

# RAPORTTI

## Vaaranarviointi

### Raasepori kaupunki/ Riskianalyysin laatiminen, VAK-kuljetukset rautatiellä

(Päivitys kommentointia varten)



Sweco  
Valimotie 9  
P.O. Box 75  
FI 00381 Helsinki, Finland  
Telephone +358 (0) 20 752 6000  
Fax +358 (0) 20 752 6001  
www.sweco.fi

Sweco Industry Oy  
Reg.no 0350941-9  
Reg. office: Helsinki

Member of the Sweco Group

Tapio Nurmi  
Senior Specialist  
CMI  
Telephone direct +358 20 752 6432  
Mobile +358 50 594 2753  
tapio.nurmi@sweco.fi

<b>VAARANARVIOINTI/ RAASEPORI/ SÄILIÖVAUNUN SUISTUMINEN</b>	04.02.2015
	TNur
	Projekti F12535 Vaaranarviointi
	Kommentointia varten

**Raaseporin kaupunki  
Vaaranarviointi**

**SISÄLLYSLUETTELO**

1	Yleistä laskennasta.....	2
2	Tarkasteltavat skenaariot.....	5
3	Säiliövaunun lammikkopalo (liitteet 1 ja 2) .....	5
3.1	Yleistä .....	5
3.2	Vaunu suistuu tunnelin keskellä .....	6
3.2.1	Kevyt polttoöljy .....	6
3.6	Vaunu suistuu tunnelin sisään- tai ulosmenopäässä. ....	7
3.3.1	Kevyt polttoöljy .....	7
3.3.2	Etanoli .....	8
3.4	Vaunu suistuu ko. rataosuudella (oletetaan, ettei tunnelia ole rakennettu).....	8
3.5	BLEVE .....	9
3.5.1	Yleistä .....	9
3.5.2	Nestekaasuvaunun vaurioituminen ja sitä seuraava BLEVE.....	9
3.6	Vaunu suistuu ko. rataosuudella (oletetaan, ettei tunnelia ole rakennettu).....	10
4.	Varautuminen eri vaaratilanteisiin.....	10
5.	Evakuointi lähellä olevista rakennuksista .....	11
6.	Johtopäätökset ja varautumiset mahdollisiin vaaratilanteisiin.....	11
6.1.	Vaunun suistumisesta aiheutuva lammikkopalo .....	11
6.1.1.	Valitut skenaariot.....	11
6.1.2.	Varautuminen mahdolliseen lammikkopaloon.....	11
6.2.	BLEVE -ilmiö .....	12
6.2.1.	Varautuminen BLEVE -ilmiöön .....	12

LIITTEET: Liite 1. Sääolosuhteet  
 Liite 2. Vaarallisten aineiden kuljetuksia (VAK) v. 2009 ja 2011  
 Hanko-Hyvinkää – rataosuudella

## **Raasepori kaupunki/ Riskianalyysin laatiminen, VAK-kuljetukset rautatiellä**

### **1 Yleistä laskennasta**

Tämä raportti käsittelee vaaranarviointia koskien Tammisaaren keskustaan, ydinkeskustan välittömään läheisyyteen rakennettavaa kauppakeskusta. Aluetta halkoo rautatiealue, jota pitkin kulkee Hanko-Hyvinkää – rata. Kauppakeskus rakennetaan osittain ko. rataosuuden päälle. Rataosuudella kulkee sekä henkilö- että tavaraliikennettä.

Tavaraliikenne on sisältänyt myös vaarallisten aineiden kuljetuksia (VAK) v. 2009 ja 2011. Nykyisin kuljetukset ovat mm. paperituotteita, autoja jne. Mm. rikkidioksidin kuljetus Sapille, Kirkniemeen tapahtuu Riihimäen kautta.

Riskienanalyysin avulla voidaan arvioida alueen käytön mahdollisuuksia kaavan mukaiseen käyttötarkoitukseen sekä varautua riskien ennaltaehkäisyyn ja hallintaan suunnittelun ja rakentamisen aikana. Hankkeesta ei ole tehty aikaisempaa riskienarviointia.

Riskiä tunneliosuudella pienentää junien maksiminopeus, joka on 50 km/h, sekä yksiraiteisuus, jolloin ei ole vastaantulevaa eikä risteävää liikennettä.

Junavaunun maksiminettopaino on 60 tonnia (75 m<sup>3</sup>). Tarkasteltaviksi kemikaaleiksi valittiin kevyt polttoöljy, etanoli ja nestekaasu (propaani).

Vaunun pituus on n. 20m (tarkka pituus riippuu vaunutyyppistä). Tyhjennys yleensä pohjaventtiilin kautta, täyttö ylhäältä.

Tarkastelu on keskittynyt kevyen polttoöljyn, etanolin ja nestekaasun eri vaaratilanteiden tarkasteluun tunneliosuuden osalta ja sen ulkopuolella, mahdollisten onnettomuustilanteiden seurauksiin ja estämiseen.

Tarkasteltavia vaaratilanteita oli kaikkiaan viisi:

- polttoöljyn ja etanolin osalta yhteensä neljä (kummankin kemikaalin osalta kaksi):
  - allaspalo (junanvaunua ympäröivä rataosuus tunnelin sisällä) → lämpösäteily
  - allaspalo (junanvaunua ympäröivä rataosuus tunnelin päissä) → lämpösäteily
- nestekaasun osalta yksi:
  - BLEVE → paineaalto

Laskenta on tehty Det Norske Veritasin PHAST 6.4 (Process Hazard Analysis software tool) ohjelmalla. Raskaan polttoöljyn ominaisuuksia (leimahduspiste, tiheys...) käytettiin öljyn koostumuksen arvioinnissa. Saatujen öljyn komponenttien ominaisuudet löytyivät PHAST:in ainetietopankista. Ohjelmaa käytetään paljon prosessi- ja öljynjalostusteollisuudessa. Se on ehkä yksi tunnetuimpia kemikaalien ja vaaranarvioinnissa leviämässä käytetyistä mallin-usohjelmista.

Laskennat on tehty eri tuulennopeuksilla vaikka sääolosuhteet muuten ovat olleet stabiilit (stabiili D).

Laskentalämpötiloina on käytetty 10°C.

Tuulennopeudet ovat 1,0 m/s, 3,0 m/s ja 5,0 m/s. Vaaranarviointia on tarkasteltu kauppakeskusalueelta olevien lay-out piirustusten avulla.

#### Taulukko 1. Sääolosuhteet

Tapaus	Tuulen nopeus	Pasquill-Gifford (stabiilisuusluokka)	Huomioitavaa
A	1,0 m/s	D (stabiili)	
B	3,0 m/s	D (stabiili)	
C	5,0 m/s	D (stabiili)	

Raportissa on esitetty lämpösäteily kolmessa edellä mainitussa säätyypissä.

Kevyen polttoöljyn palamislämpö ja alempi (LFL) ja ylempi (UEL) syttymisraja on esitetty taulukossa 2.

#### Taulukko 2. Kevyen polttoöljyn alempi ja ylempi syttymisraja ja palamislämpö.

Kaasu	LFL (25°C)	UEL (25°C)	Palamislämpö
Kevyt polttoöljy	0.6 %	7.5 %	45.7 MJ/kg
Etanoli	3,0-3,3%	19%	

Lämpösäteilyvaikutusten arvioimiseksi lasketaan yleensä etäisyydet, jotka vastaavat säteilyarvoja:

1,5, 3,0 5,0, 8,0 ja 12,0 kW/m<sup>2</sup> (12 kW/m<sup>2</sup> maakaasulle, esim. TUKES:in ohjeistus).

Painevaikutusten arvioimiseksi lasketaan yleensä etäisyydet, jotka vastaavat painearvoja: 5, 15 ja 30 kPa (esim. TUKES:in ohjeistus)

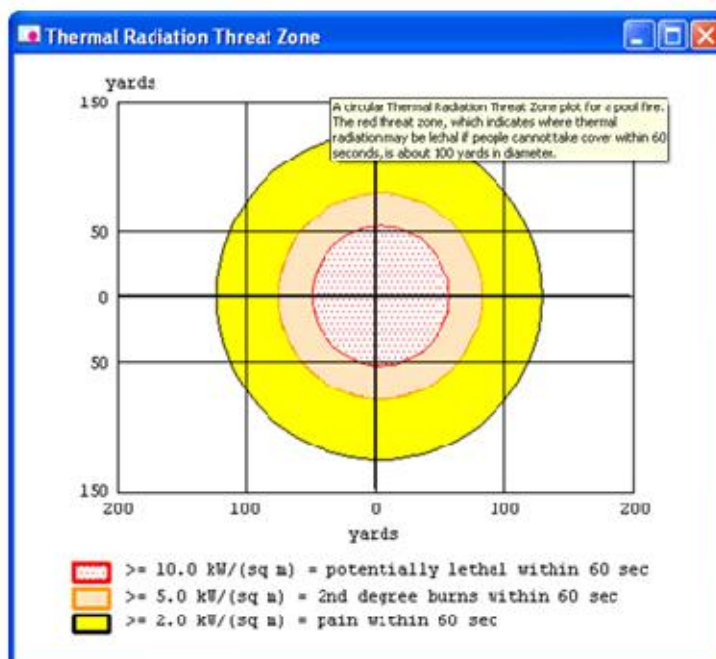
Taulukossa 3 on esitetty lämpösäteilyn aiheuttamat fysiologiset vaikutukset:

Taulukko 3. Lämpösäteilyn aiheuttamat fysiologiset vaikutukset

Lämpösäteily kW/m <sup>2</sup>	Altistusaika, kun henkilö tuntee kipua	Altistusaika toisen asteen palovammojen syntymiselle
1	115	663
2	45	187
3	27	92
4	18	57
5	13	40
6	11	30
8	7	20
10	5	14
12	4	11

Federal Emergency Management Agency, U.S. Department of Transportation, and U.S. Environmental Protection Agency. 1988. *Handbook of Chemical Hazard Analysis Procedures*. Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency Publications Office.

Esimerkkinä on alla esitetty termiset säteilyarvot lammikkopalossa etäisyyden funktiona (1 yard = 0,9144 m)



Kuva 1. Termiset säteilyarvot lammikkopalossa

Taulukossa 4 on esitetty painevaikutukset rakennuksiin ja ihmisiin eri painearvoilla.

Taulukko 4 Painevaikutukset eri painearvoilla (100 kPa = 1 bar ~ 1 atmosfääri)

Ylipaine- piikki	Vaikutus rakenteisiin	Vaikutukset ihmisiin
7 kPa	Ikkunat hajoavat sirpaleiksi	Lieviä vammoja sirpaleista
14 kPa	Kohtalaisia vahinkoja rakennuksille	Ihmiset saavat vammoja lentävistä lasinsirpaleista ja muista heitteistä
21 kPa	Asuinrakennukset romahtavat	Vakavat vammat ovat tavallisia, kuolintapauksia tapahtuu
34 kPa	Useimmat rakennukset romahtavat	Kuolintapauksia laajalti
69 kPa	Raudoitetut betonirakenteet ovat pahoin vaurioituneet	Useimmat ihmiset ovat kuolleet

## 2 Tarkasteltavat skenaariot

Tarkastelut on tehty ilman turvalaitteita (murtokalvot, heikennetyt hitsausaumat jne.).

Sääolosuhteet ja muut oletukset on esitetty liitteessä 1.

## 3 Säiliövaunun lammikkopalo (liitteet 1 ja 2)

### 3.1 Yleistä

Säiliövaunun lammikkopalossa on tarkasteltu lämpösäteilyä neljässä eri tapauksessa. Molemmissa tapauksissa säiliövaunu suistuu raiteelta, jonka seurauksena vaunun pohjaventtiili hajoaa ja alkaa vuotaa. Vuodon seurauksena syntynyt öljylammikko sytty palamaan. Osin öljy imeytyy nopeasti ratapengeralueeseen, joka rajaa lammikon kokoa. Skenaariot ovat seuraavat.

1. Vaunu suistuu tunnelin keskellä.
2. Vaunu suistuu joko tunnelin sisään- tai ulosmenopäässä I. lähellä tunnelin aukkoja.

Lämpösäteilyä on tarkasteltu lähimpien rakennusten osalta. Tarkastelut ovat esitetty liitteissä 1 ja 2.

Lähimmät rakennukset ovat liike- tai toimistorakennuksia.

Lämpösäteilyn laajuutta on tarkasteltu seuraavilla lämpösäteilyarvoilla: 1.5, 3, 5, 8 ja 12 kW/m<sup>2</sup>.

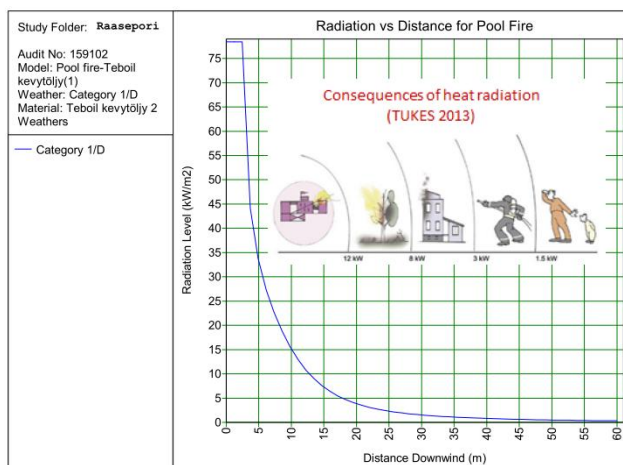
## 3.2 Vaunu suistuu tunnelin keskellä

### 3.2.1 Kevyt polttoöljy

Ensimmäisessä skenaariossa säiliövaunu (KPÖ) suistuu tunnelin keskellä ja vaunun pohjaventtiili vaurioituu ja alkaa vuotaa. Vuodon seurauksena syntyy halkaisijaltaan n. 6 m leveä lammikko, joka syttyy palamaan.

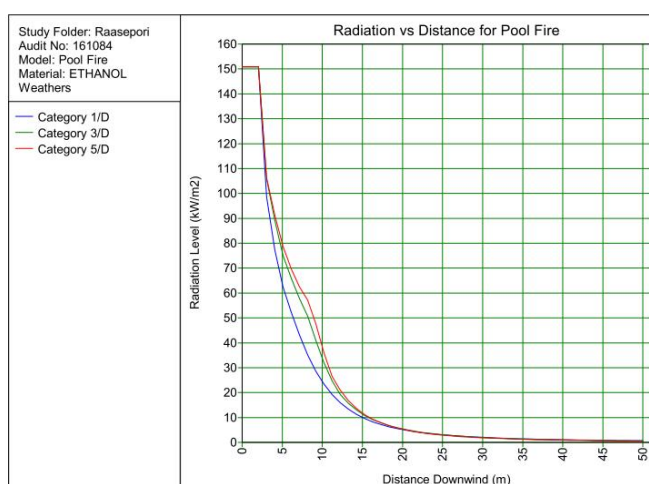
Tarkastelun pohjalta syntyvä lämpösäteily jää tunnelin sisälle eikä täten aiheuta vaaraa ympäristöön.

Lisäksi syntyvät palokaasut poistuvat tunnelin päistä ja osin estävät ilman tuloa palopaikalle. Täten paloa voidaan osin pitää ilmarajoitteisena.



Kuva 2. Lammikkopalo ( $d_{\text{lammikko}} = 6,0$  m), kun säiliövaunu suistuu raiteelta ja sen pohjaventtiili alkaa vuotaa ja muodostaa halkaisijaltaan 6 m olevan lammikon. Säteilyn intensiteetti ( $\text{kW/m}^2$ ) etäisyyden funktiona vaunun vuotokohdan laskennallisesta keskipisteestä tapauksessa.

### 3.2.1 Etanoli

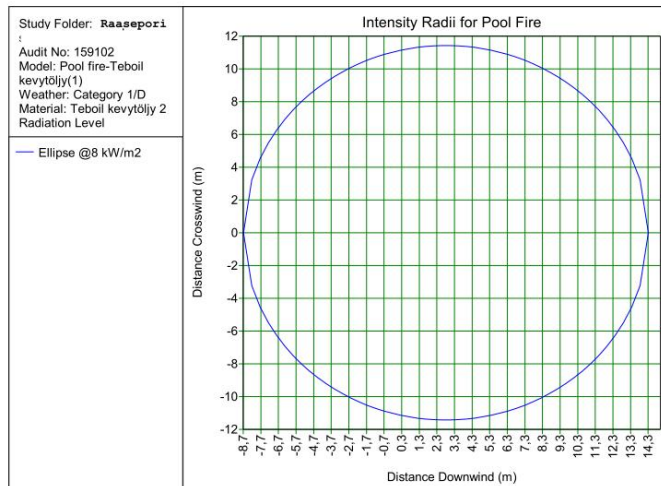


Kuva 3. Lammikkopalo ( $d_{\text{lammikko}} = 6,0$  m), kun säiliövaunu suistuu raiteelta ja sen pohjaventtiili alkaa vuotaa ja muodostaa halkaisijaltaan 6 m olevan lammikon. Säteilyn intensiteetti ( $\text{kW/m}^2$ ) etäisyyden funktiona vaunun vuotokohdan laskennallisesta keskipisteestä tapauksessa.

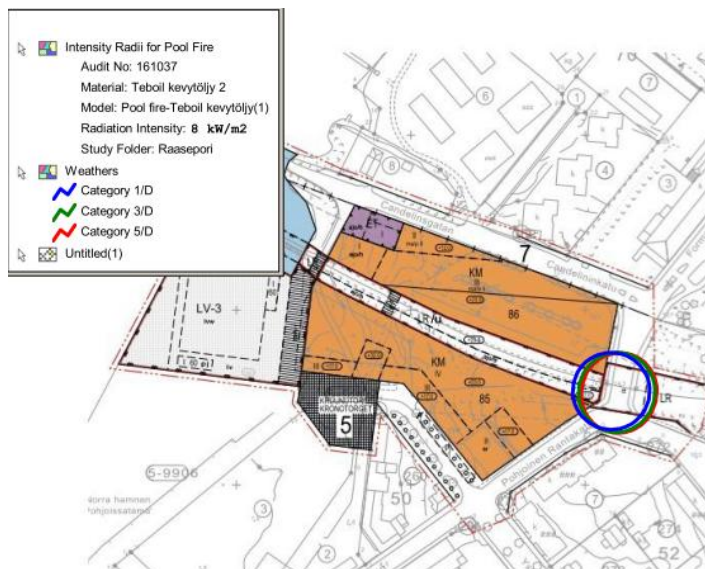
### 3.6 Vaunu suistuu tunnelin sisään- tai ulosmenopäässä.

#### 3.3.1 Kevyt polttoöljy

Toisessa skenaariossa vaunu suistuu tunnelin suulla, jolloin mahdollisen lammikkopalon seurauksena syntynyt säteily ulottuu laajemmalle alueelle. Muutoin tapaus on vastaava kuin edellä.



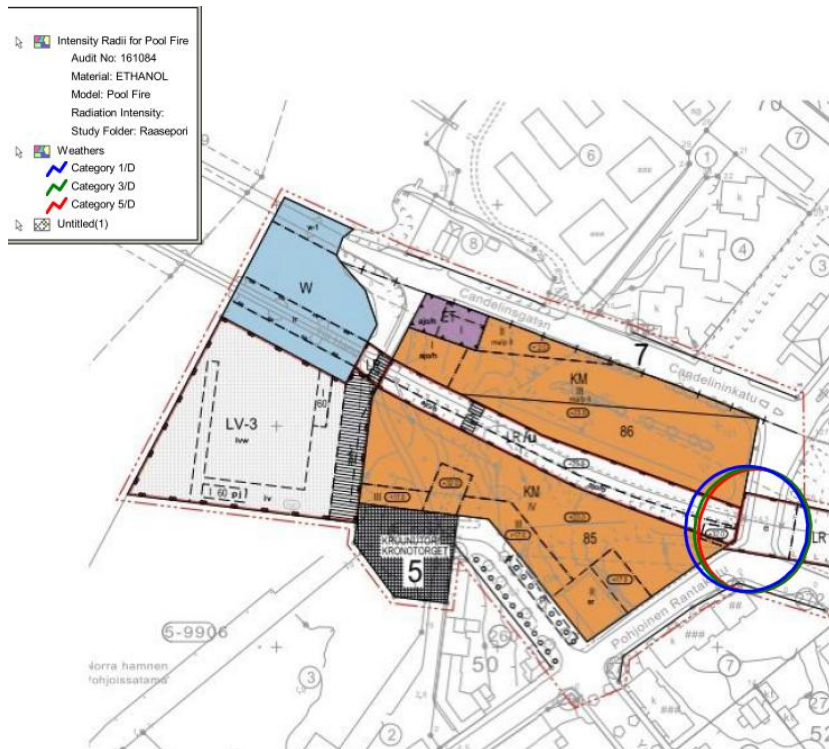
Kuva 4. Lammikkopalo ( $d_{\text{lammikko}} = 6,0 \text{ m}$ ), kun säilövaunu suistuu raiteelta ja sen pohjaventtiili alkaa vuotaa ja muodostaa halkaisijaltaan 6 m olevan lammikon.



Kuva 5. Lammikkopalo ( $d_{\text{lammikko}} = 6,0 \text{ m}$ ), kun säilövaunu suistuu raiteelta tunnelin päässä ja sen pohjaventtiili alkaa vuotaa ja muodostaa halkaisijaltaan 6 m olevan lammikon. Säteilyn intensiteetti ( $8 \text{ kW/m}^2$ ) etäisyyden funktiona vaunun vuotokohdasta.



### 3.3.2 Etanoli



Kuva 6. Lammikkopalo ( $d_{\text{lammikko}} = 6,0 \text{ m}$ ), kun säilövaunu suistuu raiteelta tunnelin päässä ja sen pohjaventtiili alkaa vuotaa ja muodostaa halkaisijaltaan 6 m olevan lammikon. Säteilyn intensiteetti ( $8 \text{ kW/m}^2$ ) etäisyyden funktiona vaunun vuotokohdasta.

### 3.4 Vaunu suistuu ko. rataosuudella (oletetaan, ettei tunnelia ole rakennettu)

Tällöin lämpösäteily ulottuu puolipallomaisesti (pallon säde 10...20m, intensiteetti  $8 \text{ kW/m}^2$ ) koko ympäristöön, koska tunnelin suojaava vaikutus puuttuu. Mekaanisia esteitä voidaan käyttää suojaamaan säteilyn suorilta vaikutuksilta, kuten oheisessa suunnitelmassa on toteutettu tunnelin avulla. Jos lammikkopalo tapahtuu lähellä tunnelin suuta, lämpösäteilyn vaikutukset tuntuvat myös ympäristössä kuvan 6 mukaisesti.

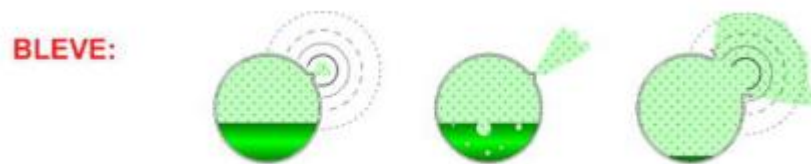
Yhteenvedona voidaan todeta, että suunniteilla oleva tunneli pienentää lämpösäteilyn riskejä ympäristöön.

### 3.5 BLEVE

#### 3.5.1 Yleistä

Säiliön kuoren vaurioitumisesta seuraa paineen nopea lasku säiliössä, jonka seurauksena nestepropani alkaa kiehua voimakkaasti aiheuttaen mahdollisesti voimakkaan paineen nousun ja säiliön osittaisen/ täydellisen tuhoutumisen.

Ns. tulipallo (fireball) saattaa seurata bleve-tapahtumaa. Tällöin mahdolliset vauriot ovat seurausta voimakkaasta lämpösäteilystä.

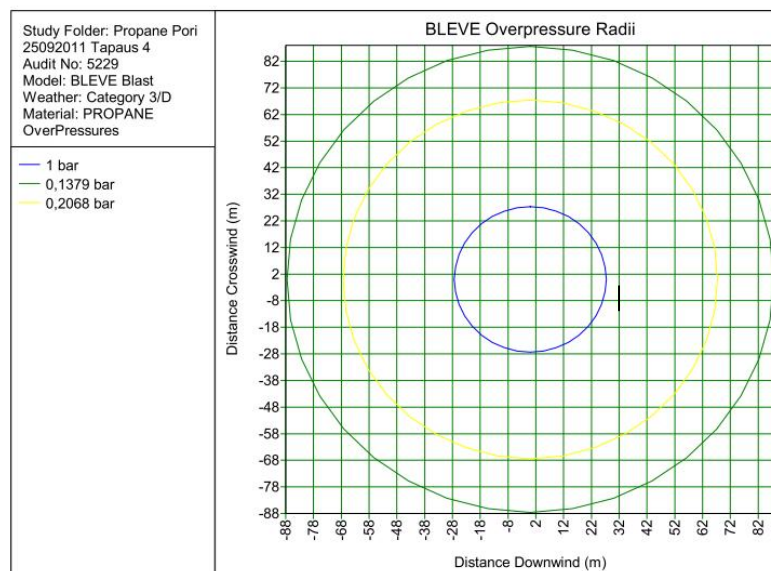


Kuva 7. BLEVE — tapahtuman eteneminen pallosäiliössä.

#### 3.5.2 Nestekaasuvaunun vaurioituminen ja sitä seuraava BLEVE

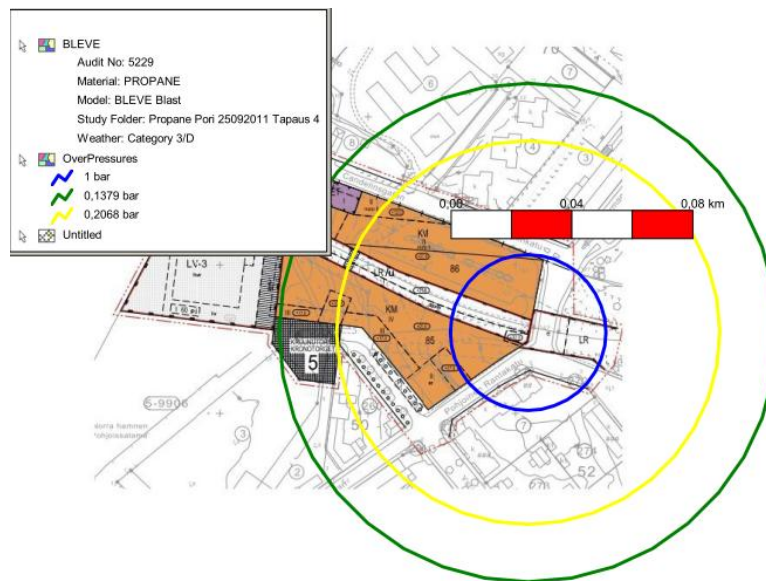
Ohessa on tarkasteltu nestekaasua sisältävän junanvaunun suistumista ja sitä seuraavaa BLEVE –ilmiötä. Nestekaasuvaunujen nettopaino on vaunutyyppistä ja kaasusta riippuen 32-42 tn. Suistumiskohta on tunnelin päässä.

Purkautuvan kaasun määräksi on arvioitu n. 20 tonnia.



Kuva 8. Propaanivaunun suistuminen ja sitä seuraava BLEVE-ilmiö

(1 bar = 100 kPa)



Kuva 9. Propanivaunun suistuminen ja sitä seuraava BLEVE-ilmio.

### 3.6 Vaunu suistuu ko. rataosuudella (oletetaan, ettei tunnelia ole rakennettu)

Jos BLEVE-ilmio tapahtuu suunnitellulla tunnelin keskiosuudella, syntyvä paineaalto voidaan poistaa hallitusti esim. paineenpurku-kuiluja myöten. Jos tunnelia ei ole, syntyvä paineaalto on kuvan 9 mukainen, jolloin esim. lähistöllä olevat rakennukset saattavat vaurioitua. Jos BLEVE-ilmio tapahtuu lähellä tunnelin suuta, osa paineesta purkautuu myös sen kautta. Yhteenvetona voidaan todeta, että suunnitteilla oleva tunneli suurelta osin pienentää mahdollisen BLEVE-ilmion seurauksia.

## 4. Varautuminen eri vaaratilanteisiin

Suosittelaaan, että tunneliin asennetaan paloilmoitusjärjestelmä ja alkusammutuska-lusto. Myöskin suositellaan videovalvontajärjestelmää. Suositellaan tarpeen mukaan automaattista palonsammutus- I. sprinklerisysteemiä.

Vaikka vaaratilanteet voidaan usein estää tai mahdollisia vahinkojen seurauksia mi-nimoida teknisin keinoin, on kuitenkin säännölliset paloviranomaisten kanssa järjes-tettävät koulutukset tärkeitä. Näitä tulee myös järjestää säännöllisesti.

## **5. Evakuointi lähellä olevista rakennuksista**

Koska toimisto- ja liikerakennusten osalta ei ollut tietoa suunnitelluista hätäpoistumisteistä, suositellaan tämä osuus tehtäväksi myöhemmin.

## **6. Johtopäätökset ja varautumiset mahdollisiin vaaratilanteisiin**

Riskiä tunneliosuudella pienentää junien maksiminopeus, joka on 50 km/h, sekä yksiraiteisuus, jolloin ei ole vastaantulevaa eikä risteävää liikennettä.

Myöskään VAK –kuljetuksia ei ole ollut vuoden 2011 jälkeen. Kuljetukset tällä hetkellä ovat lähinnä paperituotteita, autoja yms. Toisaalta tulevaisuutta on vaikea ennakoita, eikä VAK-kuljetuksia voida kokonaan pois sulkea. Seuraavassa on tarkasteltu saatuja laskentatuloksia sekä varautumista mahdollisiin onnettomuusskenaarioihin.

### **6.1. Vaunun suistumisesta aiheutuva lammikkopalo**

#### **6.1.1. Valitut skenaariot**

Tarkasteltaviksi skenaarioiksi valittiin junavaunun suistumista seuraava lammikkopalo. Kemikaaleiksi valittiin etanoli ja kevyt polttoöljy (KPÖ).

Laskelmien pohjalta todettiin, ettei tunnelin keskellä palosta aiheutuva lämpösäteily aiheuta vaaraa ympäristölle ympäröivien rakenteiden johdosta.

Tunnelin päässä olevan lammikkopalon aiheuttama säteily on vaarallista n. 15...20m:n päässä palokohteesta. Tällöin säteilyn voimakkuus on 5...10 kW/m<sup>2</sup>.

#### **6.1.2. Varautuminen mahdolliseen lammikkopaloon**

Seuraavilla suojaustoimenpiteillä pyritään rajaamaan paloalue mahdollisimman pieneksi, estämään lämpösäteilyn suorat vaikutukset ja poistamaan syntyneet palokaasut hallitusti.

- Radan sivustat on syytä peittää esimerkiksi salaojasepelillä avopalon välttämiseksi, suositellaan tarpeen mukaan automaattista palonsammutus- I. sprinkleri-järjestelmää

- Suositellaan käyttämään tunnelin kantavissa rakenteissa palamattomia ja palonkestäviä rakennusmateriaaleja
- Suositellaan rakentamaan tunneli ilmatiiviiksi savukaasujen leviämisen estämiseksi kauppakeskuksen tiloihin
- Tuuletus järjestetään niin, etteivät savukaasut mahdollisessa palotilanteessa aiheuta vaaraa ympäristölle
- Säteilyn suoranaisia vaikutuksia ympäristölle voidaan estää erilaisilla suojarakenteilla, esim. kevyillä suojamuureilla

## 6.2. BLEVE -ilmiö

Lammikkopalojen lisäksi tarkasteltiin BLEVE –ilmiötä, jossa propaania sisältävä vaunu suistuu raiteilta ja vaurioituu siten, että nestekaasua alkaa vuotaa ympäristöön.

Tällöin on mahdollista, että seurauksena on BLEVE, joka aiheuttaa voimakkaan paineaallon ympäristöön. Purkautuvaksi nestekaasumääräksi arvioitiin 20 tonnia.

Paineaallon voimakkuus oli 1 bar 20...30 metrin ja 0,15 bar 80 metrin päässä purkukohdasta.

### 6.2.1. Varautuminen BLEVE -ilmiöön

Koska BLEVE –ilmiötä pidetään ääritilanteena, sitä ei yleensä sovelleta rakenteiden yms. mitoittamiseen. Tästä on kuitenkin olemassa erilaisia käytäntöjä.

Ohessa on koottu erilaisia suojaustoimenpiteitä mahdollisen BLEVE –räjähdysvaikutusten minimoimiseksi.

- Suunnitellaan tunnelin rakenteet kestävämmän mahdollisimman hyvin räjähdyspainetta ja rajaamaan paineen vaikutusalue mahdollisimman pieneksi
- Ohjataan räjähdyspaineen purkautuminen hallitusti haluttuun suuntaan, esim. erillisiä kuiluja pitkin
- Pienennetään rakenteellisin keinoin paineaallon vaikutuksia, esim. siirtyvillä rakenteilla

BLEVE –ilmiön tarkastelemiseksi löytyy erilaista ohjeistusta. Oheinen ote on TUKES:n ohjeistuksesta v:lta 2013:

Tarkasteltaviksi onnettomuuksiksi ei ole syytä valita suuronnettomuustilannetta (bleve- räjähdys, kattilaräjähdys, varastosäiliön totaalinen repeäminen), jotka kuvaavat laitoksella mahdollisia ääritilanteita. Näiden tilanteiden kuvaamista edellytetään vain maksimivalmiuksien hahmottamiseen ja pelastussuunnitelmien laatimiseen.

**WEATHER CONDITIONS**

The main atmospheric parameters used in the calculations were the following:

- Atmospheric temperature: 9.85 °C
- Atmospheric pressure: 1.013 bar(a)
- Relative humidity: 70 %
- Atmospheric heat capacity: 1.004 kJ/kg K
- Surface roughness: 0.18 m
- Surface temperature: 9.85 °C
- Solar radiation flux: 0.5 kW/m<sup>2</sup>

Simulations were performed using Pasquill stability case D (neutral) which corresponds to moderate to slight daytime insolation and overcast nights.

Three wind speeds were used:

- 1 m/s (category 1/D), 3 m/s (category 3/D) and 5 m/s (category 5/D).

**OTHER ASSUMPTIONS:**

Pool fire cases:

- Radiation levels were calculated at the same height as the liquid level in the tank and at the ground level.

Explosion calculations:

- No energy is consumed in the deformation of the vessel and building structures.
- The blast overpressure curves were estimated for 5 kPa (15 kPa and 30 kPa) in the kettle explosion outside the building,
- The room height is 30 m and the overpressure shockwave was assumed to propagate in 2D (as opposed to 3D propagation in case of outdoor explosion).

## **Raasepori kaupunki/ Riskianalyysin laatiminen, VAK-kuljetukset rautatiellä v. 2009 jälkeen**

VAK-kuljetuksia Raaseporin keskustan läpi on ollut

- 2009
  - o Ammoniumnitraatti 3500 tonnia
  - o Typpihappo 700 tonnia
  - o Palavat nesteet 300 tonnia
  - o Ammoniumnitraatti 100 tonnia
  
- 2011
  - o Hiilisulfidi 1500 tonnia
  - o Typpihappo 100 tonnia

Vuoden 2011 jälkeen VAK-kuljetuksia ei ole ollut.



**ESIMERKKI**

**Lammikkopalo  
Lämpösäteily/ poistumisreitit**

Hatanpään Valtatie 11, 33100 Tampere

