

Ulvilan kaupunki
Keskustaajaman yleiskaava 2045

PIRUNKYNNEN ALUEEN

SUURONNETTOMUUSRISKISELVITYS



Tilaaja

Ulvilan kaupunki

PL77, 28401 Ulvila

Juha Virola

Kaupunkisuunnittelun johtaja

etunimi.sukunimi@ulvila.fi

Konsultti

Sitowise Oy

Vuolteenkatu 2, 33100 Tampere

Puh. 0207476000

etunimi.sukunimi@sitowise.com

Maarit Virkkunen / Projektipäällikkö

Eliisa Kuusama / Tekijä

Jani Halonen / Tekijä

Panagiotis Toledos / Tekijä

Joni Kinnunen / Sisäinen laadunvalvonta

Päivämäärä: 9.4.2025

Sisällysluettelo

1	Tausta ja tavoitteet.....	4
2	Työn toteutus.....	4
3	Tuotantolaitosten sijoittaminen.....	5
4	Tukesin ohjeistus.....	5
5	Kemikaalikuljetukset.....	6
6	Lämpösaateilyn ja painevaikutusten raja-arvoja.....	6
7	Arvion lähtötiedot.....	7
8	Vedyn tuotantolaitoksen onnettomuusriskien arviointi.....	9
9	Vedyn mallinnusskenaariot.....	10
10	Ammoniakin turvallisuus.....	23
11	Ammoniakin mallinnusskenaariot.....	24
12	Metaanin/maakaasun turvallisuus.....	31
13	Metaanin mallinnusskenaariot.....	31
14	Vaikutukset Porin lentoasemaan.....	37
15	Tulosten tarkastelu.....	39
16	Johtopäätökset.....	40
	Lähteet.....	43
	Liitteet.....	44

1 Tausta ja tavoitteet

Pirunkynnen eteläpuoliselle alueelle suunnitellaan teollisuusaluetta, joka mahdollistaisi vihreiden siirtymien hankkeiden sijoittumisen (T-kem). Suuronnettomuuden mahdollisuus ja sen riskit ovat tärkeää ottaa huomioon asemakaavaprosessissa, jotta voidaan varmistaa maankäyttö- ja rakennuslain edellyttämä terveellinen, turvallinen ja viihtyisä elinympäristö. Suuronnettomuusriskien arvioiminen vaikuttaa myös teollisuusalueiden ympäristön maankäytön suunnitteluun, esimerkiksi vaikeasti evakuoitavia kohteita ei tule sijoittaa lähelle näitä teollisuuslaitoksia.

Kaavoituksen tueksi Ulvilan kaupunki tarvitsee päivitettyä tietoa alueen suuronnettomuusriskeistä. Pirunkynnen alueelle on suunniteltu lähes 400 hehtaarin yhtenäinen alue vihreän teollisuuden käyttöön. Suunniteltu teollisuusalue sijaitsee kaupungin itäpuolella keskustaajaman ulkopuolella, lähellä Porin kunnan rajaa. Valtatie 2:lle on matkaa n. 5,5 km. Porin lentoasemalle on matkaa n. 6 km. Tarkasteltu alue on esitetty karttakuvassa 1.

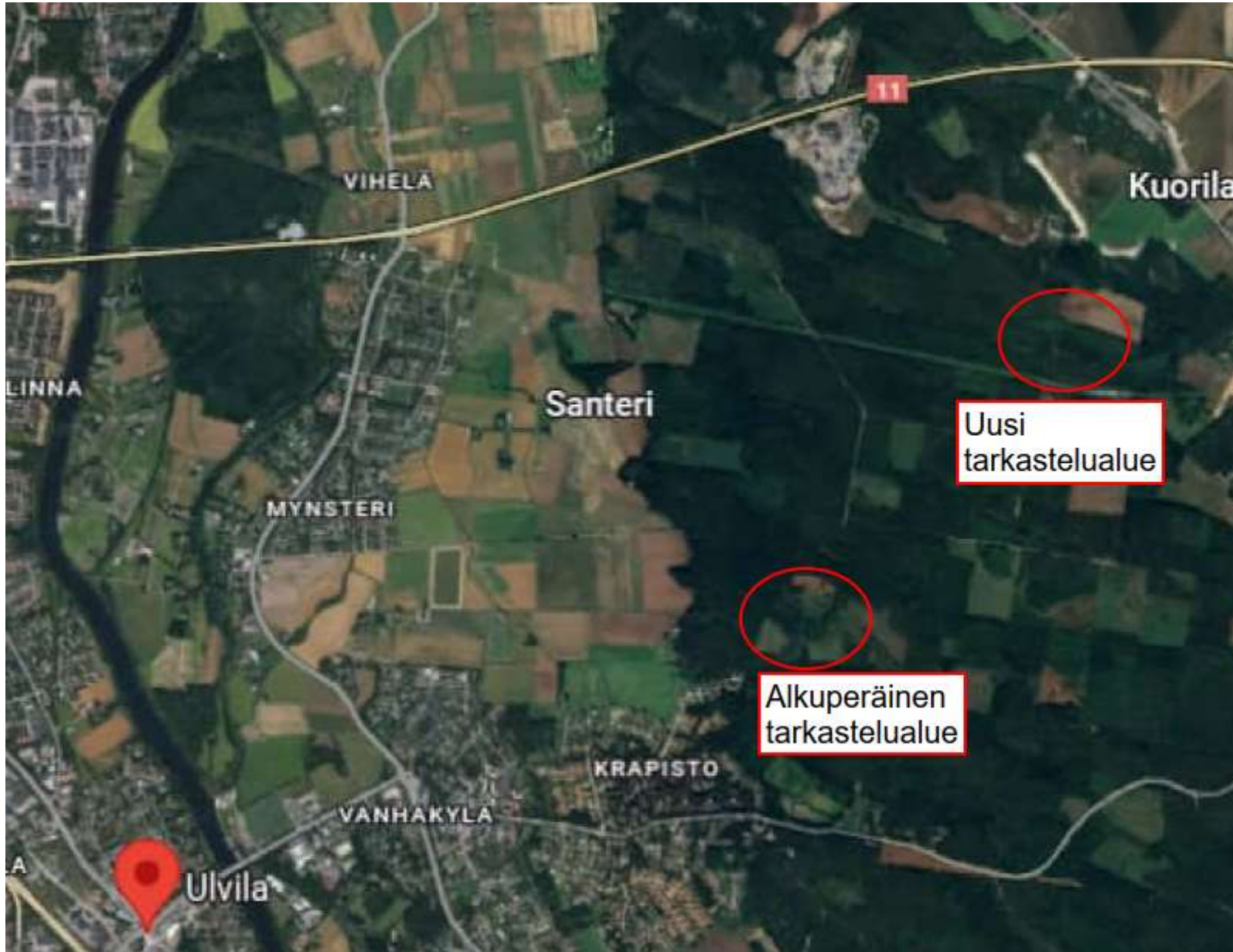
Selvityksen pyrkii kokonaiskuvan muodostamiseen Pirunkynnen teollisuusalueen suuronnettomuusriskien vaikutuksista lähialueille, ja mille etäisyyksille erilaiset teollisuuden toiminnot voivat sijoittua aiheuttamatta vaaraa lähialueen asukkaille ja kriittisille kohteille. Alueen toimijoita ei ole vielä valittu. Tavoitteena työlle on laatia alustava suuronnettomuusriskiselvitys teollisuusalueen kaavoituksen tueksi. Suuronnettomuusselvitykseen liittyy epävarmuustekijöitä, sillä selvitys on tuotettu kaavoitusvaiheessa saatavilla olevien tietojen pohjalta.

2 Työn toteutus

Selvityksessä on arvioitu teollisuusalueen eri toimintojen onnettomuusriskejä. Mallinuksissa on käytetty arvioituja lähtöarvoja, jotka on valittu realistisella tasolla mahdollisimman korkeiksi. Suurimmat riskit katsottiin syntyvän vedyn tuotannossa, metaanin tuotannossa ja ammoniakkin valmistuksessa. Mallinuksessa käytettiin Aloha-ohjelmistoa sekä mallinnusten tulosten havainnollistamiseksi ohjelman Marplot-lisäosaa.

Selvityksen ovat laatineet turvallisuus- ja riskienhallinta-asiantuntija Eliisa Kuusama, palotekninen suunnittelija Jani Halonen sekä palotekninen suunnittelija Panagiotis Toledos. Selvityksen sisäisen laadunvalvonnan on suorittanut Joni Kinnunen.

Selvitystä päivitettiin maaliskuussa 2025 viranomaislausuntojen pohjalta.



Kuva 1 Tarkastellut alueet

3 Tuotantolaitosten sijoittaminen

Valtakunnallisten alueidenkäyttötavoitteiden mukaisesti, laitokset, joilla on suuronnettomuuden riski, sekä niihin liittyvät kemikaaliratapihat, tulee sijoittaa kauas asutusalueista, yleiseen käyttöön tarkoitetuilta alueilta sekä luonto-olosuhteiltaan aroilta alueilta. TUKES eli Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, määrittelee Seveso III -direktiivin alaisille kemikaalien käsittelyä tai varastointia harjoittaville laitoksille erityiset vyöhykkeet. Näiden vyöhykkeiden alueella kaavoituksessa tulee erityisesti ottaa huomioon mahdolliset riskit ja toimenpiteet suuronnettomuuksien ehkäisemiseksi. Kemikaaliturvallisuuslakiin, kemikaaliturvallisuusasetukseen sekä maankäyttö- ja rakennuslakiin pohjautuvat säännökset rajoittavat haavoittuvien toimintojen sijoittamista näille alueille.

Seveso-direktiivi on Euroopan unionin säädös, joka keskittyy suuronnettomuusriskien hallintaan vaarallisia aineita käsittelevissä toiminnoissa. Sen tarkoituksena on edistää riskialttiiden teollisuustoimintojen ja maankäytön yhteensovittamista turvallisella tavalla. Tällä hetkellä käytössä on Seveso III -direktiivin mukaiset kansalliset säädökset. Suomessa direktiivin vaatimukset on otettu huomioon maankäyttö- ja rakennuslaissa sekä kemikaaliturvallisuuslaissa (390/2005), ja direktiivin täytäntöönpanoa varten tarvittavat muutokset on tehty kemikaaliturvallisuuslakiin lailla 358/2015.

Tuotantolaitosten sijoittamisessa on otettava huomioon myös kemikaaliturvallisuus. Kemikaaliturvallisuuslain nojalla on annettu uusi valtioneuvoston asetus (685/2015) vaarallisten aineiden käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta, joka korvaa aiemman asetuksen (855/2012). Samoin on päivitetty vaarallisia kemikaaleja käsittelevien ja varastoivien laitosten turvallisuusvaatimuksia koskeva valtioneuvoston asetus (856/2012).

4 Tukesin ohjeistus

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukesin ohjeistus "Tuotantolaitosten sijoittaminen" (jäljempänä mainittu Tukes-oppaana) on suunniteltu avuksi uusia, laajasti tai pienimuotoisesti kemikaaleja käyttävien tuotantolaitosten sijainnin valintaan. Opas antaa suuntaviivat siihen, mitä skenaarioita tulisi harkita arvioitaessa laitoksen mahdollisia onnettomuusriskejä naapurialueille ja mitkä onnettomuuden vaikutukset ovat hyväksyttäviä erilaisilla maankäyttöalueilla. Oppaan antamat etäisyyslaskelmat ja suositellut turvaetäisyydet ovat ohjeellisia, perustuen

tiettyihin oletuksiin, ja niitä tulisi aina arvioida yhdessä muiden turvallisuuteen liittyvien seikkojen kanssa.

Uuden tuotantolaitoksen sijoittamisen ensisijainen ehto on, että alueen käyttötarkoitus kaavoituksen mukaan sallii tämän. Alueen on oltava osoitettu teollisuus- tai varastokäyttöön, mikä ilmenee tyypillisesti kaavamerkinnällä "T". Niille paikoille, jotka ovat suuronnettomuusriskin alaisia esimerkiksi merkittävän, vaarallisia kemikaaleja käsittelevän tai varastoivan toiminnan vuoksi, suositellaan käytettävän kaavamerkintää T/kem. Tämä merkintä tarkoittaa teollisuus- tai varastokäyttöön varattua aluetta, jolle on mahdollista perustaa laitos, jossa käsitellään vaarallisia kemikaaleja.

Sijoitettaessa tuotantolaitoksia on välttämätöntä ottaa huomioon niistä aiheutuvat riskit lähiympäristölle, kuten asutukselle, luonnolle ja muille toiminnoille, sekä alueen muista toiminnoista mahdollisesti tuotantolaitokselle aiheutuvat riskit. Erityistä huomiota tulee kiinnittää ihmisiä sisältäviin kohteisiin, kuten sairaaloihin, päiväkoteihin ja kouluihin, jotka suuronnettomuuden sattuessa ovat vaikeasti evakuoitavissa ja tulisi sijoittaa kauas vaarallisista laitoksista. Samoin etäisyyden on oltava riittävä suojellakseen muita teollisuuskohteita, luonnonsuojelualueita ja muita ympäristönsuojelun kannalta kriittisiä paikkoja.

Tuotantolaitosten sijoittaminen tärkeille tai muille vedenhankintaan kriittisille pohjavesialueille vaatii vahvat perustelut. Sijoituspaikan valinnassa on myös tärkeää ennakoida laitoksen mahdolliset laajentumistarpeet tulevaisuudessa.

Kemikaaliturvallisuuden osalta tuotantolaitosten sijoittamisen perusedellytykset onnettomuusriskien minimoimiseksi on määritelty kemikaaliturvallisuuslaissa ja -asetuksessa.

5 Kemikaalikuljetukset

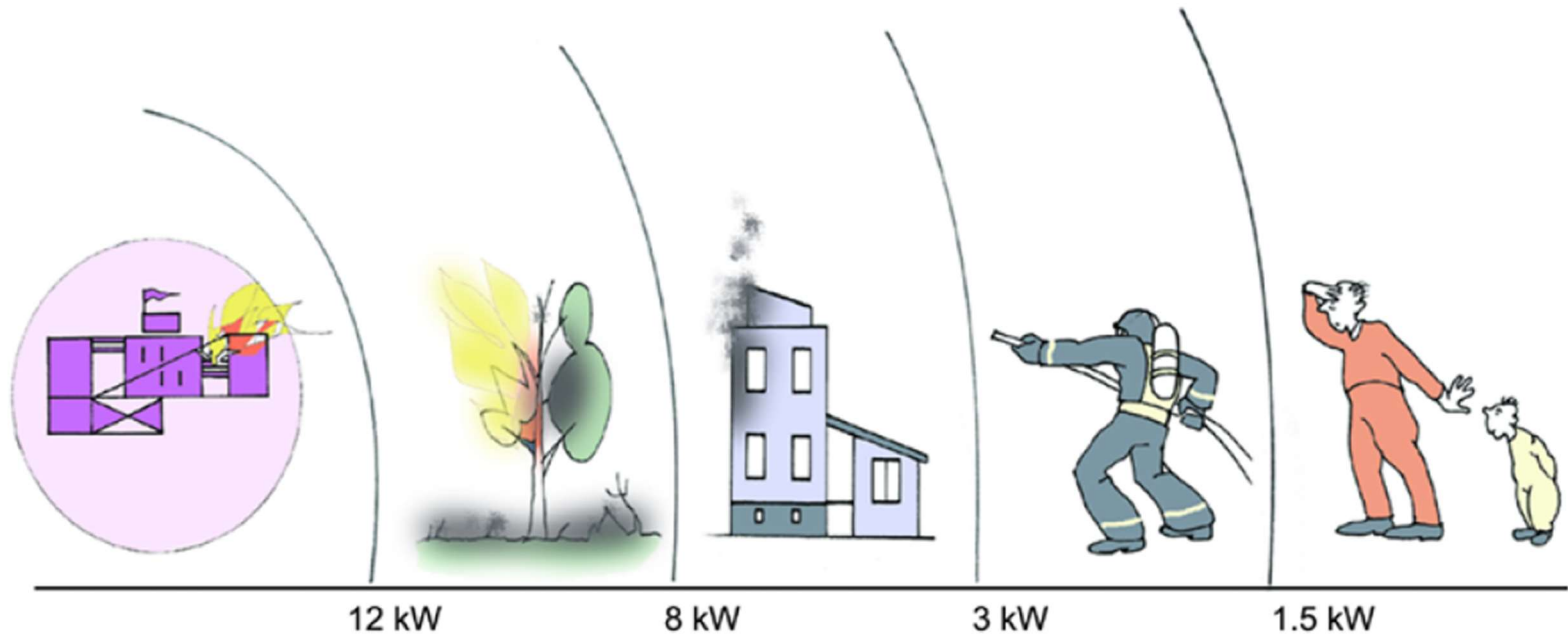
Vaarallisten aineiden kuljetukset (VAK-kuljetukset) ja muut kemikaalikuljetukset ja niiden onnettomuusvaikutukset eivät ole suoraan osa Seveso-direktiivin mukaisia tarkasteluja, eikä Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) opas tarjoa erityisiä ohjeita näiden kuljetusten onnettomuusvaikutusten arviointiin. Vaarallisten aineiden kuljetuksen suunnittelusta ja toteutuksesta on määrätty laissa vaarallisten aineiden kuljetuksesta (541/2023). Kemikaalien kuljettaminen maantiellä voi onnettomuustilanteessa aiheuttaa samanlaisia vaikutuksia kuin laitoksessa säilytettävien kemikaalien onnettomuusvaikutukset, joskin kuljetuksissa käytettävät säiliökoot ovat usein myös pienempiä ja vaikutus näin rajatumpi. Liikenteen aiheuttamat yleiset haitat, kuten melu, pöly ja värinä, ovat tunnettuja liikenteen haittavaikutuksia ja nämä voivat lisääntyä tuotantolaitoksen myötä. Tässä hankkeessa kemikaalikuljetusten vaikutuksia ei ole tutkittu, sillä suunnitellun T/kem-alueen toimijat eivät ole tiedossa. Kemikaalikuljetusten aiheuttamia onnettomuusriskejä on jatkoselvitettävä toimijoiden vahvistuttua, kun suunnitellaan tuotantolaitoksen sijoittamista.

6 Lämpösäteilyn ja painevaikutusten raja-arvoja

Lämpösäteilyn huomioonottamista koskevat vaatimukset esitetään turvallisuusvaatimusasetuksen (856/2012) 6 §:ssä (suluissa Tukesin oppaan määrittelemät lämpösäteilyn intensiteetin arvot). Tuotantolaitos on sijoitettava sitä ympäröiviin rakennus- ja muihin kohteisiin nähden siten, ettei tuotantolaitoksessa tapahtuvasta, 5 §:ssä tarkoitetusta onnettomuudesta aiheudu sellaista lämpösäteilyä tuotantolaitoksen ulkopuolella oleviin kohteisiin, että:

- sen vaikutuksesta rakennukset, laitteistot, rakenteet tai muut paloa levittävät kohteet voisivat syttyä (8 kW/m²)
- se voisi estää ihmisten suojautumisen tai poistumisen lämpösäteilyn vaikutusalueelta rakennus- tai muissa kohteissa, joissa ihmisiä voi oleskella (5 kW/m²); poistumisteiden osalta lämpösäteilyn intensiteetiksi valitaan kuitenkin 3 kW/m²
- se voi aiheuttaa palovammoja ulkona oleville ihmisille kohteissa, joista poistuminen tai joiden tyhjentäminen voi onnettomuustilanteissa olla hidasta, kuten hoitolaitokset, majoitustilat, kokoontumis- ja liiketilat ja -alueet taikka tiheästi asutut asuinalueet (3 kW/m²).

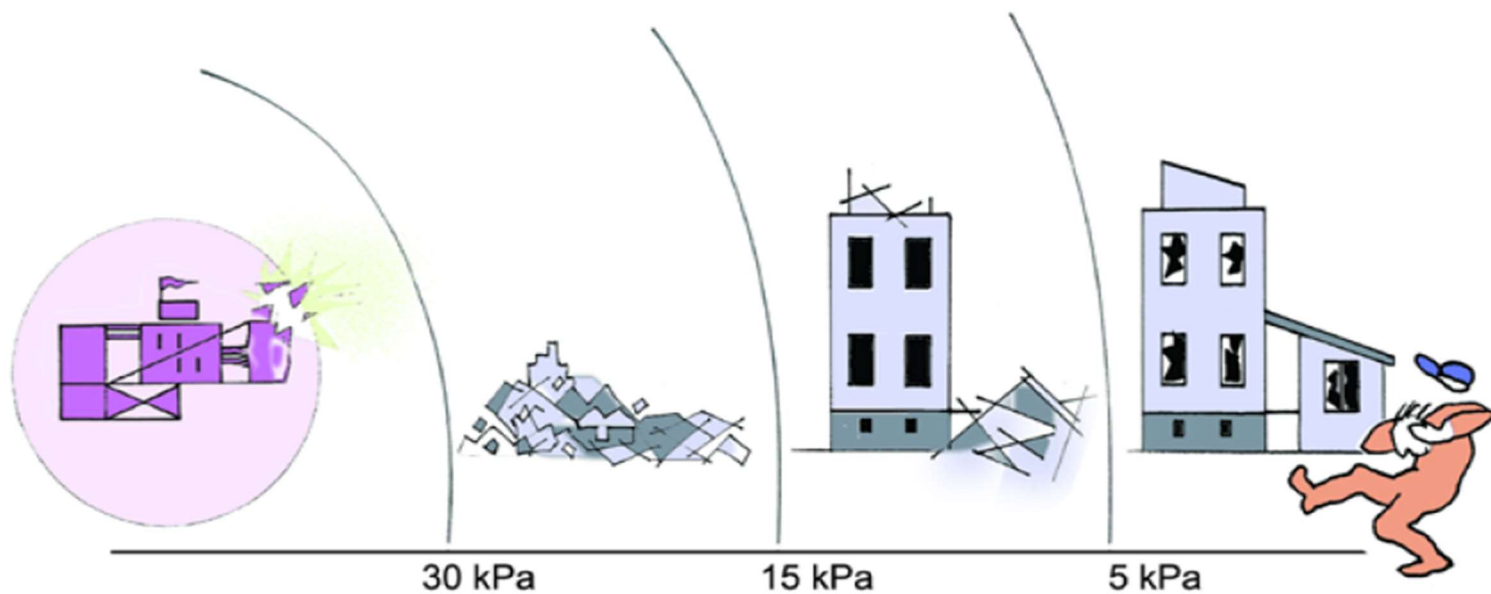
Kuvassa 2 on esitetty lämpösäteilyn vaikutuksia.



Kuva 2 Lämpösäteilyn vaikutuksia. Lämpösäteilyn intensiteetti 3 kW/m² mahdollistaa pelastustoimet ja 1,5 kW/m² on "turvaraja". (Lähde: TUKES, Tuotantolaitosten sijoittaminen 2015)

Tuotantolaitoksen sijoittelussa pitää ottaa huomioon räjähdyksestä johtuvan paineaallon vaikutukset (kuva 3). Räjähdysonnettomuus voi syntyä esimerkiksi paineastian räjähdyksestä. Räjähdyksestä seuraa tavallisesti paineaalto ja usein myös heitteitä. Paineaallon suuruuteen vaikuttavat räjähdyspaine, säiliön halkaisija ja tilavuus sekä sisällön ominaisuudet. Vaaran arvioinnissa käytetään seuraavia paineaallon ylipaine-arvoja:

- 30 kPa kantavien rakenteiden romahduksia, onnettomuuden mahdollinen laajenemisriski
- 15 kPa talojen osittaisia romahtamisia, pysyvän vammautumisen riski
- 5 kPa pieniä vaurioita talojen rakenteille, vammautumisen riski.



Kuva 3 Paineaallon vaikutuksia (Lähde: TUKES, Tuotantolaitosten sijoittaminen 2015)

7 Arvion lähtötiedot

Suuronnettomuusriskiselvitykseen liittyy epävarmuustekijöitä, sillä selvitys on tuotettu kaavoitusvaiheessa saatavilla olevien tietojen pohjalta. Mallinnuksen tuloksia arvioitaessa on otettava huomioon tuulen nopeuden ja suunnan vaikutus.

Seuraavassa kappaleessa on esitelty valittujen onnettomuusskenaarioiden mallinnusten tuloksia. Mallinnus on suoritettu käyttäen Aloha-ohjelmaa, jolla arvioidaan kemiallisten onnettomuuksien vaikutuksia. Ohjelmisto mahdollistaa tarkkojen simulointien tekemisen, joiden avulla voidaan hahmottaa paremmin potentiaalisten onnettomuuksien vaikutuksia ja leviämismekanismeja.

Selvityksen lähtötietona on käytetty seuraavia oppaita:

- Vaarallisten kemikaalien käsittely ja varastointi, Tukes 2021
- Tuotantolaitosten sijoittaminen, Tukes 2015
- Kemikaalivuotojen ja sammutusvesien hallinta, Tukes 2019
- Vedyn käsittelyn ja varastoinnin turvallisuus, Tukes 2024
- Maakaasukäsikirja, Suomen kaasuyhdistys, 2014
- Työterveyslaitoksen OVA-ohjeet
- Biokaasun turvallisuusohje, Suomen kaasuyhdistys/Tukes, 2021

Mallinnusohjelma ei huomioi tuotantolaitoksen alueella olevia rakennuksia tai maastonmuotoja.

Mallinnuksessa käytettyjen säiliöiden kokoluokka perustuu yleisesti käytössä oleviin säiliöihin vastaavissa sovelluksissa. Myös putkistojen painearvot on määritetty alan tavanomaisiin teknisiin ratkaisuihin nojaten, käyttäen yleisesti käytössä olevia painearvoja.

Tarkennettuun tarkasteluun ei ole sisällytetty poikkeuksellisen suuria tai epätodennäköisiä skenaarioita. Mallinnuksen rajaukset perustuvat asiantuntija-arvioon sekä Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (TUKES) ohjeistuksiin, joissa painotetaan todennäköisten ja teknisesti perusteltujen tilanteiden tarkastelua. Vuotokokojen valinta on tehty asiantuntijaperusteisesti siten, että ne vastaavat yleisimpiä mahdollisia vikaantumisskenaarioita. Mallinnukset on siis rajattu tapauksiin, joilla on todennettavissa oleva tekninen ja toiminnallinen relevanssi.

Mallinnuksessa käytettyjä lähtöarvoja:

- Metaanikaasuputken paine: 4 bar
- Metaanisäiliön paine (CBG): 300 barg
- Vetyputken paine: 80 bar
- Vetysäiliön paine: 350 bar
- Ammoniakki: nestemäisenä säiliössä

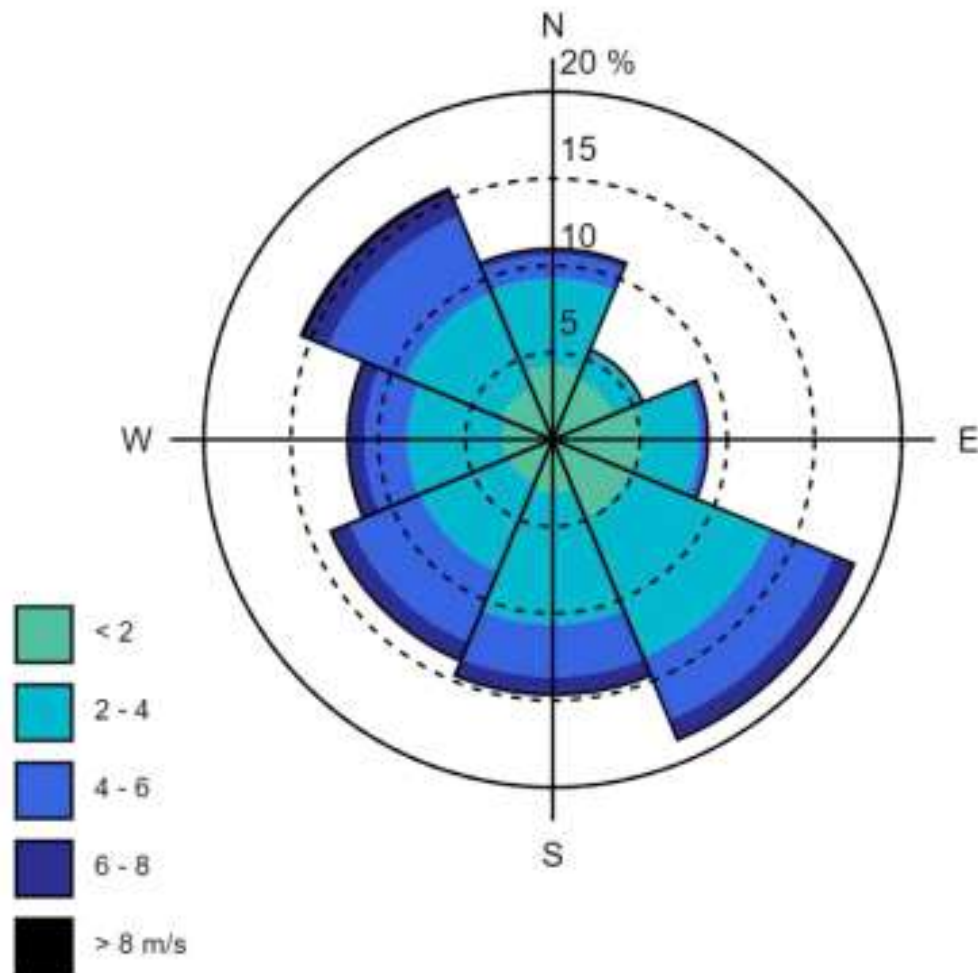
Sijainti ja olosuhteet:

- Sijainti: Ulvila, Suomi
- Ajankohta: 29.4.2024 klo 09:51 (paikallinen aika)
- Ilmanvaihtuvuus rakennuksessa: 1,11 vaihtoa/h (yksi- tai kaksikerroksinen rakennus)

Selvityksessä on käytetty keskituulen nopeutena 5 m/s. Alueella vallitsevia tuulensuuntia ovat kaakkois- ja luoteistuulet, kun taas pohjoisen puoleisia tuulia esiintyy vähiten.

Mallinnuksessa on käytetty ulkolämpötilaa 3–6 °C.

Oheisessa kuvassa 4 esitetään alueen tuuliruusu, joka kuvaa tuulen suunta- ja nopeusjakaumaa. Tuulien yleisin suunta on lounaan ja kaakon välinen sektori, jossa tuulta esiintyy selvästi eniten. Myös luoteistuuli on melko yleinen. Tuulennopeudet jakautuvat pääosin välille 2–6 m/s, mutta erityisesti lounaasta ja kaakosta esiintyy ajoittain myös yli 6 m/s tuulia. Suurimmat nopeudet, yli 8 m/s, ovat harvinaisia, mutta niitä esiintyy satunnaisesti samoilta suunnilta.



Kuva 4 Tuulen suunta- ja nopeusjakauma tuuliruusun muodossa vuosilta 2018–2020. Tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 m korkeudella maan pinnasta. (Lähde: Ilmatieteen laitos, Porin ilmanlaatuselvitys 2022)

Tässä tarkastelussa on keskitytty onnettomuusskenaarioiden vaikutuksiin ihmisiin, koska lähtökohtana on, että ihmisiin haitallisesti vaikuttavat altistukset ja ilmiöt ovat samanaikaisesti haitallisia myös ympäröivälle ekosysteemille. Tämä oletus perustuu siihen, että esimerkiksi myrkylliset tai lämpövaikutuksia aiheuttavat päästöt aiheuttavat tyypillisesti laaja-alaisia vahinkoja, jotka ulottuvat sekä ihmisiin että luontoon. Ekologisia vaikutuksia ei siten ole arvioitu erillisesti, vaan ihmisiin kohdistuvat vaikutukset toimivat samalla ympäristöriskien suuntaa antavana indikaattorina.

8 Vedyn tuotantolaitoksen onnettomuusriskien arviointi

Vedyn tuotantolaitosten ja jakeluasemien sijoituksessa suhteessa ulkopuolisiin kohteisiin huomioidaan erityisesti ns. herkät kohteet, kuten hoitolaitokset, koulut, päiväkodit, liikekeskukset, ja muut vastaavat kohteet.

Vedyn tuotantolaitoksen sijoittamisessa oleellimmat huomioitavat asiat ovat vedyn paine ja varastointimäärä ja näistä aiheutuvat onnettomuusriskit. Onnettomuusskenaarioina tunnistetaan vedyn vuotomahdollisuudet. Laitoksen sijoitusta suunniteltaessa huomioidaan myös viereisillä tonteilla olevien teollisuuslaitosten onnettomuuksien (esim. tulipalon lämpösäteily) vaikutukset vedyn tuotantolaitoksella.

Turvallisen sijoittamisen varmistamiseksi toiminnanharjoittaja arvioi tunnistamiensa onnettomuusskenaarioiden seurausvaikutuksia seurausanalyysin (mallinnus) avulla. Mallinnuksen tuloksina esitetään vetyvuodon seurauksena muodostuvan syttymiskelpoisen kaasupilven laajuus, tulipalon lämpösäteilyvaikutukset ja räjähdysen painevaikutukset. Seurausanalyysin tuloksina saadaan:

- pistoliekin pituus ja sen aiheuttama lämpösäteilyvaikutus
- syttymättömän, mutta konsentraatioltaan syttymiskelpoisen vetypilven koko
- räjähdysen (VCE tai Jet explosion) lämpösäteily- ja painevaikutukset.

Mallinnuksen tuloksiin vaikuttavat oleellisesti käytetyt lähtötiedot, joten nämä tulee esittää myös mallinnuksen raportoinnissa. Mallinnuksen tuloksissa esitetään lähtötiedoista ainakin:

- vuodon reikäkoko
- putken halkaisija
- prosessiolosuhteet (paine, lämpötila yms.)
- vedyn massa syttymiskelpoisessa kaasupilvessä

- vuotoaika
- vuotokorkeus
- estetiheys
- laskennassa käytetyt säättyypit.

Vetylaitosta tai -jakeluasemaa ei saa sijoittaa ilmajohtojen alle. Lisäksi sivusuunnassa etäisyys ilmajohtoihin arvioidaan mahdollisen onnettomuuden seurausten perusteella. Tällä suojataan sähkön siirtoa ja toisaalta ehkäistään vuotaneen vedyn syttymistä ilmajohdoista syntyvän kipinöinnin seurauksena.

Vetypilvi laimenee laajetessaan ja jos laimeneminen on riittävää, ovat painevaikutukset pienempiä ja seuraukset ovat pääasiassa lämpösäteilyn aiheuttamia. Tällöin vedyn konsentraatio pilvessä on leimahduspisteen (4 %) ja räjähdysrajan (18 %) välillä.

Deflagraatio on matalapaineinen räjähdys, jossa liekkirintama etenee palavassa kaasupilvessä alle äänennopeudella. Detonaatiossa liekkirintaman nopeus ylittää äänennopeuden, mikä aiheuttaa suuren räjähdyspaineen.

Vedyllä on suuri palamisnopeus, joka mahdollistaa lievemmän deflagraation kiihtymisen vakavammaksi detonaatioksi (deflagration to detonation transition, DDT). Tämä ilmiö on yleinen vedyn detonaation alkulähde.

Vedyn ominaisuuksista johtuen vedyn detonaatio on huomattavasti todennäköisempää kuin hiilivedyllä. Vety on ominaisuuksiensa vuoksi altis aiheuttamaan detonaation eli korkeapaineisen räjähdysmyöskin myös ulkotiloissa. Tämä johtuu vedyn reaktiivisuudesta eli suuresta palamisnopeudesta. Lisäksi vedyn korkea paine aiheuttaa purkautuessaan pyörteisyyttä ja siten ilman sekoittumista vetypilveen. Tämä edesauttaa nopeaa palamista, mikä yhdessä vedylle ominaisen nopean palamisen kanssa aiheuttaa detonaation.

Detonaatiossa liekkirintama etenee ääntä nopeammin.

Korkeapaineinen vuoto voi suihkupalon sijaan myös räjähtää lähellä vuotokohtaa. Räjähdysmyöskin voimakkuutta edesauttaa vuotavan vedyn pyörteisyys, joka sekoittaa vedyn tehokkaasti ympäröivään ilmaan. Tällainen räjähdys (jet explosion) voi olla vaikutuksiltaan hyvin vakava, koska se tapahtuu lähellä vedyn käsittelylaitteita ja varastoja. Tällainen onnettomuus voi aiheuttaa vakavia vaikutuksia laitteistolle ja jopa tuhota koko järjestelmän. (Vedyn käsittelyn ja varastoinnin turvallisuus, Tukes 2024.)

9 Vedyn mallinnusskenaariot

Vedyn mallinnusskenaariot on laadittu arvioimaan paineenalaisen vedyn mahdollisten vuoto- ja syttymistilanteiden vaikutuksia. Skenaarioissa on tarkasteltu sekä säiliö- että putkistovuotoja, huomioiden muun muassa höyrypilven muodostuminen, pistoliekin aiheuttama lämpösäteily sekä mahdollisen räjähdysmyöskin painevaikutukset. Mallinnukset perustuvat yleisesti käytössä oleviin paine- ja kokoluokkiin, ja niiden avulla on pyritty tunnistamaan ne vaikutusetäisyydet, joilla terveys- ja rakenteelliset riskit voivat realisoitua.

Vedyn allaspalo

Lähtötiedot:

Kemialliset ominaisuudet:

- Kemikaalin nimi: Vety (Hydrogen)
- CAS-numero: 1333-74-0
- Moolimassa: 2,02 g/mol
- PAC-1-arvo: 65 000 ppm
- PAC-2-arvo: 230 000 ppm
- PAC-3-arvo: 400 000 ppm
- LEL: 40 000 ppm
- UEL: 750 000 ppm
- Kiehumispiste: -252,8 °C
- Höyrynpaine normaalilämpötilassa: >1 atm

- Kyllästymispitoisuus: 1 000 000 ppm (100 %)

Ilmakehän tiedot:

- Tuuli: 5 m/s idästä
- Tuulen mittauskorkeus: 3 m
- Maaston rosoisuus: avoin maasto
- Ilman lämpötila: 6 °C
- Pilvisyys: 5/10
- Stabiilitilaluokka: D
- Inversiokorkeus: Ei inversiota
- Suhteellinen kosteus: 50 %

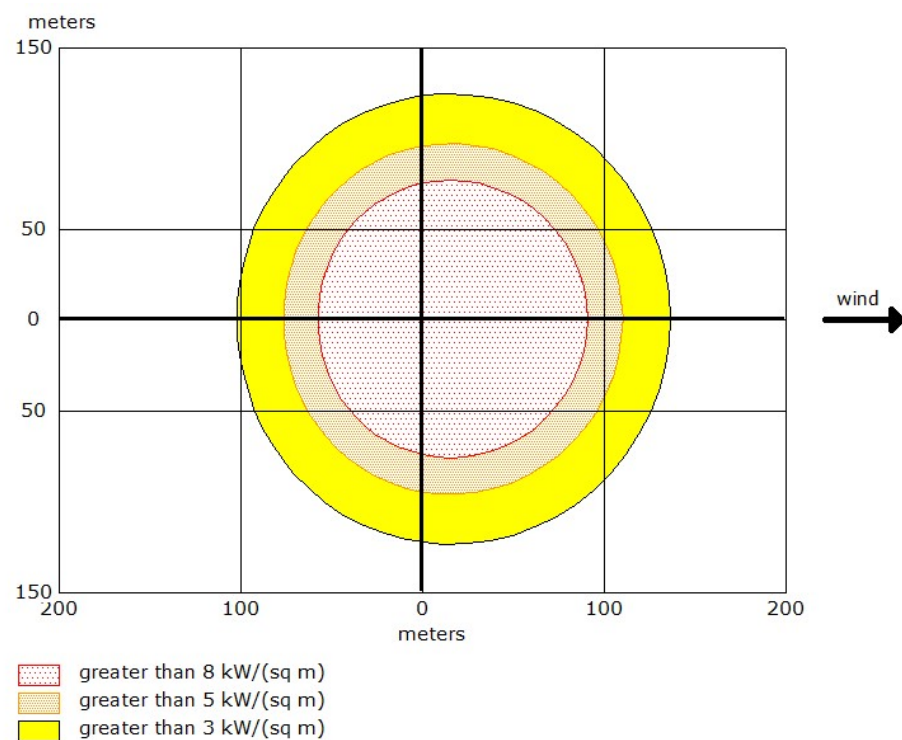
Lähteen ominaisuudet (palo):

- Tapahtuma: Allaspalo (pool fire)
- Palavan nesteen halkaisija: 10 metriä
- Nestemäinen vetytilavuus: 2 m³
- Alkuperäinen nesteen lämpötila: -253,3 °C
- Liekin pituus: 38 metriä
- Palon kesto: 7 sekuntia
- Palonopeus: 20,9 kg/s
- Yhteensä palanut määrä: 142 kg

Lämpösäteilyn vaara-alueet:

Vyöhykkeen nimi	Lämpösäteily	Etäisyys palopesäkkeestä	Vaikutus / merkitys	Mallinnusväri
Punainen vyöhyke	>8 kW/m ²	91 metriä	Vakava palovammariski lyhyessäkin altistuksessa	Punainen (kuvioitu)
Oranssi vyöhyke	>5 kW/m ²	110 metriä	Palovammariski, syttyvien materiaalien mahdollinen syttyminen	Oranssi
Keltainen vyöhyke	>3 kW/m ²	136 metriä	Pitkäaikaisessa altistuksessa palovammariski	Keltainen

Kuvassa 4 näkyy keltainen, oranssi ja punainen alue, jotka kuvaavat lämpösäteilyn voimakkuutta vedyn allaspalon yhteydessä. Keltainen alue osoittaa vyöhykkeen, jossa säteily ylittää 3 kW/m² – tällä alueella pitkäaikainen altistus voi aiheuttaa kipua tai lieviä palovammoja. Oranssi alue tarkoittaa säteilytason ylittävän 5 kW/m², mikä voi aiheuttaa toisen asteen palovammoja jo lyhyessä ajassa. Punaisella alueella säteily ylittää 8 kW/m², jolloin lyhytaikainenkin oleskelu voi olla hengenvaarallista. Alueet laajenevat säteittäin noin 136 metriin saakka palopesäkkeestä.



Kuva 4 Vedyn allaspalo (Aloha-ohjelma)

Vetyputken putkivuodon palo

Lähtötiedot:

Kemialliset ominaisuudet:

- Kemikaalin nimi: Vety (Hydrogen)
- CAS-numero: 1333-74-0
- Moolimassa: 2,02 g/mol
- PAC-1-arvo: 65 000 ppm
- PAC-2-arvo: 230 000 ppm
- PAC-3-arvo: 400 000 ppm
- LEL: 40 000 ppm
- UEL: 750 000 ppm
- Kiehumispiste: -252,8 °C
- Höyrynpaine normaalilämpötilassa: >1 atm
- Kyllästymispitoisuus: 1 000 000 ppm (100 %)

Ilmakehän tiedot:

- Tuuli: 5 m/s idästä
- Tuulen mittauskorkeus: 3 m
- Maaston rosoisuus: avoin maasto
- Ilman lämpötila: 6 °C
- Pilvisyys: 5/10
- Stabiliateettiluokka: D
- Inversio: Ei inversiota
- Suhteellinen kosteus: 50 %

Lähteen tiedot (putkivuoto ja palo):

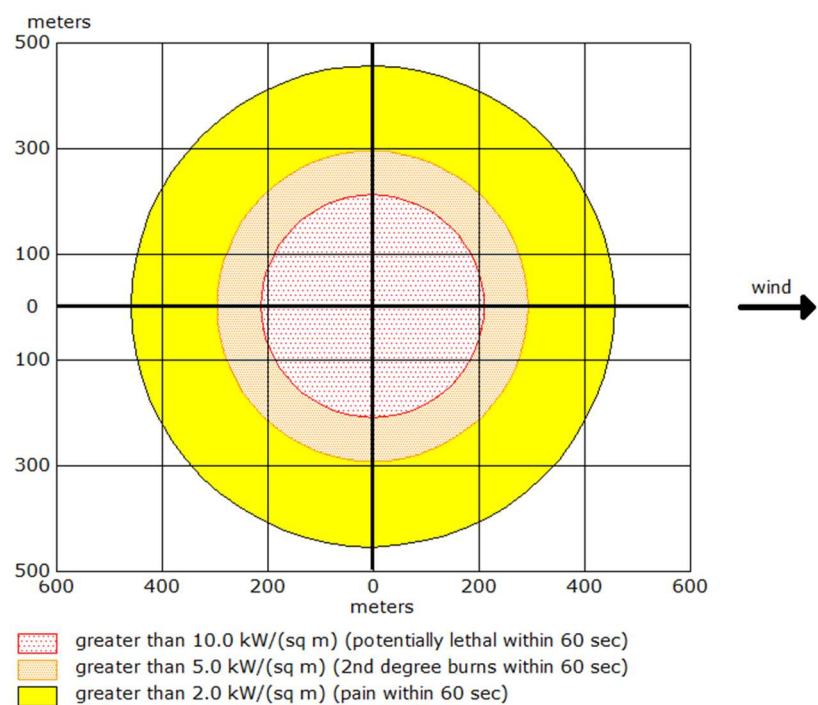
- Tapahtuma: Syttyvä kaasu palaa ulos virratessaan putkesta (jet fire)
- Putken halkaisija: 20 cm
- Putken pituus (vaurioalue): 10 m
- Paine: 7200 psia (~496 bar)
- Lämpötila: 6 °C
- Putken pää liitetty paineistettuun lähteeseen
- Liekin pituus: 12 metriä
- Palon kesto: 1 tunti (ALOHA-mallinnusrajoitus)

- Palonopeus: 59,700 kg/min
- Yhteensä palanut määrä: 1 928 171 kg

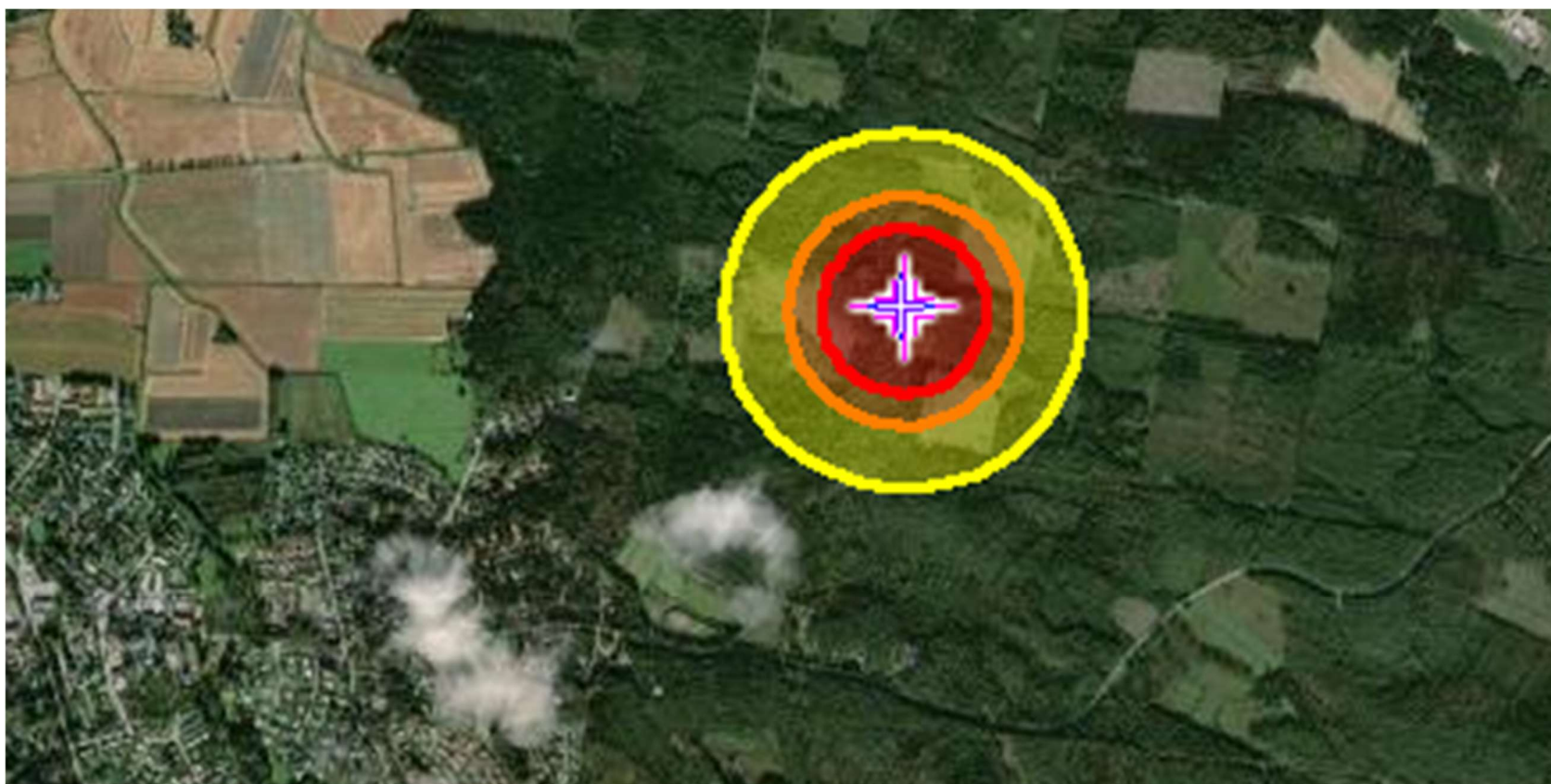
Lämpösäteilyn vaara-alueet:

Vyöhykkeen nimi	Lämpösäteily	Etäisyys palopesäkkeestä	Vaikutus / merkitys	Mallinnusväri
Punainen vyöhyke	>10,0 kW/m ²	212 metriä	Hengenvaarallinen altistus 60 sekunnissa	Punainen (kuvioitu)
Oranssi vyöhyke	>5,0 kW/m ²	296 metriä	Toisen asteen palovammoja 60 sekunnin altistuksella	Oranssi
Keltainen vyöhyke	>2,0 kW/m ²	459 metriä	Kivulias lämpöaltistus 60 sekunnin sisällä, pitkäaikainen riskivyöhyke	Keltainen

Kuvassa 5 näkyy vetysuihkupalon aiheuttamat lämpösäteilyn vaara-alueet. Keltainen alue osoittaa vyöhykkeen, jossa säteily ylittää 2 kW/m² – tällä alueella voi syntyä kipua jo alle minuutin altistuksella. Oranssi alue osoittaa säteilytason ylittävän 5 kW/m², mikä aiheuttaa toisen asteen palovammoja 60 sekunnissa. Punaisella alueella säteily ylittää 10 kW/m², jolloin altistus voi olla hengenvaarallista jo lyhyelläkin viiveellä. Suurin vaikutusetäisyys ulottuu tässä skenaariossa 459 metrin päähän. Kuvassa 6 on havainnollistettu vaikutusalue karttakuvassa.



Kuva 5 Vetyputken putkivuodon palo (Aloha-ohjelma)



Kuva 6 Vetyputken putkivuodon palon vaikutusalue havainnollistettuna karttakuvaan suunnitellun T/kem-alueen rajalla

Vetyputken räjähdys, painevaikutus

Lähtötiedot:

Kemialliset ominaisuudet:

- Kemikaalin nimi: Vety (Hydrogen)
- CAS-numero: 1333-74-0
- Moolimassa: 2,02 g/mol
- PAC-1-arvo: 65 000 ppm
- PAC-2-arvo: 230 000 ppm
- PAC-3-arvo: 400 000 ppm
- Alempi räjähdysraja (LEL): 40 000 ppm
- Ylempi räjähdysraja (UEL): 750 000 ppm
- Kiehumispiste: -253,3 °C
- Höyrynpaine normaalilämpötilassa: erittäin korkea (ei arvoa ilmoitettu)
- Kyllästymispitoisuus normaalilämpötilassa: 1 000 000 ppm (100 %)

Ilmakehän tiedot (manuaalisesti syötetyt):

- Tuulen nopeus ja suunta: 5 mph idästä
- Tuulen mittauskorkeus: 3 metriä
- Maaston rosoisuus: urbaani / metsä
- Ilman lämpötila: 6 °C
- Pilvisyys: 5/10
- Inversiokorkeus: Ei inversiota
- Suhteellinen kosteus: 50 %

Vuotoskenaarion parametrit:

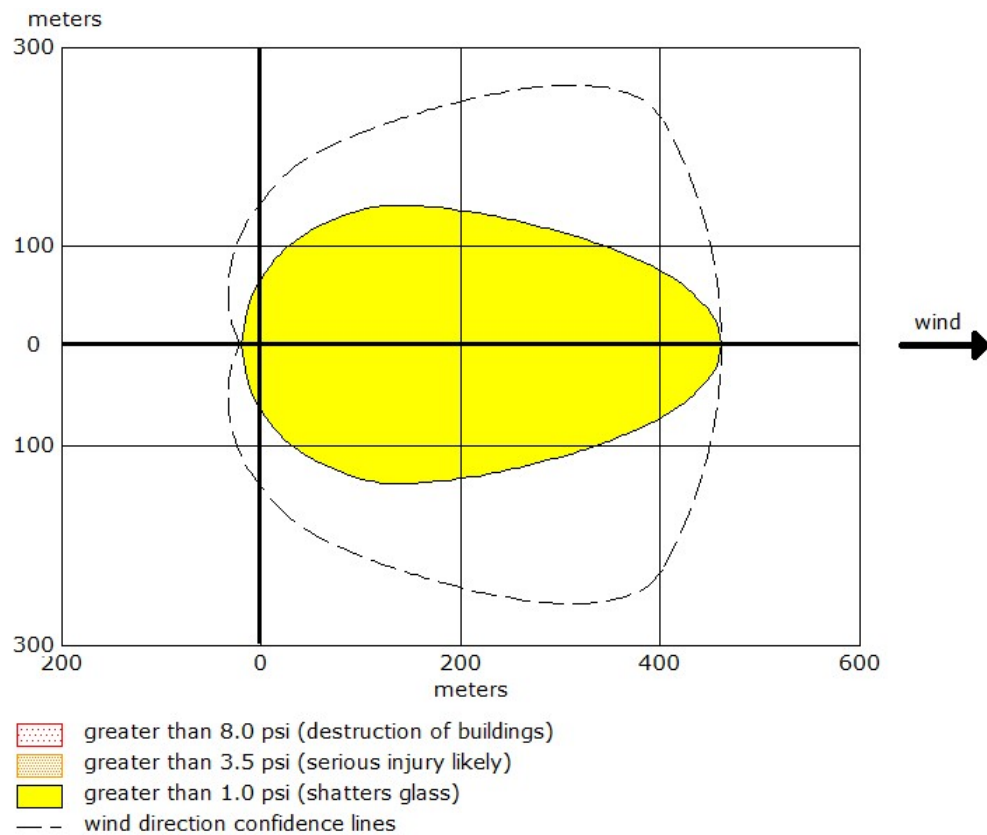
- Vuodon tyyppi: Reikä pystysylinterimäisessä säiliössä
- Kemikaalin tila säiliössä: Kaasu
- Syttyvyys: Syttyvä kaasu, ei pala säiliössä
- Säiliön tilavuus: 78,5 m³
- Säiliön halkaisija: 5 metriä
- Säiliön korkeus: 4 metriä
- Kemikaalimassa säiliössä: 3,73 tonnia
- Sisälämpötila: 6 °C
- Sisäinen paine: 7200 psia (~496 bar)
- Purkausaukon halkaisija: 10 cm
- Purkauskesto: 3 minuuttia
- Keskimääräinen purkautumisnopeus (yli 1 min): 3 050 kg/min
- Kokonaismäärä vapautunut: 3 364 kg

Vaara-alue:

Vyöhykkeen nimi	Ylipainetaso (psi)	Etäisyys vuotokohdasta	Arvioidut vaikutukset	Mallinnusväri
Keltainen vyöhyke	>1,0 psi	464 metriä	Ikkunoiden rikkoutuminen, kevyet rakenteelliset vauriot, lieviä henkilövahinkoja mahdollinen	Keltainen
Oranssi vyöhyke	>3,5 psi	Ei saavutettu	Vakavat vammat todennäköisiä, rakenteelliset vauriot mahdollisia	Ei esiinny
Punainen vyöhyke	>8,0 psi	Ei saavutettu	Rakennusten merkittävä tuhoutuminen, hengenvaaralliset vaikutukset	Ei esiinny

Kuvassa 7 näkyy vetypilviräjähdyksen aiheuttama ylipainevaikutuksen uhkavyöhyke. Keltainen alue osoittaa vyöhykkeen, jossa räjähdysyksen ylipaine ylittää 1,0 psi. Tämä vastaa tasoa, jolla esimerkiksi ikkunalasien

rikkoutuminen ja lievät rakenteelliset vauriot ovat mahdollisia. Tässä skenaariossa vakavammat ylipaineet – 3,5 psi (vakavat vammat) ja 8,0 psi (rakenteiden tuhoutuminen) – eivät ylittyneet. Vaikutusalue ulottuu noin 464 metrin etäisyydelle tuulen suuntaan räjähdyspaikasta.



Kuva 7 Vetyputken räjähdys, painevaikutus (Aloha-ohjelma)

Vetysäiliön vuoto, syttyvän kemikaalin vuoto säiliöstä (ei pala)

Lähtöarvot:

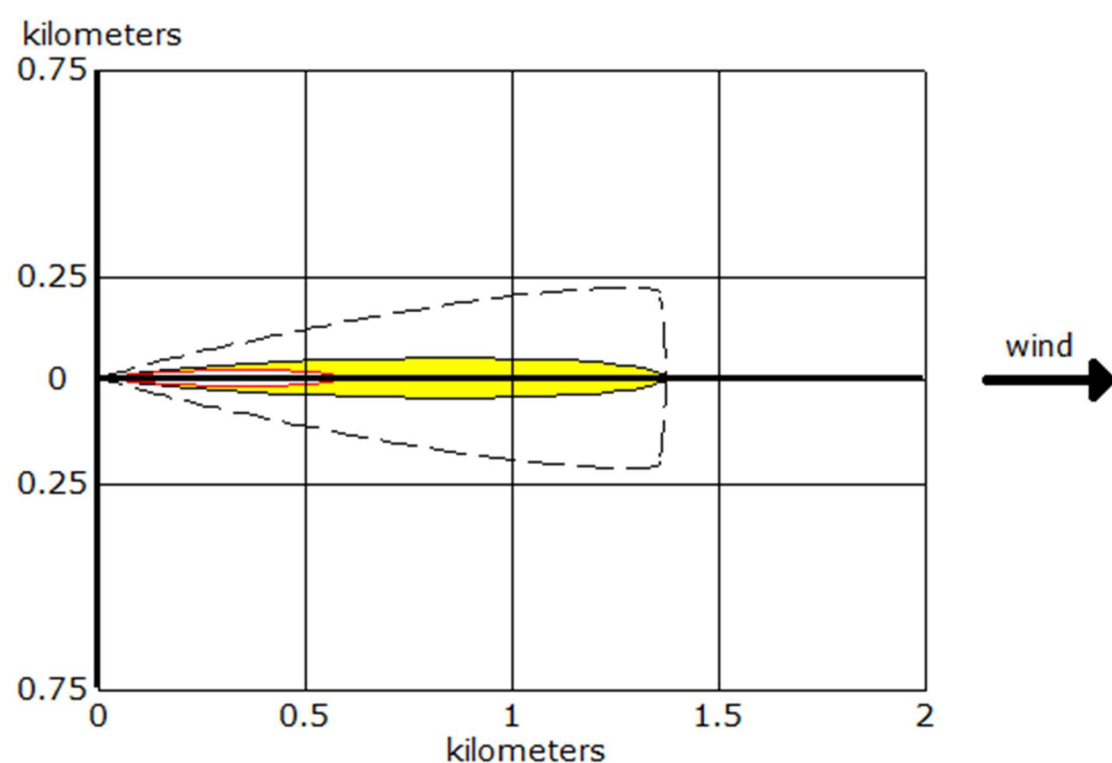
- Vuoto pystysuorassa sylinterimäisessä säiliössä olevasta reiästä
- Syttyvä kemikaali vuotaa säiliöstä (ei pala)
- Säiliön halkaisija: 3 metriä
- Säiliön pituus: 4 metriä
- Säiliön tilavuus: 28,3 kuutiometriä
- Säiliö sisältää vain kaasua
- Kemikaalin massa säiliössä: 1,34 tonnia
- Sisälämpötila: 6 °C
- Sisäinen paine: 7200 psia (n. 496 bar)
- Aukon halkaisija: 10 senttimetriä
- Purkauskesto: 1 minuutti
- Keskimääräinen suurin purkautumisnopeus: 20,2 kilogrammaa/sekunti
- (keskiarvo minuutin tai pidemmän ajan kuluessa)
- Kokonaismäärä vapautunut: 1 211 kilogrammaa

Vaara-alue:

Vyöhykkeen nimi	Pitoisuustaso (ppm)	Etäisyys vuotokohdasta	Vaikutus / merkitys	Mallinnusväri
Punainen vaara-alue	24 000 ppm (≈ 60 % LEL)	592 metriä	Mahdollisuus liekki taskuihin (flame pockets)	Punainen
Keltainen vaara-alue	4 000 ppm (≈ 10 % LEL)	1,4 kilometriä	Alueella syttyvä kaasuseos mahdollinen	Keltainen

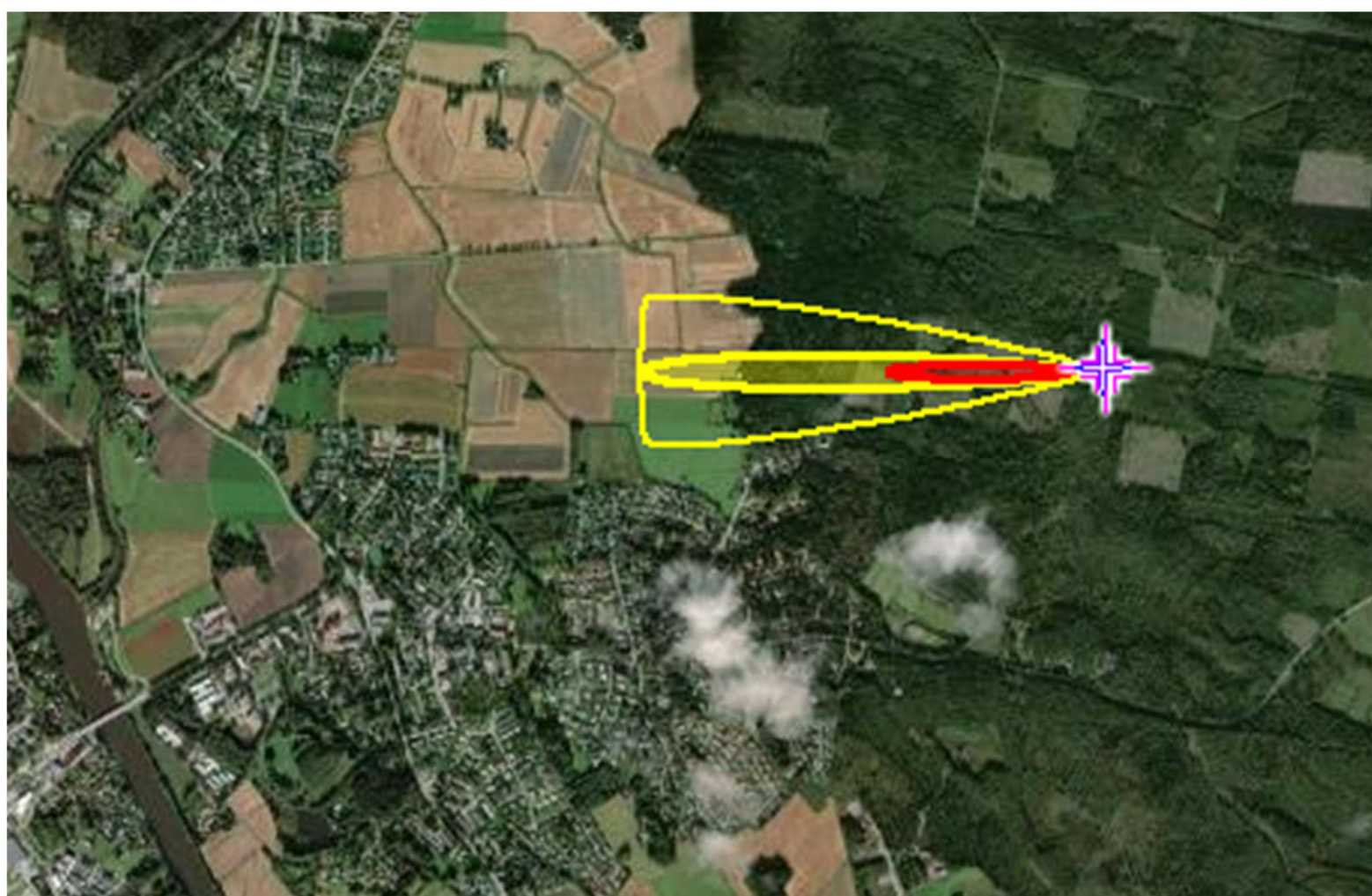
Kuvassa 8 esitetään syttyvän kaasun hallitsemattomasta vuodosta aiheutuva höyrypilvi ja sen syttyvyysalueet. Keltainen alue osoittaa vyöhykkeen, jossa kaasun pitoisuus ylittää 4000 ppm (10 % LEL), mikä tarkoittaa, että alueella on olemassa syttymisvaara. Punainen alue kuvaa tilannetta, jossa pitoisuus ylittää 24 000 ppm (60 % LEL), mikä luo olosuhteet paikallisiin liekki taskuihin (flame pockets). Mallinnuksen mukaan keltainen vaara-alue ulottuu noin 1,4 kilometrin ja punainen noin 592 metrin päähän vuodosta tuulen suuntaisesti. Mallinnuksen perusteella

voidaan todeta, että vaikka vuoto kestää vain minuutin, se muodostaa pitkän ja kapean syttyvän pilven, joka voi aiheuttaa paloriskin syttymislähteen esiintyessä leviämisreitillä. Kuvassa 9 on havainnollistettu vuodon mahdollinen vaikutusalue suunnitellun T/kem-alueen rajalla.



- greater than 24000 ppm (60% LEL = Flame Pockets)
- greater than 4000 ppm (10% LEL)
- wind direction confidence lines

Kuva 8 Vetysäiliön vuoto, syttyvän kemikaalin vuoto säiliöstä, ei pala (Aloha-ohjelma)



Kuva 9 Vetysäiliön vuodon vaikutusalue havainnollistettuna karttakuvaan suunnitellun T/kem-alueen rajalla

Vetyputken putkivuodon palo, pistoliekki (80 bar, vuotoa ei suljeta nopeasti)

Lähtötiedot:

- Tapahtuma: Syttyvä kaasu palaa virratessaan ulos putkesta (jet fire)
- Putken halkaisija: 20 cm

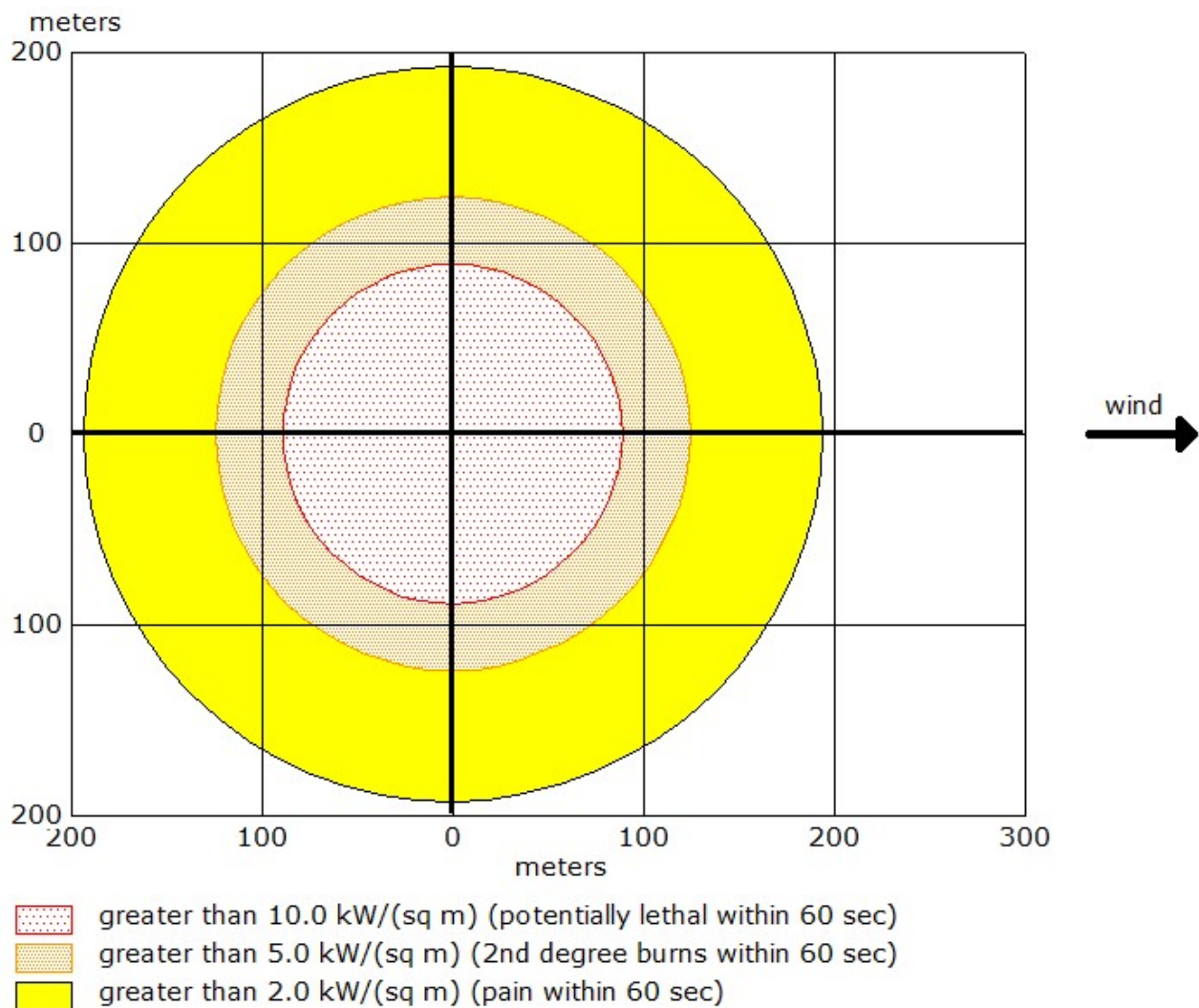
- Putken pituus: 40 m
- Putken pää: Yhdistetty rajattomaan lähteeseen (infinite source)
- Putken sisäpinta: Sileä
- Putken paine: 1160 psia (~80 bar)
- Putken lämpötila: 3 °C
- Aukon pinta-ala: 314 cm²
- Liekin pituus: 9 m
- Palon kesto: 1 tunti (ALOHA-mallinnuksen rajoitus)
- Palonopeus: 9 570 kg/min
- Yhteensä palanut määrä: 312 311 kg

Uhkavyöhykkeet – lämpösäteily:

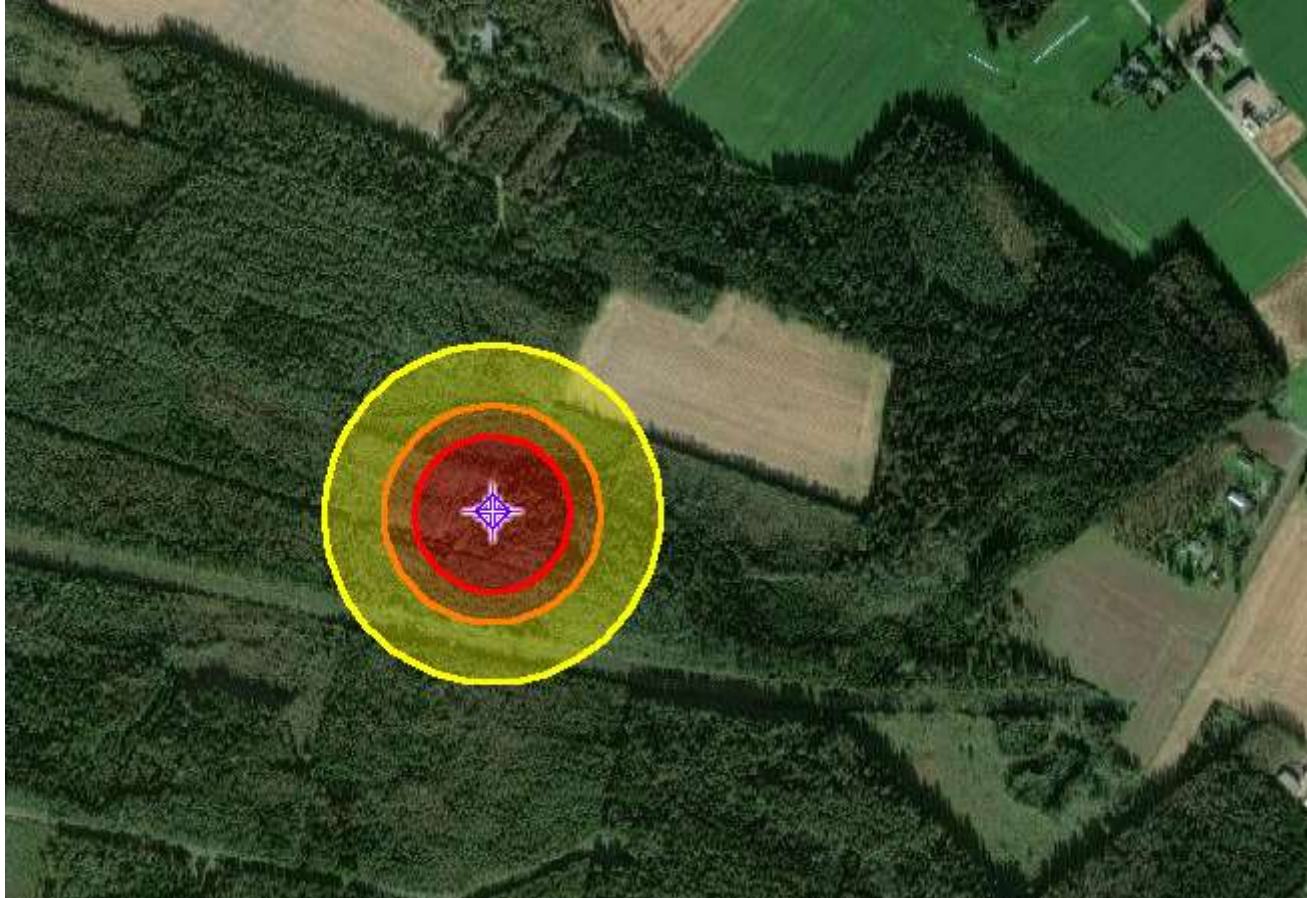
Vyöhykkeen nimi	Lämpösäteily	Etäisyys palopesäkkeestä	Vaikutus	Mallinnusväri
Punainen vyöhyke	>10,0 kW/m ²	89 metriä	Hengenvaarallinen altistus 60 sekunnissa	Punainen (kuvioitu)
Oranssi vyöhyke	>5,0 kW/m ²	125 metriä	Toisen asteen palovammoja mahdollisia 60 sekunnin altistuksella	Oranssi
Keltainen vyöhyke	>2,0 kW/m ²	194 metriä	Kipua aiheuttava lämpöaltistus 60 sekunnin aikana	Keltainen

Kuvassa 10 esitetään tilanne, jossa syttyvä kaasu palaa ulos virratessaan suuresta putkesta (jet fire). Lämpösäteilyn vaara-alueet on jaettu kolmeen vyöhykkeeseen. Keltainen alue osoittaa säteilytason ylittävän 2 kW/m² – tällä alueella lämpöaltistus voi aiheuttaa kipua 60 sekunnin sisällä. Oranssi alue kattaa alueen, jossa säteily ylittää 5 kW/m² ja voi aiheuttaa toisen asteen palovammoja saman aikarajan puitteissa. Punaisella vyöhykkeellä säteily ylittää 10 kW/m², mikä tekee siitä hengenvaarallisen lyhyessäkin altistuksessa.

Suurin vaikutusetäisyys ulottuu 194 metriin saakka. Mallinnus osoittaa merkittävän lämpöriskin sekä henkilö- että rakenteelliselle turvallisuudelle, erityisesti laitoksen lähialueilla. Kuvassa 11 on havainnollistettu lämpöriskin vaikutusetäisyyttä hankealueella.



Kuva 10 Vetyputken putkivuodon palo, pistoliekki, 80 bar, vuotoa ei suljeta nopeasti (Aloha-ohjelma)



Kuva 11 Vetyputken putkivuodon pistoliekin vaikutusalue havainnollistettuna karttakuvaa suunnitellun T/kem-alueen rajalla.

Vetyputken katkeaminen, höyrypilviräjähdyksen painevaikutus

Lähtötiedot:

Vuotoskenaarion tekniset tiedot:

- Tapahtuma: Syttyvä kaasu virtaa ulos putkesta (ei pala säiliössä)
- Putken halkaisija: 20 cm
- Putken pituus: 40 m
- Putken pää: Liitetty rajattomaan lähteeseen (infinite source)
- Putken sisäpinta: Sileä (smooth)
- Paine: 1160 psia (~80 bar)
- Lämpötila: 3 °C
- Aukon pinta-ala: 314 cm²
- Purkauskesto: 1 tunti (ALOHA-mallinnusrajoitus)
- Keskimääräinen vapautumisnopeus: 5 210 kg/min
- Yhteensä vapautunut määrä: 312 311 kg

Lisätiedot mallinnuksesta:

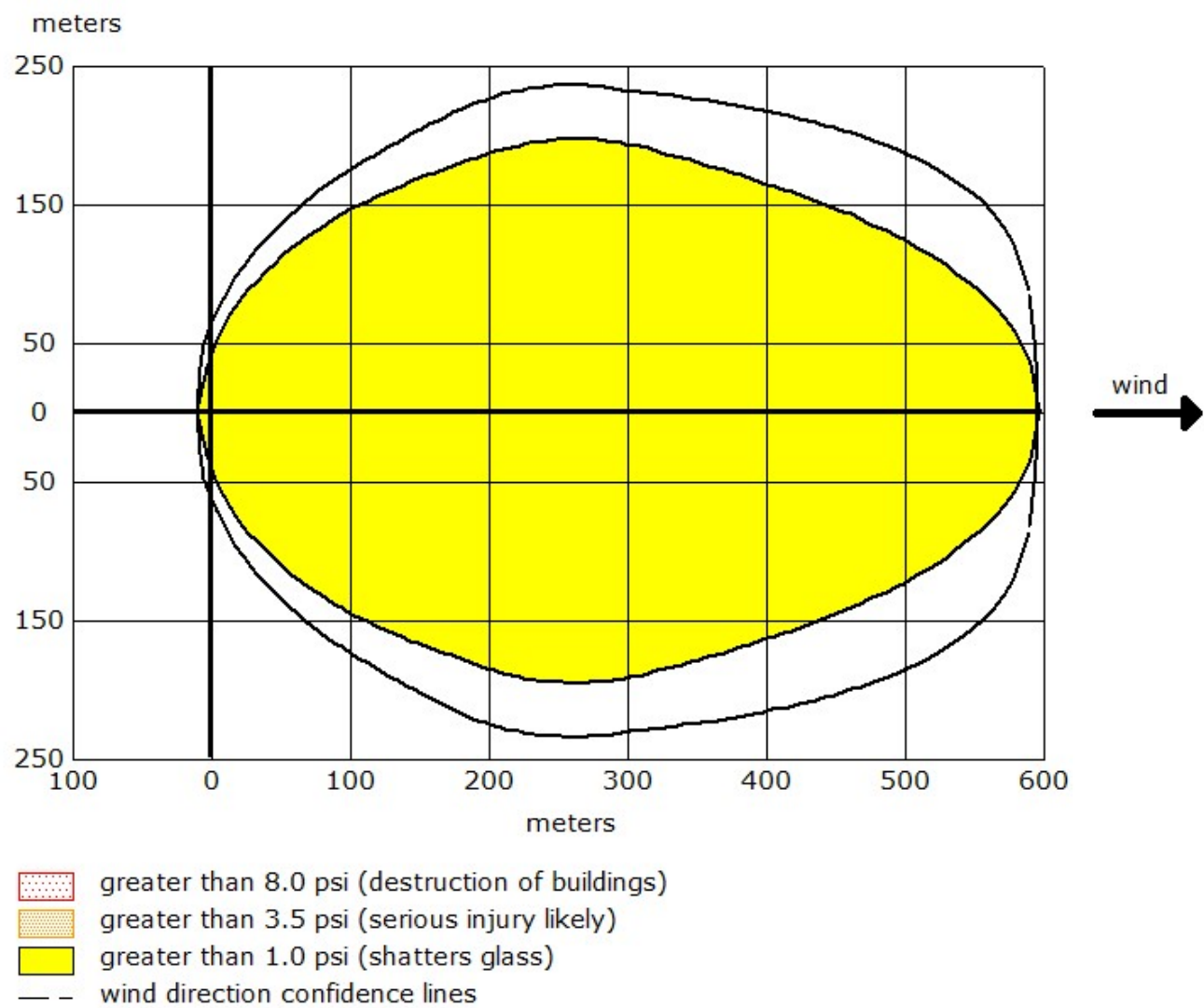
- Uhkamalli: Ylipaine (blast force) kaasupilviräjähdyksestä
- Sytytystapa: Kipinä tai liekki
- Tilan täyttöaste: Ei ruuhkautunut tila (uncongested)
- Mallinnusmenetelmä: Gaussilainen

Uhkavyöhykkeet – ylipaineen vaikutusalue (räjähdys):

Vyöhykkeen nimi	Ylipainetaso (psi)	Etäisyys lähteestä	Vaikutus	Mallinnusväri
Punainen vyöhyke	>8,0 psi	Ei saavutettu	Rakenteiden tuhoutuminen	Ei esiinny
Oranssi vyöhyke	>3,5 psi	Ei saavutettu	Vakavat vammat mahdollisia	Ei esiinny
Keltainen vyöhyke	>1,0 psi	597 metriä	Ikkunoiden rikkoutuminen, lieviä rakenteellisia vaurioita	Keltainen

Kuvassa 12 esitetään mallinnus, jossa syttyvä kaasu purkautuu korkeapaineputkesta, ei pala säiliössä, mutta mallinnetaan mahdollinen höyrypilviräjähdys. Keltainen alue osoittaa vyöhykkeen, jossa räjähdysen ylipaine ylittää 1,0 psi – tämä vastaa tasoa, jolla ikkunoiden rikkoutuminen ja lievät rakenteelliset vauriot ovat mahdollisia. Oranssia tai punaista vyöhykettä ei muodostunut, eli vakavampien vaurioiden (rakenteiden tuhoutuminen tai vakavat vammat) kynnys ei ylitetty.

Keltainen vaara-alue ulottuu 597 metrin päähän vuodosta tuulen suuntaisesti. Alue on epäsymmetrinen ja painottuu selvästi tuulensuuntaan, mikä on tyypillistä kaasupilviräjähdysten leviämisprofiilille. Kuvassa 13 on havainnollistettu kaasun vaikutusalueen laajuutta karttakuvassa.



Kuva 12 Vetyputken katkeaminen, höyrypilviräjähdysen painevaikutus (Aloha-ohjelma)



Kuva 13 Vetyputken katkeamisen aiheuttaman höyrypilven vaikutusalue havainnollistettuna karttakuvaan suunnitellun T/kem-alueen rajalla.

Vetysäiliön vuoto, syttyvän kemikaalin vuoto säiliöstä (ei pala)

Lähtötiedot:

Vuotoskenaarion tekniset tiedot:

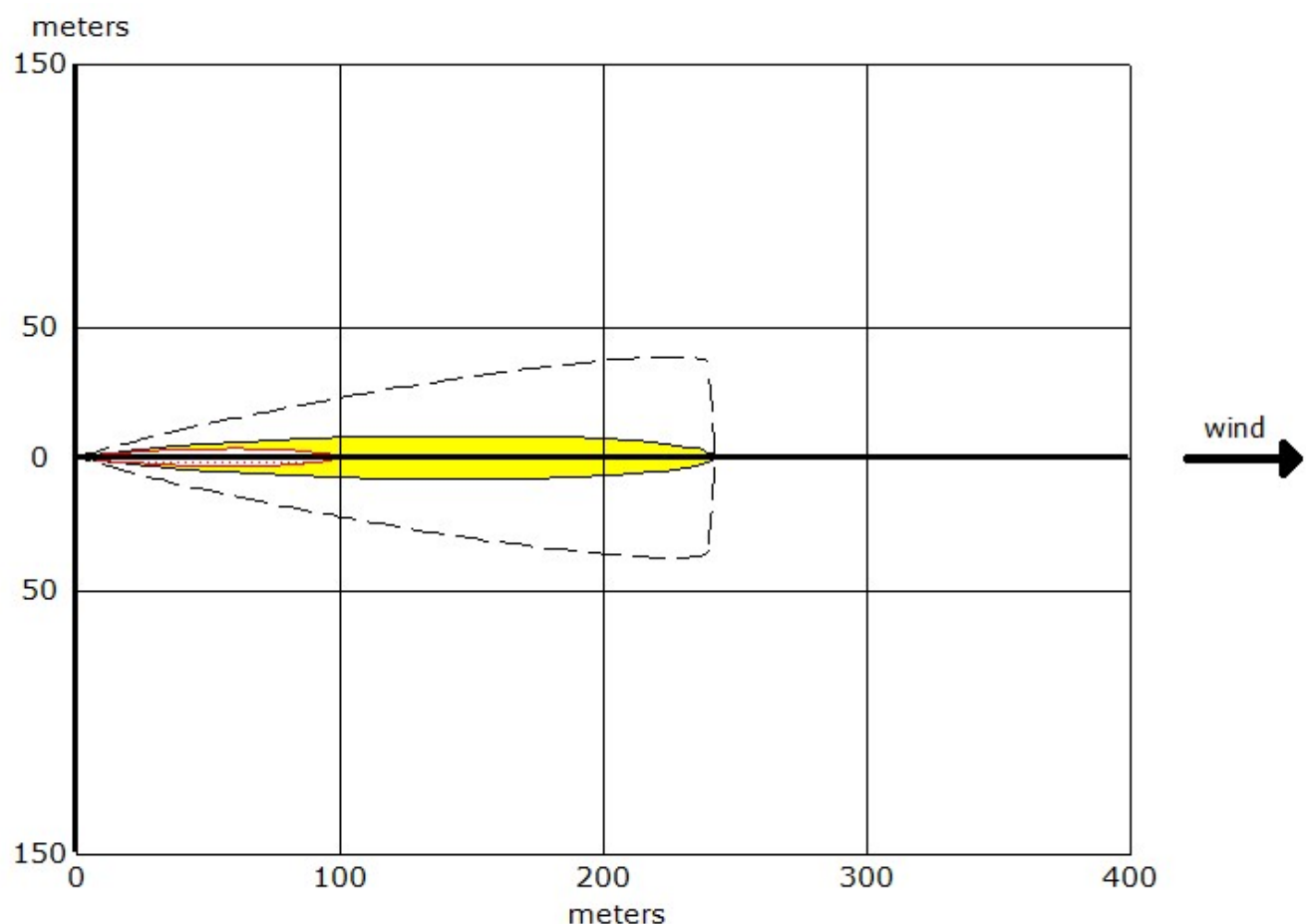
- Vuodon tyyppi: Reikä pallomaisessa säiliössä
- Vuotava aine: Syttyvä kaasu (ei pala säiliössä)
- Säiliön muoto: Sylinteri
- Säiliön halkaisija: 2 metriä
- Säiliön tilavuus: 4,19 m³
- Kemikaalimassa: 0,14 tonnia (140 kg)
- Sisälämpötila: 3 °C
- Sisäinen paine: 5076 psia (~350 bar)
- Aukon halkaisija: 2 cm
- Purkauskesto: 4 minuuttia
- Keskimääräinen vapautumisnopeus: 107 kg/min
- Yhteensä vapautunut määrä: 128 kg
- Säiliön sisältö: Pelkkää kaasua
- Mallinnusmenetelmä: Gaussilainen (Gaussian)

Uhkavyöhykkeet – höyrypilven syttyvyysalue:

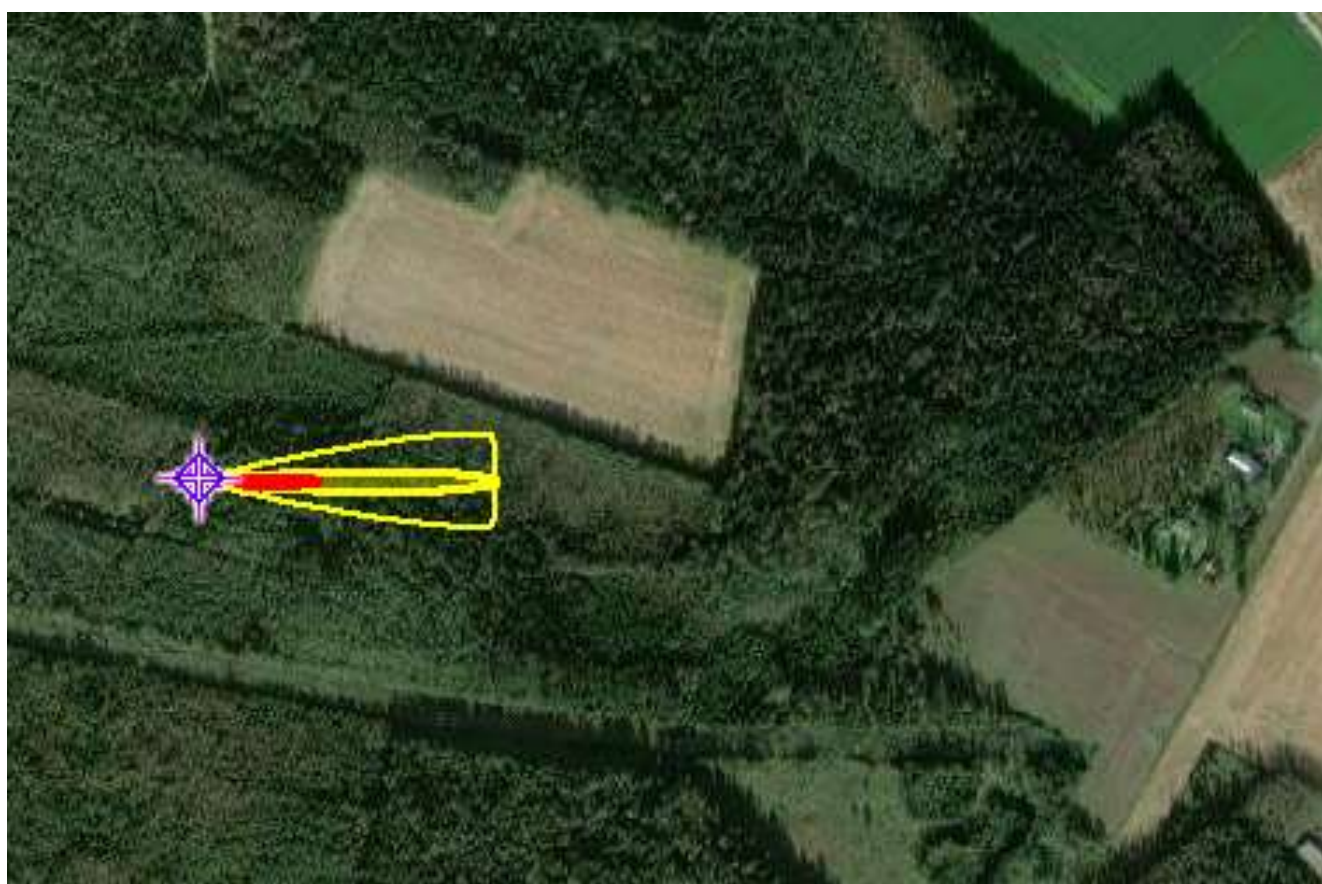
Vyöhykkeen nimi	Pitoisuus (ppm)	Etäisyys lähteestä	Vaikutus / merkitys	Mallinnusväri
Punainen vyöhyke	24 000 ppm (≈ 60 % LEL)	98 metriä	Liekkitaskujen esiintyminen mahdollista (Flame Pockets)	Punainen
Keltainen vyöhyke	4 000 ppm (≈ 10 % LEL)	243 metriä	Syttyvä kaasuseos mahdollinen, palovaarallinen alue	Keltainen

Seuraavassa kuvassa 14 esitetään pallomaisesta säiliöstä tapahtuneen kaasuvuodon aiheuttama syttyvän höyrypilven leviämisalue. Punainen alue osoittaa vyöhykkeen, jossa kaasun pitoisuus ylittää 24 000 ppm (60 % alemmasta räjähdysrajasta, LEL), mikä tarkoittaa, että liekkitaskujen muodostuminen on mahdollista. Keltainen alue ulottuu pidemmälle ja kattaa pitoisuudet yli 4 000 ppm (10 % LEL), jolloin alueella on edelleen syttymisvaara, mikäli sopiva sytytyslähde on läsnä.

Pilvi leviää tuulen suuntaisesti ja ulottuu pisimmillään noin 243 metrin päähän vuodosta. Punaisen alueen pituus on noin 98 metriä. Eli vaikka vapautunut kaasumäärä on varsin pieni (128 kg), korkeapaineinen vuoto voi muodostaa tiiviin ja syttyvän pilven, jonka leviämisalueella on paloriski. Kuvassa 15 on esitetty leviämisalueen havainnollistus karttakuvassa.



Kuva 14 Vetysäiliön vuoto, syttyvän kemikaalin vuoto säiliöstä, ei pala (Aloha-ohjelma)



Kuva 15 Vetysäiliön vuodon aiheuttaman syttyvän kaasun vaikutusalue havainnollistettuna karttakuvaan suunnitellun T/kem-alueen rajalla

Vetysäiliön vuoto, syttyvän kemikaalin vuoto säiliöstä (pistoliekki)

Lähtötiedot:

Vuotoskenaarion tekniset tiedot:

- Vuodon tyyppi: Reikä sylinterimäisessä säiliössä
- Reaktiotilanne: Kaasu palaa virratessaan ulos (jet fire)
- Säiliön halkaisija: 2 metriä
- Säiliön tilavuus: 4,19 m³
- Kemikaalimassa säiliössä: 0,14 tonnia
- Sisälämpötila: 6 °C
- Sisäinen paine: 5076 psia (~350 bar)

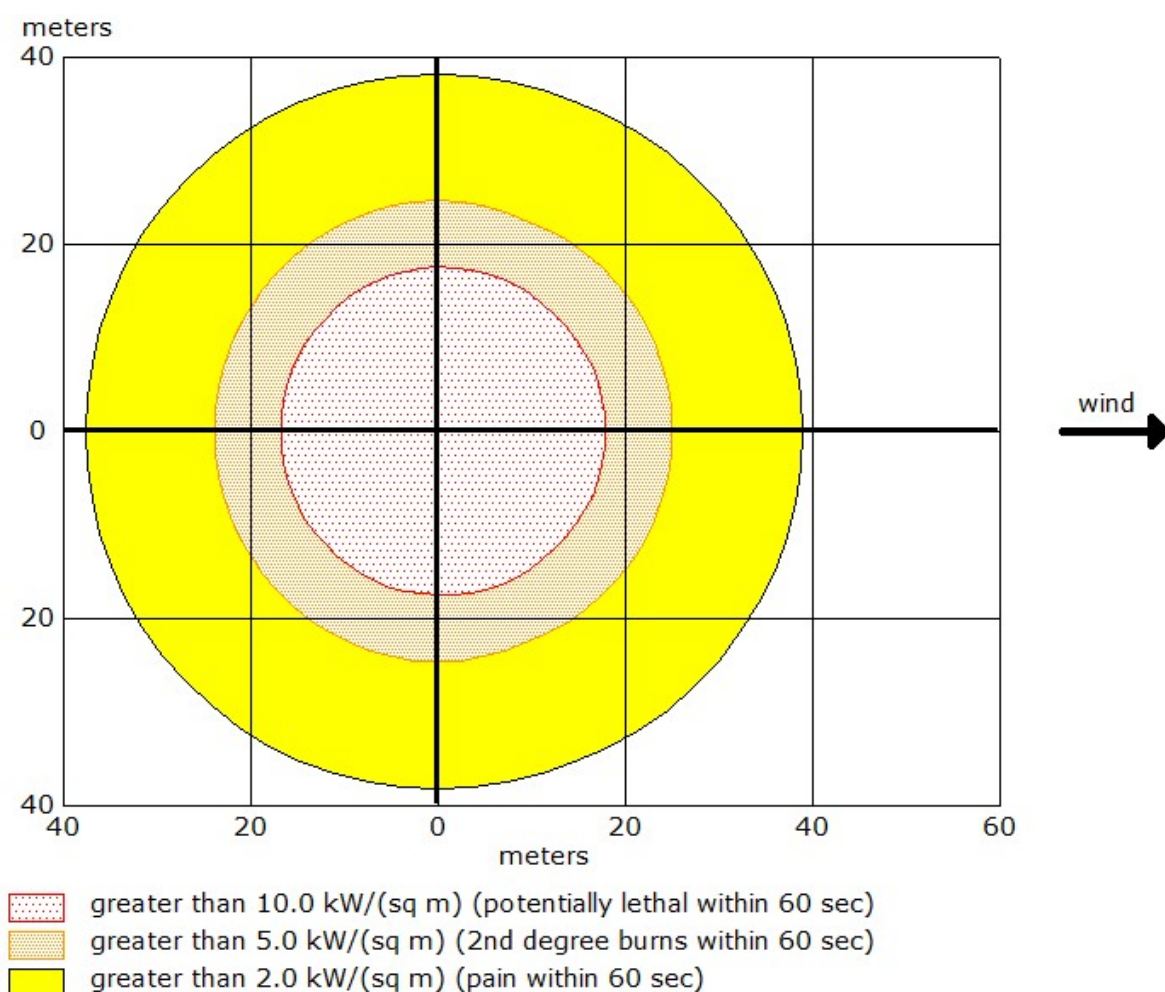


- Säiliö sisältää: Kaasua (gas only)
- Aukon halkaisija: 2 cm
- Maksimi liekin pituus: 4 metriä
- Palonopeus (maksimi): 257 kg/min
- Palon kesto: 3 minuuttia
- Yhteensä palanut määrä: 126 kg

Uhkavyöhykkeet – lämpösäteily:

Vyöhykkeen nimi	Lämpösäteily	Etäisyys palopesäkkeestä	Vaikutus	Mallinnusväri
Punainen vyöhyke	>10,0 kW/m ²	18 metriä	Hengenvaarallinen altistus 60 sekunnissa	Punainen (kuvioitu)
Oranssi vyöhyke	>5,0 kW/m ²	25 metriä	Toisen asteen palovammoja 60 sekunnin altistuksella	Oranssi
Keltainen vyöhyke	>2,0 kW/m ²	39 metriä	Kipua aiheuttava lämpöaltistus 60 sekunnissa	Keltainen

Kuvassa 16 esitetään lieriömäisestä säiliöstä tapahtuneen kaasuvuodon aiheuttama syttyvän höyrypilven leviämisalue. Punainen alue osoittaa vyöhykkeen, jossa kaasun pitoisuus ylittää 24 000 ppm (60 % alemmasta räjähdysrajasta, LEL), mikä tarkoittaa, että liekkitaskujen muodostuminen on mahdollista. Keltainen alue ulottuu pidemmälle ja kattaa pitoisuudet yli 4 000 ppm (10 % LEL), jolloin alueella on edelleen syttymisvaara, mikäli sopiva sytytyslähde on läsnä. Kuvassa 17 havainnollistettu vaikutusalueen laajuus karttakuvassa.



Kuva 16 Vetysäiliön vuoto, syttyvän kemikaalin vuoto säiliöstä, pistoliekki (Aloha-ohjelma)



Kuva 17 Vetyäiliön vuodon aiheuttaman syttyvän kaasun pistoliekin vaikutusalue havainnollistettuna karttakuvaan suunnitellun T/kem-alueen rajalla

10 Ammoniakin turvallisuus

Ammoniakki ei ole helposti syttyvää, mutta ulkomailla räjähdyksiä on sattunut. Ammoniakki muodostaa syttyvän seoksen, kun kaasua on 16–25 tilavuusprosenttia ilmassa.

Ammoniakki on suurina pitoisuuksina myrkyllinen yhdiste. Se on erittäin myrkyllistä vesieliöille.

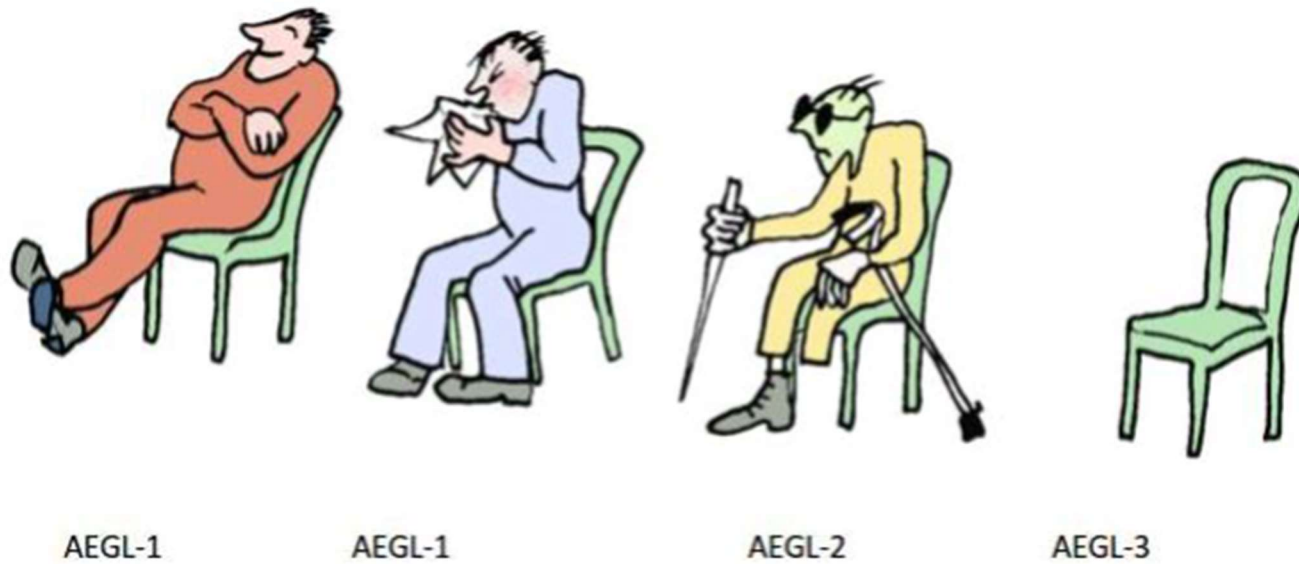
Työterveyslaitoksen ammoniakin OVA-ohjeessa (Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet -turvallisuusohje) kuvataan ammoniakin vuotoa ja valumaa. Kun nesteytettyä kaasua vuotaa säiliöstä, osa nesteestä höyrystyy välittömästi ja loppuosa nesteestä jäähtyy kiehumispisteeseen. Nestesuihku hajoaa pisaroiksi, 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 ammoniakin nestevuoto voi höyrystyä kokonaan. Höyrystyvä kaasu muodostaa tuulen mukana leviämisseuntaan kulkeutuvan kaasupilven, joka vuotokohdan läheisyydessä on läpinäkymätöntä valkoista sumua (Työterveyslaitos, OVA-ohje 2025).

Tässä on lueteltu AEGL-tasojen määritelmät sekä ammoniakin AEGL-pitoisuustasot OVA-ohjeen mukaisesti. Kuvassa 18 on visualisoitu AEGL-arvojen vaikutuksia ihmisiin.

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.



Kuva 18 Kemikaalien terveysvaikutuksia (Lähde: TUKES, Tuotantolaitosten sijoittaminen 2015)

Ammoniakin AEGL-pitoisuustasot

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

Vaara-alueet

Ammoniakki (puhdas):

- Pieni vuoto (noin 0,1 kg/s): Välitön eristys 50 m kaikkiin suuntiin sekä 100 m tuulen alapuolella.
- Kylmälaitteiston varoventtiili (noin 0,8 kg/s): Välitön eristys 50 metriä kaikkiin suuntiin. Ammoniakkikaasu saattaa aiheuttaa ärsytysoireita jopa 250 metrin etäisyydellä tuulen alapuolella. Väestöä kehoitetaan suojautumaan sisätiloihin, sulkemaan ikkunat ja ovet sekä pysäyttämään ilmanvaihtolaitteet.
- Suuri vuoto (kiloja sekunnissa): Välitön eristys 300 metriä kaikkiin suuntiin. Ammoniakkikaasu saattaa aiheuttaa ärsytysoireita jopa 1 500 metrin etäisyydellä tuulen alapuolella. Tuulen alapuolella alueella, joka ulottuu 500 metrin etäisyydelle, väestöä kehoitetaan suojautumaan sisätiloihin, sulkemaan ikkunat ja ovet sekä pysäyttämään ilmanvaihtolaitteet.

Ammoniakin vesiliuos (25-prosenttinen):

- Pieni vuoto (noin 100 l): Välitön eristys 25 metriä kaikkiin suuntiin.
- Suuri vuoto (noin 10 m³): Välitön eristys 50 m kaikkiin suuntiin sekä 150 m tuulen alapuolella.

Vaaraetäisyydet on laskettu Tukesin suositusten mukaisesti. Eristysrajana on käytetty AEGL 3 ja varoitusrajana AEGL 2 30 minuutin arvoa. Ohimeneviä, esimerkiksi ärsytysoireita voi kuitenkin esiintyä myös näitä vaaraetäisyyksiä pidemmällä etäisyyksillä. (Työterveyslaitos, OVA-ohje 2025.)

11 Ammoniakin mallinnusskenaariot

Ammoniakin mallinnusskenaariot on laadittu kuvaamaan mahdollisten vuototilanteiden vaikutuksia. Skenaarioissa on tarkasteltu kaasun leviämistä ilmaan sekä sen aiheuttamia terveysvaikutuksia eri etäisyyksillä. Mallinnukset perustuvat tyypillisiin teknisiin olosuhteisiin, kuten säiliöiden kokoon, täyttöasteeseen ja vapautumisnopeuteen.

Ammoniakkivuoto säiliöstä (ei pala)

Lähtötiedot:

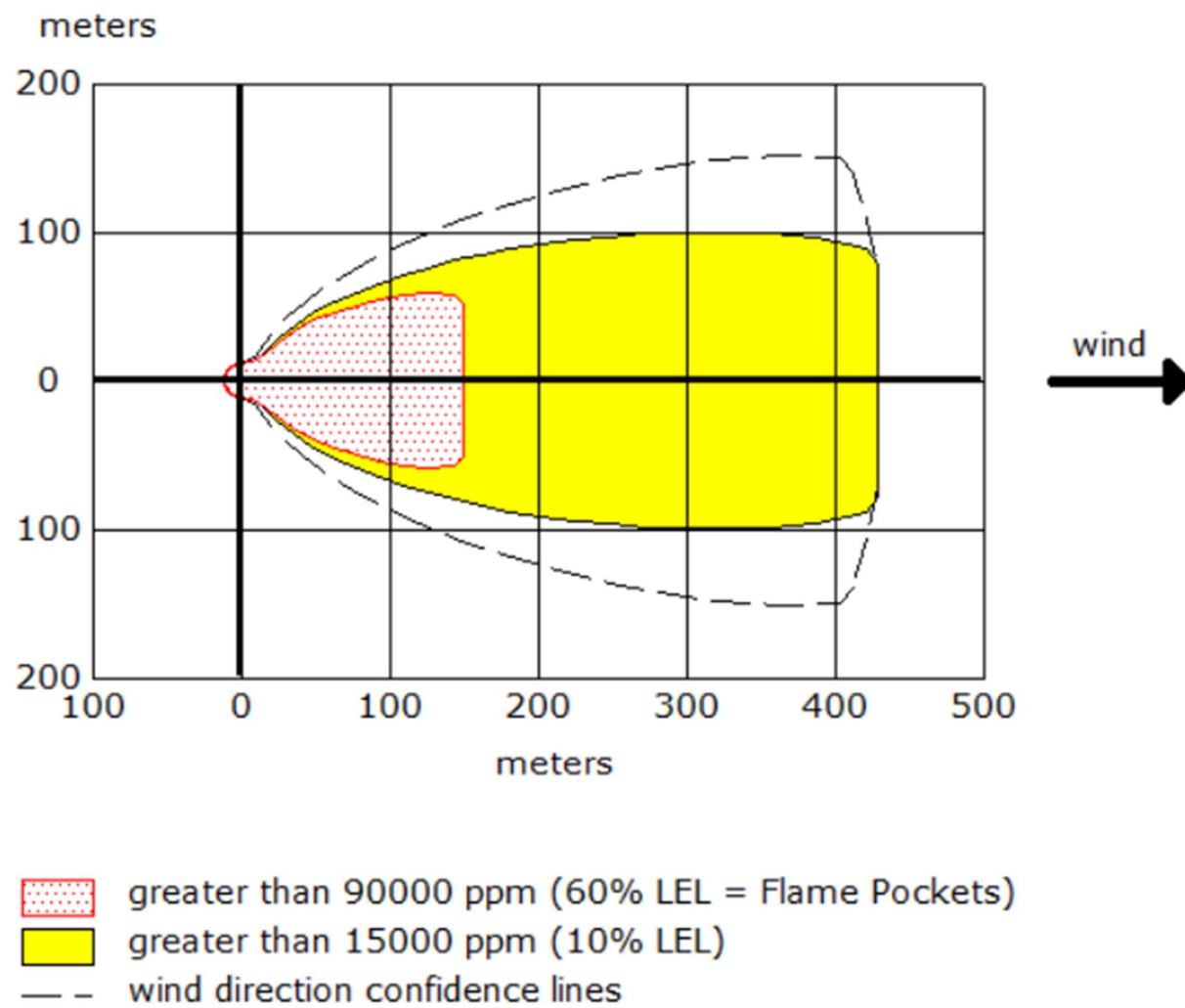
Vuotoskenaarion tiedot:

- Vuototyyppi: Vuoto pystysylinterimäisestä säiliöstä
- Kemikaali: Syttyvä, ei pala säiliössä
- Säiliön halkaisija: 3 metriä
- Säiliön pituus: 4 metriä
- Tilavuus: 28,3 m³
- Täyttöaste: 71 %
- Kemikaalimassa: 13,9 tonnia
- Sisälämpötila: 6 °C
- Aukon halkaisija: 10 cm
- Aukon sijainti: 1 metrin korkeudella säiliön pohjasta
- Vuotokesto: 6 minuuttia
- Keskimääräinen vapautumisnopeus: 6 640 kg/min
- Yhteensä vapautunut määrä: 9 836 kg
- Mallinnusmenetelmä: Traditional ALOHA (tank)
- Lisätieto: Vapautunut kemikaali muodosti sumupilven (gas-aerosol-seos, two-phase flow)
- RAILCAR-huomio: Ennustaa paikallaan pysyvän kaasupilven tai sumualtaan muodostumisen

Uhkavyöhykkeet – höyrypilven syttyvyysalue:

Vyöhykkeen nimi	Pitoisuus (ppm)	Etäisyys lähteestä	Vaikutus / merkitys	Mallinnusväri
Punainen vyöhyke	90 000 ppm ≈ 60 % LEL	149 metriä	Liekkitaskujen (flame pockets) esiintyminen mahdollista	Punainen
Keltainen vyöhyke	15 000 ppm ≈ 10 % LEL	425 metriä	Alueella kaasuseos voi syttyä (räjähdys-/palovaarallinen alue)	Keltainen

Kuvassa 19 on esitetty ammoniakkin, eli raskaan, syttyvän kemikaalin vuoto säiliöstä, jossa aine purkautuu kaasun ja aerosolin seoksena muodostaen maata pitkin leviävän höyrypilven. Mallinnuksen mukaan punainen alue ulottuu 149 metriin ja muodostaa liekkitaskujen riskivyöhykkeen. Keltainen alue ulottuu 425 metriin ja osoittaa alueen, jossa syttyminen on mahdollista sytytyslähteen läsnä ollessa.



Kuva 19 Ammoniakkivuoto säiliöstä, ei pala (Aloha-ohjelma)

Ammoniakkivuoto suuresta säiliöstä (tulipallo, räjähdys)

Lähtötiedot:

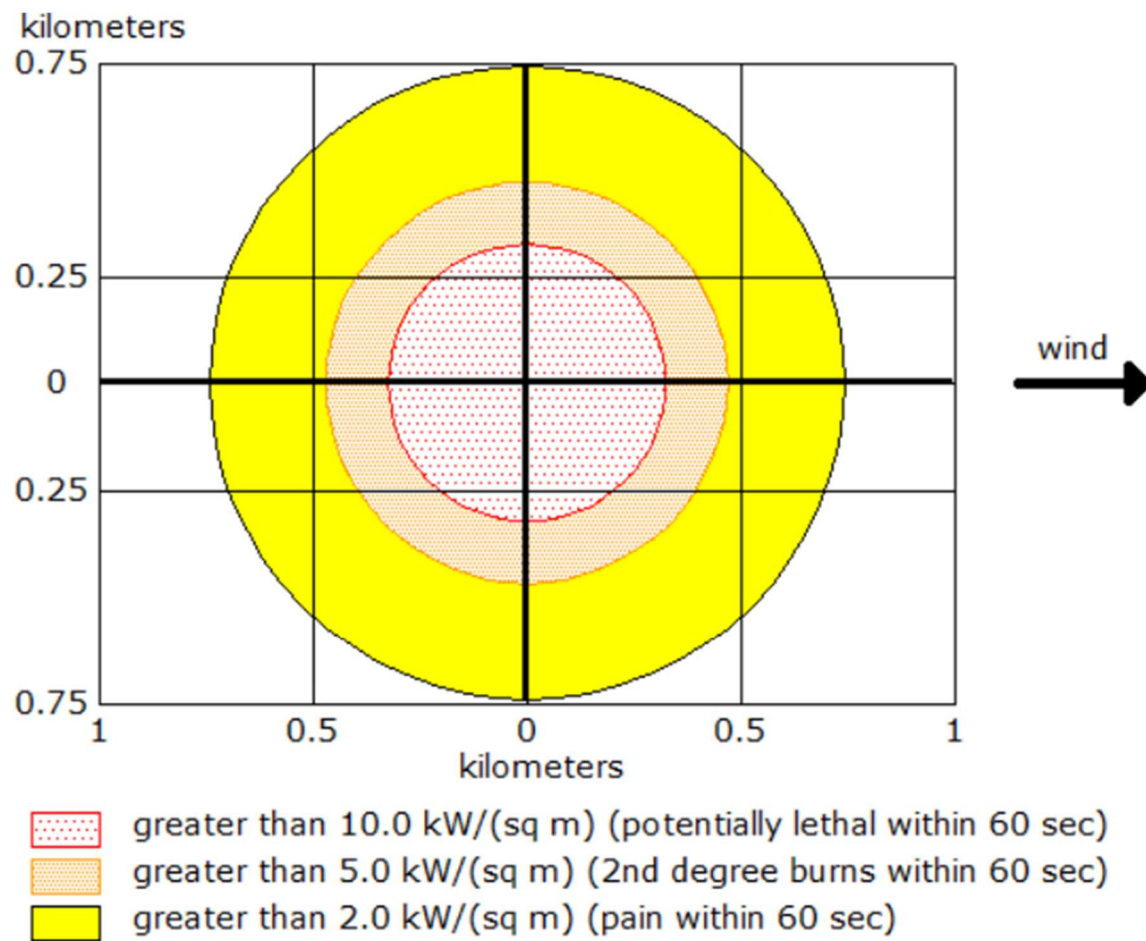
- Tapahtuma: BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)
- Säiliön muoto: Sylinteri
- Säiliön halkaisija: 6 metriä
- Säiliön tilavuus: 113 m³
- Säiliö sisältää: Nestemäistä syttyvää ainetta
- Sisälämpötila: 6 °C
- Täyttöaste: 80 %
- Kemikaalimassa säiliössä: 62,6 tonnia
- Massan osuus tulipallossa: 100 %
- Tulipallon halkaisija: 223 metriä
- Palokesto (fireball duration): 14 sekuntia

Uhkavyöhykkeet – lämpösäteily tulipallosta:

Vyöhykkeen nimi	Lämpösäteily	Etäisyys säiliöstä	Vaikutus	Mallinnusväri
Punainen vyöhyke	>10,0 kW/m ²	324 metriä	Hengenvaarallinen altistus 60 sekunnin aikana	Punainen (kuvioitu)
Oranssi vyöhyke	>5,0 kW/m ²	469 metriä	Toisen asteen palovammat mahdollisia 60 sekunnissa	Oranssi
Keltainen vyöhyke	>2,0 kW/m ²	742 metriä	Kipua aiheuttava lämpösäteily 60 sekunnin altistuksella	Keltainen

Kuvassa 20 on esitetty ammoniakkivuodon aiheuttama räjähdys (BLEVE, kiehuvan nesteen räjähdysmäinen höyrystyminen), jossa suuren pallomaisen säiliön koko sisältö muodostaa tulipallon. Säiliössä oli skenaariossa 62,6 tonnia syttyvää nestettä, ja tulipallon halkaisijaksi muodostui 223 metriä. Mallinnuksessa punainen alue

($\geq 10 \text{ kW/m}^2$) ulottuu 324 metriin, mikä tarkoittaa aluetta, jossa lämpösäteily voi aiheuttaa hengenvaarallisia palovammoja alle minuutin altistuksella. Oranssi alue ($\geq 5 \text{ kW/m}^2$), jossa toisen asteen palovammat ovat mahdollisia, yltää 469 metriin. Keltainen alue ($\geq 2 \text{ kW/m}^2$), jossa säteily aiheuttaa kipua 60 sekunnin aikana, ulottuu 742 metriin. Vaikutusalueen todellista mittakaavaa on havainnollistettu kuvaan 21.



Kuva 20 Ammoniakkivuoto suuresta säiliöstä, tulipallo, räjähdys (Aloha-ohjelma)



Kuva 21 Suuren ammoniakkiräjähdysten vaikutusalueen havainnollistus karttakuvassa suunnitellun T/kem-alueen rajalla

Ammoniakkivuoto säiliöstä (tulipallo, räjähdys)

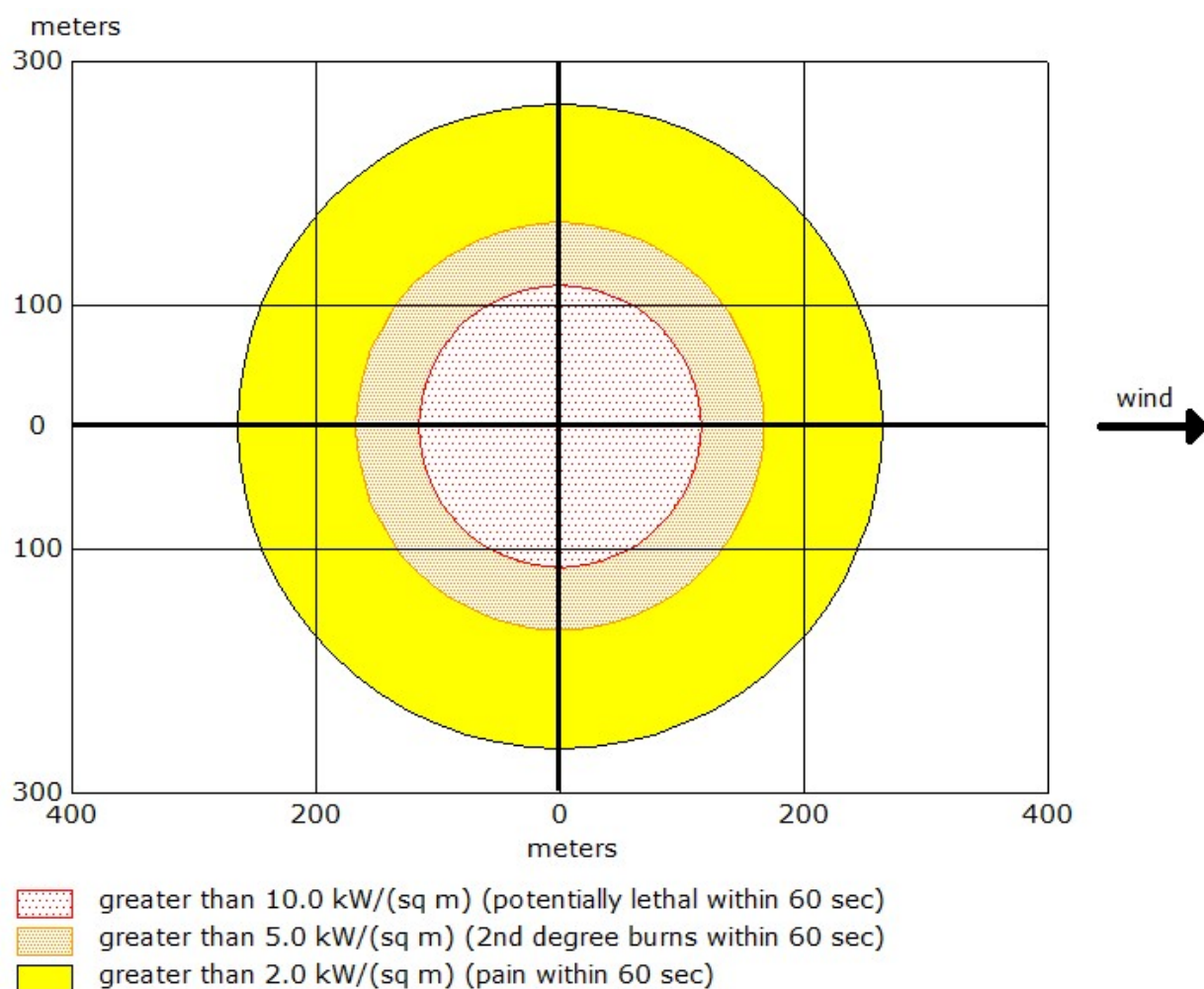
Lähtötiedot

- Tapahtuma: BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)
- Säiliön muoto: Sylinteri
- Säiliön halkaisija: 2 metriä
- Säiliön tilavuus: 4,19 m³
- Täyttöaste: 85 %
- Sisälämpötila: 6 °C
- Kemikaalimassa säiliössä: 2,47 tonnia
- Massan osuus tulipallossa: 100 %
- Tulipallon halkaisija: 76 metriä
- Palokesto (burn duration): 6 sekuntia

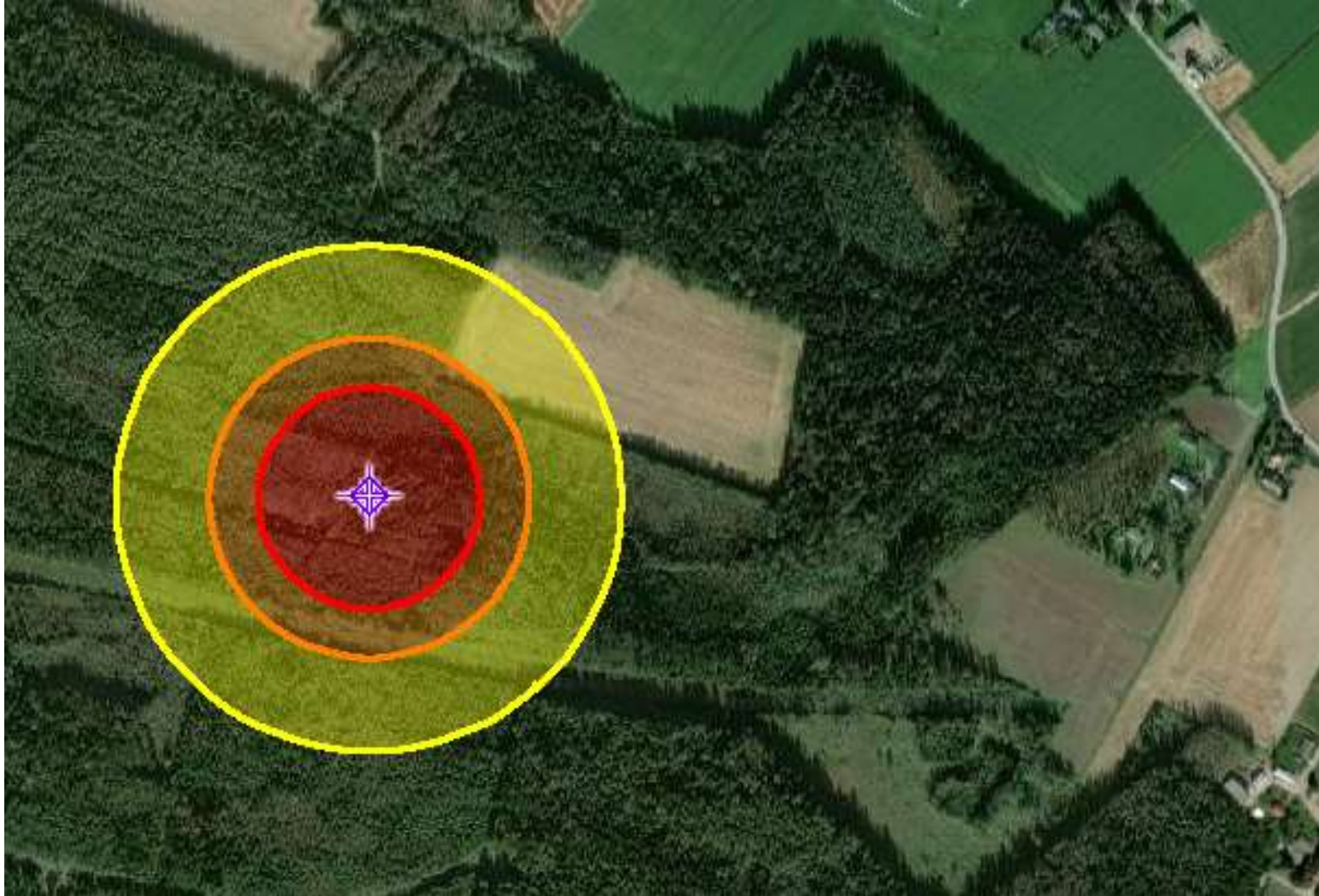
Uhkavyöhykkeet – lämpösäteily räjähdyksestä:

Vyöhykkeen nimi	Lämpösäteily	Etäisyys säiliöstä	Vaikutus	Mallinnusväri
Punainen vyöhyke	>10,0 kW/m ²	116 metriä	Hengenvaarallinen altistus 60 sekunnissa	Punainen (kuvioitu)
Oranssi vyöhyke	>5,0 kW/m ²	167 metriä	Toisen asteen palovammoja mahdollisia 60 sekunnissa	Oranssi
Keltainen vyöhyke	>2,0 kW/m ²	264 metriä	Kipua aiheuttava lämpösäteily 60 sekunnin aikana	Keltainen

Kuvassa 22 on esitetty ammoniakin BLEVE-räjähdysmallinnus, jossa pienikokoinen, nestemäistä ammoniakkia sisältävä säiliö (2,47 tonnia) räjähtää muodostaen tulipallon. Tulipallon halkaisijaksi on arvioitu 76 metriä ja palo aika kuusi sekuntia. Vaikka säiliön koko on rajallinen, BLEVE-tapaus aiheuttaa merkittävän lämpösäteilyn vaara-alueen. Tämä tulee huomioida erityisesti suojavyöhykkeiden määrittelyssä ja kaavoituksessa. Kuvassa 23 on havainnollistettu vaara-alueen kokoa kartalla.



Kuva 22 Ammoniakkivuoto säiliöstä, tulipallo, räjähdys (Aloha-ohjelma)



Kuva 23 Pienemmän ammoniakkiräjähdysen vaikutusalueen havainnollistus karttakuvassa suunnitellun T/kem-alueen rajalla

Ammoniakkivuoto säiliöstä (kaasupilven leviäminen aerosolin ja kaasun seoksena)

Lähtötiedot:

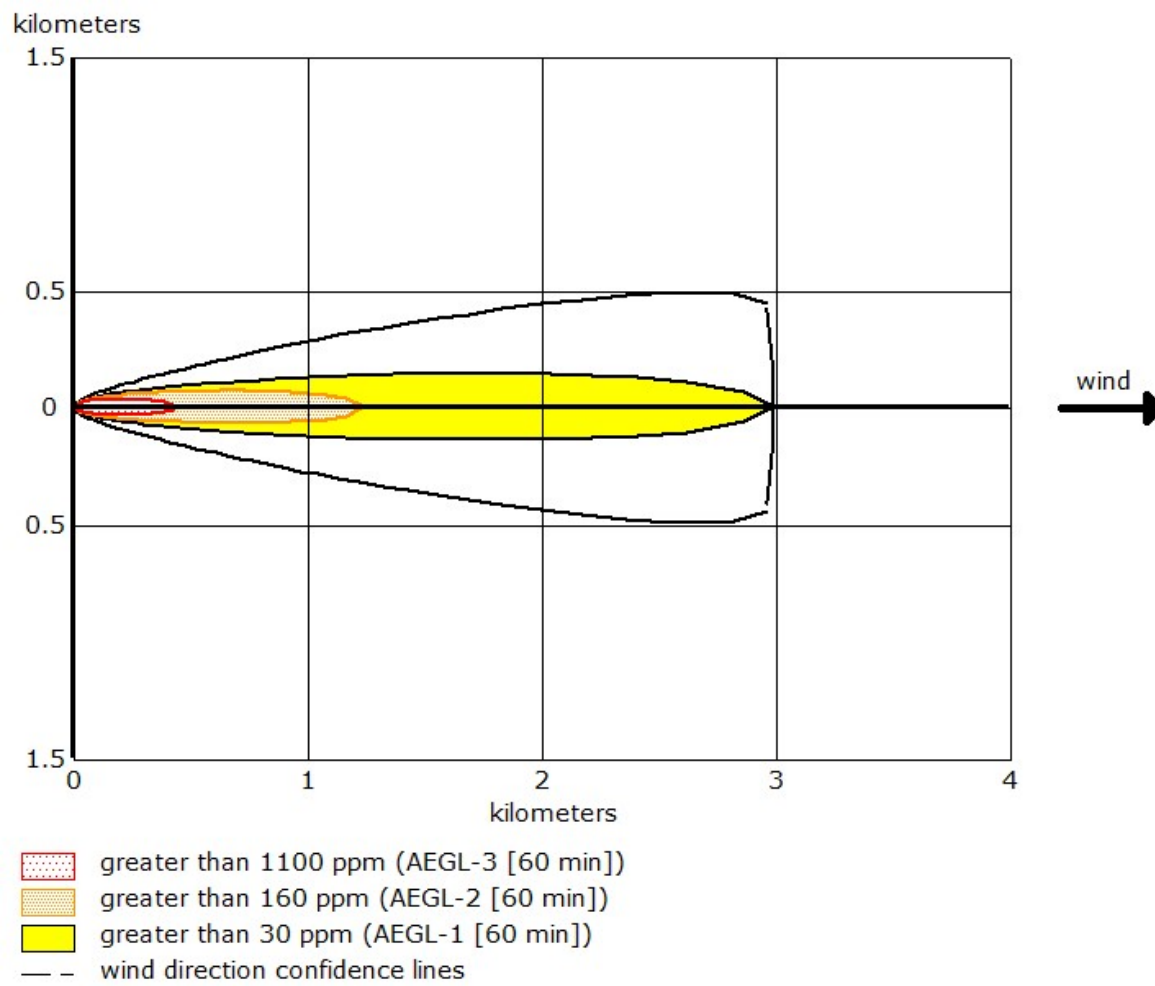
Vuotoskenaarion tekniset tiedot:

- Vuodon tyyppi: Reikä sylinterimäisessä säiliössä
- Säiliön halkaisija: 1,97 metriä
- Säiliön tilavuus: 4 m³
- Säiliön täyttöaste: 85 %
- Kemikaalimassa: 2,36 tonnia
- Sisälämpötila: 6 °C
- Säiliö sisältää: Nestemäistä ammoniakkia
- Aukon halkaisija: 2 cm
- Aukon korkeus pohjasta: 1 metri
- Purkauskesto: 38 minuuttia
- Keskimääräinen vapautumisnopeus: 268 kg/min
- Yhteensä vapautunut määrä: 1 070 kg
- Huomio: Vuoto tapahtui nestemäisen ammoniakin muodossa, joka haihtuu ja muodostaa aerosolin ja kaasun sekoituksen (two-phase flow).

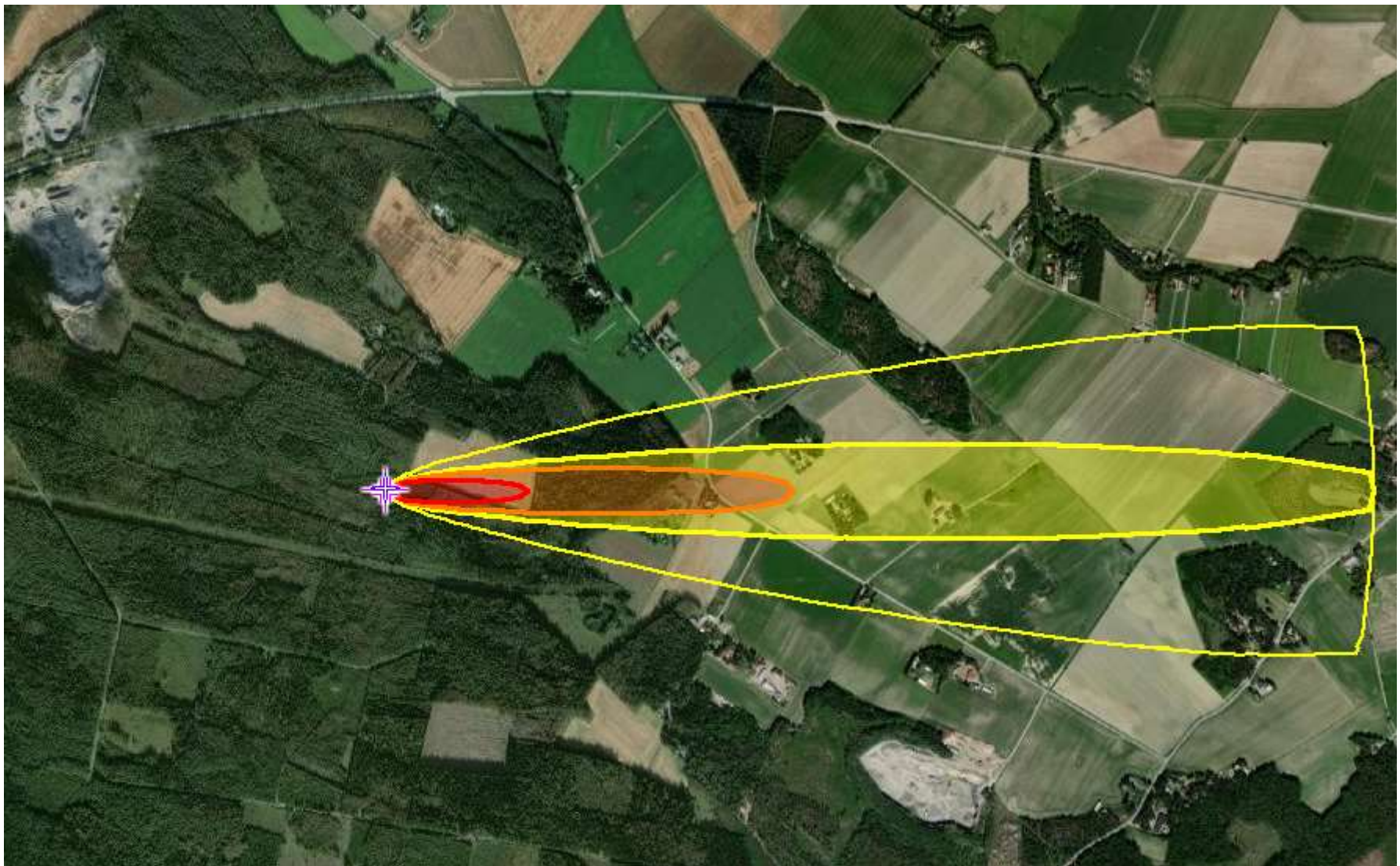
Uhkavyöhykkeet – ammoniakkipitoisuudet (AEGL-tasot, 60 minuutin altistus):

Vyöhykkeen nimi	Pitoisuus (ppm)	Etäisyys vuodosta	AEGL-taso ja vaikutus	Mallinnusväri
Punainen vyöhyke	1100 ppm	433 metriä	AEGL-3: Hengenvaarallinen tai kuolemaan johtava altistus	Punainen
Oranssi vyöhyke	160 ppm	1,2 kilometriä	AEGL-2: Vakavat ja palautumattomat terveyshaitat mahdollisia	Oranssi
Keltainen vyöhyke	30 ppm	3,0 kilometriä	AEGL-1: Lievät oireet, hajuhaitat ja silmien/ylähengitysteiden ärsytys	Keltainen

Mallinnuksessa (kuva 24) tarkastellaan tilannetta, jossa nestemäistä ammoniakkia vuotaa 4 m³ säiliöstä 2 cm reiän kautta 38 minuutin ajan. Vuodon aikana ympäristöön vapautuu noin 1070 kg ammoniakkia. Kaasu leviää raskaana kaasuna maanpinnan tasossa tuulen suuntaisesti. Vaikutusalue on kapea ja pitkä, suuntautuen selkeästi tuulen mukana. Mallinnus osoittaa, että lievät terveysvaikutukset voivat ulottua useiden kilometrien päähän (kuva 25).



Kuva 24 Ammoniakkivuoto säiliöstä kaasupilven leviäminen aerosolin ja kaasun seoksena (Aloha-ohjelma)



Kuva 25 Havainnollistaminen kaasupilven leviäminen aerosolin ja kaasun seoksena suunnitellun T/kem-alueen rajalla

12 Metaanin/maakaasun turvallisuus

Maakaasun käytön yhteydessä tapahtuneet onnettomuudet voidaan jakaa:

- räjähdysiin
- tulipaloihin
- häämyrkytyksiin sekä
- vuototilanteisiin.

Vaaran arvioinnissa voidaan pääasiallisesti keskittyä palo- ja räjähdysvaaran arviointiin. Häämyrkytys on potentiaalinen vaaratekijä erityisesti pienissä käyttökohteissa, joissa kaasulaitteita ei ole liitetty hormiin. On hyvä kuitenkin pitää mielessä, että suuressa käyttökohteessa voi olla sellaista toimintaa (pienkäyttö), joka johtaa myös häämyrkytyksen vaaran huomioimiseen.

Maakaasuvuodon seurauksena voidaan tarkastella kahta peruslähtökohtaa. Kun maakaasuvuoto on sisätiloissa, kyseessä on aina palo- ja räjähdysvaara. Mikäli kaasuvuoto on ulkona, niin merkittävä vuoto johtaa palo- ja räjähdysvaaraan.

Kaasuvuodosta aiheutuvan vaaratilanteen seurauksia voidaan arvioida mm. seuraavien tekijöiden avulla:

- kaasuvuodon suuruus
 - kaasuvuodon ajallinen kesto (hetkellinen vai jatkuva)
 - vuotokohdan sijainti ja koko (sisätilat, ulkona, maan alla)
 - vuodon havaittavuus (hajustettu vai hajustamaton)
 - olosuhteet (tuulen suunta ja nopeus, sade, lämpötila, pimeys).
- (Maakaasukäsikirja 2014.)

Vaara-alueet (OVA-ohje)

Nestemäisen metaanin säiliöt:

Jos liekki koskettaa säiliötä, sen eristyskyky huononee. Säiliön paineen noustessa sen varoventtiili aukeaa jonkin ajan kuluttua. Pitkäaikainen kuumennus johtaa säiliön repeämiseen. Repeävän säiliön vaara-alue on 200 metriä joka suuntaan.

Vuoto:

- pieni vuoto (noin 0,2 kg/s): Välitön eristys 25 metriä kaikkiin suuntiin.
- suuri vuoto (noin 2 kg/s): Välitön eristys 50 metriä kaikkiin suuntiin sekä 150 metriä tuulen alapuolella.

Vaaraetäisyydet on laskettu Tukesin suositusten mukaisesti. Eristysrajana on käytetty TEEL-3 ja varoitusrajana TEEL-2 15 minuutin arvoa.

13 Metaanin mallinnusskenaariot

Metaanin mallinnusskenaariot on laadittu arvioimaan mahdollisten onnettomuustilanteiden vaikutuksia erityisesti paineenalaisen kaasun vuotojen ja syttymisten yhteydessä. Tarkastelussa on huomioitu erilaiset vuotokohdat, kaasun käyttäytyminen ympäristössä sekä siitä aiheutuvat paine- ja lämpövaikutukset.

Metaanin vuoto putkesta, kaasu syttyy palamaan

Lähtötiedot:

Kemialliset ominaisuudet:

- Kemikaalin nimi: Metaani (Methane)
- CAS-numero: 74-82-8
- Moolimassa: 16,04 g/mol



- PAC-1-arvo: 65 000 ppm
- PAC-2-arvo: 230 000 ppm
- PAC-3-arvo: 400 000 ppm
- Alempi räjähdysraja (LEL): 50 000 ppm
- Ylempi räjähdysraja (UEL): 150 000 ppm
- Kiehumispiste: -161,5 °C
- Höyrynpaine normaalilämpötilassa: Yli 1 atm
- Kyllästymispitoisuus: 1 000 000 ppm (100 %)

Ilmakehän tiedot:

- Tuulen nopeus ja suunta: 5 m/s idästä
- Tuulen mittauskorkeus: 5 metriä
- Maasto: urbaani tai metsäinen ympäristö
- Ilman lämpötila: 6 °C
- Pilvisyys: 5/10
- Stabiliateettiluokka: D
- Inversiokorkeus: Ei inversiota
- Suhteellinen kosteus: 50 %

Vuotoskenaarion ja palon ominaisuudet:

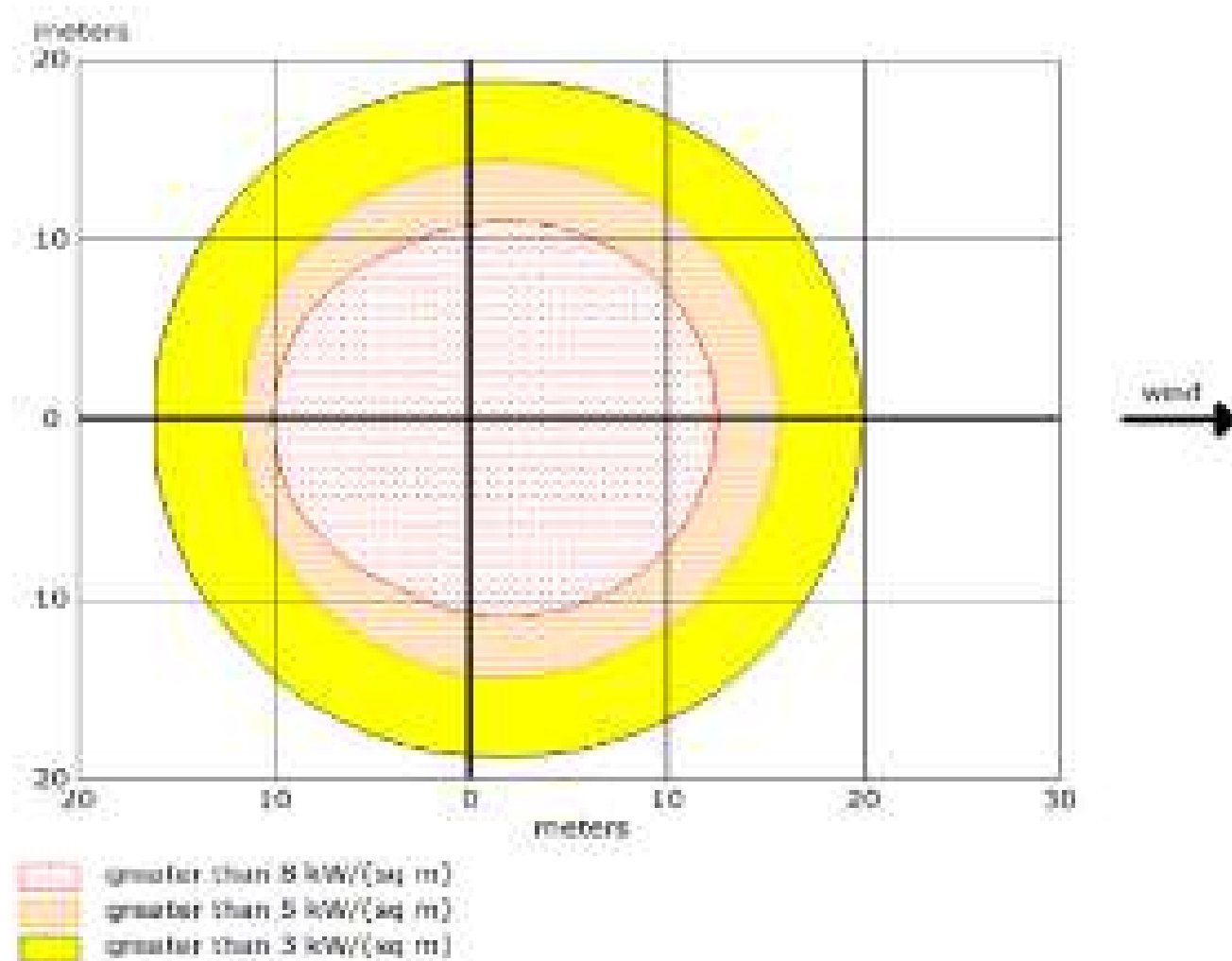
- Vuodon tyyppi: Syttyvä kaasu palaa virratessaan ulos putkesta (jet fire)
- Putken halkaisija: 30 cm
- Putken pituus: 200 metriä
- Putken pää: Suljettu toisesta päästä
- Putken sisäpinta: Sileä (smooth)
- Paine putkessa: 61 psia (~4,2 bar)
- Putken lämpötila: 6 °C
- Aukon pinta-ala: 78,5 cm²
- Liekin pituus: 8 metriä
- Palonopeus (maksimi): 264 kg/min
- Palon kesto: 1 minuutti

Uhkavyöhykkeet:

Vyöhykkeen nimi	Lämpösäteilytaso	Etäisyys lähteestä	Vaikutus	Mallinnusväri
Punainen vyöhyke	≥ 10 kW/m ²	7 m	Hengenvaarallinen altistus alle 60 s	Punainen
Oranssi vyöhyke	≥ 5 kW/m ²	10 m	2. asteen palovammat mahdollisia	Oranssi
Keltainen vyöhyke	≥ 3 kW/m ²	13 m	Kivulias altistus lyhyessä ajassa	Keltainen

Mallinnuksessa (kuva 26) tarkastellaan metaanin pistoliekkipaloa, jossa kaasu virtaa ulos suljetusta putkesta ja syttyy palamaan. Putken halkaisija on 30 cm ja pituus 200 metriä. Polttoaineena toimiva metaani virtaa lievästi ylipaineisena (61 psia), ja palaminen tapahtuu hallitusti liekkimäisesti. Liekin pituus on noin 8 metriä ja palaminen kestää minuutin ajan.

Lämpösäteilyn vaikutusalue jää verrattain pieneksi, mikä johtuu alhaisesta paineesta ja rajallisesta palamismäärästä (n. 264 kg/min). Tämä vastaa tyypillistä pienimuotoista metaaniputkiston palotilannetta.



Kuva 26 Metaanin vuoto putkesta, kaasu syttyy palamaan (Aloha-ohjelma)

Metaanivuoto säiliöstä (hörypilven räjähdysen painevaikutus)

Lähtötiedot:

Vuotoskenaarion tekniset tiedot:

- Vuodon tyyppi: Reikä pystysylinterimäisessä säiliössä
- Säiliön halkaisija: 2 m
- Säiliön korkeus: 2 m
- Säiliön tilavuus: 6,28 m³
- Sisälämpötila: 6 °C
- Sisäinen paine: 3600 psia (~248 bar)
- Säiliön sisältö: Pelkkä kaasu (gas only)
- Kemikaalimassa säiliössä: 1,41 tonnia
- Aukon halkaisija: 2 cm
- Purkauskesto: 14 minuuttia
- Keskimääräinen vapautumisnopeus: 408 kg/min
- Yhteensä vapautunut määrä: 1 271 kg
- Uhkavyöhykkeet – ylipaineen vaikutusalue (räjähdys)

Lisätiedot mallinnuksesta:

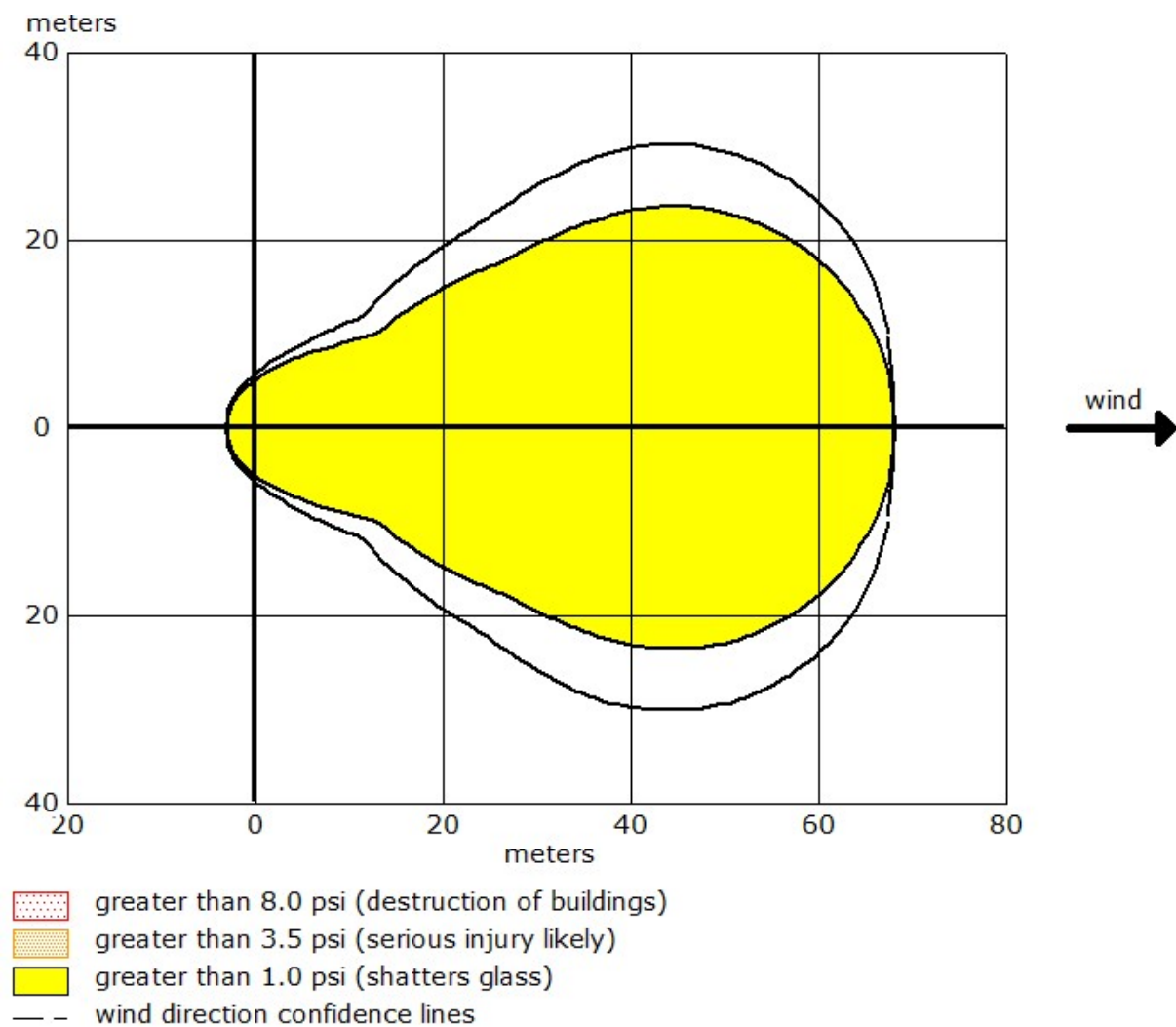
- Uhkamalli: Hörypilviräjähdysen (VCE) aiheuttama ylipaine
- Sytytystapa: Kipinä tai liekki
- Tilankäyttö: Tiivis/esteellinen alue (congested)
- Mallinnusmenetelmä: Gaussilainen leviämismalli

Uhkavyöhykkeet:

Vyöhykkeen nimi	Ylipainetaso (psi)	Etäisyys lähteestä	Vaikutus	Mallinnusväri
Punainen vyöhyke	>8,0 psi	Ei saavutettu	Rakenteiden tuhoutuminen	Ei esiinny
Oranssi vyöhyke	>3,5 psi	Ei saavutettu	Vakavat vammat mahdollisia	Ei esiinny
Keltainen vyöhyke	>1,0 psi	68 metriä	Ikkunoiden rikkoutuminen, lievät henkilövahingot mahdollisia	Keltainen

Mallinnuksessa (kuva 27) tarkastellaan metaanivuotoa paineistetusta kaasusäiliöstä, jossa metaani purkautuu hallitsemattomasti 14 minuutin ajan. Kaasumassa on 1,41 tonnia ja purkaus tapahtuu 2 cm kokoisesta aukosta. Kaasu ei syty heti, vaan muodostaa ilmaan sekoittuvan höyrypilven, joka syttyä myöhemmin aiheuttaen räjähdys.

Räjähdysen painevaikutukset jäivät kohtalaisiksi: rakennusten rakenteellinen tuhoutuminen tai vakavat loukkaantumiset eivät mallinnuksen mukaan olleet todennäköisiä. Kuitenkin lieviä vaurioita (esim. ikkunoiden rikkoutumista) voi ilmetä enintään 68 metrin etäisyydellä. Kuvassa 28 on havainnollistettu vaikutusta karttakuvassa.



Kuva 27 Metaanivuoto säiliöstä, höyrypilven räjähdysen painevaikutus (Aloha-ohjelma)



Kuva 28 Havainnollistaminen metaanivuoden räjähdysen painevaikutuksesta aerosolin suunnitellun T/kem-alueen rajalla

Metaanivuoto säiliöstä (pistoliekin lämpösäteily)

Lähtötiedot:

Vuotoskenaarion tekniset tiedot:

- Vuodon tyyppi: Reikä pystysylinterimäisessä säiliössä
- Säiliön mitat: Halkaisija 2 m, korkeus 2 m
- Tilavuus: 6,28 m³
- Sisälämpötila: 6 °C
- Sisäinen paine: 3600 psia (~248 bar)
- Sisältö: Vain kaasua (gas only)
- Kemikaalimassa säiliössä: 1,41 tonnia
- Aukon halkaisija: 2 cm
- Maksimi liekin pituus: 10 m
- Palonopeus: 537 kg/min
- Palon kesto: 14 minuuttia
- Yhteensä palanut määrä: 1 271 kg

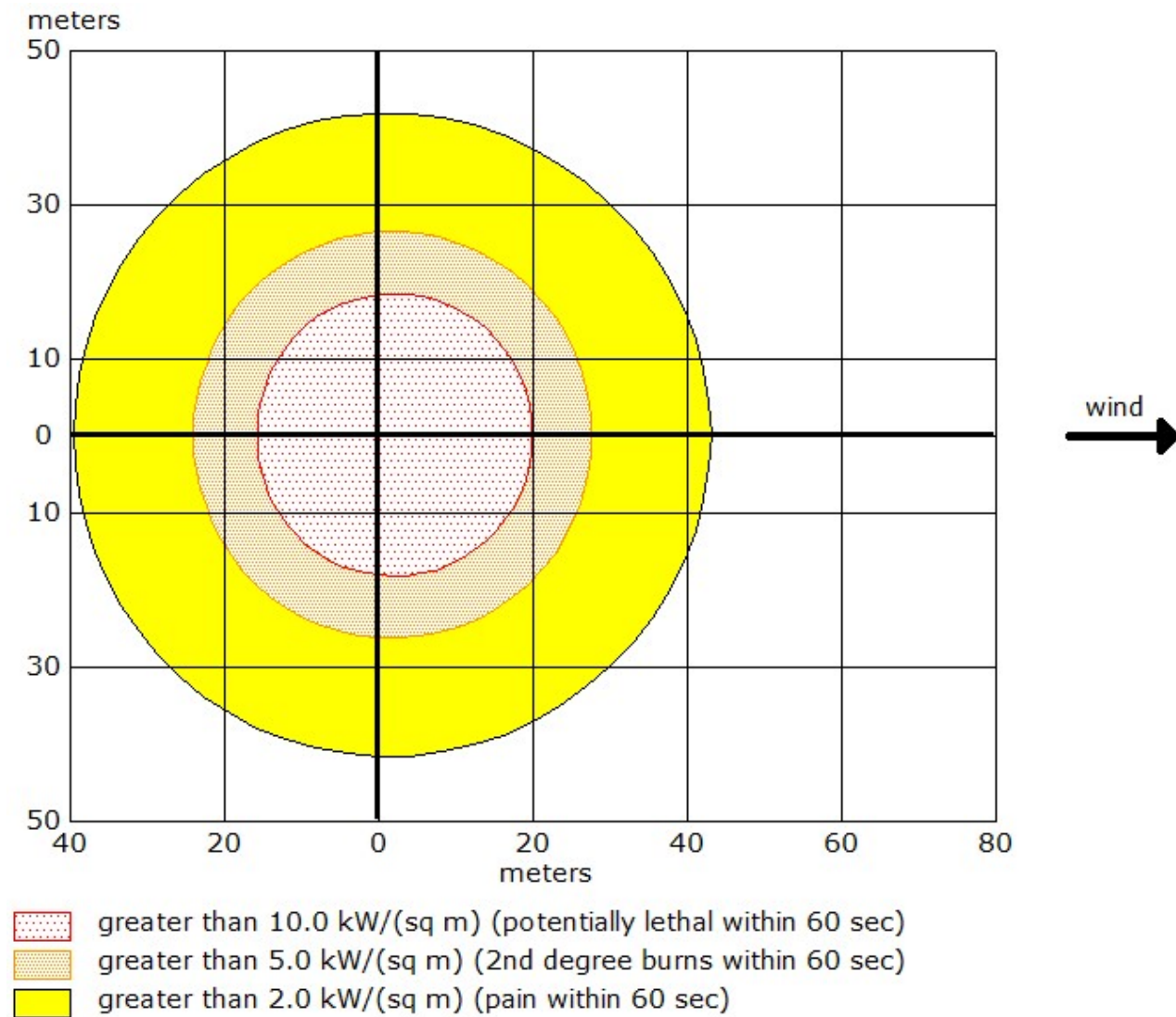
Uhkavyöhykkeet – lämpösäteily pistoliekistä:

Vyöhykkeen nimi	Lämpösäteily	Etäisyys lähteestä	Vaikutus	Mallinnusväri
Punainen vyöhyke	>10,0 kW/m ²	20 metriä	Hengenvaarallinen altistus 60 sekunnissa	Punainen (kuvioitu)
Oranssi vyöhyke	>5,0 kW/m ²	28 metriä	Toisen asteen palovammat mahdollisia 60 sekunnin altistuksella	Oranssi
Keltainen vyöhyke	>2,0 kW/m ²	43 metriä	Kipua aiheuttava lämpösäteily 60 sekunnin aikana	Keltainen

Tarkasteltavassa skenaariossa (kuva 29) metaania vuotaa pystysylinterimäisestä paineistetusta säiliöstä, jonka sisäinen paine on 3600 psia ja lämpötila 6 °C. Säiliössä on kaasumaista metaania 1,41 tonnia, ja vuoto tapahtuu 2

cm halkaisijaltaan olevasta reiästä. Kaasu syttyy ja palaa pistoliekkinä 14 minuutin ajan. Palamisnopeus on keskimäärin 537 kg/min ja kokonaisuudessaan palaa 1271 kg kaasua.

Noin 20 metrin etäisyydellä säiliöstä säteilyteho ylittää 10 kilowattia neliömetriä kohti, mikä voi aiheuttaa hengenvaarallisia vammoja jo alle minuutissa. Tätä ympäröivällä alueella (noin 28 metrin etäisyydelle saakka) säteily on riittävän voimakasta aiheuttamaan toisen asteen palovammoja. Laajin vaikutusalue ulottuu 43 metriin asti, jossa säteilyteho voi aiheuttaa kipua jo lyhytaikaisessa altistuksessa. Vaikutusalue suhteessa suunnitellun alueen kokoon ei ole kovin suuri. Se on havainnollistettu kuvassa 30.



Kuva 29 Metaanivuoto säiliöstä, pistoliekin lämpösäteily (Aloha-ohjelma)

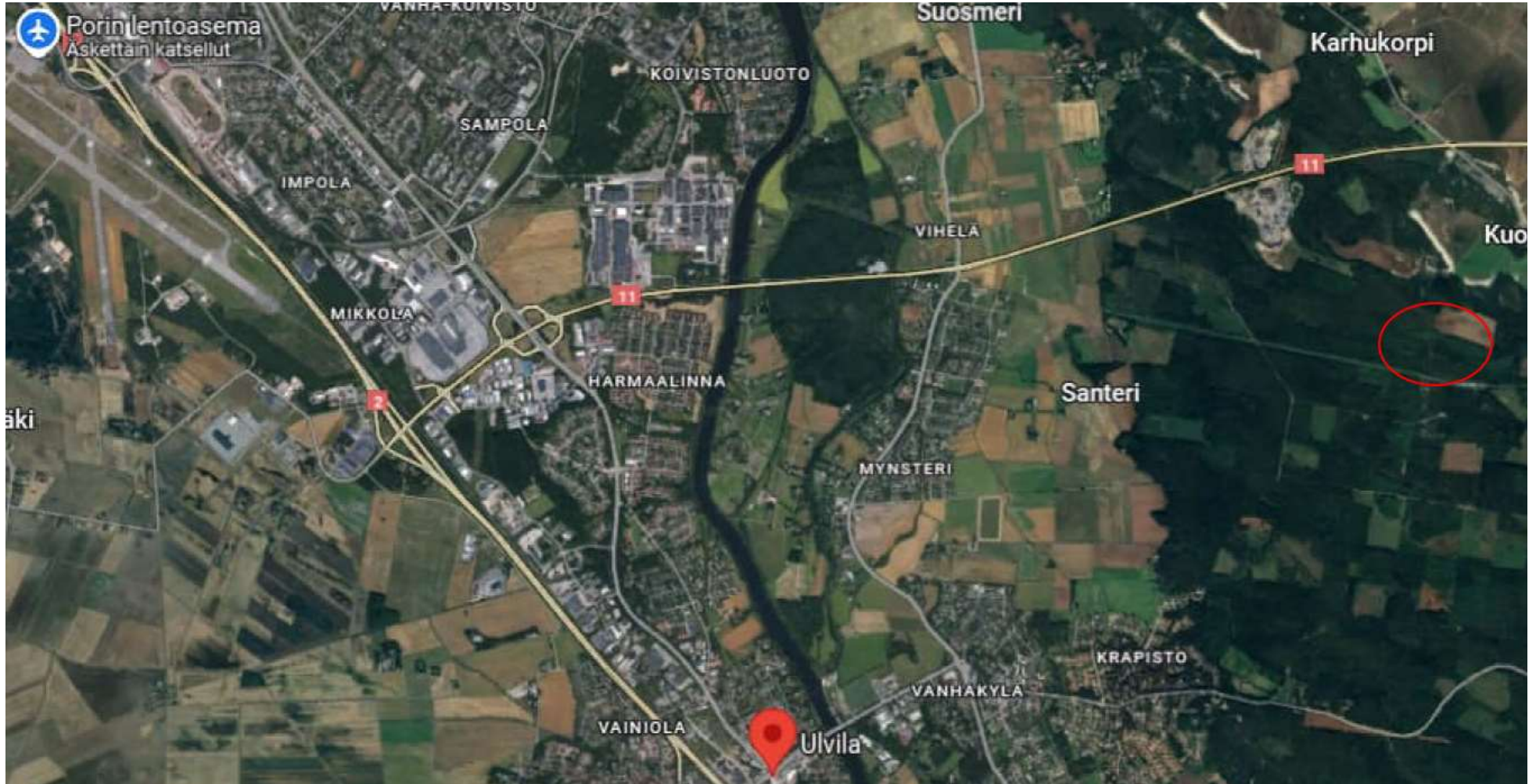


Kuva 30 Havainnollistaminen metaanivuodon pistoliekin lämpösäteilyn vaikutuksesta suunnitellun T/kem-alueen rajalla

14 Vaikutukset Porin lentoasemaan

Porin lentoasema sijaitsee noin kahden kilometrin etäisyydellä kaupungin keskustasta, ja sen etäisyys tarkasteltavasta hankealueesta on noin kuusi kilometriä. Lentoasema palvelee ensisijaisesti koulutus- ja harrastetoimintaa, ja sen keskeisiä toimijoita ovat muun muassa Suomen Ilmailuopisto sekä WinNovan lentotekniikan koulutus. Vuonna 2024 lentoaseman kautta kulki 12 482 matkustajaa. Kentällä on myös Puolustusvoimien toimintaa. Lentoaseman sijainti suhteessa hankealueeseen on esitetty kuvassa 31.

Porin lentoasemalla operoidaan monimuotoista lentoliikennettä, johon sisältyy reittilentoja, koulutuslentoja, harrasteilmailua sekä helikopteritoimintaa. Ilma-alusten lentoreitit ja -tavat vaihtelevat toiminnan ja käytettävän kaluston mukaan. Lentoasemille ei ole asetettu pysyviä suojavyöhykkeitä, vaan mahdollisesti haitallisen toiminnan vaikutuksia arvioidaan aina tapauskohtaisesti. Arviointi perustuu toiminnanharjoittajan asiantuntija-arvioon siitä, mille etäisyydelle vaakasuunnassa ja korkeussuunnassa vaikutukset voivat pahimmillaan ulottua. Tämän pohjalta lentoaseman ylläpitäjä Finavia ja lennonvarmistuspalveluista vastaava Fintraffic ANS arvioivat, mihin lentotoiminnan muotoon tai lennon vaiheeseen kyseinen toiminta voisi vaikuttaa.



Kuva 31 Tarkastellun alueen sijainti suhteessa lentoasemaan

Pirunkynnen potentiaaliseen teollisuus- ja kemikaalialueeseen (T/kem) liittyvien suuronnettomuustilanteiden mahdollisten vaikutusten arviointi Porin lentoaseman toimintaan on keskeistä sekä huoltovarmuuden että puolustusvoimien toimintakyvyn turvaamisen näkökulmasta. Tarkastelu kohdistuu erityisesti mahdollisten onnettomuuksien vaikutuksiin ilmatilassa sekä lentoaseman toimintaedellytyksiin.

Tarkemman arvioinnin pohjaksi tarvitaan tapauskohtainen analyysi suunnitellusta toiminnasta ja siihen liittyvistä riskeistä, minkä perusteella lentoaseman ylläpitäjä Finavia ja lennonvarmistuksesta vastaava Fintraffic ANS voivat arvioida, mihin lentotoimintoihin mahdolliset vaikutukset voivat kohdistua.

Vaikka yksityiskohtaisia mallinnuksia ei voida suorittaa ilman tarkkaa tietoa alueelle sijoittuvista toimijoista ja käsiteltävistä aineista, suuntaa antavat arvionnit perustuvat tyypillisten teollisuuskemikaalien mallinnettuihin vaikutusetaisyyksiin. Laadituissa skenaarioissa yksikään tarkasteltu kemikaali ei aiheuttanut vaikutuksia, jotka ulottuisivat yli kuuden kilometrin etäisyydelle onnettomuuspaikasta.

Mallinnusten perusteella lentoliikenteelle mahdollisesti aiheutuvia riskejä liittyy erityisesti vetypohjaisiin onnettomuusskenaarioihin. Tällaisia ovat esimerkiksi vetyputken vuodon seurauksena syntynyt höyrypilviräjähdys, jonka ylipainevaikutus voi ulottua jopa 597 metrin päähän ja ylittää 1,0 psi:n tason, joka voi vaurioittaa herkimpiä rakenteita. Lisäksi vetysäiliön vuodosta muodostunut syttymiskelpoinen höyrypilvi voi levitä noin 592 metrin etäisyydelle (60 % LEL), mikäli syttymisolosuhteet täyttyvät.

Vaikka molemmat skenaariot voivat teoriassa ulottua lentoreiteille, niiden riski lentoliikenteelle on käytännössä hyvin pieni. Arviossa on oletettu, että lentokoneen lentokorkeus alueella on noin 400 metriä. Todennäköisyys sille, että ilma-alus sattuisi olemaan juuri tapahtumahetkellä räjähdysvaikutusalueella, on erittäin vähäinen. Tästä huolimatta kyseiset skenaariot on syytä tunnistaa ja huomioida lentoliikenteen riskinarvioinnissa osana kokonaisvaltaista turvallisuussuunnittelua, kun alueen tulevat teollisuuden toimijat tarkentuvat.

Vaikka tämä selvitys keskittyy ensisijaisesti kemikaaleihin liittyviin suuronnettomuusskenaarioihin, on huomioitava, että myös tavanomaisemmat onnettomuudet voivat aiheuttaa haitallisia vaikutuksia lentoliikenteelle. Mikäli onnettomuus liittyy teollisten kemikaalien käsittelyyn tai varastointiin, voivat vaikutukset ilmatilaan ja lentotoimintaan olla paitsi laajempia ja vakavampia, myös sammutusteknisesti haastavampia. Kemikaaleihin liittyvät tulipalot saattavat muodostaa pitkäkestoisia savukaasupilviä tai myrkyllisiä yhdisteitä, jotka edellyttävät erityistoimenpiteitä pelastustoiminnassa ja voivat edellyttää lentoliikenteen tilapäistä rajoittamista tai uudelleenreititystä.

Esimerkiksi laajamittaisessa tuotantorakennuksen tulipalotilanteessa syntyvä savukaasupilvi voi aiheuttaa merkittäviä haittoja lentoliikenteelle. Savu voi heikentää näkyvyyttä ilmatilassa laajalla alueella, mikä vaikeuttaa lentokoneiden navigointia ja lentämistä. Savu voi myös peittää lentäjän näkymän mittaristoon ja ulkoympäristöön, mikä lisää onnettomuusriskiä. Lisäksi savukaasuissa voi esiintyä terveydelle vaarallisia yhdisteitä, kuten hiilimonoksidia, joiden hengittäminen voi heikentää ohjaajan suorituskykyä, aiheuttaa desorientaatiota ja toimintakyvyn menetystä, äärimmäisissä tapauksissa jopa kuoleman. Tällaisessa tilanteessa lentoliikennettä voidaan joutua tilapäisesti rajoittamaan tai ohjaamaan vaihtoehtoisille reiteille savun leviämisalueen ulkopuolelle.

15 Tulosten tarkastelu

Mallinnuksen perusteella laajin vaara-alue (noin 600 metrin säteelle ulottuva syttymisalue) aiheutui vetysäiliön vaurioitumisesta seuranneesta vuodosta.

Vetypäästö voi johtaa useisiin vaarallisiin ilmiöihin riippuen olosuhteista: vuotava kaasu voi syttyä muodostaen suihkupalon, aiheuttaa hetkellisen tulipallon tai leimahtaa. Mikäli vety muodostaa ilman kanssa riittävän laajan ja syttymiskelpoisen kaasupilven, on seurauksena mahdollisesti kaasupilviräjähdys, jonka vaikutusalue voi olla huomattavan laaja ja vaarallinen.

Vetyä ei luokitella ympäristölle tai terveydelle vaaralliseksi aineeksi. Vety voi kuitenkin suurina pitoisuuksina syrjäyttää hapen aiheuttaen tukehtumisvaaran. Koska vety on ilmaa kevyempi kaasu, kohoo ulkotilassa vety ylöspäin, jolloin pitoisuudet laskevat. Vedyllä on epäsuoria vaikutuksia ilmaston lämpenemiseen, koska suuret pitoisuudet vetyä ilmakehässä vaikuttavat otsonin, veden ja metaanin pitoisuuksiin ilmakehässä. Vetypitoisuuksien kasvu ilmakehässä voi vähentää vetyyn siirtymiseen tuomaa etua.

Ammoniakkisäiliön vuodon etäisyydeksi saatiin n. 150 m (etäisyys, jolloin ammoniakki voi syttyä). Ammoniakkisäiliön räjähdyksestä seurannut tulipallo yltää mallinnuksen mukaan n. 470 m päähän (2.asteen palovammoja). Kirjallisuuden ja muiden tutkimusten perusteella ammoniakkivuoto voi levitä huomattavasti laajemmallekin alueelle. Tähän vaikuttavat mm. säiliöiden koko, määrä ja sijainti. Tällöin se aiheuttaa lähinnä terveyshaittoja.

Metaanikaasuputken vuodon palon aiheuttama vaara-alue on noin 20 m. Metanolisäiliön vuototilanteesta on tehty mallinnuksia muissa selvityksissä tämän projektin ulkopuolella, jonka perusteella voidaan arvioida, että vaadittava suojaetäisyys ei ole kovin suuri. Merkittävimmiksi riskeiksi tunnistettiin metanolisäiliön tulipalo ja räjähdys.

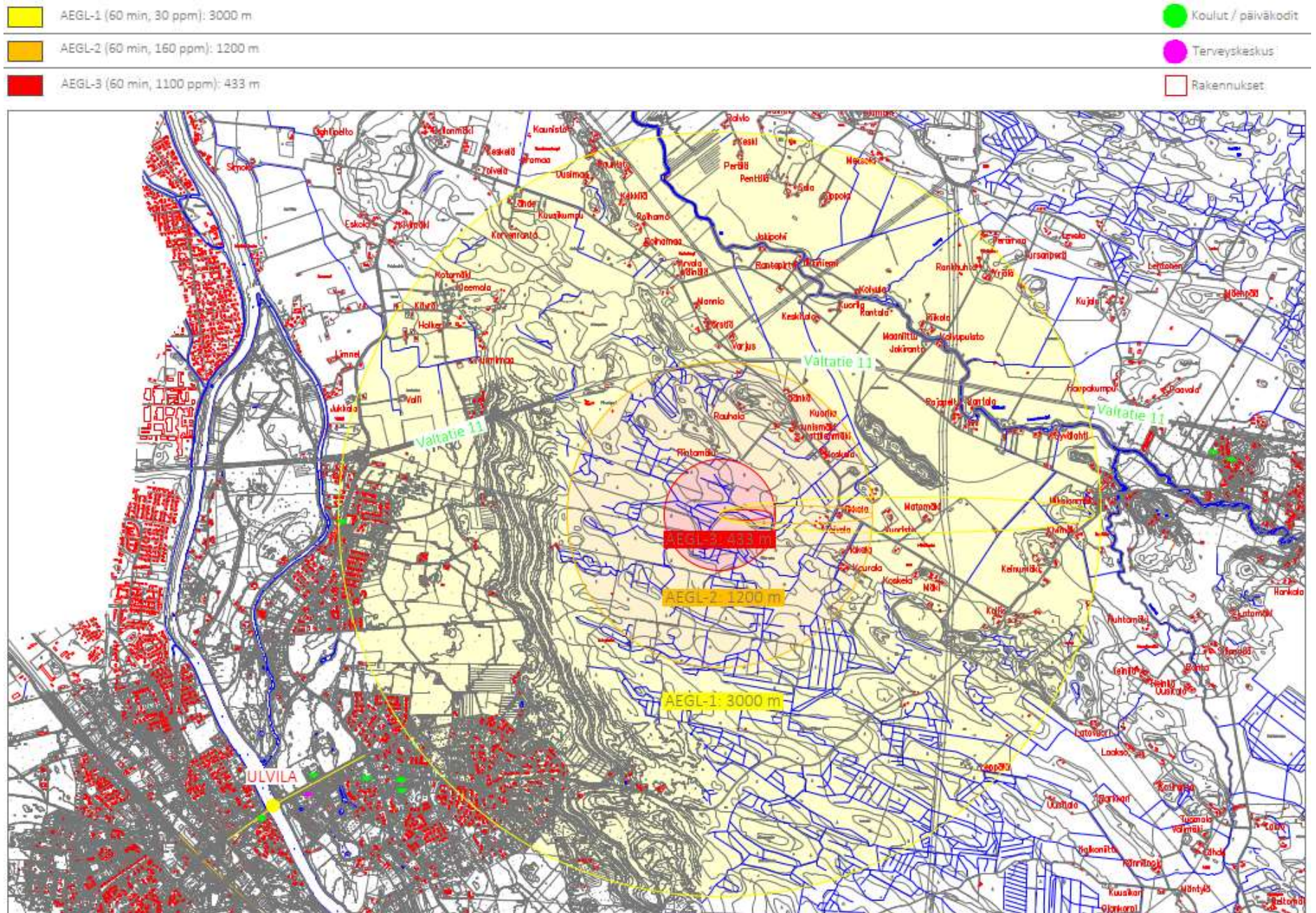
Mallinnettavaksi skenaarioksi valittiin suoja-altaaseen vuotaneen metanolin palotilanne. Skenaariossa suoja-altaaseen vuotaa koko metanolisäiliön sisältö (42 m³). Mahdolliset lämpösäteilyn vaikutukset ulottuvat 12 m (3 kW/m²) ja 10 m (5kW/m²) päähän (Tukes päätös 2018).

Uudet tarkastelut

Tarkentaviin tarkasteluihin ei ole sisällytetty poikkeuksellisen suuria tai epätodennäköisiä skenaarioita ja johtopäätökset on tehty niiden tulosten pohjalta. Selvityksen yhteydessä on toteutettu tarkentavia mallinnuksia, joissa säiliöiden tilavuutta sekä putkistojen ja säiliöiden painetasoja on pienennetty alkuperäisiin oletuksiin verrattuna. Tavoitteena on ollut arvioida tarkemmin alueen itäpuolen soveltuvuutta teollisuus- ja kemikaaliturvallisuusalueeksi (T/kem). Tarkennettujen lähtöoletusten perusteella saadut mallinnustulokset osoittavat, että vedyn aiheuttamat vaara-alueet ovat merkittävästi aiempia skenaarioita pienempiä.

Tässä on esitetty merkittävimpiä mallinnuksen tuloksia:

Ammoniakin osalta tarkasteltiin kaasumaisen ja aerosolin kaltaisessa muodossa purkautuvan vuodon leviämistä. Mallinnuksessa vaaralliseksi luokitellun pitoisuuden raja (AEGL-2, 160 ppm) ulottui noin 1,2 kilometrin päähän 4 m³ kokoisesta säiliöstä. Tulokset osoittavat, että ammoniakkisäiliön tilavuuden pienentyessä alle 1 m³ vaaravyöhyke supistuu huomattavasti. Vastaavasti säiliökoon kasvaessa yli 1 m³ lisäkasvu ei enää merkittävästi laajenna vaara-alueita. Ammoniakkivuodon vaikutusalueita suhteessa herkkiin kohteisiin on havainnollistettu kuvassa 32, josta on tarkempi versio liitteessä 1.



Kuva 32 Ammoniakkivuoto säiliöstä, kaasupilven leviäminen aerosolin ja kaasun seoksena (tarkempi kuva liitteessä 1)

Korkeapaineisen metaanisäiliön vuoto aiheutti noin 40 m säteellä vaara-alueen 2 kW (pistoliekin lämpösäteily, kipua aiheuttava lämpösäteily 60 sekunnin aikana).

Säiliöstä vuotavan metaanin höyrypilven räjähdysen painevaikutus 1.0 psi aiheutti 82 m vaara-alueen, joka voi aiheuttaa rakennuksiin lieviä rakenteellisia vaurioita kuten esimerkiksi lasin rikkoutumista tai lieviä henkilövahinkoja.

Vetyputken putkivuodon palo, pistoliekki (80 bar, vuotoa ei suljeta nopeasti) aiheutti 194 m lämpösäteilyalueen 2 kW/m² (kipua aiheuttava lämpöaltistus 60 sekunnin aikana).

Vetyputken katkeamisesta aiheutunut höyrypilviräjähdysen painevaikutus 1.0 psi aiheutti 597 m vaara-alueen, joka voi aiheuttaa rakennuksiin lieviä rakenteellisia vaurioita kuten esimerkiksi lasin rikkoutumista tai lieviä henkilövahinkoja.

Vetysäiliön vuoto pallomaisessa säiliössä, syttyvän kemikaalin vuoto säiliöstä aiheutti 98 m vaara-alueen 24000 ppm (60 % LEL) jolla liekki taskujen esiintyminen on mahdollista sekä 243 m vaara-alueen 4000 ppm (10 % LEL), jossa syttyvä kaasuseos on mahdollinen.

16 Johtopäätökset

Suuronnettomuusvaaraa aiheuttavat laitokset tulee ensisijaisesti sijoittaa teollisuusalueelle riittävän matkan päähän asutuksesta ja herkistä kohteista. T/kem-alueen suunnittelussa tulee myös ottaa huomioon suuronnettomuusriskejä lisäävät tekijät, jotka rajoittavat teollisten laitosten sijoittamista ja on varmistettava, että alueen toiminnoille määritellyt suojaetäisyydet toteutuvat. Alueelle on myös järjestettävä asianmukaiset pelastustieyhteydet.

Tässä selvityksessä on arvioitu Pirunkynnen alueelle suunnitellulle T/kem-alueelle sijoitettavien eri toimintojen aiheuttamia onnettomuusriskejä. Onnettomuusmallinnuksissa on käytetty tarkoituksella korkeita lähtöarvoja, jotta saataisiin käsitys pahimmista mahdollisista riskeistä. Erityisesti vedyn tuotanto, metaanin tuotanto ja ammoniakkin

valmistus on identifioitu suurimpien onnettomuusriskien lähteiksi. Selvityksessä on kuitenkin tunnistettuja epävarmuustekijöitä, sillä se perustuu kaavoitusvaiheessa saatavilla oleviin tietoihin, ja alueelle suunnitellut toimijat eivät ole vielä vahvistettuja. Näin ollen selvityksen tulokset ovat alustavia, ja niitä tulee päivittää toimijoiden valinnan ja tarkempien tietojen saatavuuden myötä. Jatkoselvityksessä on syytä tarkemmin selvittää myös mahdollisten kemikaalikuljetusten aiheuttamia onnettomuusriskejä, joita tässä selvityksessä ei tarkasteltu.

Aiemmissa mallinuksissa arvioitiin, että vakavampia henkilöturvallisuusriskejä saattaa ilmetä noin 600 metrin etäisyydellä päästölähteestä. Lisämallinnusten perusteella tämä etäisyys tarkentui merkittävästi, ja suurimmaksi potentiaaliseksi henkilöturvallisuusriskejä aiheuttavaksi etäisyydeksi määritettiin noin 300 metriä. Tämä arvio perustuu skenaarioon, jossa ammoniakkisäiliön vaurioituminen johtaa räjähdysten yhteydessä syntyvään tulipalloon ja sen aiheuttamaan voimakkaaseen lämpösäteilyyn. Ammoniakin vuodosta mallinnuksessa syntyi halkaisijaltaan 1,2 km vaara-alue AEGL-2, tämä on tutkittu AEGL-2 (60 min) arvolla (vuoto kestää 60 minuuttia). Alue on todennäköisesti paljon pienempi, jos käytetään arvoa AEGL-2 (10 min). Toisaalta mallinnuksessa käytetty ulkoilman lämpötila on 6 °C. Korkeammassa lämpötilassa vaara-alueen koko hieman kasvaa.

Kirjallisuuden ja muiden tutkimusten perusteella vedyn vaara-alueet ovat kaikilla tarkastelluilla skenaariolla vastaavan maakaasun/metaanin vaara-alueita suurempia. Myös vedyn suihkupalo ja kaasupilviräjähdys saavuttavat suuremmat lämpösäteilyn intensiteetin ja kaasupilviräjähdykseen ylipaineen arvot. Ammoniakkivuoto voi kuitenkin aiheuttaa vaikutuksia jopa laajemmallekin alueelle, jolloin aiheutuu lähinnä terveyshaittoja.

Alkuperäisissä mallinuksissa tutkittava onnettomuusskenaario oli sijoitettu suunniteltavan T/kem-alueen länsipuolelle. Mallinuksissa havaittiin, ettei minkään skenaarion vaikutus ulottunut viereiselle asuinalueelle. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että Pirunkynnen alue on toimiva vihreän siirtymän teollisuusalueeksi. Alue sijaitsee sekä lähellä Ulvilan ja Porin kaupungin palveluita että satamia, Porin satama on n. 30 km ja Rauman satama 50 km päässä. Suunniteltu T/kem-alue olisi kuitenkin selvityksen perusteella riittävän kaukana asutuksesta ja herkistä kohteista.

Tehtyjen lisämallinnusten perusteella voidaan todeta, että alueen itäosaan voidaan sijoittaa teollisuus- ja kemikaalitoimintoja (T/kem) tietyin rajoituksin.

Ammoniakkia koskeissa mallinuksissa havaittiin, että aineen leviämisaika voi ulottua myös tutkitun alueen ulkopuolelle. Mallinnuksen mukaan vaaralliseksi luokiteltu pitoisuusraja AEGL-2 (160 ppm), joka voi aiheuttaa palautumattomia tai vakavia terveyshaittoja sekä heikentää yksilön kykyä poistua alueelta, ylittyi vielä 1,2 kilometrin etäisyydellä päästölähteestä. Tämän perusteella voidaan todeta, että ammoniakin laajamittainen valmistus tai varastointi alueen itäosassa voi aiheuttaa terveys- ja turvallisuusriskejä erityisesti lähialueen toiminnoille sekä herkille kohteille. Tämä on esitetty liitekuvassa 1.

Selvityksessä tarkasteltiin kemikaalionnettomuuksien mahdollisia vaikutuksia myös valtatie 11:lle. Valtatie 11 sijaitsee noin 1,2 kilometrin etäisyydellä tutkitusta alueesta, ja mallinnuksen mukaan AEGL-2-vaikutusalue ulottuu tielle saakka. Tämän perusteella voidaan arvioida, että ammoniakkivuoto voi aiheuttaa vakavia ja mahdollisesti palautumattomia terveyshaittoja tiealueella liikkuville. On huomattava, että liitteessä 1 ammoniakin vaikutusalueen karttakuvassa esitetty AEGL-1 alue ei aiheuta välitöntä vaaraa terveydelle.

Porin lentoaseman sijainti noin kuuden kilometrin päässä tarkasteltavasta hankealueesta tarkoittaa, että suurin osa teollisuus- ja kemikaalitoimintaan liittyvistä mahdollisista onnettomuusskenaarioista ei todennäköisesti ulotu vaikuttamaan suoraan lentoaseman toimintaedellytyksiin. Tarkastelluissa mallinuksissa yksikään skenaario ei aiheuttanut vaikutusalueita, jotka ylittäisivät lentoaseman sijaintiin saakka. Lentoliikenteelle mahdollisesti merkityksellisiä skenaarioita kuitenkin tunnistettiin, erityisesti vetypohjaisissa onnettomuuksissa.

Esimerkiksi vetyputken rikkoutumisen seurauksena syntyneen höyrypilviräjähdysten ylipainevaikutus voi ulottua 597 metrin etäisyydelle ja ylittää 1,0 psi:n (6,9 kPa) rajan, mikä voi aiheuttaa vaurioita herkimpiin rakenteisiin. Samoin vetysäiliön vuodosta muodostunut, syttymiskelpoinen kaasupilvi voi laajimmillaan ulottua 592 metriin.

Vaikka nämä etäisyydet jäävät kauas lentoaseman varsinaisesta sijainnista, teoreettinen mahdollisuus altistumiselle ilmatilassa olemassa olevan liikenteen kohdalla voidaan tunnistaa. Arviossa on käytetty viitteellistä lentokorkeutta 400 metriä. Todennäköisyys sille, että ilma-alus sattuisi olemaan samanaikaisesti onnettomuuden vaikutusalueella ja riittävän matalalla, on kuitenkin erittäin pieni. Myös kemikaaleihin liittymättömät onnettomuudet (kuten laajat rakennuspalot) voivat vaikuttaa lentoliikenteen turvallisuuteen ja toimintaedellytyksiin. Erityisesti savukaasujen aiheuttama näkyvyyden heikkeneminen voi vaarantaa lentotoimintaa erityisesti matalalla lentokorkeuksilla.

Tällaisissa tilanteissa lentoliikennettä saatetaan joutua rajoittamaan tai ohjaamaan poikkeaville reiteille savun leviämisalueen ulkopuolelle.

Näin ollen voidaan todeta, että riski lentoasemalla operoivalle lentoliikenteelle on vähäinen. Silti on perusteltua, että yksittäisten suunniteltavien toimintojen osalta tehdään tapauskohtainen riskinarviointi, jonka perusteella Finavia ja Fintraffic ANS voivat arvioida, missä määrin suunniteltu toiminta saattaa vaikuttaa eri lentotoimintojen turvallisuuteen ja toimintaedellytyksiin.

Yhteenvedona voidaan todeta, että alueen itäosassa T/kem-toimintojen sijoittaminen on mahdollista, mutta edellyttää tarkkaa toiminnan suunnittelua, kemikaalikohtaista arviointia erityisesti ammoniakin osalta, sekä riittävien suojaetäisyyksien ja riskienhallintatoimenpiteiden määrittelyä ympäröivän alueen toimintojen turvaamiseksi.

Lähteet

Aalto, T. 2023. Vedyn elektrolyysilaitosten turvallisuus. Diplomityö. Tampereen Yliopisto. Viitattu 28.4.2025.
<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/152396/AaltoTiina.pdf?sequence=2>

Finavia. 2025. Matkustajamäärät lentoasemittain 1998–2024 (xlsx). Viitattu 28.4.2025.

Ilmatieteen laitos. 2022. Porin ilmanlaatuselvitys. Viitattu 28.4.2025.

Routama, S. 2025. Finavia. Sähköpostit lentoliikenteen turvallisuudesta. 1.4.2025.

Suomen Kaasuyhdistys. 2014. Maakaasukäsikirja. Viitattu 28.4.2025.
<https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/maakaasun-kasikirja/>

Suomen Kaasuyhdistys. 2021. Biokaasun turvallisuusohje. Viitattu 28.4.2025.
<https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/biokaasun-turvallisuusohje/>

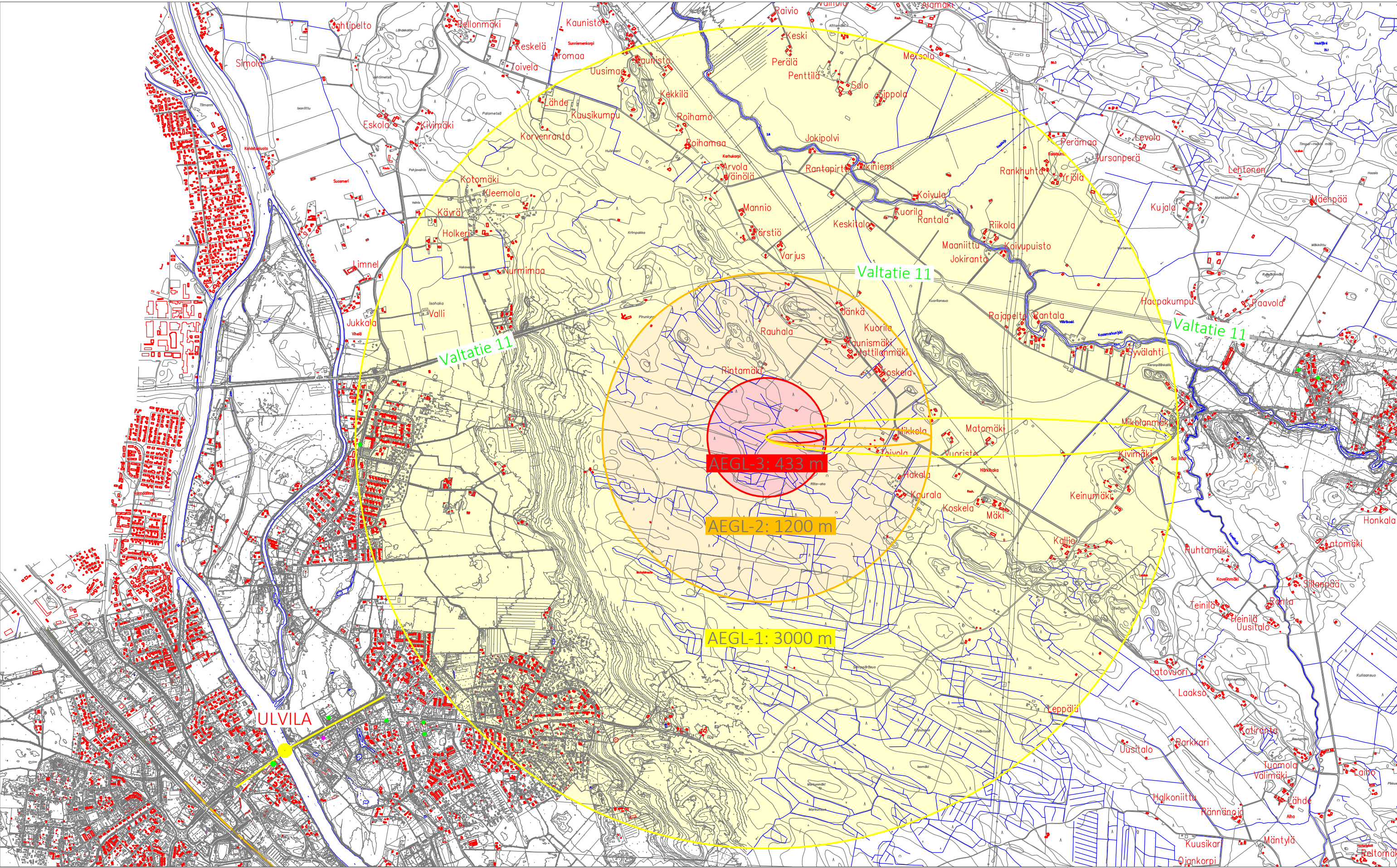
TUKES. 2015. Tuotantolaitosten sijoittaminen. Viitattu 28.4.2025.
<https://tukes.fi/documents/5470659/6406815/Tuotantolaitosten+sijoittaminen/>

TUKES. 2018. Heinolan Sahaniemen jätevedenpuhdistamon hakemus, Uusi metanoliasema. 3.10.2018. Viitattu 28.4.2025.

TUKES. 2021. Vaarallisten kemikaalien käsittely ja varastointi. Viitattu 28.4.2025.
<https://tukes.fi/vaarallisten-kemikaalien-kasittely-ja-varastointi>

TUKES. 2024. Vedyn käsittelyn ja varastoinnin turvallisuus. Viitattu 28.4.2025.
<https://tukes.fi/vedyn-kasittelyn-ja-varastoinnin-turvallisuus>

Työterveyslaitos. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet (OVA-ohje). Viitattu 28.4.2025.
<https://ova.ttl.fi/>



AMMONIAKKIVUOTO SÄILIÖSTÄ (KAASUPILVEN LEVIÄMINEN AEROSOLIN JA KAASUN SEOKSENA)

- AEGL-1 (60 min, 30 ppm): 3000 m
- AEGL-2 (60 min, 160 ppm): 1200 m
- AEGL-3 (60 min, 1100 ppm): 433 m

- Koulut / päiväkodit
- Terveyskeskus
- Rakennukset



K. osa/Kylä		ULVILAN KAUPUNKI - KESKUSTAAJAMAN YLEISKAAVA 2045	
Korttel/Tila		PIRUNKYNNEN ALUEEN SUURONNETTOMUUSRISKISELVITYS	
Tontti/Rno		T-KEM TURVALLISUUSTARKASTELU	
RATU/Lupatunnus		LIITE 1 MALLINNUKSEN AMMONIAKKIVUOTO SÄILIÖSTÄ	
Suunnittelija: Jani Halonen		PALO YKK67962	
Tarkastaja: Panagiotis Toledos		Revisio:	
Vastaava suunnittelija: Eliisa Kuusama			
Päiväys: 7.4.2025			

SITOWISE

Linnoitustie 6 D
02600 Espoo

1:25.000