

Vastaanottaja
Finnish Battery Chemicals Oy

Asiakirjatyyppi
Raporttiluonnos

Päivämäärä
2.2.2021

Viite
1510057093-006

FINNISH BATTERY CHEMICALS AMMONIAKIN VUOTOTILANTEIDEN ONNETTOMUUSMALLINNUS

Päivämäärä **2.2.2021**
Laatija **Mikko Happon ja Toni Keskitalo**
Tarkastaja
Kuvaus **Ammoniakin vuototilanteiden onnettomuusmallinnus**
Versio **0.4**

Viite **1510057093-006**

SISÄLTÖ

1.	JOHDANTO	3
2.	AMMONIAKIN OMINAISUUDET	3
2.1	Yleiset ominaisuudet	3
2.2	Reaktiivisuus	3
2.3	Palo- ja räjähdysvaara	3
2.4	Toksisuus	3
2.5	Ympäristövaikutukset	3
2.6	Vaara-alueen arviointi	3
3.	TERVEYSHAITTOJEN ARVIOINTI	4
3.1	Ammoniakin hajukynnys	4
3.2	Ammoniakin terveyshaittavaikutuksia	4
3.2.1	AEGL-arvojen taustaa	4
3.2.2	AEGL-kuvaukset ja -arvot	4
3.2.3	Akuutit vaikutukset	4
3.3	Leimahdusvaaralliset alueet	5
4.	ARVIOINTIMENETELMÄT	5
4.1	Onnettomuusmalli	5
4.2	Lähtötietoja	5
4.3	Mallinnettavat skenaariot	7
4.4	Onnettomuusmallin ympäristötiedot	7
4.5	Yleisimmät tuulensuunnat	7
5.	TULOKSET	8
5.1	Terveydelle haitalliset alueet.	8
5.2	Ammoniakin terveyshaitat	9
5.3	Leimahdusvaaralliset alueet	10
5.4	Syttymisvaaralliset alueet	10
6.	TULOSTEN TARKASTELU	11
7.	VIITTEET	12
8.	LIITTEET	13

1. JOHDANTO

Finnish Battery Chemicals Oy suunnittelee aloittavansa akuissa hyödynnettävien kemikaalien valmistamisen eri paikkakunnilla. Tässä erillisselvityksessä arvioidaan ammoniakkivuototilanteiden aiheuttamia terveysriskejä ihmisille, ympäristölle ja lähialueen rakennuksille. Tutkitut kohteet sijaitsevat Kotkassa ja Haminassa.

Työssä on käytetty Tukesin oppaan ”Tuotantolaitosten sijoittaminen” (2015) mallinnusta koskevia ohjeita, sekä onnettomuusmallinnukseen soveltuvaa ALOHA- 5.4.7 (EPA/NOAA) ohjelmistoa.

Mallintamalla saatuja arvoja verrataan terveysperusteisiin raja-arvoihin sekä leimahdusvaarallisiin vyöhykkeisiin.

2. AMMONIAKIN OMINAISUUDET

2.1 Yleiset ominaisuudet

Ammoniakki (NH_3) on normaaliolosuhteissa väritön, voimakkaasti pistävän hajuinen ja erittäin ärsyttävä, ilmaa kevyempi kaasu. Paineistetun nesteen vapautuessa suurina määrinä se voi kuitenkin jäähtyessään muodostaa ilmaa raskaamman pilven, joka seuraa maanpinnan muotoja.

Ammoniakkia voidaan varastoida ja kuljettaa paineenalaisena nesteytettynä tai jäähdytettynä alle -33 °C :een normaalissa ilmanpaineessa. Ammoniakki on huomattavan myrkyllistä ihmisille ja vesieläimille.

2.2 Reaktiivisuus

Ammoniakki reagoi kiivaasti ja lämpöä kehittäen happojen ja hapettimien kanssa. Ammoniakin liuetessa veteen vapautuu lämpöä. Ammoniakki syövyttää eräitä metalleja, mm. kuparia ja alumiinia.

2.3 Palo- ja räjähdysvaara

Suljetussa tilassa on tapahtunut ilma-ammoniakkiseoksen räjähdyksiä (ei Suomessa), vaikka ammoniakki ei ole helposti syttyvää. Yleensä tapauksiin on liittynyt konehuoneen tai muun tilan puutteellinen ilmanvaihto, mikä on mahdollistanut syttyvän seoksen syntymisen. Ammoniakki muodostaa syttyvän kaasuseoksen, kun kaasua on 16–25 tilavuusprosenttia ilmassa. Esimerkiksi kompressorista vuotava öljysumu voi laskea räjähdyspitoisuutta huomattavastikin.

2.4 Toksisuus

Ammoniakki on suurissa pitoisuuksissa myrkyllinen yhdiste. Hengitysteiden ärsytys on suoraan verrannollinen ammoniakkipitoisuuteen ilmassa. Nestemäinen ammoniakki aiheuttaa iholla palovamman ja paletuman. Roiskeet silmään aiheuttavat vakavan silmävaurion, ellei hoitoa anneta välittömästi.

Toistuva altistuminen ammoniakkihöyryille voi aiheuttaa sopeutumista ärsytysvaikutuksille muutaman viikon jälkeen. Toisaalta ero ärsytystä aiheuttavaan pitoisuustasoon on jatkuvassakin altistumisessa pieni. Ammoniakki ei kerry elimistöön.

2.5 Ympäristövaikutukset

Ammoniakki on erittäin myrkyllistä vesieläimille. Se luokitellaan ympäristölle vaaralliseksi aineeksi. Ammoniakki ja sen hajoamistuotteet ovat vesistöjä rehevöittäviä ravinteita.

Tuotantoyksikön työntekijöiden ja alueen ympäristön ihmisten kannalta ammoniakkikaasun merkittävin haittaominaisuus on sen myrkyllisyys suurina pitoisuuksina.

2.6 Vaara-alueen arviointi

Ammoniakin OVA-ohjeessa (onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet -turvallisuusohje) kuvataan ammoniakin vuotoa ja valumaa. Kun nesteytettyä kaasua vuotaa säiliöstä, osa nesteestä höyrystyy välittömästi ja loppuosa nesteestä jäähtyy kiehumispisteeseen. Nestesuihku hajoaa pisaroiksi, kun nesteen lämpötila säiliössä on 10–15 °C korkeampi kuin kiehumispiste (-33 °C). Mitä korkeampi

nesteen lämpötila säiliössä on, sitä pienempiä pisaroita muodostuu. Jos suihku ei kohtaa estettä, pienet pisarat höyrystyvät ilman sekoittuessa suihkuun ja isot putoavat maahan. Siten ammoniakkin nestevuoto voi höyrystyä kokonaan. Höyrystyvä kaasu muodostaa tuulen mukana leviämisseuuntaan kulkeutuvan kaasupilven, joka vuotokohdan läheisyydessä on läpinäkymätöntä valkoista sumua (TTL, OVA-ohje).

3. TERVEYSHAITTOJEN ARVIOINTI

3.1 Ammoniakin hajukynnys

Ammoniakin ilmoitettu hajukynnys vaihtelee melko paljon eri kirjallisuuslähteiden välillä. TTL:n OVA-ohjeessa ilmoitettu ammoniakkin hajukynnys on 5–50 ppm (3,6–36 mg/m³). Ammoniakin hajua ei pidetä hyvänä varoitusmerkkinä. EPRG arvojen yhteydessä ammoniakkin hajukynnykseksi ilmoitetaan 1 ppm, kun taas kirjallisuudessa olfaktometrisesti mitattu pitoisuus on 2,6 ppm (Smeets et al. 2007). Ammoniakin hajukynnyksen on todettu vaihtelevan voimakkaasti riippuen vallitsevista olosuhteista ja yksilöiden välillä.

3.2 Ammoniakin terveyshaittavaikutuksia

3.2.1 AEGL-arvojen taustaa

Terveyshaittojen arvioinnissa käytettiin tunnettuja AEGL-raja-arvoja.

AEGL (Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals) on National Research Councilin erillisen komitean ylläpitämä tietokanta. Tietokanta rakentuu arvioihin yksilön harvinaisista altistumistilanteista kemikaaleille. AEGL tietokannassa ilmoitetut pitoisuudet on suunniteltu niin, että ne suojelevat myös vanhuksia, lapsia tai muuten herkkiä yksilöitä.

Kattava katsaus ammoniakkin aiheuttamiin toksikologisiin vasteisiin: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-11/documents/ammonia_final_volume6_2007.pdf.

3.2.2 AEGL-kuvaukset ja -arvot

Seuraaassa on lueteltu AEGL-tasojen määritelmät sekä ammoniakkin AEGL-pitoisuustasot.

AEGL-1: Epämukavuutta, ärsytystä, oireettomia vaikutuksia ilman aistinkokemusta. Vaikutukset eivät tee toimintakyvyttömäksi, vaan ne ovat ohimeneviä ja toimintakyky palautuu ennalleen altistuksen päätyttyä.

AEGL-2: Palautumattomia tai muita vakavia, pitkäkestoisia vaikutuksia, tai alentunutta toimintakykyä paeta paikalta.

AEGL-3: Hengenvaarallisia haittavaikutuksia tai kuolema.

AEGL 1	30 ppm (21 mg/m ³) /10 min
	30 ppm (21 mg/m ³) /30 min
	30 ppm (21 mg/m ³) /60min
AEGL 2	220 ppm (160 mg/m ³) /10 min
	220 ppm (160 mg/m ³) /30 min
	160 ppm (112 mg/m ³) /60 min
AEGL 3	2 700 ppm (1 900 mg/m ³) /10 min
	1 600 ppm (1 100 mg/m ³) /30 min
	1 100 ppm (769 mg/m ³) /60 min

3.2.3 Akuutit vaikutukset

Lyhytaikainen altistuminen yli 5 000 ppm:n (3 600 mg/m³) pitoisuudelle voi aiheuttaa nopean kuoleman kurkunpään turvotuksen tai keuhkopöhön vuoksi (TTL, OVA). Erittäin suuret kaasupitoisuudet, yli 10 000 ppm (7 000 mg/m³), voivat aiheuttaa ihon ärsytystä tai syöpymistä. Yleisesti väestölle on LC₅₀-pitoisuuden arvioitu olevan 11 500 ppm:n altistus 30 minuutin ajan (AEGL, Pedersen & Selig 1989). Jo yli 2 500 ppm:n pitoisuuksia yli 30 min ajan pidetään erityisen vaarallisenä ihmisille.

3.3 Leimahdusvaaralliset alueet

Onnettomuustilanteen tarkasteluissa käytetyt vaaravyöhykkeet perustuvat soveltuvin osin Tukesin oppaaseen "Tuotantolaitosten sijoittaminen". Räjähdyksäraja (LEL, lower explosive limit) on pitoisuus, jossa ammoniakki muodostaa ilman kanssa syttyvän ja räjähtävän seoksen, ollen ammoniakille 16-25 til.-%. Koska kaasun virtaus on aina pyörteistä, niin kaasun levitessä pitoisuudet vaihtelevat. Tämän takia alueella, jossa pitoisuus on 60 % räjähdysrajasta (9,6 til.-%), oletetaan räjähdysriskin olevan mahdollinen.

TUKESin oppaassa on esitetty räjähdysriskin aiheuttamalle ylipaineelle seuraavat luokitukset:

Taulukko 1. Tuloksissa esitetyt pitoisuudet osuuksina räjähdysrajasta (LEL).

Osuus räjähdysrajasta	Kuvaus
100 %	räjähdysraja ylittyy alueella, räjähdys mahdollinen
60 %	vaikutusalueella voi olla alueita ("flame pockets"), joissa räjähdys on mahdollinen

4. ARVIOINTIMENETELMÄT

4.1 Onnettomuusmalli

Työssä tarkasteltiin ammoniakiveden vuototilanteisiin liittyviä onnettomuustilanteita. Onnettomuusmallinnukset tehtiin noudattaen Tukesin suosituksia erilaisiin vuoto- ja räjähdystilanteisiin (Tukes-opas, Tuotantolaitoksen sijoittaminen, 2015).

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

ALOHAlla mallinnetaan kemikaalivuodon yhteydessä 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 tarkasteltava yhdiste ja sääolosuhteet, mm. tuulen nopeus ja suunta, pinnan karheus (avoin, kaupunki/metsä, vesistö), pilvisyys, lämpötila, stabiiliusluokka, inversio ja ilman kosteus. Valittavia päästötyyppejä ovat lammikko, säiliö, kaasuputki ja suora päästö. Suorassa päästössä annetaan kemikaalin määrä, päästökorkeus ja kesto.

ALOHA-mallinnuksesta saadaan tuloksena karttoja, joissa on visualisoituna alueet, joilla kemikaalin pitoisuus ylittää terveydelle haitallisen pitoisuuden tarkasteluajanjaksolla (AEGL-tasot) sekä kuvaajia, joissa esitetään pitoisuus ajan funktiona valitussa tarkastelupisteessä. Lisäksi saadaan kuvaajat, jotka esittävät päästönopeutta.

Tässä työssä pitoisuuksien esittämisessä karttapohjilla on käytetty 10 minuutin AEGL-arvoja, koska ensisijaisesti vaarassa olevilla henkilöillä on hyvät edellytykset suojautua ja toimia oikein (teollisuusrakennukset, työpaikat). Päästöjen leviäminen ympäristöön on esitetty yksikössä ppm.

4.2 Lähtötietoja

Mallinnus toteutetaan Finnish Battery Chemicals Oy:n suunnitelluille pCAM-tehtaille eri paikkakunnilla. Tässä työssä tarkasteltavina ovat Kotkaan ja Haminaan sijoitettavat toiminnot. Ammoniakisäiliöiden ja stripperin sijainnit perustuvat alustaviin suunnitelmiin, joissa on varattu alue näitä toimintoja varten.

Työssä mallinnettiin kaksi erilaista vuototilannetta; vuoto suoja-altaaseen tai stripperikolonniin vuototilanne.

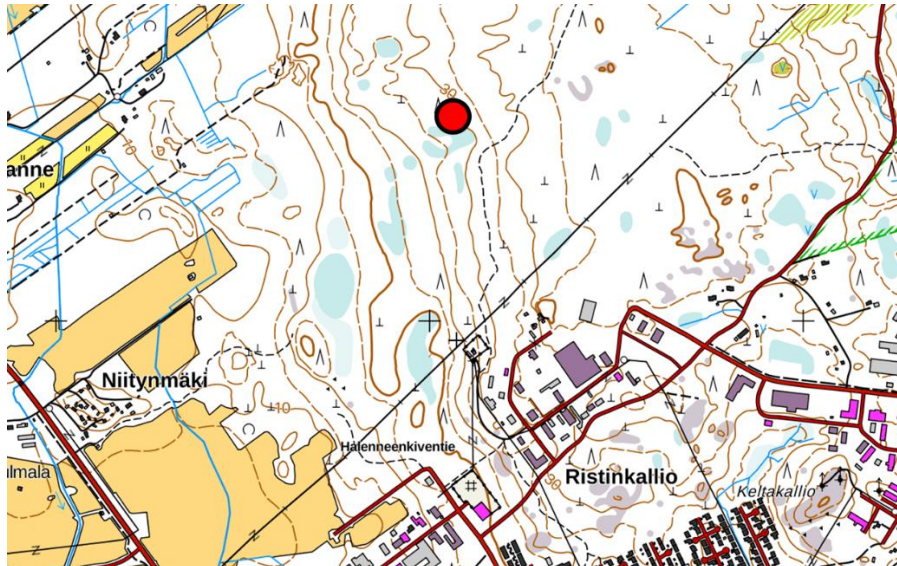
Vuototilanteessa suoja-altaaseen varastoitu ammoniakivesi vuotaa säiliöstä sen alla olevaan betoniseen suoja-altaaseen, josta haihtuminen tapahtuu. Suoja-altaan mallinnuksen osalta tehtiin

kaksi erillistä tarkastelua. Toisessa tilanteessa on kaksi pystyasentoon sijoitettua sylinterin muotoista säiliötä, joiden tilavuus on 100 m^3 , kun toisessa säiliöiden tilavuus on 80 m^3 . Säiliöihin on varastoitu 20-25 % ammoniakkivettä ja niiden täyttöaste on 50 %. Säiliöiden alle sijoitettu suojaallas on lokeroitu kahteen eri osaan, joiden pinta-alat ovat joko 60 m^2 tai 40 m^2 vastaavan säiliökoon mukaan. Suoja-altaan tilavuudeksi on mitoitettu joko 120 m^3 tai 96 m^3 . Laskennassa käytettiin yhden lokeroidun osion pinta-alaa haihtuvan ammoniakkiveden osalta.

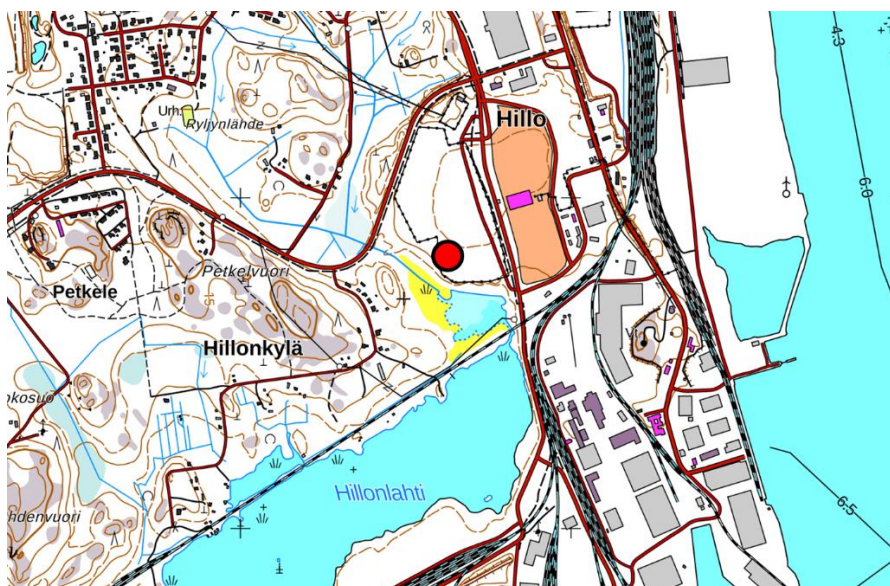
Stripperikolonnin vuototilanteessa oletetaan vuodon tapahtuvan sen yläosasta. Mallinnetussa vuototilanteessa oletetaan, että stripperi sijaitsee ulkotiloissa, jolloin esitetty tulos kuvastaa pahinta mahdollista tilannetta. Suunnittelussa stripperi sijoitettaisiin rakennuksen sisätiloihin, jonka tilat suurimpien riskien tiloissa liikkumista voidaan rajoittaa. Joka tilaan tulee ammoniakki sensorit ja hälytysjärjestelmät. Vuototilanteessa syntyvää päästöä voidaan laimentaa pesurein.

Stripperi on 11 m korkea, mitä käytettiin mallinnuksessa vuotokorkeutena. Stripperin mitoitettu pienin tuotantokapasiteetti on 20 kt/a pCAM, jossa kokonaismassavirtaus on 5298 kg/h. Ammoniakkia siitä on 1200 kg/h, jota käytettiin tunnin mittaisen vuototilanteen mallintamisen lähtötietona. Toiminnan aikana ammoniakkiveden lämpötila stripperissä on $+90-95 \text{ }^\circ\text{C}$ ja paine 0,96 bar (a).

Vuoto-altaan koko, samoin kuin stripperin tuotantokapasiteetti on sama molemmissa eri kohteissa.



Kuva 1. Suunniteltu ammoniakkisäiliöiden sijoituspaikka Kotkassa.



Kuva 2. Suunniteltu ammoniakkisäiliöiden sijoituspaikka Haminassa.

4.3 Mallinnettavat skenaariot

Seuraavat onnettomuustilanteet on mallinnettu.

1. Ammoniakkivesisäiliön repeäminen, jonka jälkeen tapahtuu vuoto lokeroituun suoja-alueeseen.
2. Ammoniakkiveden stripperikolonnin odottamaton paineen nousu aiheuttaa kolonnin ylipaineistuksen ja repeämän sen yläosasta, jolloin 23 % ammoniakkihöyryä vapautuu.

Skenaarioiden vaikutuksista on esitetty ammoniakkipilven aiheuttamat terveydelle haitalliset vaikutukset (AEGL), sekä ammoniakkipilven syttymisherkyys (LEL).

4.4 Onnettomuusmallin ympäristötiedot

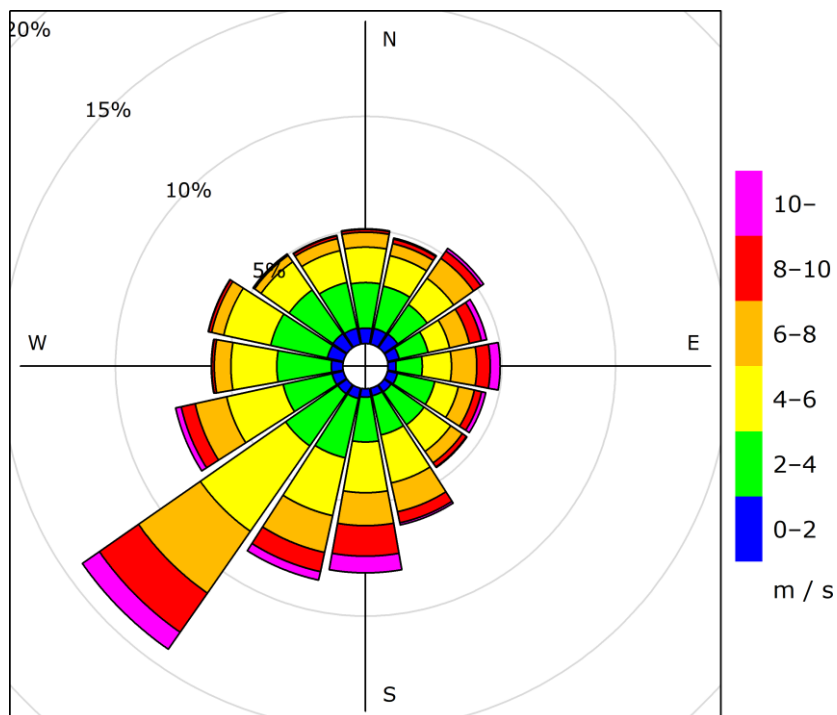
Onnettomuusmallinnuksen olosuhteina käytettiin TUKESin ohjeiden mukaisia tilanteita. Mallinnusolosuhteina käytettiin tyypillisiä olosuhteita, joissa yhdisteiden hajoaminen ja sekoittuminen ovat suhteellisen vähäisiä. Kukin skenaario mallinnettiin sekä stabiiliusluokilla D (neutraali) ja F (stabiili) että ympäristön lämpötiloilla 18 °C ja –10 °C. Perusoletuksina laskennoissa olivat seuraavat arvot:

- Mallinnettava kemikaali on ammoniakkivesi
- Ilman suhteellinen kosteus 50 %
- Pilvisuus 5/10 (taivas puoleksi peitossa)
- Lämpötila +18/–10 °C
- Stabiiliusluokka neutraali D, tuulen nopeus 4 m/s
- Stabiiliusluokka stabiili F, tuulen nopeus 2 m/s
- Ei inversiota
- Tuulensuunta lännestä
 - Vyöhykkeet piirrettiin symmetrisesti joka suuntaan, koska tuuli voi puhaltaa mistä suunnasta tahansa
- Tuulennopeuden mittauskorkeus 3 m
- Ympäristöasetus "open country", eli avoin

ALOHA-mallissa on rajoituksia. ALOHA-malli rajoittaa onnettomuuden keston maksimissaan yhden tunnin pituiseksi, sekä se olettaa maaston olevan tasaista. Se ei myöskään ota huomioon rakennusten tai muiden esteiden aiheuttamia muutoksia virtauksiin. Malli ei myöskään sovellu tyyrien olosuhteiden mallintamiseen. Alle kymmenen metrin etäisyyksiä ei voi mallintaa. Jos mallinnettu etäisyys jää tätä pienemmäksi, tulos on esitetty muodossa <10 m.

4.5 Yleisimmät tuulensuunnat

Alueen yleisimmät tuulensuunnat on esitetty kuvassa 3. Tuuliruusu on tehty Kotka Rankin sääaseman tuulidatasta vuosilta 2017–2019. Alueella vallitseva tuulensuunta on lounas.



Kuva 3. Tuuliruusu Kotka Rankin sääasemalla 2017-2019. Vallitseva tuulensuunta on lounaasta.

5. TULOKSET

5.1 Terveydelle haitalliset alueet.

Onnettomuusmallinnuksen AEGL-pitoisuuksiin verrannolliset mallinnustulokset on esitetty taulukoissa 2–4. Kotkan ja Haminan suoja-aitaiden koot, sekä stripperi ovat molemmissa koh-teissa samanlaisia, jolloin myös leviämisalueet ovat yhtä suuret. Leviäminen lähialueen ympäris-töön on kuvattu Liitteen kuvissa 4–27.

Taulukko 2. Ammoniakkivesi (pitoisuus 25 %) vuotaa vallitilaan (120 m² joka on lokeroitu kahteen 60 m² osaan) säiliöstä. Säiliön koko 100 m³. Haihtuminen tapahtuu yhdestä lokerosta 10 minuutin aikana (AEGL-10 verrannollinen pitoisuus).

Säätila	Stabiili (F)		Neutraali (D)		Määritelmä
Lämpötila (°C)	18	–10	18	–10	
Tuulen nopeus (m/s)	2	2	4	4	
Päästö määrä (kg NH ₃)	656	189	1 085	330	
Suurin päästönopeus (kg NH ₃ /min)	12	3,2	21	5,7	Hengenvaarallisia haittavaikutuksia tai kuolema.
AEGL-3 (10 min, 2700 ppm)	155 m	58 m	49 m	14 m	
AEGL-2 (10 min, 220 ppm)	619 m	285 m	205 m	95 m	
AEGL-1 (10 min, 30 ppm)	2 000 m	857 m	622 m	282 m	Ohimeneviä terveyshaittoja ja toimintakyky palautuu ennalleen altistumisen päätyttyä.

Taulukko 3. Ammoniakkivesi (25%) vuotaa vallitilaan (96 m² joka on lokeroitu kahteen 40 m² osaan) säiliöstä. Säiliön koko 80 m³. Haihtuminen tapahtuu yhdestä lokerosta 10 minuutin aikana (AEGL-10 verrannollinen pitoisuus).

Säätila	Stabiili (F)		Neutraali (D)		Määritelmä
Lämpötila (°C)	18	−10	18	−10	
Tuulen nopeus (m/s)	2	2	4	4	
Päästö määrä (kg NH ₃)	450	130	745	228	
Suurin päästönopeus (kg NH ₃ /min)	8,2	2,2	14,4	3,9	Hengenvaarallisia haittavaikutuksia tai kuolema.
AEGL-3 (10 min, 2700 ppm)	128 m	49 m	41 m	12 m	
AEGL-2 (10 min, 220 ppm)	504 m	235 m	168 m	78 m	
AEGL-1 (10 min, 30 ppm)	1 600 m	694 m	503 m	231 m	
					Palautumattomia ja pitkäkestoisia terveyshaittoja, sekä alentunutta toimintakykyä paeta paikalta.
					Ohimeneviä terveyshaittoja ja toimintakyky palautuu ennalleen altistumisen päätyttyä.

Taulukko 4. Stripperistä vuotaa ammoniakkivettä, jossa ammoniakkin vuotomäärä on 1200 kg/h 11m korkeudelta stripperin yläosasta. Pitoisuudet maanpinnalla esitetty taulukossa.

Säätila	Stabiili (F)		Neutraali (D)		Määritelmä
Lämpötila (°C)	18	−10	18	−10	
Tuulen nopeus (m/s)	2	2	4	4	
Päästö määrä (kg NH ₃)	1 200	1 200	1 200	1 200	
Suurin päästönopeus (kg NH ₃ /min)	20	20	20	20	Hengenvaarallisia haittavaikutuksia tai kuolema.
AEGL-3 (10 min, 2700 ppm)	-	-	-	-	
AEGL-2 (10 min, 220 ppm)	-	-	-	-	
AEGL-1 (10 min, 30 ppm)	1 800 m	1 000 m	491 m	461 m	
					Palautumattomia ja pitkäkestoisia terveyshaittoja, sekä alentunutta toimintakykyä paeta paikalta.
					Ohimeneviä terveyshaittoja ja toimintakyky palautuu ennalleen altistumisen päätyttyä.

5.2 Ammoniakin terveyshaitat

Terveydelle vaarallisen ammoniakkipilven leviämistä on verrattu 10 minuutin AEGL-arvoihin. Suoja-altaaseen tapahtuneen vuodon kohdalla suurimmat leviämisalueet olivat ilmakehän ollessa stabiili (F), ulkolämpötilan +18 °C ja tuulen nopeus 2 m/s. Suoja-altaan lokeron pinta-alan ollessa 60 m², hengenvaarallinen AEGL-3 vyöhyke ulottuu noin 150 metrin etäisyydelle, palautumattomia

terveyshaittoja aiheuttava yltää jopa yli 600 metrin etäisyydelle. Ohimeneviä terveyshaittoja voi esiintyä vielä 2 000 metrin etäisyydellä kohteesta. Pienemmällä 40 m² pinta-alalla AEGL-3 vyöhyke yltää noin 130 metrin etäisyydelle ja AEGL-2 vyöhyke 500 metrin etäisyydelle.

Stripperivuoto tapahtuu 11 metrin korkeudella, joten ammoniakkipitoisuudet jäävät alhaisemmiksi maanpinnan tasolla. AEGL-3 ja AEGL-2 pitoisuudet eivät ylittyneet, mutta ohimeneviä terveyshaittoja voi esiintyä vielä 1 800 metrin etäisyydellä kohteesta.

5.3 Leimahdusvaaralliset alueet

Onnettomuusmallinnuksen leimahdusvaaralliset alueet on esitetty taulukoissa 5–6.

Kotkan ja Haminan suoja-aitaiden koot, sekä stripperi ovat molemmissa kohteissa samanlaisia, jolloin myös vuototilanteen syttymisherkät alueet ovat yhtä suuret. Leimahdusvaarallisten alueiden leviäminen lähialueen ympäristöön on kuvattu Liitteen kuvissa 28–31. Stripperin vuototilanteessa leimahtavat pitoisuudet eivät ylitä.

Taulukko 5. Ammoniakin leimahdusvaaralliset alueet, kun ammoniakkipitoisuus (pitoisuus 25 %) vuotaa vallitilaan (120 m² joka on lokeroitu kahteen 60 m² osaan) säiliöstä. Säiliön koko 100 m³. Haihtuminen tapahtuu yhdestä lokerosta 10 minuutin aikana.

Säätötila	Stabiili (F)		Neutraali (D)		Määritelmä
Lämpötila (°C)	18	–10	18	–10	
Tuulen nopeus (m/s)	656	189	1 085	330	
Päästö määrä (kg NH ₃)	12	3,2	21	5,7	
Suurin päästönopeus (kg NH ₃ /min)	20	20	20	20	
Osuus räjähdysrajasta 100 %	14 m	< 10 m	< 10 m	< 10 m	Räjähdysvaara ylittyy alueella
Osuus räjähdysrajasta 60 %	17 m	< 10 m	< 10 m	< 10 m	Vaikutusalueella voi olla alueita, joissa räjähdys mahdollinen

Taulukko 6. Ammoniakkivesi (25%) vuotaa vallitilaan (96 m² joka on lokeroitu kahteen 40 m² osaan) säiliöstä. Säiliön koko 80 m³. Haihtuminen tapahtuu yhdestä lokerosta 10 minuutin aikana (leimahdusvaaralliset alueet).

Säätötila	Stabiili (F)		Neutraali (D)		Määritelmä
Lämpötila (°C)	18	–10	18	–10	
Tuulen nopeus (m/s)	2	2	4	4	
Päästö määrä (kg NH ₃)	450	130	745	228	
Suurin päästönopeus (kg NH ₃ /min)	8,2	2,2	14,4	3,9	
Osuus räjähdysrajasta 100 %	11 m	< 10 m	< 10 m	< 10 m	Räjähdysvaara ylittyy alueella
Osuus räjähdysrajasta 60 %	14 m	< 10 m	< 10 m	< 10 m	Vaikutusalueella voi olla alueita, joissa räjähdys mahdollinen

5.4 Syttymisvaaralliset alueet

Ammoniakin leimahduspistettä ei ole kokeellisesti määritetty. Ammoniakkihöyry voi palaa, mutta se ei syty helposti. Ammoniakille ilmoitettu LEL pitoisuus on 150 000 ppm (esim. The National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH ilmoittaa 10 % LEL arvoksi 15 000 ppm). 60 %

LEL -vaikutusalueella räjähdys voi yhä olla mahdollinen ilmapvirtausten turbulenttisuuden vuoksi (pitoisuus 90 000 ppm). Mallinnuksen perusteella suoja-altaaseen tapahtuneen vuodon syttymisvaarallinen alue rajautuu alle 20 m etäisyydelle suoja-altaasta yhden lasketun olosuhteen osalta. Muissa tapauksissa alue on pienempi kuin ohjelmiston määrittelemä pienin tarkka etäisyys (< 10 m).

Stripperin vuototilanteissa LEL-pitoisuudet eivät ylity. Myöskään 10 % LEL-pitoisuudesta (15 000 ppm) ei ylity maan pinnan tasolla.

6. TULOSTEN TARKASTELU

Tässä työssä mallinnettiin ammoniakkin leviämistä ympäristöön tilanteissa, joissa ammoniakkivesivuoto tapahtuu lokeroituun suoja-altaaseen tai stripperikolonniin odottamaton paineen nousu aiheuttaa ammoniakkivuodon kolonniin yläpäästä.

Onnettomuusmallin tulosten perusteella ammoniakki voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa vakavia terveyshaittoja 620 metrin etäisyydellä suoja-altaan sijoituspaikasta (AEGL-2), kun suoja-altaan lokerikon koko on 60 m². Hengenvaarallisia pitoisuuksia voi ulottua 155 metrin etäisyydellä. Stripperin vuototilanteiden kohdalla vakavia terveyshaittoja aiheuttavat pitoisuudet eivät ylity, mutta miedompia, ohimeneviä terveyshaittoja voi vuototilanteiden yhteydessä esiintyä lähes 2 km:n etäisyydellä vuotokohteesta.

Suoja-altaaseen tapahtuva vuototilanne koskee vain yhden säiliön tyhjenemistä. Vuodon ylittäessä lokeroinnin, haihtuvan alueen pinta-ala kaksinkertaistuu. Samalla myös haitalliset vyöhykkeet kasvavat. Tällaista skenaariota pidetään epätodennäköisenä.

Mikäli stripperikolonne sijoitetaan sisätiloihin, ulos johdettava päästö tapahtuu todennäköisesti korkeammalta, jolloin vaikutus maanpinnan tasolla jää vähäisemmäksi. Päästön määrä riippuu silloin ilmanvaihdon tehokkuudesta ja muista mahdollisista tekniikoista, joilla voidaan päästön määrää madaltaa, esimerkiksi vesisumun käytöstä.

Esitetyt vaikutusalueet perustuvat kappaleessa 4.4. esitettyihin ympäristöolosuhteisiin. Kylmissä oloissa ammoniakkin leviäminen on vähäisempää, koska se höyrystyy hitaammin. Myös kovan tuulen vallitessa vaikutusalueet jäävät pienemmiksi kuin tässä raportissa, koska päästöpilvi laimenee tehokkaammin.

Suurimmat leviämisyvyöhykkeet mallinuksissa nähtiin tilanteissa, joissa tuulen nopeus oli m/s, lämpötila +18 °C ja ilmakehässä stabiilit olosuhteet (F). Sääaineistotarkastelun perusteella nähtiin, että alueella vallitsevat ilmakehän stabiilit olosuhteet (F) 3,5% ajasta. Tarkastelussa huomioitiin tuulen nopeus, auringon nousu- ja laskuajat, auringon säteily sekä pilvipeite. Stabiileja olosuhteita (F), joissa lämpötila oli +18 °C tai enemmän, esiintyi 0,3% ajasta (70 h kolmena vuonna). Tuulen nopeus on tällöin alle 3 m/s parametrisoinnin vuoksi. Tällä perusteella voidaan todeta, ettei ko. säätyyppi edusta tyypillisintä alueella esiintyvää olosuhdetta.

Ammoniakkivesivuodon haitallisuuden hallintakeinona tarkasteltiin tilannetta, jossa suoja-altaan pohjalla on vettä ja vuotavan ammoniakkin pitoisuus laimenee. Tässä laskelmassa käytettiin yllä mainittuja stabiileja olosuhteita ja pienempää suoja-altaan lokerokokoa. Tässä mallinuksessa AEGL-3 vyöhyke ylsi 87 metrin etäisyydelle, AEGL-2 357 metrin etäisyydelle ja AEGL-1 kaikkiaan 1,1 km:n etäisyydelle. Tällöin 400 metrin etäisyydellä suoja-altaan reunasta, jossa lähimmät asuinrakennukset sijaitsevat Haminassa, ammoniakkin pitoisuus kohoaa tasolle 179 ppm, joka on pienempi kuin AEGL-2 pitoisuus.

Kuopiossa 2.2.2021

RAMBOLL FINLAND OY

Mikko Happonen
Ryhmäpäällikkö, FT, Dos.

Toni Keskitalo
Tutkimuspäällikkö, FM

7. VIITTEET

Käytetyt ohjelmistot:

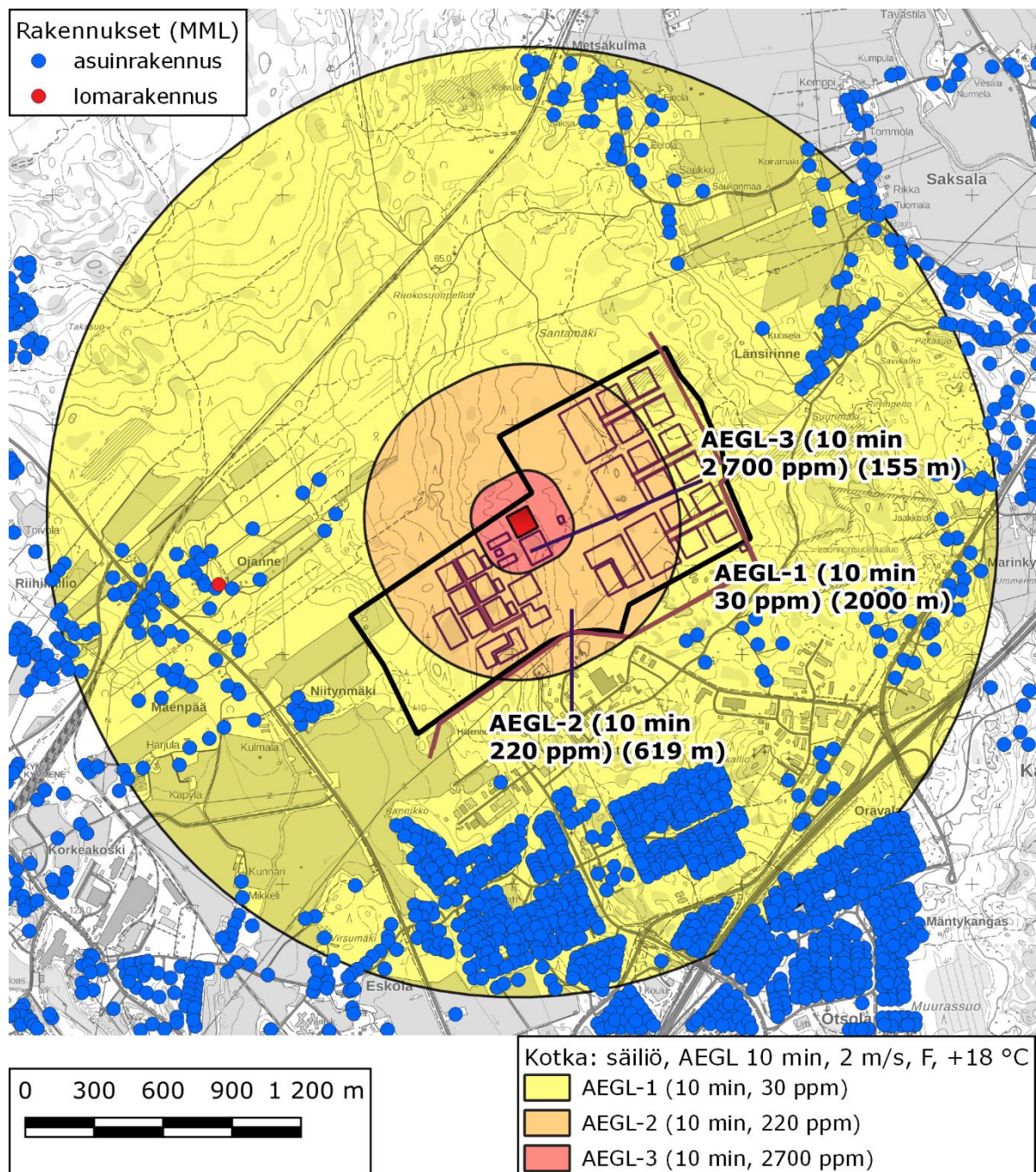
ALOHA: <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>

Käytetyt haittaluokitukset:

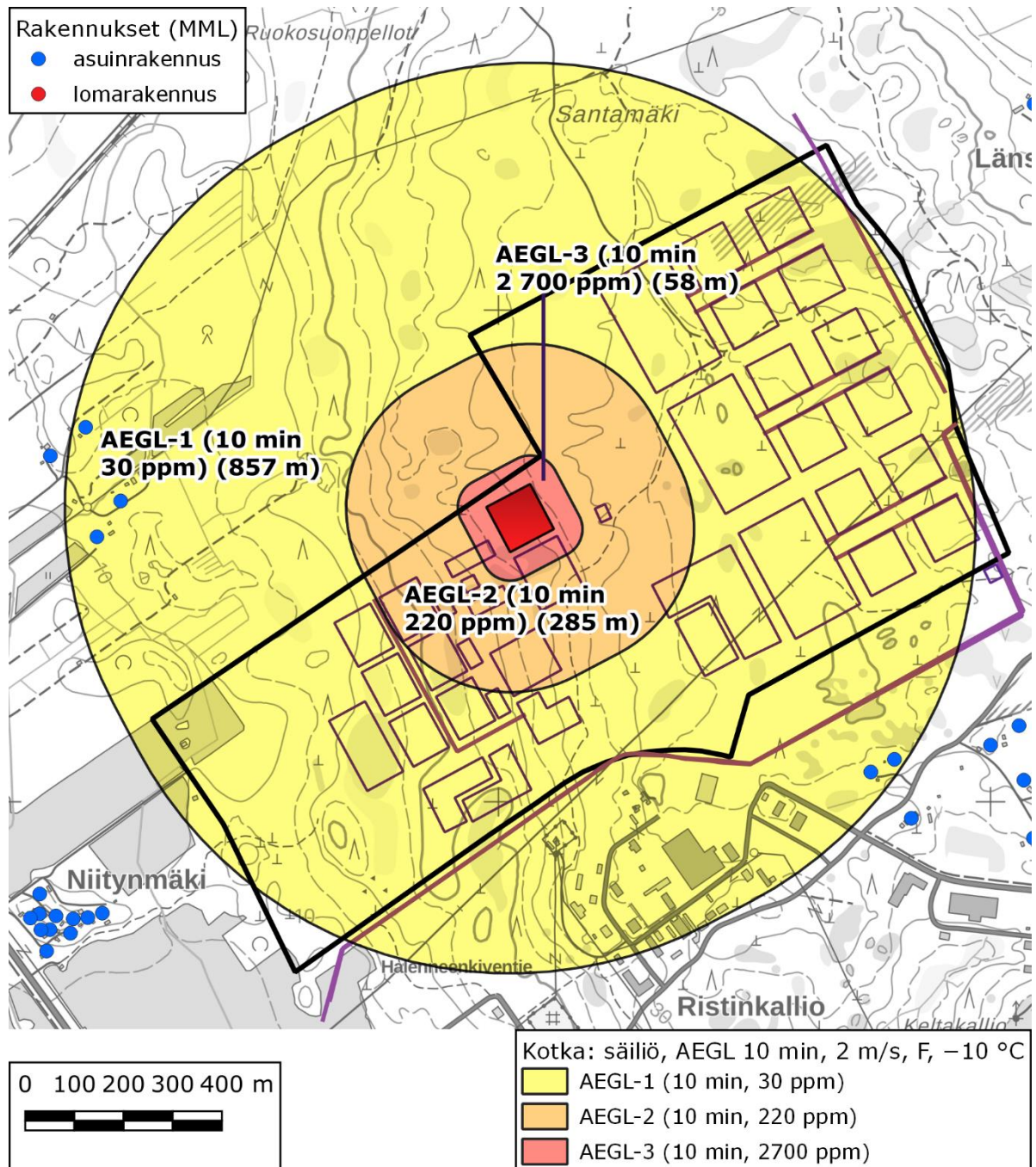
AEGL-arvot 2007, Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 6. Committee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, National Research Council. https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-11/documents/ammonia_final_volume6_2007.pdf

Tuotantolaitosten sijoittaminen, TUKES, 2015. <https://tukes.fi/documents/5470659/6406815/Tuotantolaitosten%20sijoittaminen/ab664564-66f7-49b7-96bb-316dfefe4517/Tuotantolaitosten%20sijoittaminen.pdf>

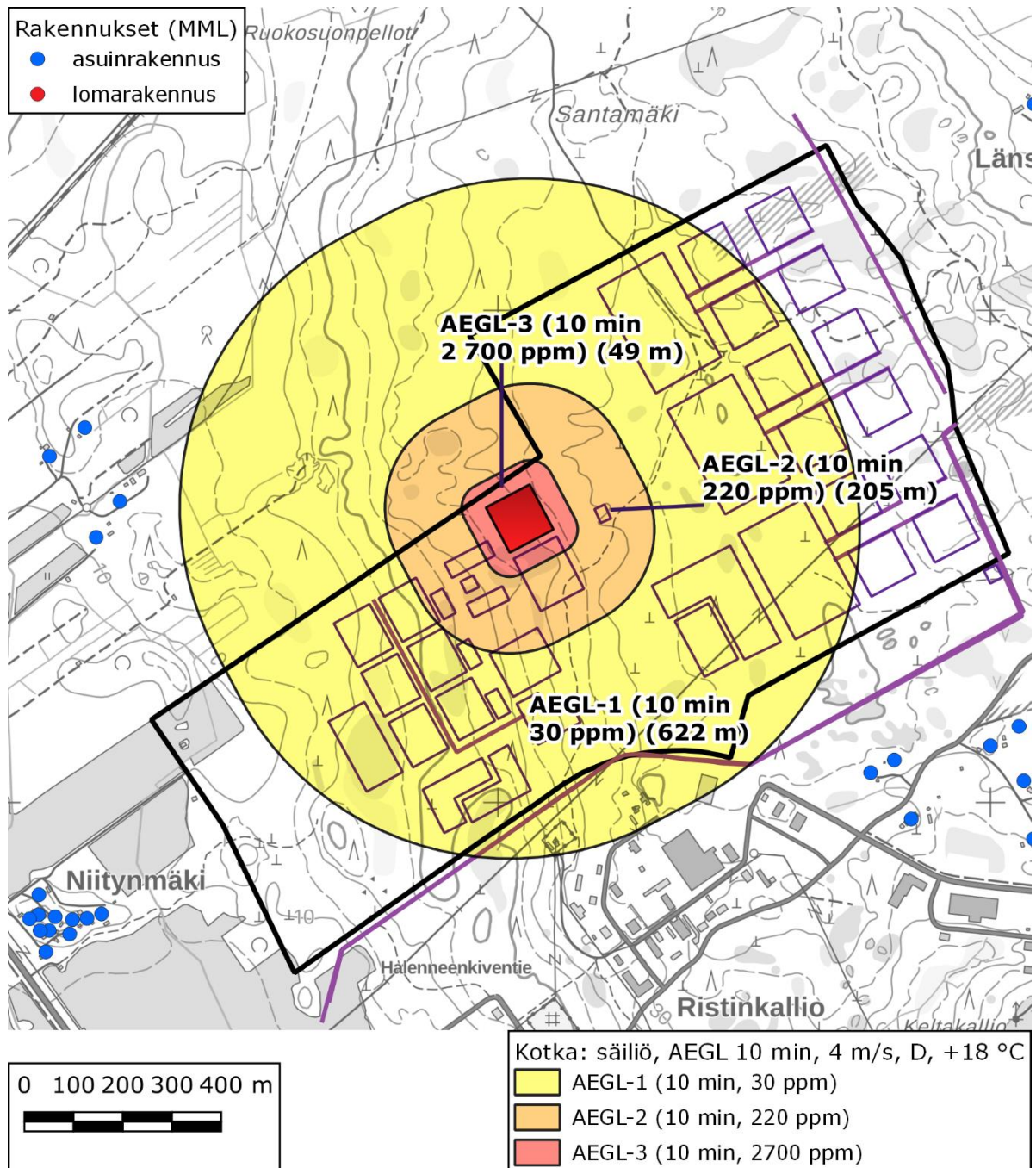
8. LIITTEET



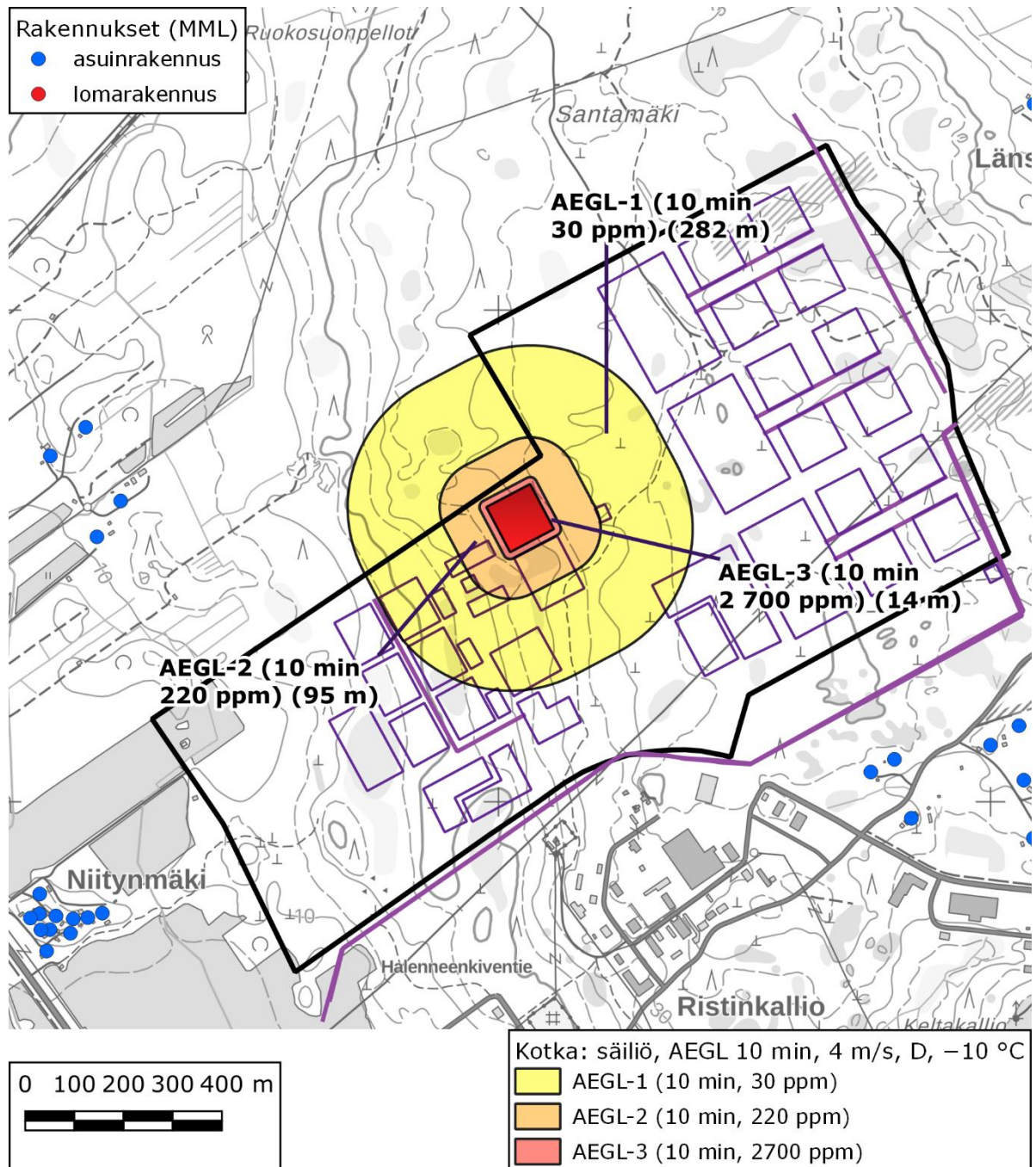
Kuva 4. Kotkan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-alaan yhteen lohkoon (koko 60 m²) ja haihtuvan ammoniakin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



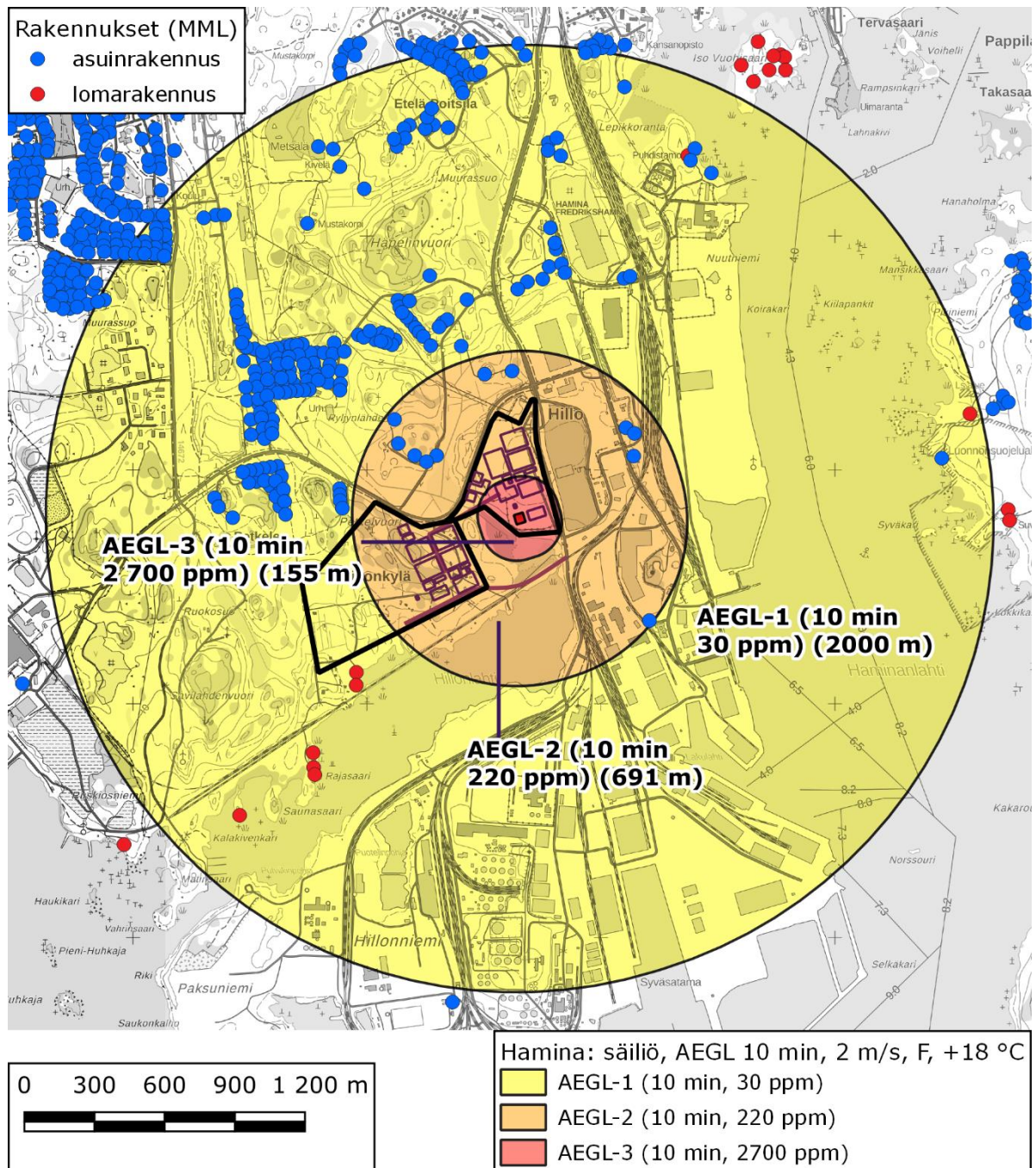
Kuva 5. Kotkan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 60 m²) ja haihtuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila -10 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



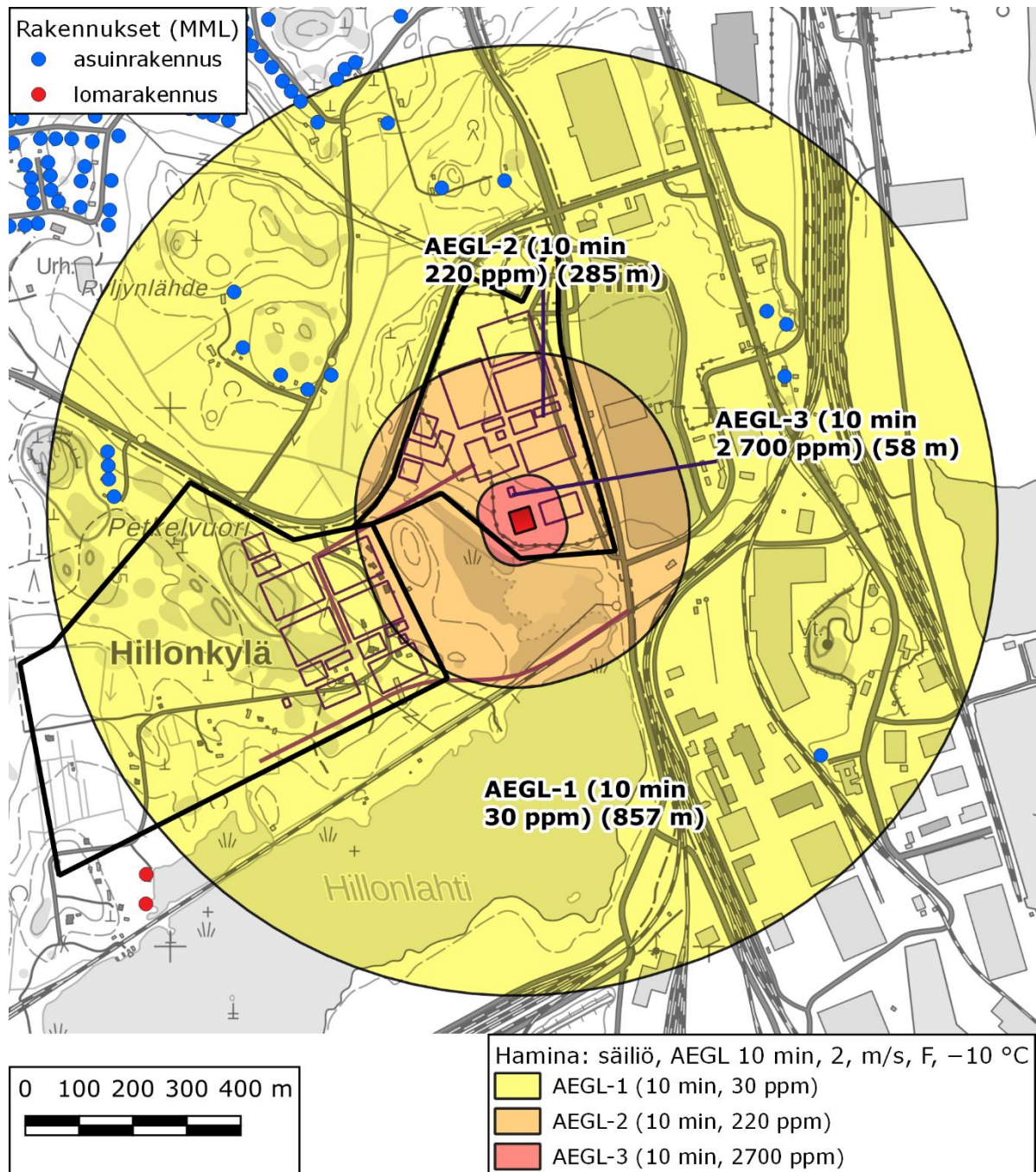
Kuva 6. Kotkan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 60 m²) ja haihtuvan ammoniakin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 4 m/s, neutraalit olosuhteet (D). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



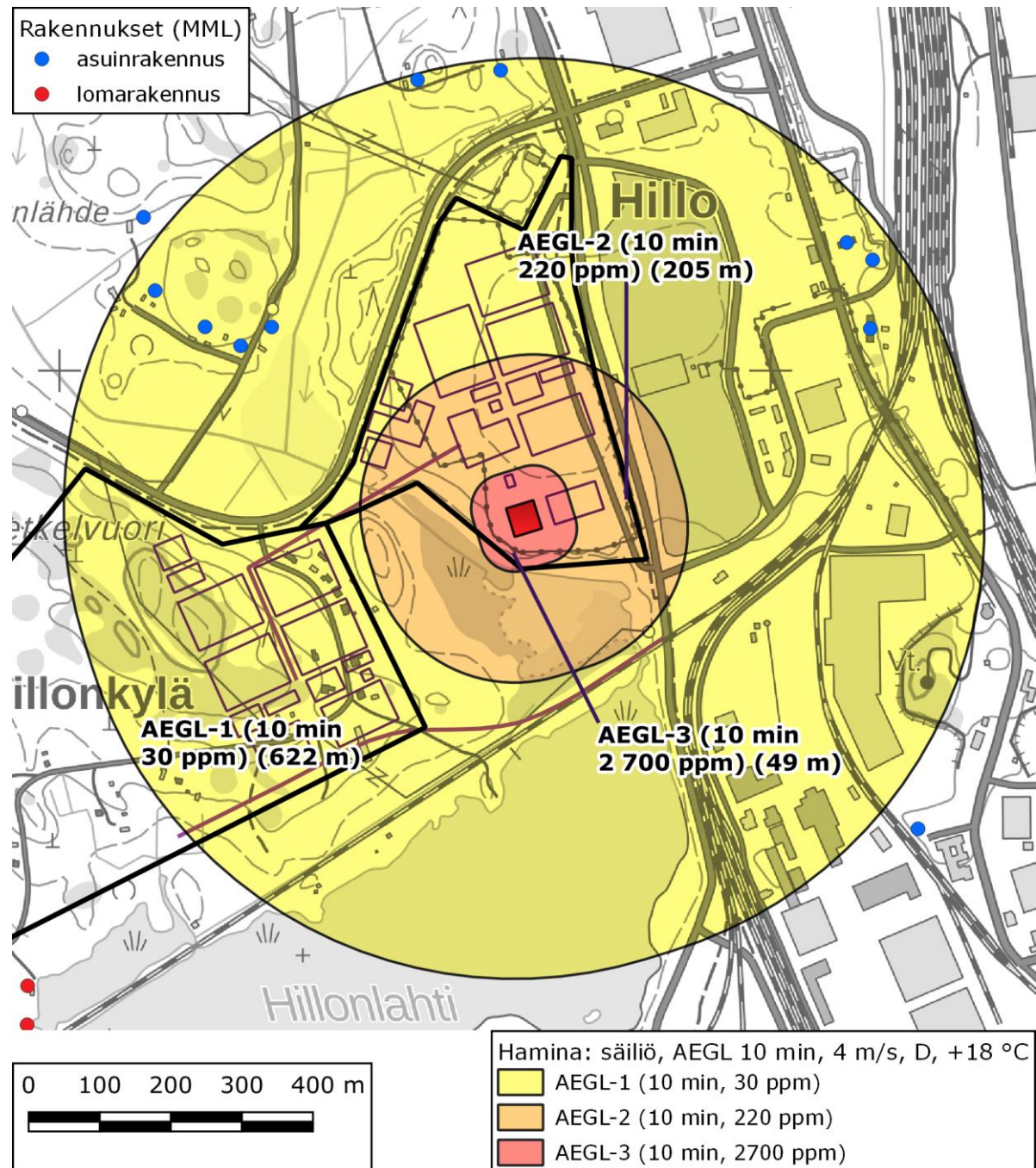
Kuva 7. Kotkan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 60 m²) ja haihtuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila -10 °C, tuulen nopeus 4 m/s, neutraalit olosuhteet (D). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



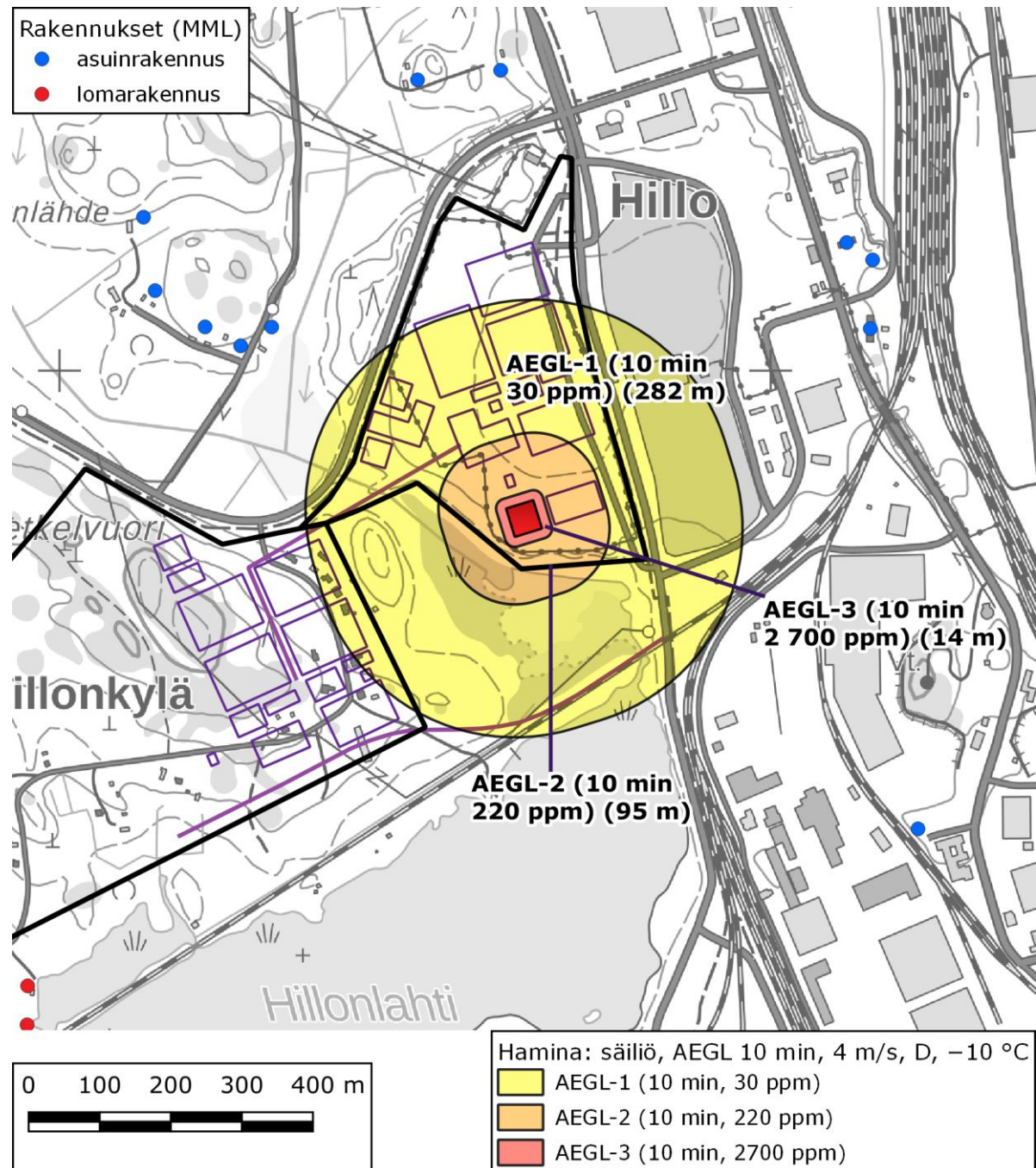
Kuva 8. Haminan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 60 m²) ja haihtuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



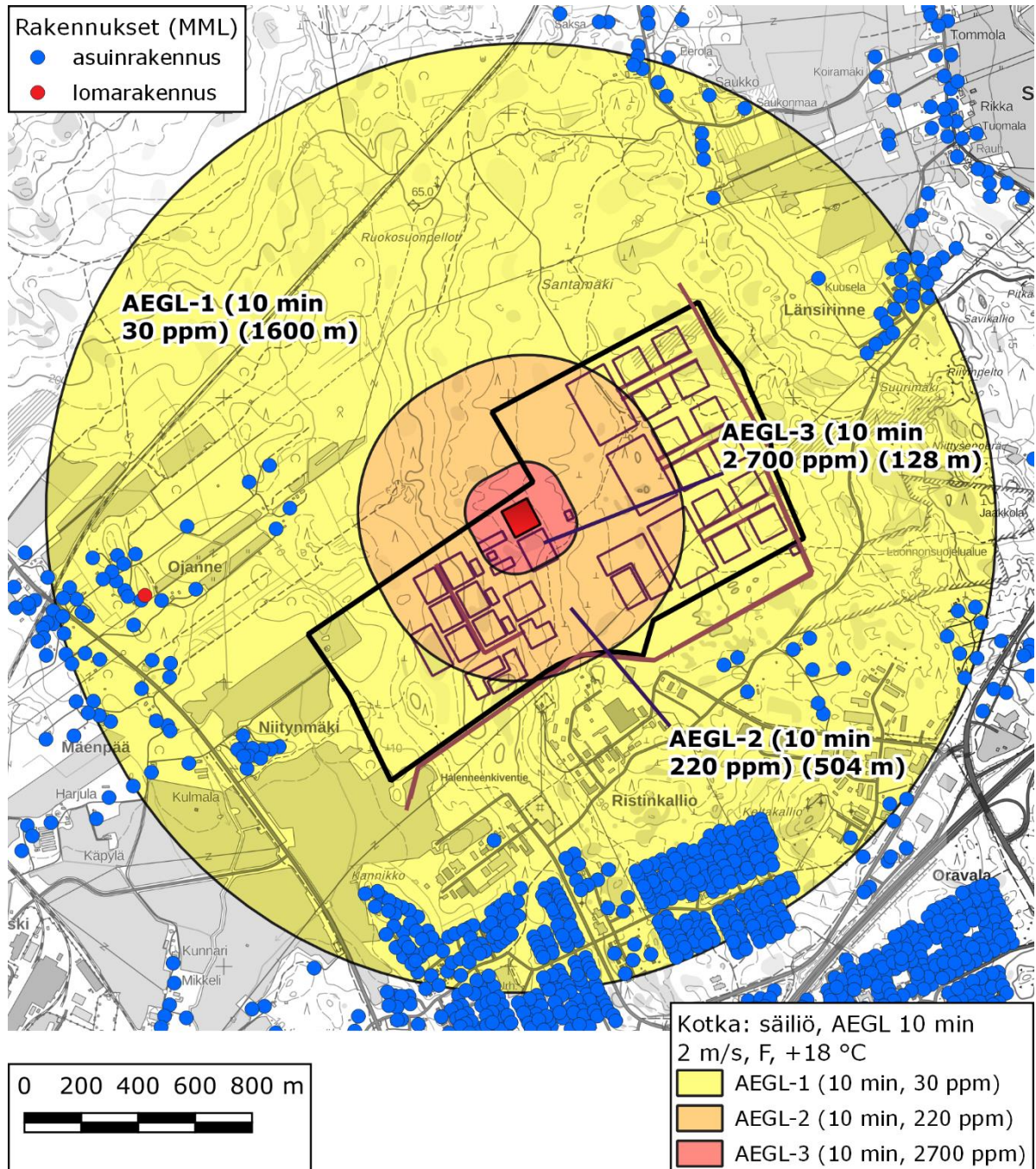
Kuva 9. Haminan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 60 m²) ja haihtuvan ammoniakin leviäminen, lämpötila -10 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



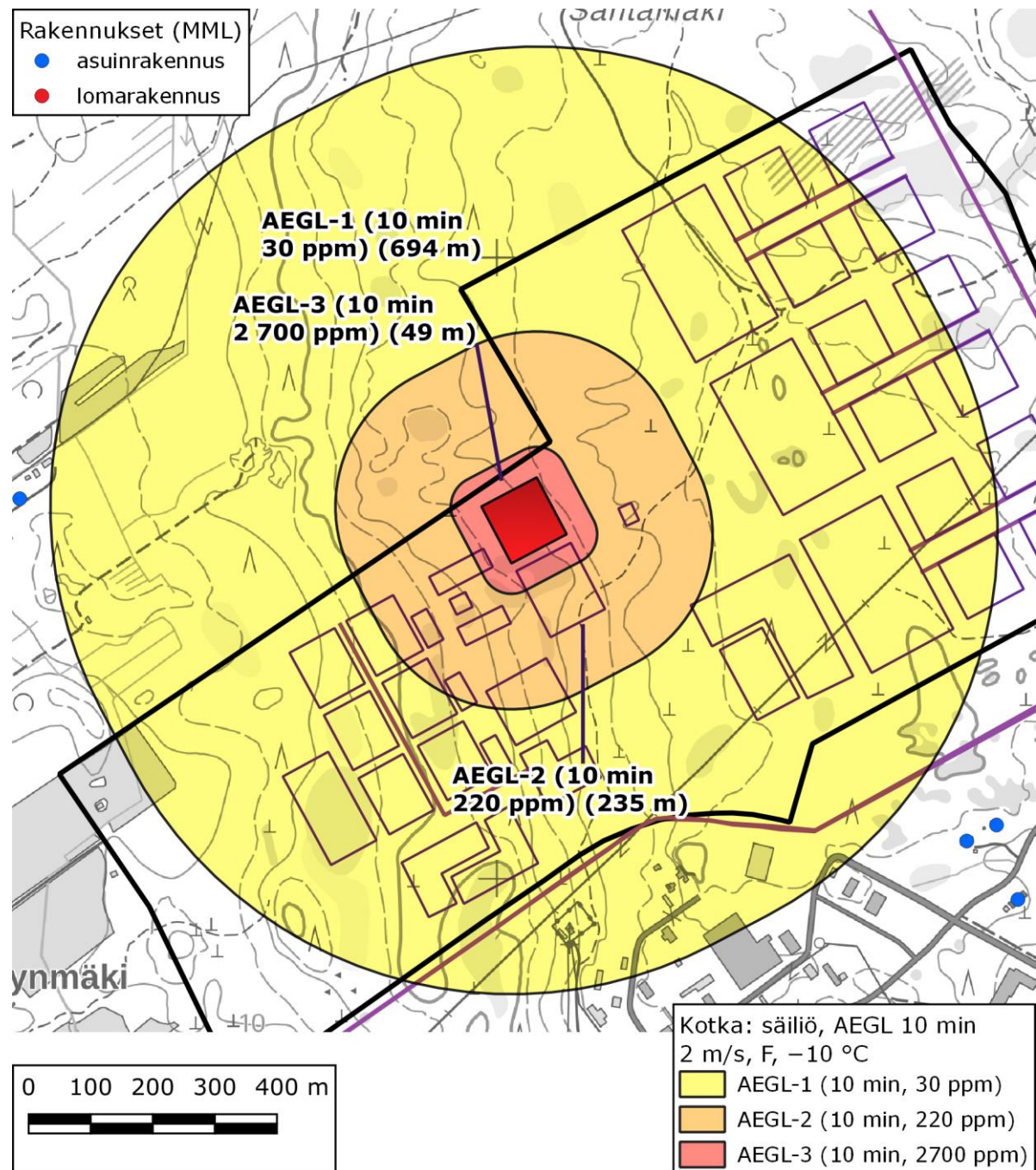
Kuva 10. Haminan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 60 m²) ja haihtuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 4 m/s, neutraalit olosuhteet (D). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



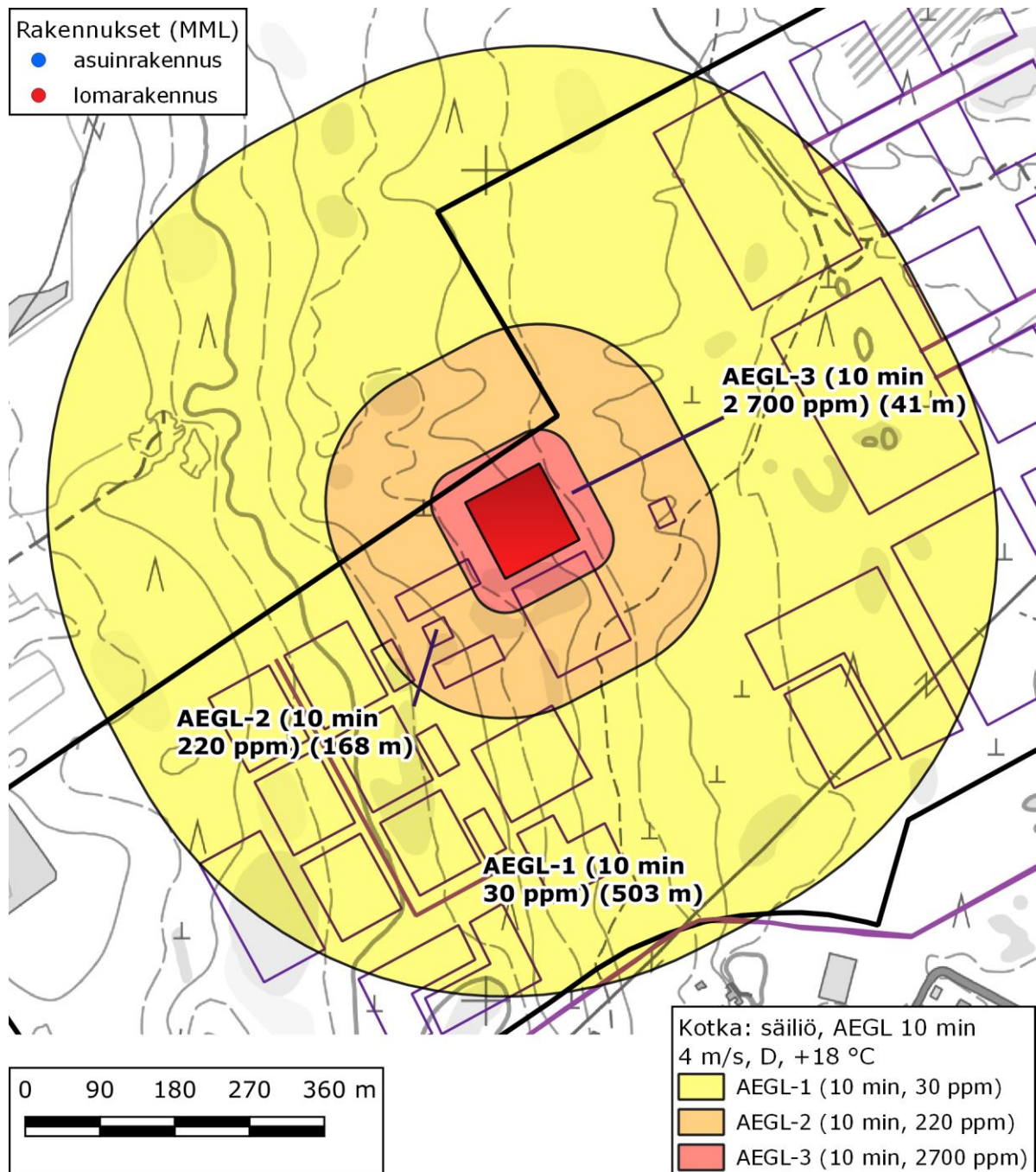
Kuva 11. Haminan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 60 m²) ja haihtuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila -10 °C, tuulen nopeus 4 m/s, neutraalit olosuhteet (D). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



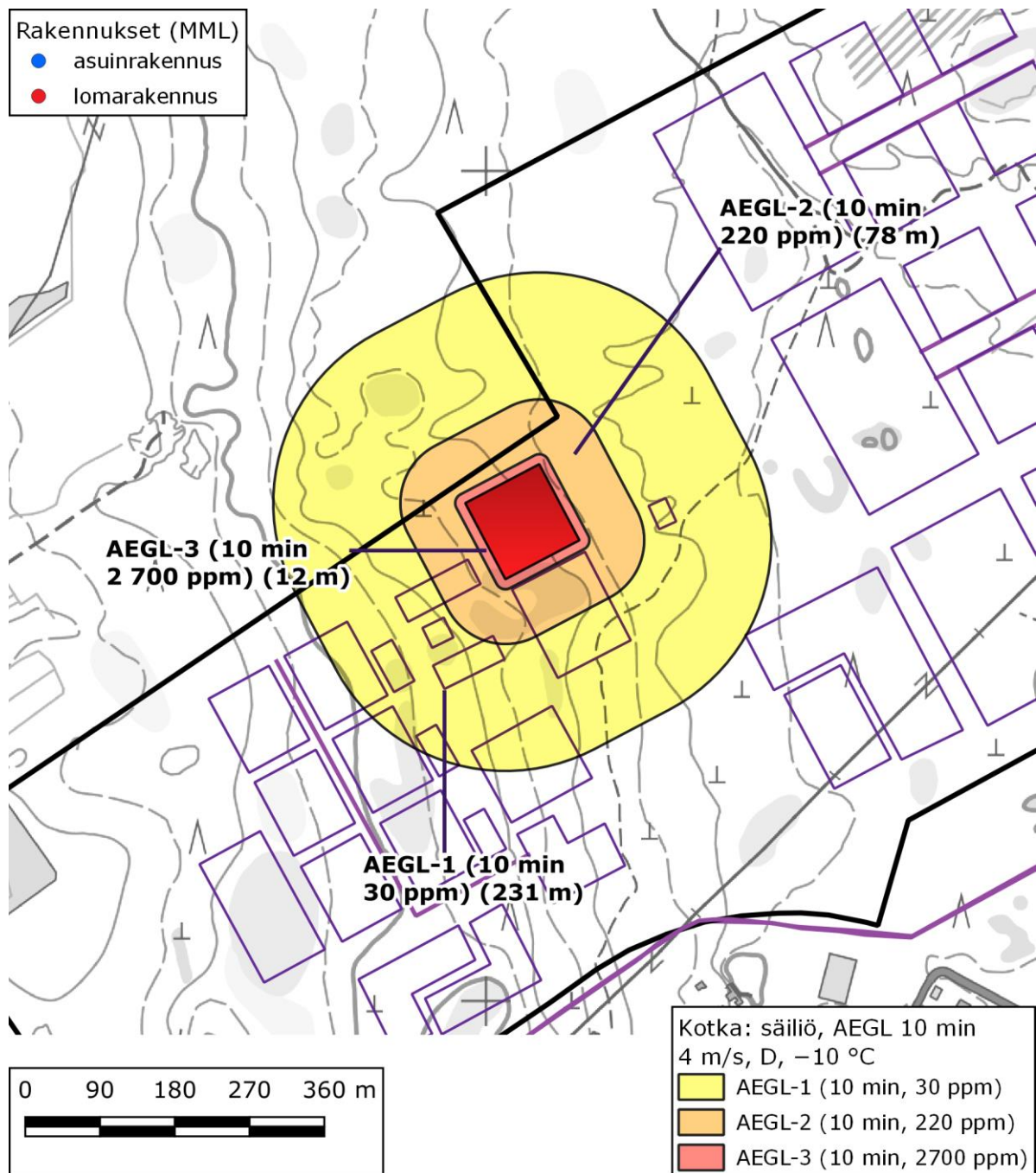
Kuva 12. Kotkan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 40 m²) ja haihtuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



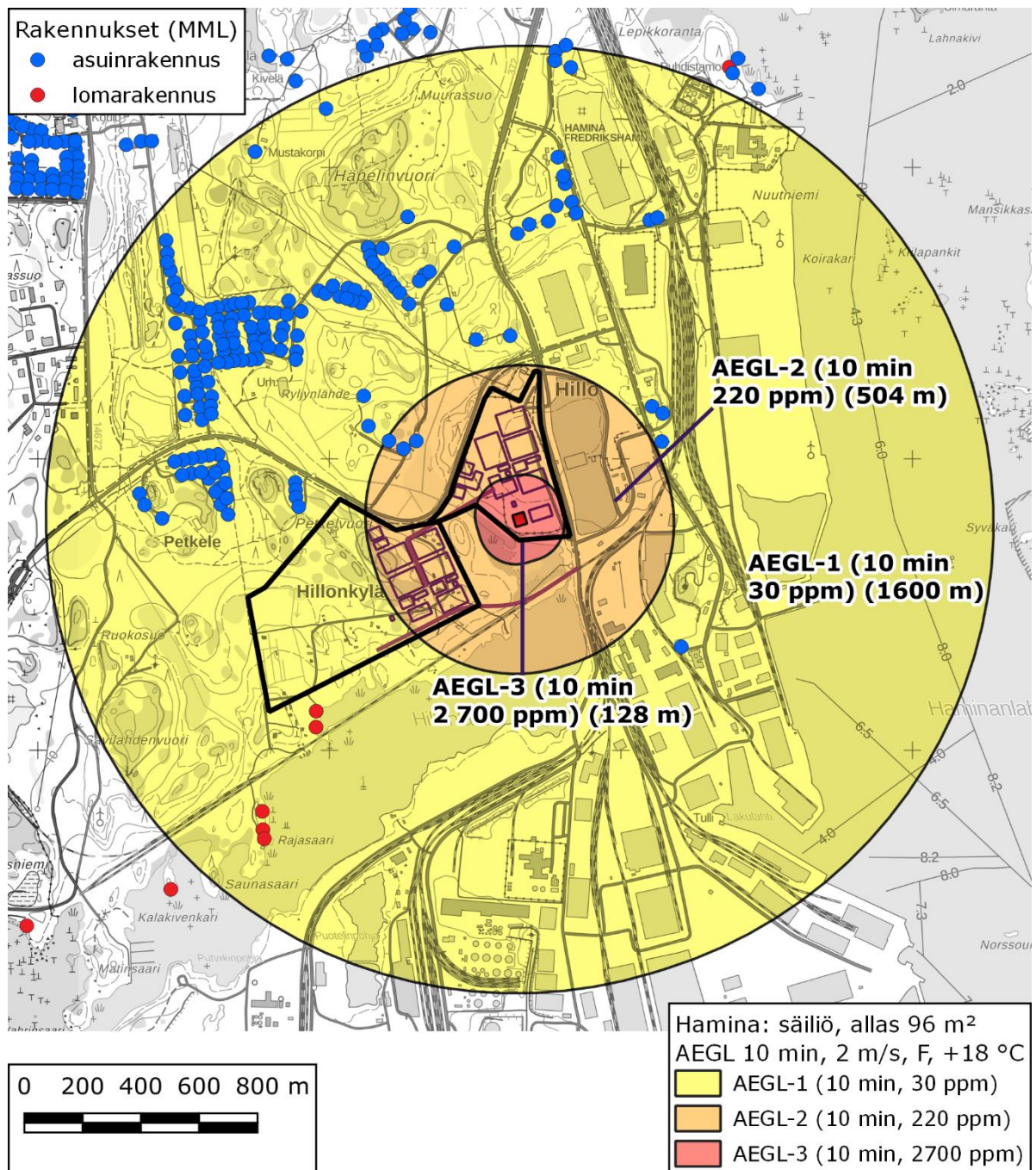
Kuva 13. Kotkan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 40 m²) ja haihtuvan ammoniakin leviäminen, lämpötila -10 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



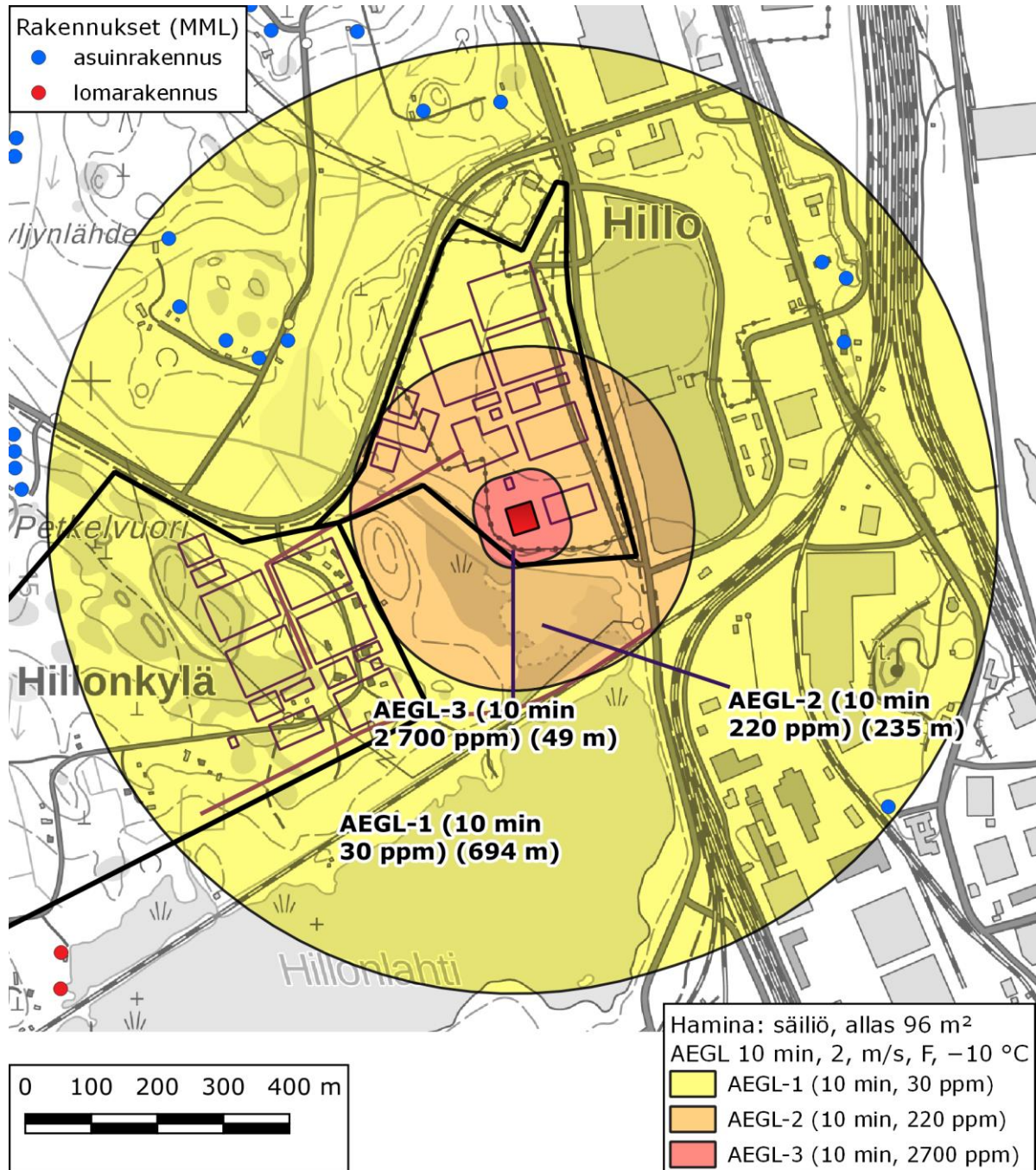
Kuva 14. Kotkan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 40 m²) ja haihtuvan ammoniakin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 4 m/s, neutraalit olosuhteet (D). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



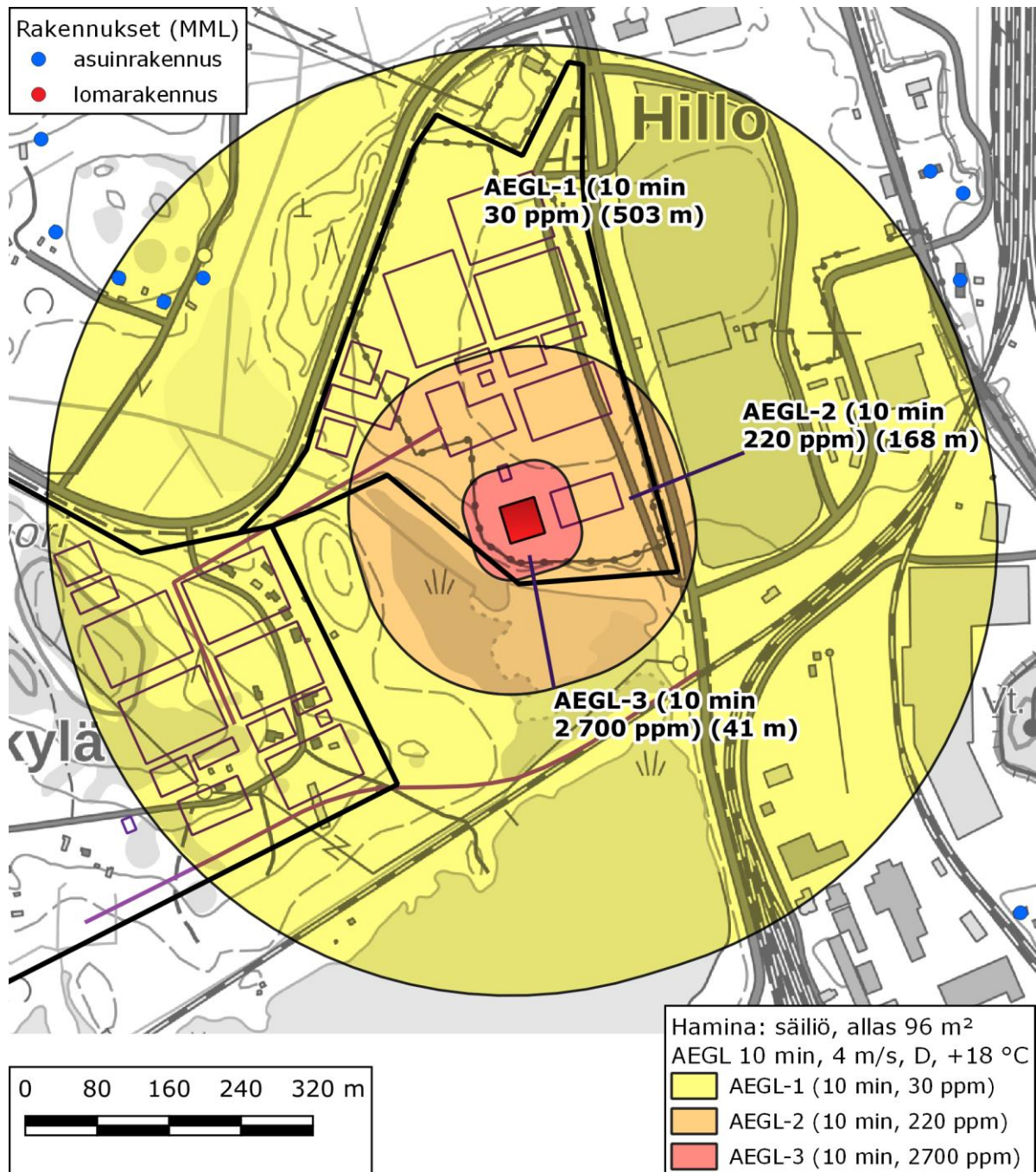
Kuva 15. Kotkan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 40 m²) ja haihtuvan ammoniakin leviäminen, lämpötila -10 °C, tuulen nopeus 4 m/s, neutraalit olosuhteet (D). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



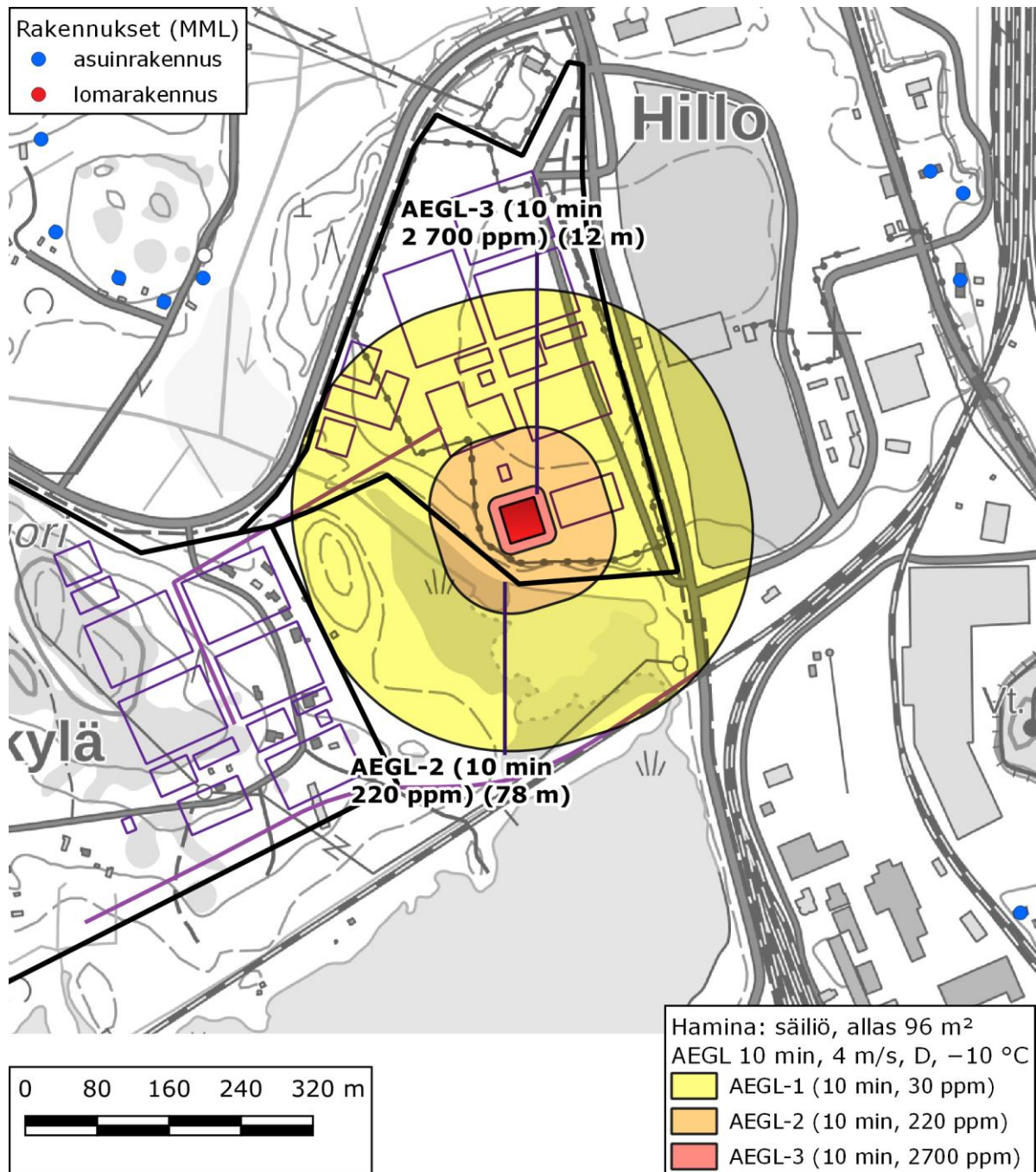
Kuva 16. Haminan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 40 m²) ja haihtuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



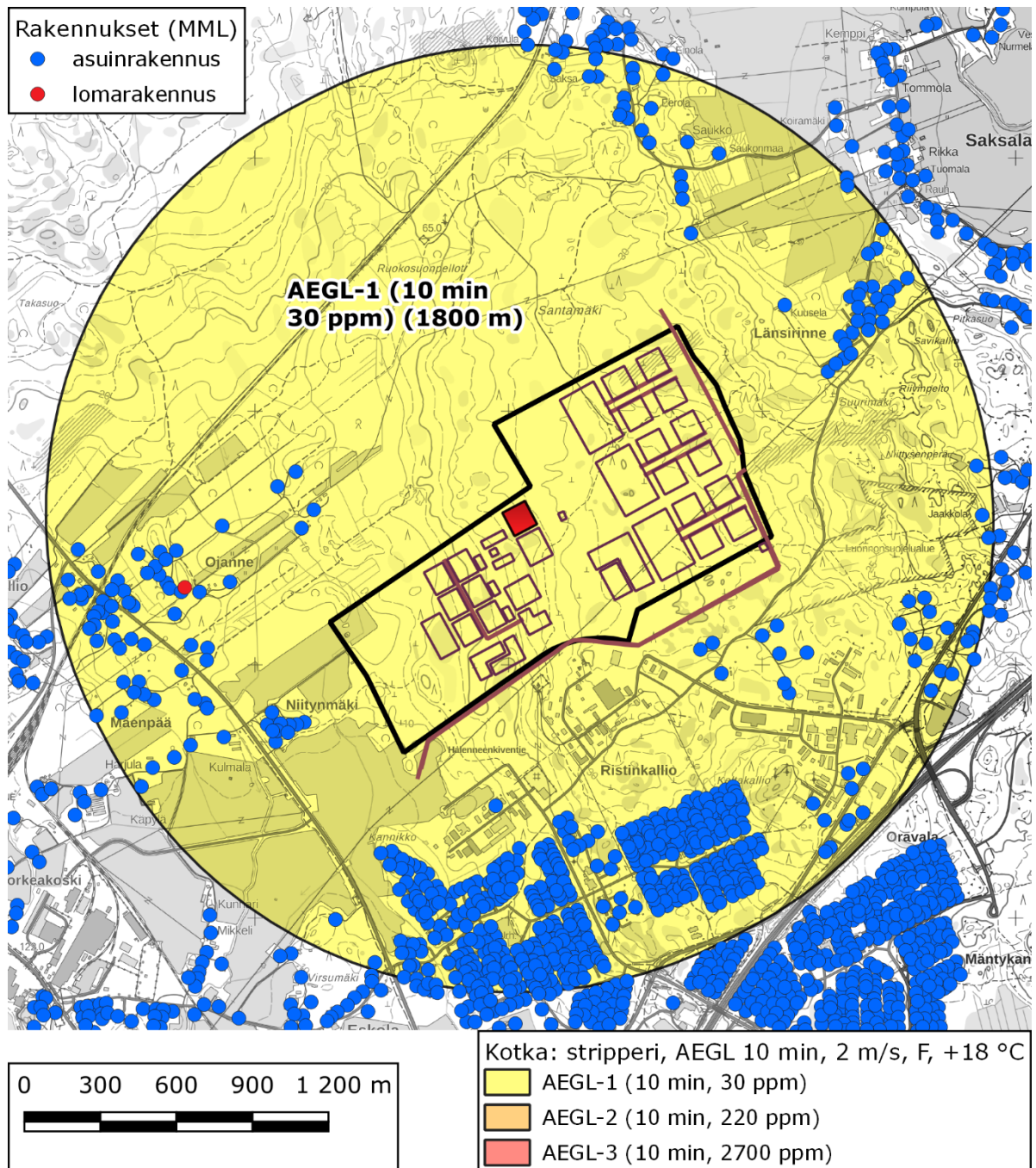
Kuva 17. Haminan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 40 m²) ja haihtuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila -10 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



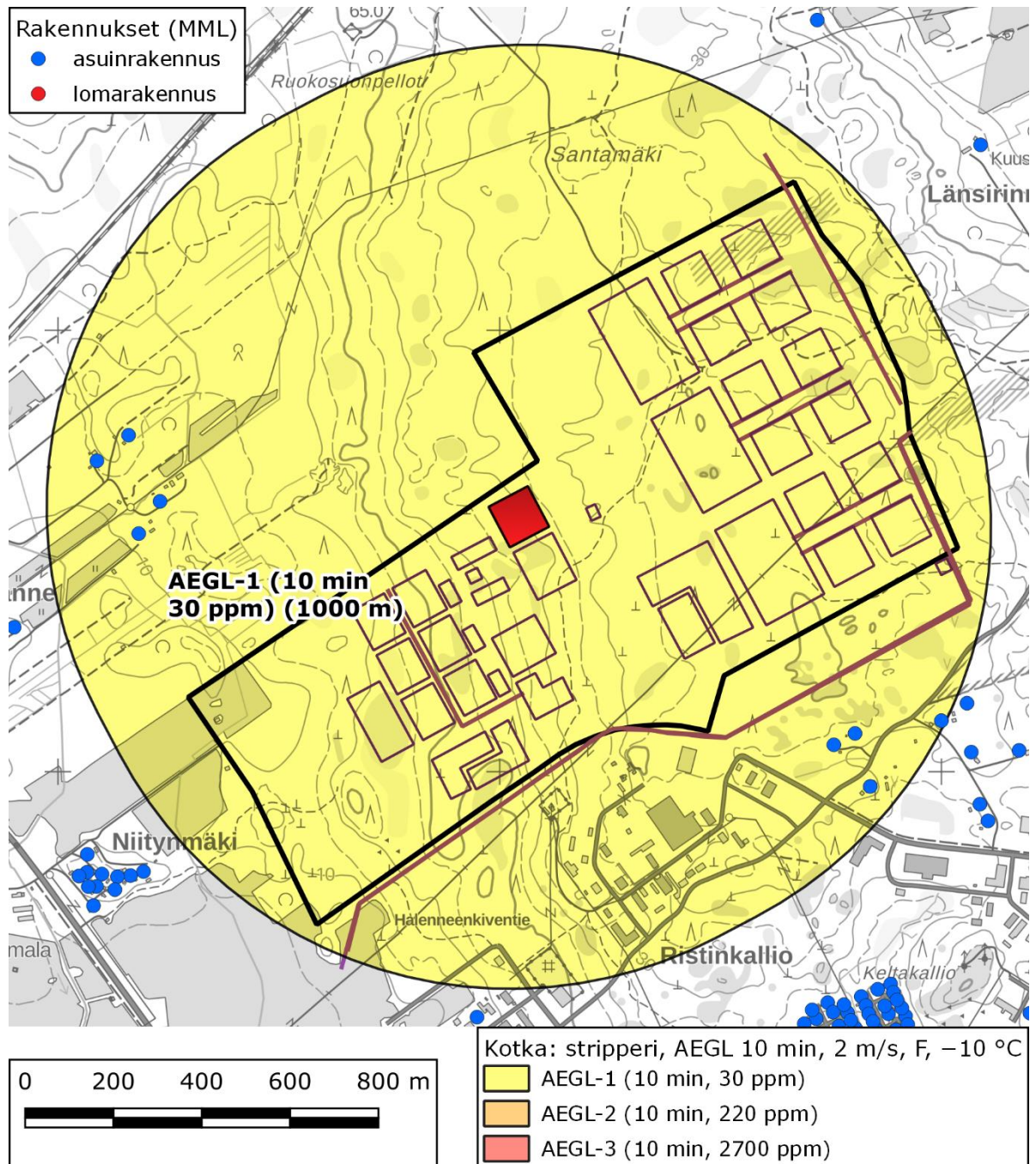
Kuva 18. Haminan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 40 m²) ja haihtuvan ammoniakin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 4 m/s, neutraalit olosuhteet (D). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



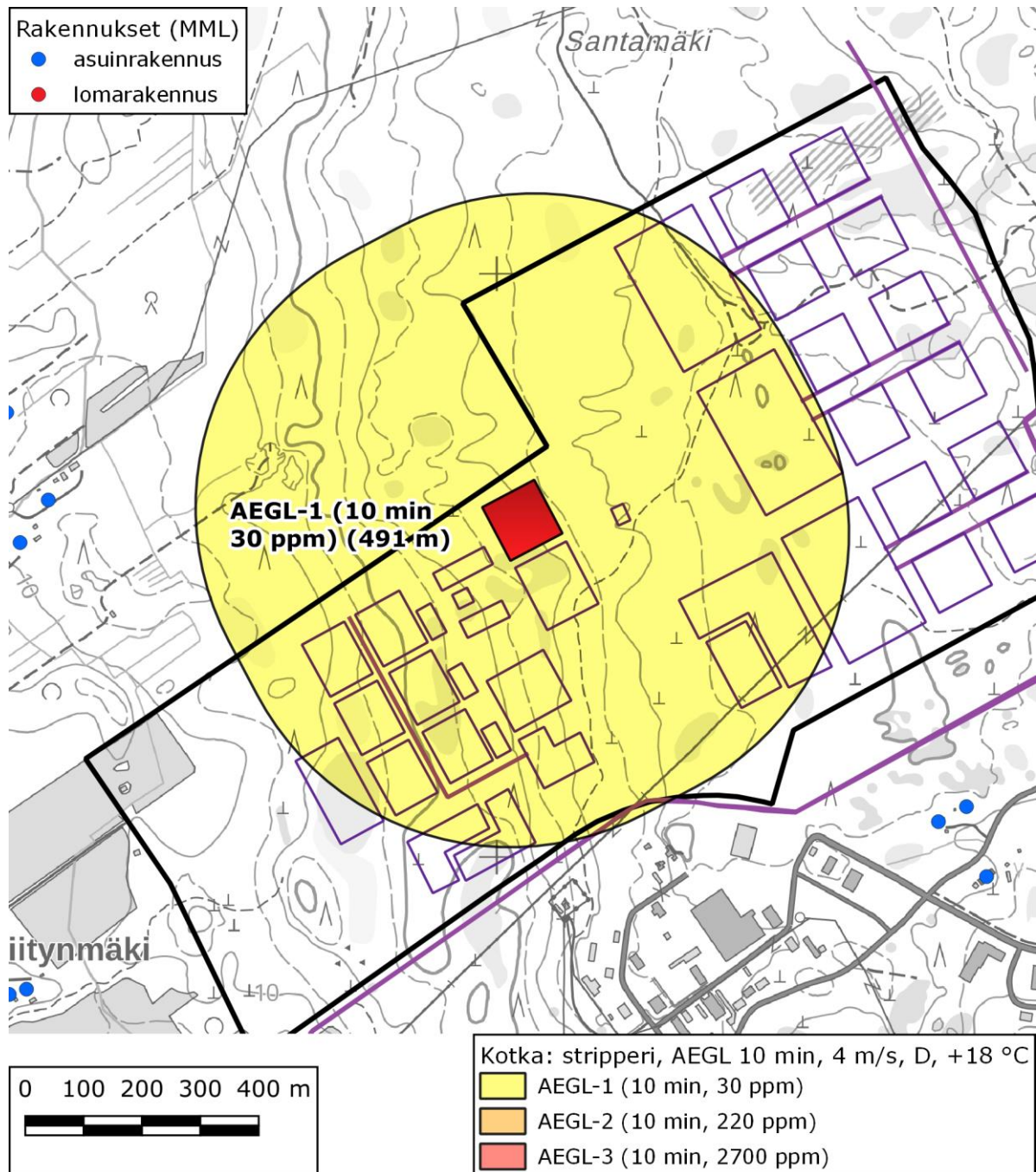
Kuva 19. Haminan ammoniakkivesisäiliön vuoto suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 40 m²) ja haihtuvan ammoniakin leviäminen, lämpötila -10 °C, tuulen nopeus 4 m/s, neutraalit olosuhteet (D). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



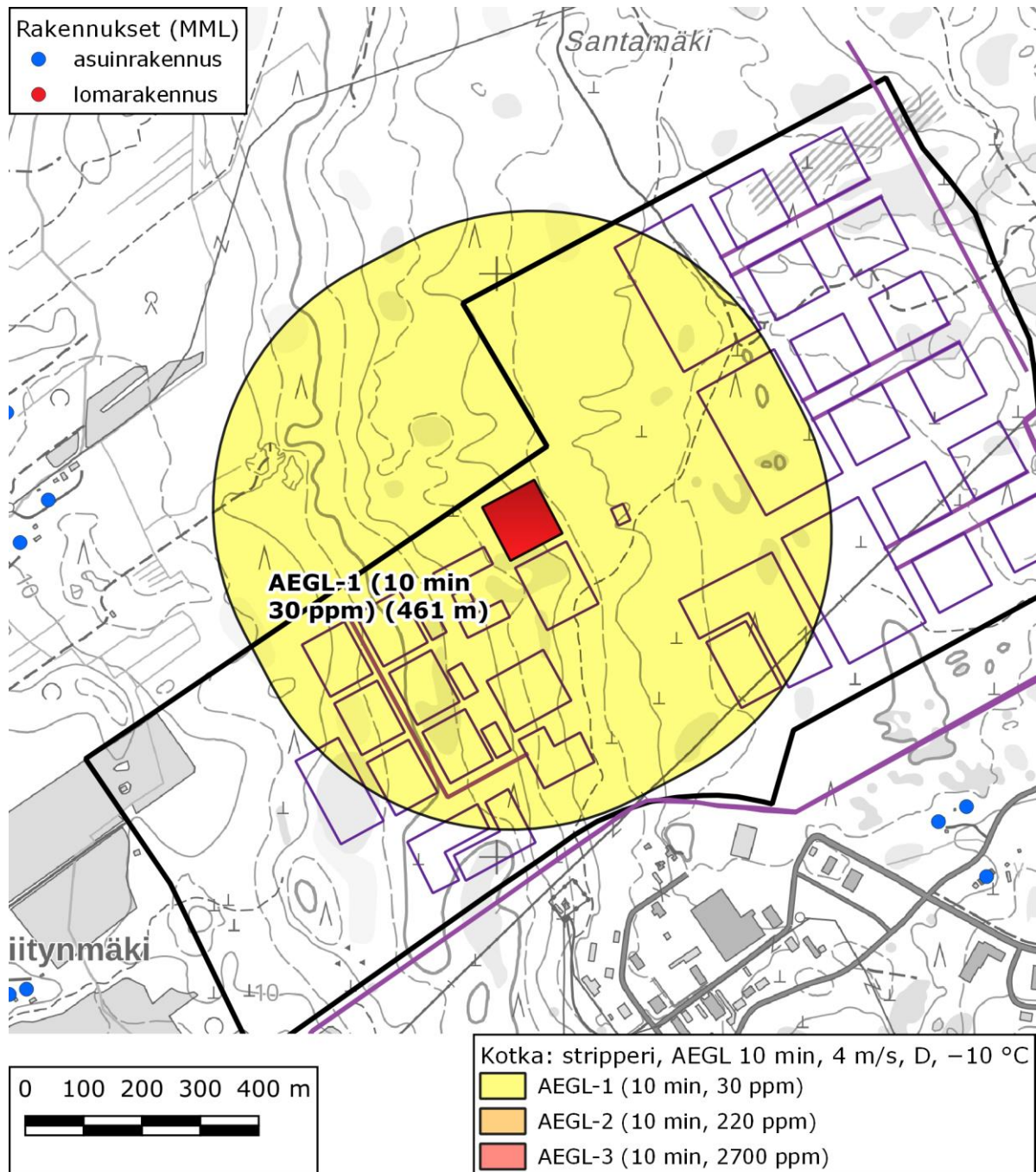
Kuva 20. Kotkan stripperivuoto sen yläosasta ja vapautuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



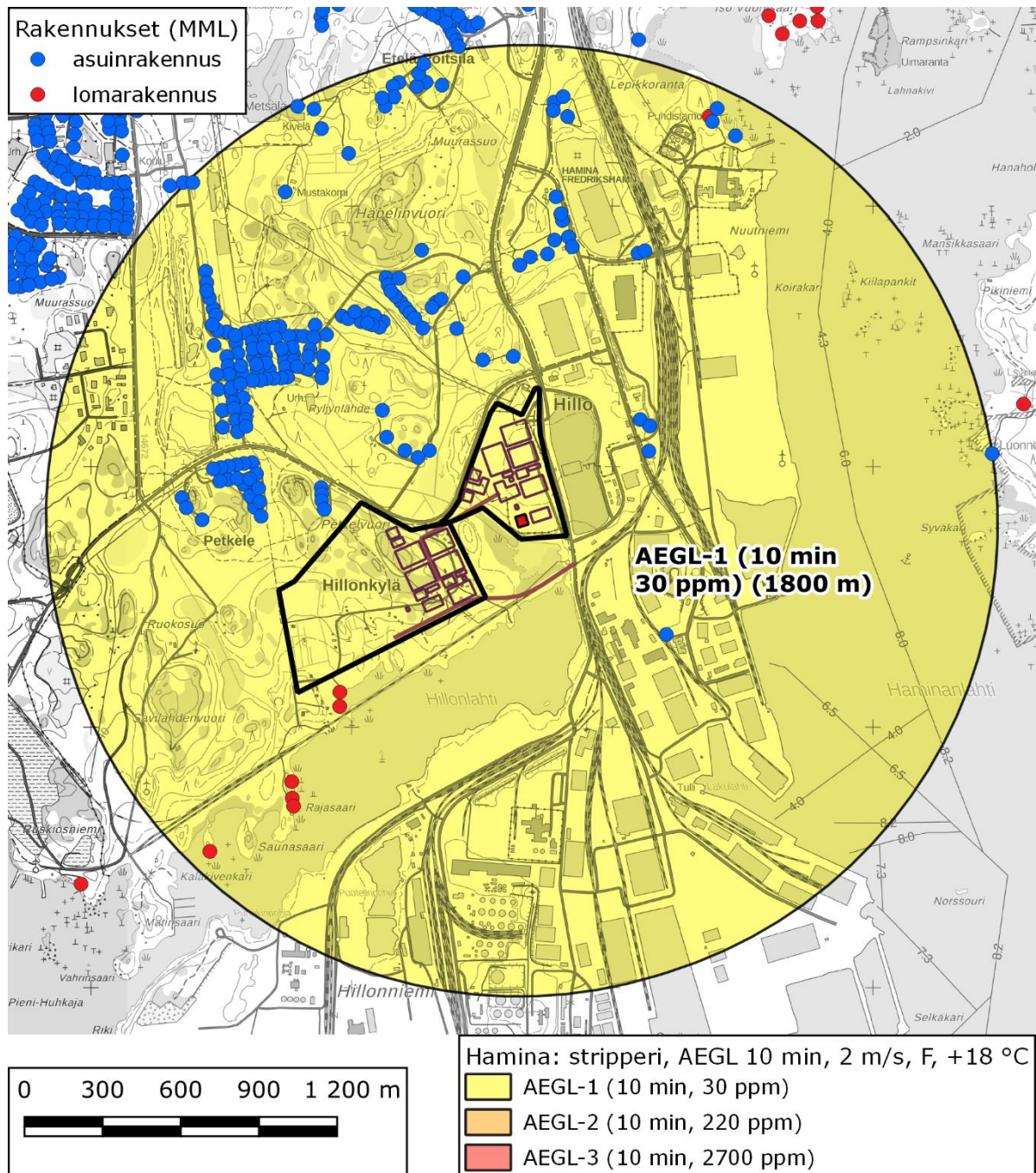
Kuva 21. Kotkan stripperivuoto sen yläosasta ja vapautuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila -10 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



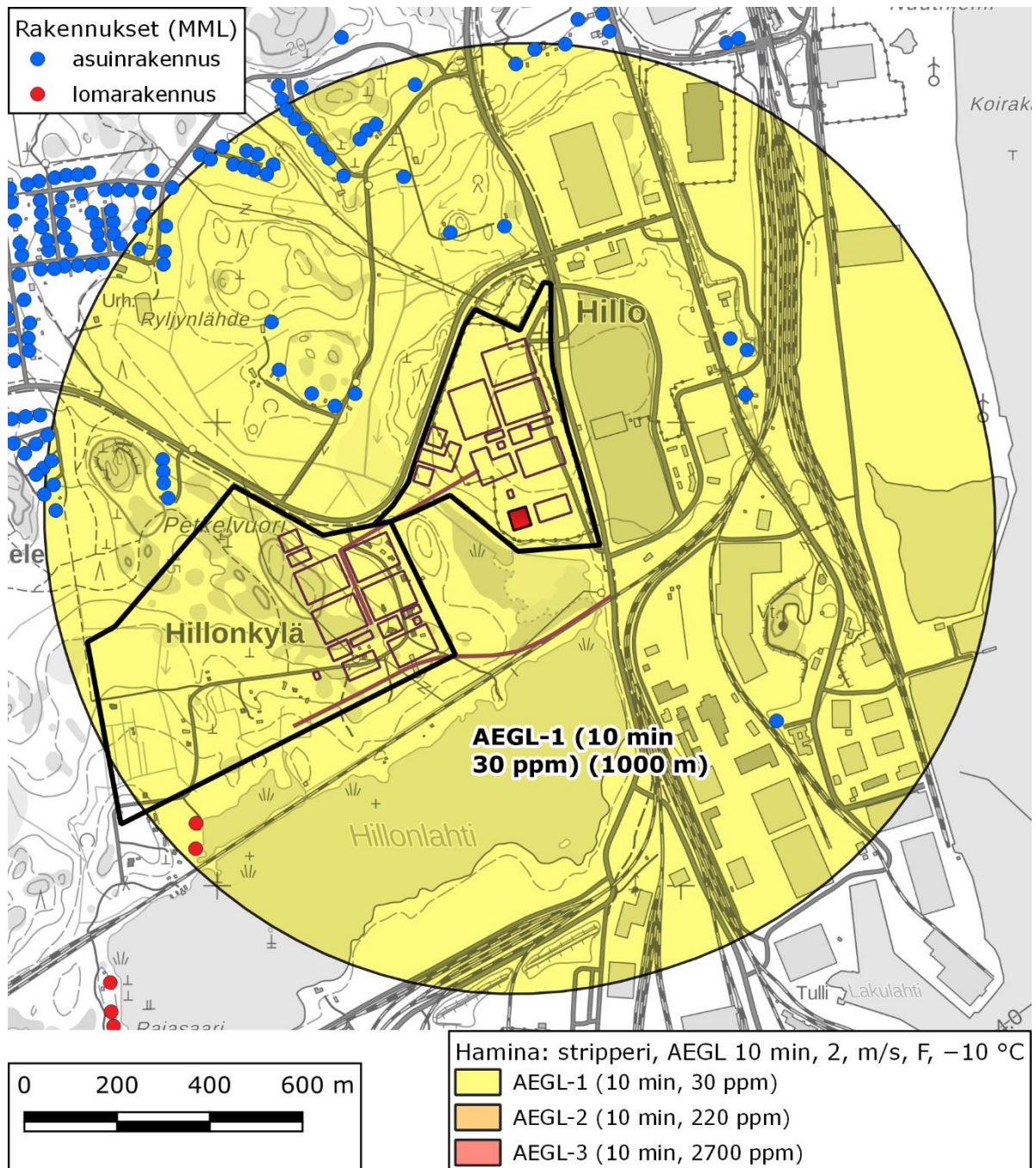
Kuva 22. Kotkan stripperivuoto sen yläosasta ja vapautuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 4 m/s, neutraalit olosuhteet (D). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



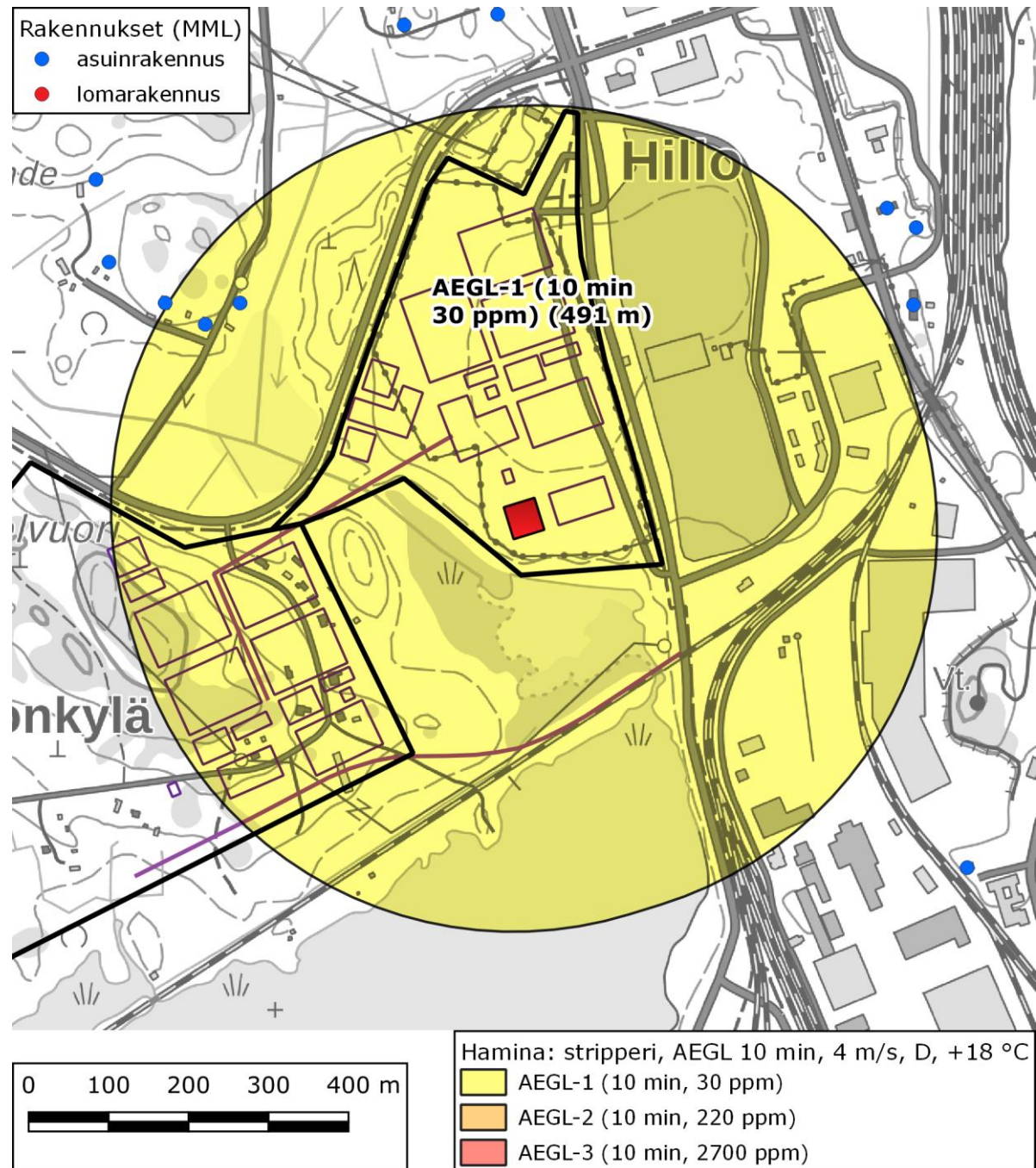
Kuva 23. Kotkan stripperivuoto sen yläosasta ja vapautuvan ammoniakin leviäminen, lämpötila -10 °C, tuulen nopeus 4 m/s, neutraalit olosuhteet (D). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



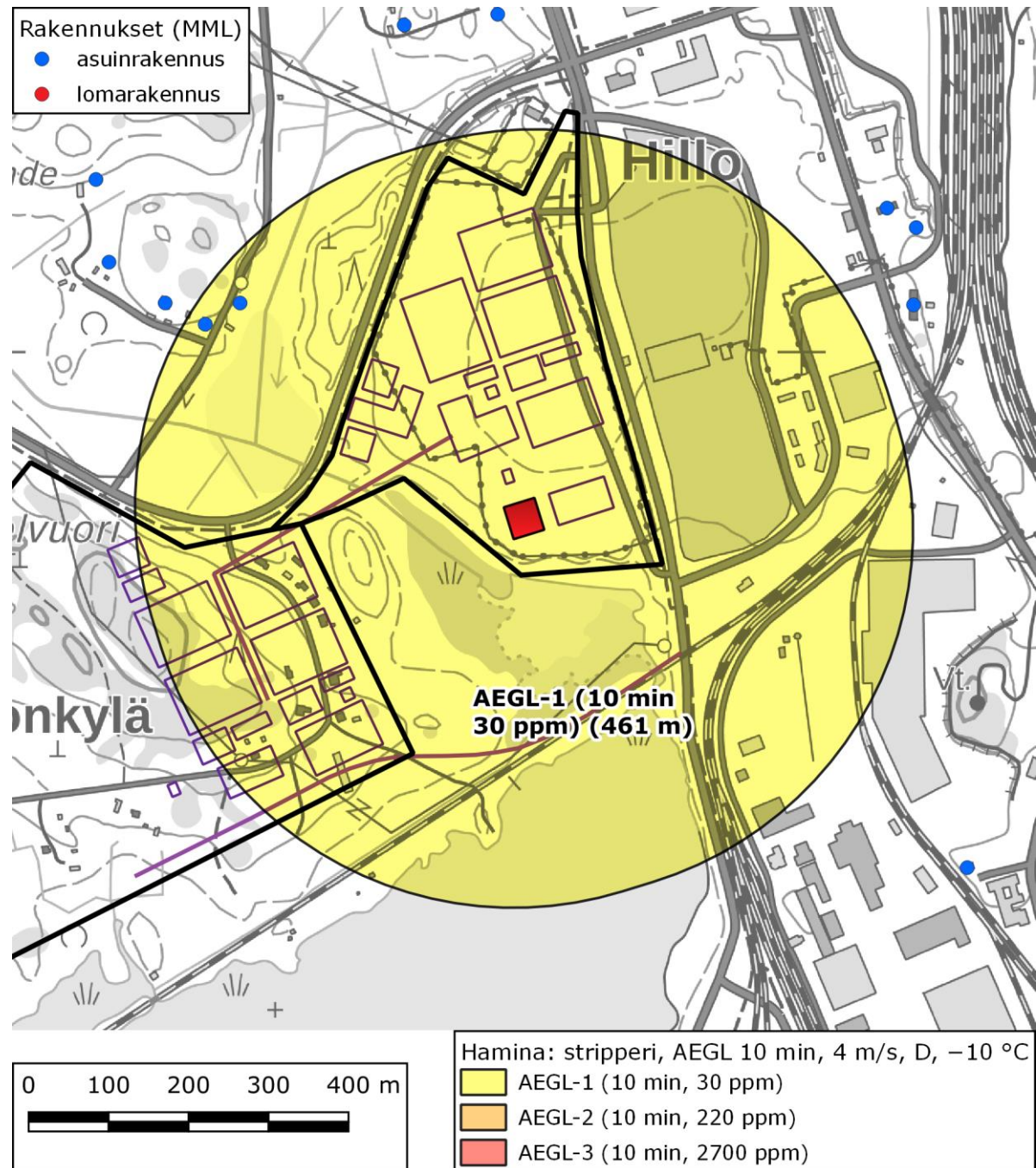
Kuva 24. Haminan stripperivuoto sen yläosasta ja vapautuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



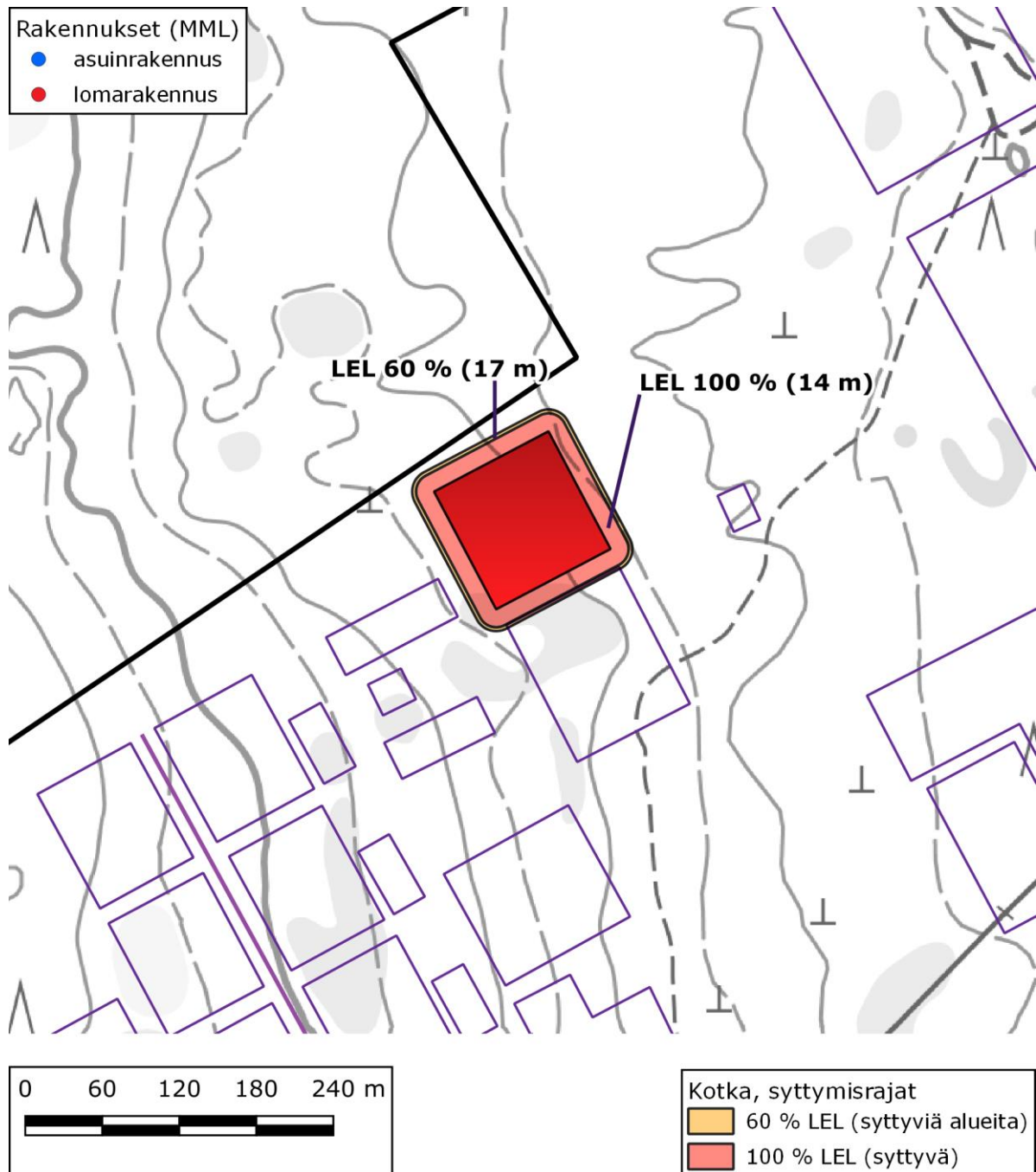
Kuva 25. Haminan stripperivuoto sen yläosasta ja vapautuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila -10 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



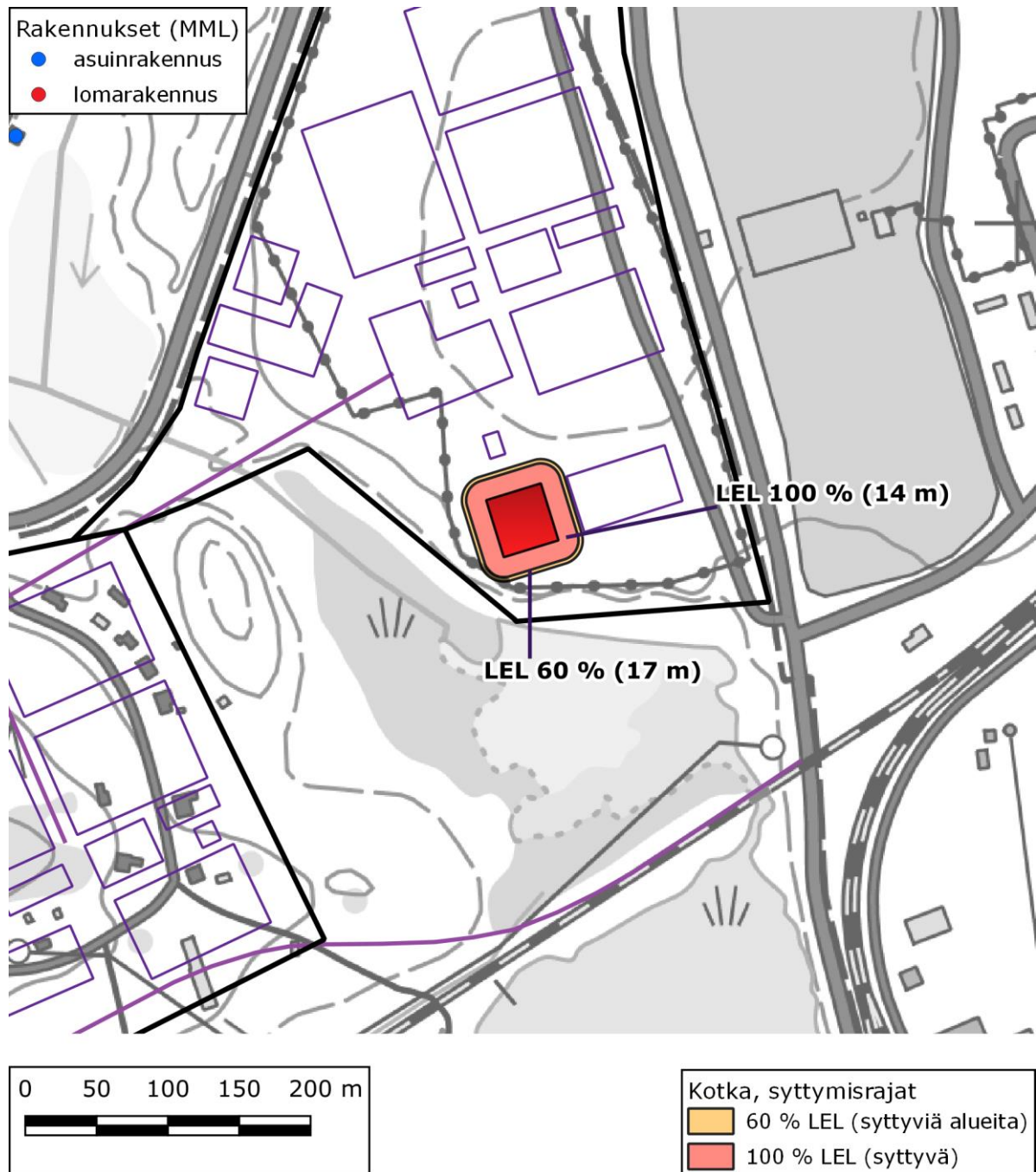
Kuva 26. Haminan stripperivuoto sen yläosasta ja vapautuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 4 m/s, neutraalit olosuhteet (D). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



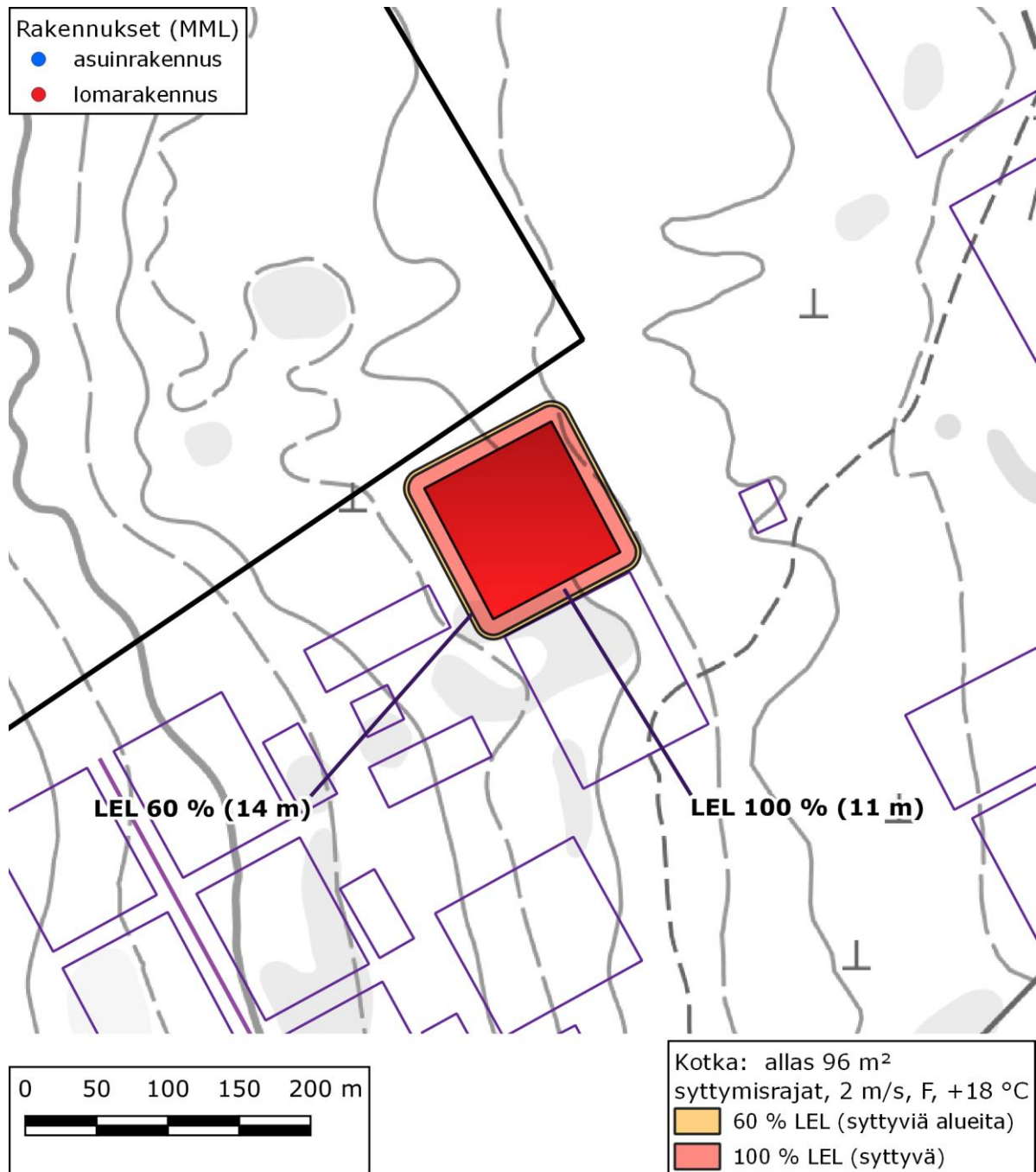
Kuva 27. Haminan stripperivuoto sen yläosasta ja vapautuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila -10 °C, tuulen nopeus 4 m/s, neutraalit olosuhteet (D). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



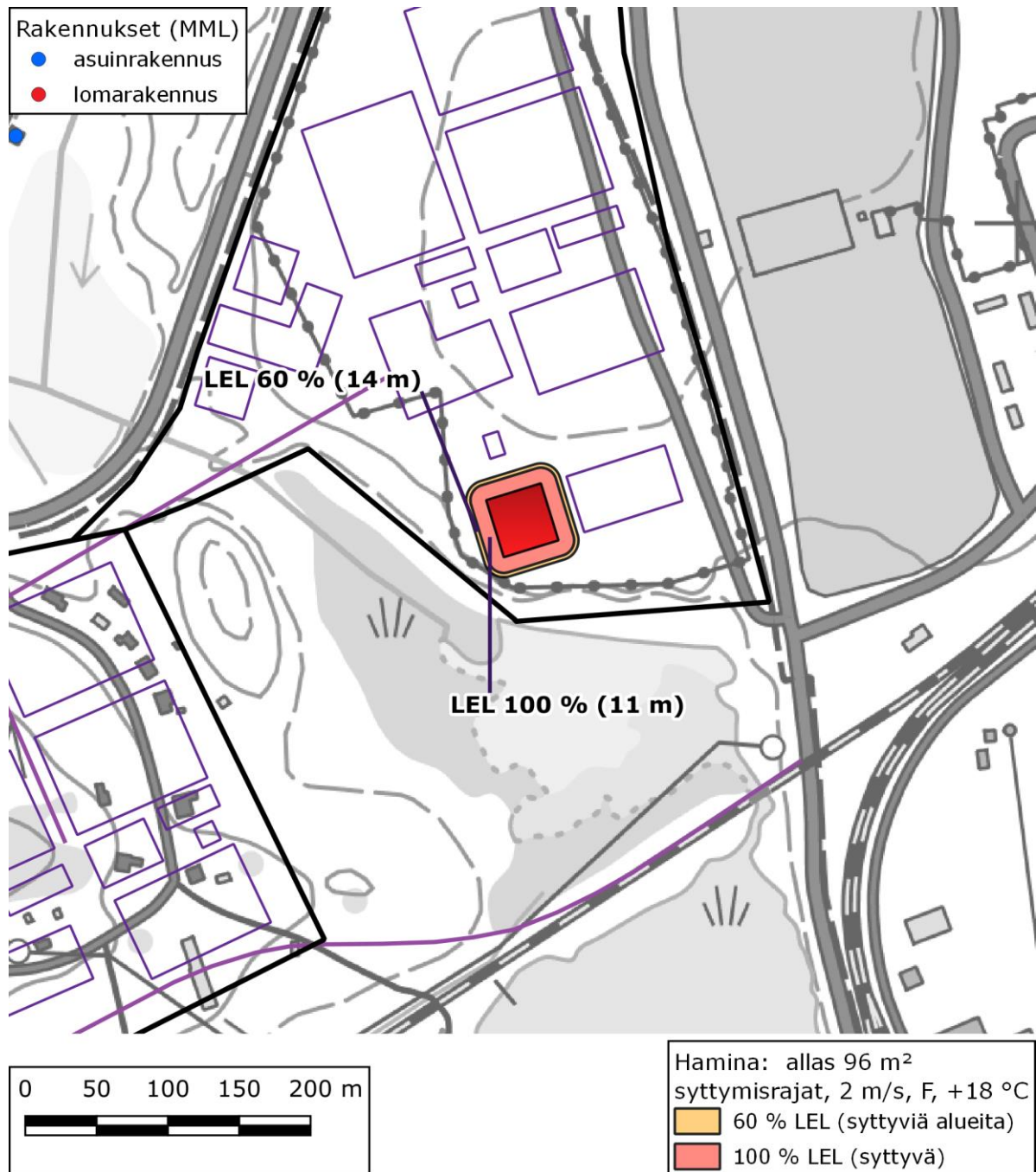
Kuva 28. Kotkan ammoniakkivesisäiliön vuototilanteen syttymisherkät vyöhykkeet, kun vuoto tapahtuu suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 60 m²) ja haihtuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



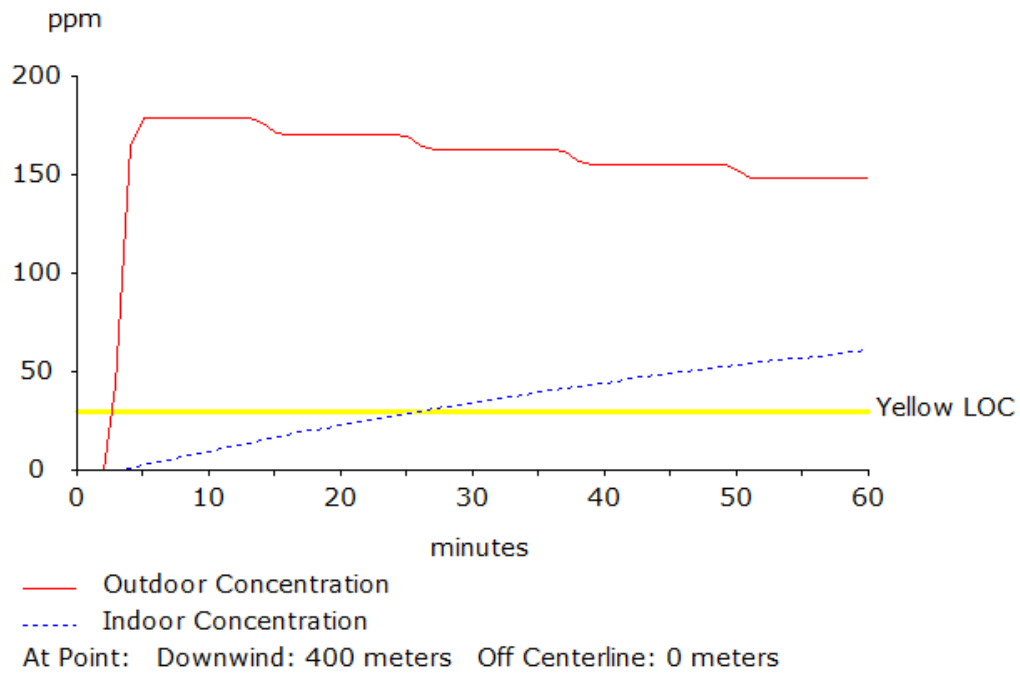
Kuva 29. Haminan ammoniakkivesisäiliön vuototilanteen syttymisherkät vyöhykkeet, kun vuoto tapahtuu suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 60 m²) ja haihtuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



Kuva 30. Kotkan ammoniakkivesisäiliön vuototilanteen syttymisherkät vyöhykkeet, kun vuoto tapahtuu suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 40 m²) ja haihtuvan ammoniakkin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



Kuva 31. Haminan ammoniakkivesisäiliön vuototilanteen syttymisherkät vyöhykkeet, kun vuoto tapahtuu suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 40 m²) ja haihtuvan ammoniakin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi.



Kuva 32. Ammoniakkipitoisuuden kohoaminen 400 m etäisyydellä suoja-altaasta tuulen alapuolella. Tilanne mallinnettu Haminan ammoniakkivesisäiliön vuototilanteeseen suoja-altaan yhteen lohkoon (koko 40 m²) ja haihtuvan ammoniakin leviäminen, lämpötila +18 °C, tuulen nopeus 2 m/s, stabiilit olosuhteet (F). Laskennassa oletetaan maasto avoimeksi. Sisätilojen ilmanvaihtona on käytetty kerrointa 0,5/h.