

Kirjoittaja
Ismo Talka
Puhelin
+358 40 7606 380
Sähköposti
ismo.talka@afry.com
Päivämäärä
09.04.2026
Projektinumero
101030347-002

Arctic SISU

Seuraamusanalyysi – Kotka e-metaani FEL2.5 -hanke

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
2	Seuraamusanalyysin julkisuus	3
3	Lainsäädännöllinen tausta	3
4	Leviämismallinnus kuvaus.....	4
4.1	Laitosalue	4
4.2	Kemikaalien ominaisuudet	4
4.3	Sääolosuhteet.....	5
4.4	Vaarojen luokittelu	6
4.5	Mallinnusohjelmisto	8
4.6	Seuraamusten analysointi.....	8
4.7	Onnettomuusskenaariot	8
4.7.1	Tapaus 1: Metaanivuoto Gasgridin vieressä	8
4.7.2	Tapaukset 2 ja 3: Metaanivuodot prosessialueella	8
4.7.3	Tapaukset 4, 5 ja 6: Vetyvuodot	8
5	Tulokset	8
5.1	Tapaus 1: Metaanivuoto, Gasgridin vieressä	8
5.2	Tapaukset 2 ja 3: Metaanivuodot prosessialueella.....	10
5.3	Tapaukset 4, 5 ja 6: Vetyvuodot.....	13
5.4	Yhteenveto sallituista onnettomuusvaikutuksista laitoksittain	16
6	Yhteenveto	18

Liitteet

Liite 1. Asiakirjan laatija

Liite 2. Layout-suunnitelma

	Päivämäärä/laatija	Päivämäärä/tarkistus	Päivämäärä/hyväksyntä	Julkaistu
Rev 00	02.02.2026 I. Talka	05.02.2026 T. Hakala	10.2.2026 E-M. Lantta	09.04.2026 I. Talka

TÄMÄ ON ALKUPERÄISEN RAPORTIN KÄÄNNÖS

Alkuperäinen räjähdysten vaikutusten seuraamusmallinustyön raportti on kirjoitettu englanniksi. Tämä dokumentti on käännös alkuperäisestä raportista ja tarkoitettu mallinnustyön tulosten tulkinnan helpottamiseksi. Kaikissa tilanteissa ainoastaan englanninkielinen alkuperäisraportti on pätevä.

1 Johdanto

Tässä raportissa kuvattu seuraamusanalyysi on laadittu Arctic Sisu -yhtiölle osana Kotkan e-metaanin FEL2.5-tutkimusta.

Seuraamusanalyysin onnettomuustapahtumat valittiin Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukesin ohjeiden ”Turvallisuusraportti”⁽¹⁾ ja ”Laitoksen sijoituspaikka”² sekä suunnitteluprojektissa tehtyjen riskinarviointien perusteella. Huomioon otetut seuraamukset ovat vety- ja metaanivuotoihin liittyvä lämpösäteily ja räjähdys. Esitetyt vaikutukset ovat suihkupalon aiheuttama lämpösäteily ja räjähdysten aiheuttama ylipaine.

2 Seuraamusanalyysin julkisuus

Tietojen julkisuudesta annetun lain (621/1999) 24 §:n 7 ja 8 momentin perusteella tietyt seuraamusanalyysin yksityiskohdat voidaan luokitella salaisiksi. Tällaisia tietoja ovat muun muassa prosessien tarkat tekniset kuvaukset, laitetiedot, PI-kaaviot, laitoksen pohjapiirroksot sekä tiedot turvajärjestelmistä ja varautumistoimenpiteistä. Toisaalta kemikaalionnettomuuksiin liittyvät yleiset skenaariot, käytetyt lähtötiedot ja vaarallisten alueiden kartat ovat yleensä julkisia. Näitä tietoja voidaan hyödyntää maankäytön suunnittelussa, viranomaisten päätöksenteossa ja alueen riskiviestinnässä.

3 Lainsäädännöllinen tausta

Kemikaaliturvallisuuslainsäädäntö edellyttää, että tuotantolaitoksen sijaintia suunniteltaessa arvioidaan mahdollisten onnettomuuksien vaikutukset terveyteen ja ympäristöön. Seuraamusanalyysi on keskeinen työkalu onnettomuustilanteiden vaikutusalueiden, kuten lämpösäteilyn, painevaikutusten ja terveysriskien, mallintamiseen sekä niiden seuraamusten ennustamiseen laitoksen ympäristölle.

Tuotantolaitoksen sijoituspaikan valintaa arvioidaan onnettomuuksien vaikutusten perusteella. Vaikutusanalyysi tukee maankäytön suunnittelua ja varmistaa, ettei laitoksen sijainti aiheuta vaaraa ympäröiville toiminnoille tai luontoalueille. Onnettomuusriskin aiheuttavan laitoksen etäisyyden on oltava riittävä ympäröivän maankäytön kannalta, erityisesti ihmisille herkille kohteille, kuten kouluille, päiväkodeille, tiheästi asutuille alueille ja sairaaloille. Mitä haavoittuvampi kohde on, sitä kauempana sen tulisi sijaita vaarallisesta laitoksesta. Riittävä etäisyys on tärkeää myös muun muassa teollisuuslaitoksille, kriittiselle infrastruktuurille, luonnonsuojelualueille ja muille ympäristön kannalta arvokkaille kohteille.

Tuotantolaitoksen sijainnin ja kemikaalien aiheuttamien onnettomuusriskien kannalta merkittävimmät säädökset ovat:

- Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (ns. kemikaaliturvallisuuslaki) (390/2005)
- Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista (ns. kemikaaliturvallisuusasetus) (856/2012)
- Maankäyttölainsäädäntö (132/1999) on parhaillaan käynnissä lainsäädännön uudistaminen
- Rakennuslaki (751/2023)
- Painelaitelaki (1144/2016).

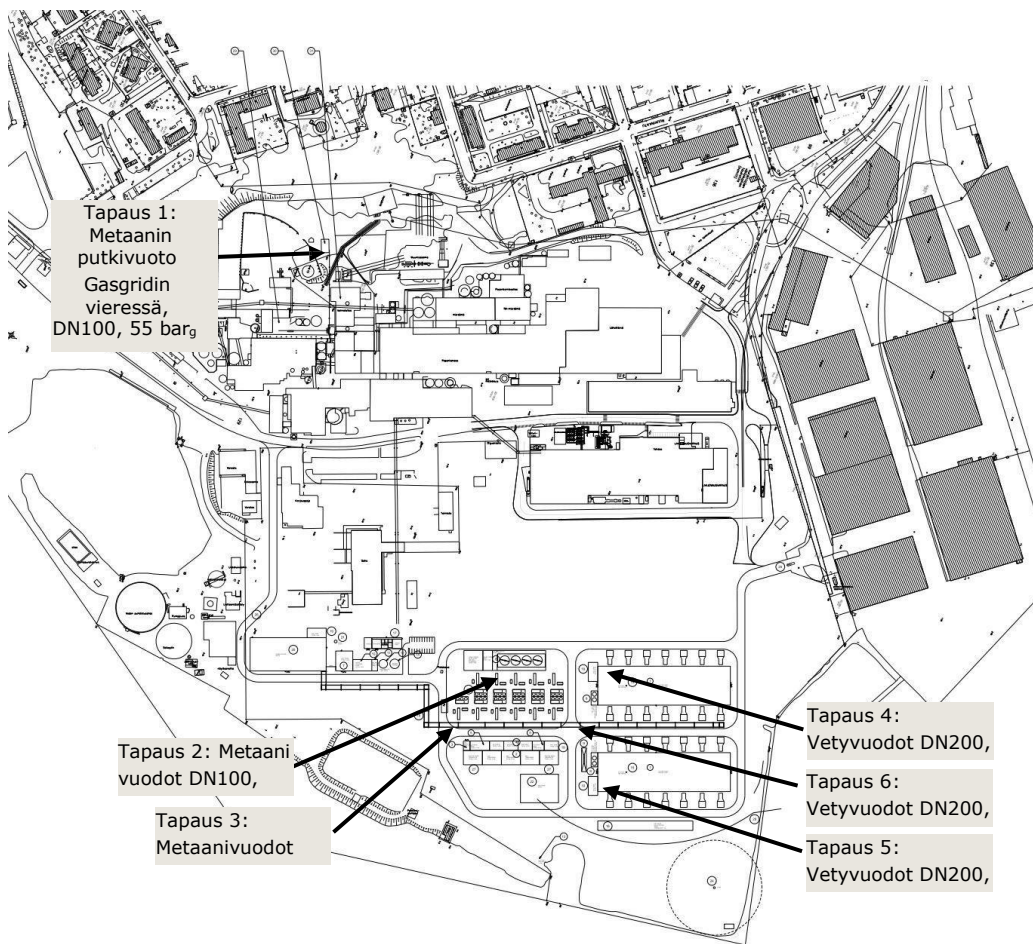
¹ Tukes-opas. Turvallisuusraportti. <https://tukes.fi/turvallisuusselvitys>.

² Tukes-opas. Laitoksen sijainti: <https://tukes.fi/tuotantolaitosten-sijoittaminen>.

4 Leviämismallinnuksen kuvaus

4.1 Laitosalue

Alla on esitetty laitoksen pohjapiirros (kuva 1, liite 1). Kuvassa on esitetty vuotoskenaarioiden vuotojen sijainnit.



Kuva 1. Laitoksen alue / pohjapiirros.

4.2 Kemikaalien ominaisuudet

Laitoksella mahdollisesti tapahtuvan onnettomuuden seurauksia mallinnettiin vedyn ja metaanin osalta. Aineiden ominaisuudet on esitetty alla olevassa taulukossa (taulukko 1).

Taulukko 1. Vety- ja metaanin ominaisuudet.

Nimi	Vety ³	Metaani ⁴
CAS-numero	1333-74-0	74-82-8
Molekyylikaava	H ₂	CH ₄
Varoitusmerkit		
Vaaraluokka ja -koodi(t)	H220: Erittäin syttyvä kaasu	H220: Erittäin syttyvä kaasu
Kiehumispiste	-253 °C	-162 °C
Leimahduspiste	Ei määritetty kokeellisesti.	Ei määritetty kokeellisesti.
Itsesyttymislämpötila	560 °C	595 °C
Syttyvyysrajat (UFL, LFL)	4–75,6 %	4,4–17 %
Hajukynnys		200 ppm (133 mg/m ³)

Vety on väritöntä, hajutonta ja erittäin syttyvää kaasua. Suomessa vetyä varastoidaan ja käsitellään paineistettuna kaasuna. Paineistetun vedyn vuoto voi syttyä itsestään. Vety on ilmaa kevyempää, ja jos sitä varastoidaan sisätiloissa, se muodostaa ilman kanssa syttyvän ja räjähtävän seoksen.

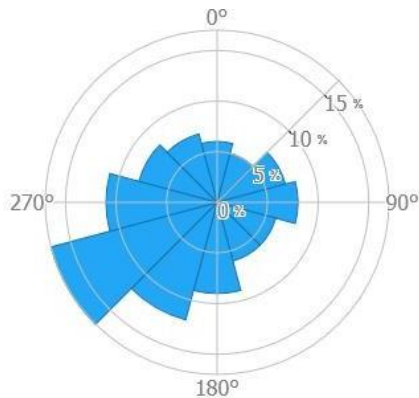
Metaani (eli maakaasu) on väritöntä, hajutonta ja ilmaa kevyempää. Metaania varastoidaan ja käsitellään joko paineistettuna (CNG) tai nesteytettynä kaasuna (LNG). Metaanin ja ilman seos voi syttyä mistä tahansa syttymislähteestä. Liekkien leviäminen tapahtuu deflagraationa. Jos metaanivuoto on jatkuvaa, tulipalo leviää suihkupalona vuotokohdasta.

4.3 Sääolosuhteet

Alla oleva tuuliruusu (kuva 2) esittää alueen tuuliolosuhteet. Alla oleva kuva kuvaa tuulen suuntaa 10 metrin korkeudella. Global Wind Atlas on numeerinen sääennuste, joka on johdettu mallinnuksesta, jossa käytetään pitkän ajanjakson, tyypillisesti noin kymmenen vuoden, keskimääräisiä meteorologisia uudelleenanalysointitietoja. Tiedot yhdistävät laajamittaiset ”mesoskaalan” ilmastomallit (kuten ERA Interim tai ERA5) erikoistuneeseen mikroskaalan alaskalausmenetelmään, jolla simuloidaan tuulikuviot ja niiden vuorovaikutus maaston kanssa korkealla resoluutiolla.

³ OVA-ohjeet: Vety (hydrogen) <https://ova.ttl.fi/vety> Viitattu 02.02.2026.

⁴ OVA-ohjeet: Metaani (methane) <https://ova.ttl.fi/metaani> Viitattu 02.02.2026.



Kuva 2. Tuuliruusu, joka kuvaa tuulen suuntien esiintymistiheyttä Kotkan laitoksen sijaintipaikalla.⁵

Tässä analyysissä käytetyt Pasquillin vakausluokat olivat vakaa (F) ja neutraali (D), ja tuulen nopeudet 2 m/s ja 5 m/s, kuten Tukesin oppaassa² suositellaan. Tuuliruusu osoittaa alueen tilastollisen tuulen suunnan, joka tässä tapauksessa on lounaasta puhaltava tuuli. Global Wind Atlasin mukaan alueen keskimääräinen tuulen nopeus oli 6 m/s, joka on hyvin linjauksessa Tukesin määräysten mukaisesti.

Ilman lämpötilaksi valittiin 15 °C ja suhteelliseksi kosteudeksi 50 %. Nämä parametrit edustavat tyypillisiä suomalaisia sääolosuhteita, jotka eivät ole ihanteelliset kaasupilven sekoittumiselle ilmaan (eli kaasun laimentuminen on hidasta).

4.4 Vaarojen luokittelu

Tukesin ohjeessa² annetaan ohjeet seuraamusmallinnuksessa käytettävistä lämpösäteilyn ja ylipaineaaltojen arvoista. Esitetyt lämpösäteilyn arvot (taulukko 2) ovat ihmisille, rakennuksille ja laitteille aiheutuvien seuraamusten raja-arvoja. Tukesin ohjeen² mukaan lämpösäteilyn vaikutusten arvioinnissa suositellut arvot ovat 12, 8, 3 ja 1.5 kW/m².

Taulukko 2. Lämpösäteilyn vaikutukset ja seuraukset.

Lämpösäteily, kW/m ²	Seuraukset	Suunnittelun perusta
12–15	Kasvillisuus ja rakennukset voivat syttyä tuleen	Palonkestävät tai palosuojatut rakennukset
8	Palon leviämiskasvava, palavat materiaalit voivat syttyä tai rikkoutua	Rakennukset, palon leviämistä edistävät kohteet
	Suunnittelun lähtökohtana oleva suurin sallittu lämpösäteilyn voimakkuus tontin rajalla	
5	Ihmisten toiminta vaikeutuu, aiheuttaa nopeasti palovammoja	Rakennukset ja muut kohteet, joissa on ihmisiä
3	Pitkäaikainen altistuminen aiheuttaa palovammoja	Rakennusten uloskäyntiovet ja poistumistiet
1.5	Epämiellyttävä kuumuus	Tuotantolaitoksen ulkopuolella sijaitsevat rakennukset, joista on vaikea evakuoida tai joissa on suuri ihmistiheys

⁵ Global Wind Atlas, tuuliruusu Kotkan alueelta.
<https://globalwindatlas.info/en/>

Räjähdyksen vaikutusta tarkastellaan alla olevassa taulukossa (taulukko 3) määriteltyjen ylipaineaaltoarvojen avulla. Käytetyt arvot ovat suositeltuja, ja vaikutukset on määritelty Tukes-ohjeessa².

Taulukko 3. Ylipaineaaltojen vaikutukset ja seuraukset.

Ylipaineaalto, kPa	Seuraukset ihmisille ja laitteille	Mahdolliset rakenteet tai rakennustyyppit
30	Tukirakenteiden romahtaminen, onnettomuuden laajenemisen riski	Teollisuuslaitteet ja -rakenteet
15	Talojen osittainen romahtaminen, pysyvien vaurioiden riski	Teollisuusrakennukset ja -rakenteet, jotka on mitoitettu kestäämään tietty ylipaine
10	Laitoksen rajalla mitattu suurin ylipaine, joka on suunnittelun lähtökohta	
5	Pieniä vaurioita talojen rakenteissa ja loukkaantumisvaara	Rakennukset ja alueet, joilla ihmiset yleensä oleskelevat

Taulukossa 4 esitetään yhteenveto sallitusta suurimmasta lämpösäteilystä, huippuylipaineesta, kaasupitoisuudesta ja päästöistä sijainnin mukaan Tukesin ohjeen²mukaisesti.

Taulukko 4. Sallitut onnettomuuden vaikutukset sijaintipaikoittain.

Kohde	Suurin sallittu lämpösäteilyn intensiteetti (kW/m ²)	Suurin sallittu etupaine (kPa)	Räjähdyksjälkeiset lentävät kappaleet
Haavoittuvat kohteet, joista evakuointi on vaikeaa	1,5	5	Ei sallittu
Haavoittuvat kohteet	3	5	Ei sallittu
Tiheästi rakennetut asuinalueet, joissa on kerrostaloja	3	5	
Omakotitalot	3	5	
Toimistotilat	3	5	
Tuotantotyöpaikat	5	15*	
Muinaismuistot ja kulttuuriperintökohteet	3	15	Ei sallittu
Tärkeä infrastruktuuri	Kriittistä infrastruktuuria ei saa häiritä liikaa		
Luonnonarvot	Keskeisiä luonnonarvoja ei saa tuhota pysyvästi		
Muut onnettomuusvaaralliset kohteet	Dominoefektejä ei saa syntyä		

* Jos rakennukset kestävätkin tämän

4.5 Mallinnusohjelmisto

Levinneisyysmallinnus suoritettiin DNV GL:n kehittämällä Phast-ohjelmistolla, versio 9.11. Phastia pidetään tarkkana ohjelmistona, jota käytetään seuraamusmallinnukseen prosessiteollisuudessa. Ohjelmistolla tehdyssä mallinnuksessa voidaan ottaa huomioon sääolosuhteet, maasto, materiaali, prosessiolosuhteet, halutut paine- ja lämpösäteilytasot jne.

4.6 Seuraamusten analysointi

Mallinnusohjelmaan syötetyt tiedot sisältävät muun muassa:

- vuotokohdan halkaisija
- vuodon korkeus
- havainnointikorkeus
- täyttöaste
- esteiden tiheys ja rajoitettu tila tai vastaavat tekijät, jotka vaikuttavat merkittävästi tuloksiin
- vuotamisaika (600 s).

Mallinnusohjelman tulostiedot ovat:

- kaasupilvessä olevan syttyvän tai myrkyllisen aineen massa
- palavan pilven muodostumisesta kulunut aika (vuotoaika).

Tulosten tarkastelukorkeudeksi valitaan yleensä 1,5–2 metriä, mikä vastaa keskimääräisen henkilön pituutta. Tässä mallinnuksessa tarkastelukorkeudeksi valittiin 1,5 m. Vuotokohtien ympäröivän tilan oletettiin olevan osittain suljettu.

4.7 Onnettomuusskenaariot

Mallinnettiin kaksi onnettomuustilannetta (tapausta), joilla oli seurauksia.

4.7.1 Tapaus 1: Metaanivuoto Gasgridin vieressä

Metaanivuodon oletettiin tapahtuvan 500 metrin pituisesta DN100 mm:n putkesta, paineen ollessa 55 barg ja lämpötilan 25 °C. Tukesin ohjeiden mukaan vuoto mallinnetaan 10 %:ksi vuotavan putken poikkipinta-alasta. 10 %:n vuotopinta-alan halkaisija DN100-putkelle on 32 mm. Vuodon korkeudeksi oletettiin 2 m.

4.7.2 Tapaukset 2 ja 3: Metaanivuodot prosessialueella

Metaanivuotojen oletettiin tapahtuvan DN100 mm:n putkesta, paineessa 55 barg ja lämpötilassa 25 °C. Tukesin ohjeiden mukaan vuoto mallinnetaan 10 %:na vuotavan putken poikkipinta-alasta. 10 %:n vuotopinta-alan halkaisija DN100-putkelle on 32 mm. Vuotokorkeudeksi oletettiin 6 m.

4.7.3 Tapaukset 4, 5 ja 6: Vetyvuodot

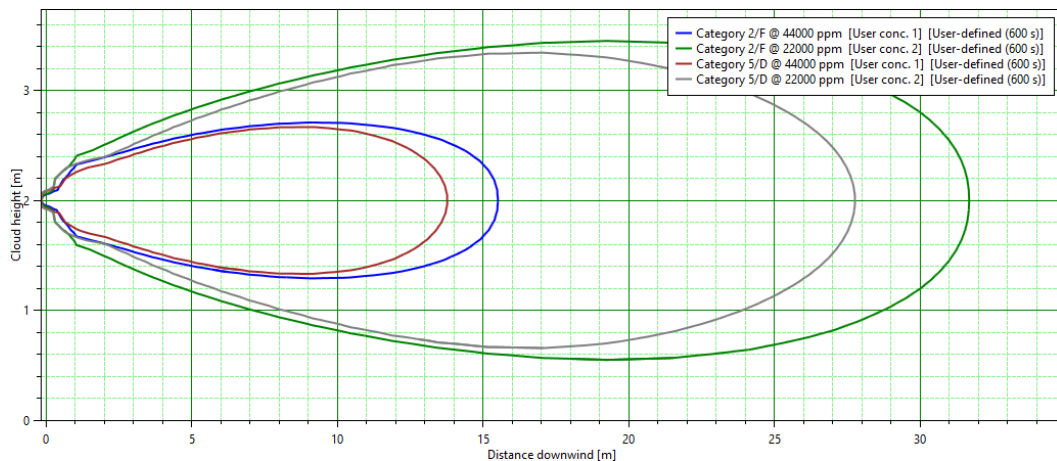
Vetyvuotojen oletettiin tapahtuvan DN200 mm:n putkesta 30 barg:n paineessa ja 30 °C:n lämpötilassa. Tukesin ohjeiden mukaan vuoto mallinnetaan 10 %:ksi vuotavan putken poikkipinta-alasta. 10 %:n vuotopinta-alan halkaisija DN200-putkelle on 63 mm. Vuotokorkeudeksi oletettiin 6 m.

5 Tulokset

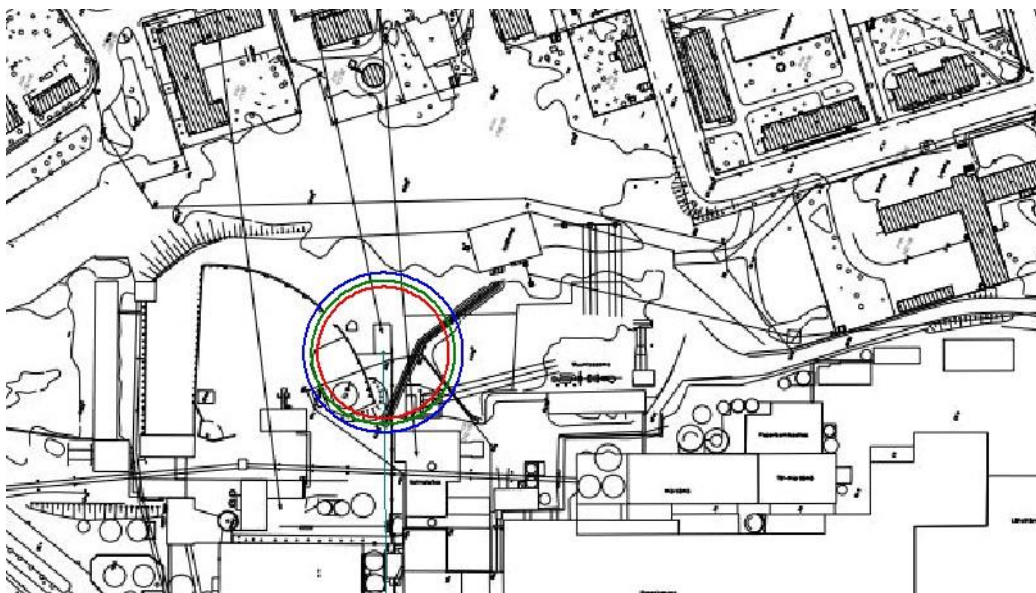
5.1 Tapaus 1: Metaanivuoto, Gasgridin vieressä

Metaanivuoto voi muodostaa syttyvän pilviseoksen ilman kanssa 16 metrin etäisyydellä vuotokohdasta (tuulen nopeus 2 m/s, pitoisuus 44 000 ppm = 100 % LFL, kuva 3). Jos vuoto syttyy ja muodostaa suihkupalon, lämpösäteilyn (3–8 kW/m²) vaikutusalue ulottuu 31–38 metrin päähän (kuva 4 ja taulukko

5). Mahdollinen syttyvän pilven räjähdys voi aiheuttaa 5 kPa:n ylipaineen 13 metrin etäisyydellä vuotokohdasta (kuva 5 ja taulukko 6).



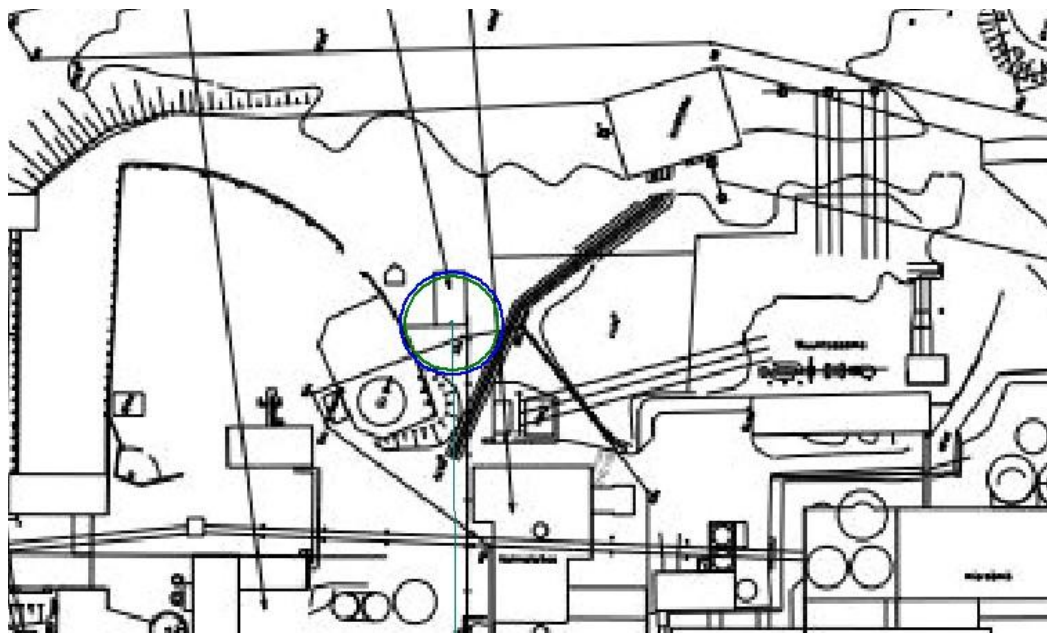
Kuva 3: Metaanin syttyvän pilven koko eri tuulennopeuksilla (100 % LFL: punainen ja sininen, 50 % LFL: vihreä ja harmaa).



Kuva 4: Metaanisuihkupalon lämpösäteilyn kantamat (punainen = 8 kW/m^2 , vihreä = 5 kW/m^2 ja sininen = 3 kW/m^2).

Taulukko 5. Metaanisuihkupalon lämpösäteilyn etäisyydet.

Lämpösäteilyn taso [kW/m ²]	Etäisyys vuotokohdasta [m]	
	2/F	5/D
3	38	37
5	34	34
8	31	31



Kuva 5: Metaanivuodon 5 kPa:n ylipaineen etäisyydet.

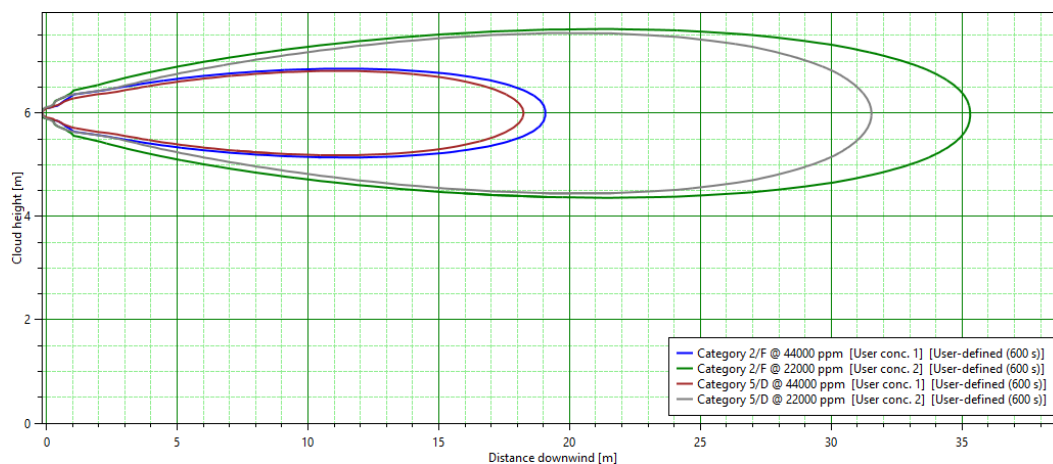
Taulukko 6. Metaanin räjähdysen ylipaineen etäisyydet.

Ylipaineaalto [kPa]	Etäisyys vuotokohdasta [m]	
	2/F	5/D
5	13	12
15	-	-
30	-	-

5.2 Tapaukset 2 ja 3: Metaanivuodot prosessialueella

Metaanivuoto voi muodostaa syttyvän pilviseoksen ilman kanssa 19 metrin etäisyydellä vuotokohdasta (tuulen nopeus 2 m/s, pitoisuus 44 000 ppm = 100 % LFL, kuva 6). Jos vuoto syttyy ja muodostaa suihkupalon, lämpösäteilyn (3–8 kW/m²) etäisyys on 38–48 metriä (kuva 7, kuva 8 ja taulukko 7). Mahdollinen syttyvä pilviräjähdys voi aiheuttaa 5 kPa:n ylipaineen 17 metrin etäisyydellä vuotokohdasta (kuva 9, kuva 10 ja taulukko 8). Tapauksessa 2 lämpösäteilyn kantama ulottuu metanointiyksiköihin. Tapauksessa 3 lämpösäteilyn kantama ulottuu sähkölaitteisiin ja muuntajiin.⁶

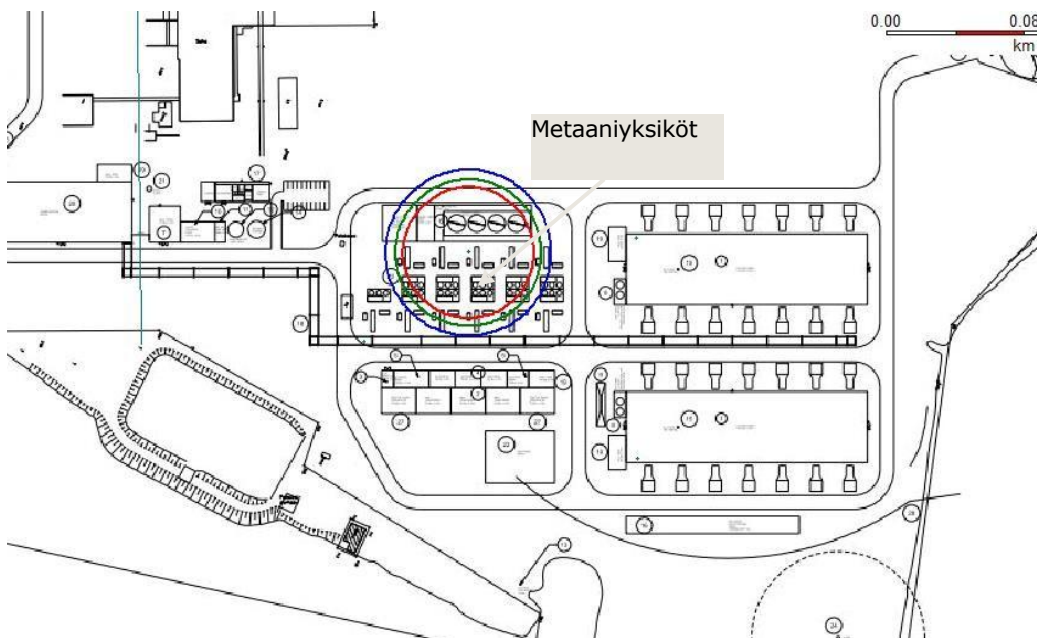
⁶ Katso lisätietoja liitteestä 1.



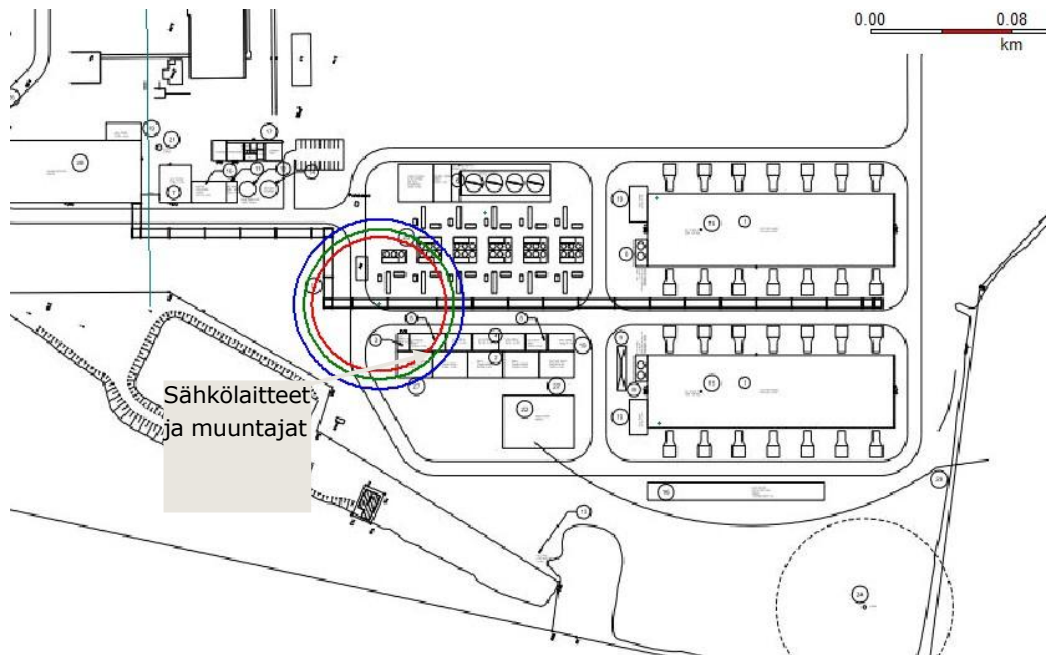
Kuva 6: Metaanin syttyvän pilven koko eri tuulennopeuksilla (100 % LFL: punainen ja sininen, 50 % LFL: vihreä ja harmaa, tuulennopeudet 2 m/s ja 5 m/s, tapaukset 2 ja 3).

Taulukko 7. Lämpösäteilyn etäisyydet metaanisuihkupalosta (tapaukset 2 ja 3).

Lämpösäteilyn taso [kW/m ²]	Etäisyys päästökohdasta [m]	
	2/F	5/D
3	48	47
5	42	42
8	38	38



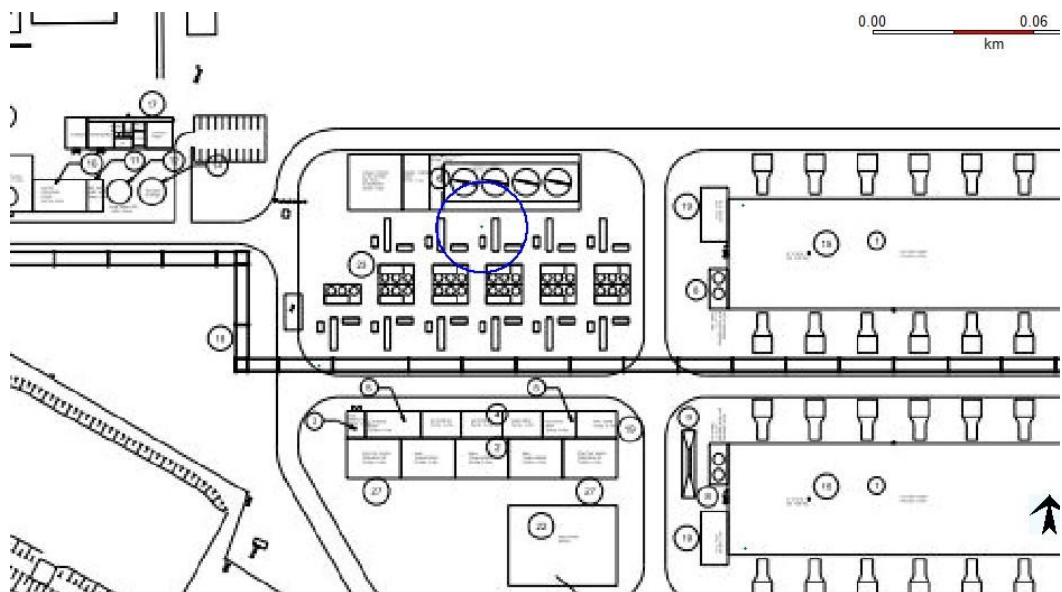
Kuva 7: Tapaus 2, metaanisuihkupalon lämpösäteilyn etäisyydet (punainen = 8 kW/m², vihreä = 5 kW/m² ja sininen = 3 kW/m²).



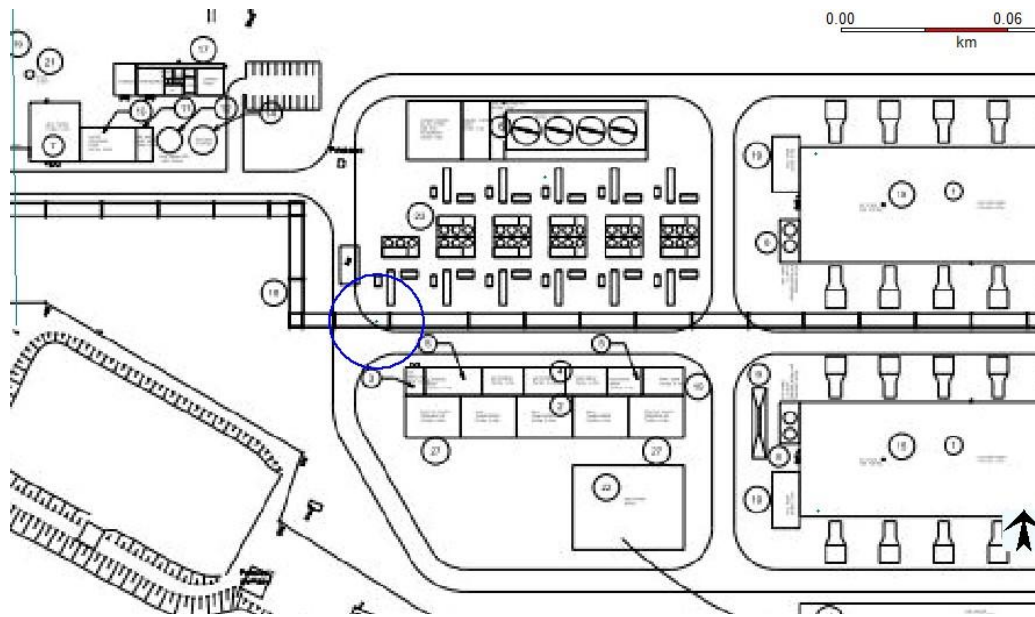
Kuva 8: Tapaus 3, metaanisuihkupalon lämpösäteilyn kantamat (punainen = 8 kW/m^2 , vihreä = 5 kW/m^2 ja sininen = 3 kW/m^2).

Taulukko 8. Metaanin räjähdysen ylipaineen etäisyydet (tapaukset 2 ja 3).

Ylipaineaalto [kPa]	Etäisyys vapautumiskohdasta [m]	
	2/F	5/D
5	17	16
15	-	-
30	-	-



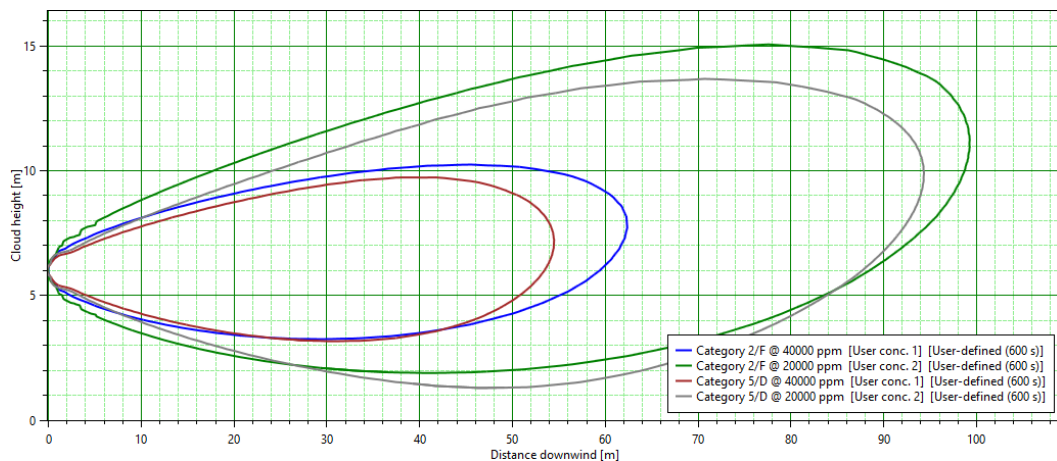
Kuva 9: Tapaus 2, metaanivuoto 5 kPa (sininen) ylipaineen etäisyys.



Kuva 10: Tapaus 3, metaanivuoto 5 kPa (sininen) ylipaineen etäisyys.

5.3 Tapaukset 4, 5 ja 6: Vetyvuodot

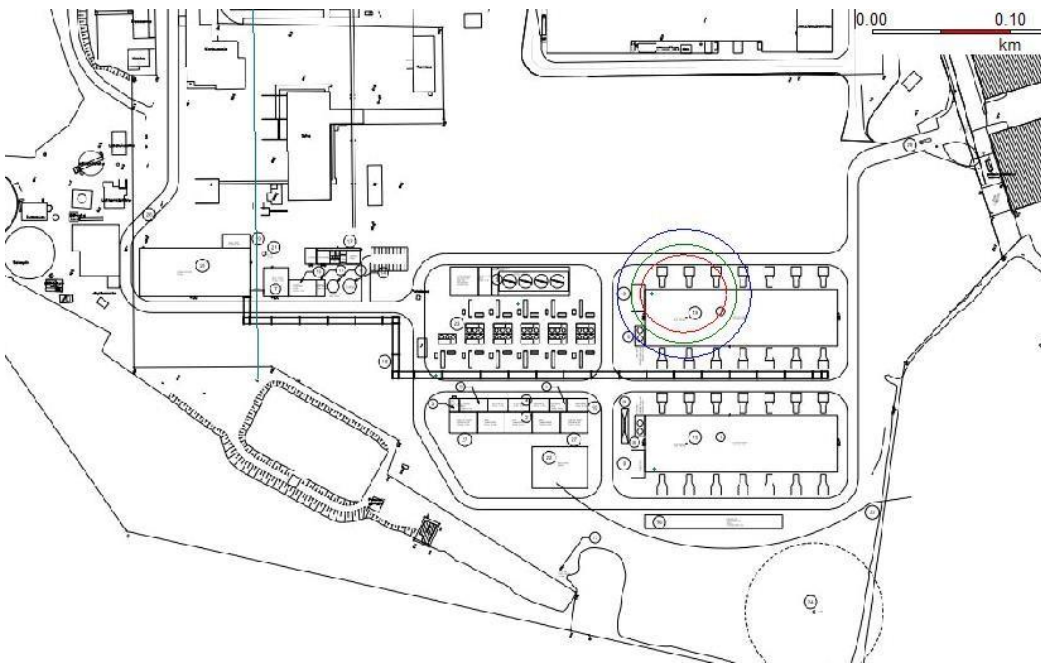
Vetyvuoto voi muodostaa syttyvän pilviseoksen ilman kanssa 62 metrin etäisyydellä vuotokohdasta (tuulen nopeus 2 m/s, pitoisuus 40 000 ppm = 100 % alarajaa, kuva 11). Jos vuoto syttyy ja muodostaa suihkupalon, lämpösäteilyn (3–8 kW/m²) kantama on 53–71 metriä (kuva 12, kuva 13, kuva 14 ja taulukko 9). Mahdollinen syttyvän pilven räjähdys voi aiheuttaa 5 kPa:n ylipaineen 80 metrin etäisyydellä vuotokohdasta ja 15 kPa:n ylipaineen 50 metrin etäisyydellä (taulukko 10, kuva 15, kuva 16 ja kuva 17). Ylipaineet voivat ulottua metanointiyksiköihin, tärkeimpiin sähkölaitteisiin ja muuntajiin.



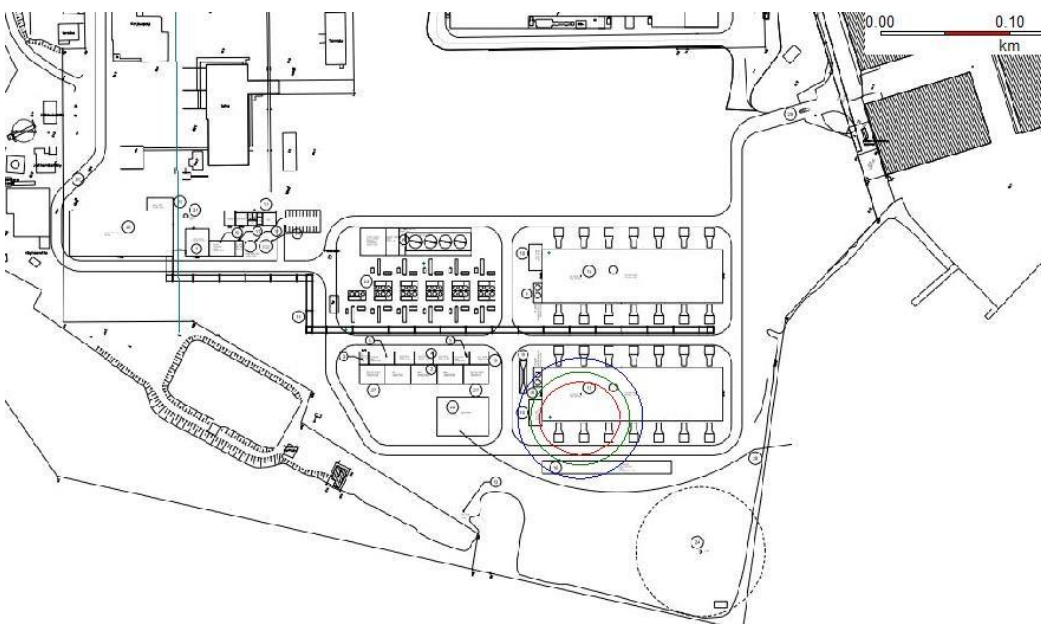
Kuva 11: Vetyalopilven koko eri tuulennopeuksilla (100 % LFL: punainen ja sininen, 50 % LFL: vihreä ja harmaa, tuulennopeudet 2 m/s ja 5 m/s, tapaukset 4, 5 ja 6).

Taulukko 9. Vetysiuhkupalosta lähtevän lämpösäteilyn etäisyydet (tapaukset 4, 5 ja 6).

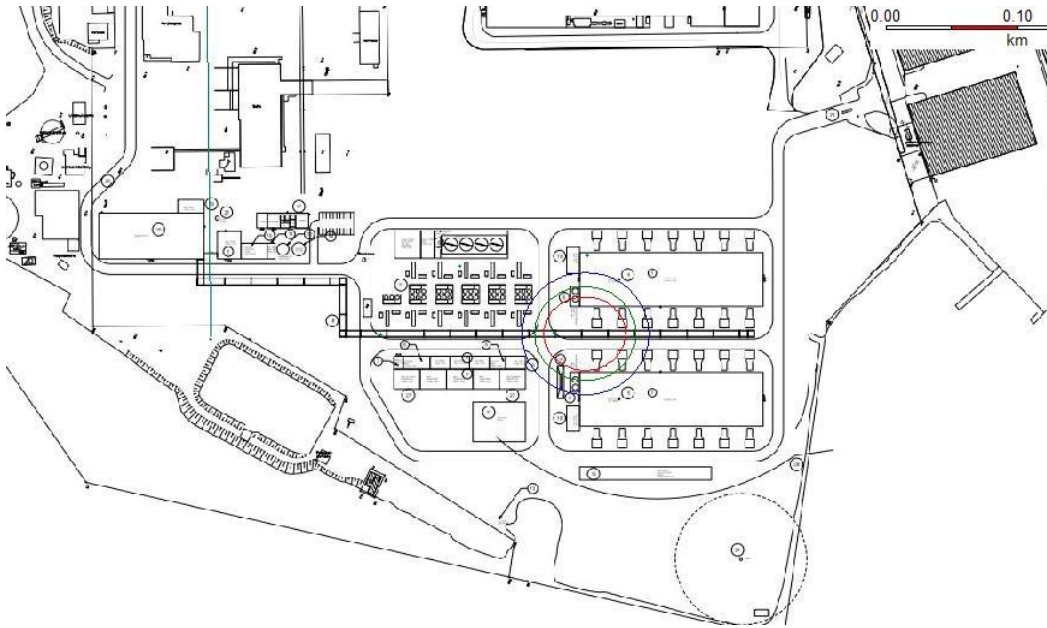
Lämpösäteilyn taso [kW/m ²]	Etäisyys vuotokohdasta [m]	
	2/F	5/D
3	71	71
5	61	61
8	53	53



Kuva 12: Tapaus 4, vetysiuhkupalon lämpösäteilyn etäisyydet (punainen = 8 kW/m², vihreä = 5 kW/m² ja sininen = 3 kW/m²).



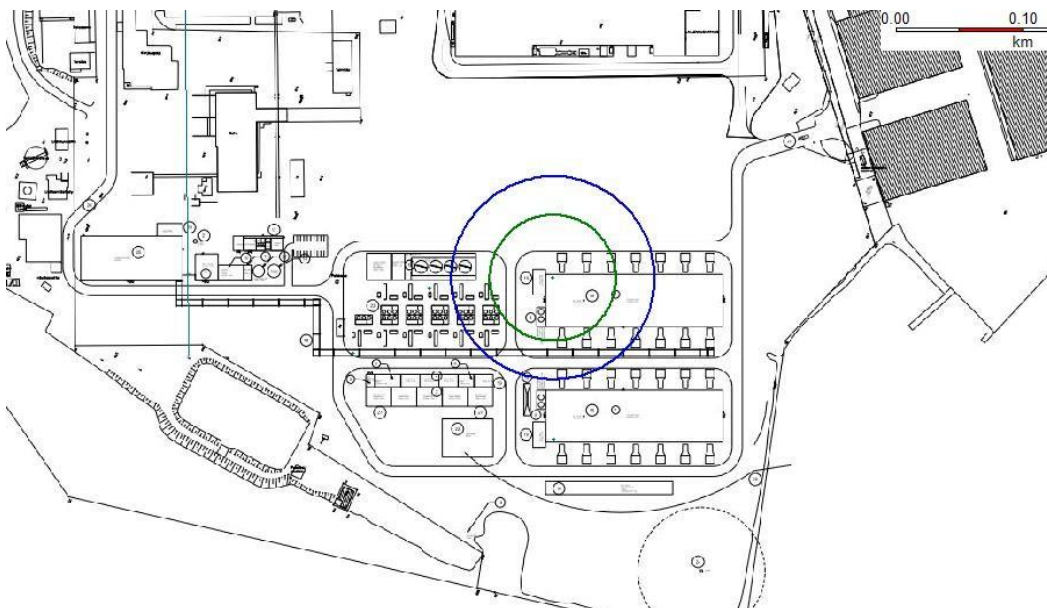
Kuva 13: Tapaus 5, vetysiuhkupalon lämpösäteilyn kantamat (punainen = 8 kW/m², vihreä = 5 kW/m² ja sininen = 3 kW/m²).



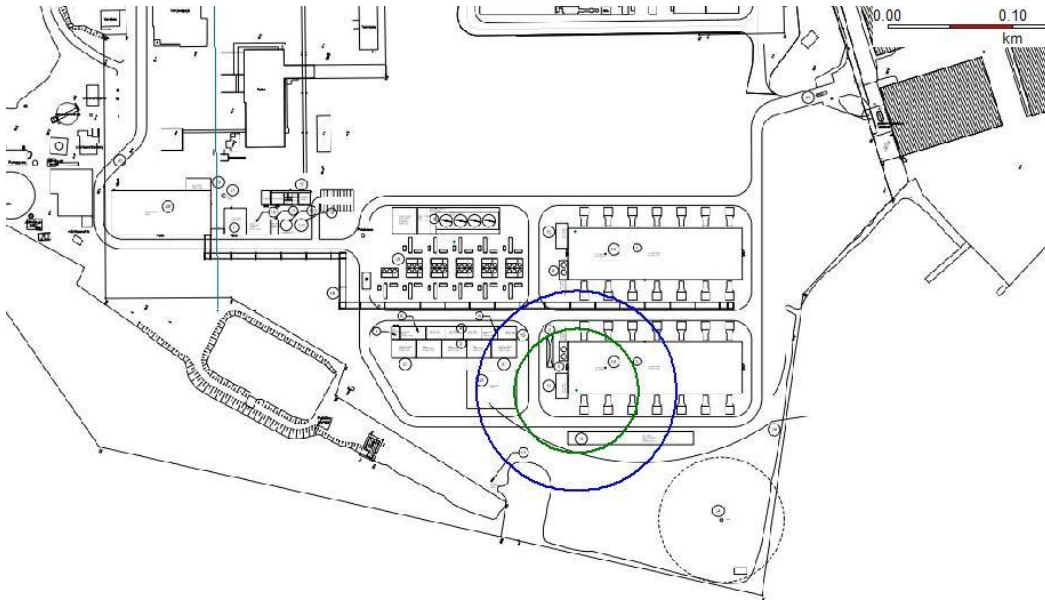
Kuva 14: Tapaus 6, vetysuihkupalon lämpösäteilyn etäisyydet (punainen = 8 kW/m^2 , vihreä = 5 kW/m^2 ja sininen = 3 kW/m^2).

Taulukko 10. Vetypaineaaltojen etäisyydet (tapaukset 4, 5 ja 6).

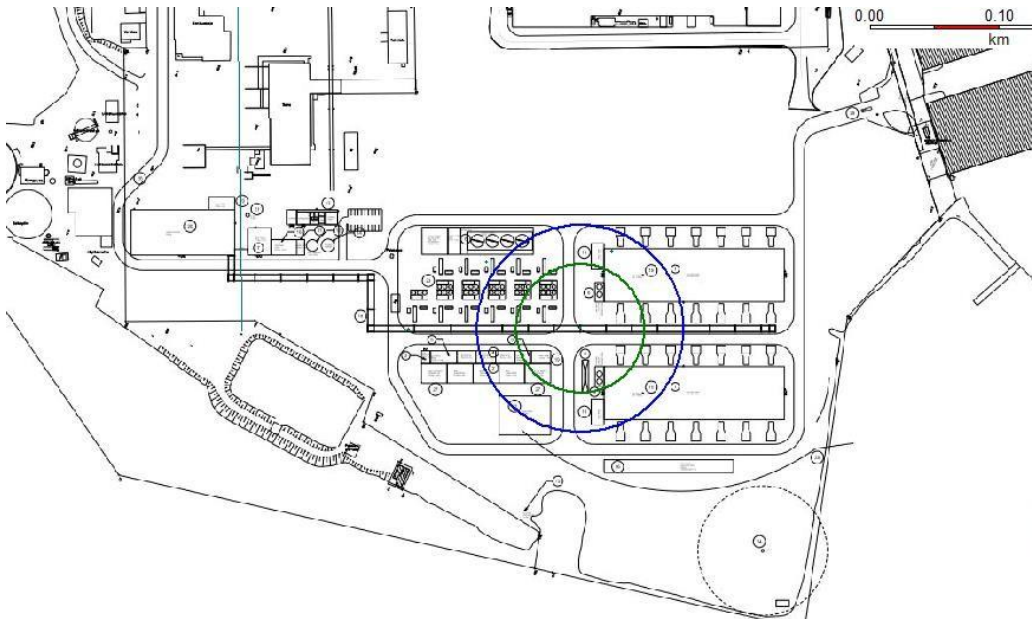
Ylipaineaalto [kPa]	Etäisyys vapautumiskohdasta [m]	
	2/F	5/D
5	80	65
15	50	40
30	-	-



Kuva 15: Tapaus 4, vedyn ylipaineen etäisyys 5 kPa (sininen) ja 15 kPa (vihreä).



Kuva 16: Tapaus 5, vedyn vuotomatka 5 kPa:n (sininen) ja 15 kPa:n (vihreä) ylipaineella.



Kuva 17: Tapaus 6, vetyvuoto 5 kPa (sininen), 15 kPa (vihreä) ylipaineen etäisyys.

5.4 Yhteenveto sallituista onnettomuusvaikutuksista laitoksittain

Mallinnettujen skenaarioiden vaikutukset eivät ulotu laitoksen alueen ulkopuolelle, mutta ne voivat ulottua laitoksen sisäosiin asti (taulukko 11).

Taulukko 11. Maanpäällisten kohteiden onnettomuusvaikutusten arviointi Tukesin ohjeiden mukaisesti².

Kohde, johon onnettomuus voi vaikuttaa	Suurin sallittu lämpösäteilyn intensiteetti (kW/m ²)	Suurin sallittu etupaine (kPa)	Jos ylittyy tässä analyysissä (skenaario)
Toisen kohteen raja	8	10	-
Julkinen liikenneväylä	8	10	-
Liikennevalot	5	5	-
Tuotantolaitoksen rakennukset, laitteet, rakenteet tai muut palon leviämistä edistävät kohteet	8	15	Prosessirakennukset (tapaus 2, 3, 4, 5, 6), sähkölaitteet (tapaus 3, 6), muuntajat (tapaus 3, 6),
Rakennukset tai tuotantolaitoksen osat, joissa ihmisiä on pääasiassa läsnä (esim. työpaikan ruokala, toimistorakennus) ja joissa onnettomuuden vaikutukset voivat ulottua rakennusten sisälle	5	5	Tapaus (1–6): Metaanin/vedyn tuotanto
Laitoksen poistumistiet	3	5	-
Kiinteistön ulkopuolella sijaitsevat pienet talot (rivitalot ja omakotitalot).	3	5	-
Koulut, hotellit, kerrostalot, tavaratalot, majoitusliikkeet ja muut suuret ihmismäärät vastaanottavat rakennukset	3	5	-
Hoivakodit ja muut vastaavat kohteet, joista evakuointi on hidasta	1,5	5	-

6 Yhteenveto

Tämä seuraamusanalyysi tehtiin Arctic Sisun e-metaanilaitokselle Kotkassa. Analyysissä tarkasteltiin sekä metaanin että vedyn seurauksia. Metaanivuoto lähellä Gasgridia (tapaus 1) voi aiheuttaa suihkupalon, jonka lämpösäteily ($3\text{--}8\text{ kW/m}^2$) voi ulottua 31–38 metrin päähän vuotokohdasta. Syttyvä pilvi voi ulottua 15 metrin päähän vuotokohdasta ja aiheuttaa räjähdysten, joka voi johtaa 5 kPa:n ylipaineeseen 13 metrin etäisyydellä.

Metaanivuoto prosessialueella (tapaukset 2 ja 3) voi aiheuttaa suihkupalon, jonka lämpösäteily ($3\text{--}8\text{ kW/m}^2$) voi ulottua jopa 38–48 metrin päähän vuotokohdasta. Syttyvä pilvi voi aiheuttaa räjähdysten, joka voi aiheuttaa 5 kPa:n ylipaineen 17 metrin etäisyydellä. Nämä seuraukset, kuten suihkupalo, voivat ulottua sähkölaitteisiin ja muuntajiin (tapaus 3).

Vetyvuoto voi muodostaa syttyvän kaasuseoksen ilman kanssa 54–62 metrin etäisyydellä tuulen nopeudesta riippuen. Jos syntyy suihkupalo, lämpösäteilyn ($3\text{--}8\text{ kW/m}^2$) etäisyydet ulottuvat 53–71 metriin. Jos syttyvä pilvi syttyy, 5 kPa:n ylipaine voi esiintyä 80 metrin päässä ja 15 kPa:n ylipaine 50 metrin etäisyydellä. Ylipainealueet ulottuvat tärkeimpiin sähköisiin metanointiyksiköihin, laitteisiin ja muuntajiin.

Liite 1. Asiakirjan laatija



Ismo Talka

TYÖTURVALLISUUSASiantuntija

Ismo Talka on kehittänyt laskelmiin ja mallinnukseen perustuvia CFD-simulaatioita suuronnettomuusriskeistä. Näihin asiakasprojekteihin on kuulunut muun muassa palotilanteiden lämpösäteilyn arviointi, kemikaalien leviämisen mallintaminen, räjähdysventtiilien mitoitus sekä ylipaineiden tasojen määrittäminen.

Ismo on valmistunut soveltavan fysiikan insinööriksi Jyväskylän yliopiston uusiutuvan energian koulutusohjelmasta ja työskennellyt muun muassa konsulttina teollisuudessa. Alla esitellään seuraamusmallinnushankkeita yli seitsemän vuoden ajalta.

AFRY Finland Oy, HSE-asiantuntija 2023-04 ->

- Rikkidioksidikaasun leviäminen
- Kylmäaine R1234 ATEX-mallinnus
- Vety- ja metaanivuodot (altaan/suihkupalon lämpösäteily, kaasun leviäminen, räjähdys)
- Biokaasun varastointilaitoksen kemikaaliturvallisuuden mallinnus
- Ammoniakin, kloorin ja klooridioksidin leviämisanalyysi
- 1,3-butadienin, akryliniitriilin, n-butyylakrylaatin ja styreenin reaktoripalon ja leviämisen analyysi
- Vihreään teräkseen liittyvät seuraamusanalyysit useille asiakkaille, vety
- H-Flex-E-laitoksen seuraamusten mallintaminen
- Muuntajatehtaan riskianalyysi ja seuraamusanalyysi, muuntajaöljy, kerosiinialtaiden palot
- Vetyputkistojen vuotojen ja hätäpolttolaitteiden seuraamusten analysointi
- LBG:n seuraamusanalyysi biokaasulaitokselle
- Kaasuturbiinilaitoksen räjähdys ja seuraamukset, kaupunkisuunnitteluvaihtoehtojen arviointi
- Vetyhankkeen suuronnettomuusriskien arviointi
- PEKILÖ-mykoproteiinituotantolaitoksen onnettomuusriskien mallintaminen
- Typpihapon varastoinnin ja purkamisen seuraamusanalyysi
- Öljyn varastoinnin palo- ja räjähdysmallinnus (3000/2x5000 m³) voimalaitoksen alueella
- Kobolttijalostamon seuraamusten mallintaminen (rikkihappo, kloorivety, kerosiini ja vetyperoksidi) ja alustavat tilaluokitukset NFPA70, 497 ja 499
- Uuden muuntajatehtaan työturvallisuus- ja ympäristöjohtaja sekä seuraamusanalyysi
- Alustavat vaaraetäisyydet P2X-vedyn tuotannolle
- Kahden uuden biokaasulaitoksen seuraamusten mallintaminen kemikaaliluvan mukaisesti
- Räjähdys kaasunkeruujärjestelmässä
- Prosessipumpun räjähdys
- Viski-varaston palon lämpösäteilyn mallinnus
- Lämpösäteily jätekasapalon yhteydessä
- Styreenialtaan palo
- Vetyvuotojen (säiliöt, putkisto) seuraamusten analysointi
- Kahden soihdun lämpösäteilytasot
- Suoravähennettyä rautaa tuottavan sähköterästehtaan seuraamusanalyysi vedyn osalta
- LNG-termiinalin seuraamusanalyysi
- Telakan asetyleenikaasuaseman suuronnettomuuden mallinnus
- Rikkikonsentraatin palon seuraamusanalyysi
- PVA-siilon pölyräjähdys
- Maapoltinpäästöjen myrkyllisen pilven leviämisen mallinnus
- Maakaasuputken vuotot ja seuraamusten mallinnus
- Paineilmasäiliön rikkoutuminen, sisäilman ylipaine
- Reaktorin räjähdys
- Metaanin ja vedyn seuraamusanalyysi
- E-metaanin ja e-SAF-prosessilaitosten seurausten analysointi
- Ammoniakin purkaminen junasta, kaasun leviämisanalyysi
- Seuraamusanalyysi metaanille, vedylle ja metanolille
- Kaatopaikkajätteen palo ja sen lämpösäteilyn vaikutukset
- CO₂-putkivuotojen mallintaminen
- Ammoniakkivuodon seuraamukset

Hankkeet 2018-10 – 2021-03

- Terminaalialueen kaasun leviämisanalyysi CFD:n, MTBE-pilven sekä erilaisten tuuli- ja rakenteellisten arvioiden avulla.
- Useiden altain ja säiliöiden tulipalojen analyysi uudessa terminaalissa, CFD
- Altaan ja säiliön palon lämpösäteily
- Dieselaltaan lämpöanalyysi
- Uuden terminaalin useiden altain ja säiliöiden tulipalojen analyysi, CFD
- Altaan ja säiliön palon lämpösäteily
- Altaan ja säiliön palon lämpösäteily, diesel, bensiini
- Hiilivetypalon lämpökuormitus lämpösuojaukselle (pumppaamo), CFD
- Butyyliakrylaattisäiliössä tapahtuneen palo- ja kaasuräjähdysonnettomuuden arviointi ja mallinnus, CFD
- Kemikaalivuodon (ulkoilma) ja kemikaalisäiliön räjähdysen seurausanalyysi, CFD+laserskannaus
- Altaan ja säiliön palon säteilyintensiteetin arviointi, CFD

Projektit 2012-01 – 2014-12

- 3 x 2000 m³:n puupellettisäiliön vaarojen arviointitutkimus, palo, savukaasu, lämpösäteily, räjähdystutkimukset CFD:n avulla
- 4 x 1000 m³:n puupellettisäiliön vaarojen arviointitutkimus, palo-, savukaasu-, lämpösäteily- ja räjähdystutkimukset CFD:n avulla
- 7500 m³:n raskasöljysäiliön muuntaminen kevytöljysäiliöksi, vaarojen arviointitutkimus, palo-, savukaasu-, lämpösäteily- ja räjähdystutkimukset
- 1000 m³:n kylmävesisäiliön muuntaminen kevyen öljyn säiliöksi, vaarojen arviointitutkimus, palo-, savukaasu-, lämpösäteily- ja räjähdystutkimukset
- 4000 m³:n kevyen öljyn säiliön räjähdystutkimus, tuuletettu räjähdys, ulkoisten paineaaltojen vaikutusten minimointi kaupunkialueella
- 1500 m³:n puupellettisäiliön vaarojen arviointitutkimus, palo-, savukaasu-, lämpösäteily- ja räjähdystutkimukset
- 1000 m³:n puupellettisäiliön vaarojen arviointitutkimus, palo-, savukaasu- ja lämpösäteilytutkimukset sekä räjähdystutkimukset

Toimenkuvat

2023 -	AFRY Finland Oy, HSE-asiantuntija
2021 - 2023	Rand Simulation Oy, vanhempi CFD-asiantuntija
2018 - 2021	Pinja Oy, projekti-insinööri
2017-2018	Ericsson, vanhempi lämpökehittäjä
2014-2017	ABB, vanhempi suunnitteluinsinööri, T&K
2011-2014	Elomatic Oy, CFD-mallinnuksen asiantuntija
2007-2011	Numerola Oy, CFD-asiantuntija
2006-2007	Jyväskylän yliopisto, tutkija

Liite 2: Layout suunnitelma

Vaikutusten arviointi – Kotka e-metaani FEL2.5 tutkimus

Asiakas: Arctic SISU

Projekti: 101030347-002

