

Vihreän vedyn ja ammoniakin tuotantolaitoksen käsittely-, varastointi- ja lastausalueiden suuron- nettomuuksien vaaranarviointi

Green North Energy Oy
Naantalin laitos

Laatija Mia Manninen	Allekirjoitus	Pvm 16.05.2024
Tarkastaja Pasi Leimu	Allekirjoitus	Pvm 16.05.2024
Hyväksyjä Veli-Matti Niemi	Allekirjoitus	Pvm 16.05.2024

RAPORTTI

Mia Manninen/XMAM

16.05.2024

2/19

59806-L_03800-0015 Rev. B

Luottamuksellinen

Päiväys	Revisio	Muutos	Tekijä	Tarkastaja	Hyväksyjä
26.02.2024	A	Ensimmäinen julkaisu	XMAM	PLE	VMN
16.05.2024	B	Korjattu kuvanumerointia. Lisätty kappale 11.2	XMAM	PLE	VMN

Sisällys

1	Asiakirjan tarkoitus	4
2	Hankkeen yleiskuva	4
3	Kuvaus tuotantolaitoksesta ja sen ympäristöstä	5
3.1	Sijainti	5
3.2	Ilmasto	7
3.3	Lähistön muut tuotantolaitokset	7
3.3.1	Fingrid Oyj	8
3.3.2	Turun Seudun Energiantuotanto Oy	8
3.3.3	Neste Oyj	8
3.3.4	Lähinaapureiden seurausanalyysit	8
4	Toimintojen sijoittuminen tehdasalueelle	9
5	Vaarallisten aineiden määrät	10
5.1	Kemikaalien ominaisuudet	10
5.2	Kemikaalien varastointi	11
6	Yleinen kuvaus mallinnusmenetelmistä	11
7	Tarkasteltavat onnettomuustilanteet	11
7.1	Rajaukset	12
8	Vedyn käsittely ja varastointi	13
8.1	Vuotoaukon koko 10 % putken DN 150 poikkipinta-alasta	13
8.2	Vuotoaukon koko 10 % putken DN 50 poikkipinta-alasta	14
9	Ammoniakin lastaus	15
9.1	Vuotoaukon koko 10 % putken DN 250 laippaliitoksen tiivisteen kehästä	15
10	Ammoniakin varastointi	17
10.1	Tyhjän varastosäiliön räjähdys	17
11	Ammoniakin hajukynnyksen mallinnus	18
11.1	Kaasumaisen ammoniakin vuoto	18
11.2	Hajukynnyksen ylitykseen vaadittavan vuodon suuruus	18

1 Asiakirjan tarkoitus

Tässä raportissa kuvataan Green North Energy Oy:n Naantaliin sijoitettavan vihreän vedyn ja ammoniakin tuotantolaitoksen sijoituksen suuronnettomuuksien vaikutusta tehtaan lähiympäristöön.

2 Hankkeen yleiskuva

Green North Energy Oy rakentaa vihreän vedyn ja vihreän ammoniakin tuotantolaitoksen Naantaliin, Luolalan teollisuusalueelle, Naantalin sataman itäpuolelle.

Naantalin hanke on suunniteltu toteutettavaksi kahdessa vaiheessa:

Vaihe 1: 2023–2027

Vaihe 2: 3–5 vuotta vaiheen 1 jälkeen

Hanke toteutetaan kahdessa vaiheessa sähköverkon sähkönjakelukapasiteetin rajoitusten vuoksi. Ennen toista vaihetta verkonomistaja laajentaa merkittävästi alueen sähkönjakelukapasiteettia.

Laitoksen vedyn tuotantokapasiteetiksi on suunniteltu 140 MW vihreää sähköä vaiheessa 1 ja 280 MW vaiheessa 2. Vähäpäästöinen vetykaasu jatkojalostetaan ammoniakiksi sekoittamalla vetyä ammoniakkisynteesiprosessissa ilmasta erotettuun typpi-kaasuun. Tuotettua ammoniakkia käytetään mm. vähäpäästöisten lannoitteiden valmistuksessa ja meriliikenteen polttoaineena. Laitoksella tuotettua vetykaasua on suunniteltu myytäväksi myös liikennepolttoaineeksi (raskas liikenne ja saaristolauttaliikenne).

Hankkeessa pyritään hyödyntämään prosessin sivuvirtoja mahdollisimman laajasti. Prosessin tärkeimmät sivuvirratt ovat happi ja hukkalämpö. Lisäksi laitoksessa muodostuu demiveden valmistuksessa rejektivettä ja ilmanerotusyksikössä argonia. Sivuvirtojen suunnitellut ja mahdolliset käyttötarkoitukset ovat:

- happi: paikallisen CHP-laitoksen palamisilman rikastaminen ja/tai puhdistuksen ja nesteytyksen jälkeen toimittaminen markkinoille
- Ylijäämälämpö, matala lämpötila: liikennealueiden sulatus
- Ylijäämälämpö, korkea lämpötila: kaukolämpöverkon ja paikallisen teollisuuden tarpeisiin
- rejektivesi: teknisen veden hyödyntäminen
- argon: toimitus markkinoille

Laitoskokonaisuuteen kuuluvat elektrolyysilaitos, ammoniakin tuotantolaitos, ilmanerotusyksikkö (ASU), vety- ja ammoniakkivarastot sekä ammoniakin lastauslaitteisto satamassa.

Tuotantoprosessi alkaa veden käsittelyllä, jonka jälkeen vetyä tuotetaan elektrolyysilaitoksessa vedestä ja sähköstä. Elektrolyysiprosessista syntyy happea, vetyä ja

lämpöä. Elektrolyysilaitokselta vetykaasu johdetaan vetyvarastoon, josta vetyä käytetään ammoniakkisynteesireaktorissa. Ammoniakkisynteesin vaatima tyyppi tuotetaan ilmanerotustekniikalla ASU-yksikössä, josta syntyy argonia ja happea sivutuotteina. Ammoniakkisynteesin jälkeen tuotettu ammoniakki johdetaan ammoniakin laivausvarastoon, josta ammoniakki siirretään siirtoputkistoa pitkin sataman lastauslaiturille ja lastataan laivaan käyttäen lastausvarsia.

3 Kuvaus tuotantolaitoksesta ja sen ympäristöstä

3.1 Sijainti

Laitoksen sijainti Naantalissa, Luolalan teollisuusalueella.



Kuva 1. Laitosalueen sijainti Naantalissa

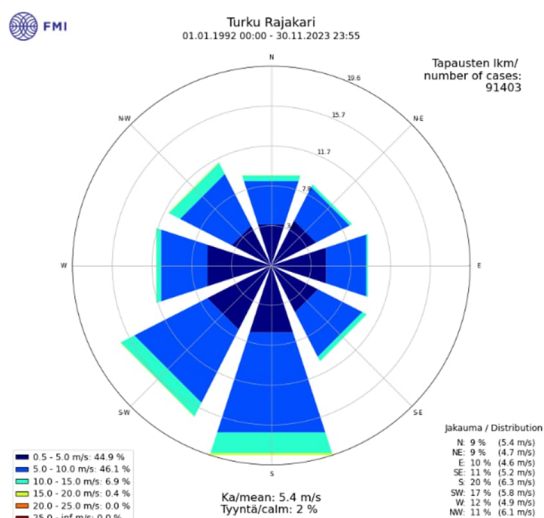
Lähimmät asuinrakennukset ovat laitosalueen lounaispuolella rannassa sijaitsevat Turun Seudun Energiantuotanto Oy:n hallinnassa olevat vierasmajat. Lähin vakituinen asutus sijaitsee noin 400 m etäisyydellä hankealueesta pohjoiseen. 500-1000 m säteellä hankealueesta sijaitsee useampia asuin- ja lomarakennuksia.



Kuva 3. Hankealueen lähiympäristön herkät kohteet YVA-ohjelmasta

3.2 Ilmasto

Alueen tuuliruuusu.

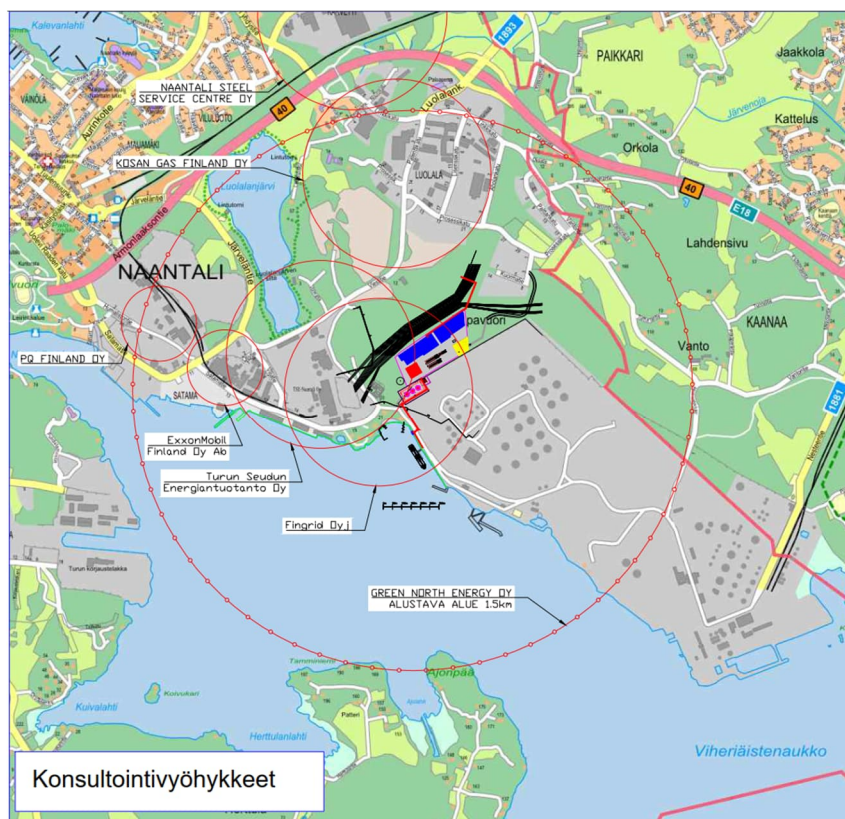


Kuva 4. Tuuliolosuhteet (Lähde:FMI)

3.3 Lähistön muut tuotantolaitokset

Hankealueella on Fingrid Oy, Turun Seudun Energiatuotanto Oy, Neste Oy, Exxon Mobile Finland Oy Ab, PQ Finland Oy ja Kosan Gas Finland Oy konsultointiväyhykkeet.

Oheiseen karttaan on piirretty alustavasti 1,5 km vyöhyke kuvaamaan mahdollista GNE:n konsultointiväyhykettä.



Kuva 5. Konsultointiväyhykkeet

Hankealueelle sijoittuvista toiminnoista Fingrid Oyj:n, TSE Oy:n ja Neste Oy:n konsultointivyöhykkeet sivuavat tehdasaluetta.

3.3.1 Fingrid Oyj

Fingrid Oyj on Suomen kantaverkkoyhtiö. Fingrid Oyj:llä on Naantalissa kaasuturbineilla toteutettu 2 x 20 MW varavoimalaitos. Konsultointivyöhykkeen laajuus 0,5 km.

3.3.2 Turun Seudun Energiantuotanto Oy

Turun Seudun Energiantuotanto Oy huolehtii alueen peruslämmön tarpeesta.

Naantalın voimalaitoksen tuotannollinen käyttö aloitettiin vuonna 1960. Voimalaitos tuottaa sähköä, kaukolämpöä ja prosessihöyryä. Naantalın voimalaitos koostuu kahdesta voimalaitosyksiköstä. Kaksi vanhinta kivihiilikäyttöistä voimalaitosyksikköä (NA1 ja NA2) poistettiin käytöstä 1.7.2020. Sähköä, lämpöä ja höyryä tuottaa vuonna 2017 valmistunut monipolttoaineyksikkö (NA4), joka käyttää pääpolttoaineenaan biopolttoaineita toimien päätuotantolaitoksena sekä kivihiilikäyttöinen kolmosyksikkö (NA3). Konsultointivyöhykkeen laajuus 0,5 km.

3.3.3 Neste Oyj

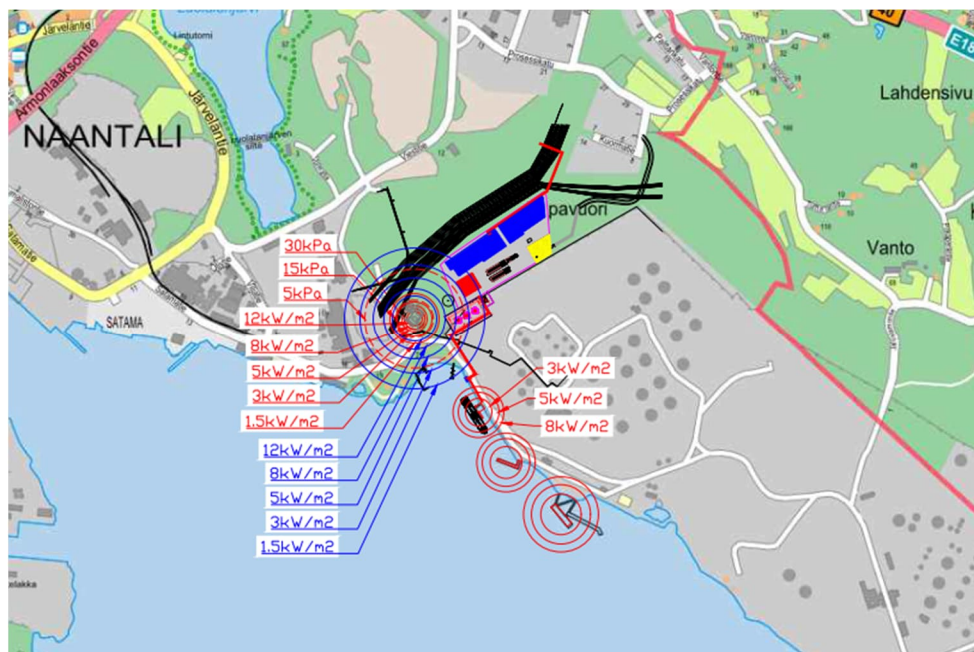
Nesteen Naantalın terminaali satamineen huolehtii lounaisen Suomen liikennepolttonesteiden jakelusta. Naantalın terminaalin toiminnot pitävät sisällään sataman, säiliöautojakelusta vastaavan jakeluterminaalin, laajan säiliöalueen sekä tukitoimintoja kuten esimerkiksi jätevedenpuhdistamon.

Jakeluterminaalin kautta lähtee valmistuotteita asiakkaille kuten aikaisemminkin. Jalostustoiminnan päättyminen ei vaikuta merkittävästi jakeluterminaalin toimintaan tai volyymeihin, myös jakelualueet pysyvät ennallaan. Konsultointivyöhykkeen laajuus 0,5 km.

3.3.4 Lähinaapureiden seurausanalyysit

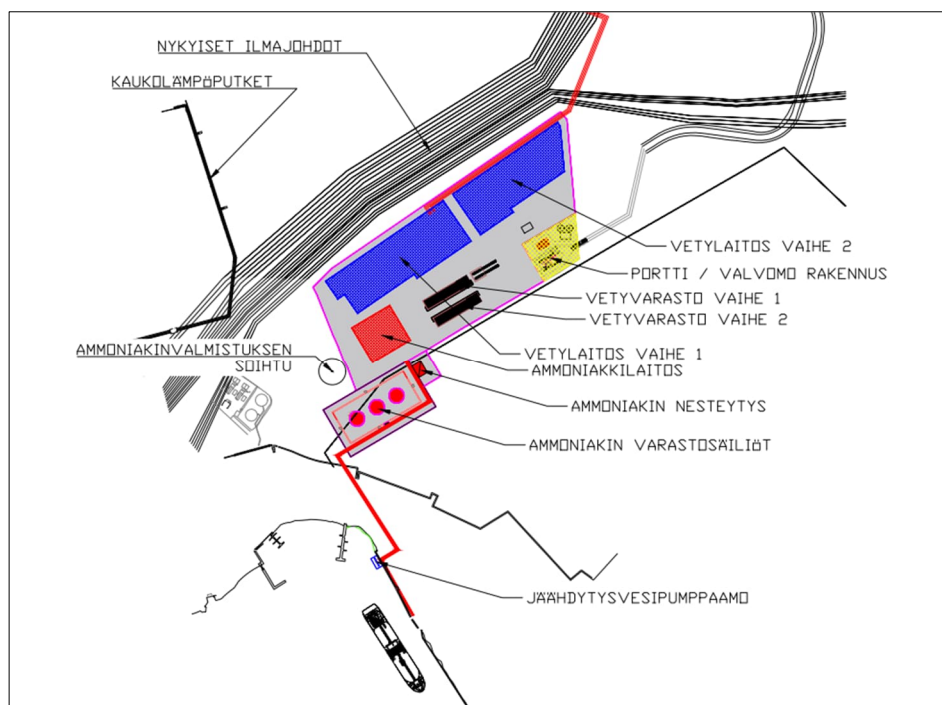
GNE laitoksen välittömässä läheisyydessä sijaitsevien tuotantolaitosten seurausanalyysien tulokset ja niiden vaikutukset huomioidaan laitoksen sijoitussuunnittelussa.

Karttakuvaan on piirretty Naantalın varavoimalaitoksen polttoainejärjestelmän varastosäiliöalueen säiliöpalon ja allaspalon lämpösäteily sekä räjähdyspaine. Lisäksi kuvassa on Neste Oyj:n satamalaitureiden 1-3 lämpösäteilyarvot.



Kuva 6. TSE ja Nesteen onnettomuuksien vaikutusalueet

4 Toimintojen sijoittuminen tehdasalueelle



Kuva 7. Tehdasalue

5 Vaarallisten aineiden määrät

Taulukko 1. Vaarallisten kemikaalien määrät

Kemikaali	Käyttömäärä (t/a)	Käyttömäärä (kg/h)	Max. Varastomäärä (t)
Vety	45 000	5 330	81
Ammoniakki	210 000	25 000	15 000

Taulukko 2. Muiden aineiden määrät

Kemikaali	Käyttömäärä (t/a)	Käyttömäärä (kg/h)	Max. Varastomäärä (t)
Typpi	177 000	21 500	20
Happi	406 000	49 000	-
Argon	3 300	400	40

5.1 Kemikaalien ominaisuudet

Taulukko 3. Vedyn aineominaisuudet

Vety	H ₂
CAS-numero	1333-74-0
Molekyyli massa (g/mol)	2,0
Olomuoto	kaasu
Normaalipaineessa kiehumispiste	- 253°C
Suhteellinen kaasun tiheys	0,07
Höyrynpaine (26 °C) (kPa)	0,209
Syttymisrajat (til-%)	4 – 75,6
Itsesyttymislämpötila	560 °C
Vaarallisuus	Erittäin helposti syttyvä kaasu
Palavien nesteiden luokitus	kategoria 1

Taulukko 4. Ammoniakin aineominaisuudet

Ammoniakki	NH ₃
CAS-numero	7664-41-7
Molekyyli massa (g/mol)	17,03
Normaalipaineessa kiehumispiste	-33 °C
Sulamispiste	- 77 °C
Suhteellinen tiheys (vesi=1), -33°C	0,7
Suhteellinen höyryn tiheys (ilma=1)	0,6
Höyrynpaine (26 °C) (kPa)	1013
Syttymisrajat (til-%)	15 – 33,6
Itsesyttymislämpötila	630 °C
Vaarallisuus	Syttyvä kaasu, välitön myrkyllisyys (luokka 3), ihosyövyttävä, erittäin vaarallinen vesiliöille

AEGL 1, 10 min ja 30 min	30 ppm (21mg/m ³) / 30 ppm (21mg/m ³)
AEGL 2, 10 min ja 30 min	220 ppm (160 mg/m ³)/ 220 ppm (160 mg/m ³)
AEGL 3, 10 min ja 30 min	2700 ppm (1900 mg/m ³)/ 1600 ppm (1100 mg/m ³)
Palavien nesteiden luokitus	kategoria 2

Argon on normaaliolosuhteissa pysyväkaasu, jota ei ole määritelty vaaralliseksi ihmiselle tai ympäristölle. Argon on väritön ja hajuton kaasu. Argonkaasu on ilmaa raskaampaa.

Typpi on väritön, hajuton, hieman ilmaa kevyempi kaasu. Suurissa pitoisuuksissa typpi voi syrjäyttää hapen ja aiheuttaa tukehtumisvaaraa. Typeä ei ole määritelty ihmiselle vaaralliseksi. Voimassa olevien kriteerien perusteella typeä ei luokitella ympäristölle vaaralliseksi.

5.2 Kemikaalien varastointi

Vety varastoidaan komposiittirakenteisissa painesäiliöissä merikuljetuskonttien sisällä. Yhden merikontin varastointikapasiteetti on 1016 kg vetykaasua 350 bar paineessa.

Ammoniakkia varastoidaan kolmessa 5 000 tonnin säiliössä. Vedetön nestemäinen ammoniakki on lämpöeristetyissä säiliöissä lähes normaalipaineessa kiehumispistettä vastaavassa lämpötilassa (noin -33 °C).

6 Yleinen kuvaus mallinnusmenetelmistä

Laskenta on tehty Det Norske Veritasin PHAST (Process Hazard Analysis software tool) ohjelmalla.

Laskennoissa käytetyt sääolosuhteet ovat stabiilit D, tuulenoisuus 5,0 m/s.

7 Tarkasteltavat onnettomuustilanteet

Mallinnetut onnettomuusskenaariot ovat teoriassa mahdollisia suuronnettomuuksia. Prosessivarautumisia ja suojauskeinoja ei ole otettu laskennassa huomioon. Kun prosessiin liittyvät varautumiset ja suojaustoimenpiteet on toteutettu, onnettomuuksien todennäköisyydet arvioidaan niin alhaisiksi, ettei niitä pidetä mahdollisina.

Onnettomuustilanteita voivat aiheuttaa vetyräjähdys, tyhjän puhdistamattoman ammoniakkisäiliön sisällä tapahtuva höyryräjähdys ja putkistovuodot.

Vetyputkistovuodosta voi aiheuta palo- tai räjähdysvaara. Ammoniakin putkistovuoto ulkotilassa aiheuttaa terveysvaaran putkivuodosta muodostuvan lammikon höyrystymisen tai vuotovirran höyrystymisen seurauksena. Ammoniakin syttyminen ulkoilmassa on epätodennäköistä, johtuen sen korkeasta syttymisrajasta ja tarvittavan

syttymisenergian suuruudesta. Laimenemisen seurauksena ammoniakin pitoisuus alenee ulkoilmassa nopeasti alle syttymisrajan.

Palosta johtuvat palokaasut eivät sisällä normaalista rakennuspalosta poikkeavia vaarallisia kemikaaleja.

Putkistovuodot johtuvat pääsääntöisesti laippaliitoksien asennusvirheistä tai venttiilien ja pumppujen tiivistevaurioista.

7.1 Rajaukset

Laskennassa ei ole mallinnettu vedyn ja ammoniakin tuotannossa tapahtuvia onnettomuuksia.

Kuva 8. Vety vuotoskenaario

Kuva 9. Vety vuotoskenaario

9 Ammoniakin lastaus

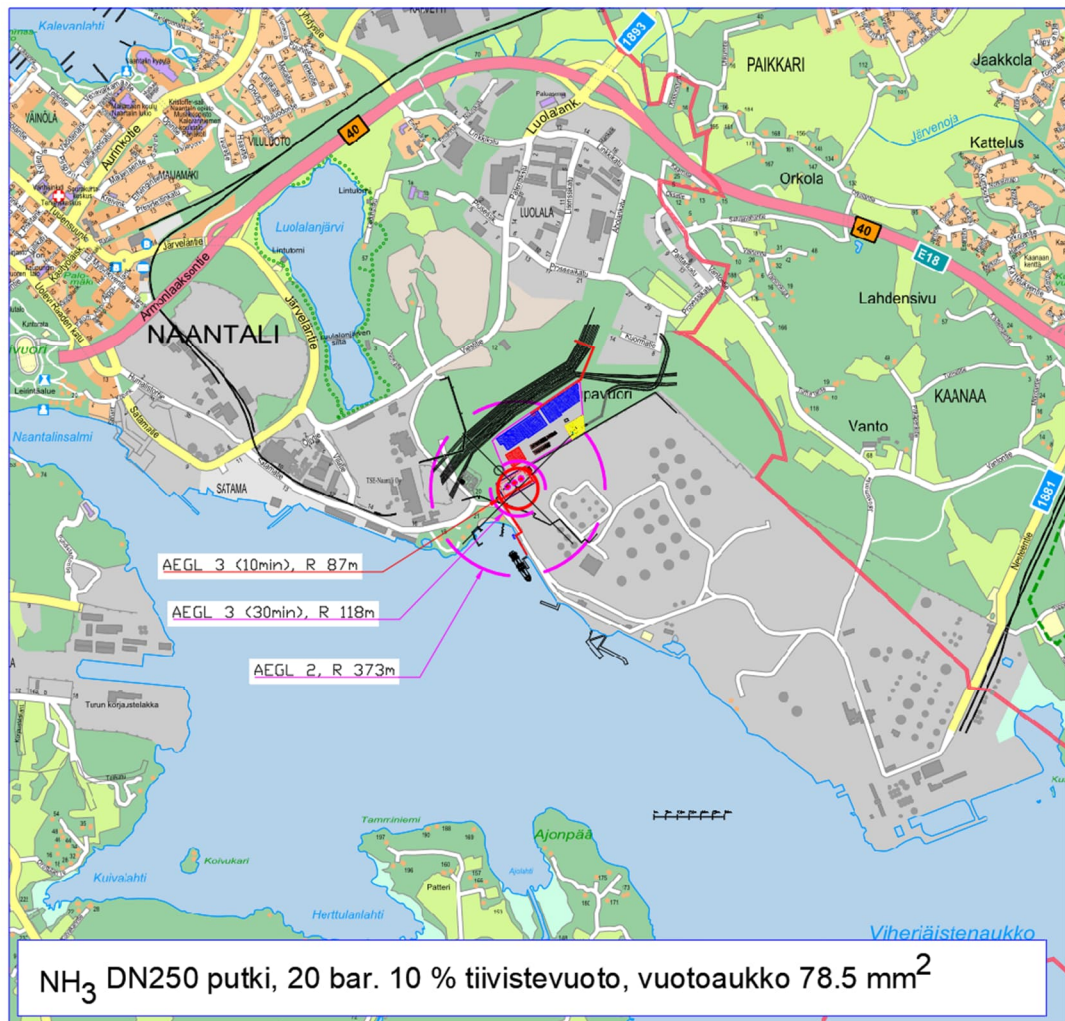
9.1 Vuotoaukon koko 10 % putken DN 250 laippaliitoksen tiivisteen kehästä

Skenaariossa putkikoko on DN250 ja putkistopaine 20 bar. Vuotoaukon koko on 10 % laippaliitoksen tiivisteen kehästä, laippatiivisteen paksuuden ollessa 1 mm. Vuotomäärä pysyy koko vuodon ajan vakiona.

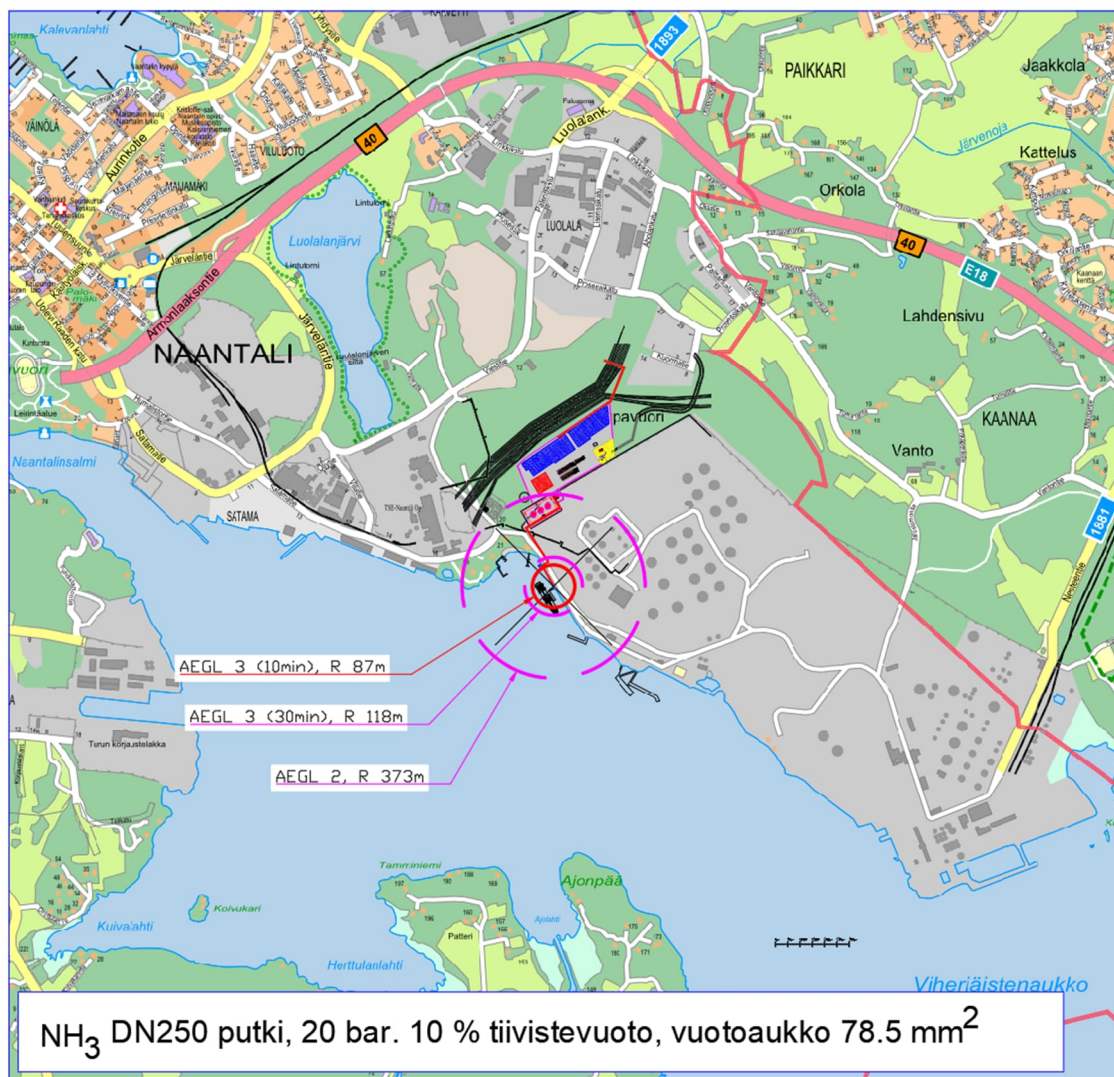
Skenaariossa nestemäisen ammoniakin vuoto kestää 10 minuuttia, jonka jälkeen vuoto loppuu, mutta haihtuminen jatkuu syntyneestä lammikosta.

Skenaariota pidetään mahdollisena, mutta epätodennäköisenä.

Seurausvaikutukset on kuvattu laivauspumppaamolla ja satamassa.



Kuva 10. Ammoniakin putkivuoto laivauspumppaamolla



Kuva 11. Ammoniakin putkivuoto satamassa

10 Ammoniakin varastointi

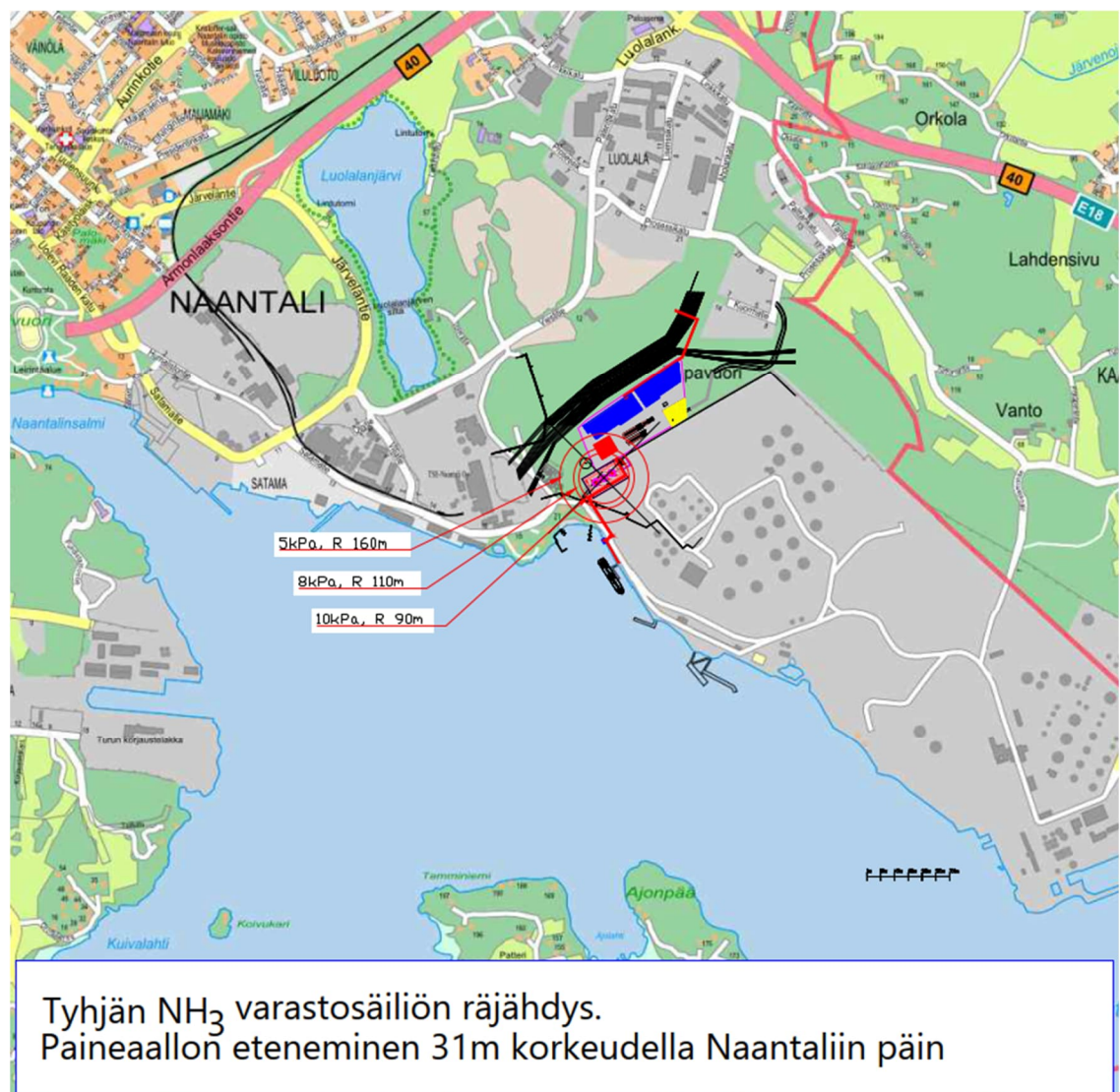
10.1 Tyhjän varastosäiliön räjähdys

Säiliön halkaisija 20 m ja korkeus 30 m. Säiliössä on ammoniakkihöyryä ja ilmaa stoikiometrisessä suhteessa. Seos syttyy ja räjähtää. Erikseen laskettu räjähdyspaine=7.6 bar_g ja lämpötila 1700 °C säiliön sisäisenä reunaehtona ajassa t=0 s.

Räjähdyspaine irrottaa säiliön katon ja paine pääsee purkautumaan avautuneesta pinnasta ympäristöön.

Säiliön räjähdys aikaansaa voimakkaan paineiskun viereisiin säiliöihin (max. 52 kPa yli-painetta). Paineaalto on ohittanut säiliöt 0.2 sekunnissa ja vaimentunut 17 kPa:iin.

Skenaariota ei pidetä mahdollisena.



Kuva 12. Tyhjän ammoniakkisäiliön räjähdys

11 Ammoniakin hajukynnyksen mallinnus

11.1 Hajukynnyksen ylitykseen vaadittavan vuodon suuruus

Mallinnuksessa kartoitetaan ammoniakin hajukynnyksen ylitykseen vaadittavan vuodon suuruutta. Tuotantolaitoksen etäisyys lähimpään asutukseen on noin 400 metriä.

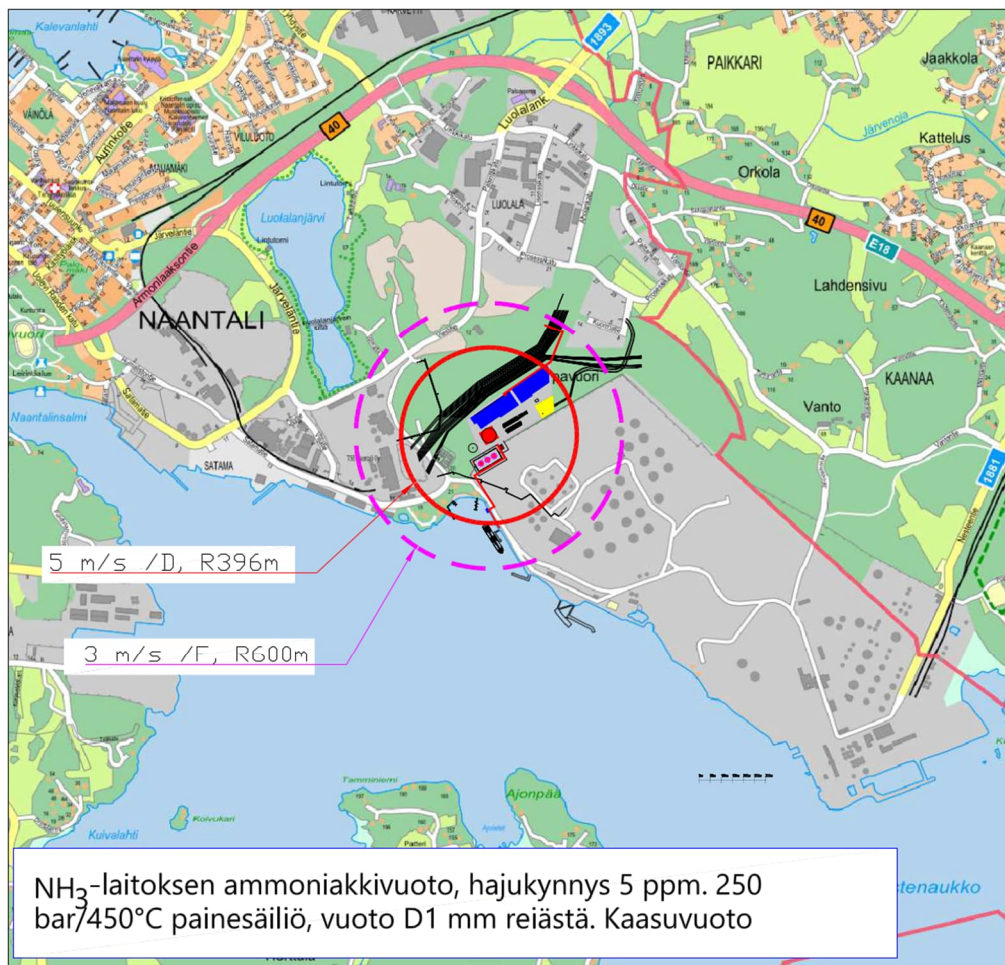
Tulokset on laskettu Phast V9 ohjelmalla. Mallinnuksessa ei ole huomioitu tuotantolaitoksen alueella olevia rakennuksia tai maastonmuotoja. Pilven leviäminen tapahtuu avoimessa maastossa, jossa oletuksena mallinnusohjelman mukainen pinnankarheus.

Tuulen nopeudet ja stabiliteetti luokat ovat 3 m/s/F ja 5 m/s/D. Ympäristön lämpötila +10 °C.

Mallinnuksessa 250 bar/450 °C painesäiliössä on vuoto, josta vuotaa kaasumaista ammoniakkia 20 g/s. Vuoto on jatkuva.

Ammoniakin hajukynnys on 5 ppm.

3 m/s tuulella hajukynnys ylittyy 600 metrin päässä. 5 m/s tuuli laimentaa päästöpilven niin, että hajukynnys ylittyy 396 metrin päässä. Käytännössä hajukynnyksen ylittävät etäisyydet ovat huomattavasti pienempi, koska rakennusten ja maaston muotojen aiheuttamat pyörteily lisäävät laimenemista.



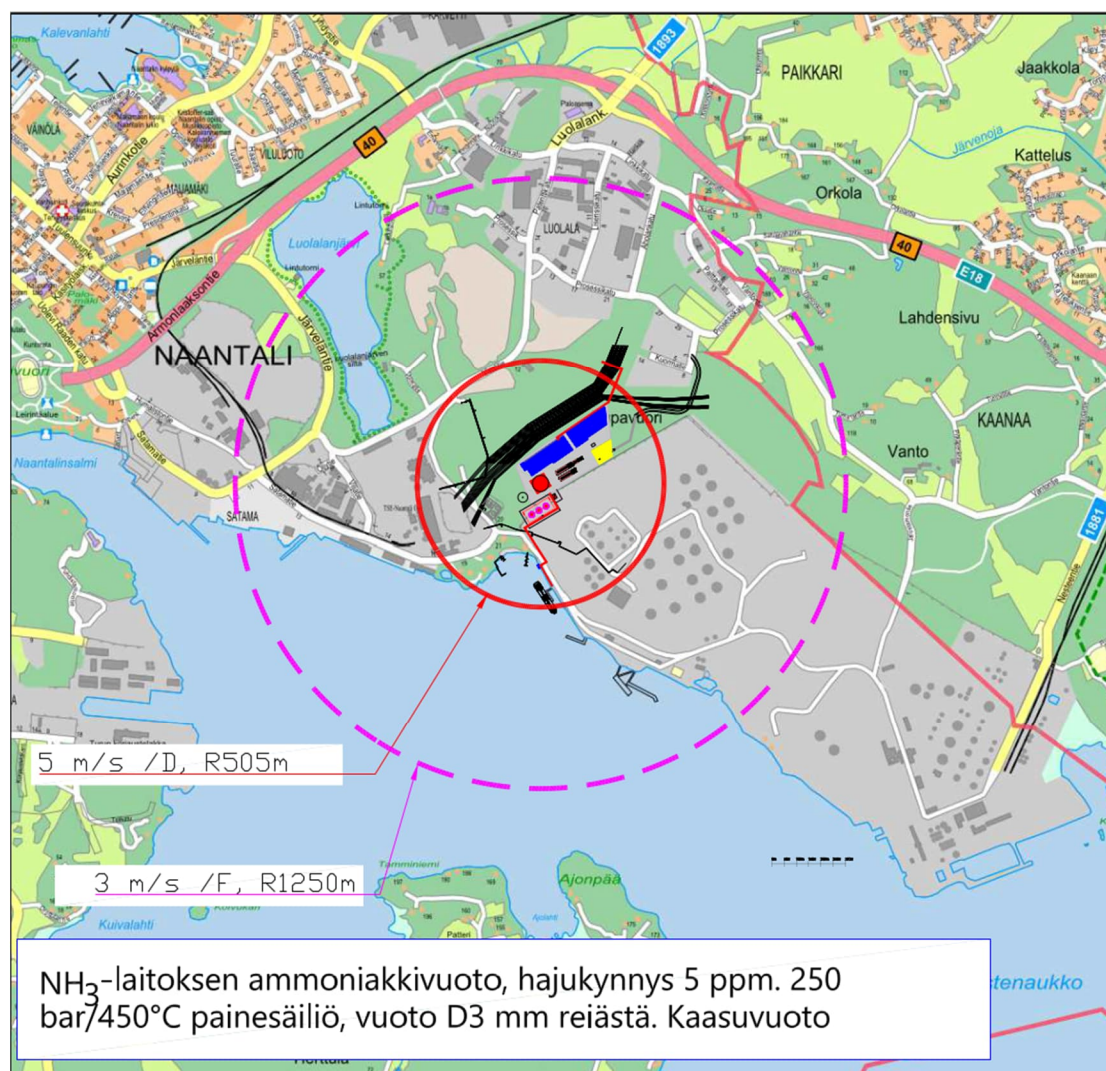
Kuva 13. Kaasumaisen ammoniakin hajukynnys

11.2 Kaasumaisen ammoniakkin vuoto

Ammoniakin kaasumainen vuoto 250 bar ja 450 °C. Vuotoaukon koko on 3 mm reikä painesäiliössä, josta vuotaa 177 g/s ammoniakkihöyryä. Vuoto on jatkuva.

Mallinnuksessa ei ole huomioitu tuotantolaitoksen alueella olevia rakennuksia tai maastonmuotoja. Pilven leviäminen tapahtuu avoimessa maastossa, jossa oletuksena mallinnusohjelman mukainen pinnankarheus.

Tuulen nopeudet ja stabiilitetiluat ovat 3 m/s/F ja 5 m/s/D. Ympäristön lämpötila +10 °C.



Kuva 14. Ammoniakkivuodon hajukynnyksen ylittyminen