

## VAK-ratapiha ja suuronnettomuusskenaariot

VAK-ratapihan sijoittamisen mahdollisuutta Mustasuon alueelle tutkittiin hyödyntäen Turun ratapihalle tehtyjä suunnitelmia ja selvityksiä. Seuraavassa esitetyt, Saramäkeen sovellettavat tiedot, ovat peräisin Turun ratapiha-alueelle viimeisimpänä laaditusta selvityksestä *Turun Ratapihan VAK-riskitaso ja VR:n Turun konepaja-alueen asemakaava- ja asemakaavan muutosehdotus, vain viranomaiskäyttöön tarkoitettu loppuraportti 10.12.2013 Gaia Consulting Oy*. Tätä selvitystä käytettiin, koska siinä on aihetta käsitteleviin aiempiin selvityksiin nähden päivitetty suuronnettomuusskenaarioihin liittyviä leviämismalleja sekä laskentamenetelmiä ja se tarjoaa siten viimeisimmän tiedon aiheesta.

### 1 Suuronnettomuusskenaariot

Suuronnettomuusskenaariot ja niiden vaikutusalueet on esitetty kolmeen eri vaikutusluokkaan jaettuna. Tarkasteluissa käytetyn rautatie- ja ratapiha-alueen pituus on n. 1,8 km. Tällöin lyhyimmän ratapiharaiteen suora osuus olisi vähän yli 1 km pitkä. Tämän kokonaisuuden on arvioitu olevan pisin mahdollinen alue, joka voisi muodostaa VAK-ratapihan. Lisäksi oletuksena on, että Saramäen järjestelyratapihan kautta kulkevat samat aineet ja määrät kuin mitä Turun keskustassa sijaitsevalla ratapihalla nykyään.

Itse skenaarioita on neljä: Ammoniakkivuoto, palavan nesteen tulipalo, tulipalosta mahdollisesti seuraava säiliövaunun BLEVE (= palavan nesteen höyryräjähdys) sekä palavan kaasun vuoto ja vuotopilven jälkisyttymä.

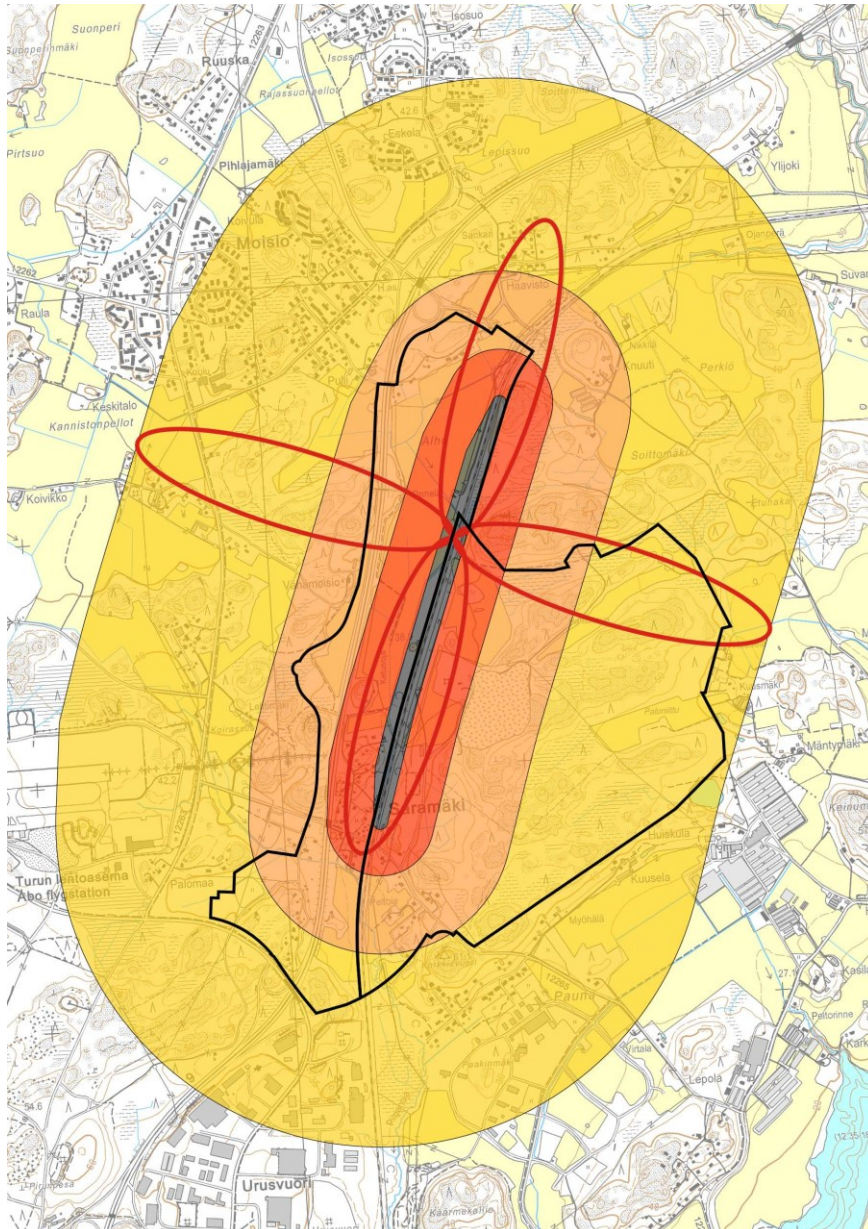
Kunkin skenaarion yhteydessä esitetty kuva on teoreettinen yhdiste kaikissa tarkasteltavan alueen pisteissä tapahtuvista onnettomuuksista kaikilla tuulen suunnilla. Eli todellisuudessa, vaikka suuronnettomuus tapahtuisi, olisi vaikutusalue huomattavasti pienempi. Tätä on havainnollistettu ammoniakkivuodon yhteydessä kuvassa 1.

## 1.1 Ammoniakkivuoto

Taulukossa 1 on kuvattu onnettomuuteen liittyvät ammoniakkin vaikutusalueet. Vastaavat vaikutusalueet skenaariossa, jossa tuulen nopeus on 3 m/s, on esitetty kartalla kuvassa 1.

Tuuli: 5 m/s	10 min	30 min	60 min	Tuuli: 3 m/s	10 min	30 min	60 min
AEGL3	90	120	150	AEGL3	120	160	190
AEGL2	330	390	390	AEGL2	430	430	510
AEGL1	950	950	950	AEGL1	1300	1300	1300

Taulukko 1. Ammoniakkivuodon vaikutusalueet metreinä 3 m/s ja 5 m/s tuulennopeuksilla. Raja-arvoja vastaavat pitoisuudet on esitetty kappaleessa 3.



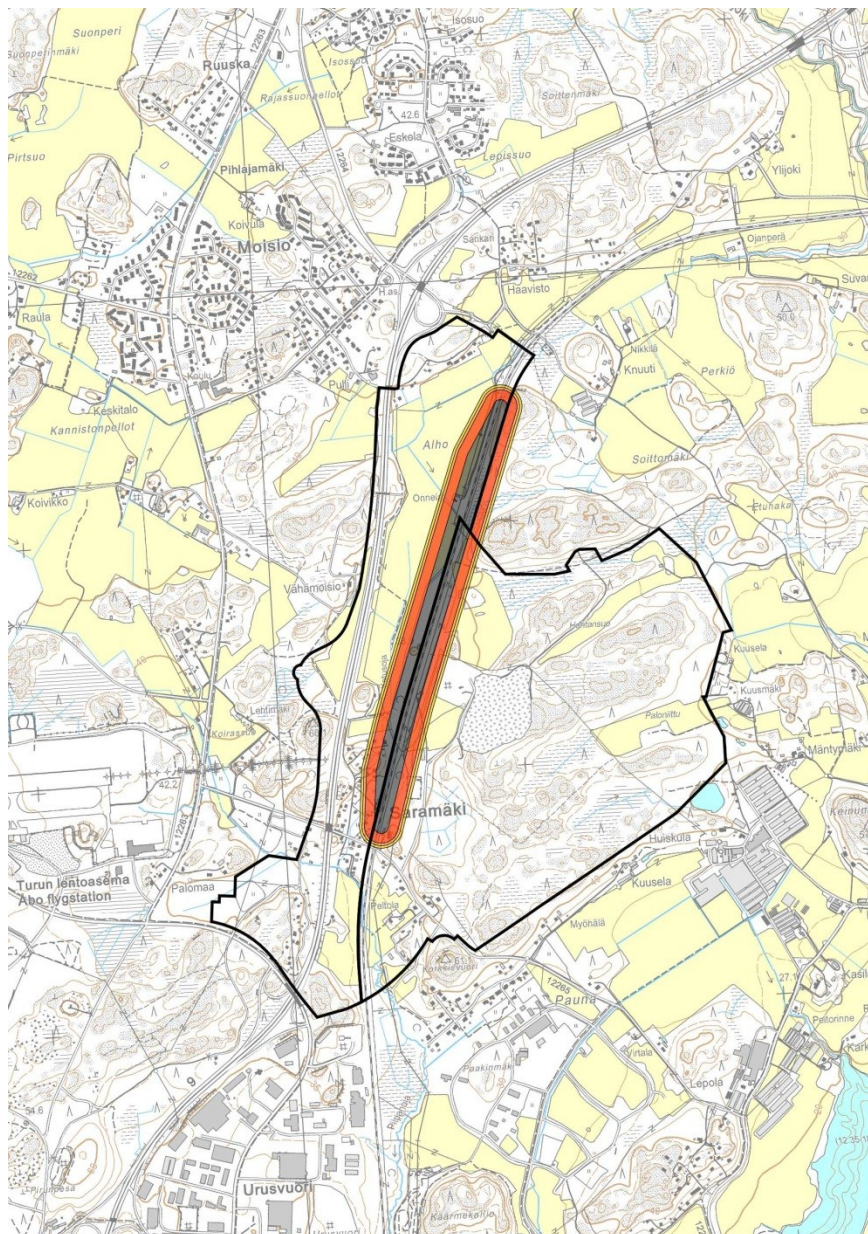
Kuva 1. Karttaan on piirretty harmaalla pohjalla mahdollinen ratapiha-alue ja pääraiteille varattu alue sekä mustilla viivoilla Maa-ainespuston ja Mustasuon asemakaava-alueet. Punaisin ellipsin on kuvattu yksittäisen onnettomuuden vaikutusalueita neljällä eri tuulen suunnalla. Ratapihan ympärillä punaisella merkattu sisin alue vastaa ammoniakkin AEGL3 (60 min) vaikutusalueita (190 m), oranssilla merkitty alue AEGL2 (60 min) vaikutusalueita (510 m) ja keltaisella merkitty alue AEGL1 (60 min) vaikutusalueita (1300 m). Kaikki vaikutusalueet on esitetty 3 m/s tuulennopeudella.

## 1.2 Palavan nesteen tulipalo

Tulipalon vaikutusmatkat on kuvattu eri lämpösäteilyn intensiteettitasoilla taulukossa 2 ja piirretty karttaan kuvassa 2.

Vaikutusalueet (m)	8 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	3 kW/m <sup>2</sup>
Pentaani	40	50	60

Taulukko 2. Pentaanivaunun vuodosta aiheutuneen 100 m<sup>2</sup> lammikkopalon vaikutusmatkat metreinä. Vaikutusmatkat on kuvattu lämpösäteilyn intensiteettitasoilla. Kuvaukset lämpösäteilyn intensiteettitasojen merkityksistä on esitetty kappaleessa 3.



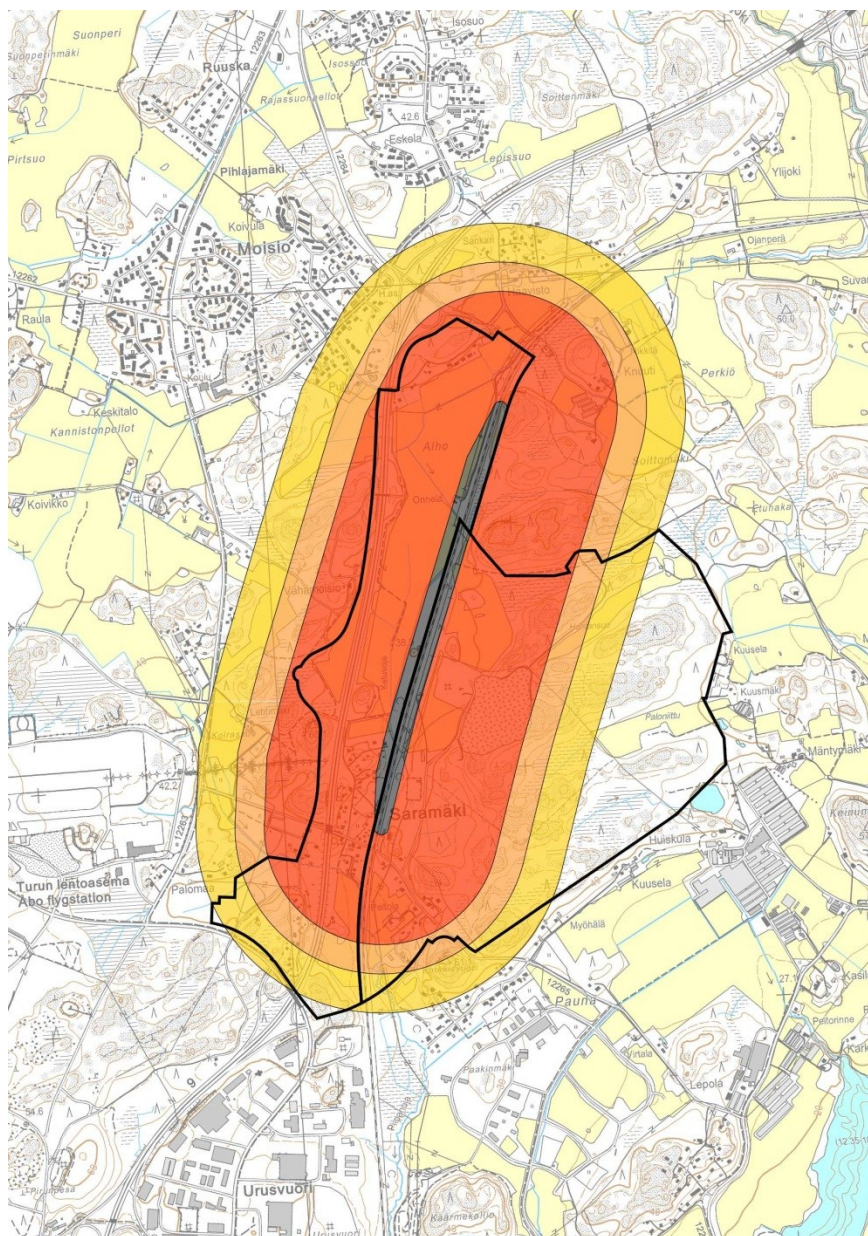
Kuva 2. Karttaan on piirretty harmaalla pohjalla mahdollinen ratapiha-alue ja pääraiteille varattu alue sekä mustilla viivoilla Maa-ainespuston ja Mustasuon asemakaava-alueet. Ratapihan ympärillä punaisella merkattu sisin alue vastaa pentaanivaunun aiheuttaman lammikkopalon AEGL3 (8 kW/m<sup>2</sup>) vaikutusaluetta (40 m), oranssilla merkattu alue vastaa AEGL2 (5 kW/m<sup>2</sup>, 50 m) aluetta ja uloin keltaisella merkattu alue vastaa AEGL1 (3 kW/m<sup>2</sup>, 60 m) aluetta.

### 1.3 Säiliövaunun BLEVE

Butaanivaunun BLEVE:n vaikutusmatkat eri lämpösäteilyn intensiteetti-tasoilla on esitetty taulukossa 3 ja havainnollistettu kuvassa 3. Paineaallon vaikutukset on laskettu ja esitetty erikseen kappaleessa 4.

Vaikutusalueet (m)	8 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	3 kW/m <sup>2</sup>
Butaani	450	570	730

Taulukko 3. Butaanivaunun BLEVE:n vaikutusmatkat metreinä. Vaikutusmatkat on kuvattu lämpösäteilyn intensiteettitasoilla. Kuvaukset lämpösäteilyn intensiteettitasojen merkityksistä on esitetty kappaleessa 3.



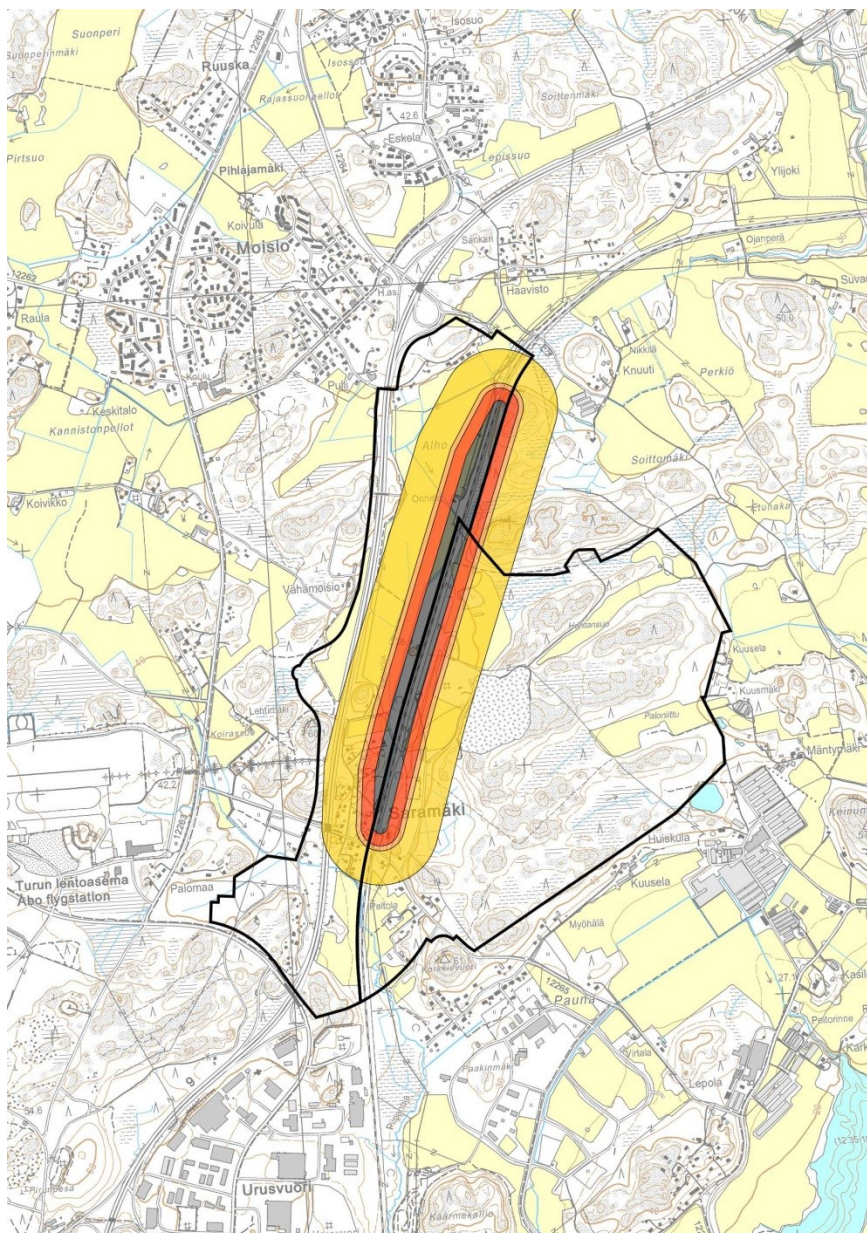
Kuva 3. Karttaan on piirretty harmaalla pohjalla mahdollinen ratapiha-alue ja pääraiteille varattu alue sekä mustilla viivoilla Maa-ainespiston ja Mustasuon asemakaava-alueet. Ratapihan ympärillä punaisella merkattu sisin alue vastaa butaanivaunun BLEVE:n 8 kW/m<sup>2</sup> vaikutusalueetta (450 m), oranssi alue vastaa 5 kW/m<sup>2</sup> vaikutusalueetta (570 m) ja uloin keltainen alue 3 kW/m<sup>2</sup> vaikutusalueetta (730 m).

## 1.4 Palavan kaasun leviäminen ja jälkisyttymä

Tulokset on ilmoitettu syttyvyysluokissa, joiden merkitykset on kuvattu tarkemmin kappaleessa 3. Tulokset on koottu taulukkoon 4 ja vaikutusalueet esitetty kuvassa 4 tuulen nopeudelle 3 m/s.

Propani	LEL	LEL (60 %)	LEL (10 %)
Tuuli 5 m/s	40	60	190
Tuuli 3 m/s	50	70	210

Taulukko 4. Propanivaunun vuodosta syntyneen kaasupilven jälkisyttymän vaikutusmatkat ilmoitettuna syttyvyysluokissa. Kuvaukset syttyvyysluokista on esitetty kappaleessa 3.



Kuva 4. Karttaan on piirretty harmaalla pohjalla mahdollinen ratapiha-alue ja pääraiteille varattu alue sekä mustilla viivoilla Maa-ainespuiston ja Mustasuon asemakaava-alueet. Ratapihan ympärillä punaisella merkattu sisin alue vastaa korkeimpaan syttyvyysluokkaan (LEL) kuuluvaa vaara-alueetta (50 m), oranssilla merkattu alue syttyvyysluokkaan LEL (60 %) kuuluvaa vaara-alueetta (70 m) ja uloin keltaisella merkattu alue syttyvyysluokkaan LEL (10 %) kuuluvaa vaara-alueetta (210 m).

## 2 Suuronnettomuuksiin liittyviä luokituksia

Vaarallisten aineiden kuljetuskeskittymiin liittyvissä suunnitelmissa ja selvityksissä on luotu laskentamallit suuronnettomuuden todennäköisyydelle ja suuronnettomuuden vaikeavuudelle. Lisäksi eri toiminnoille on luotu haavoittuvuusluokat.

- **Todennäköisyysluokat:** Todennäköisyydet luokitellaan pieneen ( $<10^{-6}$ ), kohonneeseen ( $>10^{-6}$  &  $<10^{-4}$ ) ja korkeaan ( $>10^{-4}$ ) todennäköisyyteen.
- **Vaikutusluokat:** Vaikutusten voimakkuus luokitellaan kolmeen viitteelliseen ryhmään: ohimenevä haitta, pysyvä haitta ja kuolemanvaara.
- **Haavoittuvuusluokat:** Kohteiden haavoittuvuusluokat on esitetty taulukossa 5.

Haavoittuvuusluokat	
A	Tiheään rakennetut asuinalueet, sairaalat, koulut, vanhainkodit, päiväkodit, kauppakeskukset, yleisötilaisuudet
B	Harvemmin rakennetut asuinalueet, julkiset palvelut, yliopistot, rautatieasemat ja vastaavat keskittymät
C	Harvaan asutut alueet, toimistot, loma-asutus, kohteet joissa epäsäännöllinen ihmisvirta (virkistysalueet, hautausmaat), logistiikka
D	Haja-asutusta, maataloutta, teollista tuotantoa
E	Teollista tuotantoa, jossa ei asiakasvirtoja, VAK-keskittymät

Taulukko 5. Haavoittuvuusluokat.

Jokaiseen todennäköisyysluokka-vaikutusluokka - kombinaatioon liittyy erilliset haavoittuvuusluokakohtaiset suositukset, jotka esitellään kuvassa 5. Tarkemmin laskentamallin esiteltyä esimerkiksi kansallisen Kerttu-hankkeen loppuraportissa.

	Kuolemanvaara	Pysyvä haitta	Ohimenevä haitta
Korkea todennäköisyys $>10^{-4}$	(E)	(C), (D), (E)	(B), (C), D, E, F
Kohonnut todennäköisyys $<10^{-4}$ & $>10^{-6}$	(D), E	C, D, E	(A), (B), C, D, E
Pieni todennäköisyys $<10^{-6}$	(A), (B), C, D, E	(A), (B), C, D, E	(A), B, C, D, E

Kuva 5. Taulukossa vaakariveillä on riskien jaottelu todennäköisyysluokkiin ja pystyriiveillä vaikutusluokkiin. Kirjaimet kertovat, mihin haavoittuvuusluokkiin liittyviä toimintoja voidaan sijoittaa eri todennäköisyysluokka-vaikutusluokka - kombinaatioiden alueille. Mikäli haavoittuvuusluokka on suluisissa, suositellaan VAK-riskien tapauskohtaista pohdintaa hankkeen hyödyistä ja riskeistä sekä huomioimista rakentamiseen ja kaavoitukseen liittyvissä päätöksissä.

Tässä kuvatun lähestymistavan perusajatus on, että aluekohtaisesti hyväksyttävä riskitaso riippuu alueelle sijoitetuista toiminnoista. Tarkastelun kohteena olevat vaaralliset aineet eivät saa lisätä merkittävästi alueen toiminnoille luontaista riskitasoa.

Toiminnot, joihin liittyy vilkkaita ihmisvirtoja tai tiivistä asutusta, eivät saa lähtökohtaisesti altistua kohtuuttomalle riskille. Toisaalta esimerkiksi teollisen tuotannon alueelle vaarallisten aineiden kuljetusten aiheuttamat riskit kuuluvat luontevasti, sillä teollinen tuotanto aiheuttaa samansuuruisia riskejä. Mainittakoon vielä, että tässä esitelty menetelmä kuvaa vain VAK-suuronnettomuusvaaran näkökulmaa asiaan. Sillä ei ole virallista asemaa esimerkiksi kaavoituspäätöksenteossa, mutta tuloksia voidaan käyttää tukena kaavoitus- ja lupapäätöksiä tehtäessä.

Turun keskustassa ratapiha ja ympärillä olevat toiminnot ovat jo olemassa. Niinpä siellä on ollut tärkeää etsiä toimenpiteitä, joilla suuronnettomuuden riski on saatu pudotettua luokkaan pieni. Tällöin alueelle tavoitellut uudetkin, mutta haavoittuvat toiminnot, on voitu kaavoittaa alueelle.

Saramäessä ratapiha olisi uusi, jolloin voinee olettaa, että ainakin sen rakentaminen ja varustaminen voitaisiin toteuttaa niin, että suuronnettomuuden riski olisi luokassa pieni. Toisaalta jos ratapihalla tehtäisiin esim. juuri niitä junavaunujen vaihtotöitä, joita Turun ratapihalla on pitänyt saada riskin laskemiseksi pois, lisäisi tämä oletettavasti suuronnettomuuden riskiä jonkin verran. Tässä yhteydessä ei pystytä sanomaan luotettavasti, mihin todennäköisyysluokkaan Saramäen VAK-ratapihatoiminta kuuluisi.

Turun ratapihaa koskevassa viranomaiskäyttöön tarkoitettussa raportissa vaikutusluokista vain kaksi merkittävämpää oli otettu karttatarkasteluihin mukaan. Peruste tälle oli se, että uloimmalla vaikutusalueella haitat ovat ohimeneviä ja niihin ei liittyisi rajoittavia suosituksia kaavoituksen ja rakentamisen osalta. Samaan aikaan raportissa kuitenkin todetaan: ”Mikäli haavoittuvuusluokka on suluissa, suositellaan VAK-riskien tapauskohtaista pohdintaa hankkeen hyödyistä ja riskeistä sekä huomioimista rakentamiseen ja kaavoitukseen liittyvissä päätöksissä.” Eli rakentamiseen ja kaavoitukseen saattaisi kuitenkin liittyä rajoitteita. Asiaa voi tarkastella myös niin, että jos Saramäen VAK-ratapihan toiminnan suuronnettomuusriskin arvioitaisiin olevan korkean todennäköisyyden luokassa, ei esim. Moisioon ja Yli-Maariaan saisi tämän tiedon mukaan kaavoittaa haavoittuvuusluokka A:n mukaisia kohteita. Tällaisia kohteita molemmilta alueilta kuitenkin löytyy tällä hetkellä.

Ohimenevien haittojen osalta Saramäen VAK-ratapihan vaikutusalueella on siis kohteita, jotka kuuluvat haavoittuvuusluokka A:han. Pysyvän haitan ja kuolemanvaaran alueilla on enintään vain haavoittuvuusluokan C kohteita. Erityisen huomionarvoista on kuitenkin se, että Saramäen ratapihan vaikutusalueen piirissä on kaksi toimintoa, joita ei ole lueteltu ollenkaan kyseisessä taulukossa. Nämä ovat Saramäen kalliovesisäiliö ja Turun lentoasema. Vuonna 2015 käydyn lausuntokierroksen perusteella arvioitiin, että VAK-ratapiha olisi aiheuttanut liian suuren riskin juuri kalliovesisäiliölle ja lentoliikenteelle. Tämän johdosta VAK-ratapihan tutkimisesta Saramäkeen luovuttiin.

### 3 Vaikutusalueiden raja-arvot

#### AEGL-raja-arvot

AEGL (Acute exposure guideline levels) -arvot ovat yhdysvaltalaisen EPA:n (Environmental Protection Agency) asettaman komitean määrittelemiä.

AEGL-1 = pitoisuus, jonka yläpuolella väestölle, kemikaalin vaikutukselle herkät yksilöt mukaan luettuina, saattaa aiheutua huomattavaa haittaa, ärsytystä tai tiettyjä sellaisia haittavaikutuksia, jotka eivät aiheuta oireita ja joita ei voi todeta aisteilla. Nämä vaikutukset kuitenkin lakkaavat altistumisen loppuessa, eivät ole palautumattomia eivätkä aiheuta vammoja.

AEGL-2 = pitoisuus, jonka yläpuolella väestölle, kemikaalin vaikutukselle herkät yksilöt mukaan luettuina, saattaa aiheutua pysyvää tai muuten vakavaa ja pitkäaikaista terveyshaittaa tai oireita, jotka vähentävät kykyä suojautua altistumiselta.

AEGL-3 = pitoisuus, jonka yläpuolella väestölle, kemikaalin vaikutukselle herkät yksilöt mukaan luettuina, saattaa aiheutua hengenvaarallista terveyshaittaa tai kuolema.

ppm	10 min	30 min	60 min
AEGL 1	30	30	30
AEGL 2	220	220	160
AEGL 3	2700	1600	1100
mg/m <sup>3</sup>	10 min	30 min	60 min
AEGL 1	21,3	21,3	21,3
AEGL 2	156,3	156,3	113,7
AEGL 3	1918,8	1137,1	781,7

Taulukko 6. Ammoniakin AEGL-raja-arvot.

#### Kaasupilven jälkisyttymän LEL-raja-arvot

LEL (Lower explosive limit) viittaa palavan kaasun pienimpään pitoisuuteen, jossa sen ja ilman muodostama kaasuseos leimahtaa kipinästä tai muusta syttymislähteestä. 60 % tästä pitoisuudesta (LEL (60 %)) riittää tyypillisesti muodostamaan erillisiä leimahtavia kaasupilviä. LEL (10 %) eli 10 % LEL pitoisuudesta pidetään rajana, jota pienemmät pitoisuudet eivät aiheuta vaaraa.

#### Lämpösäteilyn raja-arvot

Lämpösäteilyn raja-arvoja on käytetty vaara-alueiden arvioimiseksi sekä palossa että BLEVE:ssä. Raja-arvot ovat yhdenmukaiset Tukesin turvallisuusselvitys -ohjeen ja Tuotantolaitosten sijoittaminen -ohjeen kanssa. Raja-arvot ja vastaavien säteilyintensiteettien suuntaa antavat vaikutukset ihmiseen ovat

- 8 kW/m<sup>2</sup>: vähintään 3. asteen palovammoja (hiiltyneitä kudoksia)
- 5 kW/m<sup>2</sup>: 2. asteen palovammoja (rakkoja) 20-60 s altistuksesta
- 3 kW/m<sup>2</sup>: mahdollisesti 1. asteen palovammoja (punoitusta)

#### 4 Karkea arvio BLEVE:n paineaallon ja heitteiden vaikutuksista

BLEVE:ssä säiliön sisältö höyrystyy ja sisällön mekaaninen energia vapautuu. Mikäli sisältö on palavaa, myös kemiallinen energia vapautuu. Tätä on tarkasteltu erikseen. Tarkastellaan tässä mekaanisen energian vaikutuksia. Mekaaninen energia siirtyy BLEVE:ssä

- paineaaltoon
- heitteiden kineettiseen energiaan ja muodonmuutostyöhön ja
- ympäristön lämmittämiseen (merkityksetön).

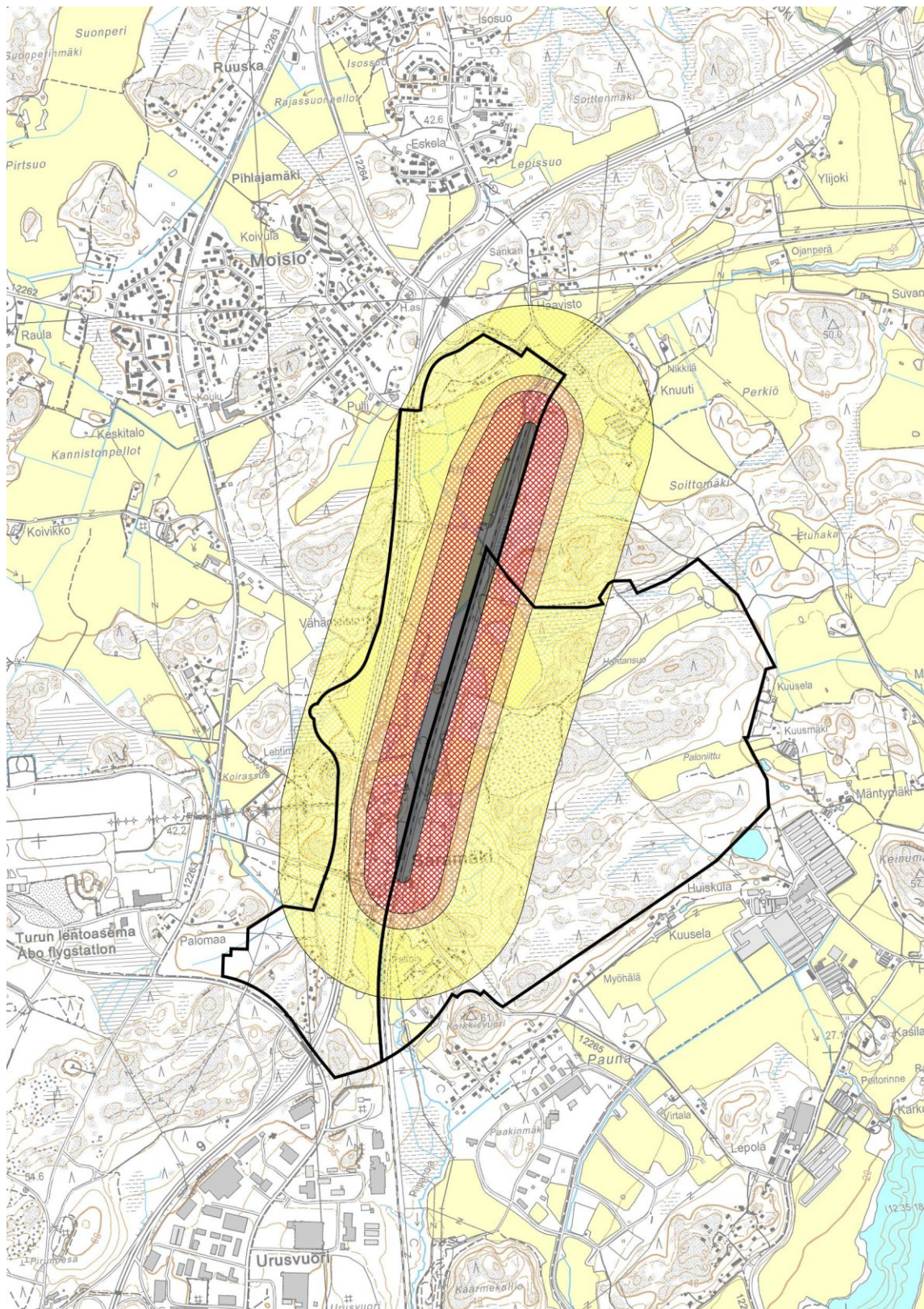
Kerralla vapautuvan mekaanisen energian määrä riippuu säiliön vauriomekanismista, lämmittävän liekin laadusta ja mm. säröjen etenemisnopeudesta säiliön pinnassa. Jos säiliön materiaali muuttuu muotoaan vetojännityksessä (duktilinen materiaali) säiliön materiaali venyy ja muuttuu muotoaan ennen räjähdystä. Jos materiaali murtuu muuttamatta muotoaan, vauriomekanismi on fragiilinen. Duktilisessa vauriossa arvioidaan että noin 40% energiasta menee paineaaltoon ja loput heitteisiin. Heitteet ovat tyypillisesti isoja ja niitä on paljon. Fragiilisessa vauriossa jopa 80 % energiasta menee paineaaltoon ja loput heitteisiin. Heitteet ovat pieniä ja niitä on vähemmän. Täysin fragiiliset vauriot ovat harvinaisia. Oletetaan että vaurio on duktilinen ja 50% vapautuvasta energiasta menee paineaaltoon. Seuraavat arviot perustuvat pääasiassa kirjan *"The Handbook of Hazardous Materials Spills Technology"* kappaleeseen 22, *"Modeling and Understanding BLEVEs"*.

##### Paineaallon vaikutusten arviointi

Tarkastellaan seuraavassa propaanivanun BLEVEä. Vaunussa on nestemäistä propaania 80 kuutiometriä. Kun oletetaan, että propaanin lämpötila juuri ennen BLEVEä on 50 °C ja paine 20 bar (esim. Sonk-vaunun suunnittelupaine on 23 bar), noin puolet propaanista höyrystyy silmänräpäyksessä säiliön rikkoutuessa. Tällöin propaanihöyryä muodostuu yhteensä noin 12 000 kuutiometriä.

Tarkastellaan ns. TNT-ekvivalenttimenetelmällä paineaallon ominaisuuksia. Energiasältöjä vertaamalla voidaan päätellä, että vapautuva energiamäärä vastaa noin 11 TNT- (trinitrotolueeni) tonnin räjäyttämistä. TNT-räjähdysten tuottamat paineaallot tunnetaan hyvin, ja voidaan arvioida esimerkiksi seuraavat Tukes-ohjeen "Tuotantolaitosten sijoittaminen" mukaiset paineaallon maksimiylipaineen vaikutusetäisyydet ovat ja joita on havainnollistettu kuvassa 6:

- 30 kPa: kantavien rakenteiden romahduksia: **n. 120 m**
- 15 kPa: talojen osittaisia romahduksia, pysyvän vammautumisen riski: **n. 180 m**
- 5 kPa: pieniä vaurioita talojen rakenteille, suurehko osa ikkunoista särkyvät: **n. 450 m**



Kuva 6. Karttaan on piirretty harmaalla pohjalla mahdollinen ratapiha-alue ja mustilla viivoilla Maa-ainespuiston ja Mustasuon asemakaava-alueet. Ratapihan ympärillä punaisella poikkiraidoituksella merkattu sisin alue vastaa 30 kPa paineaallon vaikutusalue (120 m), oranssilla poikkiraidoituksella merkattu toinen alue 15 kPa vaikutusalue (180 m) ja uloin keltaisella poikkiraidalla merkattu alue 5 kPa vaikutusalue (450 m).

Todelliset vaikutusetäisyydet ovat todennäköisesti hiukan pienempiä, koska TNT:n räjähdysnopeus on suurempi kuin BLEVE:n syntymisnopeus. Tulokset riippuvat myös voimakkaasti arvioidusta räjähdysketken ylipaineesta säiliössä, jota ei yleensä voida luotettavasti arvioida. Mikäli paine olisi esimerkiksi 15 bar, vaikutusetäisyydet yllä pienenisivät noin 20 %. Mikäli säiliö kestäisi tulipalosta huolimatta suunnittelupaineensa ja hajoaisi vasta 25 barin paineessa, vaikutusetäisyydet olisivat noin 10 % suuremmat. Lisäksi räjähdyspaikkaa lähinnä olevat rakenteet absorboivat energiaa sortuessaan ja suuntaavat paineaaltoa, mikä pienentää paineaallon huippuylipainetta.

### **Heitteet**

Heitteet jakautuvat primäärisiin, räjähtävästä säiliöstä peräisin oleviin, sekä sekundäärisiin, lähistön rakenteista peräisin oleviin. Tarkastellaan tässä primäärisiä heitteitä.

Duktiileissa vaurioissa on arvioitu, että heitteitä muodostuu 2-15 kpl, tyypillisesti alle 5 kpl. Sylinterimäisissä tankeissa halkeaminen alkaa tyypillisesti pituusakselin suuntaisesti kääntyen päädyssä seuraamaan päätykappaleen hitsausaamaa tai vastaavaa. Usein sylinterimäinen säiliö halkeaa kahdeksi kappaleeksi. Mikäli kappaleita on enemmän, on todennäköistä että säiliön päätykappale lentää säiliön pituusakselin suunnassa ja sen arvioidaan lentävän pidemmälle kuin sivusuuntaan lentävien vaipan kappaleiden. Luotettavia tapoja ennustaa heitteiden lentomatkoja ei ole. Tapahtuneissa onnettomuuksissa on havaittu jopa yli kilometrin lentomatka ison sylinterimäisen säiliön heitteelle pituusakselin suunnassa. Junanvaunun tapauksessa vaunun päädyt osoittavat usein rata-  
pihan suuntaan, ja heitteet lienevät vaarallisia satojen metrien etäisyydellä.