

Henna-Liisa Korjonen

# Seurausanalyysi pienyrityksessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

4.5.2018

Tekijä Otsikko	Henna-Liisa Korjonen Seurausanalyysi pienyrityksessä
Sivumäärä Aika	26 sivua + 12 liitettä 4.5.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	Kemiantekniikka
Ohjaajat	Lehtori Timo Seuranen Pääsuunnittelija Taisto Jaatinen
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli koota ohjeistus seurausanalyysiin tarvittavista tiedoista sekä vaara-alueiden mallinnuksessa huomioitavista asioista. Lisäksi tutustuttiin ALOHA-mallinnusohjelmistoon, joka voisi soveltua pienyrityksen käyttöön maksuttomuutensa vuoksi. Työ tehtiin JETS consulting Oy:lle.</p> <p>Riski- ja seurausanalyysi ovat osa Tukesille toimitettavaa laajamittaisen teollisen käsittelyn ja varastoinnin lupahakemuksen liitteistä, ja lupahakemus on tehtävä teollista toimintaa aloittaessa ja laajentaessa. Valtioneuvoston asetuksen 685/2015 voimaantulon jälkeen osaamista seurausanalyyseistä tarvitaan enemmän.</p> <p>Riskianalyysillä tunnistetaan tuotantolaitoksella mahdollisesti aiheutuvia onnettomuustilanteita. Seurausanalyysissä mallinnetaan vähintään Tukesin ohjeiden mukaisista onnettomuustilanteista vaara-alueita, joista halutaan tarkastella lämpösäteilyä, painevaikutusta ja terveysvaikutusta.</p> <p>Leviämismalleilla kuvataan kemikaalien leviämistä, vuotamista tai höyrystymistä, koska ne ovat vaara-alueiden mallinnusohjelmistojen laskennassa tärkeässä osassa. Niihin vaikuttavia tekijöitä käsiteltiin teoriaosassa. Seurausanalyysin onnettomuustilanteista aiheutuvien vaara-alueiden mallintamista harjoiteltiin ALOHA-ohjelmistolla. Esimerkkitalanteena oli kaksi 50 m<sup>3</sup>:n säiliötä, joista toinen sisälsi etyyliasettaattia ja toinen metanolia. Säiliöille mitoitettiin vallitila ja piirrettiin layout-piirustus säiliöiden sijoituksesta.</p>	
Avainsanat	Riskiarviointi, seurausanalyysi, leviämismalli, ALOHA-ohjelmisto

Author Title	Henna-Liisa Korjonen Consequence analysis in a small business
Number of Pages Date	26 pages + 12 appendices 4 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Chemical Engineering
Instructors	Timo Seuranen, Senior lecturer Taisto Jaatinen, Design Manager
<p>The purpose of this thesis was to compile a document containing all the information needed to do a consequence analysis and the issues to be considered while modeling hazard areas. In addition, the ALOHA modeling software was introduced as it could be suitable for small businesses due to its gratuitousness. The thesis was done for JETS consulting Oy.</p> <p>Risk and consequence analysis are part of the appendices to be sent to the Finnish Safety and Chemicals Agency together with the license application for large-scale processing and storage of chemicals. The application must be made when industrial plants are being built or expanded. Following the passage of Government Decree 685/2015, more knowledge about consequence analysis is needed.</p> <p>Risk analysis identifies possibilities of accidents in a plant. Consequence analysis models at least hazard areas caused by accidents according to guidelines of the Finnish Safety and Chemicals Agency. Hazard areas are reviewed with respect to the heat radiation, pressure, and health effects they cause.</p> <p>Dispersion models describe the dispersion, leakage, or vaporization of chemicals, and they are an important part of the calculations of hazardous area modeling software. The most influential factors were covered in the theoretical part. The ALOHA software was used to model the hazard areas. The thesis also contains an example about two 50m<sup>3</sup> tanks, one containing ethyl acetate and one containing methanol. In the example dimensions for a safety basin for the two tanks were calculated, and a layout drawing about the placement of the tanks was drawn.</p>	
Keywords	Risk assessment, consequence analysis, dispersion model, ALOHA software

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vaarallisten kemikaalien käsittely- ja varastoituslupa	2
2.1	Sisäinen pelastussuunnitelma	2
2.2	Toimintaperiaateasiakirja	3
2.3	Turvallisuus selvitys	4
3	Riskianalyysi	4
3.1	HAZOP	4
3.2	RAM-analyysi	6
3.3	POA	7
4	Seurausanalyysi	7
4.1	Yleistä	7
4.1.1	Lämpösäteily	8
4.1.2	Paineaalto	9
4.1.3	Terveysvaikutusten arviointi	10
4.2	Seurausanalyysin suorittaminen	11
4.2.1	ALOHA-ohjelmisto	11
4.2.2	Muita ohjelmistoja	12
5	Leviämismallien teoriaa	13
5.1	Ulosvirtaus säiliöstä	13
5.2	Lammikon höyrystyminen	13
5.3	Höyrypilven leviäminen ja räjähtäminen	14
5.4	Säiliön repeäminen	14
6	Seurausanalyysin esimerkitilanne	15
6.1	Tukesin kemikaalilaskuri	15
6.2	Mallinnettavat onnettomuustilanteet	16
7	Vallitilan mitoitus	16

8	Vaara-alueiden mallinnus	17
9	Tulokset	20
9.1	Tulipalot	20
9.2	Tyhjän säiliön räjähdys	21
9.3	Höyrypilven leviäminen	21
9.4	Ympäristövaikutukset	22
10	Yhteenveto	22
	Lähteet	24

#### Liitteet

Liite 1 Turvallisuus- ja kemikaaliviraston kemikaalien suhdelukulaskurin tulokset

Liite 2 Parametrit etyyliasettaattisäiliön ja vallitilan tulipalolle

Liite 3 Parametrit 10 minuutin putkistovuodosta aiheutuvaan lammikkopaloon etyyliasettaatille

Liite 4 Parametrit tyhjän etyyliasettaattisäiliön räjähdykselle

Liite 5 Parametrit höyrystyneen etyyliasettaattipilven leviämiselle 4 m/s

Liite 6 Parametrit metanolisäiliön ja vallitilan tulipalolle

Liite 7 Parametrit 10 minuutin putkistovuodosta aiheutuvaan lammikkopaloon metanolille

Liite 8 Parametrit tyhjän metanolisäiliön räjähdykselle

Liite 9 Parametrit höyrystyneen metanolipilven leviämiselle 4 m/s

Liite 10 Parametrit höyrystyneen metanolipilven leviämiselle 10 m/s

Liite 11 Mallinnuksien tulostaulukko

Liite 12 Säiliöiden layout-piirustus

## Lyhenteet

AEGL	Acute Exposure Guideline Level. Kemikaalin haitallisuutta ilmaiseva arvo.
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions. Neste lämpenee äkillisesti kiehumispisteen yläpuolelle höyrystyen ja muodostunut höyry räjähtää aiheutten säiliön repeämisen.
ERPG	Emergency Response Planning Guidelines. Kemikaalin haitallisuutta ilmaiseva arvo.
HAZOP	Hazard and Operability Study. Riskikartoitusmenetelmä
PAC	Protective Action Criteria. Kemikaalin haitallisuutta ilmaiseva arvo.
POA	Potentiaalisten ongelmien analyysi
RAM	Reability Availability Maintainability. Luotettavuusanalyysi
TEEL	Temporary Emergency Exposure Limit. Kemikaalin haitallisuutta ilmaiseva arvo.
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto

## 1 Johdanto

Vuonna 2015 astui voimaan valtioneuvoston asetus 685/2015 koskien vaarallisten kemikaalien käsittelyä ja varastoinnin valvontaa. Tämän seurauksena päivitettiin palavien kemikaalien varastointi- ja käsittelypaikkoja käsittelevä SFS 3350 standardi vuonna 2016. Vaarallisia kemikaaleja käsittelevälle tuotantolaitokselle on vaadittu lupa kemikaalien laajamittaiseen teolliseen käsittelyyn ja varastointiin aiemminkin, mutta asetuksen voimaantulon jälkeen vaaditaan tarkemmin selvittämään ja huomioimaan käytännössä tuotantolaitoksella mahdollisesti aiheutuvat onnettomuustilanteet sekä niiden seuraukset. [1; 2.]

Riski- ja seurausanalyysi ovat tärkeä osa kemikaalien laajamittaisen käsittelyn ja varastoinnin lupahakemukseen tarvittavasta selvityksestä. Riskianalyysillä tunnistetaan mahdollisia onnettomuustilanteita sekä määritetään todennäköisyyksiä erilaisilla menetelmillä. Seurausanalyysissä mallinnetaan ohjelmistolla erilaisia mahdollisia onnettomuustilanteita Turvallisuus- ja kemikaalivirasto eli Tukesin ohjeiden mukaan. Mallinnuksesta saadaan eri kokoisia vaara-alueita kemikaalin vapautumiskohtaan ympärille. Vaara-alueita käytetään lupahakemuksen lisäksi myös tuotantolaitoksen sijoitussuunnittelussa. Insinööritoimisto käsittelee seurausanalyysiin vaadittavia asioita, leviämismallien teoriaa ja ALOHA-ohjelmiston käyttöä esimerkkitalanteen avulla. Esimerkkitalanteena käytetään kahta 50 m<sup>3</sup>:n varastosäiliötä, joista toisessa on etyyliasettaattia ja toisessa metanolia. [3.]

Asetuksen voimaantulon jälkeen seurausanalyysijä vaaditaan yrityksiltä enemmän kuin aiemmin, joten osaamista tarvitaan pienemmissäkin yrityksissä. Lisäksi kemikaalien laajamittaista teollisen käsittelyn ja varastoinnin lupaa tulee hakea toimintaa aloitettaessa, mutta myös laajennettaessa, joten osaamista tarvitaan jatkuvasti. Insinööritoimisto tehdään JETS consulting Oy:lle, joka on prosessi- ja laitossuunnitteluun erikoistunut konsulttiyhtiö. Yhtiö työllistää tällä hetkellä 16 henkilöä. Tarkoituksena on luoda ohjeistus, jota voitaisiin myöhemmin hyödyntää seurausanalyysijä tehdessä.

## 2 Vaarallisten kemikaalien käsittely- ja varastoituslupa

Vaarallisten kemikaalien teollista käsittelyä ja varastointia valvotaan turvallisuussyistä. Valvonnassa tarkasteltavat asiat ja tarkastustiheys on laissa määriteltyä. Laajamittaista käsittelyä valvoo Tukes eli Turvallisuus- ja kemikaalivirasto ja pienempää toimintaa pelastuslaitos. Toiminnan laajamittaisuus määritellään Tukesin verkkosivuilla olevan laskurin mukaan. Laskuriin syötetään tarkasteltavat kemikaalit, niiden olomuoto ja määrä. Tuloksena saadaan suhdelukuja CLP-asetuksen mukaisesti neljästä vaaraluokasta terveys- ja ympäristövaarat, fyysiset vaarat sekä muut vaarat, ja kemikaali voi ominaisuuksiltaan kuulua useampaan vaaraluokkaan. Jos vaaraluokan suhdeluku on suurempi kuin 1, määritellään toiminta laajamittaiseksi. Laskuri ilmoittaa sanallisesti, pitääkö toiminnalle hakea lupa kemikaalien laajamittaiseen käsittelyyn ja varastointiin sekä minkä laajuinen selvitys laitoksesta on lupahakemukseen tehtävä. Tuotantolaitokset jaetaan kolmeen eri tyyppiin kemikaalimäärien ja vaarallisuuden mukaan, ja se vaikuttaa Tukesin tekemien tarkastuksien tiheyteen ja laajuuteen. Tuotantolaitostyypit ovat lupa-, toiminta-periaateasiakirja- tai turvallisuusselvityslaitos, ja asetuksen 685/2015 liitteessä 1 on määritetty kemikaalien minimimäärät laitostyypeittäin. Tämän perusteella laskurikin ilmoittaa laitostyyppin. [4; 5.]

Tuotantolaitoksen on haettava lupa kemikaalien laajamittaiseen käsittelyyn ja varastointiin Tukesilta teollista toimintaa perustettaessa sekä toimintaa laajentaessa. Hakemuksen tavoitekäsittelyaika on kahdeksan kuukautta, ja lupa on saatava ennen rakennustöiden aloittamista ja yksityiskohtaisten ratkaisujen tekemistä. Lupahakemukseen liitetään useita liitteitä, joiden sisältö riippuu tuotantolaitoksen tyypistä. Kemikaaliluettelo, selvitys vaarojen ja riskien tunnistamisesta sekä tuotantolaitoksen sijoittamiseen ja toteutukseen liittyvät dokumentit toimitetaan joka tapauksessa. [6.]

### 2.1 Sisäinen pelastussuunnitelma

Laajamittaista teollista toimintaa harjoittavan laitoksen on tehtävä tuotantolaitokselle pelastussuunnitelma hätätilanteen varalle, ja se tulee toimittaa pelastuslaitokselle. Pelastussuunnitelman sisältö on sama riippumatta siitä, tuleeko sen lisäksi toimittaa toiminta-periaateasiakirja vai turvallisuusselvitys. [5.]



Velvoite sisäisen suunnitelman laatimiseen tulee Euroopan unionin Seveso-direktiivistä. Pelastussuunnitelman tulee sisältää yleiskuvaus laitoksen toiminnasta, luettelo käytetyistä kemikaaleista ja laitoksen omista pelastuskalustosta, kuten suojapuvuista ja kaasuamareista. Tuotantolaitoksen layout sisältyy pelastussuunnitelmaan, ja siinä tulee olla esitettynä kokoontumispaikka, hätäpoistumistiet rakennuksesta, laitoksen pohjapiirustukset, palokunnan saapumisreitti ja mahdolliset sisäänmenokohdat rakennukseen, ilmastoinnin hätäpysäytyspainikkeet, laitoksen viemärointi, sammutusvedenottoaikat, hälytysajoneuvojen kääntöpaikat ja palotiet. Sisäisessä pelastussuunnitelmassa ilmoitetaan laitoksen sisäinen vastuunjako hätätilanteessa tiedottamisesta ja pelastustoimista. Laitoksella olevat hälytysjärjestelmät ja niiden toiminta on esitettävä suunnitelmassa. Lisäksi toiminnanharjoittajalla on velvollisuus järjestää säännöllisesti pelastusharjoituksia pelastuslaitoksen kanssa. [5; 7.]

## 2.2 Toimintaperiaateasiakirja

Toiminnanharjoittajan on toimitettava kemikaalien laajamittaista teollista käsittelyä ja varastointia koskevaan lupahakemukseen toimintaperiaateasiakirja, mikäli tuotantolaitoksella käsiteltävien kemikaalien määrä kuuluu asetuksen 685/2015 liitteessä 1 ja sarakkeessa 3 esitettyihin arvoihin. Asiakirjan tulee sisältää tuotantolaitoksen keskeisimmät turvallisuutta parantavat toimintatavat, kunnossapitojärjestelmä, ohjeet laitoksen turvalliseen käyttöön ja häiriötilanteisiin sekä riski- ja seurausanalyysi. Lisäksi asiakirjassa tulee esitellä laitoksen yleiset menettelytavat ja vastuunjako muutoksille sekä pelastussuunnitelma hätätilanteiden varalle. [5; 8.]

## 2.3 Turvallisuusselvitys

Laajamittaista toimintaa harjoittavien tuotantolaitosten on toimitettava Tukesille turvallisuusselvitys lupa- tai muutoshakemuksessa, mikäli tuotantolaitoksella käsiteltävien kemikaalien määrä kuuluu asetuksen 685/2015 liitteessä 1 ja sarakkeessa 4 esitettyihin arvoihin. Turvallisuusselvitys on toimitettava Tukesille viiden vuoden välein, ja asiakirja on julkinen. Selvityksessä esitellään tuotantolaitoksen toimintaperiaatteet ja turvallisuusjohtamisjärjestelmä sekä kuvaillaan tuotantolaitoksen toiminta ja ympäristö. Selvityksessä tulee myös osoittaa, että tuotantolaitos on tunnistanut mahdolliset onnettomuudet, ryhtynyt toimenpiteisiin niiden ehkäisemiseksi ja mahdollisten seurausten vähentämiseksi. [5; 9.]

## 3 Riskianalyysi

Riskianalyysissä tunnistetaan tuotantolaitoksessa mahdollisesti tapahtuvia riskitilanteita. Analyysitapoja on erilaisia, mutta yleisesti analyysissä kartoitetaan riskit niiden seurauksia sekä todennäköisyys. Alla on esitelty muutamia riskianalyysimenetelmiä.

### 3.1 HAZOP

HAZOP-analyysi on yksi riskikartoitusmenetelmä, jossa käsitellään tuotantolaitoksesta linja tai osio kerrallaan käymällä läpi mahdollisia riskitilanteita. Taulukossa 1 on esitetty läpikäytäviä avainsanoja ja siihen liittyviä riskitilanteita esimerkiksi lämpötila, paine, kemiallinen reaktio. Taulukko on vain yksi menetelmä varmistua, että kaikki riskitilanteet tulevat käsiteltyä. [10.]

Taulukko 1. Avainsanataulukko [10.]

Avainsana	Ei	Matala	Korkea	Osittainen	Lisäksi	Muu	Käänteinen
Virtaus	Ei virtausta	Vähäinen virtaus	Suuri virtaus	Osa virtaavista aineista puuttuu	Epäpuhtaudet	Väärä virtaava-aine	Virtaus väärään suuntaan
Pinnankorkeus	Ei pintaa	Matala pinta	Korkea pinta	-	-	-	-
Paine	Ilmanpaineessa	Matala paine	Korkea paine	-	-	-	Vakuumi
Lämpötila	Jäätyminen	Alhainen lämpötila	Korkea lämpötila	-	-	-	-
Sekoitus	Ei sekoitusta	Vähäinen sekoitus	Liiallinen sekoittaminen	Epäsäännöllinen sekoittaminen	Vaahotaminen	-	Faasien erottuminen
Reaktio	Ei reaktiota	Hidas reaktio	Hallitsematon reaktio	Osittainen reaktio	Lisäreaktio	Väärä reaktio	Hajoaminen

Avainsanataulukkoa täytetään vetäjän ohjaamana ja lopullinen tulos on täytetty taulukko. Tunnistetuille häiriötilanteille määritetään vakavuus riskimatriisin avulla. Alla on esitetty yksi esimerkkimatriisi taulukossa 2, josta saadaan riskin vakavuudelle numeroarvo. Esimerkkimatriisi on helppolukuinen ja havainnollistaa, mitkä asiat otetaan huomioon riskimatriisia käytettäessä. [11.]

Taulukko 2. Riskimatriisi [11]

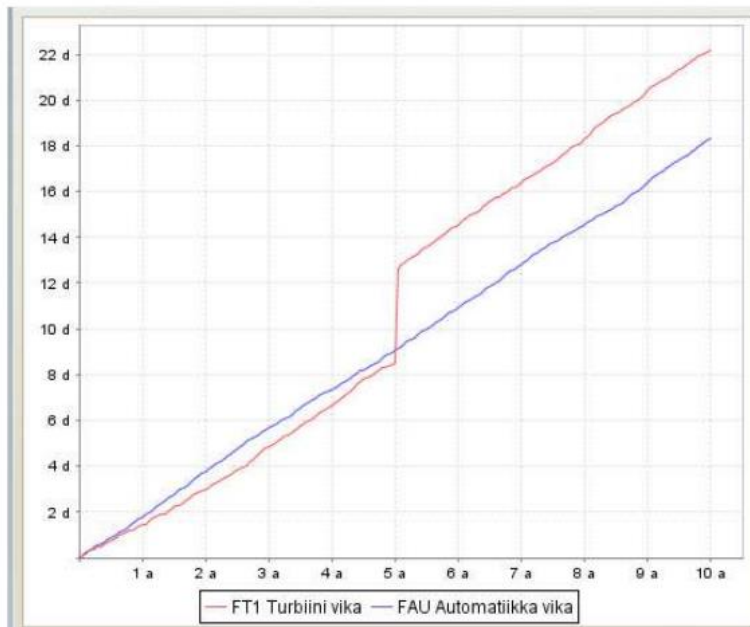
Riskien luokittelu	SEURAUSTEN VAKAVUUS			
	Lievä, vähäinen	Vakava	Erittäin vakava	Katastrofaalinen
Tapahtumataajuus				
0 < 1 vuodessa	3	4	5	5
1 ≤ 3 vuodessa	2	3	5	5
3 ≤ 15 vuodessa	2	3	4	5
kerran 15 - 30 vuodessa	1	2	4	4
kerran > 30 vuodessa	1	1	2	3

5	Erittäin korkea riski, välittömästi toimenpiteisiin, luku ≤ 3
4	Korkea riski, toimenpiteitä tarvitaan, luku ≤ 3
3	Kohtalainen riski, toimenpiteitä suositellaan
2	Tavanomainen riski
1	Alhainen riski

Mikäli riskiarvioinnissa tarkasteltavan tilanteen riski osoittautuu liian korkeaksi, on tehtävä toimenpide sen alentamiseksi. Esimerkkimatriisissa numeroarvo kertoo, onko toimenpiteisiin ryhdyttävä. Toimenpide voi olla esimerkiksi varoventtiili, joka estää ylipaineen muodostumisen linjaan. Analyysissä kartoitetaan riskien lisäksi myös toimintavarmuutta. [10.]

### 3.2 RAM-analyysi

RAM (Reability, Availability, Maintainability) eli luotettavuusanalyysiä käytetään suunnitteluvaiheessa käyttövarmuuden parantamiseen, yleisesti kunnossapito-ohjelman suunnitteluun sekä arvioimaan huolto- ja kunnossapitokustannuksia. Analyysi koostuu kolmesta eri osa-alueesta: toimintavarmuudesta eli prosessin kyvystä toimia ilman vikoja, huollettavuudesta eli prosessin nopeudesta palautua käyttöön korjauksesta sekä huoltovarmuudesta eli huolto-organisaation nopeudesta ja toiminnasta. Analyysissä käytetään vikadataa, joka koostuu komponenttien vioista ajan suhteen sekä korjauksiin käytetyistä tunteista sisältäen sekä itse korjaustyön että odotusvaiheet. Laskennan jälkeen tuloksia analysoidaan ja ryhdytään toimenpiteisiin luotettavuuden parantamiseksi. [12.]



Kuva 1. RAM-analyysistä esimerkkikuvaaja [13.]

Vikadatan analysoinnin havainnollistamiseksi piirretään erilaisia kuvaajia, joista voidaan lukea esimerkiksi, milloin olisi hyvä aika huoltaa tiettyä konetta ennen kuin se vikaantuu. Yllä olevassa kuvassa 1 on esitetty voimalaitoksen vikadataa. [12.]

### 3.3 POA

Potentiaalisten ongelmien analyysi eli POA on menetelmä riskien tunnistamiseen. Analyysi tehdään asiantuntevassa tiimissä, joka käy keskustellen läpi mahdollisia riskitilanteita ja niiden todennäköisyyksiä. Kaikkien riskien tunnistamiseksi tiimin vetäjä käyttää avainsanalistaa, jolloin kaikki osa-alueet tulee käytyä läpi. Suosituksena on, että tiimi koostuu työntekijästä, työnjohtajasta, suunnittelijasta sekä riskeistä ja laadusta tietävistä ihmisistä. Tilanteen mukaan kokoonpano voi vaihdella, mutta tärkeintä on saada asiantuntemusta mahdollisimman monipuolisesti. Riskit, todennäköisyydet ja mahdolliset ehkäisevät toimenpiteet listataan lomakkeelle ja se liitetään Tukesille lähetettävään hakemukseen. [14.]

## 4 Seurausanalyysi

### 4.1 Yleistä

Lainsäädäntö velvoittaa toiminnanharjoittajaa huomioimaan mahdolliset räjähdys- ja tulipaloriskit, siten että lähellä oleville rakennuksille ei aiheudu vaaraa. Riittäväillä etäisyyksillä ja mahdollisten onnettomuuksien leviämisten minimoinnilla turvataan lähellä sijaitsevat kohteet. Riittäviä suojaetäisyyksiä voidaan määrittää ohjetaulukoista ja -kuvaajista sekä seurausanalyysin tuloksista. [15.]

Seurausanalyysiä käytetään riittävien suojaetäisyyksien määrittämiseen ja layoutin suunnitteluun. Tällöin ei ole tarkoitus huomioida suurimpia äärionnettomuuksia esimerkiksi BLEVE-räjähdystä, jossa neste höyrystyy äkillisesti ja muodostunut höyry räjähtää rikkoen säiliön. Tärkeää on tulla tietoisiksi mahdollisten onnettomuuksien vaikutuksista, sillä vaara-alueita on aina. Seurausanalyysi sisältää seuraavat asiat:

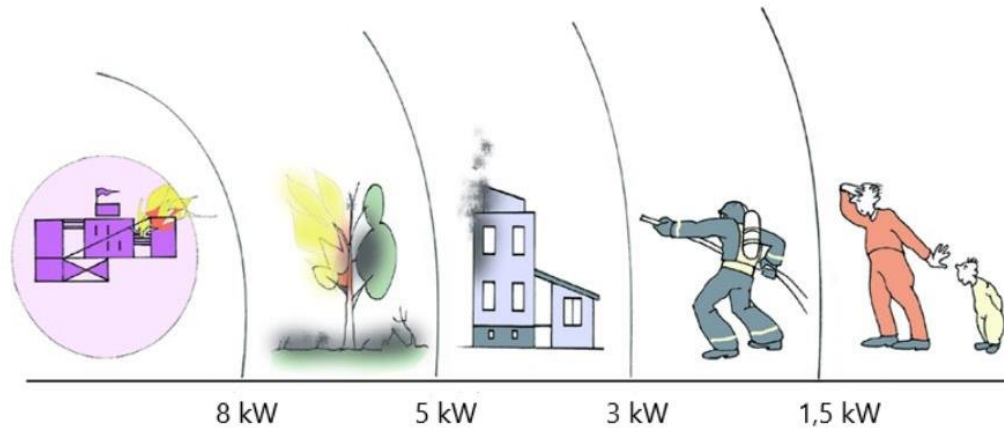
- mallinnettujen onnettomuustilanteiden valintaperusteet ja niiden kuvaukset
- laskentamenetelmien kuvauksen ja niiden soveltuvuuden laskentatapauksiin
- maininta seurausanalyysin tekijän ammattitaidosta
- tulosten sanallinen ja graafinen kuvaus
- arvio tulosten luotettavuudesta.

Seurausanalyysin lopputulos on tuotantolaitoksen layout-piirustukseen tai karttaan piirretyt vaara-alueet. Seurausanalyysin tulosten tarkastelussa ei ole tarkoitus antaa laitoksen layout-piirustukseen tarkkoja muutosehdotuksia vaan mahdolliset muutokset huomioidaan suunnittelussa myöhemmin. Visualisointi on hyvä keino havainnollistaa, kuinka laajalle onnettomuuksien vaikutukset yltävät. Seurausanalyysijä tehdään myös jo olemassa oleville laitoksille, jolloin turvallisuutta parannetaan havaittaessa liian suuria riskitekijöitä. [2; 15; 16.]

Mahdollisia onnettomuuksia tarkastellaan lämpösäteilyn, paineaallon sekä kemikaalin aiheuttavien terveys- ja ympäristövaikutusten kannalta. Tukes ohjeistaa käyttämään tiettyjä raja-arvoja lämpösäteilyn ja paineaallon vaikutuksia mallinnettaessa. [15.]

#### 4.1.1 Lämpösäteily

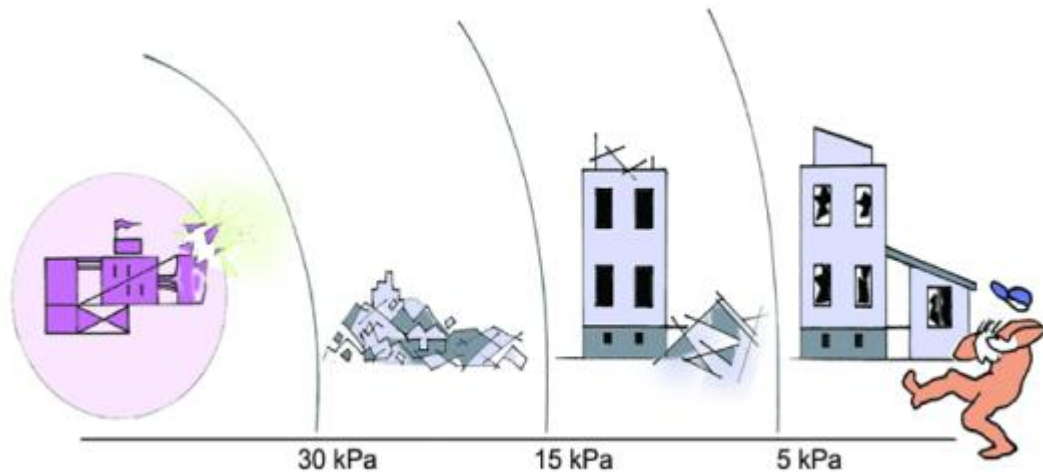
Lämpösäteilylle annetut intensiteettirajat perustuvat tuotantolaitoksen turvallisuusvaatimusasetukseen.  $8 \text{ kW/m}^2$  on intensiteetiltään niin suuri, että sillä alueella olevat rakennukset, laitteistot ja muut paloa levittävät kohteet voivat syttyä palamaan. Etäisyyden ulkopuolisiin kohteisiin tulee lähtökohtaisesti olla suurempi. Lämpösäteilyn suuruus  $5 \text{ kW/m}^2$  aiheuttaa kahden minuutin oleskeluajana jo kuolettavia vammoja, joten ihmisiä ei ole suositeltava sijoittaa tällaisen vaara-alueen sisäpuolelle. Lämpösäteilyn voimakkuus  $3 \text{ kW/m}^2$  mahdollistaa pelastustoimet alueella, ja ihmisten pitäisi pystyä pelastautumaan kyseiseltä alueelta, mutta vammoja saattaa kuitenkin syntyä. Pelastusteiden ja laitoksen evakuoinnin suunnittelussa voidaan hyödyntää mallinnuksesta saatuja tuloksia.  $1,5 \text{ kW/m}^2$  on turvaraja, jonka ulkopuolelle ihmiset tulee evakuoida, ja se voidaan mallintaa tarvittaessa. Alla oleva kuva 2 havainnollistaa hyvin lämpösäteilyn intensiteettirajoja. [15.]



Kuva 2. Lämpösäteilyn intensiteettirajat [15. Muokattu]

#### 4.1.2 Paineaalto

Räjähdyksestä johtuva paineaalto etenee usein ääntä nopeammin, ja siitä aiheutuvat vahingot riippuvat aallon suuruudesta. Suojautua voi tarpeeksi suurella etäisyydellä tai räjähdyskestävässä rakennuksessa. Lisäksi on huomioitava, että räjähdysyhteydessä voi lentää kappaleita, jotka aiheuttavat osuessaan vahinkoa. 30 kPa:n ylipaine aiheuttaa kantavien rakenteiden romahduksia ja onnettomuuden laajenemista, joten alueen sisäpuolelle voi sijoittaa vain teollisuuslaitteita ja rakenteita. 15 kPa:n ylipaine aiheuttaa talojen romahtamista ja ihmiselle mahdollista pysyvää vammautumista alueella ollessaan. Tällaiselle alueelle voi hyvin perustellusti sijoittaa paineenkestäviä teollisuusrakennuksia, mutta ei ihmisiä. 5 kPa:n alueella voi olla rakennuksia ja ihmisiä, mutta onnettomuuden sattuessa on silti vammautumisen riski. Herkästi vahingoittuvia kohteita kuten päivä- ja vanhainkoteja sekä sairaaloita ei saa sijaita millään vaara-alueella. Alla oleva kuva 3 havainnollistaa paineaallon aiheuttamia vaikutuksia. [15.]



Kuva 3. Paineaallon voimakkuusrajoja [15.]

#### 4.1.3 Terveysvaikutusten arviointi

Etäisyys lähellä oleviin kohteisiin on määritettävä sen mukaan, että onnettomuuden sattuessa altistusaika pysyy tarpeeksi alhaisena, ettei ihmisille aiheudu vakavia vammoja. Altistumisaikaan vaikuttaa kohteissa olevien mahdollisuudet suojautua ja siirtymismahdollisuudet ja -nopeus alueelta poistumiseen. Kemikaalin vaarallisuuden arvioinnissa käytetään kemikaalikohtaisia haitalliseksi mitattuja PAC (Protective Action Criteria) -pitoisuusarvoja, joihin kuuluu kolme erilaista viitearvotyyppiä. Tukesin ohjeessa suositellaan käyttämään AEGL (Acute Exposure Guideline Level) -arvoja. Terveysvaikutusten vakavuutta kuvataan asteikolla 1–3. AEGL-1 on lievin ja aiheuttaa huomattavaa epämu-kavuutta ja ärsytysoireita. AEGL-2 aiheuttaa palautumattomia tai muita vakavia terveysvaikutuksia. AEGL-3 aiheuttaa hengenvaarallisia terveysvaikutuksia tai jopa kuoleman. Arvoja mitataan usealle eri vaikutusajalle 10 min, 30 min, 1 h, 4 h ja 8 h. Kaikille kemikaaleille ei ole määritetty kyseisiä arvoja, jolloin käytetään saatavilla olevia viitearvoja. Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto pyrkii määrittämään AEGL-arvot kaikille kemikaaleille, mutta se on hidasta usean eri altistusajan takia. Nykyisin AEGL-arvoja on määritetty 174 kemikaalille. [15; 17; 18.]

Muita viitearvoja ovat ERPG (Emergency Response Planning Guidelines) -arvot ja TEEL (Temporary Emergency Exposure Limit) -arvot. AEGL- ja ERPG-arvot eroavat toisistaan vain, että AEGL-arvoja määritetään usealla eri ajalla, kun ERPG-arvot määritetään vain yhden tunnin altistusajalle. AEGL- ja ERPG-arvojen määrittäminen on hidasta ja siksi



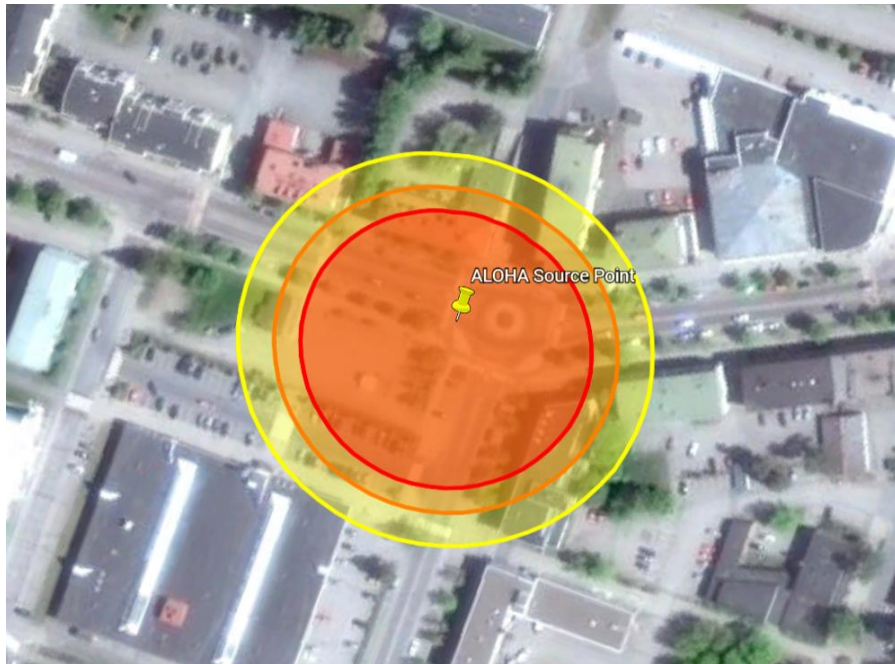
on määritetty TEEL-arvoja, joita käytetään, kunnes saadaan AEGL-arvot tutkittua. Nämä on määritetty 15 minuutin altistusajalle ja ne löytyvät yli 3 000 kemikaalille. Esimerkiksi etyyliasetaatille ei ole määritetty AEGL- eikä ERPG-arvoja, jolloin käytetään TEEL-arvoja. Mallinnustiedoissa näkyy PAC-arvo, mutta arvot ovat TEEL-arvoja. [17; 19.]

## 4.2 Seurausanalyysin suorittaminen

Seurausanalyysin mallinnukset tehdään erilaisilla siihen suunnitelluilla ohjelmistoilla. Ohjelmistojen laskenta perustuu leviämismalleihin ja pienen mittakaavan käytännön kokeisiin. Ohjelmistoilla laskeminen on nopeaa ja luotettavampaa kuin manuaalisesti. Alla on esitelty muutama mallinnusohjelmisto.

### 4.2.1 ALOHA-ohjelmisto

ALOHA-ohjelmistoa käytetään kemikaalionnettomuuksien mallinnukseen. Tietoa voidaan hyödyntää suunnittelussa ja mahdollisen onnettomuuden pelastustoimiin varautuessa. Ohjelmisto käyttää leviämismalleja ja piirtää kemikaalilähteen ympärille ympyröitä kuvaten eri vaara-alueita. Laskennassa huomioidaan kemikaali, sen määrä ja sääolosuhteet, kuten tuuli ja lämpötila. ALOHA-ohjelmisto mallintaa myrkyllisiä ja syttyviä kaasupilviä, BLEVE- ja höyrypilviräjähdyksiä sekä suihku- ja allaspaloja. Vaara-alue voi kuvata paineaaltoa, lämpösäteilyä tai kemikaalin pitoisuutta. Ohjelmisto piirtää mallinnetusta tilanteesta vaara-alueita havainnollistavan kuvaajan koordinaatistoon. Lisäksi tehdään maantieteellisten koordinaattien perusteella ohjelmisto pystyy siirtämään vaara-alueet kartalle Google Earth -ohjelmiston kautta. Alla esimerkkikuva 4 kartalle siirretyistä vaara-alueista.



Kuva 4. Vaara-alueet kartalla

Laskettujen alueiden värit punainen, oranssi ja keltainen määräytyvät alueelle syntyvien olosuhteiden vaarallisuuden mukaan. Karttaan siirrettyssä kuvassa ei näy piirrettyjen alueiden kokoja, mikä olisi hyödyllinen ominaisuus. ALOHA-ohjelmisto on ilmainen ja siksi hyvä valinta pienyrityksen käyttöön, koska seurausanalyysijä ei siellä jatkuvasti tehdä. [20.]

#### 4.2.2 Muita ohjelmistoja

Phast on suuremmissa yrityksissä käytetty maksullinen mallinnusohjelma, jolla voidaan mallintaa mahdollisia vaaratilanteita teollisuudessa. Mallintaa voi mm. putkistovuotoja, säiliön repeämistä, allaspaloja, kemikaalipilven leviämistä ja räjähdyksiä. Ohjelmistoa käyttää Suomessa mm. Neste Engineering Solutions Oy, Pöyry Oy Finland ja Kemira. [21.]

Canary-ohjelmisto seurausanalyysin tekemiseen tarkoitettu työkalu, joka mallintaa vaarallisten nesteiden ja kaasujen vapautumisesta aiheutuvia erilaisia vaaratilanteita. Ohjelmisto pystyy mallintamaan tilanteita useille seoksille. Mallinnusta voidaan tehdä allas- ja suihkupaloille, BLEVElle, höyrypilven räjähtämiselle ja kemikaalipilven leviämiselle. Laskenta perustuu yleisesti tiedossa oleviin malleihin sekä sisäisesti tehtyihin käytännön kokeisiin. Ohjelmisto on maksullinen. [22.]

## 5 Leviämismallien teoriaa

Teoriaa tarkastellaan nestemäistä kemikaalia sisältävän varastosäiliön kannalta. Minkälaisia ilmiöitä onnettomuustilanteita mallintaessa esiintyy ja mitkä asiat niihin vaikuttavat. Leviämismallien teoria nesteille ja kaasuille perustuu suurelta osin Yellow Book -nimiseen kirjaan, jota käytetään maailman laajuisesti kemikaalionnettomuuksia tutkiessa. Lisäksi SFS-3350 standardissa suositellaan kyseisen kirjan laskentamenetelmien käyttöä seurausanalyyseissä.

### 5.1 Ulosvirtaus säiliöstä

Ulosvirtauksessa neste valuu ulos putken halkeamasta tai säiliöön tulevasta reiästä. Mallissa on tarkoitus laskea säiliön tyhjentymistä ajan suhteen. Tyhjentymiseen vaikuttaa säiliön muoto ja syntyvän reiän koko sekä korkeus säiliön pohjasta. Ajava voima on paine-ero, joka aiheutuu tässä tapauksessa hydrostaattisesta paineesta ja painovoimasta. Hydrostaattisen paineen suuruuteen vaikuttaa säiliön täyttöaste, joka vaikuttaa virtausnopeuteen. Laskennallisesti tilannetta tarkastellaan iteratiivisesti tarpeeksi lyhyin aikavälein, jotta pinnankorkeuden muutos on tarpeeksi pieni. Usein oletetaan virtaavan aineen olevan yhdessä faasissa, koska kaksifaasivirtaus on laskennallisesti hankalampi käsitellä. Esimerkkiskenaariossa mallinnetaan tilanne, jossa säiliöstä vuotaa 10 minuuttia nestettä ja lammikko syttyy palamaan. [23; kpl 2 s. 17–18.]

### 5.2 Lammikon höyrystyminen

Höyrystymismallien tarkoitus on saada selville haihtumisnopeus, sillä se vaihtelee paljon kemikaalien välillä. Haihtumisnopeuteen vaikuttavat kemikaalin ominaisuudet, haihtuvan lammikon koko ja lisäksi ympäristön olosuhteet, kuten auringon säteilyn määrä, ulkoilman lämpötila ja tuulen nopeus. Myös materiaali, jonka päältä kemikaali haihtuu vaikuttaa. Kemikaalin ominaisuuksista höyrönpaine, tiheys, viskositeetti ja höyrystymislämpö ovat tarpeellisia tietoja. [23; kpl 3 s.17–20.]

### 5.3 Höyrypilven leviäminen ja räjähtäminen

Kemikaalin höyrystyessä ilmakehään se kulkeutuu ilmavirran mukana laajalle alueelle samalla laimentuen. Leviämismallissa pyritään ennustamaan kulkeutuvan kemikaalin pitoisuus ja etäisyys ajansuhteen sekä laskemaan höyrypilven syttymisraja.

Mahdollinen höyrypilven räjähdys voi syntyä lammikosta haihtuneesta pilvestä. Räjähdykselle täytyy olla oikeanlaiset olosuhteet lämpötilan ja paineen suhteen. Syttyminen tapahtuu yleensä noin yhden ja viiden minuutin välillä kemikaalin vapautumisesta. Höyrypilvessä on kolme aluetta, pitoisuudeltaan rikas alue lähellä kemikaalin vapautumis-kohtaa, pienen pitoisuuden alue pilven reunoilla ja näiden välissä syttyvä alue. Ympäristön olosuhteet, esimerkiksi tuuli ja kosteus, vaikuttavat kunkin alueen suuruuteen. Sytyvässä alueessa etenevän liekin nopeudella on suuri vaikutus räjähdysten tuhoihin, ja se perustuu liekin etenemiseen höyrypilvessä johtamalla ja diffuusiolla. Liekin levitessä pilvessä syntyvät polttotuotteet laajenevat aiheuttaen etenevän virtauksen. Virtauksen täytyy olla tarpeeksi nopeaa, jotta syntyy tarpeeksi suuri ylipaine ja räjähdys tapahtuu. Räjähdyksen eteneminen höyrypilvessä on itseään ruokkiva reaktio. Palamistuotteiden ja ilman laajentuminen aiheuttaa liekin leviämisen laajemmalle alueelle. Tällöin palamistuotteiden ja ilman laajentuminen tapahtuu laajemmalla alueella ja ylipaine kasvaa. [23; kpl 4 s.17–23 ja kpl 5 s.13–17.]

### 5.4 Säiliön repeäminen

Säiliön revetessä kemikaali vapautuu hallitsemattomasti ja säiliö hajoaa aiheuttaen mahdollisesti tulipalon, myrkyllisen kaasupilven leviämisen ja jopa räjähtämisen sekä säiliön kappaleiden lentäessä muita vahinkoja. Yleisesti säiliö voi hajota kahdesta eri syystä: paine säiliössä nousee liian korkeaksi tai säiliön mekaaninen lujuus heikkenee ajan kuluessa. Paine voi nousta liian korkeaksi mm. paineensäädön häiriöstä, ylitäytöstä, ylikuumentumisesta ulkoisen tulipalon vaikutuksesta tai säiliön sisällä tapahtuvasta reaktiosta. Materiaalin väsyminen voi johtua korroosiosta, lämpötilarasituksesta tai materiaali- liviasta, josta aiheutuu halkeama tai muu onnettomuuteen johtava tekijä. Säiliön sisäinen räjähdys tapahtuu usein varastointi tai kuljetusastioissa, kun höyryilmaseos syttyy kipinästä usein täytön tai puhdistuksen yhteydessä. Harvoin koko säiliö rikkoutuu, koska yleisemmin muodostuu suihkupalo säiliön avoimesta luukusta. [23; kpl 7 s.13–18.]

## 6 Seurausanalyysin esimerkkitalanne

Esimerkkitapauksina tarkastellaan metanolin ja etyyliasetaatin varastosäiliöitä, joiden kummankin tilavuus on 50 m<sup>3</sup>, halkaisija 3,8 m ja korkeus 4,4 m. Metanoli kuuluu helposti syttyviin, välittömästi myrkyllisiin ja vakavaa terveysvaaraa aiheuttaviin kemikaaleihin. Metanolia tulee säilyttää erillään, koska se reagoi voimakkaasti tiettyjen yhdisteiden kanssa. Etyyliasetaatti kuuluu myös helposti syttyviin ja haitallisiin kemikaaleihin. Molemmat ovat värittömiä nesteitä. [15; 24; 25.]

Suosituksena on sijoittaa kemikaalisäiliöt ulos, joten esimerkkitalauksessa oletetaan näin. Ulkona ei tarvitse huolehtia kemikaalihuuruksen aiheuttamista haitoista rakennukselle tai ihmisille samalla tavalla kuin sisällä. Kemikaalivarastojen sijoittaminen maanpälle on suositeltavaa mahdollisten vuotojen havaitsemiseksi. Säiliövuodon tai ylitäytöriskin vuoksi säiliöt sijoitetaan vallitilaan, josta ylivuotanut kemikaali voidaan ohjata turvallisesti pois. Keskenään reagoivilla kemikaaleilla ei saa olla yhteinen vallitila. Vallitilan materiaaliksi oletetaan betoni ja se mitoitetaan SFS 3350-standardin mukaan. [2; 15.]

### 6.1 Tukesin kemikaalilaskuri

Tukesin verkkosivuilla olevaan laskuriin syötettiin kemikaalien massat, kun säiliöt olivat täynnä, ja laskuri ilmoittaa, tarvitseeko tarkasteltavaan määrään hakea kemikaalien laajamittaiseen käsittelyyn ja varastointiin lupaa. Alla olevassa kuvassa 5 näkyy, että kahdelle varastosäiliölle tulee hakea lupa ja toiminta luokitellaan laajamittaiseksi. Laskurin antamat tarkemmat tiedot ovat liitteessä 1.

#### *Suhdelukulaskennan tulos*

**Lupalaitos.**

**Terveydelle vaarallisten aineiden suhdeluku : 4,045**

**Fysikaalisesti vaarallisten aineiden suhdeluku: 4,45**

**Toiminnalle on haettava lupaa Tukesilta**

Kuva 5. Tukesin suhdelukulaskurin tulokset [4]

## 6.2 Mallinnettavat onnettomuustilanteet

Mallinnettavat onnettomuustilanteet Tukesin ohjeiden mukaan on esitetty molemmille kemikaaleille alla olevassa taulukossa 3. [15]

Taulukko 3. Mallinnettavat onnettomuustilanteet

Onnettomuustilanne	Mallinnettava vaikutus
Säiliön ja vallitilan tulipalo	Lämpösäteily
Lammikkopalo, 10 minuutin putkistovuodosta tuleva kemikaalimäärä syttyy palamaan	Lämpösäteily
Tyhjän puhdistamattoman säiliön räjähdys	Painevaikutus
Lammikosta höyrystyvän kaasupilven leviäminen	Terveysvaikutus

## 7 Vallitilan mitoitus

Säiliöiden vallitila mitoitettiin SFS 3350-standardin mukaan. Vallitilan tilavuuden  $V_{Vallitila}$  tulee olla 1,1 kertaa suurimman säiliön tilavuus, ja se laskettiin alla olevalla kaavalla 1.

$$V_{Vallitila} = 1,1 * 50 \text{ m}^3 = 55 \text{ m}^3 \quad (1)$$

Säiliöiden välisen etäisyyden tulee olla vähintään vaaraetäisyys ja etäisyys luetaan al-kavaksi säiliön vaipasta. Vaaraetäisyydellä tarkoitetaan minimietäisyyttä saman säi-liöryhmän säiliöihin, ja sen on tarkoitus estää onnettomuustilanteessa tulipalon leviämi-nen. Etäisyyden tulee olla vähintään metri, jotta huoltotyöt voidaan hoitaa helposti ja poistuminen tarvittaessa sujuu nopeasti. Vaaraetäisyyden määrittämisessä huomioi-daan tavallisesti seurausanalyysistä saatuja lämpösäteilyarvoja, mutta tässä tapauk-sessa se määritettiin ilman niiden huomioimista. Vaaraetäisyys  $V_2$  laskettiin kaavalla 2. [2.]

$$V_2 = D/2 = \frac{3,8 \text{ m}}{2} = 1,9 \text{ m} \quad (2)$$

Säiliöiden etäisyyden vallitilan reunasta tulee olla säiliön säteen suuruinen eli 1,9 m.

Vallitilan korkeus  $h$  määritettiin tilavuuden ja pinta-alan  $A$  suhteena kaavalla 3. Liitteessä 12 on layout-piirustus säiliöistä ja vallitilasta, jossa on esitetty vallitilan pohjan mitat. Vallitilan korkeuteen pitää lisätä 100 mm sammutusvaahtoa varten. [2].

$$h = \frac{V_{\text{vallitila}}}{A} + 0,1\text{m} = \frac{55 \text{ m}^3}{13,3 \text{ m} \cdot 7,6 \text{ m}} + 0,1\text{m} = \frac{55 \text{ m}^3}{101,01 \text{ m}^2} + 0,1\text{m} \approx 0,65 \text{ m} \quad (3)$$

Säiliön vallitilaa hyödynnettiin säiliön ja vallitilan tulipalon mallinnuksessa.

## 8 Vaara-alueiden mallinnus

Kappaleessa käsitellään esimerkkionnettomuustilanteiden mallinnus ja käytetyt oletukset ALOHA-ohjelmistolla etyyliasettaatti ja metanoli varastosäiliöille.

Ohjelmisto on hyvin itseohjautuva ja helppokäyttöinen. Mallinnuksessa käytettiin tiettyjä oletuksia, koska kaikkea ei tiedetty tarkkaan. Sijainti syötettiin koordinaattien perusteella ohjelmistoon. Rakennuksen tyyppi vaikutti ilmavaihtokertoimen arvoon, ja säiliöiden sijaitessa ulkona käytettiin ilmanvaihtokertoimen maksimiarvoa 1, tietyn rakennustyyppin sijaan. Kemikaali valittiin ohjelmiston sisältämästä kirjastosta, joka koostuu pääasiassa puhtaista aineista. Jos haluttaisiin mallintaa vaara-alueita seokselle tai kemikaalille, jota kirjastosta ei löydy, voisi sen lisätä ohjelmistoon. Tällöin aineesta tulisi tietää kemikaali- tai seoskohtaisia arvoja, joita löytyy esimerkiksi käyttöturvallisuustiedotteista.

Kemikaalin valinnan jälkeen syötettiin ympäristössä vallitsevat olosuhteet. Tuulen nopeuden arvona käytettiin Tukesin suosittamaa nopeutta 3–5 m/s. Kaasupilven leviäminen mallinnettiin metanolilla lisäksi 10 m/s. Usein seurausanalyysissä mallinnetaan onnettomuustilanteet kahdella eri tuulen nopeudella, jotta nähdään tuulen nopeuden vaikutus. Tuulen suuntana käytettiin Suomessa keskimäärin yleisintä suuntaa eli lounasta. Ilman lämpötilana käytettiin 20 °C. sillä lämpöisessä kemikaalit haihtuvat nopeammin. Ympäristön olosuhteista vaikuttaa myös auringon paisteen määrä ja kosteus. Alla oleva kuva 6 havainnollistaa, miltä ohjelmiston valintaikkunat näyttävät. [15.]

Atmospheric Options 2

Air Temperature is :  Degrees  F  C




Stability Class is :   A  B  C  D  E  F

Inversion Height Options are :

No Inversion  Inversion Present. Height is :   feet  meters

---

Select Humidity :

      OR  enter value :  %  
 (0 - 100)

Kuva 6. ALOHA-ohjelmistoon ympärillä vallitsevien olosuhteiden syöttäminen

Atmosfäärin stabiilisuutta kuvataan Pasquill asteikolla kirjaimilla A–F. A kuvaa erittäin epävakaita sääolosuhteita ja F erittäin vakaita sääolosuhteita. Stabiiliuteen vaikuttaa lämpötila, tuulen nopeus ja suunta sekä pilvisuus. Stabiiliuden arvona käytettiin D:tä Tu-kesin ohjeen mukaan neutraaleille sääolosuhteille. [26.]

Mallinnettaessa valittiin, minkälaisesta lähteestä kemikaali vapautuu ilmaan. Se voi vapautua eri tavalla suoraan, lammikosta, säiliöstä tai kaasuputkesta. Eri tilanteen mukaan syötettiin tarkentavia tietoja, kuten säiliön mitat, lammikon maksimikoko tai se, mille materiaalille kemikaali vuotaa.



Kuva 7. Esimerkkietojen syöttämistä mallinnuksessa

Säiliön täyttöasteeksi oletettiin 100 %, sillä silloin kemikaalimäärä on suurimmillaan, vaikutukset vakavimmillaan ja kemikaali purkautuu ulos nopeammin kuin vajaasta säiliöstä. Todellisuudessa säiliöt eivät ole koko tilavuudeltaan täynnä, vaan pinnalla aina on varaa vähän nousta. Putken halkaisija ei ollut tiedossa, joten käytettiin Tukesin suosittelemaa arvoa 25 cm, joka oli suhteellisen suuren putken halkaisija. Putken halkaisijan arvolla määritettiin reiän koko, josta kemikaali vuoti ulos. Vallitilan materiaaliksi oletettiin betoni. Putkistovuoto ei välttämättä todellisuudessa osu vallitilaan, joten kemikaali saa levitä rajattomasti. Oletettiin vuotokohdan kuitenkin osuvan alueelle, jossa on alla betonia. Taulukossa 4 on esitetty mallinnuksessa käytetyt oletukset. [15.]

Taulukko 4. Mallinnuksessa käytetyt oletukset

Yleiset oletukset	
Sijainti	Äänekoski
Ilmanvaihtokerroin	1
Kemikaali	Etyyliasettaatti ja metanoli
Tuulen nopeus	4 m/s ja 10 m/s
Tuulen suunta	Lounas, SW
Stabiilisuus	D
Lämpötila	20 °C
Säiliön täyttöaste	100 %
Putken/reiän halkaisija	25 cm
Vallitilan materiaali	Betoni

Ohjelmistosta saa tulosteen, jossa näkyy mallinnettuun tilanteeseen syötetyt tiedot ja tulokset. Ohjelmiston antama vaara-alueita kuvaava metrilukema kertoo kemikaalilähteen ympärille muodostuneen ympyrän säteen metreinä. Mallinnuksien parametrit ja kuvaajat molemmille kemikaaleille liitteissä 2–10. Metanolille on mallinnettu höyrypilven leviäminen kahdella tuulen nopeudella. Liitteessä 9 on esitetty metanolille kaasupilven leviämisen kuvaaja 4 m/s ja liitteessä 10 on esitetty tuulen nopeudella 10 m/s.

## 9 Tulokset

Tuloksia arvioidessa on hyvä muistaa, että laskentamallit perustuvat teoriaan ja pienen mittakaavan laboratoriokokeisiin. Suuren mittakaavan mittaustuloksia on vaikea saada kemikaalionnettomuuksien tapahtuessa yllättäen eikä niitä toivota tapahtuvan. Mallinnohjelmat antavat todella tarkkoja lukemia, joten niihin pitää suhtautua suuntaa antavana tietona, ei totuutena. Mallinnoksista koottu tulostaulukko eri vaaraetäisyyksistä on liitteessä 11.

### 9.1 Tulipalot

Etyyliasettaatti ja metanoli varastoidaan normaalissa ilmanpaineessa käyttöturvallisuustiedotteiden suosittelemassa varastointilämpötilassa 20 °C. Vuototilanteessa paineen muutos ei sytytä kemikaaleja. Etyyliasettaatin leimahduspiste on -4 °C ja metanolin 9,7 °C, jolloin varastointi tapahtuu leimahduspisteiden yläpuolella, mutta kummankin kemikaalin kiehumispisteen alapuolella. Vuototilanteessa molemmat kemikaalit voivat muodostaa syttyvän ilma-kemikaaliseksi, mutta seos tarvitsee syttyäkseen ulkopuolisen lähteen, sillä kummankin kemikaalin itsesyttymislämpötila on yli 400 °C. [24; 25.]

Säiliön ja vallitilan tulipalon mallinnoksessa kemikaali virtaa säiliöstä ulos muodostaen lammikon ja se syttyy palamaan, ennen kuin kaikki kemikaali on virrannut ulos. Tuloksien perusteella etyyliasettaatin säiliön ja vallitilan tulipalossa aiheutuvan vaara-alueiden suuruudet olivat noin puolet suuremmat kuin metanolilla. Lämpösäteilyn intensiteetti 3 kW/m<sup>2</sup> ulottuu yli 30 metriin etyyliasettaatilla. Vallitila rajoittaa aika hyvin kemikaalin leviämistä pienentäen vaara-alueiden kokoja. Tulipalosta aiheutuvat vaara-alueet ovat suhteellisen maltilliset, kuitenkin 8 kW/m<sup>2</sup>:n vaara-alue ulottuu pienimmillään 13 metriin ja todella todennäköisesti tällä alueella on jo toinen varastosäiliö tai muita laitteita.

Putkistovuodon mallinnuksessa kemikaalia vuotaa 10 minuuttia muodostaen lammikon ja vasta sen jälkeen syttyy palamaan. Etyyliasetaatin vaara-alue  $3 \text{ kW/m}^2$ :n intensiteetillä ulottuu 90 metriin, kun metanolilla ulottuu vain 40 metriin. Metanolin virtausnopeus säiliöstä ulos on hitaampaa kuin etyyliasetaatin, joten metanolia ehtii tulla määrällisesti vähemmän. Putkistovuodossa kemikaalia vuotaa määrällisesti vähemmän kuin säiliön ja vallitilan palossa, mutta se leviää ennen syttymistään laajalle aiheuttaen suuremmat vaara-alueet kuin vuodon heti syttyessään. Putkistovuoto voi sattua myös vallitilan ulkopuolella, joten mallinnoista nähdään, kuinka laajalle kemikaali leviää ilman vallitilan rajoittamaa tilaa. Putkistovuodosta aiheutuvien vaara-alueiden sisällä on muita säiliöitä ja laitteita, joten aika todennäköisesti tulipalo aiheuttaa vahinkoa laajasti.

## 9.2 Tyhjän säiliön räjähdys

Mallinnettaessa säiliön täyttöasteeksi valittiin pienin mahdollinen ja sen kemikaalimäärän painevaikutus räjähtäessä. Mallinnuksessa ei huomioitu säiliön rikkoutumiseen tarvittavaa painevaikutusta vaan kyseinen kemikaalimäärä vain räjähti. Etyyliasetaatia oli massaltaan noin 17 kg ja metanolia noin 8 kg. Etyyliasetaatin vaara-alueet ulottuvat laajemmalle kuin metanolin, ja erisuuruiset massat vaikuttavat tuloksiin huomattavasti, vaikkakin kemikaaleilla on erilaiset kemialliset ominaisuudet.  $5 \text{ kPa}$ :n vaara-alue ulottuu etyyliasetaatilla 30 metriin ja metanolilla 10 metriin. Vaikka säiliö on melkein tyhjä, räjähdyksestä aiheutuvat vaikutukset ulottuvat suhteellisen laajalle ja vaara-alueella saattaa todellisuudessa sijaita muita säiliöitä ja laitteita, mihin paineaalto vaikuttaa.

## 9.3 Höyrypilven leviäminen

Laajimmalle ulottuvat vaara-alueet ovat kaasupilven leviämisen avulla. Ilmavirran ja tuulen mukana höyrystynyt kemikaali leviää nopeasti laajalle alueelle. Tuulen nopeuden kasvaessa kuvaajan muodosta huomaa, että höyrypilvi leviää enemmän tuulen suuntaan ja tuulen voimakkuudesta johtuen myös korkean pitoisuuden alueet hajoavat nopeammin. Metanoli muodostaa laajemmalle vaara-alueet kuin etyyliasetaatilla. Etyyliasetaatin vaara-alueet ovat noin puolet metanolin vaara-alueista. Metanolilla ovat haitalliseksi luokitellut pitoisuudet alempia kuin etyyliasetaatilla.

Säiliöiden väliseen tai muihin teollisuuslaitteistojen etäisyyteen ei kaasupilven leviämisetäisyys niin vaikuta, mutta se on huomioitava kemikaalivaraston sijoittamisessa tontilla. Terveysvaikutukset huomioidaan toimistorakennuksia sijoittaessa ja etäisyyden maksimoimisena herkkiin kohteisiin tuotantolaitoksen ulkopuolella.

#### 9.4 Ympäristövaikutukset

Onnettomuustilanteiden seurausten arvioinnissa on huomioitava vaikutukset lähiympäristöön. Ympäristövaikutuksia arvioidaan seurausmatriisin avulla, jossa vaikutukset jaetaan lievään, suureen ja vakavaan. Tärkeää ympäristövaikutuksia arvioidessa on osata arvioida onnettomuudesta aiheutuva laajuus ja kesto. Aiheutuvat päästöjä huomioidaan vuoden ajan mukaan sekä ilman ja vesien kautta kulkeutuminen.

Tulipalojen sammutuksesta aiheutuneet sammutusvedet tulee ohjata vallitilasta asianmukaisesti jätevedenkäsittelylaitokselle. Siellä suuri määrä kemikaalipitoista jätevettä saattaa aiheuttaa prosessiin häiriöitä, mutta jätevedet on käsiteltävä asianmukaisesti ilman ympäristön lisäkuormitusta.

## 10 Yhteenveto

Insinöörityön tavoitteena oli luoda dokumentti, jota voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää seurausanalyysijä tehdessä, sekä saamaan yleiskäsitys, miksi seurausanalyysien määrä on tulevaisuudessa kasvussa ja pienyritysten kannattaa lisätä osaamista sillä osa-alueella. Tarkoitus oli koota mallinnuksessa huomioitavia asioita yhteen, jotta ne osattaisiin alussa jo selvittää helpottaen mallinnusta. Mallinnusohjelmistot tarvitsevat yleensä samantyyllisiä tietoja vaara-alueiden mallinukseen, joten ohjelmiston vaihtuessa syötettävät tiedot ovat lähes samat.

Seurausanalyysistä saatiin koottua tarvittavat tiedot, ja kemikaalisäiliöiden esimerkkionnettomuustilanteiden mallintaminen ALOHA-ohjelmistolla onnistui hyvin. Seurausanalyysin vähimmäisvaatimuksena onnettomuustilanteiden mallinnuksesta ovat Tukesin määrittelemät onnettomuustilanteet, mutta tilannekohtaisesti voidaan mallintaa lisää esimerkiksi riskianalyysin pohjalta. Vaara-alueita pystyisi analysoimaan paremmin, jos ky-

seessä olisi oikea tuotantolaitos ja layout-piirustuksessa näkyisi muutakin kuin pari säiliötä. Tärkeimpänä on kuitenkin tiedostaa mahdolliset onnettomuustilanteet ja tehdä ennakkoivia toimenpiteitä niiden välttämiseksi.

Tukesilta on oletettavasti lähitulevaisuudessa tulossa tarkempi ohjeistus seurausanalyysin sisällöstä, sillä nykyiset ohjeet ovat suhteellisen tulkinnanvaraiset. Insinööriyötä pystytään hyödyntämään tulevia seurausanalyysimallinnuksia tehdessä.

## Lähteet

- 1 Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta. 2015. 685/21.5.2015
- 2 SFS 3350:2016. Palavien nestemäisten kemikaalien varastopaikka ja siellä olevat kemikaalien käsittelypaikat. 2016. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 3 Lupahakemus/muutosilmoitus laajamittaisesta teollisesta käsittelystä ja varastoinnista. Word-dokumentti. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. <<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-ja-kaasu/>>. Luettu 1.3.2018.
- 4 Kemikaaliluettelo ja suhdelukulaskenta. Verkkoaineisto. Turvallisuus ja kemikaalivirasto. <<http://kemu.tukes.fi/KemikaaliluetteloJaSuhdelukuLaskenta.aspx>>. Luettu 17.4.2018.
- 5 Vaarallisten kemikaalien varastointi. 2015. Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. <[http://www.tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit\\_kaasu/Vaarallisten\\_kemikaalien\\_varastointi.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit_kaasu/Vaarallisten_kemikaalien_varastointi.pdf)>. Luettu 27.2.2018.
- 6 Kemikaalien ja kaasujen teollinen käsittely. 2018. Verkkoaineisto. Turvallisuus ja kemikaalivirasto. <<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-ja-kaasu/>>. Päivitetty 27.2.2018. Luettu 1.3.2018.
- 7 Tukes-ohje 8/2015 sisäinen pelastussuunnitelma. 2015. Verkkoaineisto. Turvallisuus ja kemikaalivirasto. <<http://tukes.fi/fi/Palvelut/Tukes-ohjeet/2Kemikaalit-ja-kaasu/Tukes-ohje-82015-Sisainen-pelastussuunnitelma/>>. Päivitetty 26.8.2015 Luettu 1.3.2018.
- 8 Tukes-ohje 10/2015 toimintaperiaateasiakirja. 2015. Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. <<http://tukes.fi/fi/Palvelut/Tukes-ohjeet/2Kemikaalit-ja-kaasu/Tukes-ohje-10-Toimintaperiaateasiakirja/>>. Päivitetty 28.8.2015 Luettu 2.3.2018.
- 9 Tukes-ohje 9/2015 turvallisuusselvitys. 28.8.2015. Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. <<http://tukes.fi/fi/Palvelut/Tukes-ohjeet/2Kemikaalit-ja-kaasu/Tukes-ohje-92015-Turvallisuusselvitys/>>. Luettu 2.3.2018.
- 10 Overview of industrial risk assesment. Verkkoaineisto. ECENA. <[http://web.iitd.ac.in/~arunku/files/CEL899\\_Y13/Industrial%20Risk%20Management\\_Overview.pdf](http://web.iitd.ac.in/~arunku/files/CEL899_Y13/Industrial%20Risk%20Management_Overview.pdf)>. Luettu 27.2.2018.
- 11 Riskimatriisi. Yrityksen sisäinen dokumentti. JETS consulting Oy.
- 12 Lyytikäinen, Antti. 5/2010. RAM-analyysi. Verkkoaineisto. Promaint. <[http://www.alsafety.com/pdf/RAM\\_analyysi\\_Promaint201005.pdf](http://www.alsafety.com/pdf/RAM_analyysi_Promaint201005.pdf)>. Luettu 19.3.2018.

- 13 Käytettävyyssanalyysi. Verkkoaineisto. <<http://vaaraton.fi/sites/default/files/Kaytet-tavyysanalyysi.pdf>>. Luettu 19.3.2018.
- 14 Potentiaalisten ongelmien analyysi. 2013. Verkkoaineisto. Suomen riskienhallin-tayhdistys. <<https://www.pk-rh.fi/tools/poa-analyysi.html>>. Luettu 23.3.2018.
- 15 Tuotantolaitosten sijoittaminen. 2015. Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja kemikaali-virasto. <[http://www.tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit\\_kaasu/Tuotantolaitosten\\_sijoit-taminen\\_2015.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit_kaasu/Tuotantolaitosten_sijoit-taminen_2015.pdf)>. Luettu 28.4.2018.
- 16 OVA-ohjeet: Käyttäjän opas. 2017. Verkkoaineisto. Työterveyslaitos <<http://www.ttl.fi/ova/kaytop.html>>. Päivitetty 6.11.2017. Luettu 20.3.2018.
- 17 Lautkaski, Risto. 21.12.2011. Vuoden 2011 OVA-ohjeiden vaaraetäisyydet. Verkkoaineisto. VTT. <<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2011/VTT-CR-09165-11.pdf>>. Luettu 15.4.2018.
- 18 Access Acute Exposure Guideline Levels (AEGs) Values. Verkkoaineisto. EPA United States Environmental Protection Agency. <<https://www.epa.gov/aegl/access-acute-exposure-guideline-levels-aegls-values#chemicals>>. Luettu 16.4.2018.
- 19 Current ERPG Values. 2016. WEEL Handbook. Verkkoaineisto. AIHA Guideline Foundation. <<https://www.aiha.org/get-involved/AIHAGuidelineFoundation/EmergencyResponsePlanningGuidelines/Documents/2016%20ERPG%20Table.pdf>>. Luettu 16.4.2018.
- 20 ALOHA Software. Verkkoaineisto. EPA United States Environmental Protection Agency. <<https://www.epa.gov/comeo/aloha-software>>. Luettu 2.2.2018.
- 21 Process hazard analysis software – Phast. Verkkoaineisto. <<https://www.dnvgl.com/services/process-hazard-analysis-software-phast-1675>>. Luettu 4.4.2018.
- 22 CANARY by Quest. Verkkoaineisto. QUEST Consultants INC. <<http://www.quest-consult.com/software/canary/>>. Luettu 4.4.2018.
- 23 Van den Bosch, C.J.H; Duijm, N.J; Bakkum, E; Mercx, W.P.M; van den Berg, A.C; van Wees, R.M.M. & van Doormaal J.C.A.M. Methods for the calculation of physical effects, Yellow book. 2005. Verkkoaineisto. <<http://content.publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/documents/PGS2/PGS2-1997-v0.1-physical-effects.pdf>>. Luettu 20.3.2018.
- 24 Metanolin käyttöturvallisuustiedote. 2017. Verkkoaineisto. VWR International. <[https://fi.vwr.com/assetsvc/asset/fi\\_FI/id/7668340/contents](https://fi.vwr.com/assetsvc/asset/fi_FI/id/7668340/contents)>. Päivitetty 6.11.2017. Luettu 19.4.2018.

- 25 Etyyliasettaatin käyttöturvallisuustiedote. 2014. Verkkoaineisto. VWR International. <[https://fi.vwr.com/assetsvc/asset/fi\\_FI/id/7669235/contents](https://fi.vwr.com/assetsvc/asset/fi_FI/id/7669235/contents)>. Päivitetty 28.8.2014. Luettu 19.4.2018.
- 26 Pasquill Stability Classes. 2018. Verkkoaineisto. NOAA; Air Resources Laboratory. <<https://ready.arl.noaa.gov/READYpgclass.php>>. Päivitetty 14.2.2018. Luettu 29.4.2018.



## Turvallisuus- ja kemikaaliviraston kemikaalien suhdelukulaskurin tulokset

<b>Suhdelukulaskennan tulokset</b>									
<b>Vaaluokka: Terveydelle vaaralliset kemikaalit</b>									
Kemikaali	Määrä (t)	Ilmoitusraja	Ilmoitus-suhdeluku	Luparaja	Lupasuhdeluku	Toimintaperiaate-asiakirjaraja	MAPP-suhdeluku	Turvallisuus-selvitysraja	TS-suhdeluku
Metanoli	40	1	40	10	4	500	0,08	5000	0,008
Etyyliasettaatti	45	10	4,5	1000	0,045	0	0	0	0
<b>Vaaluokka: Ympäristölle vaaralliset kemikaalit</b>									
Kemikaali	Määrä (t)	Ilmoitusraja	Ilmoitus-suhdeluku	Luparaja	Lupasuhdeluku	Toimintaperiaate-asiakirjaraja	MAPP-suhdeluku	Turvallisuus-selvitysraja	TS-suhdeluku
<b>Vaaluokka: Fysikaalisesti vaaralliset kemikaalit</b>									
Kemikaali	Määrä (t)	Ilmoitusraja	Ilmoitus-suhdeluku	Luparaja	Lupasuhdeluku	Toimintaperiaate-asiakirjaraja	MAPP-suhdeluku	Turvallisuus-selvitysraja	TS-suhdeluku
Metanoli	40	1	40	10	4	500	0,08	5000	0,008
Etyyliasettaatti	45	1	45	100	0,45	5000	0,009	50000	0,001
<b>Vaaluokka: Muut vaaralliset kemikaalit</b>									
Kemikaali	Määrä (t)	Ilmoitusraja	Ilmoitus-suhdeluku	Luparaja	Lupasuhdeluku	Toimintaperiaate-asiakirjaraja	MAPP-suhdeluku	Turvallisuus-selvitysraja	TS-suhdeluku
Suhdelukujen summat vaaraluokittain									
Kemikaali	Ilmoitus-suhdeluku	Lupa-suhdeluku	MAPP-suhdeluku	TS-suhdeluku					
Terveysvaarat	44,5	4,045	0,08	0,008					
Ympäristövaarat	0	0	0	0					
Fysikaaliset vaarat	85	4,45	0,089	0,009					
Muut vaarat	0	0	0	0					

## Parametrit etyyliasetaattisäiliön ja vallitilan tulipalolle

### SITE DATA:

Location: ÄANEKOSKI, SUOMI  
 Building Air Exchanges Per Hour: 1 (user specified)  
 Time: May 3, 2018 0922 hours ST (using computer's clock)

### CHEMICAL DATA:

Chemical Name: ETHYL ACETATE  
 CAS Number: 141-78-6      Molecular Weight: 88.11 g/mol  
 PAC-1: 1200 ppm   PAC-2: 1700 ppm   PAC-3: 10000 ppm  
 IDLH: 2000 ppm   LEL: 21800 ppm   UEL: 115000 ppm  
 Ambient Boiling Point: 77.1° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.096 atm  
 Ambient Saturation Concentration: 95,594 ppm or 9.56%

### ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

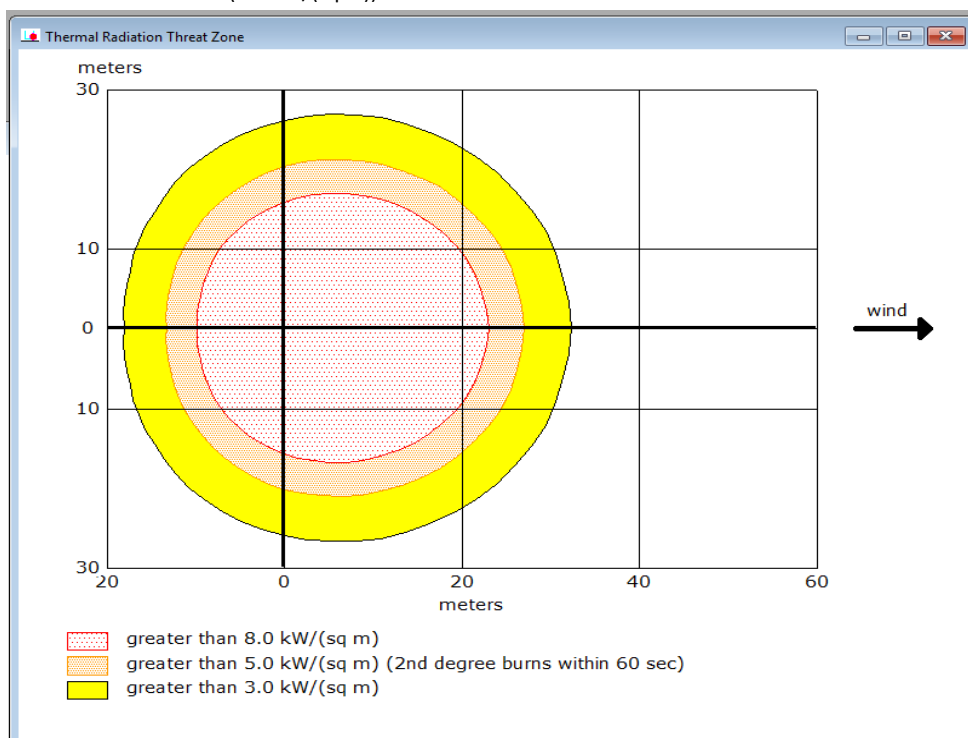
Wind: 4 meters/second from SW at 3 meters  
 Ground Roughness: open country      Cloud Cover: 5 tenths  
 Air Temperature: 20° C      Stability Class: D  
 No Inversion Height      Relative Humidity: 50%

### SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in vertical cylindrical tank  
 Flammable chemical is burning as it escapes from tank  
 Tank Diameter: 3.8 meters      Tank Length: 4.4 meters  
 Tank Volume: 49.9 cubic meters  
 Tank contains liquid      Internal Temperature: 20° C  
 Chemical Mass in Tank: 44,886 kilograms  
 Tank is 100% full  
 Circular Opening Diameter: 25 centimeters  
 Opening is 0 meters from tank bottom  
 Max Flame Length: 13 meters  
 Burn Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
 Max Burn Rate: 302 kilograms/min  
 Total Amount Burned: 18,081 kilograms  
 Note: The chemical escaped as a liquid and formed a burning puddle.  
 The puddle spread to a diameter of 11.4 meters.

### THREAT ZONE:

Threat Modeled: Thermal radiation from pool fire  
 Red : 23 meters --- (8.0 kW/(sq m))  
 Orange: 27 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)  
 Yellow: 32 meters --- (3.0 kW/(sq m))



1 (1)

## Parametrit 10 min putkistovuodosta aiheutuvaan lammikkopaloon etyyliasetaatille

## SITE DATA:

Location: ÄÄNEKOSKI, SUOMI  
 Building Air Exchanges Per Hour: 1 (user specified)  
 Time: April 29, 2018 1343 hours ST (using computer's clock)

## CHEMICAL DATA:

Chemical Name: ETHYL ACETATE  
 CAS Number: 141-78-6 Molecular Weight: 88.11 g/mol  
 PAC-1: 1200 ppm PAC-2: 1700 ppm PAC-3: 10000 ppm  
 IDLH: 2000 ppm LEL: 21800 ppm UEL: 115000 ppm  
 Ambient Boiling Point: 77.1° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.096 atm  
 Ambient Saturation Concentration: 95,594 ppm or 9.56%

## ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 4 meters/second from SW at 3 meters  
 Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths  
 Air Temperature: 20° C Stability Class: D  
 No Inversion Height Relative Humidity: 50%

## SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in vertical cylindrical tank  
 Flammable chemical escaping from tank (not burning)  
 Tank Diameter: 3.8 meters Tank Length: 4.4 meters  
 Tank Volume: 49.9 cubic meters  
 Tank contains liquid Internal Temperature: 20° C  
 Chemical Mass in Tank: 44,886 kilograms  
 Tank is 100% full  
 Circular Opening Diameter: 25 centimeters  
 Opening is 0 meters from tank bottom  
 Ground Type: Concrete  
 Ground Temperature: equal to ambient  
 Max Puddle Diameter: Unknown  
 Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour

**Max Average Sustained Release Rate: 853 kilograms/min**

(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 44,070 kilograms

Note: The chemical escaped as a liquid and formed an evaporating puddle.  
 The puddle spread to a diameter of 99 meters.

Lasketaan muodostuvan lammikon halkaisija 10 min aikana  
 maksimi ulosvirtausnopeuden ja tiheyden avulla  
 Oletetaan lammikon syvyydeksi 1 cm

$d = \text{lammikon halkaisija}$   $m = \text{massavirta}$   $t = \text{aika}$   $\rho = \text{tiheys}$   $h = \text{lammikon syvyys}$

$$d = 2 * \sqrt{\frac{\dot{m} * t / \rho}{\pi * h}}$$

## SOURCE STRENGTH:

Burning Puddle / Pool Fire  
 Puddle Diameter: 34.7 meters Puddle Mass: 8530 kilograms  
 Initial Puddle Temperature: Air temperature  
 Flame Length: 29 meters Burn Duration: 3 minutes  
 Burn Rate: 2,800 kilograms/min  
 Total Amount Burned: 8,530 kilograms

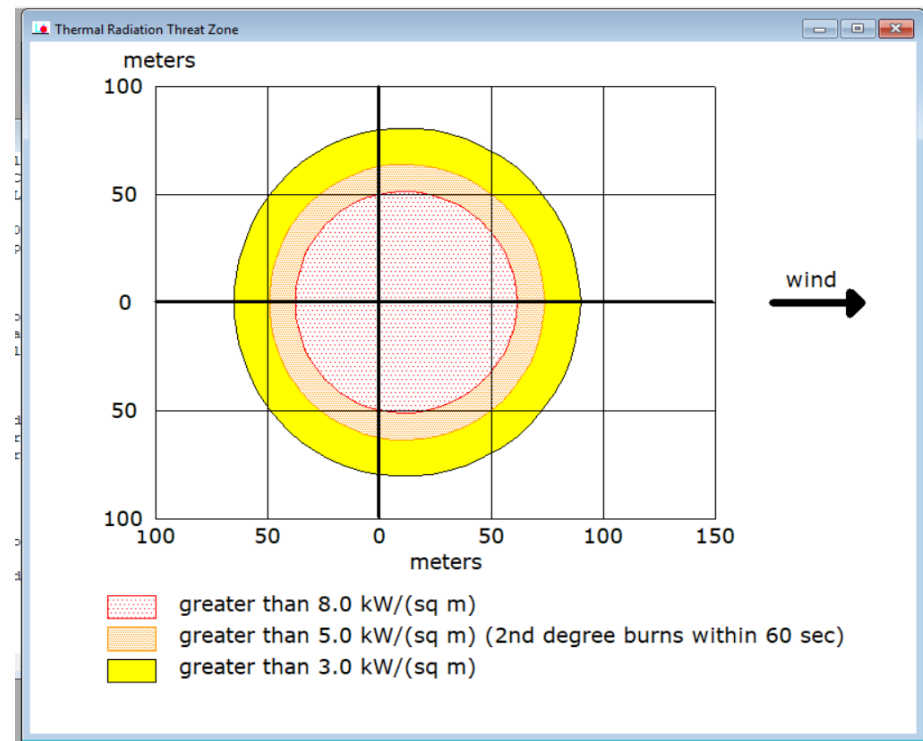
## THREAT ZONE:

Threat Modeled: Thermal radiation from pool fire

Red : 62 meters --- (8.0 kW/(sq m))

Orange: 74 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)

Yellow: 90 meters --- (3.0 kW/(sq m))



1 (1)

## Parametrit tyhjän etyyliasettaattisäiliön räjähdykselle

## SITE DATA:

Location: ÄANEKOSKI, SUOMI  
 Building Air Exchanges Per Hour: 1 (user specified)  
 Time: April 15, 2018 1741 hours ST (using computer's clock)

## CHEMICAL DATA:

Chemical Name: ETHYL ACETATE  
 CAS Number: 141-78-6 Molecular Weight: 88.11 g/mol  
 PAC-1: 1200 ppm PAC-2: 1700 ppm PAC-3: 10000 ppm  
 IDLH: 2000 ppm LEL: 21800 ppm UEL: 115000 ppm  
 Ambient Boiling Point: 77.1° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.096 atm  
 Ambient Saturation Concentration: 95,594 ppm or 9.56%

## ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 4 meters/second from SW at 3 meters  
 Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths  
 Air Temperature: 20° C Stability Class: D  
 No Inversion Height Relative Humidity: 50%

## SOURCE STRENGTH:

BLEVE of flammable liquid in vertical cylindrical tank  
 Tank Diameter: 3.8 meters Tank Length: 4.4 meters  
 Tank Volume: 49.9 cubic meters  
 Tank contains liquid  
 Internal Storage Temperature: 20° C  
 Chemical Mass in Tank: 17.6 kilograms  
 Tank is 0.00% full  
 Percentage of Tank Mass in Fireball: 100%  
 Fireball Diameter: 15 meters Burn Duration: 2 seconds

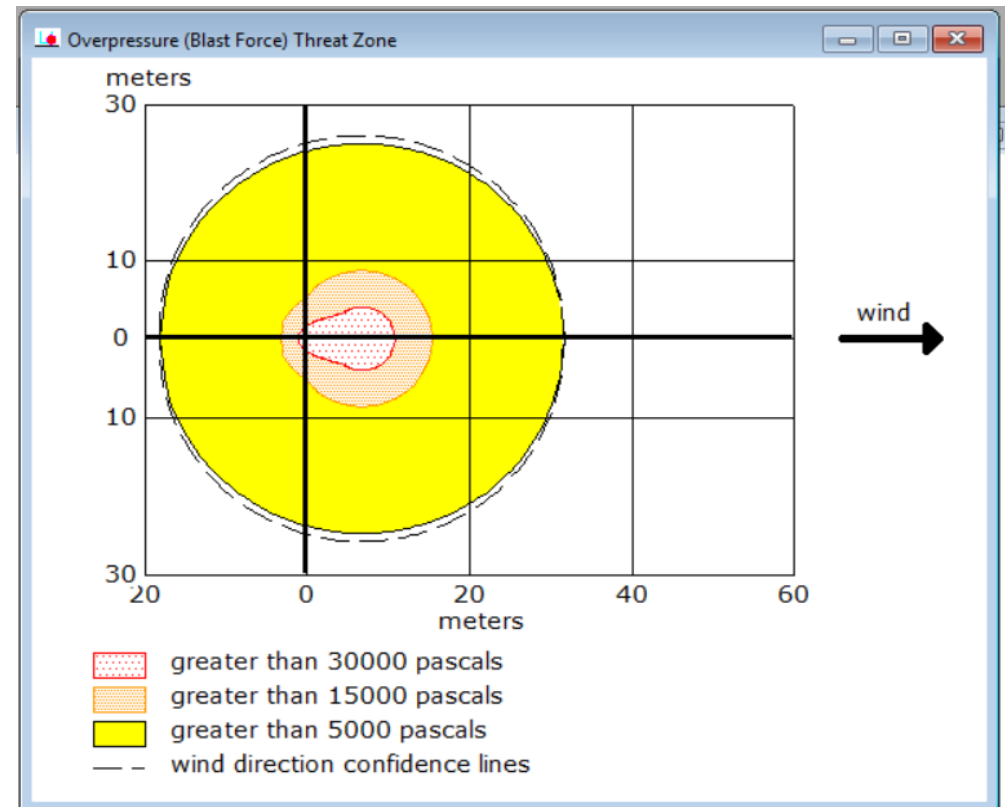
Valittiin säiliön täyttöasteeksi pienin mahdollinen luku 0.00001% eli 17,6kg

## SOURCE STRENGTH:

Direct Source: 17.6 kilograms Source Height: 0  
 Release Duration: 1 minute  
 Release Rate: 293 grams/sec  
 Total Amount Released: 17.6 kilograms

## THREAT ZONE:

Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion  
 Type of Ignition: ignited by spark or flame  
 Level of Congestion: congested  
 Model Run: Heavy Gas  
 Red : 11 meters --- (30000 pascals)  
 Orange: 15 meters --- (15000 pascals)  
 Yellow: 32 meters --- (5000 pascals)



Parametrit höyrystyneen etyyliasetaatipilven leviämislle 4 m/s

SITE DATA:

Location: ÄANEKOSKI, SUOMI  
 Building Air Exchanges Per Hour: 1 (user specified)  
 Time: April 15, 2018 1741 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: ETHYL ACETATE  
 CAS Number: 141-78-6 Molecular Weight: 88.11 g/mol  
 PAC-1: 1200 ppm PAC-2: 1700 ppm PAC-3: 10000 ppm  
 IDLH: 2000 ppm LEL: 21800 ppm UEL: 115000 ppm  
 Ambient Boiling Point: 77.1° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.096 atm  
 Ambient Saturation Concentration: 95,594 ppm or 9.56%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

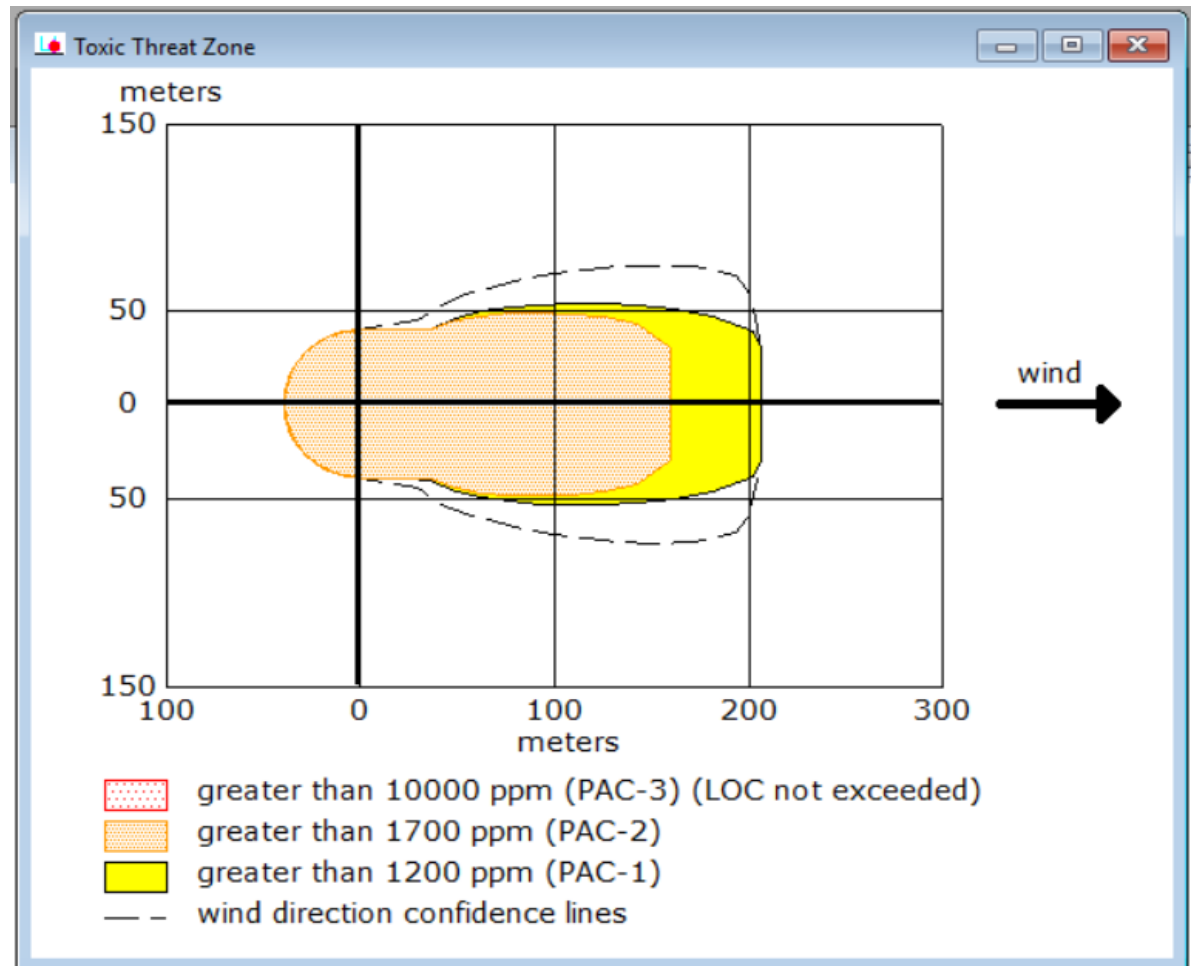
Wind: 4 meters/second from SW at 3 meters  
 Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths  
 Air Temperature: 20° C Stability Class: D  
 No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank  
 Flammable chemical escaping from tank (not burning)  
 Tank Diameter: 3.8 meters Tank Length: 4.4 meters  
 Tank Volume: 49.9 cubic meters  
 Tank contains liquid Internal Temperature: 20° C  
 Chemical Mass in Tank: 44,886 kilograms  
 Tank is 100% full  
 Circular Opening Diameter: 25 centimeters  
 Opening is 0 meters from tank bottom  
 Ground Type: Concrete  
 Ground Temperature: equal to ambient  
 Max Puddle Diameter: Unknown  
 Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
 Max Average Sustained Release Rate: 773 kilograms/min  
 (averaged over a minute or more)  
 Total Amount Released: 39,519 kilograms  
 Note: The chemical escaped as a liquid and formed an evaporating puddle.  
 The puddle spread to a diameter of 100 meters.

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas  
 Red : LOC was never exceeded --- (10000 ppm = PAC-3)  
 Orange: 160 meters --- (1700 ppm = PAC-2)  
 Yellow: 207 meters --- (1200 ppm = PAC-1)



## Parametrit metanolisäiliön ja vallitilan tulipalolle

### SITE DATA:

Location: ÄNEKOSKI, SUOMI  
 Building Air Exchanges Per Hour: 1 (user specified)  
 Time: May 3, 2018 0922 hours ST (using computer's clock)

### CHEMICAL DATA:

Chemical Name: METHANOL  
 CAS Number: 67-56-1      Molecular Weight: 32.04 g/mol  
 AEGL-1 (60 min): 530 ppm    AEGL-2 (60 min): 2100 ppm    AEGL-3 (60 min): 7200 ppm  
 IDLH: 6000 ppm    LEL: 71800 ppm    UEL: 365000 ppm  
 Ambient Boiling Point: 64.7° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.13 atm  
 Ambient Saturation Concentration: 127,124 ppm or 12.7%

### ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

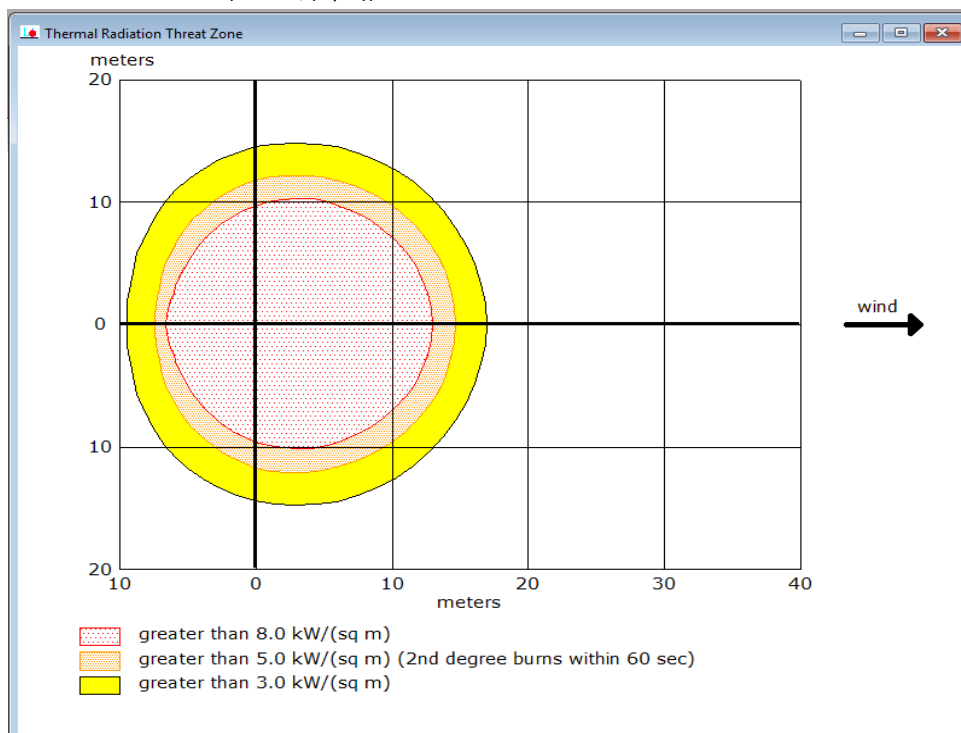
Wind: 4 meters/second from SW at 3 meters  
 Ground Roughness: open country      Cloud Cover: 5 tenths  
 Air Temperature: 20° C      Stability Class: D  
 No Inversion Height      Relative Humidity: 50%

### SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in vertical cylindrical tank  
 Flammable chemical is burning as it escapes from tank  
 Tank Diameter: 3.8 meters      Tank Length: 4.4 meters  
 Tank Volume: 49.9 cubic meters  
 Tank contains liquid      Internal Temperature: 20° C  
 Chemical Mass in Tank: 39,640 kilograms  
 Tank is 100% full  
 Circular Opening Diameter: 25 centimeters  
 Opening is 0 meters from tank bottom  
 Max Flame Length: 6 meters  
 Burn Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
 Max Burn Rate: 101 kilograms/min  
 Total Amount Burned: 6,030 kilograms  
 Note: The chemical escaped as a liquid and formed a burning puddle.  
 The puddle spread to a diameter of 11.4 meters.

### THREAT ZONE:

Threat Modeled: Thermal radiation from pool fire  
 Red : 13 meters --- (8.0 kW/(sq m))  
 Orange: 15 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)  
 Yellow: 17 meters --- (3.0 kW/(sq m))



1 (1)

## Parametrit 10 min putkistovuodosta aiheutuvaan lammikkopaloon metanolille

## SITE DATA:

Location: ÄÄNEKOSKI, SUOMI  
 Building Air Exchanges Per Hour: 1 (user specified)  
 Time: April 29, 2018 1343 hours ST (using computer's clock)

## CHEMICAL DATA:

Chemical Name: METHANOL  
 CAS Number: 67-56-1 Molecular Weight: 32.04 g/mol  
 AEGL-1 (60 min): 530 ppm AEGL-2 (60 min): 2100 ppm AEGL-3 (60 min): 7200 ppm  
 IDLH: 6000 ppm LEL: 71800 ppm UEL: 365000 ppm  
 Ambient Boiling Point: 64.7° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.13 atm  
 Ambient Saturation Concentration: 127,124 ppm or 12.7%

## ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 4 meters/second from SW at 3 meters  
 Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths  
 Air Temperature: 20° C Stability Class: D  
 No Inversion Height Relative Humidity: 50%

## SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in vertical cylindrical tank  
 Flammable chemical escaping from tank (not burning)  
 Tank Diameter: 3.8 meters Tank Length: 4.4 meters  
 Tank Volume: 49.9 cubic meters  
 Tank contains liquid Internal Temperature: 20° C  
 Chemical Mass in Tank: 39,640 kilograms  
 Tank is 100% full  
 Circular Opening Diameter: 25 centimeters  
 Opening is 0 meters from tank bottom  
 Ground Type: Concrete  
 Ground Temperature: equal to ambient  
 Max Puddle Diameter: Unknown  
 Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
**Max Average Sustained Release Rate: 461 kilograms/min**  
 (averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 23,248 kilograms

Note: The chemical escaped as a liquid and formed an evaporating puddle.  
 The puddle spread to a diameter of 104 meters.

Lasketaan muodostuvan lammikon halkaisija 10 min aikana  
 maksimi ulosvirtausnopeuden ja tiheyden avulla  
 Oletetaan lammikon syvyydeksi 1 cm

$d = \text{lammikon halkaisija}$   $m = \text{massavirta}$   $t = \text{aika}$   $\rho = \text{tiheys}$   $h = \text{lammikon syvyys}$

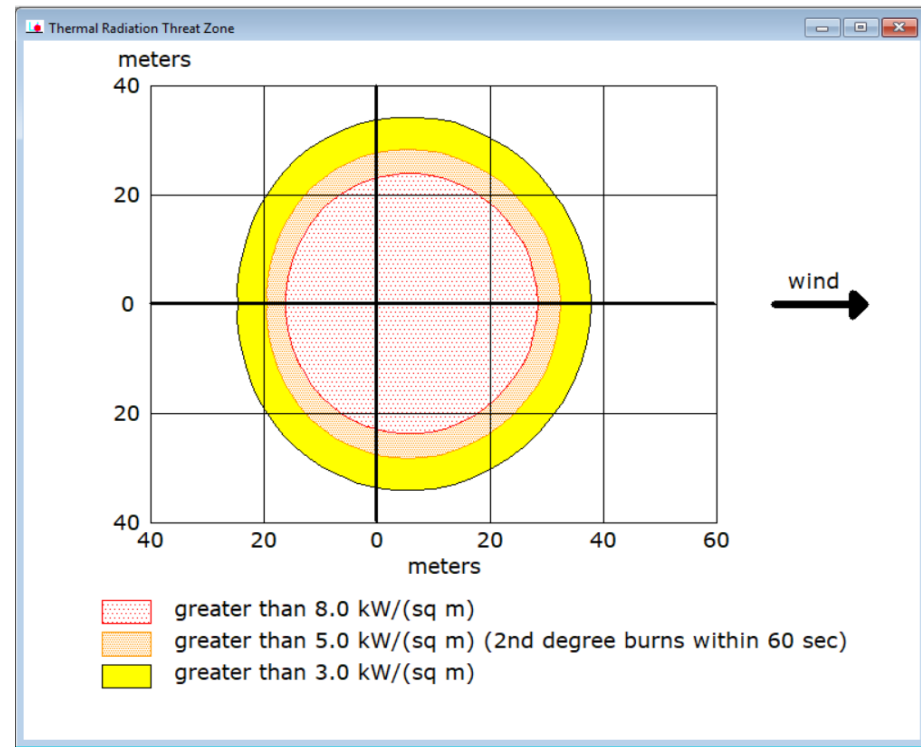
$$d = 2 * \sqrt{\frac{\dot{m} * t / \rho}{\pi * h}}$$

## SOURCE STRENGTH:

Burning Puddle / Pool Fire  
 Puddle Diameter: 27.2 meters Puddle Mass: 4610 kilograms  
 Initial Puddle Temperature: Air temperature  
 Flame Length: 11 meters Burn Duration: 8 minutes  
 Burn Rate: 573 kilograms/min  
 Total Amount Burned: 4,610 kilograms

## THREAT ZONE:

Threat Modeled: Thermal radiation from pool fire  
 Red : 29 meters --- (8.0 kW/(sq m))  
 Orange: 33 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)  
 Yellow: 38 meters --- (3.0 kW/(sq m))



## Parametrit tyhjän metanolisäiliön räjähdykselle

## SITE DATA:

Location: ÄÄNEKOSKI, SUOMI  
 Building Air Exchanges Per Hour: 1 (user specified)  
 Time: April 14, 2018 1003 hours ST (using computer's clock)

## CHEMICAL DATA:

Chemical Name: METHANOL  
 CAS Number: 67-56-1 Molecular Weight: 32.04 g/mol  
 AEGL-1 (60 min): 530 ppm AEGL-2 (60 min): 2100 ppm AEGL-3 (60 min): 7200 ppm  
 IDLH: 6000 ppm LEL: 71800 ppm UEL: 365000 ppm  
 Ambient Boiling Point: 64.7° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.13 atm  
 Ambient Saturation Concentration: 127,124 ppm or 12.7%

## ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 4 meters/second from SW at 3 meters  
 Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths  
 Air Temperature: 20° C Stability Class: D  
 No Inversion Height Relative Humidity: 50%

## SOURCE STRENGTH:

BLEVE of flammable liquid in horizontal cylindrical tank  
 Tank Diameter: 3.8 meters Tank Length: 4.4 meters  
 Tank Volume: 49.9 cubic meters  
 Tank contains liquid  
 Internal Storage Temperature: 20° C  
 Chemical Mass in Tank: 8.48 kilograms  
 Tank is 0.00% full  
 Percentage of Tank Mass in Fireball: 100%  
 Fireball Diameter: 12 meters Burn Duration: 2 seconds

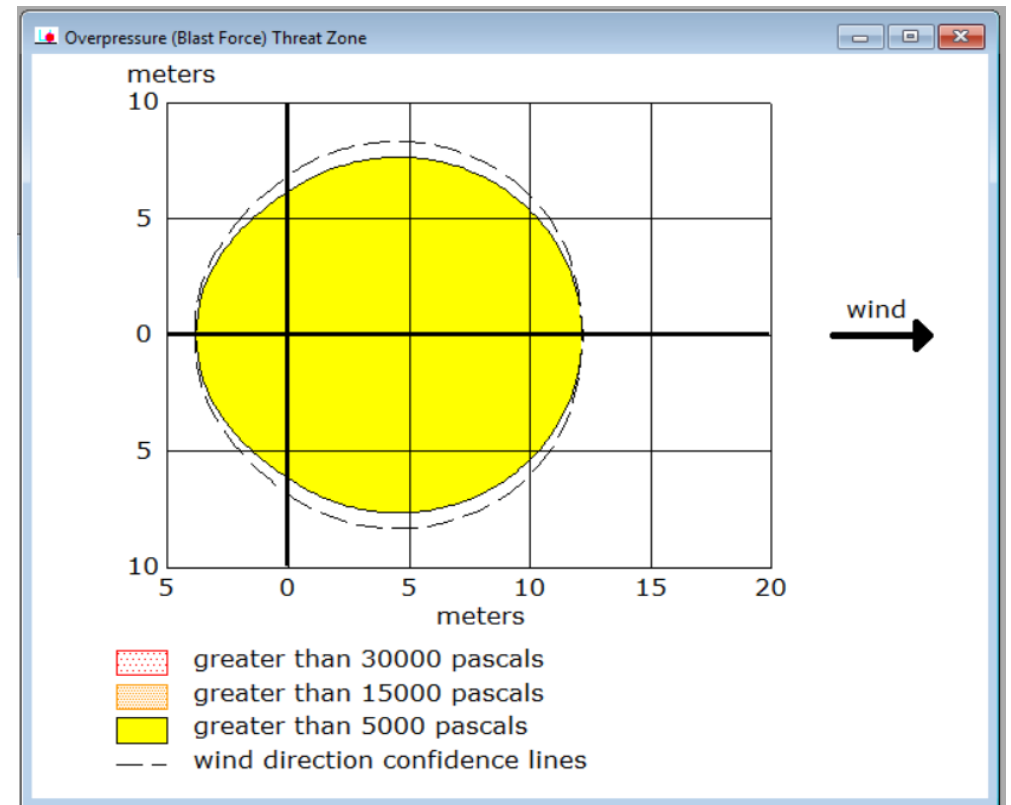
Valittiin säiliön täyttöasteeksi pienin mahdollinen luku 0.00001% eli 8,5 kg

## SOURCE STRENGTH:

Direct Source: 8.48 kilograms Source Height: 0  
 Release Duration: 1 minute  
 Release Rate: 141 grams/sec  
 Total Amount Released: 8.48 kilograms

## THREAT ZONE:

Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion  
 Type of Ignition: ignited by spark or flame  
 Level of Congestion: congested  
 Model Run: Heavy Gas  
 Red : LOC was never exceeded --- (30000 pascals)  
 Orange: less than 10 meters(10.9 yards) --- (15000 pascals)  
 Yellow: 12 meters --- (5000 pascals)





Parametrit höyrystyneen metanolipilven leviämiselle 4 m/s

SITE DATA:

Location: ÄANEKOSKI, SUOMI  
 Building Air Exchanges Per Hour: 1 (user specified)  
 Time: April 15, 2018 1741 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: METHANOL  
 CAS Number: 67-56-1 Molecular Weight: 32.04 g/mol  
 AEGL-1 (60 min): 530 ppm AEGL-2 (60 min): 2100 ppm AEGL-3 (60 min): 7200 ppm  
 IDLH: 6000 ppm LEL: 71800 ppm UEL: 365000 ppm  
 Ambient Boiling Point: 64.7° C  
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.13 atm  
 Ambient Saturation Concentration: 127,124 ppm or 12.7%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

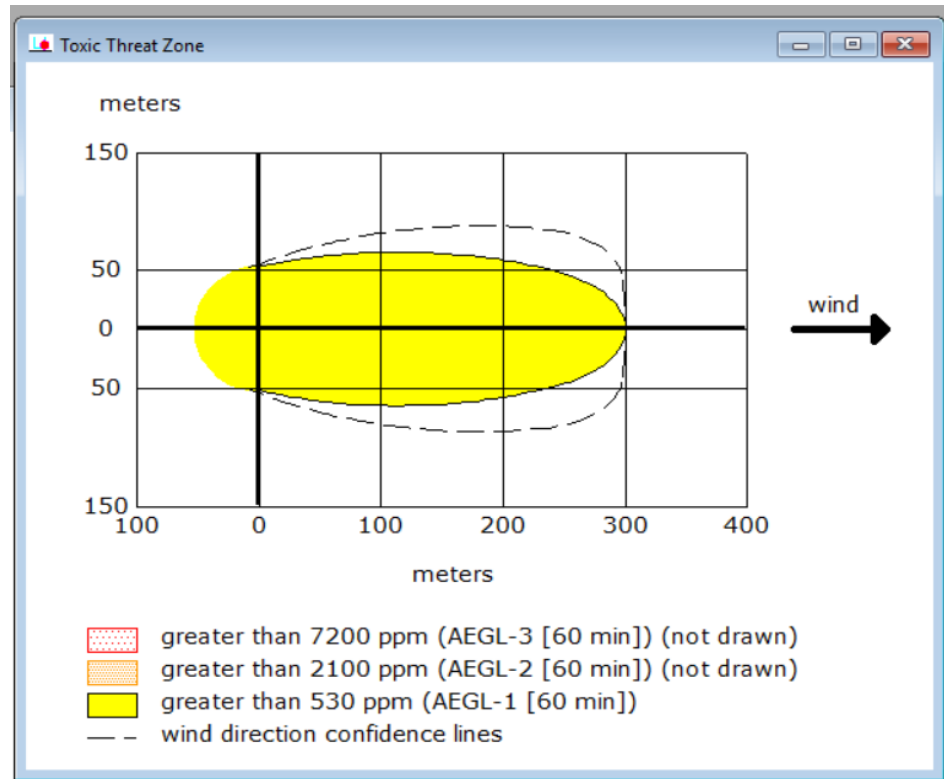
Wind: 4 meters/second from SW at 3 meters  
 Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths  
 Air Temperature: 20° C Stability Class: D  
 No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in vertical cylindrical tank  
 Flammable chemical escaping from tank (not burning)  
 Tank Diameter: 3.8 meters Tank Length: 4.4 meters  
 Tank Volume: 49.9 cubic meters  
 Tank contains liquid Internal Temperature: 20° C  
 Chemical Mass in Tank: 39,640 kilograms  
 Tank is 100% full  
 Circular Opening Diameter: 25 centimeters  
 Opening is 0 meters from tank bottom  
 Ground Type: Concrete  
 Ground Temperature: equal to ambient  
 Max Puddle Diameter: Unknown  
 Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
 Max Average Sustained Release Rate: 419 kilograms/min  
 (averaged over a minute or more)  
 Total Amount Released: 20,464 kilograms  
 Note: The chemical escaped as a liquid and formed an evaporating puddle.  
 The puddle spread to a diameter of 105 meters.

THREAT ZONE:

Model Run: Gaussian  
 Red : 52 meters --- (7200 ppm = AEGL-3 [60 min])  
 Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictions are unreliable for lengths less than the maximum diameter of the puddle.  
 Maximum diameter of the puddle: 105 meters  
 Orange: 94 meters --- (2100 ppm = AEGL-2 [60 min])  
 Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictions are unreliable for lengths less than the maximum diameter of the puddle.  
 Maximum diameter of the puddle: 105 meters  
 Yellow: 302 meters --- (530 ppm = AEGL-1 [60 min])



### Parametrit höyrystyneen metanolipilven leviämiselle 10 m/s

**SITE DATA:**

Location: ÄANEKOSKI, SUOMI  
Building Air Exchanges Per Hour: 1 (user specified)  
Time: April 29, 2018 1500 hours ST (using computer's clock)

**CHEMICAL DATA:**

Chemical Name: METHANOL  
CAS Number: 67-56-1      Molecular Weight: 32.04 g/mol  
AEGL-1 (60 min): 530 ppm    AEGL-2 (60 min): 2100 ppm    AEGL-3 (60 min): 7200 ppm  
IDLH: 6000 ppm    LEL: 71800 ppm    UEL: 365000 ppm  
Ambient Boiling Point: 64.7° C  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.13 atm  
Ambient Saturation Concentration: 127,124 ppm or 12.7%

**ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)**

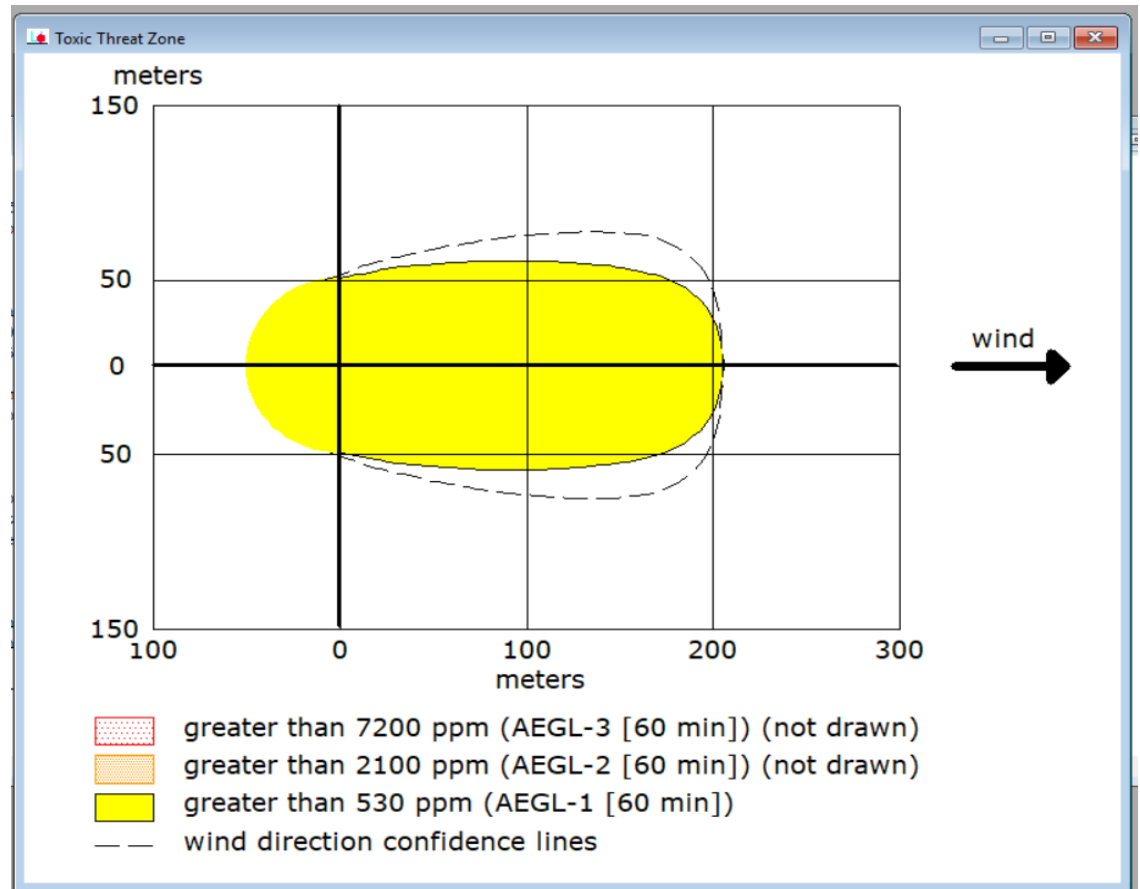
Wind: 10 meters/second from SW at 3 meters  
Ground Roughness: open country    Cloud Cover: 5 tenths  
Air Temperature: 20° C      Stability Class: D  
No Inversion Height      Relative Humidity: 50%

**SOURCE STRENGTH:**

Leak from hole in vertical cylindrical tank  
Flammable chemical escaping from tank (not burning)  
Tank Diameter: 3.8 meters      Tank Length: 4.4 meters  
Tank Volume: 49.9 cubic meters  
Tank contains liquid      Internal Temperature: 20° C  
Chemical Mass in Tank: 39,640 kilograms  
Tank is 100% full  
Circular Opening Diameter: 25 centimeters  
Opening is 0 meters from tank bottom  
Ground Type: Concrete  
Ground Temperature: equal to ambient  
Max Puddle Diameter: Unknown  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Average Sustained Release Rate: 710 kilograms/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 34,188 kilograms  
Note: The chemical escaped as a liquid and formed an evaporating puddle.  
The puddle spread to a diameter of 99 meters.

**THREAT ZONE:**

Model Run: Gaussian  
Red : 50 meters --- (7200 ppm = AEGL-3 [60 min])  
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness make dispersion predictions less reliable for short distances.  
Orange: 77 meters --- (2100 ppm = AEGL-2 [60 min])  
Note: Threat zone was not drawn because dispersion predictions are unreliable for lengths less than the maximum diameter of the puddle.  
Maximum diameter of the puddle: 99 meters  
Yellow: 206 meters --- (530 ppm = AEGL-1 [60 min])



## Mallinnuksien tulostaulukko

Onnettomuustilanne		Vaara-alueiden raja-arvot	Etyyliasettaatti			Metanoli		
			Punainen (m)	Oranssi (m)	Keltainen (m)	Punainen (m)	Oranssi (m)	Keltainen (m)
Säiliön ja vallitilan palo		8-5-3 kW	23	27	32	13	15	17
Putkistovuodosta aiheutuva tulipalo		8-5-3 kW	62	74	90	29	33	38
Tyhjän puhdistamattoman säiliön räjähdys		30-15-5 kPa	11	15	32	-	<10	12
Kaasupilven leviäminen	Etyyliasettaatti (PAC)	1200-1700-10 000 ppm	-	160	207			
	Metanoli (AEGL) 4 m/s	530-2100-7200 ppm				53	100	338
	Metanoli (AEGL) 10 m/s	530-2100-7200 ppm				50	77	206

Värien selitykset:

Punainen = Raja-arvoltaan suurimman vaara-alueen säde

Oranssi = Raja-arvoltaan keskimmäisen vaara-alueen säde

Keltainen = Raja-arvoltaan pienimmän vaara-alueen säde

1 (1)

## Säiliöiden layout-piirustus

