

Vastaanottaja
EPV Energia Oy

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
10.9.2024

Laihian energiavaraston kaasumaisen hiilidioksidi- vuodon mallinnukset

EPV Energia Oy

Laihian energiavaraston kaasumaisen hiilidioksidivuodon mallinnukset

EPV Energia Oy

Projekti **Laihian energiavarasto, YVA-selostus**
Projekti nro **1510081730-003**
Vastaanottaja **EPV Energia Oy**
Asiakirjatyyppi **Raportti**
Versio **1.0**
Päivämäärä **10.9.2024**
Laatija **Toni Keskitalo**
Tarkastaja **Heikki Lamberg**

Ramboll
Ylistönmäentie 26
40500 JYVÄSKYLÄ

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

Sisältö

1.	Johdanto	2
2.	Aineisto ja menetelmät	2
2.1	Kohteen yleiskuvaus	2
2.2	Sääolot ja leviämisolot	2
2.3	Hiilidioksidin ominaisuuksia	4
2.4	Hiilidioksidipitoisuuden vertailutasot	5
2.5	Vuototilanteiden mallinnus	6
2.5.1	ALOHA-malli	6
2.5.2	HyRAM+-malli	6
2.6	Mallien lähtötiedot	6
2.7	Epävarmuustekijöitä	7
3.	Tulostaulukot	8
4.	Tuloskuvat	9
4.1	Kaasuvarasto	9
4.2	Korkean lämpötilan varasto	13
4.3	Kuuman hiilidioksidin kohoaminen	15
5.	Tulosten tarkastelu ja päätelmät	16
6.	Lähteitä	17

Pohjakarttoina on käytetty Maanmittauslaitoksen avoimia aineistoja, lisenssi BY-CC 4.0, elokuu 2024: peruskarttarasteri, maastokarttasarja 1:50000.

1. JOHDANTO

Tämä onnettomuustilanteiden selvitys liittyy EPV Energia Oy:n YVA-hankkeeseen, jossa Laihialle suunnitellaan hiilidioksidin olomuodon muutoksiin perustuvaa energiavarastoa. Energiavarastossa on suljetussa kierrossa suuria määriä hiilidioksidia, jota varastoidaan matalapaineisena kaasuvastastoissa, kaasumaisena matalan lämpötilan varastoissa, kaasumaisena korkean lämpötilan varastoissa ja paineistettuna nestemäisenä.

Tässä selvityksessä tarkastellaan kaasumaisen hiilidioksidin **kaasuvarastosta** sekä **korkean lämpötilan varastosta** tapahtuvien vuotojen seurauksia.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Kohteen yleiskuvauk

Energiavarastoa lähimpänä sijaitseville asuintaloille Jokiperän kylässä on varastolta matkaa noin 2,5 km suuntaan itäkoillinen. Lähimmät lomarakennukset sijaitsevat vähän yli kilometrin etäisyydellä koilliseen energiavarastosta.

Energiavaraston yksi CO₂-akkuyksikkö muodostuu kaasuvastastosta (kaasumaisen hiilidioksidin varasto matalassa paineessa), nestemäisen hiilidioksidin varastosta, korkean lämpötilan varastosta (TES, *thermal energy storage*), vesivaraajista (matalan lämpötilan varastot) sekä turbiinista, kompressorista ja jäähdyttimistä. Lopulta energiavaraston on tarkoitus koostua kahdeksasta akkuyksiköstä.

2.2 Sääolot ja leviämisolot

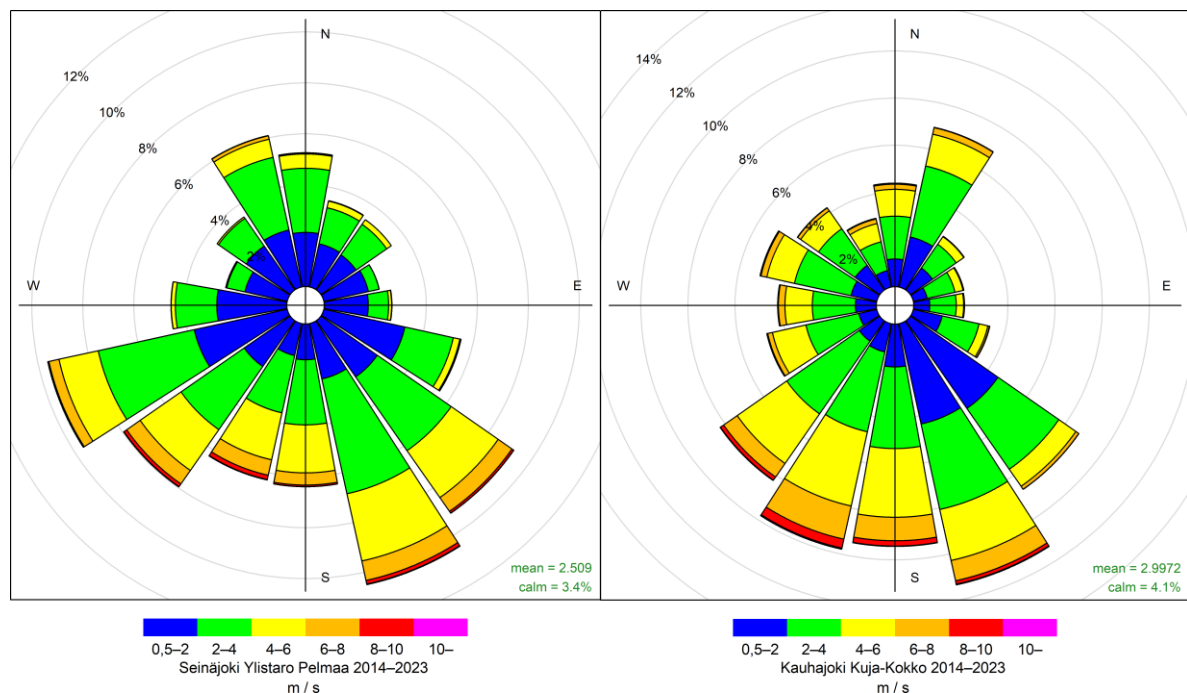
Hankealueen läheisyydessä ei sijaitse Ilmatieteen laitoksen sääasemia. Lähin asema on 21 kilometriä koilliseen sijaitseva Seinäjoki Ylistaro Pelmaa ja seuraavaksi lähin on Seinäjoen lentoasema Ilmajoella (34 km itäkaakkoon). Alla (Taulukko 1) on listattu hankealuetta lähimpänä sijaitsevia Ilmatieteen laitoksen asemia, joilla mitataan tuulia. Rannikolla ja sen lähellä sijaitsevista Korsnäs Bredskäretin ja Vaasan Klemettilän asemilla tuulet ovat selvästi voimakkaampia kuin sisämaassa. Avoimilla lentoasemilla ja lentokentillä tuulet ovat myös jonkin verran voimakkaampia kuin metsäalueilla. Tämän perusteella arvioidaan, että Seinäjoen Ylistaron Pelmaan ja Kauhajoen Kuja-Kokon (etäisyys 43 km etelään) asemien säähavainnot vastaavat parhaiten hankealueen sääoloja.

Taulukko 1. Hankealuetta lähimpänä sijaitsevat sääasemat.

Sääasema	Etäisyys [km]	Ilmansuunta hankealueelta asemalle
Seinäjoki Ylistaro Pelmaa	21	koillinen
Ilmajoki Seinäjoen lentoasema	34	itäkaakko
Vaasan lentoasema	37	pohjoisluode
Kauhajoki Kuja-Kokko	43	etelä
Vaasa Klemettilä	44	pohjoisluode
Korsnäs Bredskäret	54	länsiluode
Kauhajoen lentokenttä	55	itäkoillinen

Alla on esitetty tuulen suuntien ja nopeuden jakaumat Seinäjoen Ylistaron Pelmaan ja Kauhajoen Kuja-Kokon sääasemilla kymmenen vuoden jaksolla 2014–2023 tuntitasolla laskettuna (Ilmatieteen

laitos, avoin data). Tuulten jakauma oli valituilla asemilla likimain samankaltainen siten, että valta-osa tuulista kymmenen vuoden aikana on puhaltanut eteläsektorista. Yleisimmät tuulen suunnat Pelmaalla olivat eteläkaakko (10,5 % ajasta), länsilounas (9,6 %), kaakko (9,2 %) ja lounas (8,0 %). Kuja-Kokossa yleisimmät suunnat olivat eteläkaakko (11,3 % ajasta), etelälounas (9,8 %), etelä (9,4 %) ja kaakko (8,7 %). Vuototilanteessa matalapaineinen hiilidioksidi kulkeutuisi tuulen mukana todennäköisemmin pohjoissektoriin, mutta mitään kulkeutumissuuntaa ei voida sulkea pois.



Kuva 1. Tuulen suuntien ja nopeuden jakaumat Seinäjoen Ylistaron Pelmaan (vasemmalla) ja Kauhajoen Kuja-Kokon (oikealla) sääasemilla vuosina 2014–2023 tuntitasolla laskettuna (Ilmatieteen laitos, avoin data). Kaavio kertoo, mistä suunnasta on tuullut.

Ilmakehän stabiilisuusluokat (ns. Pasquillin–Giffordin luokat) kuvaavat sitä, miten tehokkaasti sekoittumista tapahtuu. 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 tai laimenemaan nopeasti. F-luokassa tuuli on heikkoa, ja sekoittuminen vähäistä, jolloin vuodosta muodostuvassa kaasupilvessä voi esiintyä suhteellisen pitkän aikaa korkeampia pitoisuuksia.

Tukesin ohjeen mukaan onnettomuusmallinnukset pitäisi tehdä neutraaleihin (luokka D) ja stabiileihin (luokka F) oloihin (Tukes 2021).

Yleisesti Suomessa neutraali D-luokka on yleisin, osuuden ollessa 50 % tai enemmän vuoden tunteista. Stabiili F-luokka on harvinaisempi. Osuus vaihtelee suuresti, mutta sitä on yleensä enintään 10 % vuodesta. Epästabiileissa A- ja B-luokissa lasketut etäisyydet jäävät jonkin verran pienemmiksi kuin neutraaleissa oloissa.

2.3 Hiilidioksidin ominaisuuksia

Normaalitilassa hiilidioksidi on ilmaa raskaampi, väritön ja hajuton kaasu (TTL 2024). Seuraavassa on esitetty yhdisteen yleisiä ominaisuuksia (Taulukko 2).

Taulukko 2. Hiilidioksidin ominaisuuksia (TTL 2024, CRC 2004). Tiheys kaasuväestön ja korkean lämpötilan väestön olosuhteissa laskettiin ALOHA-mallilla.

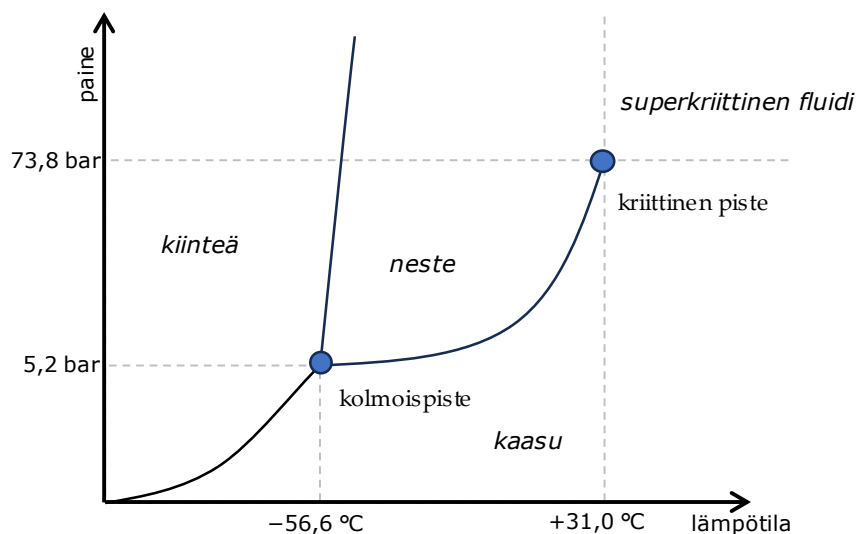
Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
sublimaatiolämpötila, 1,01325 bar (normaali ilmanpaine)	°C	−78,5
kolmoispisteen lämpötila	°C	−56,6
kolmoispisteen paine	bar	5,2
kriittinen lämpötila	°C	31,0
kriittinen paine	bar	73,8
tiheys, kaasu, +25 °C, 1,01325 bar (normaali ilmanpaine)	kg/m ³	1,8
tiheys, kaasu, +15 °C, 1,120 bar (kaasuväestö)	kg/m ³	2,1
tiheys, kaasu, +400 °C, 70 bar (korkean lämpötilan väestö)	kg/m ³	56

Yhdisteillä on tyypillisesti kaksi lämpötilan ja paineen yhdistelmää, jotka ovat kullekin yhdisteelle ominaiset. *Kolmoispisteessä* kiinteä, nestemäinen ja kaasumainen olomuoto eli *faasi* ovat tasapainossa. Kun lämpötila on korkeampi kuin kolmoispisteen lämpötila ja paine pienempi kuin kolmoispisteen paine, niin aine ei voi esiintyä nestemäisessä olomuodossa. Hiilidioksidin kolmoispisteen paine on 5,2 bar ja lämpötila −56,6 °C, joten normaalissa ilmanpaineessa (noin 1 bar) ja tavallisissa lämpötiloissa hiilidioksidi on kaasu.

Kiinteä hiilidioksidi (kuivajää) muuttuu normaalipaineessa suoraan kaasuksi eli sublimoituu. Nestemäisessä olomuodossa hiilidioksidi voi esiintyä vain suuremmassa paineessa kuin 5,2 bar, joten ulkoilmaan vapautuva nestemäisen hiilidioksidin vuoto muuttuu kaasuksi. Samalla sen vaatima tilavuus kasvaa monisatakertaiseksi (TTL 2024).

Kriittistä pistettä korkeammissa lämpötiloissa ja suuremmissa paineissa ei ole olemassa nestemäistä tai kaasumaista olomuotoa. Aineen olomuoto on sen sijaan ns. *superkriittinen fluidi*, jonka tiheys on nestettä pienempi mutta suurempi kuin kaasulla. Niissä kohteissa, joiden vuotoja tässä selvityksessä tarkastellaan, hiilidioksidi on kaasumaisessa tilassa lähellä normaalia ilmanpainetta (kaasuväestö) tai kuumana, paineistettuna kaasuna (korkean lämpötilan väestö). Erityisesti koska korkean lämpötilan väestössä paine on 70 bar eli kriittistä pistettä pienempi, superkriittisen fluidin ominaisuuksia ei tarvitse ottaa huomioon.

Alla on esitetty yleistetty ja yksinkertaistettu *faasidiagrammi*, jossa on esitetty yhdisteen olomuodot lämpötilan ja paineen vaihdellessa. Kuvaan on myös merkitty hiilidioksidin kolmoispisteen ja kriittisen pisteen lämpötilat ja paineet. (Kuva 2).



**Kuva 2. Yleistetty ja yksinkertaistettu faasidiagrammi lämpötilan ja paineen funktiona, aineen olo-
muodot sekä hiilidioksidin kolmoispisteen ja kriittisen pisteen lämpötila ja paine.**

2.4 Hiilidioksidipitoisuuden vertailutasot

Tukes-ohjeessa Turvallisuusselvitys (Tukes 2021) ohjeistetaan, että terveysvaaran arvioimiseen pitäisi käyttää kemikaalin AEGL-pitoisuustasoa (*Acute Exposure Guideline Levels for Selected Air-borne 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.

Hiilidioksidille on olemassa vain IDLH-arvo. IDLH on suurin pitoisuus, jolle terve työntekijä voi altistua puolen tunnin ajan saamatta palautumattomia vaurioita tai poistumista vaikeuttavia vammoja. Hiilidioksidin pitoisuus 20 000 ppm (2 %) ei aiheuta haitallisia terveysvaikutuksia, mutta tätä suuremmissa pitoisuuksissa hengitys kiihtyy ja voi tulla päänsärkyä. Sille on olemassa myös työhygieniassa määritelty HTP-arvo (haitalliseksi tunnettu pitoisuus) 8 tunnin altistusajalla. Rakennusterveysohjeessa (STM 2003) on esitetty myös ilmastoinnin kannalta merkityksellinen pitoisuus sisäilmassa. Tässä pitoisuudessa (1 500 ppm) ilma voi tuntua tunkkaiselta ja väsymistä voi tapahtua helpommin.

Mallien tuloksia tarkasteltaessa käytettiin IDLH-tasoa (40 000 ppm) ja sen puolikasta (20 000 ppm) sekä kahdeksan tunnin HTP-arvoa (5 000 ppm).

Taulukko 3. Hiilidioksidipitoisuuden vertailuarvoja terveyden kannalta (TTL 2024, STM 2003).

Vertailutaso	Selitys	Arvo ja yksikkö
IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health)	Suurin pitoisuus, jolle terve työntekijä voi altistua 30 minuutiksi saamatta palautumattomia terveydellisiä vaurioita tai poistumista vaikeuttavia vammoja	40 000 ppm (4,0 %)
puolet IDLH:sta	Suuremmissa pitoisuuksissa hengitys kiihtyy ja esiintyy päänsärkyä	20 000 ppm (2,0 %)
HTP 8 h (haitalliseksi tunnettu pitoisuus)	Työpaikan ilman haitalliseksi tunnettu pitoisuus, altistusaika 8 h	5 000 ppm (0,5 %)
sisäilma	suurempi pitoisuus osoittaa ilmanvaihdon riittämättömyyttä sisätiloissa	1 500 ppm (0,15 %)

2.5 Vuototilanteiden mallinnus

Kaasuvaraston ja korkean lämpötilan varaston vuodot päädyttiin laskemaan eri ohjelmistoilla. Kaasuvaraston vuototilanteet mallinnettiin ALOHA-ohjelmalla ja TES:n tilanteet käyttäen HyRAM+-ohjelmistoa. HyRAM+:n käyttöä perustellaan sillä, että kuumana hiilidioksidilla on nostetta, minkä takia käyttäytyminen maanpinnan lähellä muuttuu.

2.5.1 ALOHA-malli

Kaasuvarastojen 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 tarkasteltava aine ja sääolosuhteet, mm. tuulen nopeus ja suunta, pinnan rosoisuus (avoin, kaupunki/metsä, vesistö), pilvisuus, lämpötila, stabiiliusluokka, inversio ja ilman kosteus. Valittavia päästötyyppejä ovat lammikko, säiliö, kaasuputki ja suora päästö. Suorassa päästössä annetaan kemikaalin määrä, päästökorkeus ja kesto.

Yksi ALOHAN lähtötiedoista on tuulen suunta. Koska vuodon sattuessa tuulen suunta voi olla mikä tahansa, niin vyöhykkeet piirrettiin karttoihin joka suuntaan. Todellisuudessa päästö leviää suhteellisen kapeana kaistaleena, ns. päästöviuhkana (engl. *plume*) tuulen suuntaan. Heikolla tuulella eli mallinnuksen stabiileissa oloissa päästöviuhka on leveämpi kuin voimakkaamman tuulen vallitessa (neutraalit olot).

2.5.2 HyRAM+-malli

TES-tilanteen onnettomuusmallinnus tehtiin HyRAM+-ohjelmistolla. HyRAM+ (*Hydrogen Plus Other Alternative Fuels Risk Assessment Models*) on työkalu, jolla voidaan laskea esimerkiksi vedyn, metaanin, propanin ja hiilidioksidin sekä niiden seosten vuotojen leviämistä. HyRAM+:n käyttämä laskenta on validoitua. HyRAM+ ottaa huomioon seoksen ominaisuudet, kuten tiheyden suhteessa ilmaan.

2.6 Mallien lähtötiedot

Seuraavassa on esitetty malleissa käytetyt lähtötiedot (Taulukko 4). Kaasuvaraston ylipaine on YVA-ohjelman mukaan noin 0,1 bar. ALOHA-mallin rajoitusten takia käytettiin ylipainetta 0,106 bar eli kokonaispainetta 1,120 bar (1,105 atm). Kaasuvaraston vuodot mallinnettiin vuotoko'illa 25 cm ja 250 cm, joista ensimmäinen kuvaa suurta, mutta kenties joissain tilanteissa mahdollista vuotoa. Isompi vuoto kuvaa erittäin epätodennäköistä ja vakavaa tilannetta.

Korkean lämpötilan varaston vuodon koot olivat 5 cm ja 25 cm. Korkean lämpötilan varastosta lähtevän putken halkaisijaksi on kaavailtu 25 cm:ä, joten suurempi vuoto kuvaa tämän putken täydellistä murtumista. Pienempi vuoto kuvaa tilannetta, jossa putki esim. murtuu liitoskohdasta osittain. Vuodon on oletettu tapahtuvan vaakasuoraan.

Taulukko 4. Mallinnuksessa käytettyjä lähtötietoja sekä muita mallinnuksen tietoja. Korkean lämpötilan varaston HyRAM+-mallissa ei ole mahdollista ottaa huomioon tuulioloja tai maaston rosoisuutta.

Suure	Kaasuvarasto	Korkean lämpötilan varasto
mallinnusohjelmisto	ALOHA	HyRAM+
laskenta	raskas kaasu	Ewan/Moodie
kaasun kokonaispaine	1,105 atm 1,120 bar	69 atm 70 bar
kaasun lämpötila	+15 °C	+400 °C
mallinnetut vuotokoot	25 cm, 250 cm	5 cm, 25 cm
ulkoilman lämpötila	+15 °C	+15 °C
tuuli	neutraali (D): 5 m/s stabiili (F): 2 m/s	–
maaston rosoisuusaste	avoin maasto	–

2.7 Epävarmuustekijöitä

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 rosoisuuden (kasvillisuus, rakennettu ympäristö). Mallissa päästölähde on paikoillaan. Malli ei myöskään sovellu tyynien olosuhteiden mallintamiseen. Suurin arvo, jonka ALOHA laskee turvaetäisyydelle, on 10 km ja pienin 10 m.

HyRAM+:n rajoitteita käytetyssä versiossa 5.1.1 ovat rajalliset mahdollisuudet muuttaa ympäristöolosuhteita ja rajalliset mahdollisuudet asettaa vuotokohdan korkeus maanpinnasta palamattoman kaasun tapauksessa. HyRAM+ ei ota huomioon maaston tai tuulen vaikutusta.

Todellisessa vuototilanteessa kaasuväestöstä vapautunut, viileä hiilidioksidi kulkeutuu ilmaa raskaampana maastossa alaspäin. Energiavaraston ympäristössä maasto on sangen tasaista, mutta maasto alenee hieman koillisen suuntaan. Koillisen suunnassa sijaitsevat lähimmät lomarakennukset. Koska korkeuserot ovat kuitenkin pieniä, niin tuulen suunnan arvioidaan olevan korkeuseroja merkittävämpi tekijä hiilidioksidin kulkeutumisen kannalta, kun tuulta on edes vähän.

Kaasuvaraston ALOHA-mallit tehtiin käyttäen avoimen maaston rosoisuusastetta. Suunnitellun energiavaraston ympäristössä on kuitenkin puustoa, ja avosuota on suhteellisen vähän. Puusto hidastaa hiilidioksidin kulkua, joten todennäköisesti lasketut suojaetäisyydet ovat yliarvioita. Samalla energiavaraston lähellä pitoisuudet voivat vuototilanteessa jäädä suuremmiksi.

Korkean lämpötilan varaston HyRAM+-mallinnuksissa ei ollut mahdollista lisätä laskentaan ympäristön tai sääolojen vaikutusta. Korkean paineen takia vuotava kaasu vapautuu nopeasti, ja maaston vaikutus arvioidaan suhteellisen pieneksi.

3. TULOSTAULUKOT

ALOHA-mallilla lasketut kaasuväestön matalapaineisen hiilidioksidin vuodon nopeudet, kestot ja määrät on esitetty seuraavassa (Taulukko 5). Pienempikokoisessa vuodossa (25 cm) vuotoonopeus oli lähes sama koko ajan, ja ALOHA rajoitti vuodon keston tuntiin. Suuren vuodon (250 cm) seurauksena kaikki hiilidioksidi ei vapautunut, vaan vuoto kesti laskennallisesti siihen saakka, kunnes paine oli ilmanpaineen tasolla. HyRAM+ ei ota huomioon vuodon kestoja, joten sen tuloksissa ei ole myöskään vuotaneen hiilidioksidin määrää.

Taulukko 5. Kaasuväestön vuodolle (ALOHA) ja korkean lämpötilan vuodolle (HyRAM+) lasketut vuotoonopeudet, vuodon kestot ja vuotaneen hiilidioksidin määrä .

Kohde	Vuodon koko [cm]	Suurin vuotoonopeus [kg/min]	Vuodon kesto [min]	Vuotanut CO ₂ :n määrä [kg]
kaasuväestö	25	370	60	22 000
kaasuväestö	250	33 000	8	180 000
korkean lämpötilan varasto	5	25	–	–
korkean lämpötilan varasto	25	630	–	–

Alla on esitetty taulukkomuodossa mallinnuksen tulokset kaasuväestön (Taulukko 6) ja korkean lämpötilan varaston (Taulukko 7, Taulukko 8) vuoto-tilanteissa. Etäisyydet on laskettu maanpinnan lähelle ja korkean lämpötilan varaston vuodon tapauksessa myös ylemmäksi.

Taulukko 6. Onnettomuusmallinnuksen tuloksena (ALOHA) saadut hiilidioksidin pitoisuustasojen etäisyydet, kun vuoto on kaasuväestöstä.

Vuodon koko [cm]	Stabiilisuus	Tuulen nopeus [m/s]	Etäisyys [m] IDLH, 40 000 ppm	Etäisyys [m] 50 % IDLH, 20 000 ppm	Etäisyys [m] HTP 8 h, 5 000 ppm
25	D (neutraali)	5	29	47	119
25	F (stabiili)	2	48	77	182
250	D (neutraali)	5	296	482	1 200
250	F (stabiili)	2	517	874	1 900

Taulukko 7. Onnettomuusmallinnuksen tuloksena (HyRAM+) saadut hiilidioksidin pitoisuustasojen etäisyydet maanpinnan lähellä, kun vuoto tapahtuu korkean lämpötilan varastosta.

Vuodon koko [cm]	Etäisyys [m] IDLH, 40 000 ppm	Etäisyys [m] 50 % IDLH, 20 000 ppm	Etäisyys [m] HTP 8 h, 5 000 ppm
5	23	44	99
25	112	178	278

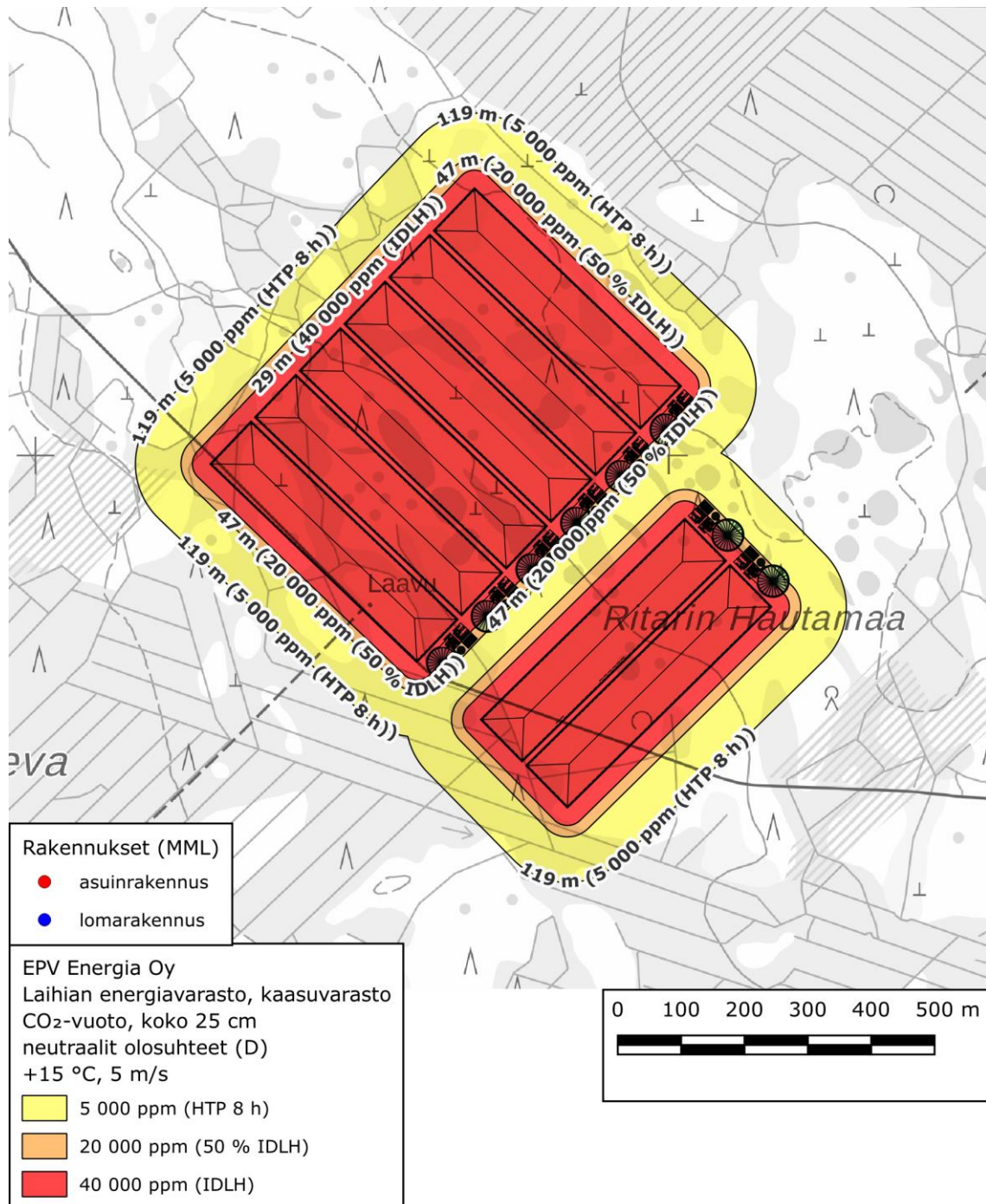
Taulukko 8. Onnettomuusmallinnuksen tuloksena (HyRAM+) saadut hiilidioksidin pitoisuustasojen suurimmat etäisyydet korkeudesta riippumatta, kun vuoto tapahtuu korkean lämpötilan varastosta.

Vuodon koko [cm]	Etäisyys [m] IDLH, 40 000 ppm	Etäisyys [m] 50 % IDLH, 20 000 ppm	Etäisyys [m] HTP 8 h, 5 000 ppm
5	23	45	148
25	113	204	473

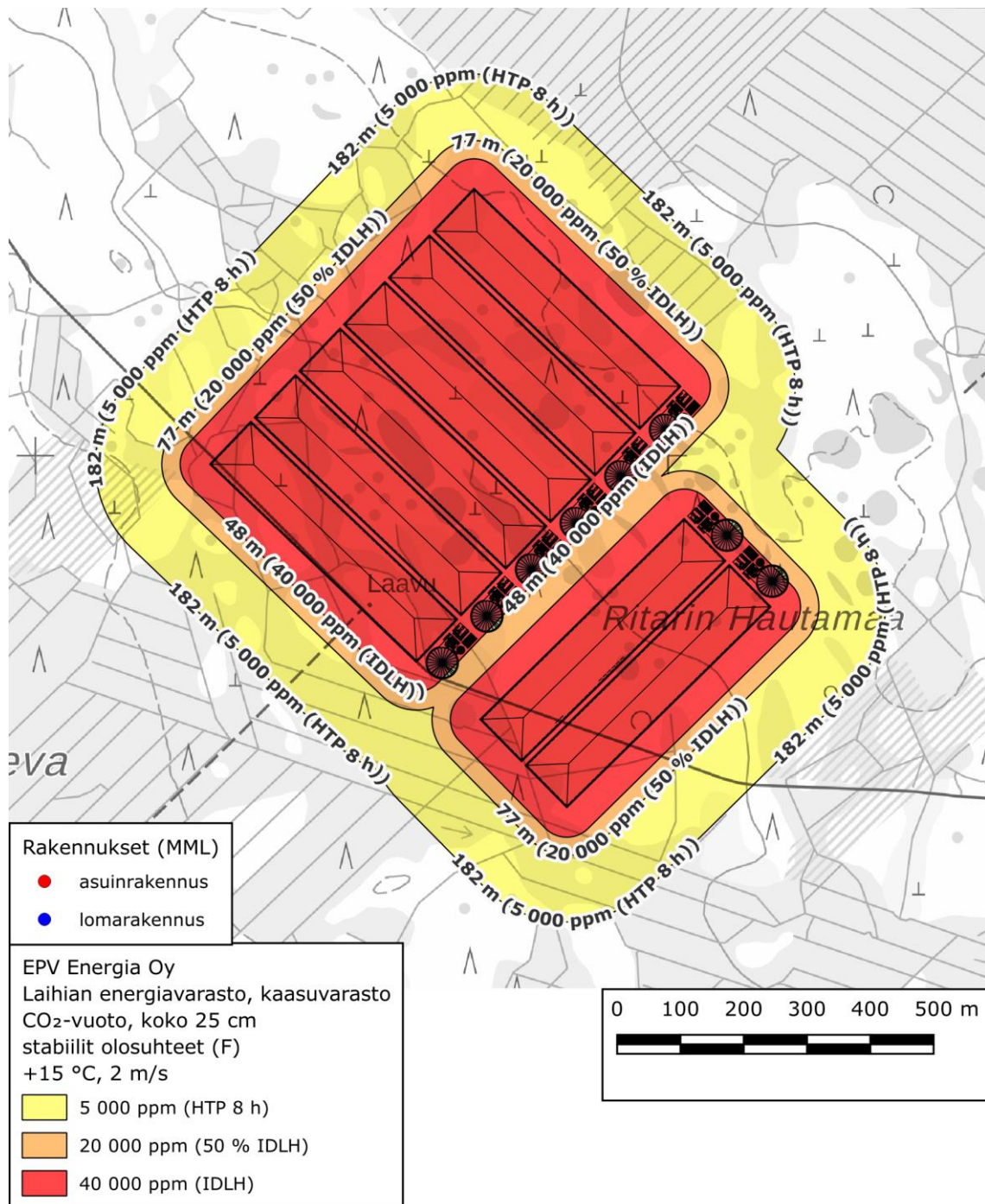
4. TULOSKUVAT

Kaasuvaraston vuodosta muodostuvat vyöhykkeet on piirretty kaikkien kaasuvästöjen ympärille (8 kpl) ja vastaavasti korkean lämpötilan västöjen vuodosta muodostuvat vyöhykkeet on piirretty kaikkien korkean lämpötilan västöjen ympärille (96 kpl).

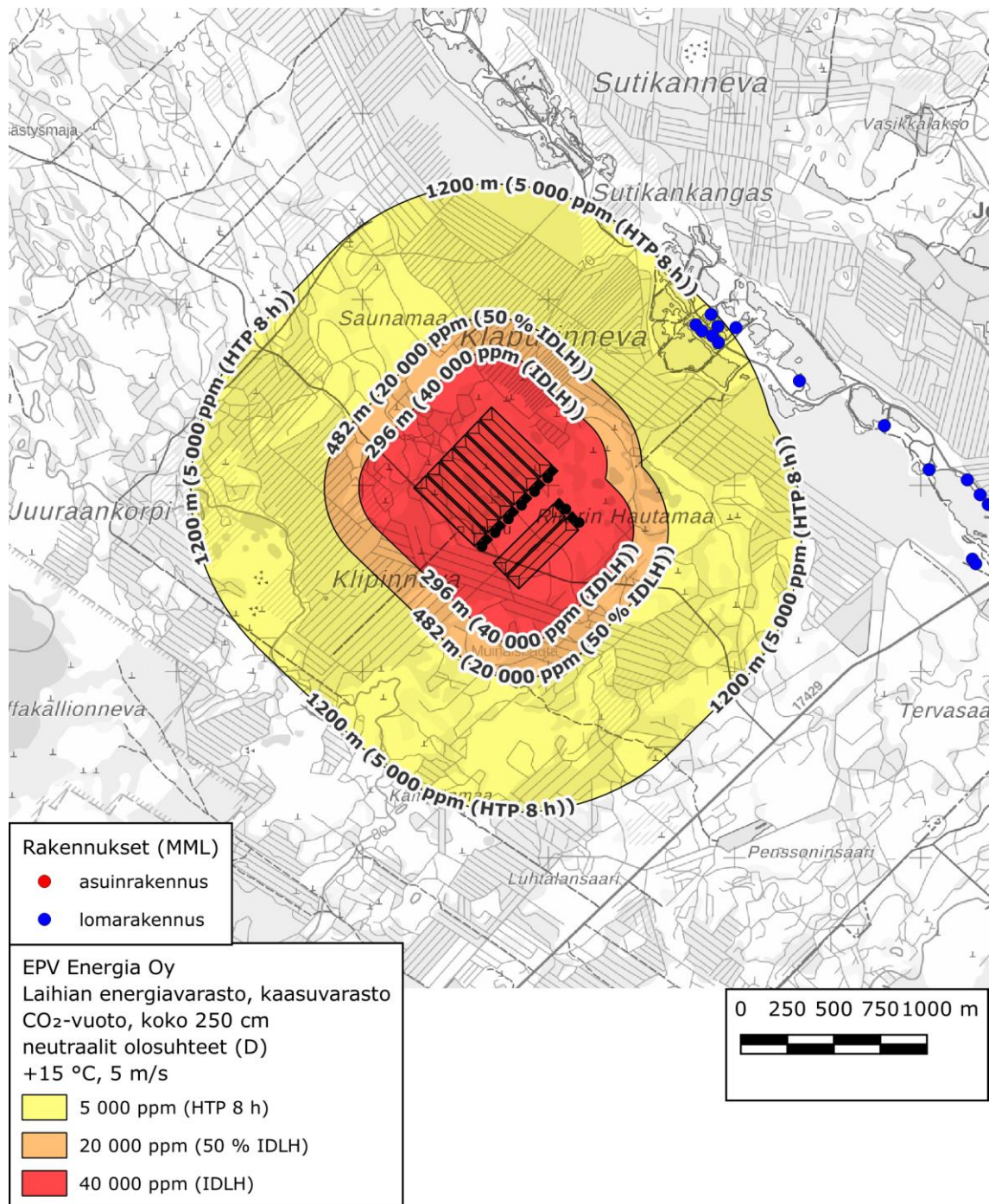
4.1 Kaasuvarasto



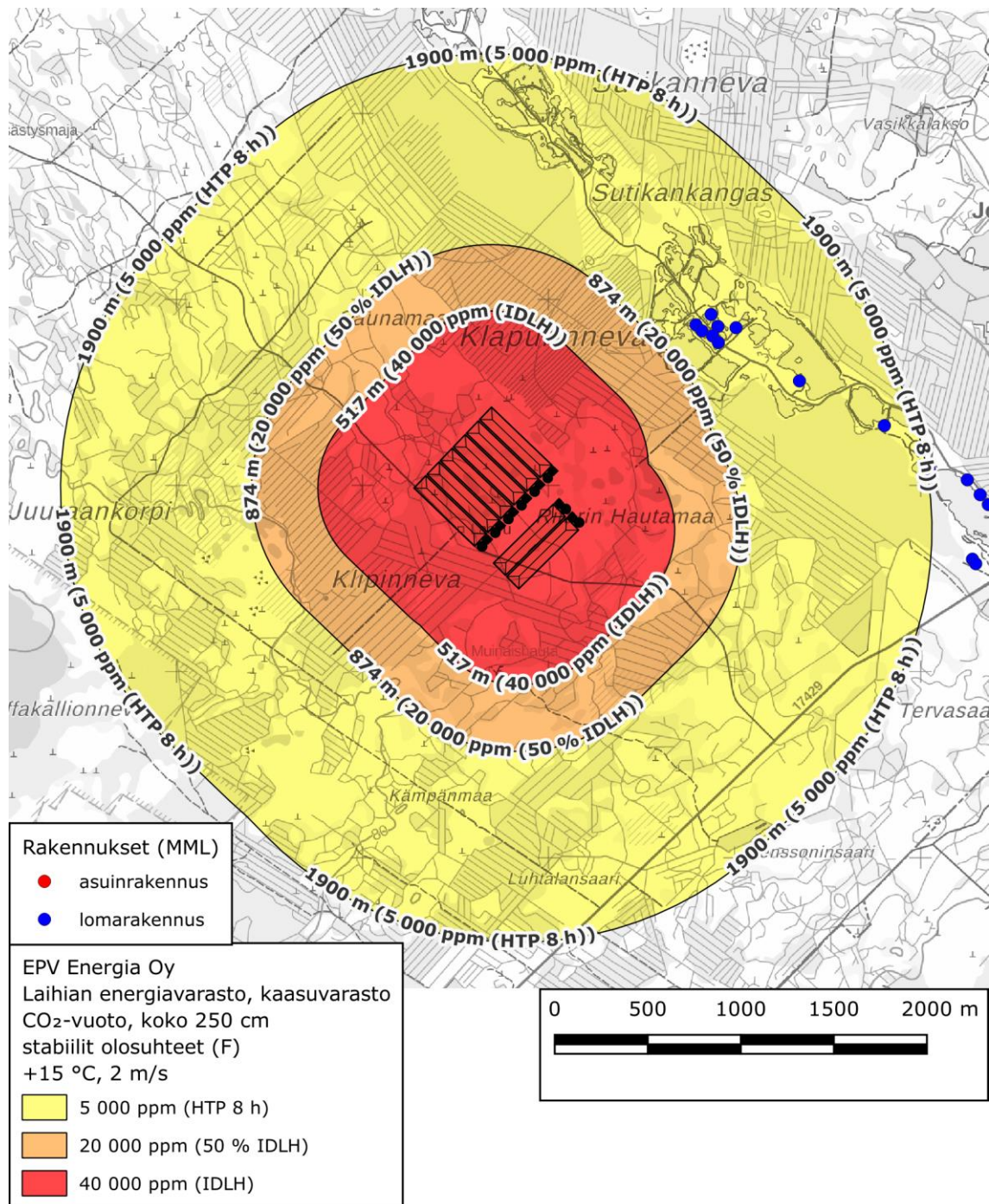
Kuva 3. Hiilidioksidin mahdolliset pitoisuusvyöhykkeet, jos kaasuvästöjen reunalla on 25 cm:n vuoto neutraaleissa oloissa (D), lämpötila +15 °C, tuulen nopeus 5 m/s.



Kuva 4. Hiilidioksidin pitoisuuksien mahdollinen esiintyminen, jos kaasuvaraston reunalla on 25 cm:n vuoto stabiileissa oloissa (F), lämpötila +15 °C, tuulen nopeus 2 m/s.

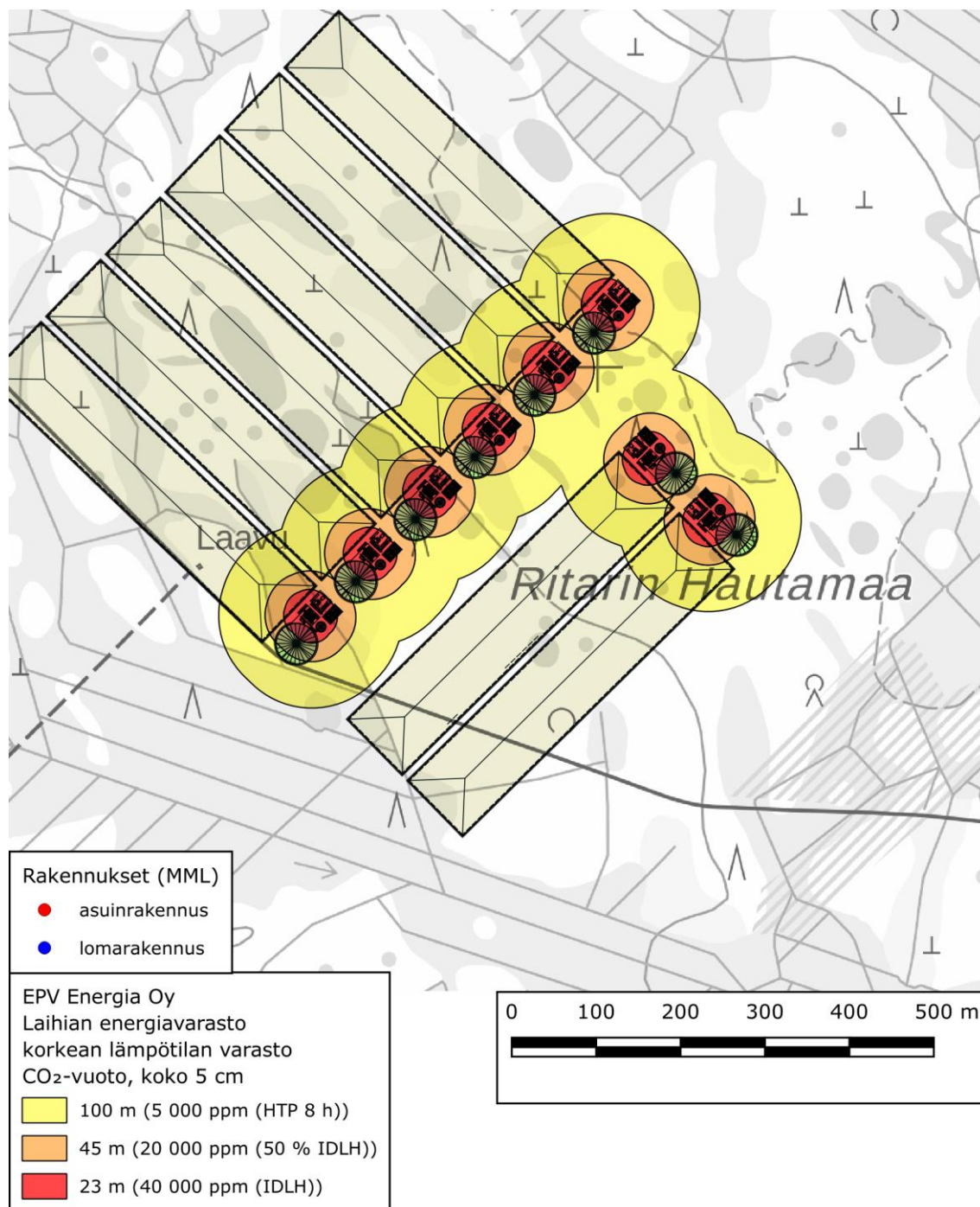


Kuva 5. Hiilidioksidin pitoisuuksien mahdollinen esiintyminen, jos kaasuvaraston reunalla on 250 cm:n vuoto neutraaleissa oloissa (D), lämpötila +15 °C, tuulen nopeus 5 m/s.

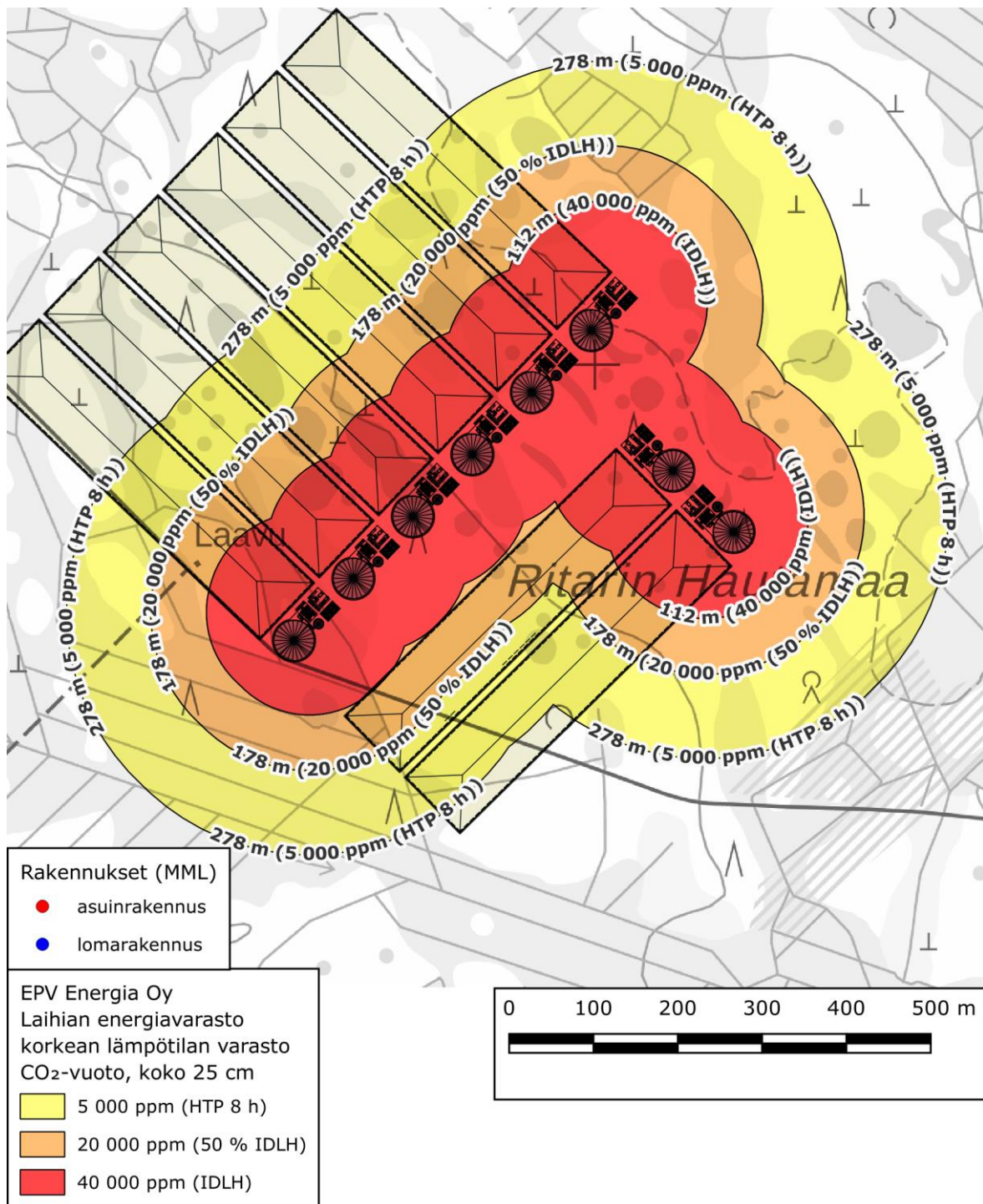


Kuva 6. Hiilidioksidin pitoisuuksien mahdollinen esiintyminen, jos kaasuvaraston reunalla on 250 cm:n vuoto stabiileissa oloissa (F), lämpötila +15 °C, tuulen nopeus 2 m/s.

4.2 Korkean lämpötilan varasto



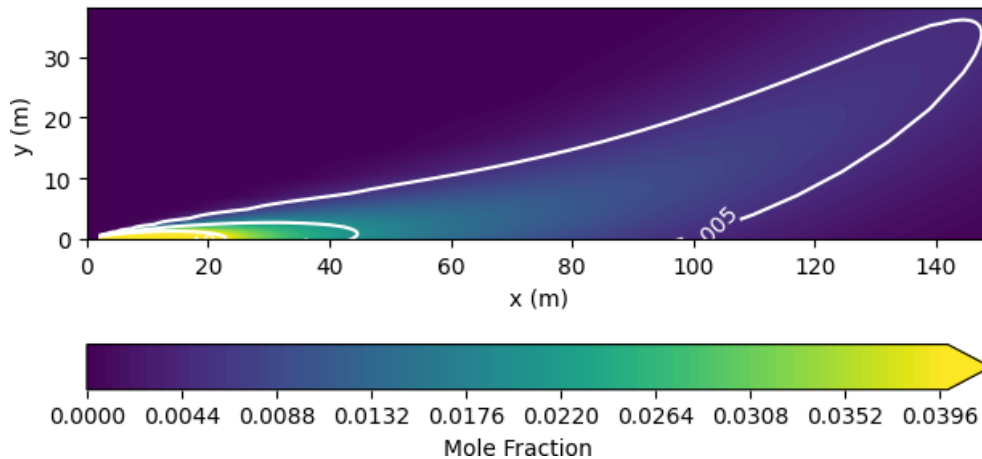
Kuva 7. Hiilidioksidin pitoisuuksien mahdollinen esiintyminen, jos korkean lämpötilan varastossa on 5 cm:n vuoto.



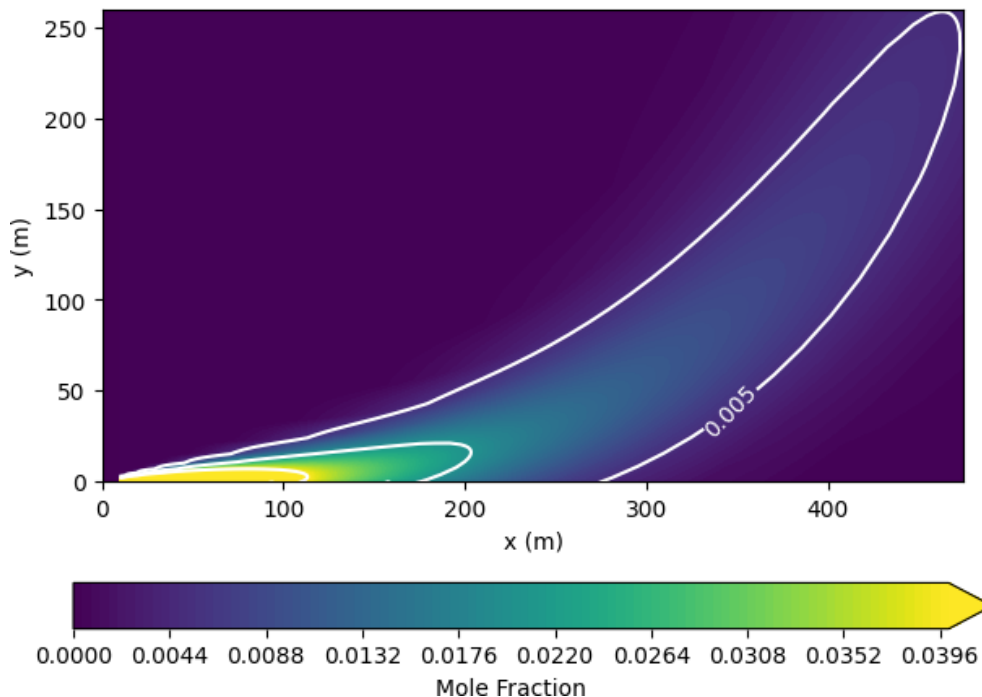
Kuva 8. Hiilidioksidin pitoisuuksien mahdollinen esiintyminen, jos korkean lämpötilan varastossa on 25 cm:n vuoto.

4.3 Kuuman hiilidioksidin kohoaminen

Korkean lämpötilan varaston lämpötila on niin korkea, että hiilidioksidin nosteen takia tasojen 20 000 ppm (50 % IDLH:sta) ja 5 000 (HTP 8 h) pitoisuuksia esiintyy myös merkittävästi korkeammalla. Tasolle 40 000 ppm (IDLH) noste ei ehdi olla merkittävä tekijä. Korkean lämpötilan varastosta vapautuvasta kaasusuihkusta laskettu kaaviokuva sivulta katsottuna on esitetty alla kummallekin vuotokoolle (Kuva 9, Kuva 10).



Kuva 9. Hiilidioksidivuodon leviäminen korkean lämpötilan varastosta sivusuunnassa, vuoto 5 cm. Asteikon yksikkö on mooliosuus. Mooliosuus 0,01 = 1 % = 10 000 ppm. Valkoiset viivat ovat pitoisuuksissa 40 000 ppm, 20 000 ppm ja 5 000 ppm (= 0,5 % = 0,005).



Kuva 10. Hiilidioksidivuodon leviäminen korkean lämpötilan varastosta sivusuunnassa, vuoto 25 cm. Asteikon yksikkö on mooliosuus. Mooliosuus 0,01 = 1 % = 10 000 ppm. Valkoiset viivat ovat pitoisuuksissa 40 000 ppm, 20 000 ppm ja 5 000 ppm (= 0,5 % = 0,005).

5. TULOSTEN TARKASTELU JA PÄÄTELMÄT

Kaasuvaraston mallinnettujen vuotojen aiheuttamat IDLH-pitoisuudet eivät ulottuneet asuin- tai lomarakennuksille. *Stabiileissa oloissa* (tuulen nopeus 2 m/s, lämpötila +15 °C) pitoisuus voisi olla kaasuvaraston *suuren vuodon* (koko 2,5 m) seurauksena yli 20 000 ppm yli 850 metrin etäisyydellä. Tämä vyöhyke ylsi Klapurinnevan yli Sutikantien molemmiin puoliin sijaitseville tekolammille, mutta ei loma-asunnoille. Pienemmän mallinnetun vuodon (koko 25 cm) aiheuttama vyöhyke 20 000 ppm ylsi kaukaisimmillaan (*stabiileissa oloissa*) 77 metrin etäisyydelle kaasuvarastosta.

Maasto alenee loivasti hankealueelta koillisen suuntaan. Tässä suunnassa sijaitsevat mainitut tekolammet ja lomarakennukset. Tuulen arvioidaan olevan maastonmuotoja merkittävämpi tekijä hiilidioksidin leviämisen kannalta.

Mallinnetut hiilidioksidivuodot korkean lämpötilan varastosta eivät aiheuta terveysvaaraa asutukselle tai lomakiinteistöille.

Kartoilla esitetty pitoisuusvyöhyke 5 000 ppm on merkityksellinen, jos tässä pitoisuudessa oleskeltaisiin kahdeksan tunnin ajan. Lyhytaikaisena tämä hiilidioksidipitoisuus ei aiheuta terveyshaittaa.

Terveydelle vaaralliset tilanteet arvioidaan epätodennäköisiksi lähimmillä lomarakennuksilla ja asuinrakennuksilla mallinnettujen vuototilanteiden seurauksena. Hankealuetta lähempänä tehtävään toimintaan kuten metsässä tai suolla ulkoiluun tai marjanpoimintaan kohdistuu vuodon sattuessa suurempi uhka.

Suurimmat uhat kohdistuvat energiavarastolla työskenteleviin henkilöihin. Koska laitoksen on tarkoitus olla etäkäytössä eikä laitosalueella siten ole normaalisti työntekijöitä, riski pienenee selvästi.

Korkean lämpötilan varaston vuodoissa hiilidioksidi on hyvin kuumaa. Onnettomuusmallit eivät kerro sitä, kuinka kuumaa vapautunut kaasu on ja kuinka nopeasti se jäähtyy, mutta arvion mukaan palovammojen vaara on erittäin suuri kaasusuihkun kohdalla.

Mallinnustulokset eivät ota kantaa siihen, kuinka todennäköisiä tilanteet ovat. Todennäköisyyksiä ja seurausten vakavuutta voidaan kartoittaa riskinarvioinnilla. Riskinarvioinnin tuloksena saadaan tapahtuman todennäköisyyden ja seurausten vakavuuden yhdistelmä. Se kertoo, kuinka merkittävästä riskistä lopulta on kyse.

RAMBOLL FINLAND OY

Ympäristö ja terveys / Ilmanlaatu ja melu



Toni Keskitalo
tutkimuspäällikkö



Heikki Lamberg
ympäristöasiantuntija

6. LÄHTEITÄ

ALOHA: ALOHA 5.4.7, Areal Locations of Hazardous Atmospheres. Office of Emergency Management, EPA (Environmental Protection Agency), Emergency Response Division, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Syyskuu 2016.

CRC 2004: CRC Handbook of Chemistry and Physics, 85th edition, CRC Press, 2004.

HyRAM+: Brian D. Ehrhart, Cieran Sims, Ethan S. Hecht, Benjamin B. Schroeder, Benjamin R. Liu, Katrina M. Groth, John T. Reynolds, and Gregory W. Walkup. HyRAM+ (Hydrogen Plus Other Alternative Fuels Risk Assessment Models), Version 5.1.1. Sandia National Laboratories (February 8, 2024); software available at: <https://hynam.sandia.gov>. 12.2.2024.

Ramboll 2024: Energiavarasto, Laihia. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma. EPV Energia Oy. Ramboll Finland Oy, 8.5.2024.

STM 2003: Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki 2003. ISBN 952-00-1301-6.

TTL 2024: OVA-ohjeet / hiilidioksidi. Viimeksi päivitetty 25.05.2022. Työterveyslaitos. URL: <https://ova.ttl.fi/hiilidioksidi>. Tallennettu 19.8.2024.

Tukes 2021: Tukes-ohje 22/2021. Turvallisuusselvitys. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, 20.8.2021.