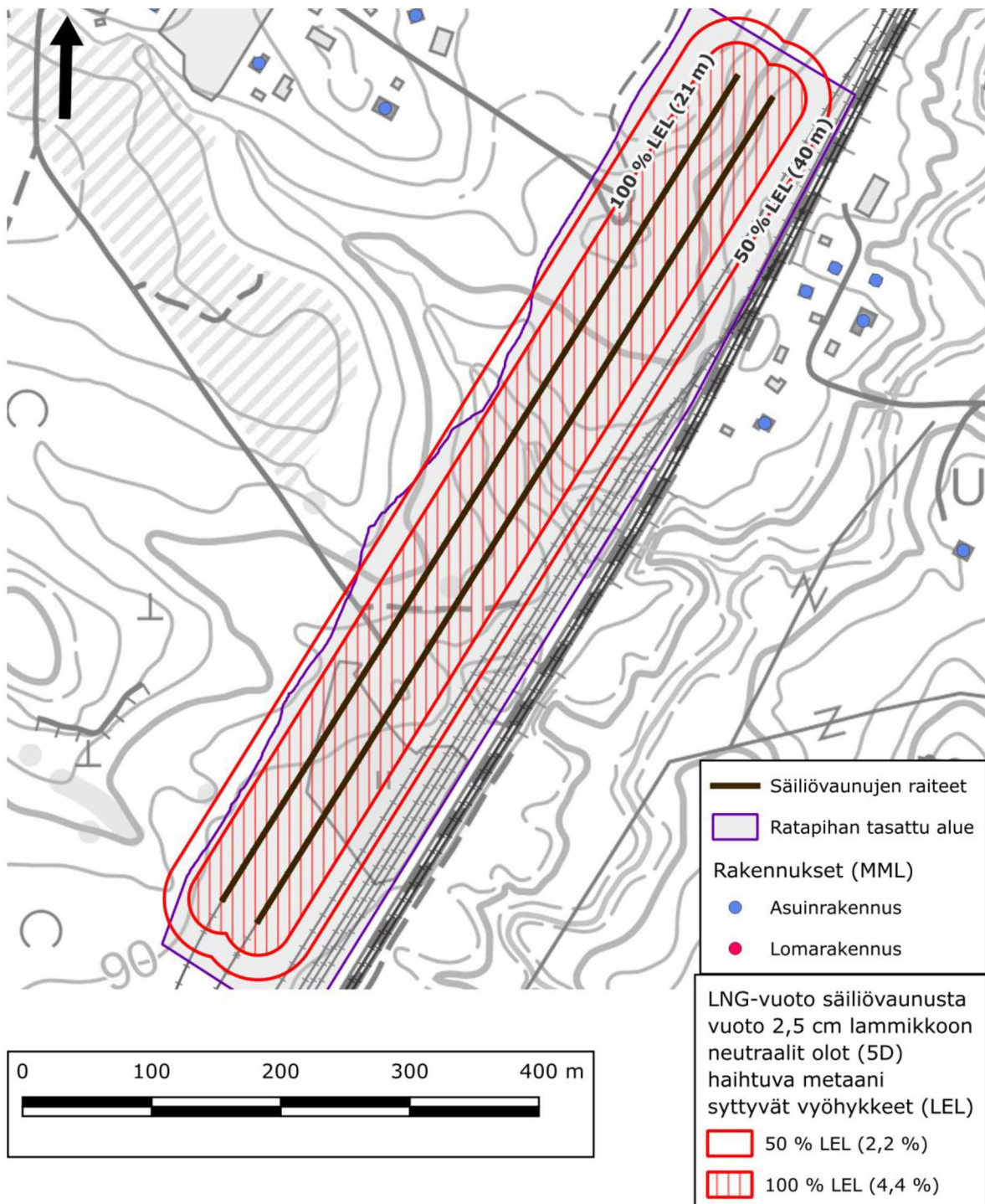
**Kuva 17. Sytyvät vyöhykkeet metaanin haihtuessa vuotaneen LNG:n muodostamasta lammikosta. Vuodon koko 0,5 cm. Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**

### 9.2.1.2 LNG, vuoto 2,5 cm, syttyvät alueet



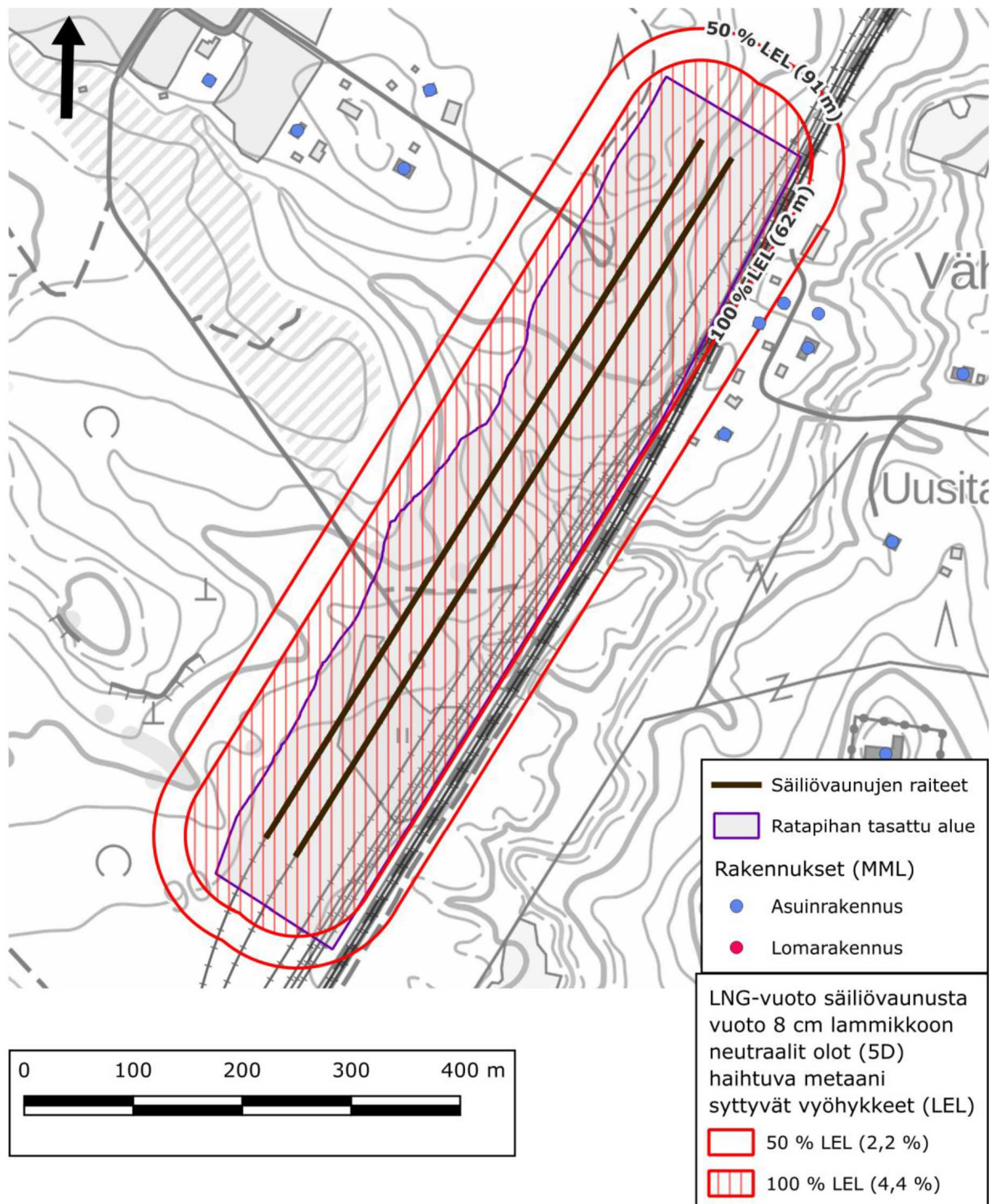
**Kuva 18. Syttyvät vyöhykkeet metaanin haihtuessa vuotaneen LNG:n muodostamasta lammikosta. Vuodon koko 2,5 cm. Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 5 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**





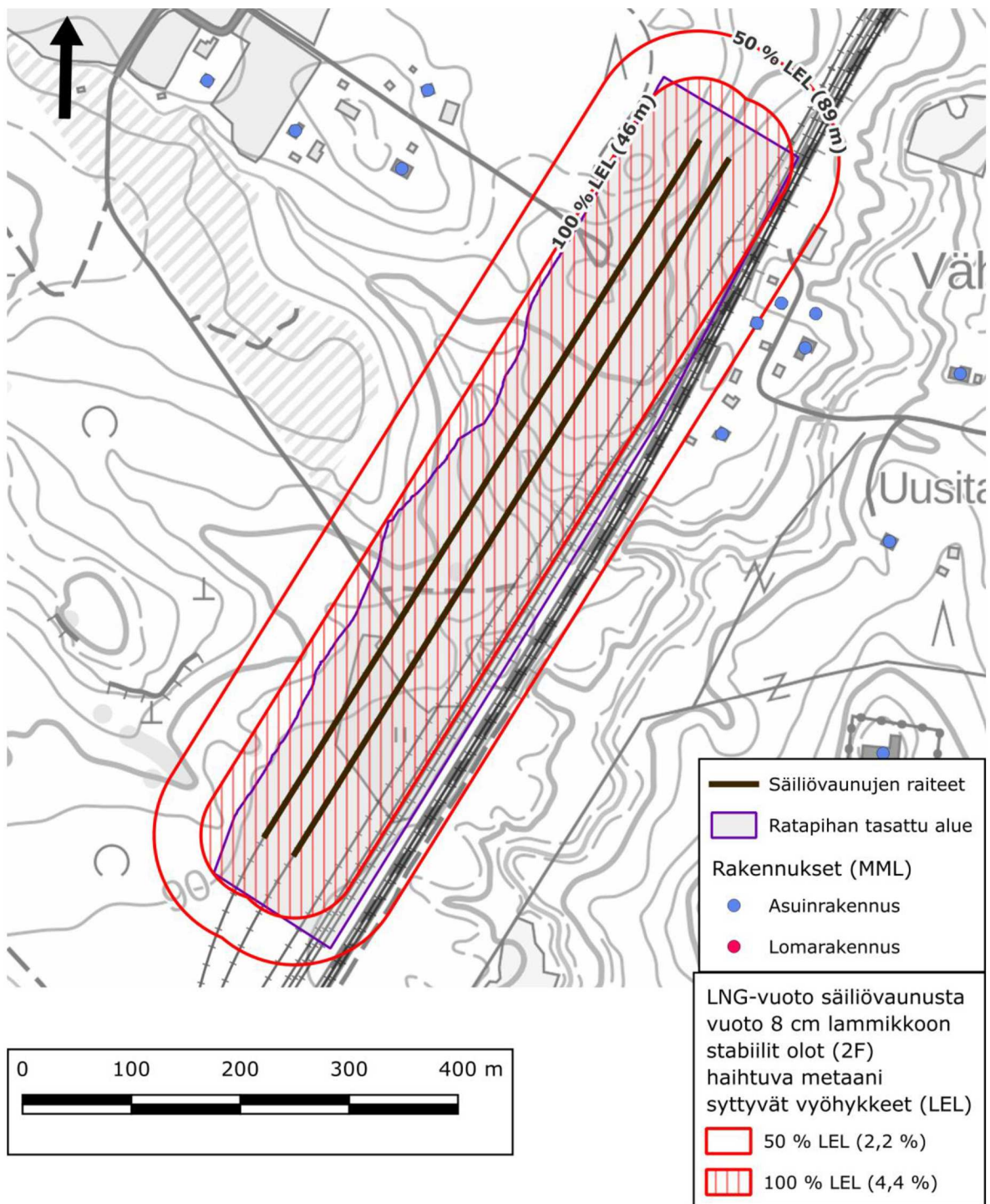
**Kuva 19. Syttyvät vyöhykkeet metaanin haihtuessa vuotaneen LNG:n muodostamasta lammikosta. Vuodon koko 2,5 cm. Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**

### 9.2.1.3 LNG, vuoto 8 cm, syttyvät alueet



**Kuva 20. Syttyvät vyöhykkeet metaanin haihtuessa vuotaneen LNG:n muodostamasta lammikosta. Vuodon koko 8 cm. Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 5 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**

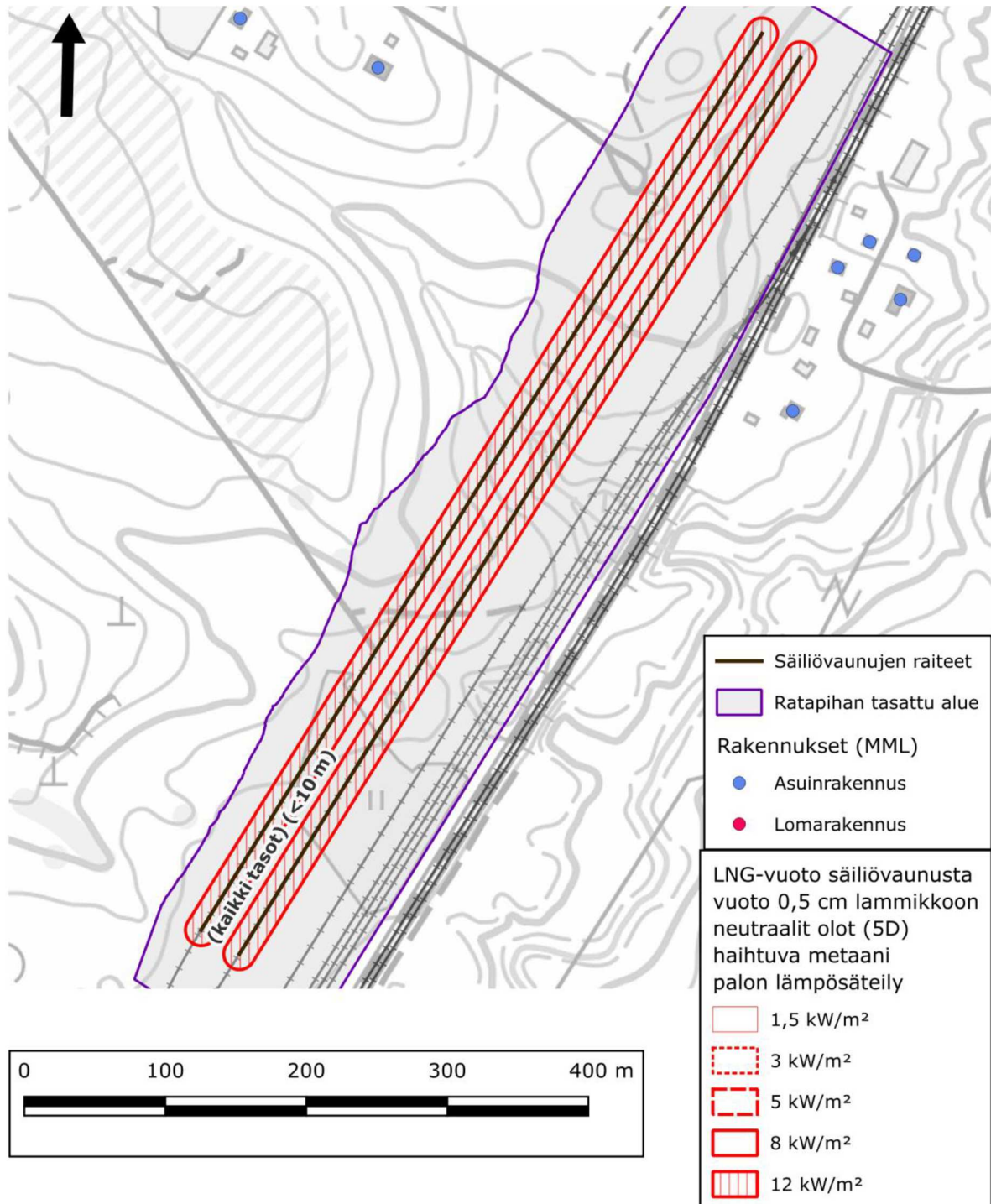




**Kuva 21. Syttyvät vyöhykkeet metaanin haihtuessa vuotaneen LNG:n muodostamasta lammikosta. Vuodon koko 8 cm. Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**

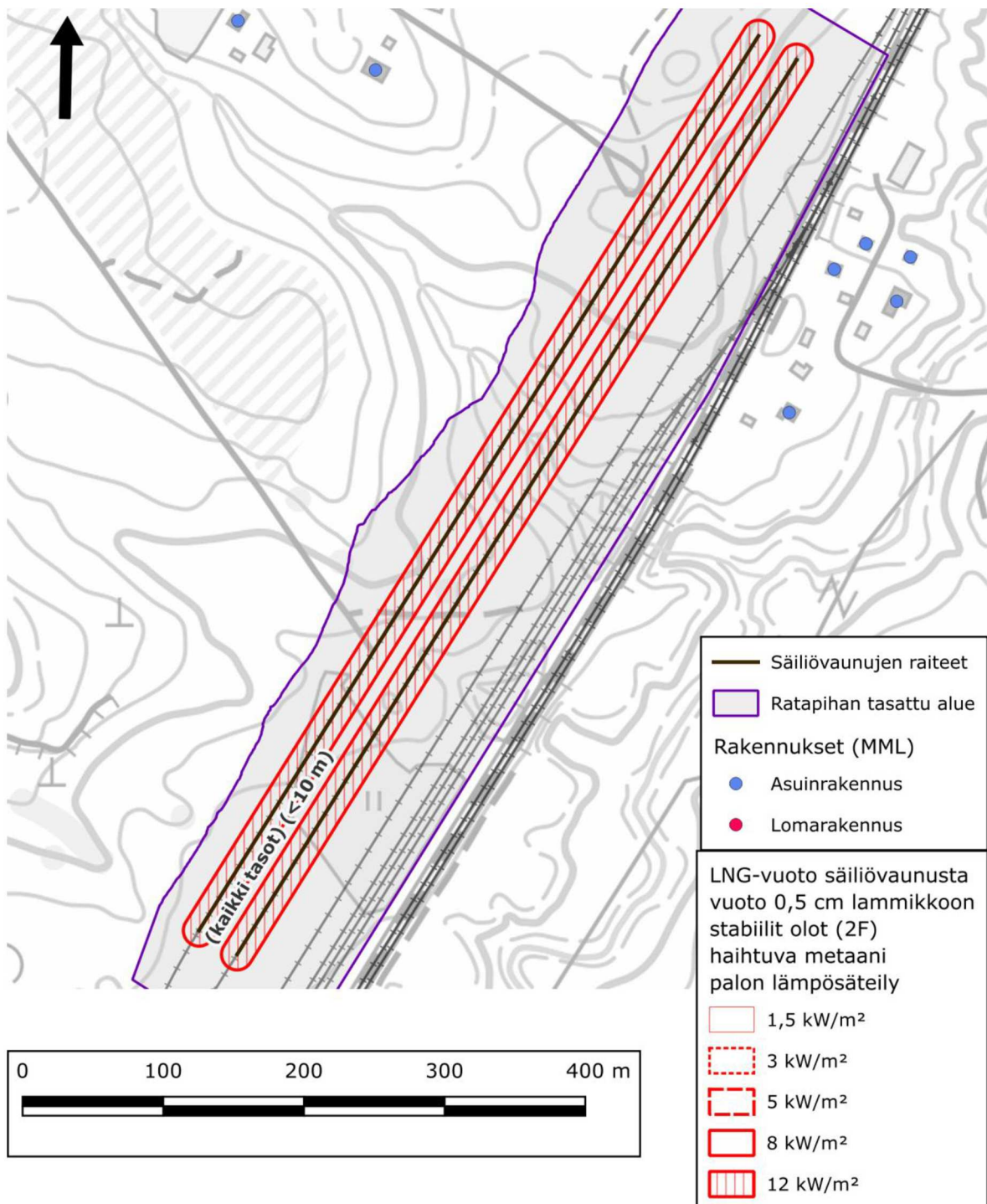
## 9.2.2 LNG, lämpösäteilyn tehotasot

### 9.2.2.1 LNG, vuoto 0,5 cm, lämpösäteilyn tehotasot



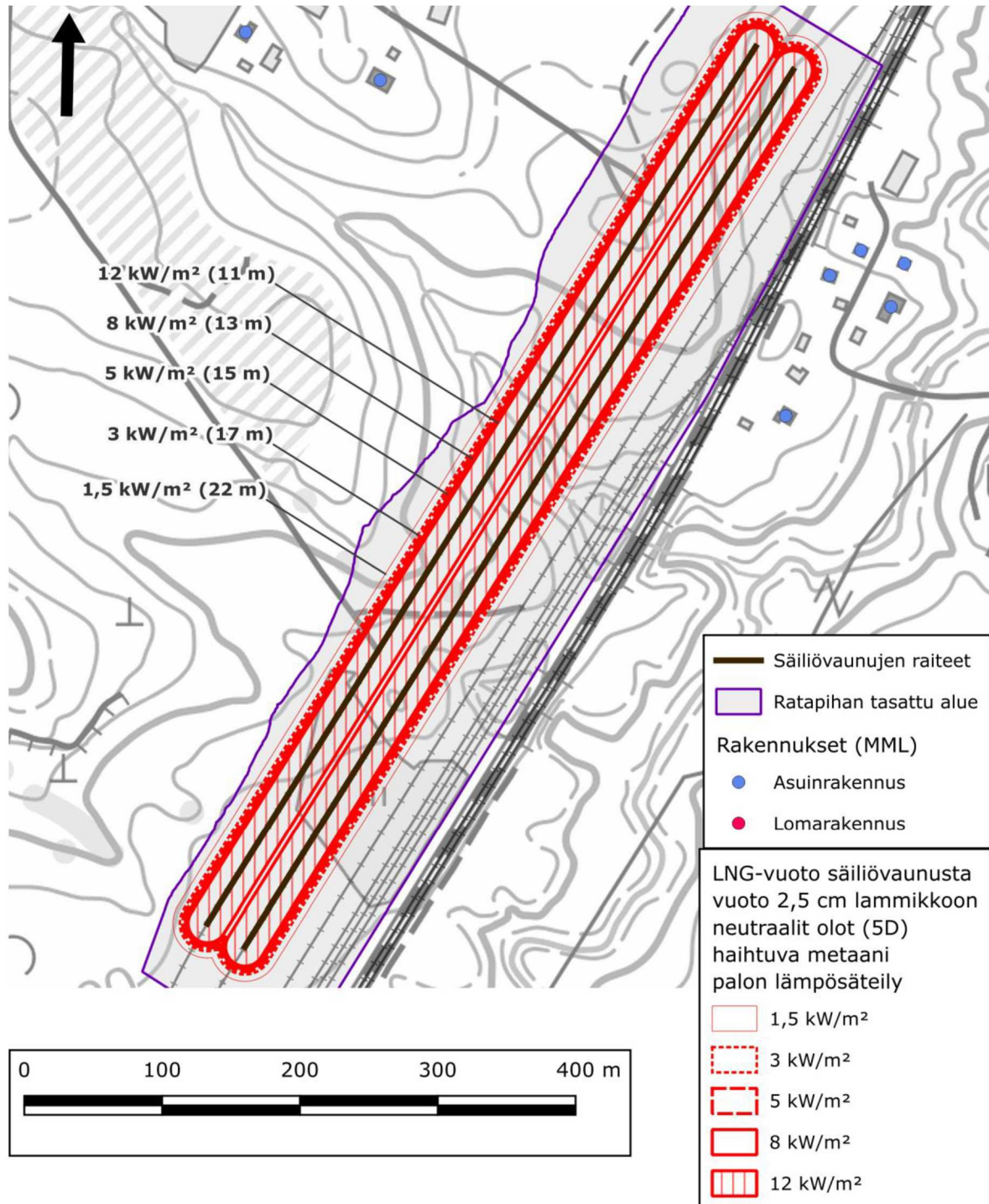
**Kuva 22. Lämpösäteilyn tehotasojen vyöhykkeet, kun LNG:n muodostamasta lammikosta haihtuva metaani palaa. Vuodon koko 0,5 cm. Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 5 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**





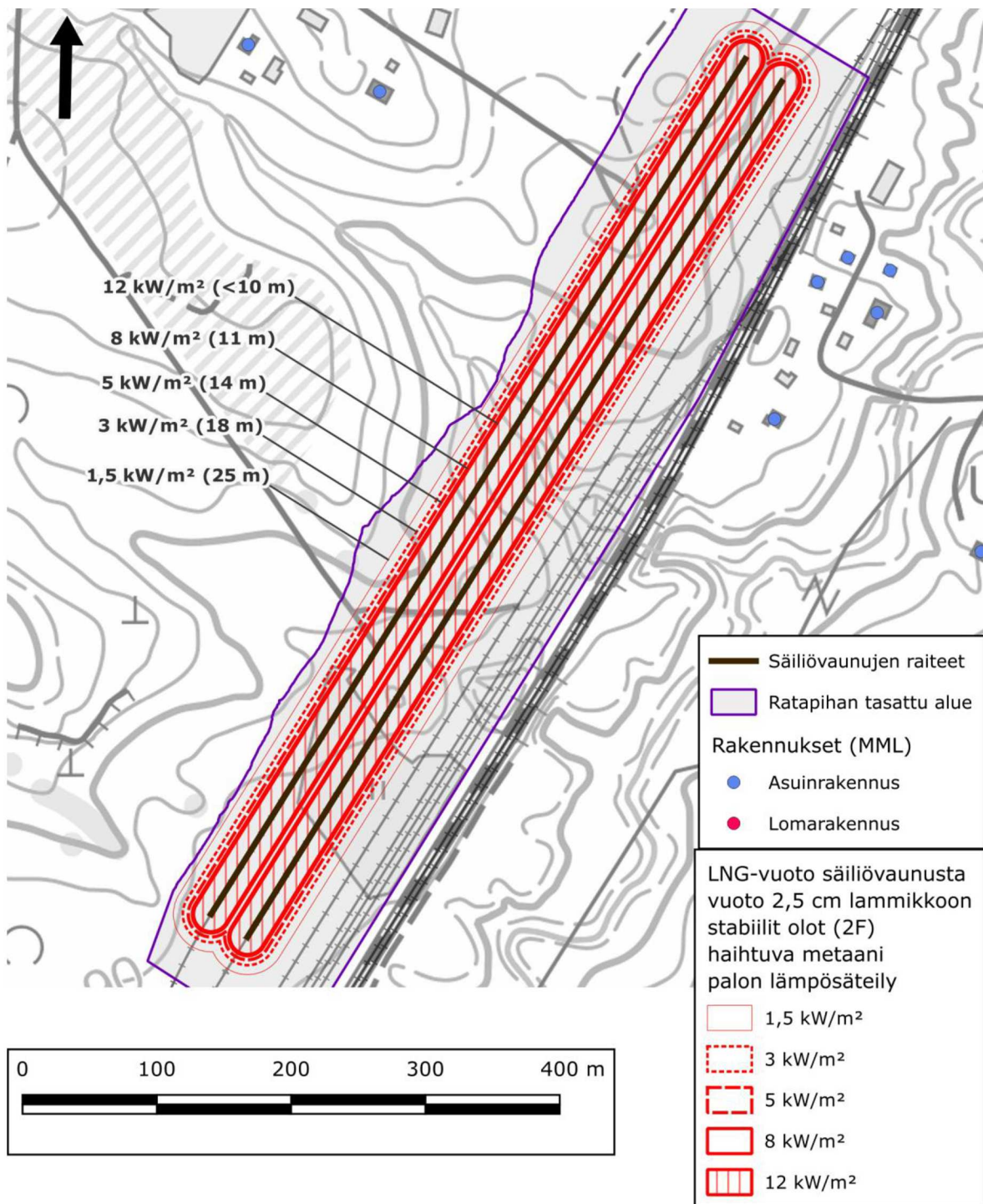
**Kuva 23. Lämpösäteilyn tehotasojen vyöhykkeet, kun LNG:n muodostamasta lammikosta haihtuva metaani palaa. Vuodon koko 0,5 cm. Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**

### 9.2.2.2 LNG, vuoto 2,5 cm, lämpösäteilyn tehotasot



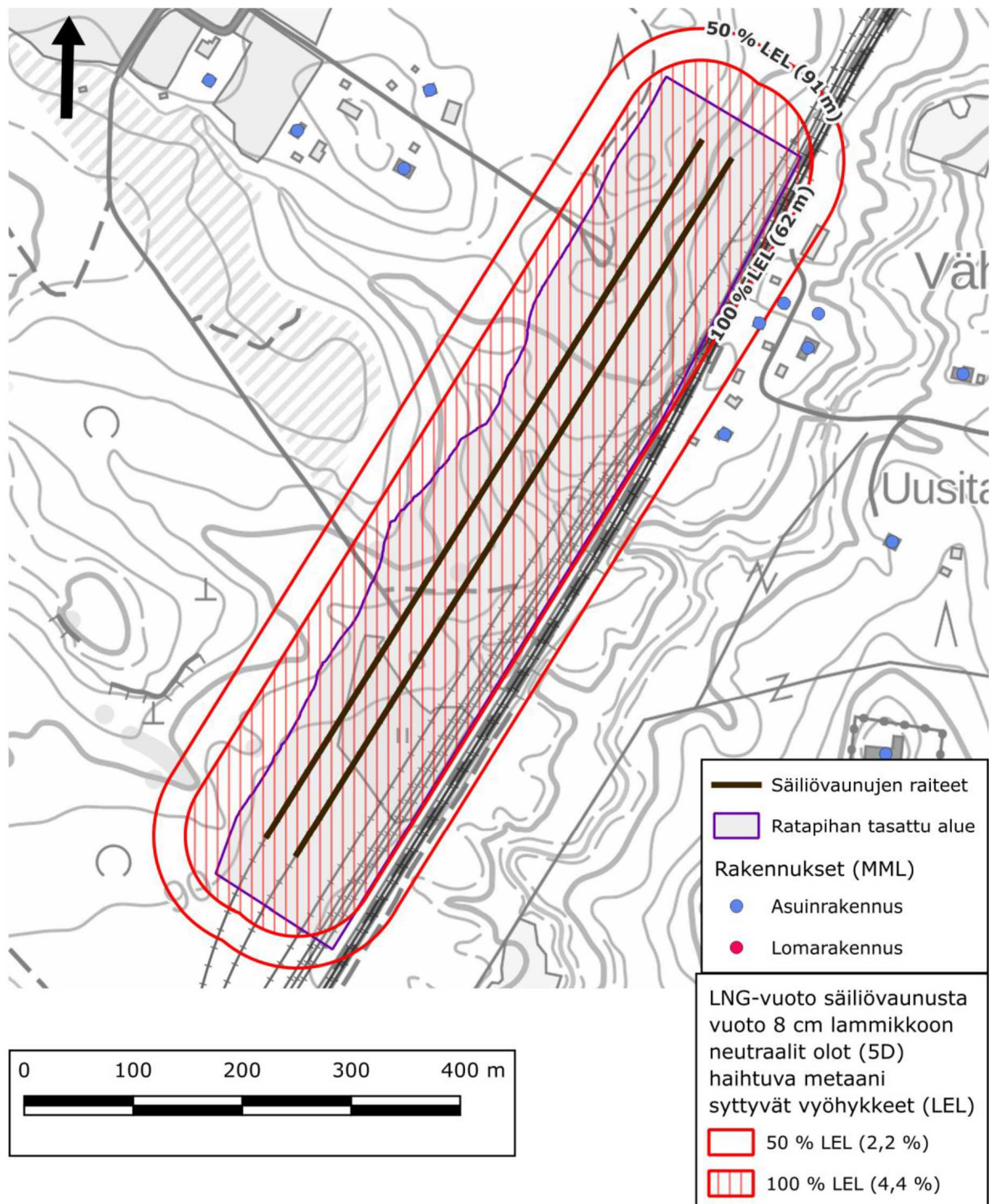
**Kuva 24. Lämpösäteilyn tehotasojen vyöhykkeet, kun LNG:n muodostamasta lammikosta haihtuva metaani palaa. Vuodon koko 2,5 cm. Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 5 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**





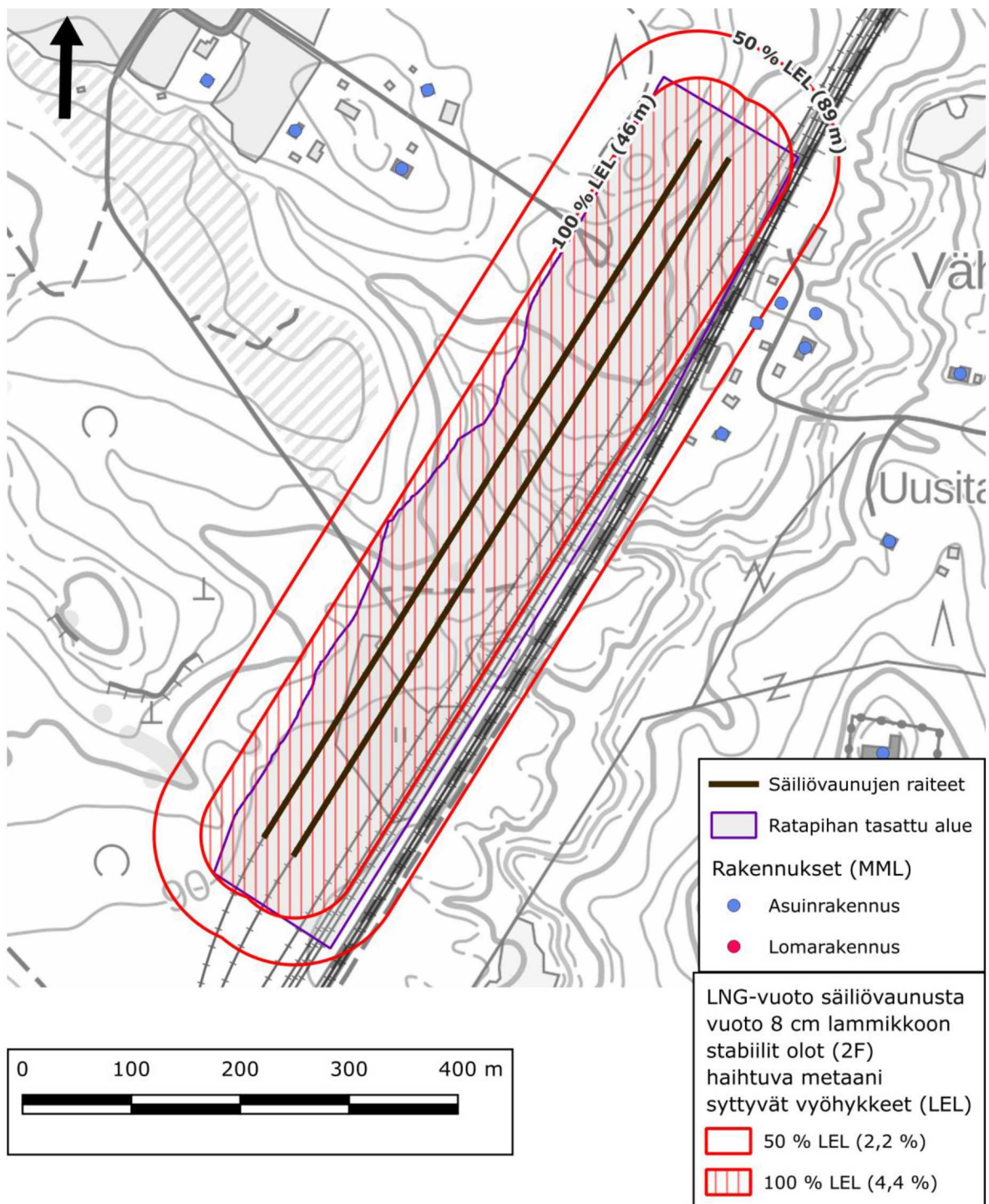
**Kuva 25. Lämpösäteilyn tehotasojen vyöhykkeet, kun LNG:n muodostamasta lammikosta haihtuva metaani palaa. Vuodon koko 2,5 cm. Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**

### 9.2.2.3 LNG, vuoto 8 cm, lämpösäteilyn tehotasot



**Kuva 26. Lämpösäteilyn tehotasojen vyöhykkeet, kun LNG:n muodostamasta lammikosta haihtuva metaani palaa. Vuodon koko 8 cm. Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 5 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**



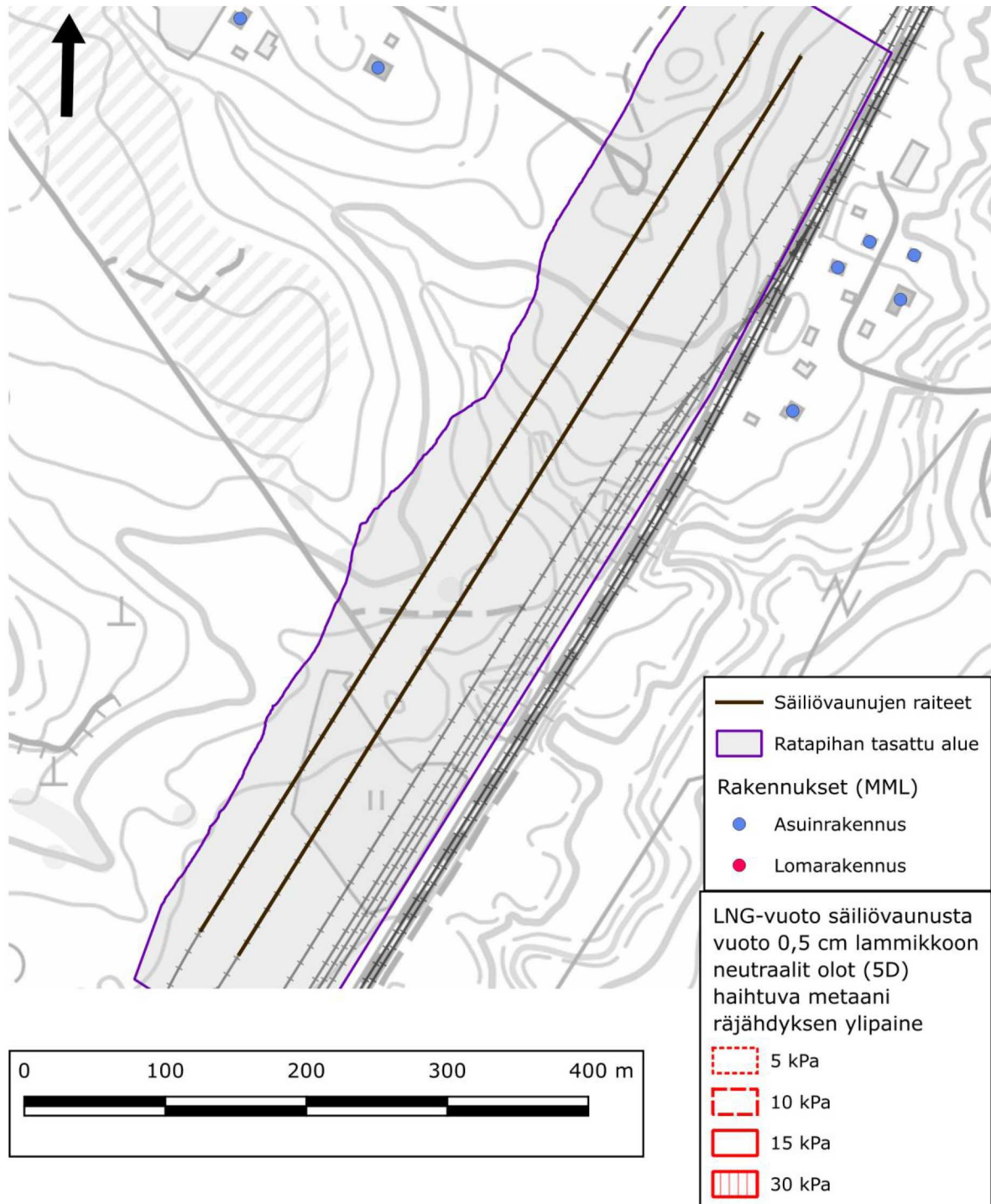


**Kuva 27. Lämpösäteilyn tehotasojen vyöhykkeet, kun LNG:n muodostamasta lammikosta haihtuva metaani palaa. Vuodon koko 8 cm. Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**

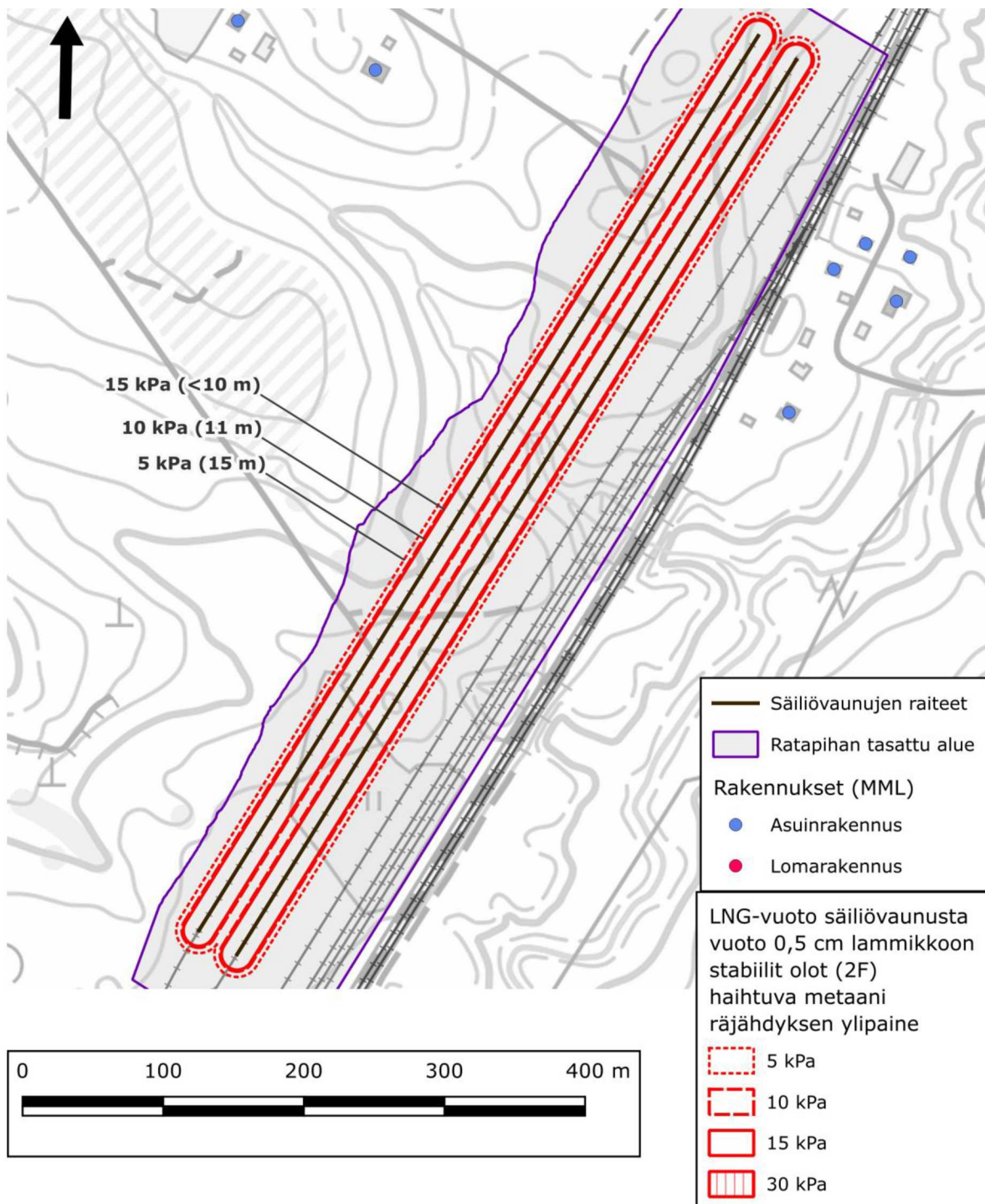


### 9.2.3 LNG, räjähdysen ylipaine

#### 9.2.3.1 LNG, vuoto 0,5 cm, räjähdysen ylipaine



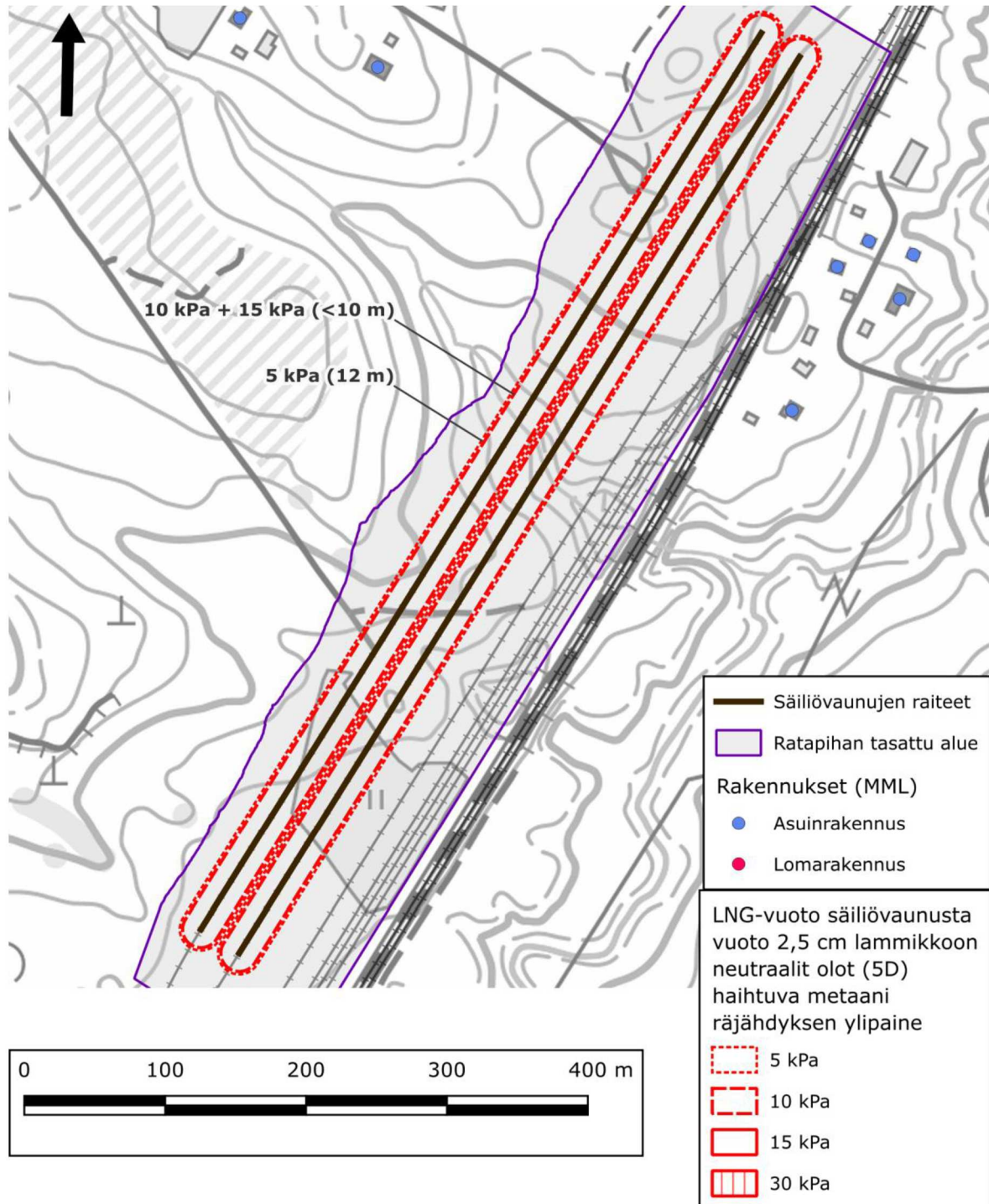
**Kuva 28. Vuodon koko 0,5 cm. Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 5 m/s ja ilman lämpötila +15 °C. Räjähdystä ei tapahdu, koska kaasupilvessä syttymisraja ei ylitä minuutin vuodon jälkeen.**



**Kuva 29. Räjähävän metaanin aiheuttamat ylipainetasot, kun LNG-lammikosta haihtuva metaani räjähtää minuutin vuodon jälkeen. Vuodon koko 0,5 cm. Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C. Taso 30 kPa ei ylity.**

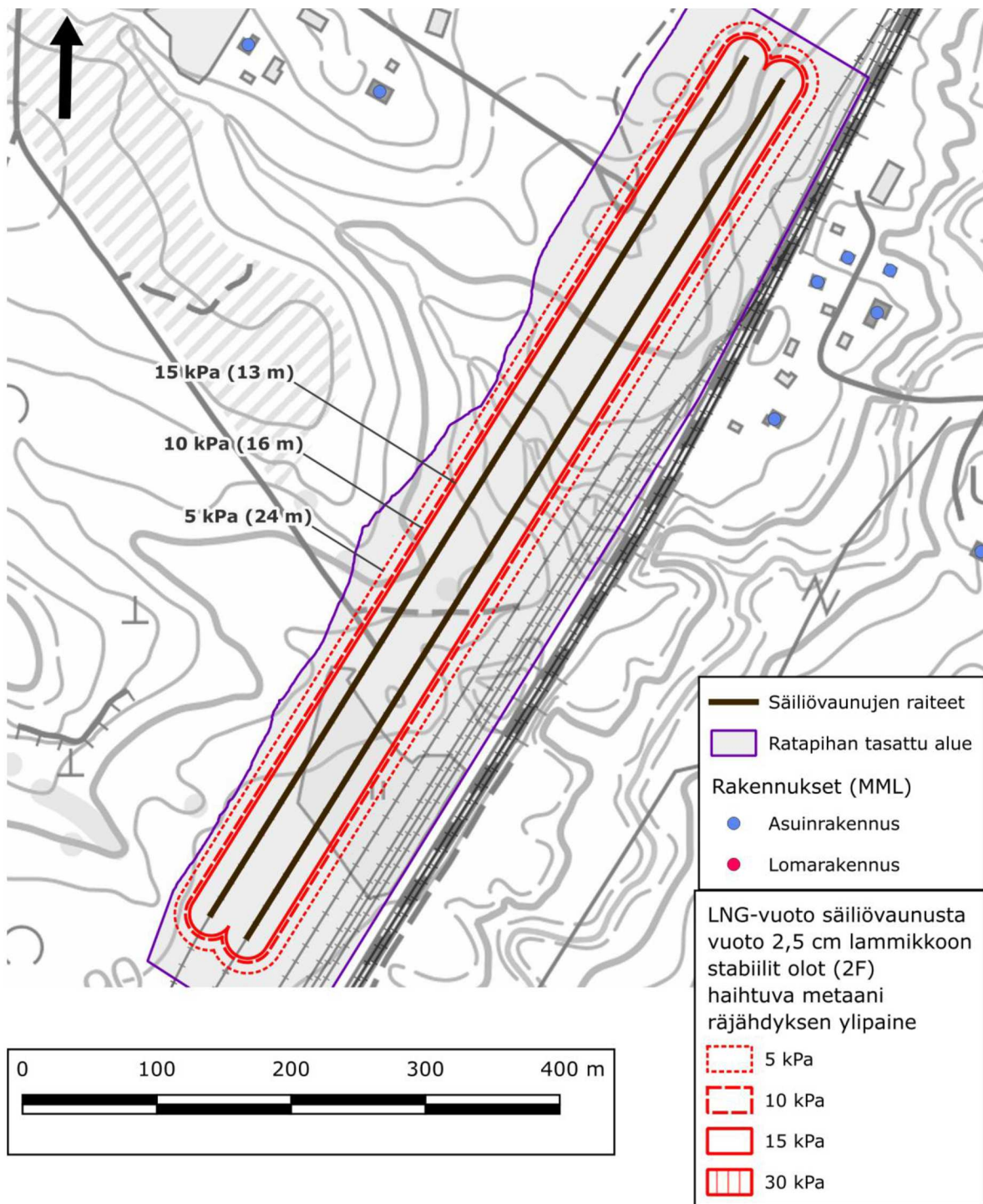


9.2.3.2 LNG, vuoto 2,5 cm, räjähdysen ylipaine



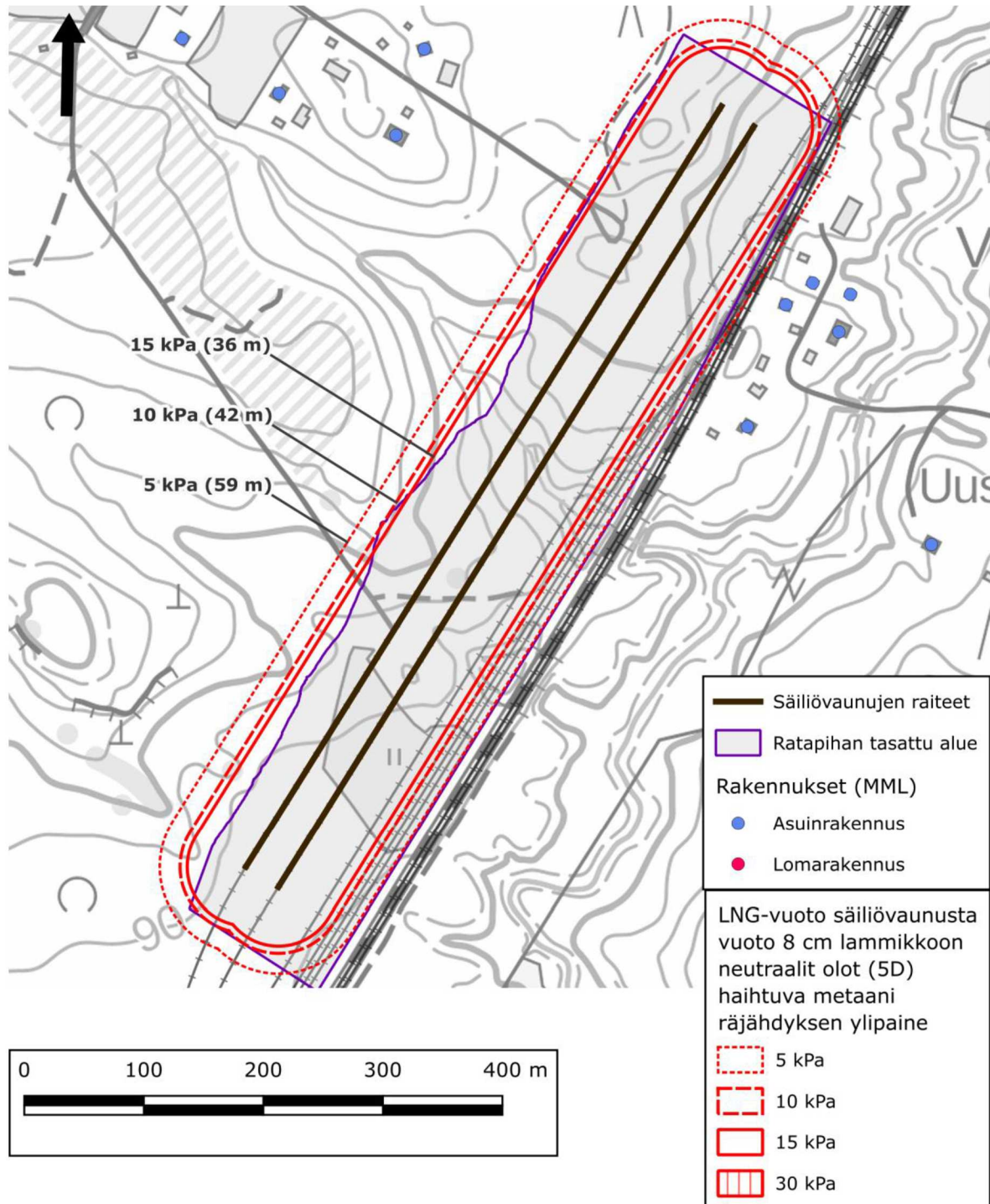
**Kuva 30. Räjähävän metaanin aiheuttamat ylipainetasot, kun LNG-lammikosta haihtuva metaani räjähtää minuutin vuodon jälkeen. Vuodon koko 2,5 cm. Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**





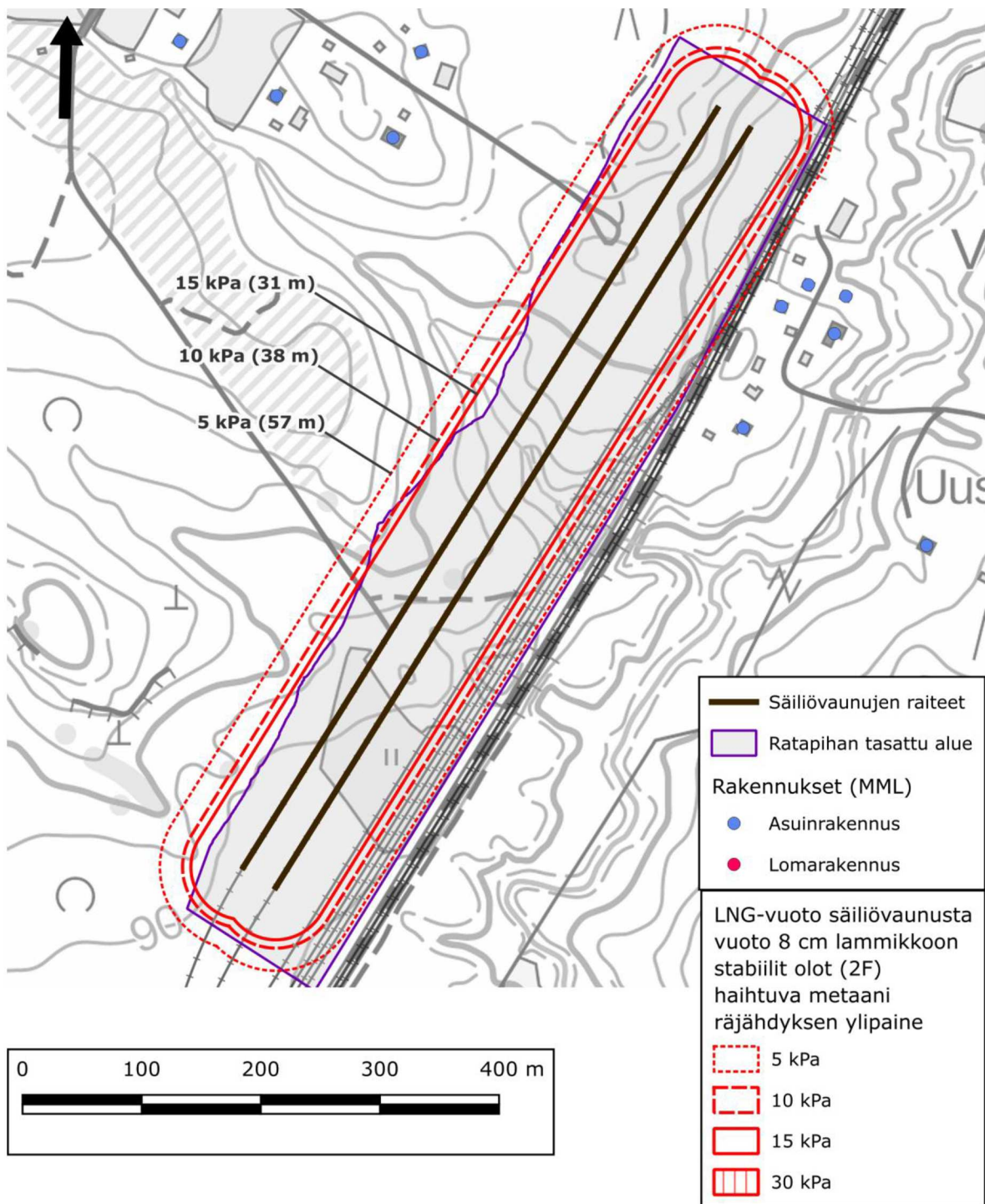
**Kuva 31. Räjähävän metaanin aiheuttamat ylipainetasot, kun LNG-lammikosta haihtuva metaani räjähtää minuutin vuodon jälkeen. Vuodon koko 2,5 cm. Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**

### 9.2.3.3 LNG, vuoto 8 cm, räjähdysen ylipaine



**Kuva 32. Räjähävän metaanin aiheuttamat ylipainetasot, kun LNG-lammikosta haihtuva metaani räjähtää minuutin vuodon jälkeen. Vuodon koko 8 cm. Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**



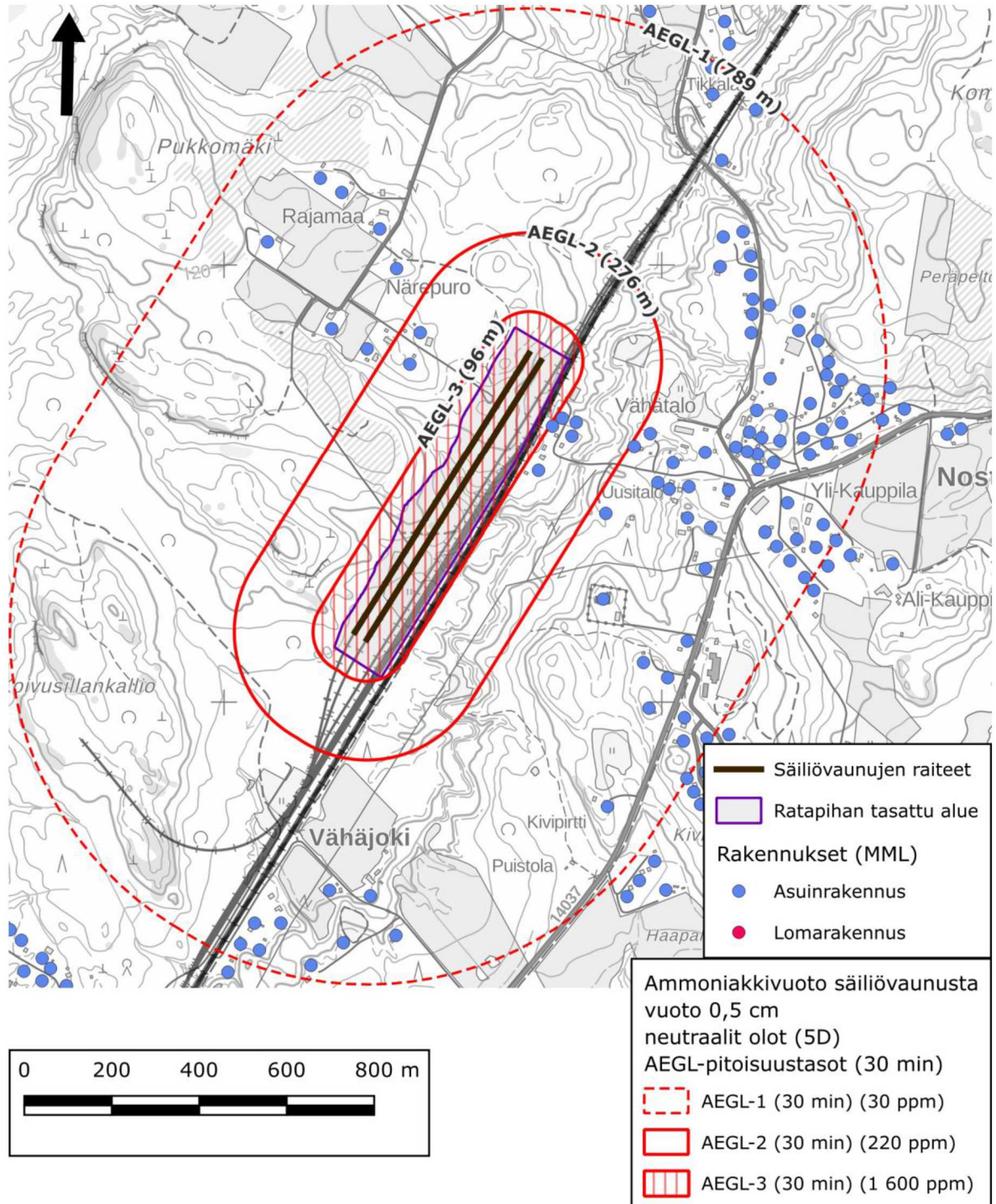


**Kuva 33. Räjähävän metaanin aiheuttamat ylipainetasot, kun LNG-lammikosta haihtuva metaani räjähtää minuutin vuodon jälkeen. Vuodon koko 2,5 cm. Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**



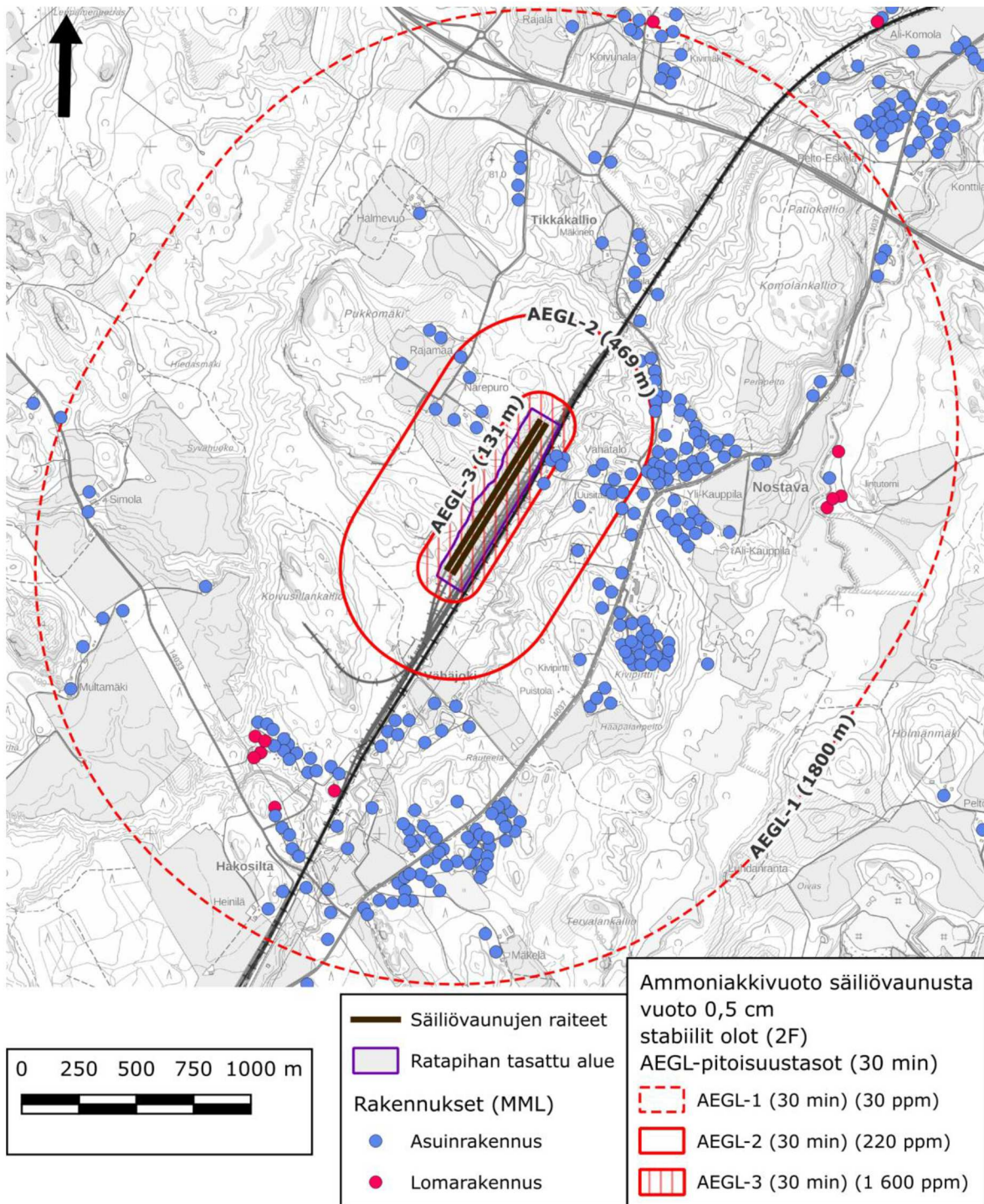
### 9.3 Ammoniakki (YK 1005)

#### 9.3.1 Ammoniakki, vuoto 0,5 cm, AEGL



**Kuva 34. Ammoniakkivuodon aiheuttamat AEGL-tasojen etäisyydet, kun vedetöntä ammoniakkia vuotaa säiliövaunun pohjalta. Vuodon koko 0,5 cm, ammoniakkin lämpötila +15 °C. Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 5 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**

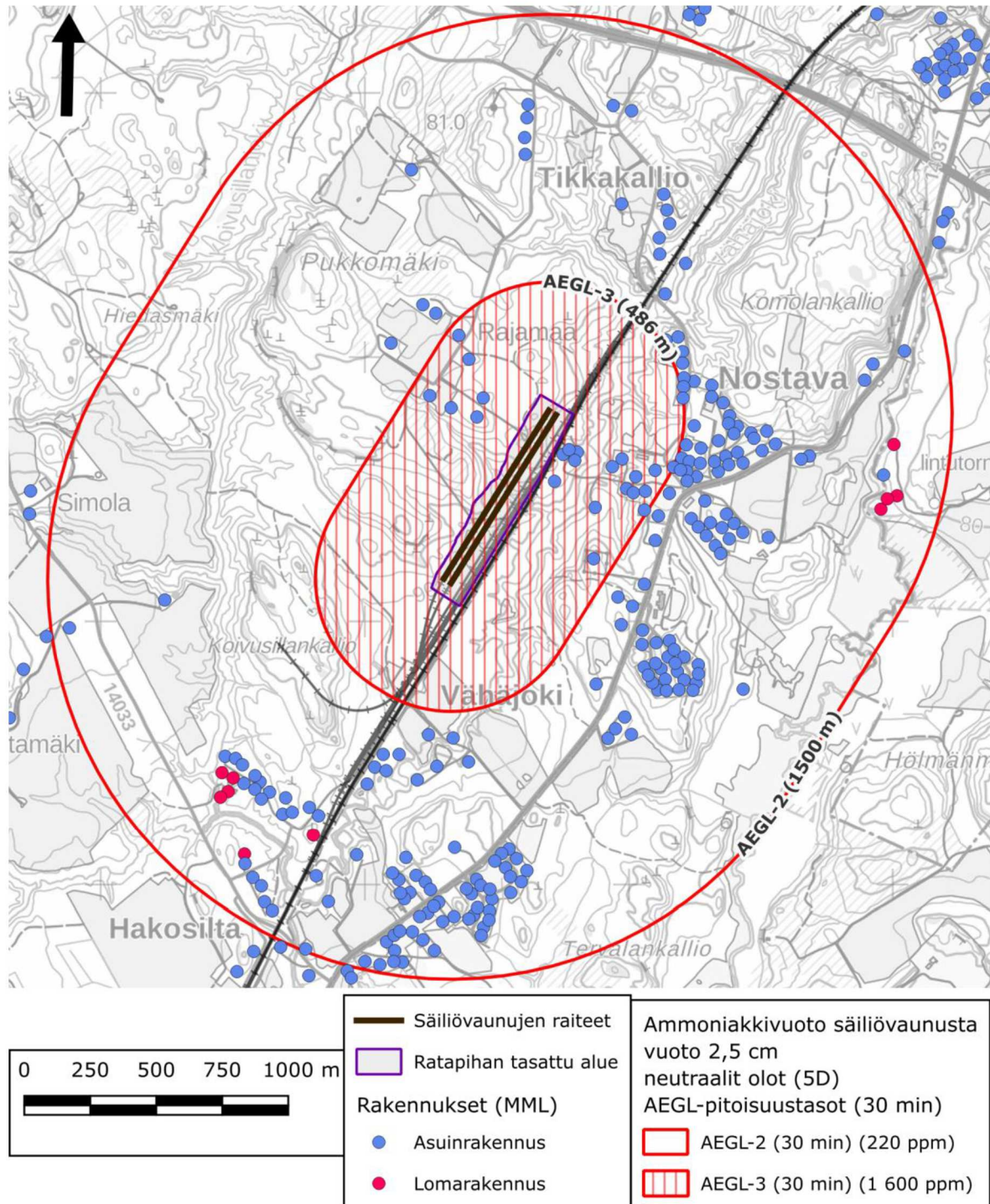




**Kuva 35. Ammoniakkivuodon aiheuttamat AEGL-tasojen etäisyydet, kun vedetöntä ammoniakkia vuotaa säiliövaunun pohjalta. Vuodon koko 0,5 cm, ammoniakin lämpötila +15 °C. Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**

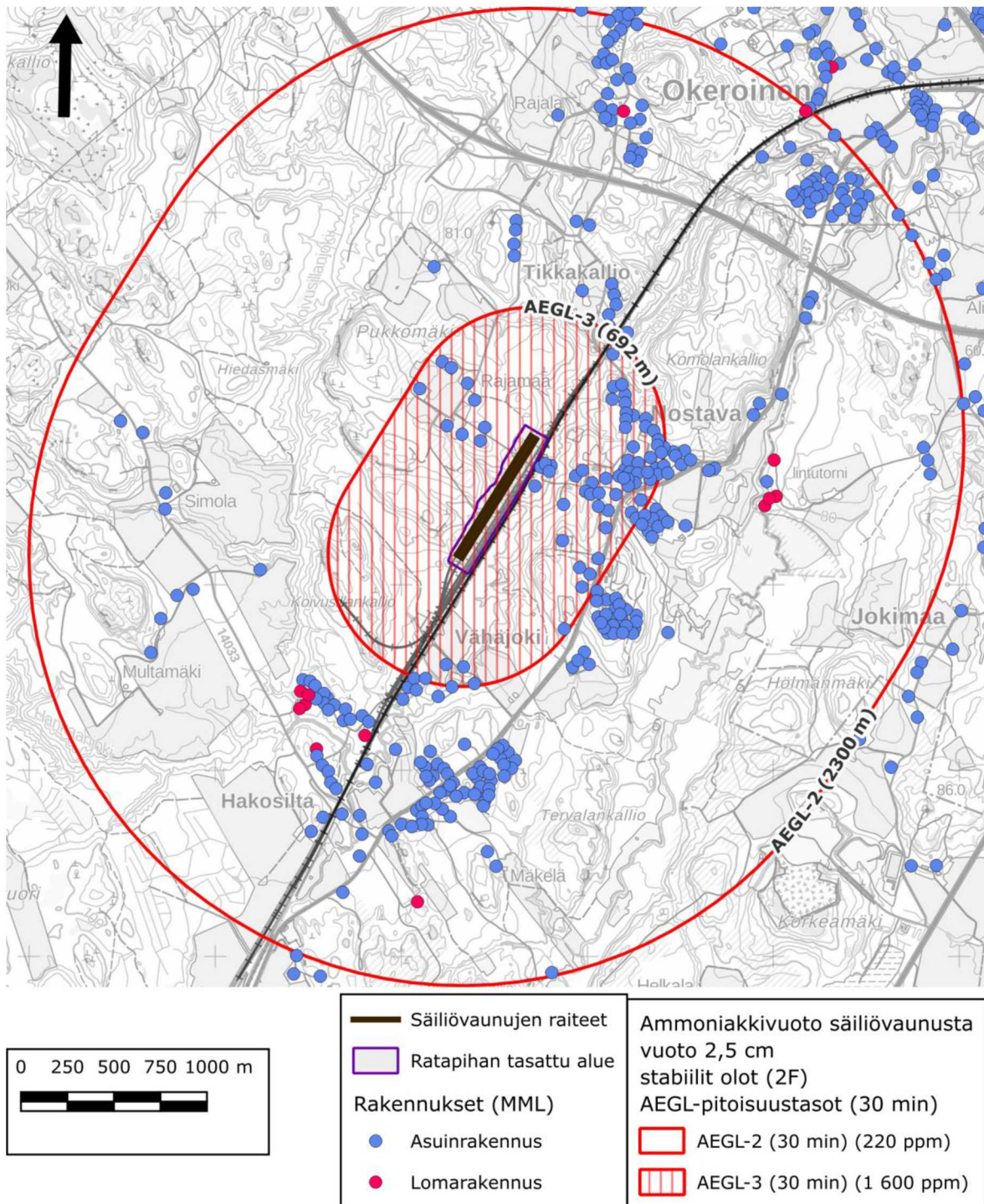


### 9.3.2 Ammoniakki, vuoto 2,5 cm, AEGL



**Kuva 36. Ammoniakkivuodon aiheuttamat AEGL-tasojen etäisyydet, kun vedetöntä ammoniakkia vuotaa säiliövaunun pohjalta. Vuodon koko 2,5 cm, ammoniakin lämpötila +15 °C. Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 5 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**

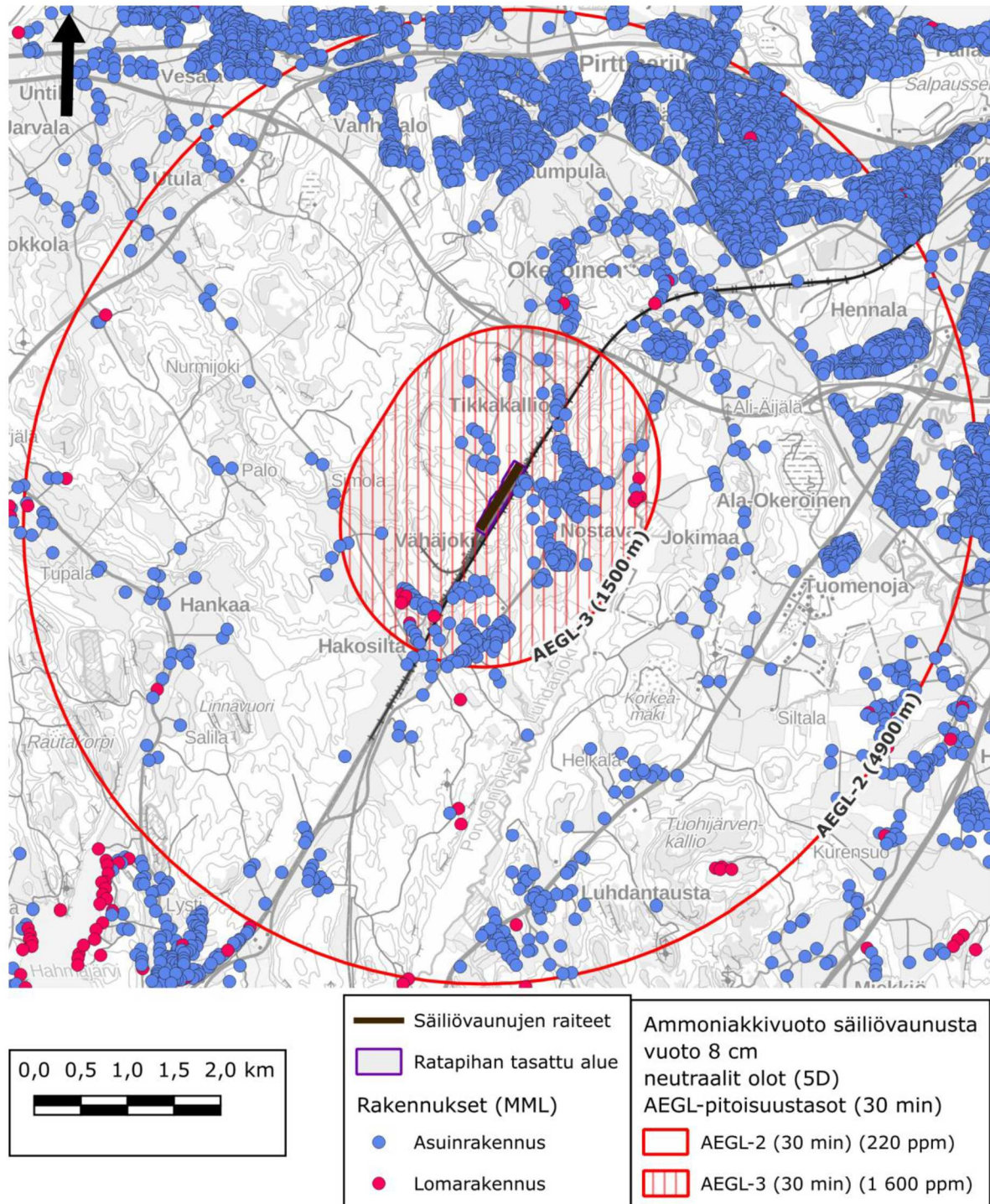




**Kuva 37. Ammoniakkivuodon aiheuttamat AEGL-tasojen etäisyydet, kun vedetöntä ammoniakkia vuotaa säiliövaunun pohjalta. Vuodon koko 2,5 cm, ammoniakin lämpötila +15 °C. Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**

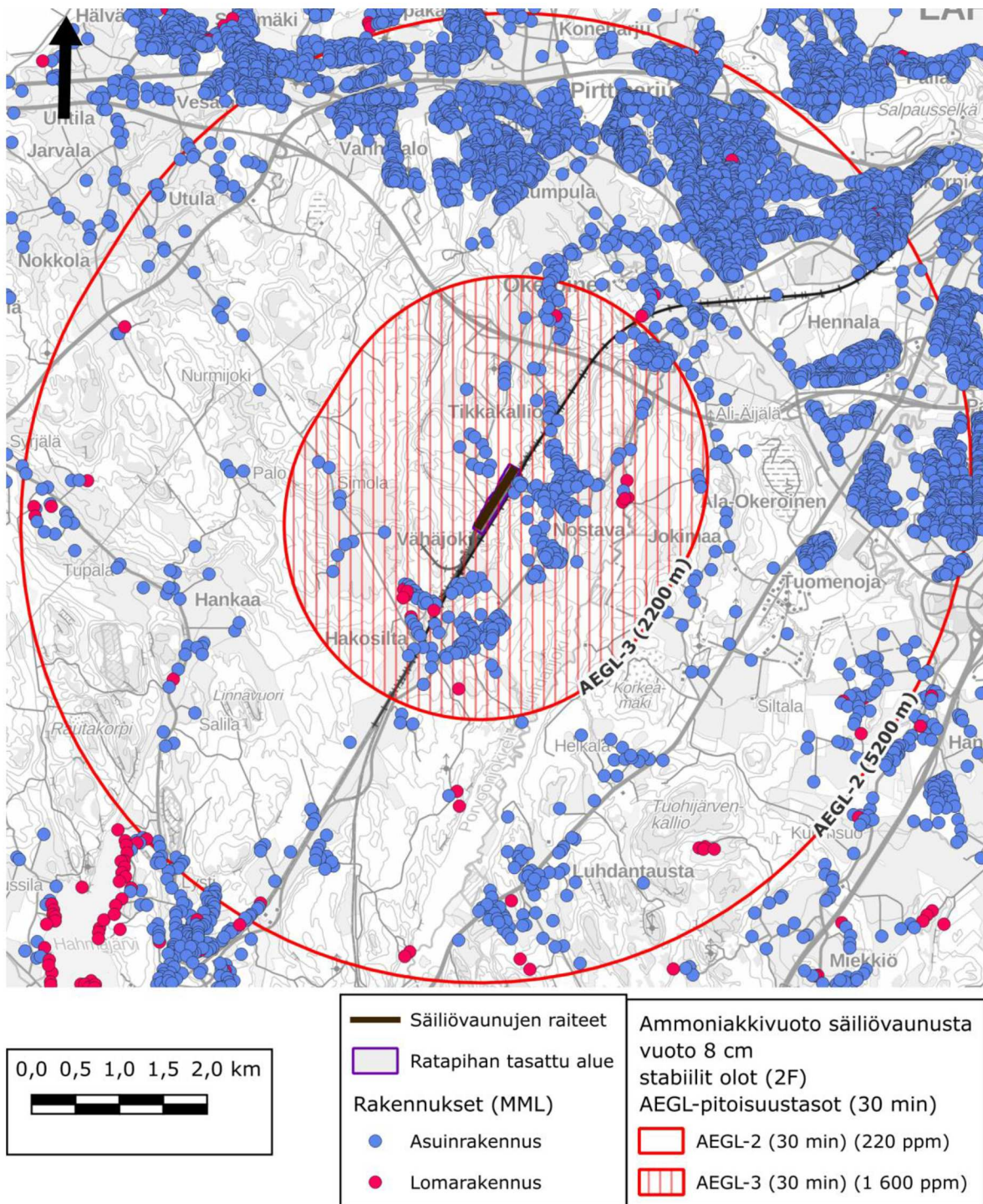


### 9.3.3 Ammoniakki, vuoto 8 cm, AEGL



**Kuva 38. Ammoniakkivuodon aiheuttamat AEGL-tasojen etäisyydet, kun vedetöntä ammoniakkia vuotaa säiliövaunun pohjalta. Vuodon koko 8 cm, ammoniakkin lämpötila +15 °C. Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 5 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**



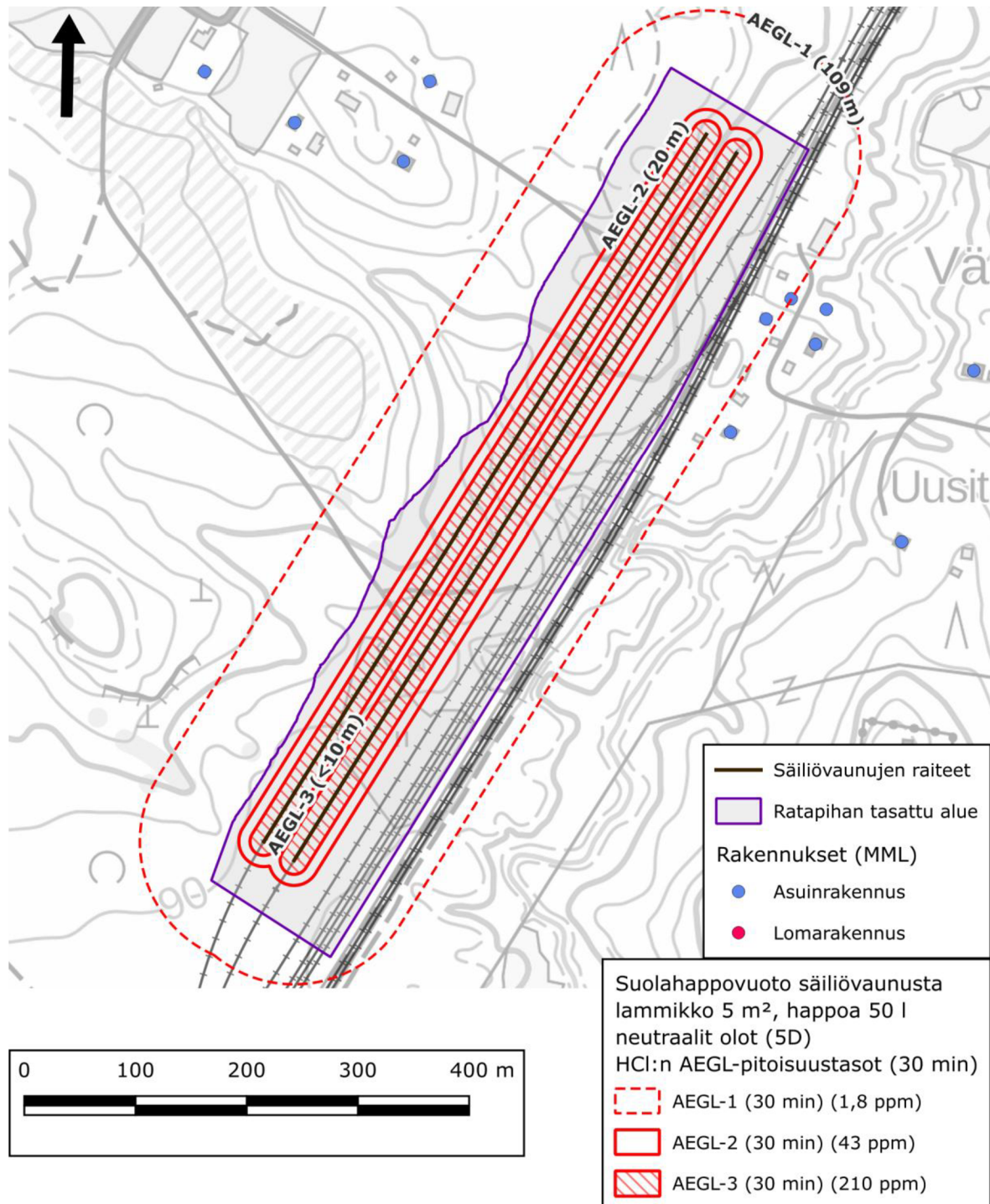


**Kuva 39. Ammoniakkivuodon aiheuttamat AEGL-tasojen etäisyydet, kun vedetöntä ammoniakkia vuotaa säiliövaunun pohjalta. Vuodon koko 8 cm, ammoniakkin lämpötila +15 °C. Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**

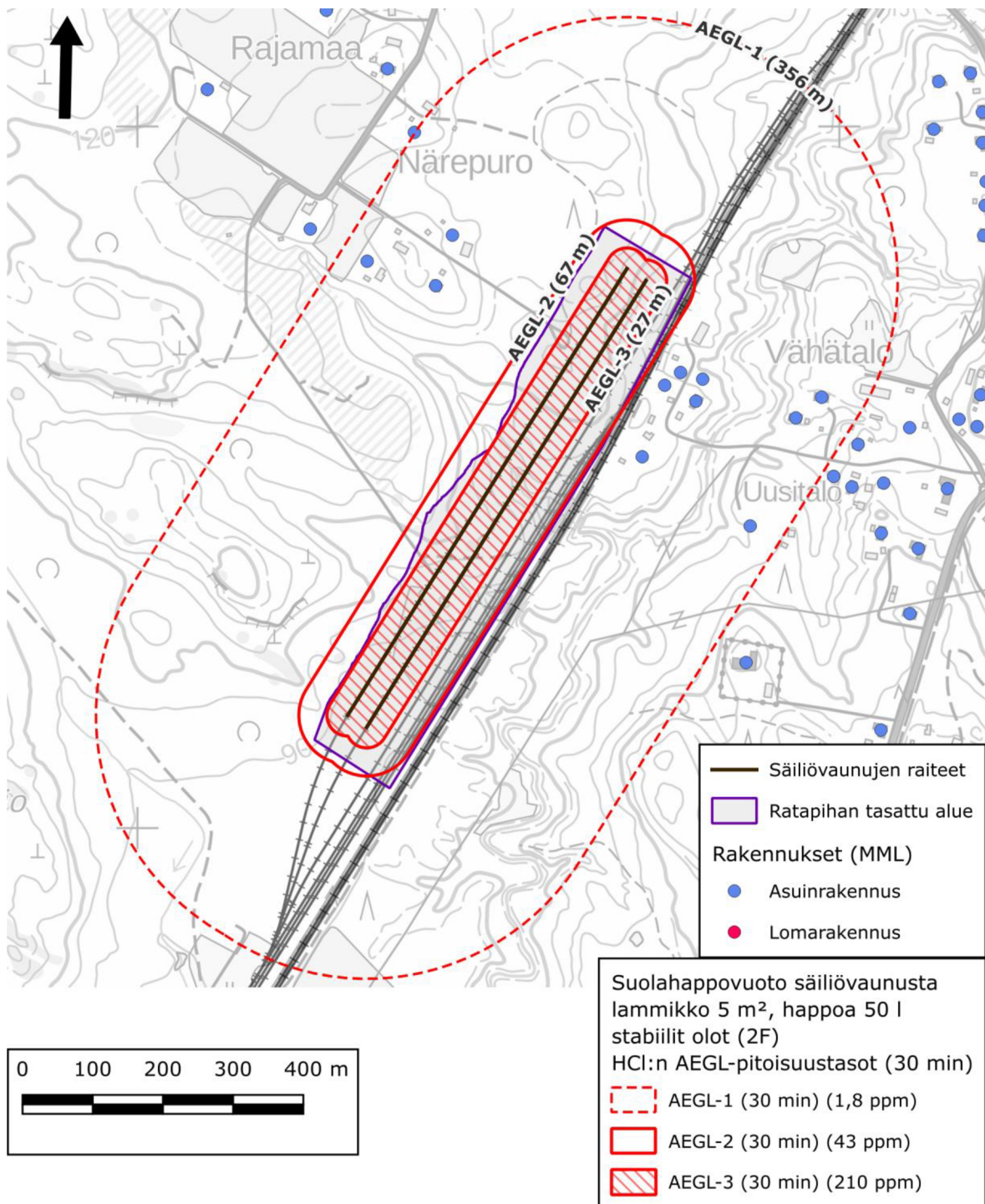


#### 9.4 Suolahappo 33 % (YK 1789)

##### 9.4.1 Suolahappo, 50 litraa, 5 m<sup>2</sup>, AEGL



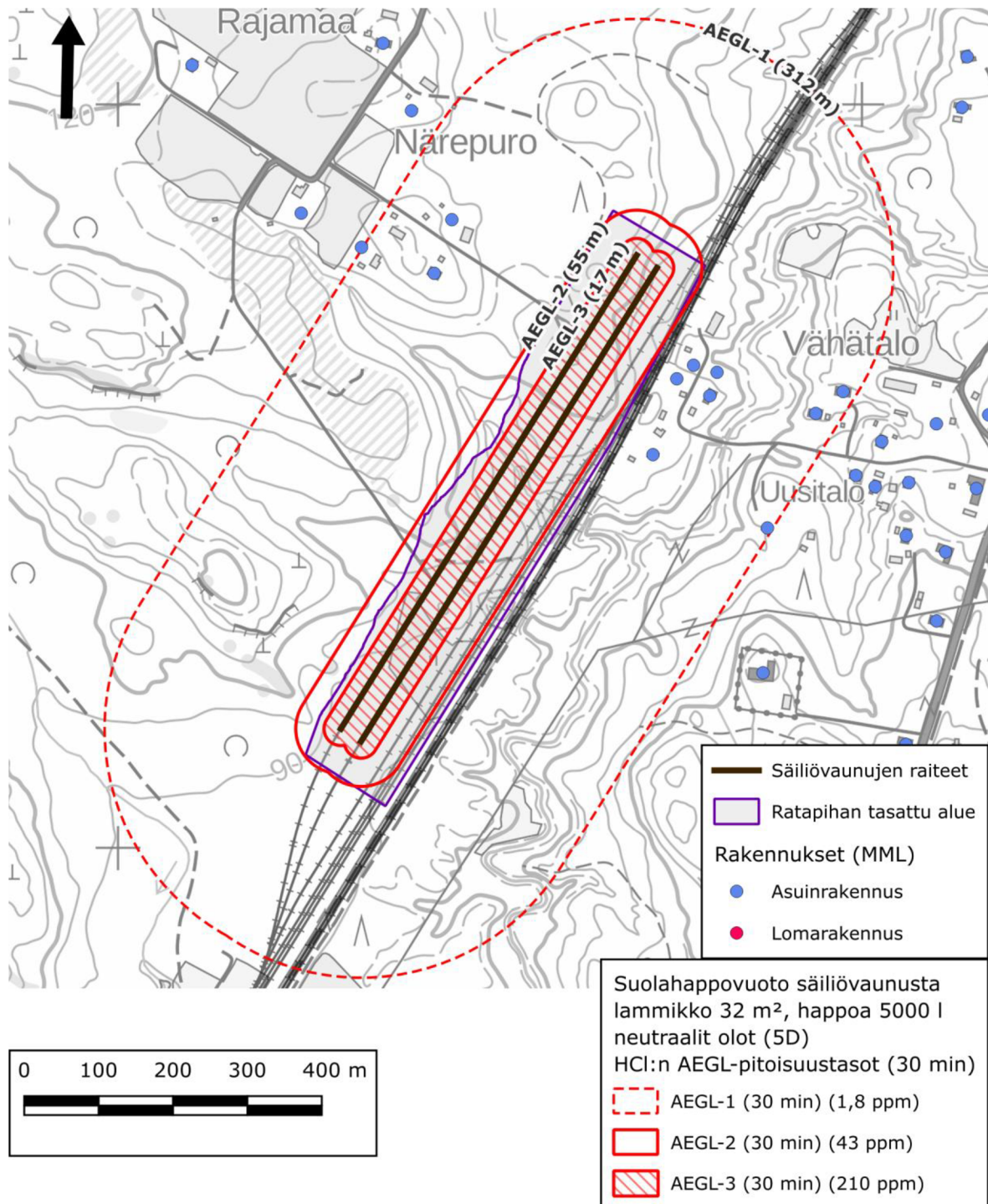
**Kuva 40. Suolahappovuodosta seuraavat, haihtuvan kloorivedyn aiheuttamat AEGL-tasojen etäisyydet, kun 33-prosenttista suolahappoa on vuotanut 50 litraa pinta-alaltaan 5 neliömetrin lammikkoon (pyöreän lammikon halkaisija olisi 2,5 m). Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 5 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**



**Kuva 41.** Suolahappovuodosta seuraavat, haihtuvan kloorivedyn aiheuttamat AEGL-tasojen etäisyydet, kun 33-prosenttista suolahappoa on vuotanut 50 litraa pinta-alaltaan 5 neliömetrin lammikkoon (pyöreän lammikon halkaisija olisi 2,5 m). Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.

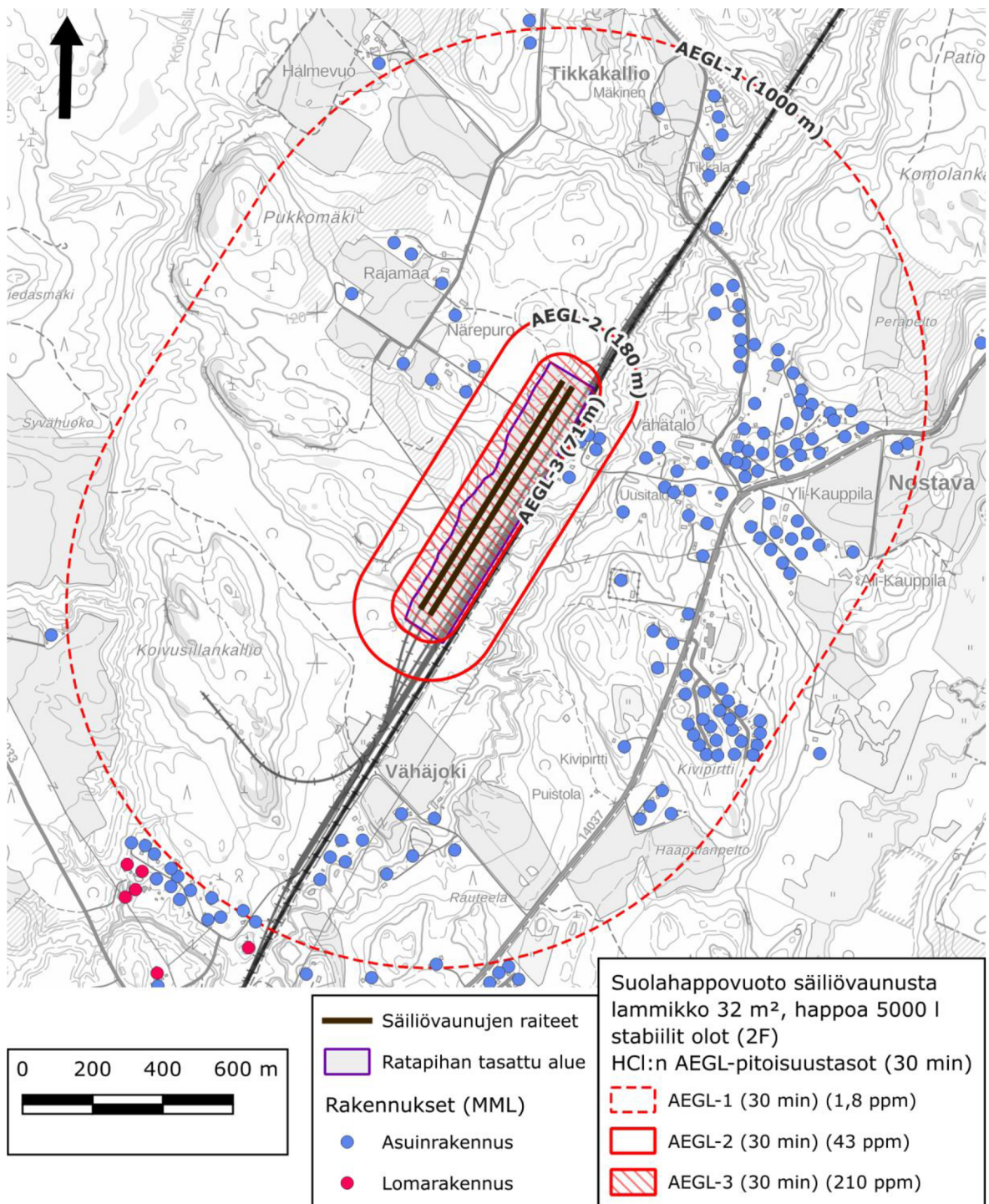


#### 9.4.2 Suolahappo, 5 000 litraa, 32 m<sup>2</sup>, AEGL



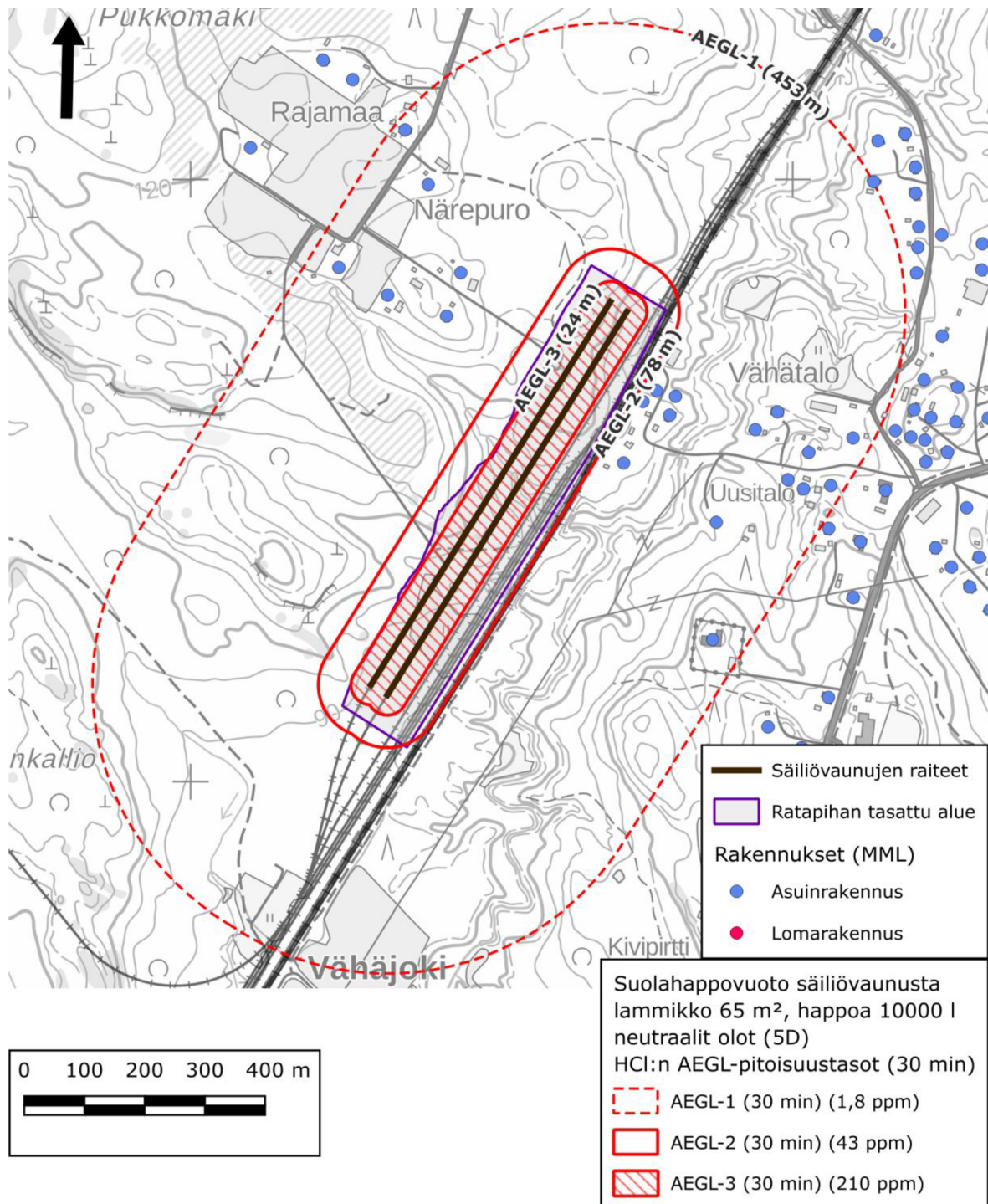
**Kuva 42. Suolahappovuodosta seuraavat, haihtuvan kloorivedyn aiheuttamat AEGL-tasojen etäisyydet, kun 33-prosenttista suolahappoa on vuotanut 5 000 litraa pinta-alaltaan 32 neliömetrin lammikkoon (pyöreän lammikon halkaisija olisi 6,4 m). Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 5 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**





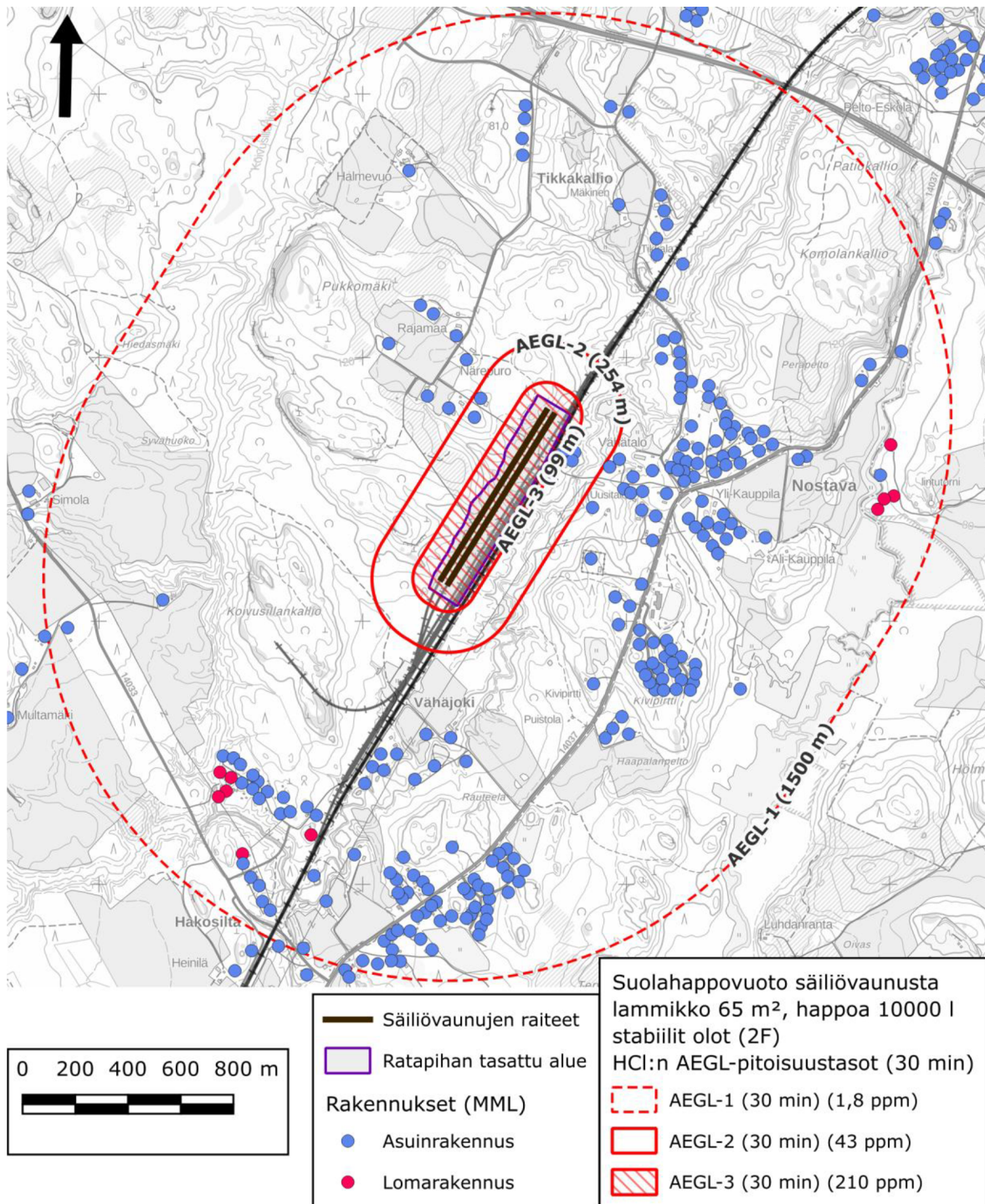
**Kuva 43.** Suolahappovuodosta seuraavat, haihtuvan kloorivedyn aiheuttamat AEGL-tasojen etäisyydet, kun 33-prosenttista suolahappoa on vuotanut 5 000 litraa pinta-alaltaan 32 neliömetrin lammikkoon (pyöreän lammikon halkaisija olisi 6,4 m). Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.

#### 9.4.3 Suolahappo, 10 000 litraa, 65 m<sup>2</sup>, AEGL



**Kuva 44. Suolahappovuodosta seuraavat, haihtuvan kloorivedyn aiheuttamat AEGL-tasojen etäisyydet, kun 33-prosenttista suolahappoa on vuotanut 10 000 litraa pinta-alaltaan 65 neliömetrin lammikkoon (pyöreän lammikon halkaisija olisi 9,1 m). Neutraalit olot (luokka D), tuulen nopeus 5 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.**





**Kuva 45.** Suolahappovuodosta seuraavat, haihtuvan kloorivedyn aiheuttamat AEGL-tasojen etäisyydet, kun 33-prosenttista suolahappoa on vuotanut 10 000 litraa pinta-alaltaan 65 neliömetrin lammikkoon (pyöreän lammikon halkaisija olisi 9,1 m). Stabiilit olot (luokka F), tuulen nopeus 2 m/s ja ilman lämpötila +15 °C.



## 10. Yhteenveto ja suositukset

### 10.1 Yleistä taustaa tuloksista

Mallinnustulokset perustuvat oletukseen, että säiliövaunuun tulee tietyn kokoinen vuoto venttiiliin tai liitokseen, mutta itse vaunuun ei tule reikää. Mikäli säiliövaunuun tulisi iso reikä tai repeämä jonkin ulkoisen syyn takia, vaikutukset voisivat olla selvästi paljon vakavampia ja laajemmalle ulottuvia kuin tässä selvityksessä. Tällaiset tilanteet ovat pääsääntöisesti poikkeustilanteita, kuten sota tai vandalismi.

Mallinnetuista aineista useampi on luokiteltu rautatiekuljetusten VAK-määräyksessä turvauhkaa aiheuttavaksi taulukon määräyksen taulukon 1.10.3.1.2 mukaisesti: ammoniakki myrkyllisyytensä takia sekä palavat kaasut LNG ja vety. Näistä aineita voi aiheutua merkittävä turvauhka, koska ne ovat vaarallisia aineita, joita voidaan käyttää väärin terrori-iskuissa ja jotka voivat siten aiheuttaa vakavia seurauksia, kuten ihmisuhreja tai joukkotuhoa (Traficom 2025).

Tuloskartoissa LNG- ja suolahappovuotojen seurausvyöhykkeet on piirretty arvioitun lammikon halkaisijan verran etäämmälle pistoraiteista (ks. kappaleet 9.2 ja 9.4). Näin on arvioitu se, että lammikko ei muodostuisi kiskojen kohdalle.

Mahdollisia säiliövaunun räjähtäessä syntyviä heitteitä ei arvioitu. Pelastusviranomaisen mukaan heitteet ovat riski jopa 300 metrin etäisyydelle saakka.

### 10.2 Yhteenveto leviämismallinnuksen tuloksista

#### 10.2.1 Vety

Mallinnetuissa vetyvuodoissa suurin etäisyys, jolla syttymisraja ylittyi, oli 88 m, eikä siten yltänyt asutukselle tai osayleiskaavaluonnoksen asuinalueille. Suurimmat Tukesin sallimat lämpösäteilyn tehotaso ja räjähdysen ylipaine asuinalueilla eivät ylittyneet lähimmillä asuintaloilla eivätkä osayleiskaavaluonnoksen mukaisella kerrostalovaltaisella alueella. Palava vetyliekki voi kuumentaa muita vaunuja, jolloin onnettomuus voisi laajentua.

Kaasupullojen heitteiden todennäköisyys vetyräjähdyksessä arvioidaan pieneksi. Vetyvaunun prototyypissä vety kuljetetaan kontissa, jossa on erillisiä tyyppin IV vetysäiliöitä. Tyyppin IV vetypullot ovat komposiittimateriaalia ollen hiilikuidun ja kestumuovin sekoitusta, ja ne ovat selvästi kevyempiä kuin muun tyyppiset vetysäiliöt (Tukes 2024). Tyyppin IV vetypullojen pulloventtiili on niiden ”heikoin lenkki”, joka todennäköisimmin pettää ensimmäisenä, esimerkiksi iskun vaikutuksesta.

#### 10.2.2 LNG

LNG:n vuototilanteiden mallinnustulosten vaikutusvyöhykkeet eivät ulottuneet lähimmälle asutuksella tai osayleiskaavaluonnoksen kerrostaloalueelle. Palava metaaniliekki voisi kuumentaa muita säiliövaunuja, jolloin onnettomuus voisi laajentua.

#### 10.2.3 Ammoniakki

Ammoniakin vuodot tuottivat mallinnusten suurimmat vaikutusalueet. Jos vuoto olisi pieni (0,5 cm), niin neutraaleissa oloissa (D, tuuli 5 m/s) AEGL-3-pitoisuutta (1 600 ppm) voisi esiintyä 96 metrin etäisyydellä, joka ylittää lähimmälle pientalolle. Tämä ylittää tason, jonka Tukes sallii onnettomuusmallin tuloksena pientaloalueelle. Stabiileissa oloissa (F, tuuli 2 m/s) AEGL-3-pitoisuus voisi ylittää 131 metrin etäisyydelle. AEGL-2-pitoisuus (220 ppm) ylittäisi neutraaleissa oloissa 276 metrin ja

stabiileissa 469 metrin etäisyydelle, ja nämä vyöhykkeet yltäisivät osayleiskaavaluonnokseen merkityille kerrostalovaltaiselle asuinalueelle (kaavamerkintä AK).

Suuremmat ammoniakkivuodot, kooltaan 2,5 cm ja 8 cm tuottaisivat hyvin paljon laajempia vaaravyöhykkeitä. AEGL-3-taso voisi yltää jopa lähes 700 metrin etäisyydelle ja AEGL-2-taso jopa yli viiden kilometrin etäisyydelle. Nämä ylitykset ovat hyvin paljon suurempia kuin Tukesin sallimat onnettomuusvaikutukset asutukselle.

#### 10.2.4 Suolahappo

Pienen suolahappovuodon (50 l, lammikko 5 m<sup>2</sup>) seurauksena leviävä kloorivety esiintyisi AEGL-3-pitoisuudella (210 ppm) alle 10 metrin etäisyydellä lammikosta ja stabiileissa oloissa vastaava etäisyys olisi 27 m. AEGL-2-taso voisi ylittyä maksimissaan 67 metrin etäisyydellä. Nämä vyöhykkeet eivät yllä nykyisille asuintaloille tai kaavaluonnoksen AK-alueelle.

Jos suolahaposta muodostuisi 32 m<sup>2</sup>:n (5 000 l happoa) tai 65 m<sup>2</sup>:n (10 000 l happoa) lammikko, niin kloorivedyn leviämisen aiheuttamat etäisyydet, joilla AEGL-2- ja AEGL-3-tasot ylittyvät, muodostuvat suuremmiksi. Stabiileissa oloissa HCl:n AEGL-3-tason pitoisuus (210 ppm) voisi ylittyä 32 m<sup>2</sup>:n lammikon tapauksessa jopa 71 metrin etäisyydellä ja 65 m<sup>2</sup>:n lammikolle 99 metrin etäisyydellä, joka yltää lähimmille asuintaloille radan itäpuolella.

AEGL-2-tason (43 ppm) ylityksiä voisi tapahtua 180 metrin (lammikko 32 m<sup>2</sup>) tai 254 metrin (lammikko 65 m<sup>2</sup>) etäisyydellä. Nämä yltävät kaavaluonnoksen kerrostaloalueelle.

AEGL-1-taso (1,8 ppm) ylittyy selvästi kauempana kuin mainitut AEGL-2-tasojen etäisyydet, joten esimerkiksi ärsytysoireita, jotka eivät aiheuta pysyvää haittaa, voi esiintyä kauempanakin.

Kloorivety on ilmaa raskaampi kaasu, joten ratapihan sijainti kallioleikkauksen alapuolella estää leviämistä pohjoiseen ja luoteeseen osayleiskaavaluonnoksen kerrostalovaltaiselle alueelle. Kuitenkin leviämistä voi tapahtua siihenkin suuntaan sopivissa olosuhteissa.

#### 10.3 Vaikutuksia ympäristöön

Palamatta vapautuvan vetyvuodon vaikutukset ympäristön kasvillisuuteen ja muuhun eliöstöön arvioidaan pieniksi, koska vapautuva vetykaasu ei kerry ympäristöön vaan nousee ilmaa kevyempänä kaasuna ylöspäin. Palava vetysuihku voi luonnollisesti aiheuttaa palovaikutuksia. Ilmaan levitesään vetypitoisuus lopulta laimenee, eikä siitä aiheudu matalina pitoisuuksina ympäristölle haittaa.

LNG:n vuoto on hyvin kylmä, -162 °C, ja siten jäädyttää vuotoalustan. Vesi lämmittää LNG:tä hyvin nopeasti, ja siten höyrystää metaania, jolloin syntyy kylmää sumua (Gexcon 2026). Tämä sumu voi jäädyttää esim. kasvillisuutta ja väliaikaisesti vesistöjä. LNG-vuoto voi myös syttyä tuleen tai aiheuttaa pahimmassa tapauksessa höyrypilviräjähdyksen eli VCE:n (*vapour cloud explosion*). Vuotava LNG-säiliö voi syttyessään muodostaa suihkupalon, joka voi vahingoittaa läheisyydessä olevia säiliövaunuja. Metaanin itsessään on kasvihuonekaasu, jolla on ilmastollista merkitystä. Metaania esiintyy tyypillisesti luonnossa, eikä se ole erityisesti ympäristölle haitallinen yhdiste.

Kun vedetöntä ammoniakkia vuotaa, niin osa nesteestä höyrystyy välittömästi ja loppuosa jäähtyy kiehumispisteeseen. Nestesuihku hajoaa pisaroiksi, kun lämpötila on vähintään -23...-18 °C. Jos vuotavan ammoniakkin suihku ei kohtaa esteitä, niin pienet pisarat höyrystyvät ilman sekoittuessa suihkuun ja isot putoavat maahan. Näin nesteytetyn ammoniakkin vuoto voi olla muodostamatta lammikkoa (TTL 2025a).

Jos mallinnetun kaltaisen ammoniakkivuodon aikana sataa ja leviävä ammoniakki liukenee sadeveeteen, muodostuu ammoniakkipitoista hulevettä. Liuos voi imeytyä maaperään ja kulkeutua pohjaveeteen. Jos liuennutta ammoniakkia päätyy sadeveden tai muodostuvan huleveden mukana vesistöön, vakavien haittavaikutusten todennäköisyys vesieliöstölle on suuri.

Suolahappovuodon ollessa suuri happoliuos voi imeytyä maaperään ja liuottaa aineksia (kuten karbonaatteja) ja happamoittaa pohjavettä (TTL 2025e). Ilmassa haihtunut kloorivety liukenee veteen ja muodostaa taas suolahappoa. Sateen aikana kloorivety liukenee sadeveteen ja hapan hulevesi voi päätyä vesistöön, jossa se happamoittaa vesistöä. Liika happamuus voi aiheuttaa vesieliöstölle haittaa.

#### 10.4 Ratapiha-alueen turvallisuus

Päijät-Hämeen pelastuslaitoksen Hollolan paloasema sijaitsee linnuntietä noin 4,5 kilometrin etäisyydellä Nostavan ratapiha-alueesta. Ratapihalle on Nostavan-Tikkakallion osayleiskaavaluonnoksessa suunniteltu kulkureitit pohjoisesta Valtatieltä 12 sekä etelästä Koskimyllyntien kautta. Suunnitellut kulkureitit yhtyvät yhdeksi väyläksi, joka tulee ratapihalle etelän suunnalta.

Pelastuslaitoksen tulee päästä ratapiha-alueella kahdesta eri ilmansuunnasta, eli kaavaan piirretty järjestely, jossa kaksi kulkureittiä yhtyy yhdeksi väyläksi, ei ole riittävä. Mahdollinen toinen kulkureitti ratapihalle voisi kulkea radan länsipuolella pohjoisesta, Tikkakallion suunnitellun henkilöliikenteen aseman suunnalta.

#### 10.5 Yleisiä suosituksia tulosten perustella

Vedyn mallinnustulosten perusteella vedyn sekä nesteytetyn maakaasun (LNG:n) käsittely tämänhetkisen Nostavan ratapihalla näyttää olevan mahdollista.

Mallinnetuista kemikaaleista ammoniakkivuodon seuraukset olivat vakavimpia. Tämä johtuu siitä, että ammoniakki on erittäin myrkyllistä, ja se kuljetetaan vedettömänä eikä liuoksena, jolloin se kaasuuntuu heti vapauduttuaan. Mallinnetut terveydelle haitalliset pitoisuudet ulottuivat Tukesin sallimaa tasoa laajemmalle sekä nykyisille omakotitaloille että osayleiskaavaluonnoksen mukaiselle kerrostaloalueelle.

Ammoniakkivuodon seurausten vakavuuden takia ammoniakin käsittelyn sallimista ratapihalla ei suositella. Ammoniakin käsittelyn salliminen rajoittaisi lähialueen nykyistä käyttöä sekä merkittävästi rajoittaisi alueelle suunnitteilla olevaa asuinrakentamista.

Tämä suositus voidaan laajentaa koskemaan myös muita vastaavalla tavalla hyvin myrkyllisiä ilmaa raskaampia kaasumaisia aineita. Muita vastaavilla ominaisuuksilla olevia kaasuja ovat esimerkiksi kloorivety (YK 1050) tai kloori (YK 1017). Päätös tiettyjen kemikaalien sallimisesta ratapihalla on tehtävä erillisen ja perusteellisen riskiarvioinnin perusteella.

Ratapiha-alue ei sijaitse pohjavesialueella. Ratapiha-alueen vieressä virtaa Vähäjoki, johon kohdistuva riski on ammoniakin ja suolahapon vuototilanteissa suuri. Vuotaneiden kemikaalien, sammu- tusvesien ja huleveden virtaaminen lähialueen vesistöihin voidaan kuitenkin estää tehokkaalla vuotojen ja sammutusvesien hallintajärjestelmällä. Vähäjoessa lisääntyy ja talvehtii Porvoonjoen luontainen taimenkanta.

Suurien vuotojen vaikutusalueet ovat laajoja, mutta suuret vuodot ovat epätodennäköisempiä kuin pienet. Se millaiset seuraukset ovat hyväksyttäviä, riippuu onnettomuuden todennäköisyydestä. Ratapihan onnettomuustilanteista suositellaan tehtäväksi riskinarviointi, koska seurausten ja todennäköisyyksien suhdetta voidaan arvioida riskinarvioinnin avulla. Jos todennäköisyys arvioidaan riittävän pieneksi, niin vakavatkin seuraukset voivat olla hyväksyttäviä. Riskinarvio tulee tehtäväksi VAK-ratapihan turvallisuusselvityksen ja pelastussuunnitelman yhteydessä.

#### 10.6 Yleiskaavoitusta koskevia suosituksia

Valtakunnallisten alueidenkäyttötavoitteiden mukaan uudet kemikaaliratapihat ja vaarallisten aineiden kuljetusten järjestelyratapihat tulee sijoittaa riittävän etäälle asuinalueista, yleisten toimintojen



alueista ja luonnon kannalta herkistä alueista. VAK-ratapihan läheisyyteen ei siis saa sijoittaa uutta asumista, opetusta, hoivaa tai merkittäviä kokoontumistiloja sisältävää rakentamista.

Ensisijainen keino riskien välttämiseksi tai pienentämiseksi on kaavoittaa VAK-ratapiha jo maakuntakaava- ja yleiskaavavaiheessa selvästi erilleen olemassa olevasta ja suunnitelluista uusista asumisen alueista. Nostavan–Tikkakallion alueen alustavassa osayleiskaavaluonnoksessa (11.9.2025) esitetyt asuinaluevaraukset ja kemikaaliratapiha eivät ole Päijät-Hämeen pelastuslaitoksen mukaan yhteensopivia. Pelastuslaitoksen antaman näkemyksen mukaan asuinalueita ei tulisi suunnitella niin lähelle kemikaaliratapihaa.

Mikäli Nostavan–Tikkakallion osayleiskaavassa päädytään sallimaan–rajoitetustikin–vaarallisten aineiden kuljetus (VAK-ratapihan mukaiset toiminnot), alueen ja sen lähiympäristön käyttöä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon ratapihalla tapahtuvien toimintojen aiheuttamat ympäristövaikutukset ja onnettomuusriskit sekä pyrkiä niiden ehkäisemiseen ja/tai lieventämiseen. Asumisen alueet on suositeltavaa sijoittaa alustavassa kaavaluonnoksessa esitettyä kauemmaksi suunnitellusta ratapihasta. Lisäksi kaava-alueen turvallisuutta on suositeltavaa lisätä erilaisin toimenpitein, kuten sammutusjärjestelmän rakentamisella ja aitaamisella.

Osayleiskaavassa tulisi osoittaa VAK-huomiointivyöhyke riittävälle etäisyydelle ratapihan aluerajasta. VAK-ratapihat ja kaavoitus -raportissa (Ympäristöministeriö 2012) on ehdotettu 2 kilometrin huomiointivyöhykettä ja mainittu perusteluna suhteellisen suurelle etäisyydelle ainemäärien vaihtuvuutta sekä suuria ainemääriä, joita säilytetään samanaikaisesti VAK-ratapihalla. VAK-huomiointivyöhyke voidaan merkitä osayleiskaavaan esimerkiksi vak-1-merkinnällä tai koko kaava-aluetta koskevalla yleismääräyksellä. VAK-huomiointivyöhykkeen tavoitteena on herättää huomio tarpeelle selvittää riskitaso, kun alueelle laaditaan asemakaavoja.

Koska suunniteltu VAK-ratapiha-alue sijoittuu Nostavan–Tikkakallion osayleiskaavan itälaidalle, kaava-aluetta on suositeltavaa laajentaa, jotta myös kaava-alueen itäpuolella olevien alueiden maankäyttö voitaisiin ratkaista samassa kaavoitusmenettelyssä. Tällöin myös VAK-suojavyöhyke olisi mahdollista määrittää kaikilta osin riittävän laajana ratapihan ympärille. Lahden oikoradan itäpuolelle on jäämässä voimaan oikeusvaikutteinen Hollolan strateginen yleiskaava. Nostavan–Tikkakallion osayleiskaavaluonnoksen (11.9.2025) ohella myös strategisessa yleiskaavassa osoitettu maankäyttö on todennäköisesti ristiriidassa suunnitellun VAK-ratapihan kanssa.

## 10.7 Päätelmät

Tämänhetkisen osayleiskaavaluonnoksen ja ratapihasuunnitelman mukainen toimintojen sijoittelu ei ole soveltuva, jos Nostavan ratapihalla on yleistä VAK-ratapihan toimintaa. Perusteluna on toisaalta, että pelastusreitit eivät olleet riittävät, koska itse ratapihalle ei pääse kahdesta eri ilmansuunnasta. Toisaalta mallinnetuista kemikaalivuotojen seurauksista ammoniakkin terveydelle vaaraa aiheuttavat vyöhykkeet olivat niin suuret, että nykyiselle omakotitaloasutukselle aiheutuu riskejä. Myös kaavaluonnokseen merkitylle kerrostaloalueelle kohdistui ammoniakki- ja suolahappovuotojen seurauksen suurempia vaikutuksia kuin Tukesin sallimat mallinnustulosten maksimitasot.

Mikäli Nostavan ratapiha päätetään toteuttaa VAK-ratapihana, niin erityisen suuria riskejä aiheuttavien kemikaalien käsittely voidaan kieltää. Näitä ovat mallinnetuista kemikaaleista ammoniakki ja suolahappo. Muut mahdolliset kiellettävät kemikaalit tulee arvioida erikseen. Ratapihalle tulee rakentaa myös toinen pelastusreitti eri ilmansuunnasta kuin kaavaluonnoksen eteläinen reitti.

Kemikaalien talteenotto sekä sammutus- ja hulevesien käsittely tulee järjestää siten, että niiden päätyminen vesistöihin estetään.

Yleiskaavan kerrostalovaltaiset alueet (merkintä AK) tulisi sijoittaa kauemmaksi ratapihasta kuin nykyisessä kaavaluonnoksessa. Yleiskaavan laajentaminen radan itäpuolelle mahdollistaisi sen, että itäpuolen maankäyttö voitaisiin ratkaista samassa kaavoitusmenettelyssä. Tämä pitäisi sisällään VAK-ratapihan suojavyöhykkeet.

## 11. Kirjallisuus

DB Cargo 2025: Transport container for gaseous hydrogen. 2.6.2025.

<https://www.dbcargo.com/rail-de-en/logistics-news/MEGC-for-the-transport-of-gaseous-hydrogen--13398882>. Tallennettu 15.12.2025.

DB Cargo 2025b: Strong logistics for our future: DB Cargo tackles the climate neutral transport of green hydrogen. <https://www.dbcargo.com/rail-de-en/hydrogen>. Tallennettu 15.12.2025.

EIGA 2018: Hazards of oxygen-deficient atmospheres. Doc 44/18. Revision of Doc 44/09. European Industrial Gases Association AISBL. Bryssel, 2018.

EPA 2000: Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. Office of Air and Radiation. Office of Air Quality Planning and Standards. February 2000.

EPA 2025a: Ammonia results – AEGL Program. 14.5.2025. <https://www.epa.gov/aegl/ammonia-results-aegl-program>. Tallennettu 13.1.2026.

EPA 2025b: Hydrogen chloride results – AEGL Program. 14.5.2025. <https://www.epa.gov/aegl/hydrogen-chloride-results-aegl-program>. Tallennettu 13.1.2026..

Gexcon 2026: Gexcon AS. Key lessons from LNG incidents for safer operations. Blog. <https://www.gexcon.com/resources/blog/key-lessons-from-lng-incidents-for-safer-operations/>. Tallennettu 28.1.2026.

Hollola 2024: Hollolan kunta. Nostavan-Tikkakallion alueen osayleiskaava nro 098 Y23. Osallistumis- ja arviointisuunnitelma 4.9.2024.

Hollola 2025: Nostavan-Tikkakallion osayleiskaava. 11.9.2025 luonnos. Hollolan kunta.

IL 2025: Ilmatieteen laitos, avoin data. Lisenssi BY-CC 4.0.

Putkonen 2021: Methem (Mikko J. Putkonen), Kaksi Yaran ammoniakkivaunua tavaravaunuletkassa Oulun rautatieasemalla. Zakks-vaunut 82 10 7900 021 ja 82 10 7900 025. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ammonia\\_railway\\_wagons\\_in\\_Oulu\\_20210918\\_001.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ammonia_railway_wagons_in_Oulu_20210918_001.jpg). Tallennettu 8.1.2026. Lisenssi BY-CC 4.0.

Rheinmetall 2025: Multiple-Element Gas Container (MEGC). <https://www.rheinmetall.com/en/products/hydrogen/hydrogen/storage-and-transport-systems/multiple-element-gas-container-megc>. Tallennettu 15.12.2025.

Traficom 2025: Vaarallisten aineiden kuljetus rautatiellä: Rautatien VAK-määräys, Liite. TRAFICOM/463179/03.04.02.00/2024. <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/maarayskokoelmat/traficom-rautatieliikenne/2025/51213>.

TTL 2025a: Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Metaani. 15.5.2025 <https://ova.ttl.fi/metaani>. Tallennettu 13.1.2026.

TTL 2025b: Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Hiilidioksidi. 14.5.2025. <https://ova.ttl.fi/hiilidioksidi>. Tallennettu 13.1.2026.

TTL 2025c: Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Vety. 14.5.2025. <https://ova.ttl.fi/vety>. Tallennettu 13.1.2026.

TTL 2025d: Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Ammoniakki. 19.3.2025. <https://ova.ttl.fi/ammoniakki>. Tallennettu 13.1.2026.

TTL 2025e: Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Kloorivety ja suolahappo. 14.5.2025. <https://ova.ttl.fi/kloorivety-ja-suolahappo>. Tallennettu 13.1.2026.



Tukes 2024: Vedyn käsittelyn ja varastoinnin turvallisuus. Opas. 23.1.2024. <https://tukes.fi/vedyn-kasittelyn-ja-varastoinnin-turvallisuus>. Tallennettu 12.1.2026.

Tukes 2024b: Turvallisuusselvitys. Ohje. 22.10.2024. Dnro: Tukes 11459/00.00.02/2024. <https://tukes.fi/turvallisuusselvitys>. Tallennettu 12.1.2026.

Tukes 2025: Tuotantolaitosten sijoittaminen. Opas. 24.6.2025. <https://tukes.fi/tuotantolaitosten-sijoittaminen>. Tallennettu 12.1.2026.

Welado 2025: Welado Design. Nostavan-Tikkakallion osayleiskaava, raideliikenneselvitys. Suunnitelmapakat 1 ja 2, Multimodaaliterminaali. 13.6.2025.

VR Logistiikka 2025: Nestekaasuvaunu - Zagkks-z. <https://logistics.vr.fi/fi/vr-logistiikka/asiakkaan-opas/kalusto/rautatiekalusto/kotimaan-liikenteen-vaunut/sailiovaunut/nestekaasuvaunu/nestekaasuvaunu---zagkks-z/>. Tallennettu 27.11.2025.

Ympäristöministeriö 2012: VAK-ratapihat ja kaavoitus. Vaarallisten aineiden kuljetus ja suuronnettomuuden mahdollisuuden huomiointi. Ympäristöministeriön raportteja 5/2012. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/server/api/core/bitstreams/6814bf8f-ba52-4e3e-a022-3423f904dd4a/content>

LIITE 1

MUISTIO PELASTUSVIRANOMAISEN KANSSA KÄYDYSTÄ PALA-  
VERISTA, 19.1.2026

# Muistio 29.1.2026

## Nostavan ratapihan kemikaali- vaunujen logistiikan turvallisuus

### Palaveri: Päijät-Hämeen pelas- tuslaitos

Projekti **Nostavan ratapihan kemikaalivaunujen logistiikan turvallisuus**  
Projektinro **1510095043**  
Asiakas **Hollolan kunta**  
Versio **1.0**  
Vastaanottaja **Pentti Klemetti**

Laatija **Toni Keskitalo**  
Tarkastaja **Mikko Happonen**

Päivämäärä 29.01.2026

## 1 Läsnäolijat

- Elina Kallio, Päijät-Hämeen pelastuslaitos
- Tomi Köykkä, Päijät-Hämeen pelastuslaitos
- Raila Viljamaa, Päijät-Hämeen pelastuslaitos
- Mikko Happonen, Ramboll Finland Oy
- Toni Keskitalo, Ramboll Finland Oy

Ramboll  
Ylistönmäentie 26  
40500 JYVÄSKYLÄ

P+358 20 755 611  
F+358 20 755 6201  
<https://fi.ramboll.com>

## 2 Johdanto

Mikko esitteli projektia ja sen perusteita.

- Kyseessä on Hollolan kunnan Nostava-Tikkakallion osayleiskaavaan liittyvä selvitys. Ratapihan osalta on käynnissä esisuunnitteluvaihe ja tarkastellaan maankäytön vaatimuksia. Ratapiha voisi olla toiminnassa aikaisintaan noin 10 vuoden kuluttua.
- Kemikaalien esittely ja valintaperusteet

Toni esitteli ympäristön toimintoja ja kaavasuunnitelmia sekä onnettomuusmaailinnoksien tuloksia karttapohjalla.



### 3 Keskustelu

#### Pelastusreittien vaatimukset ja sijainnit

Ratapihalle pääsy tulee olla kahdesta eri ilmansuunnasta. Kaavakarttaan piirretty järjestely, jossa ratapihalle menee etelästä yksi reitti, joka haarautuu kahteen suuntaan, ei tule riittämään. Perusteluna mainitaan, että pelastuslaitos ei lähtökohtaisesti kulje läpi paloalueesta tai vuodon aiheuttamasta kaasupilvestä.

Mahdollisia keskustelussa mainittuja kulkureittejä ratapihalle eteläisen suunnan lisäksi:

- Luoteesta nykyisen Hipoharjuntien suunnalta.
- Idästä Nostavan kylän puolelta, jolloin tulee olla yli- tai alikulku radan toiselle puolelle.
- Radan vartta pitkin pohjoisen suunnalta.

Uusi tieyhteys voi olla sellainen, jolle vain pelastuslaitoksella on pääsy.

Weladon terminaalikartassa näkyvät kuormaustiet pistoraiteiden vieressä voivat olla riittävät pelastuslaitokselle ratapiha-alueella liikkumista varten.

#### Vetykuljetukset

Tällä hetkellä Euroopassa ei rataverkossa kuljeteta vetyä rautateilla. Nykyisin autokuljetukset ovat vähäisiä. Jos vetyä ruvetaan kuljettamaan rautateitse, niin vetymäärät olisivat suuria. Kuljetukset ovat VAK-lainsäädännön alaisia asioita eivätkä sinänsä kuulu pelastuslaitoksen valvottavaksi. Jos vetyä siirretään tiekuljetuksiin, niin suojaetäisyyksien tulee olla riittävät.

#### Kemikaalien varastointi raiteilla / VAK-ratapiha

Olennaista on, voidaanko onnettomuus havaita heti, kun se on tapahtunut. Vastattavia kysymyksiä: Säilytetäänkö ratapihalla kemikaalivaunuja pitempään (ainakin yön yli)? Onko paikalla koko ajan työntekijöitä? Mikä on työnjako? Voidaanko onnettomuus havaita heti sen tapahduttua?

Voidaan käyttää kaasuantureita hälytyksen antoon.

Jos kemikaalivaunuja säilytetään raiteilla, niin Nostavan ratapihan pitää olla VAK-ratapiha. Jos kuljetus keskeytyy hetkeksi purun tai lastaamisen takia, niin kyseessä on myös VAK-ratapiha. Traficom vastaa vaarallisten aineiden kuljetuksesta ja säilytyksestä. Keskustellaan Traficomien kanssa heidän näkemyksensä selvittämiseksi.

#### Ammoniakin ja suolahapon vuodot

Jos ammoniakin tai suolahapon purkua tapahtuu, niin käytettävissä tulee olla hätäsuihkut, joiden käytöstä tulee hälytys. Valvova viranomainen määrittää vaatimukset esim. laimennuksen osalta.

## **Sammutusvedet ja kemikaalien päätyminen vesistöön**

Vaatimukset vesiensuojelulle tulevat lupa- ja valvontavirastolta sekä kunnalta. On laadittava sammutus-jätevesien hallintasuunnitelma, ja tulee olla kemikaalien talteenotto. Hulevesiselvitys on tekeillä.

## **Uusiutuvan energian jakelupiste**

Uusiutuvan energian jakelupiste, miten huomioitava (maakuntakaavaluonnoksessa). Todennäköisesti se on eLNG tai sähkö, vaikuttaako se pelastuslaitoksen kohdalla varautumiseen.

Jos jakelupiste on LNG:n/maakaasun jakelupiste, sen sijoittelussa on otettava huomioon turvallisuus kuten vaaditut suojaetäisyydet. Sitä ei pidä sijoittaa esim. suunnitellun uuden henkilöliikenteen rautatie-aseman lähelle. Tukes vastaa kaasuasemien turvallisuudesta. Sähköautojen latausasema on mahdollista toki sijoittaa vapaammin.

## **Pelastuslaitoksen valmiudet**

Palaverin perusteella ei ole selvää, mikä on pelastuslaitosten valmius mallinnetun kaltaisten onnettomuuksien käsittelyyn, jos ratapihan järjestelyt ovat kunnossa (kuten riittävät hälytykset, kaksi erillistä kulkureittiä). Jos on kaavan mukainen kerrostaloalue, niin mallinnettu ammoniakkivuototilanne todennäköisesti ei ole mahdollista hoitaa.

## **Päätelmiä**

Nykyisen osayleiskaavaluonnoksen asuinalueet (kaavamerkintä AK) ja kemikaaliratapiha eivät ole yhteensopivia. Asuinaluetta ei pidä suunnitella kemikaaliratapihan lähelle.

Heitteitä ei ole otettu huomioon mallinnuksessa tällä hetkellä, ja ne ovat todellinen riski ainakin 300 metrin etäisyydelle.