
PATOLAAN SUUNNITELLUN PELLETTILÄMPÖKESKUKSEN SUURONNETTOMUUSVAAROJEN VAIKUTUSTEN ARVIOINTI

Tilaaaja: Helen Oy
Melina Laine
00090 Helen

Laatija MSA, ELA	Allekirjoitus	Pvm 17.10.2016
Tarkastaja HAR	Allekirjoitus	Pvm 17.10.2016
Hyväksyjä SEK	Allekirjoitus	Pvm 17.10.2016

SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	4
1.1. Lyhenteet	4
1.2. Asiakirjan tarkoitus	4
1.3. Lähtötiedot	5
1.4. Rajaukset	6
2. LAIT, ASETUKSET JA RISKIT	6
2.1. Tuotantolaitoksen sijoitus	6
2.2. Onnettomuusvaaran huomioon ottaminen	7
2.2.1. Lämpösäteilyn vaikutukset.....	7
2.2.2. Painevaikutukset ja heitteet	8
2.2.3. Terveysvaikutukset.....	8
2.3. Kemikaalivaraston sijoitus	9
2.4. Kemikaalivaraston sijoitus tuotantolaitoksen alueella.....	9
2.5. Pellettien käsittelyyn ja varastointiin liittyvät riskit	10
2.6. Kevyen polttoöljyn käsittelyyn ja varastointiin liittyvät riskit	11
3. MENETELMÄT	11
3.1. Lämpösäteilyn vaikutusten arviointi	11
3.2. Painevaikutusten arviointi	12
3.3. Terveysvaaran arviointi	12
4. LASKENTA JA TULOKSET	13
4.1. Olosuhteet ja laskennan reunaehdot	13
4.2. Kevennysluukun pinta-alan laskenta	14
4.3. Pelletin varastosiiilo.....	14
4.3.1. Kevennysluukku	15
4.3.2. Kevennetyt räjähdysten sisäinen painetarkastelu.....	15
4.3.3. Ulkoisen räjähdysten maksimipaine	16
4.3.4. Lämpösäteily	16
4.3.5. Savukaasujen leviäminen	17
4.4. Pelletin pölysiilo	19
4.4.1. Kevennysluukku	19
4.4.2. Kevennetyt räjähdysten sisäinen painetarkastelu.....	19
4.4.3. Ulkoisen räjähdysten maksimipaine	20
4.4.4. Lämpösäteily	20
4.4.5. Savukaasujen ja hiukkasten leviäminen	21
4.5. POK-säiliö	23
4.5.1. Lämpösäteily	23
4.5.2. Savukaasujen ja hiukkasten leviäminen	24
5. TULOSTEN ANALYSOINTI.....	26
5.1. Terveysvaikutukset.....	26
5.2. Lämpösäteily	27

5.3. Painevaikutukset	29
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	31
LÄHTEET	32

1. JOHDANTO

1.1. Lyhenteet

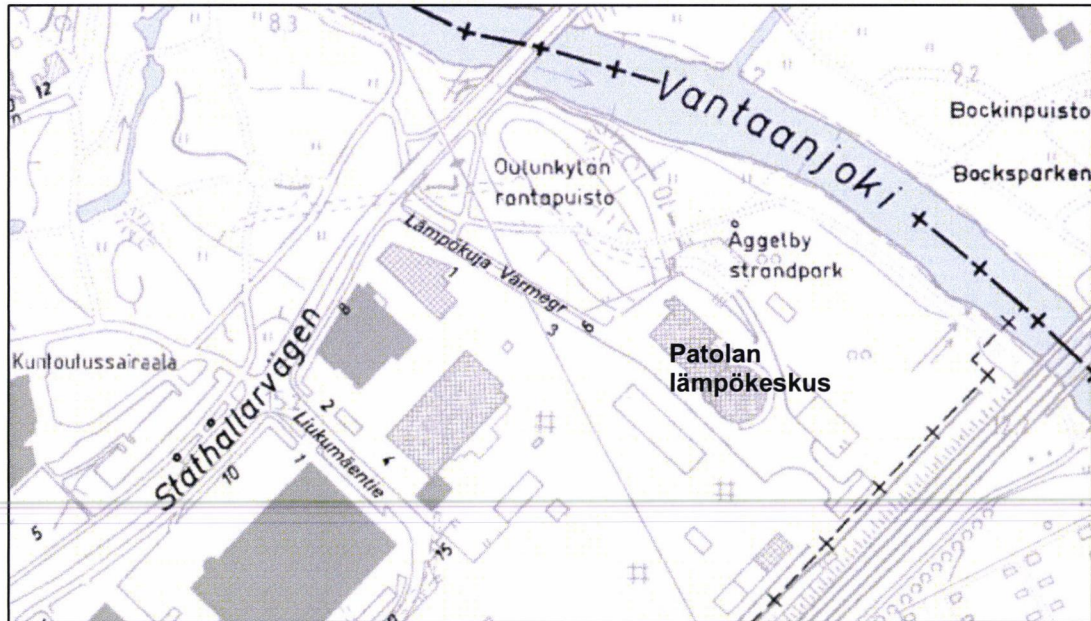
AEGL	Acute Emergency Guidance Levels
CFD	Computational Fluid Dynamics
CO	hiilimonoksidi
CO ₂	hiilidioksidi
K_{st}	pölyn räjähdysvakio
p_{max}	suurin räjähdysyksen ylipaine
$p_{red,max}$	suurin kevennetyn räjähdysyksen ylipaine
POK	kevyt polttoöljy
POR	raskas polttoöljy
SO ₂	rikkidioksidi
SVA	Suuronnettomuusvaarojen vaikutusten arviointi

1.2. Asiakirjan tarkoitus

Helen Oy:n Patolan lämpökeskuksen alueelle on suunnitteilla uusi puupellettiä käyttävä lämpökeskus apulaitteineen, kaksi pelletin varastosiiloa (1 300 m³) ja pellettipölysiilo (75 m³). Lisäksi laitoksen nykyisen 10 000 m³ POR-säiliön sisällä oleva 1 000 m³ säiliö muutetaan POK-säiliöksi, jolloin ulompi 9 000 m³ säiliötila jää tyhjilleen. Pelletti tullaan kuljettamaan kuorma-autoilla varastosiiloihin.

Laitosalueella olemassa oleva lämpökeskus on otettu käyttöön vuosina 1982–1983. Nykyinen lämpökeskus sisältää kolme maakaasua käyttävää 40 MW kattilaa ja kolme raskasta polttoöljyä käyttävää 40 MW kattilaa. VR:n junarata kulkee laitosalueen rajan vieressä. Vantaanjoelle on laitokselta noin 100 m.

56021-001 rev A

Patolaan suunnitellun pellettilämpökeskuksen
suuronnettomuusvaarojen vaikutusten arviointi

Kuva 1. Patolan lämpökeskuksen sijainti kartalla.

Suuronnettomuusvaarojen vaikutusten arviointi tehdään, jotta mahdollisiin onnettomuuksiin voidaan varautua. Tuotantolaitosten, jotka harjoittavat laajamittaista toimintaa, on arvioitava kohteiden suojaetäisyydet onnettomuuksien vaikutusten perusteella [5].

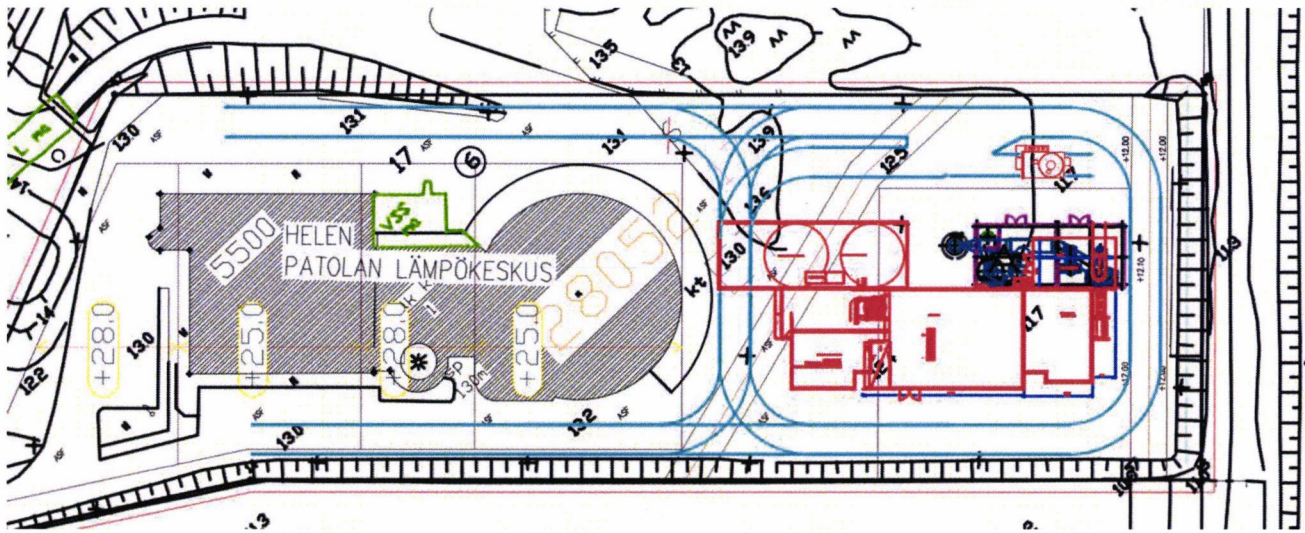
Pelletin ja kevyen polttoöljyn varastointiin ja käyttöön liittyvien vaarojen paine-, lämpösäteily ja terveysvaikutukset arvioidaan laskennallisilla menetelmillä 3D-virtausmallinnusta hyödyntäen. Suurvaarojen vaikutukset esitetään kartalla, josta nähdään onko tarvetta muuttaa suojaetäisyyksiä tai rajoittaa vaikutuksia teknisin keinoin.

Päästöjen leviämisen laskennassa huomioidaan mm. laitosalueella sijaitsevat rakenteet ja niistä aiheutuvat vaikutukset ilmapirtauksiin, savukaasujen lämpötila ja noste. Päästöjen leviäminen laskettiin eri korkeuksilla vallitsevissa tuuliolosuhteissa.

1.3. Lähtötiedot

Lähtötietoina on käytetty Patolan lämpökeskuksen layout-piirustusta (Kuva 2), öljysäiliön periaatepiirustusta sekä pelletti- ja pölysiilojen alustavia mittoja.

56021-001 rev A

Patolaan suunnitellun pellettilämpökeskuksen
suuronnettomuusvaarojen vaikutusten arviointi

Kuva 2. Patolan lämpökeskuksen suunniteltu layout.

Pellettilämpökeskuksen osalta on käytetty vastaavaa layoutia kuin 12.2.2016 päivättyssä Salmisaaren voimalaitosalueelle suunnitellun pellettilämpökeskuksen suuronnettomuusvaarojen arvioinnissa.

POK-säiliön palamisen mallinnus tehtiin Helenillä käytössä olevan kevyen polttoöljyn (Teboil) ominaisuuksien perusteella. Pellettiräjähdyksen laskennassa käytettiin Heleniltä saatuja lähtötietoja:

$$K_{st} = 170 \text{ bar/s}$$

$$p_{red,max} = 1 \text{ bar}$$

1.4. Rajaukset

Onnettomuuksien vaikutuksia ympäristöön ja infrastruktuuriin tarkastellaan painevaikutusten, lämpösäteilyvaikutusten ja ilmassa leviävien päästöjen terveysvaikutusten kautta.

Tarkasteltavia onnettomuuksia ovat POK-säiliön tulipalo, pelletin varastosiilon pölyräjähdys ja tulipalo sekä pelletin pölysiilon pölyräjähdys ja tulipalo.

2. LAIT, ASETUKSET JA RISKIT

Kevyen ja raskaan polttoöljyn käsittelyä ja varastointia koskevat valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta (685/2015) ja valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista (856/2012). [9, 10]

Pellettien käsittelyyn liittyy pölyräjähdysvaara. Pellettien varastoinnissa voi muodostua terveydelle vaarallisia pitoisuuksia hiilimonoksidia ja aldehydejä.

2.1. Tuotantolaitoksen sijoitus

Vaarallisia kemikaaleja käsittelevien ja varastoivien laitosten pitää huomioida kemikaaleista aiheutuva onnettomuusvaara tuotantolaitosten sijoituksessa. Onnettomuusvaaraa arvioitaessa on huomioitava onnettomuudesta aiheutuva lämpösäteily, paineaalto, terveys- ja ympäristövaikutukset. Kemikaaliturvallisuuslain 17 §:n mukaan "tuotantolaitos on sijoitettava

Patolaan suunnitellun pellettilämpökeskuksen suuronnettomuusvaarojen vaikutusten arviointi

sellaiselle etäisyydelle asuinalueista, yleisessä käytössä olevista rakennuksista ja alueista, kouluista, hoitolaitoksista, teollisuuslaitoksista, varastoista, liikenneväylistä sekä muusta ulkopuolisesta toiminnasta niin, että ennalta mahdollisiksi arvioitavat räjähdykset, tulipalot ja kemikaalipäästöt eivät aiheuta henkilö-, ympäristö- tai omaisuusvahinkojen vaaraa näissä kohteissa”.

Valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 4 §:n mukaan

”Tuotantolaitoksen sijoituksessa muuhun toimintaan nähden on otettava huomioon:

- 1) tuotantolaitoksessa mahdollisesti tapahtuvien onnettomuuksien vaikutukset sen ympäristössä sekä näiden onnettomuuksien ajallinen kehittyminen;*
- 2) onnettomuuden kohteeksi joutuvien ihmisten mahdollisuudet suojautumiseen tai alueelta poistumiseen;*
- 3) onnettomuuden leviämiseen ja kulkuun vaikuttavat seikat, kuten vesistöt, viemärit, maastonmuodot, maaperän laatu, ilmasto-olosuhteet ja rakennukset;*
- 4) tuotantolaitoksen käytössä olevat järjestelmät, menetelmät, tekniset tekijät ja laitteet onnettomuuksien ehkäisemiseksi ja rajoittamiseksi.”*

2.2. Onnettomuusvaaran huomioon ottaminen

Valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 5 §:n mukaan sellaisten onnettomuuksien vaikutukset, joissa tuotantolaitoksessa olevat tai onnettomuustilanteessa syntyvät kemikaalit voivat olla osallisina, pitää ottaa huomioon kuten:

”Tuotantolaitoksen sijoituksessa on otettava huomioon sellaisten onnettomuuksien vaikutukset, joissa tuotantolaitoksessa olevat tai onnettomuustilanteessa syntyvät kemikaalit voivat olla osallisina, kuten:

- 1) tulipalo tuotantolaitoksen alueella tai alueen ulkopuolella;*
- 2) räjähdys tuotantolaitoksen alueella tai alueen ulkopuolella;*
- 3) kemikaalin pääsy tulipalon, räjähdysten, laiterikon, kemikaalin hajoamisen tai muun reaktion tai tapahtuman seurauksena tuotantolaitoksen alueen ulkopuolelle.*

Vaikutuksia arvioitaessa on otettava huomioon kemikaalin kaikki vaaraominaisuudet ja niistä aiheutuvien onnettomuuksien seuraukset sekä kemikaalien käsittelyn tai varastoinnin yhteydessä käsiteltävien tai varastoitavien pölyjen räjähdyksistä aiheutuvat seuraukset.

Jos toiminnanharjoittaja pystyy tuotantolaitosta varten tehdyn riskien arvioinnin perusteella osoittamaan, että jokin onnettomuustyyppi tai tapahtumaketju on epätodennäköinen kyseisen tuotantolaitoksen olosuhteissa, sitä ei tarvitse ottaa huomioon tuotantolaitoksen sijoitusta koskevia suojaetäisyyksiä määrättäessä.”

2.2.1. Lämpösäteilyn vaikutukset

Tuotantolaitoksen alueella tapahtuvan tulipalon tai räjähdysten sattuessa leviävän lämpösäteilyn vaikutukset pitää huomioida tuotantolaitoksen sijoituksessa. Valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 6 §:n mukaan

Patolaan suunnitellun pellettilämpökeskuksen
suuronnettomuusvaarojen vaikutusten arviointi

"Tuotantolaitos on sijoitettava sitä ympäröiviin rakennus- ja muihin kohteisiin nähden siten, ettei tuotantolaitoksessa tapahtuvasta, 5 §:ssä tarkoitetusta onnettomuudesta aiheudu sellaista lämpösäteilyä tuotantolaitoksen ulkopuolella oleviin kohteisiin, että:

- 1) sen vaikutuksesta rakennukset, laitteistot, rakenteet tai muut paloa levittävät kohteet voivat syttyä;*
- 2) se voi estää ihmisten suojautumisen tai poistumisen lämpösäteilyn vaikutusalueelta rakennus- tai muissa kohteissa, joissa ihmisiä voi oleskella;*
- 3) se voi aiheuttaa palovammoja ulkona oleville ihmisille kohteissa, joista poistuminen tai joiden tyhjentäminen voi onnettomuustilanteissa olla hidasta, kuten hoitolaitokset, majoitustilat, kokoontumis- ja liiketilat ja -alueet taikka tiheästi asutut asuinalueet."*

2.2.2. Painevaikutukset ja heitteet

Tuotantolaitoksen alueella tapahtuvan räjähdysonnettomuuden sattuessa leviävän paineaallon vaikutukset pitää huomioida tuotantolaitoksen sijoituksessa. Valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 7 §:n mukaan

"Tuotantolaitos on sijoitettava sitä ympäröiviin rakennus- ja muihin kohteisiin nähden siten, ettei tuotantolaitoksessa tapahtuvasta, 5 §:ssä tarkoitetusta onnettomuudesta aiheudu sellaisia painevaikutuksia, että seurauksena voi olla:

- 1) rakennusten tai rakenteiden sortuminen taikka vaurioita muiden tuotantolaitosten laitteistoihin, varastoihin tai muihin rakenteisiin siinä määrin, että onnettomuus voi laajeta;*
- 2) pysyviä vammoja ihmisille alueella, jolla sijaitsee rakennuksia tai muita kohteita, joissa normaalisti voi olla ihmisiä.*

Vaaroja arvioitaessa on otettava huomioon myös heitteistä aiheutuva vaara sekä rakenteiden sortumisesta tai rikkoontumisesta aiheutuvat vaarat."

2.2.3. Terveysvaikutukset

Kemikaalien aiheuttavat vaikutukset terveyteen pitää huomioida tuotantolaitoksen sijoituksessa. Valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 8 §:n mukaan

"Tuotantolaitos on sijoitettava sitä ympäröiviin rakennus- ja muihin kohteisiin nähden siten, että tuotantolaitoksessa tapahtuvan, 5 §:ssä tarkoitetun onnettomuuden vaikutusalueella olevilla ihmisillä on mahdollisuus päästä suojaan tai poistua alueelta ilman, että heille aiheutuu siitä vakavia vammoja.

Sijoituksessa on otettava erityisesti huomioon ihmisten ja väestön terveyden kannalta erityisen herkäät kohteet, kuten hoitolaitokset, terveyskeskukset, ostoskeskukset, koulut, päiväkodit, kokoontumistilat ja -alueet sekä asuinalueet ja muut kohteet, joissa voi samanaikaisesti olla suuri joukko ihmisiä ja joista poistuminen tai joissa suojautuminen voi olla onnettomuustilanteissa erityisen hankalaa."

Terveysvaaran arviointia varten selvitetään ympäristöön joutuvan kemikaalin määrä ja leviäminen. Lisäksi selvitetään ympäristön kohteet, joissa ihmisiä voi joutua vaaraan onnettomuuden sattuessa. Todennäköiseksi arvioidussa onnettomuudessa leviävän kemikaalin pitoisuuden ja altistusajan pitää pysyä niin alhaisina, ettei ihmisille aiheudu vakavia vammoja. [5]

2.3. Kemikaalivaraston sijoitus

Valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 12 § mukaan kemikaalivaraston tulee aina sijaita vähintään 5 metriä laitoksen tontin rajasta. Kemikaalivaraston sijoituksessa on otettava huomioon myös sen ulkopuolelta kohdistuvat onnettomuuden todennäköisyyttä lisäävät tekijät.

"Suojaetäisyyksissä sellaisiin säiliöihin ja varastoihin, joihin voi liittyä kemikaalin palaminen tai hajoaminen kuumuudessa, on otettava huomioon myös terveydelle vahingollisten savukaasujen tai hajoamistuotteiden leviäminen ja siitä aiheutuva vaara."

Valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 13 § mukaan

"palavaa nestettä sisältävän säiliön suojaetäisyys ulkopuoliseen toimintaan määritetään palamisessa syntyvän lämpösäteilyn vaikutusten perusteella. Myös palavan nesteen ylikiehumisen mahdollisuus tulee huomioida."

Valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 16 § mukaan

"Muut terveydelle ja ympäristölle vaarallista nestemäistä tai kiinteää kemikaalia sisältävät varastot tulee sijoittaa niin, ettei kemikaalia pääse vuototilanteessa leviämään tuotantolaitoksen alueen ulkopuolelle. Etäisyyksissä tulee ottaa huomioon myös kemikaalien hajoamisesta ja muusta reagoimisesta tulipalotilanteissa syntyvät savukaasut."

2.4. Kemikaalivaraston sijoitus tuotantolaitoksen alueella

Valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 21 § mukaan

"Tuotantolaitoksen alueella olevien kohteiden ja toimintojen sijoituksessa tulee ottaa huomioon sen lisäksi, mitä kemikaaliturvallisuuslaissa säädetään seuraavat periaatteet:

- 1) varastot ja prosessitilat ovat erillään toisistaan;
- 2) toimintaan liittymättömät syttymislähteet ovat erillään palavista kemikaaleista;
- 3) yhteen sopimattomat kemikaalit ovat erillään toisistaan;
- 4) toiminnot, joihin liittyy erityinen räjähdysvaara, sijoitetaan erilleen muista toiminnoista;
- 5) tuotantotiloissa on vaarallisia kemikaaleja ainoastaan sellaisia määriä, jotka ovat toiminnan ja turvallisuuden kannalta perusteltuja;
- 6) tuotantotiloissa ja varastoissa ei ole muuta kuin toiminnan kannalta välttämätöntä palokuormaa;
- 7) onnettomuustilanteissa kriittiset torjuntalaitteet sekä hälytysjärjestelmät ovat käytettävissä;
- 8) onnettomuustilanteissa kemikaalien leviäminen maanpäällisiä tai maanalaisia reittejä pitkin voidaan rajoittaa mahdollisimman pienelle alueelle;
- 9) säiliöt ja putkistot sijoitetaan maan päälle, elleivät tuoteominaisuudet taikka käyttötekniset tai turvallisuuden kannalta perustellut syyt edellytä maan alle sijoittamista."

56021-001 rev A

Patolaan suunnitellun pellettilämpökeskuksen
suuronnettomuusvaarojen vaikutusten arviointi

Valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 24 § mukaan

"Palavia nesteitä sisältävät säiliöryhmät, konttivarastot ja kappaletavaravarastot on sijoitettava sellaiselle etäisyydelle toisesta varastosta ja kemikaaleja sisältävistä laitteistoista, ettei palo vahinkotapauksessa pääse leviämään niihin eikä palosta aiheudu niissä olevien kemikaalien vaarallista kuumenemista eikä vaarallista paineen nousua säiliössä tai laitteistossa.

Palavia nesteitä sisältävät säiliöryhmät, konttivarastot ja kappaletavaravarastot sijoitetaan sellaiselle etäisyydelle tuotantolaitoksen alueella olevista rakennuksista tai toimintaan välittömästi liittyvistä kohteista, ettei kemikaalin palamisesta aiheutuva lämpösäteily voi sytyttää niissä olevia rakenteita tai muuta palavaa materiaalia taikka aiheuttaa rakenteiden sortumista.

Suojaetäisyydet määritetään säiliön ja kappaletavaravaraston palamisessa syntyvän lämpösäteilyn vaikutusten perusteella. Lisäksi sijoituksessa on otettava huomioon räjähdyksistä aiheutuvat painevaikutukset ja heitteet."

Säiliöt sijoitetaan ottaen huomioon varastoitavien kemikaalien ominaisuudet ja määrät. Käyttöön liittyvät toimenpiteet, tarkastukset, huollot ja korjaukset on voitava tehdä helposti ja turvallisesti. Vaaratilanteissa alueelta on pystyttävä poistumaan ja pelastushenkilökunnan on päästävä alueelle ainakin kahdesta suunnasta. Säiliön keskinäisessä sijoittelussa otetaan huomioon mahdolliset ylivuodot ja niiden viereisille säiliöille aiheuttamat vaarat. Terveydelle ja ympäristölle vaarallisten kemikaalien välisten säiliöiden vähimmäisetäisyys on $D/2$ säiliöille, joiden halkaisija on $2\text{ m} < D < 10\text{ m}$. Palavien nesteiden, joiden leimahduspiste on $> 55\text{ °C}$, säiliöiden välinen etäisyys on vähintään $D/3$. [6]

Ulkona olevat säiliöt sijoitetaan tiiviiseen, vähintään kaksi vuorokautta säiliön sisällön vaikutusta kestävään vallitilaan, jotta estetään kemikaalien ympäristöön leviämisen säiliövuodon tai ylitäytön sattuessa. Terveydelle ja ympäristölle vaaralliset kemikaalit sijoitetaan vallitilaan, jonka tilavuus on vähintään vallitilassa olevan suurimman säiliön tilavuus. Palavien nesteiden säiliöllä pitää olla omat vallitilat ja niihin pitää mahtua 110 % suurimman säiliön tilavuudesta. Vallitilan seinämien ja pohjien rakenteiden on kestävä tulipalossa tiiviinä vähintään kahden tunnin ajan. Vallitilan harjan etäisyyden tulee olla vähintään 5 metriä säiliön seinästä. Jos säiliön säde on alle 5 m, voi etäisyys olla säteen suuruinen, mutta kuitenkin vähintään 1 m. [6]

Valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 26 §:n mukaan "räjähtäviä kemikaaleja tai räjähdysvaarallisia pölyjä sisältävien säiliöiden ja kappaletavaravarastojen keskinäiset etäisyydet sekä etäisyydet tuotantolaitoksen alueen muihin kohteisiin määritetään räjähdyksessä syntyvien painevaikutusten perusteella".

2.5. Pellettien käsittelyyn ja varastointiin liittyvät riskit

Pelletin varastoinnissa ja käytöstä voi levitä puupölyä, joka aiheuttaa sekä terveys- että räjähdysvaaraa. Puupöly voi syttyä ilmassa tai jos sitä on kerääntyneenä pinnoille. Se on myös haitallista terveydelle hengitettynä. On mahdollista, että pelletissä olevat puun luontaiset rasva- ja hartsihapot alkavat hapettua. Tämän seurauksena voi vapautua terveydelle haitallisia kaasuja kuten häkää ja aldehydejä. Hapettumisreaktio on eksotermiinen, minkä seurauksena pellettikasan lämpötila voi nousta ja aiheuttaa itsesyttymistä. Pelletin laatu- ja kosteusvaihtelut, raaka-aineen luontaiset ominaisuudet ja varastointitapa saattavat lisätä varastointiin ja käyttöön liittyviä riskejä.

2.6. Kevyen polttoöljyn käsittelyyn ja varastointiin liittyvät riskit

Kevyt polttoöljy (POK) on palava neste, joka syttyy lämmön, kipinöiden ja liekkien vaikutuksesta. Öljysumu syttyy kaikissa lämpötiloissa. Lämpimästä kevyestä polttoöljystä haihtuva höyry muodostaa ilman kanssa syttyvän seoksen. POK-säiliö voi repeytyä tulipalon kuumentamana. POK:n palamistuotteita ovat hiilidioksidi (CO_2) ja vesi sekä epätäydellisessä palamisessa hiilimonoksidi (CO). [6, 7D]

Mahdollisen öljyvuodon varalta, POK-säiliöllä tulee olla vuotoallas. Öljyn pääsy viemäriin on estettävä öljynerotuskaivolla. Öljynerotuskaivosta tulee olla hälytys. Ulkona olevilla varasto- ja käsittelypaikoilla tulee olla sadevesienpoistojärjestelmä, josta sadevedet johdetaan valvotusti tarkkailukaivon tai -altaan kautta. Kaivon tai altaan tulee pystyä varastoimaan useiden tuntien aikana kertyneet sadevedet. Säiliön vallitila voi myös toimia sadevesien pidätysaltaana. Sadevesiviemäriin tulee olla sulkuventtiili, joka on normaalisti kiinni. [7D]

Kevyen polttoöljyn alhaisen höyrynpaineen vuoksi on epätodennäköistä, että höyryjä muodostuu niin paljon, että ne voisivat hengitettynä aiheuttaa terveysvaikutuksia. Kevyen polttoöljyn höyryt voivat kuitenkin aiheuttaa pahoinvointia, väsymystä ja päänsärkyä. Öljysumu ärsyttää hengitysteitä ja voi aiheuttaa hengenvaarallisen kemiallisen keuhkotulehduksen. Kevyen polttoöljyn höyryt, öljysumu ja roiskeet voivat ärsyttää silmiä. Kevyen polttoöljyn joutuminen iholle voi aiheuttaa ihon punoitusta ja turvotusta. [7D]

POK tulee varastoida ja käsitellä erillään syttymis- ja lämmönlähteistä sekä hapettavista aineista. Staattisen sähkön aiheuttama kipinointivaara torjutaan maadoituksin. Käsittely- ja varastointitiloissa sähkölaitteiden tulee olla räjähdysvaarallisiin tiloihin hyväksytyjä. Tehokkaasta ilmanvaihdosta on huolehdittava. Työpisteen läheisyydessä on oltava hätäsuihku ja silmienhuuhtelupaikka.

POK tulee varastoida mieluiten ulkona, viileässä, kuivassa, hyvin tuuletetussa, auringonvalolta suojatussa ja paloturvallisessa paikassa. Säiliön kolhiintumista pitää varoa ja mahdollisia vuotoja tarkkailla. Tupakointi on kielletty ja tulitöihin tarvitaan työluupa. [7D]

3. MENETELMÄT

Selvitys pohjautuu Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) oppaisiin Tuotantolaitosten sijoittaminen (2015) ja Vaarallisten kemikaalien varastointi (2015). Siilojen kevennysluukut on laskettu standardiin EN14491:2012 mukaan. 3D-virtauslaskennassa käytettiin ANSYS 16.0 CFD-laskentaohjelmaa.

Vaikutusten arviointi tehtiin merkittävimmiksi riskeiksi arvioiduille onnettomuuksille. Tarkasteltujen onnettomuuksien seuraukset ovat mahdollisesti vakavat.

3.1. Lämpösäteilyn vaikutusten arviointi

Laitoksen sijoituksen suunnittelussa käytettävät lämpösäteilyn raja-arvot vaikutuksineen on esitetty taulukossa 1. Laskennan tuloksena saadut lämpösäteilyarvot esitetään kartalla.

Henkilöturvallisuutta arvioitaessa voidaan laskea myös lämpösäteilyannokset. Silloin käytetään lämpösäteilyintensiteetti arvoa 3 kW/m^2 ja yli 2 minuutin vaikutusaika aiheuttaa palautumattomia vaikutuksia ja lämpösäteilyintensiteetti 5 kW/m^2 ja yli 2 minuutin vaikutusaika aiheuttaa kuolettavia vammoja.

Taulukko 1. Lämpösäteilyn intensiteetti ja vaikutukset [5].

Lämpösäteilyn Intensiteetti	Vaikutukset
8 kW/m ²	Rakennukset, laitteistot, rakenteet tai muut paloa levittävät kohteet voivat syttyä
5 kW/m ²	Voi estää ihmisten suojautumisen tai poistumiseen lämpösäteilyn vaikutusalueelta
3 kW/m ²	Voi aiheuttaa palovammoja ulkona oleville ihmisille kohteissa, joista poistuminen voi olla hidasta

Laskelmia voidaan hyödyntää myös arvioitaessa lämpösäteilyn ja lämpösäteilyannosten vaikutusta tuotantolaitoksen alueella, kun halutaan arvioida toimintojen turvallisista sijoittamista ja evakuointietäisyyksiä.

3.2. Painevaikutusten arviointi

Paineaallon aiheuttamia vaikutuksia käytetään vaara-alueen arviointiin. Paineaallon suuruus riippuu räjähdyspaineesta, säiliön halkaisijasta ja tilavuudesta ja säiliön sisällön ominaisuuksista. Paineaallon aiheuttamat vahingot riippuvat ylipaineen suuruudesta. Ylipaineen raja-arvot vaikutuksineen on esitetty taulukossa 2. Vaara-alueen rajat esitetään kartalla. Paineaallolta voi suojautua vain riittävän suurella etäisyydellä tai räjähdysten kestäväällä rakennuksella. Suuren väkijoukon kokoontumiseen tarkoitettujen rakennusten tulee olla vaara-alueen ulkopuolella. [5]

Taulukko 2. Paineaallon vaikutukset [5].

Ylipaine	Vaikutukset rakennuksiin ja ihmisiin	Mahdollisia rakenne- tai rakennustyyppöjä
30 kPa	Kantavien rakennusten romahduksia, onnettomuuden mahdollinen laajenemisriski	Teollisuuslaitteet ja -rakenteet
15 kPa	Talojen osittaisia romahtamisia, pysyvän vammautumisen riski	Rakennukset ja rakenteet, joille perustelluista syistä voidaan hyväksyä tämä yläraja, kuten painetta kestäviksi mitoitettut teollisuusrakennukset
5 kPa	Pieniä vaurioita talojen rakenteille, vammautumisen riski	Rakennukset ja alueet, joissa normaalisti oleskelee ihmisiä

Räjähdyksestä voi aiheutua ympäristöön myös heitteitä, joiden osumakohtat ovat sattumanvaraisia. Osuma-alueen ulkorajat riippuvat pahimpien heitteiden lähtönopeuksista ja -kulmista ja ilmanvastuksista. [5]

3.3. Terveysvaaran arviointi

Onnettomuustilanteessa leviävän kemikaalin aiheuttaman terveysvaaran arviointiin käytetään AEGL-3-arvoa, joka kuvaa pitoisuutta, jota alemmissa pitoisuuksissa ei aiheudu hengenvaaraa. Onnettomuuden kesto, vaarassa olevat henkilöryhmät ja niiden edellytykset suojautua tai päästä pois vaaran alueelta vaikuttavat vaikutusajan arviointiin. Herkissä kohteissa, kuten koulujen ja hoitolaitosten läheisyydessä, on varauduttava pidempiin toiminta-aikoihin. Silloin terveysvaaran

arviointiin voidaan käyttää AEGL-2-arvoa, joka kuvaa pitoisuutta, jota alemmissa pitoisuuksissa ei aiheudu palautumattomia tai muita vakavia, pitkäkestoisia haitallisia terveysvaikutuksia. [5] Päästökemikaalien AEGL-arvoja on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Päästökemikaalien AEGL-arvot yksikössä ppm.

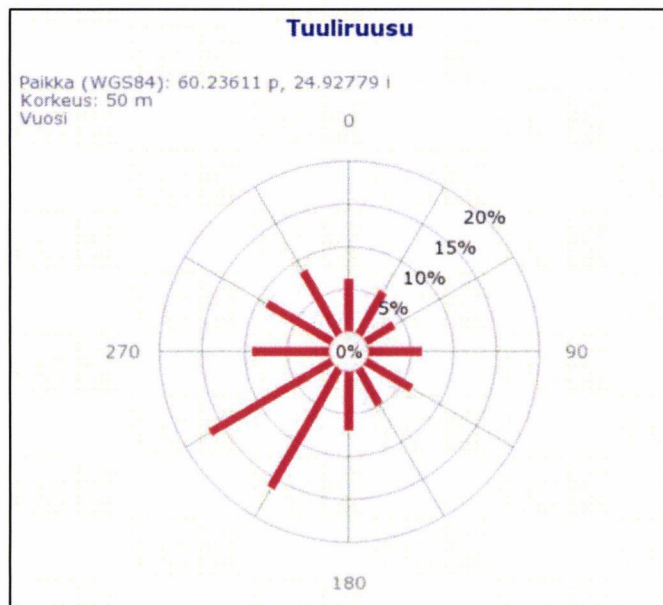
Kemikaali	CAS-numero	AEGL-2, 10 min	AEGL-2, 30 min	AEGL-3, 10 min	AEGL-3, 30 min	Lähde
CO Hiilimonoksidi	630-08-0	420	150	1700	600	[7A]
SO ₂ Rikkidioksidi	7446-09-5	0,75	0,75	30	30	[7B]
NO ₂ Typpidioksidi	10102-44-0	20	15	34	25	[8]

4. LASKENTA JA TULOKSET

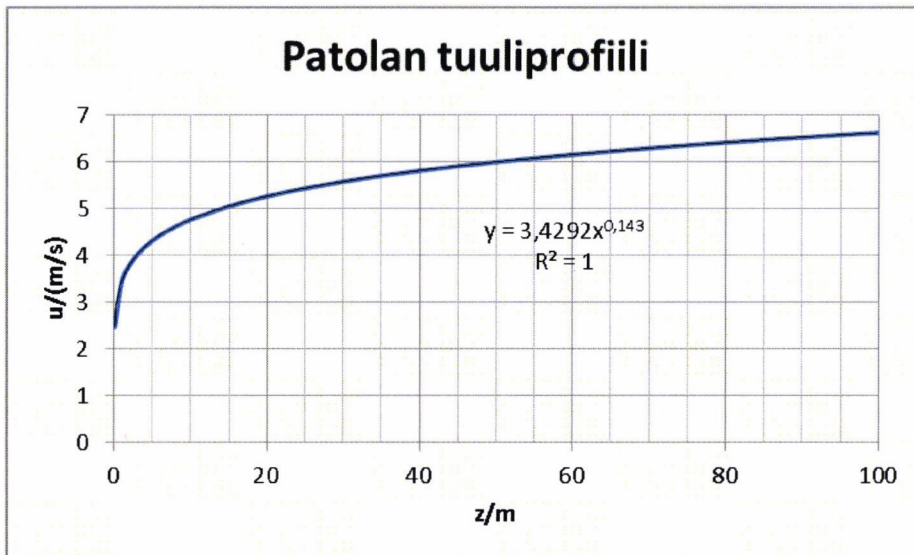
4.1. Olosuhteet ja laskennan reunaehdot

Patolan alueella vallitsevin tuulen suunta on lounaasta. Tuulen nopeus on 20 metrin korkeudessa noin 5,3 m/s. Tuulen voimakkuus riippuu korkeudesta maanpinnan suhteen (kuvat 3 ja 4). Lounais-tuulen todennäköisyys on noin 17 %.

Ilmassa hapen massaosuus on 0,233, loput ilmasta oletettiin typeksi. Ilman lämpötilana käytettiin Helsingin vuotuista keskimääräistä lämpötilaa 5,9 °C [2]. Savukaasun lämpötilaksi oletettiin 1 000 °C.



Kuva 3. Patolan alueen tuuliruusu [4].



Kuva 4. Tuuliprofiili Patolan alueella [4].

4.2. Kevennysluukun pinta-alan laskenta

Säiliön räjähdysuojauus voidaan toteuttaa keventämällä räjähdyspainetta standardin EN14491:2012 osoittamalla tavalla. Kevennys suojaa säiliötä sisäpuolisilta liian korkeilta räjähdyspaineilta. Periksi antavat kohdat säiliön seinämässä, kuten kevennysluukku, avautuvat räjähdysten alkuvaiheessa. Kevennys ei estä tai sammuta räjähdystä, vaan se ainoastaan rajoittaa räjähdyspainetta.

Kevennysaukon koko riippuu pölyn räjähdysominaisuuksista, pölypilven olotilasta (pitoisuus, turbulenssi, jakautuma), tilan geometriasta ja kevennyslaitteen rakenteesta. Pölyn kaksi tärkeintä räjähdysparametria ovat enimmäisyliapaine (p_{max}) ja pölyn räjähdysvakio (K_{St}). Kevennyspinta-alojen mitoituksessa tarvittavia tietoja ovat tilan koko, tilan muotoa kuvaava pituuden suhde halkaisijaan (L/D), räjähdyspaineen kevennyslaitteen sijoitus sekä tilan räjähdyspaineenkestävyys ($p_{red,max}$). [3] Laskennassa käytettiin arvoja $p_{max} = 9,3$ bar, $p_{red,max} = 1$ bar ja $K_{St} = 170$ bar/s.

Räjähdyspaineen kevennyslaitteiden sijoittelulla on varmistettava, ettei paineenkevennys aiheuta vaaraa henkilökunnalle eikä lähistön laitoksille. Käytännön sovelluksissa vaadittu kevennyspinta-ala voidaan jakaa useampaan pienempään osaan, kunhan niiden yhteinen pinta-ala vastaa vaadittua kevennyspinta-alaa. [3]

4.3. Pelletin varastosiiilo

Pelletin varastosiiilon osalta tutkittiin tilannetta, jossa pellettsiiilo on menettänyt kevennysluukun räjähdysten seurauksena. Mallinnuksessa on oletettu, että sammutinjärjestelmät eivät ole käynnistyneet ja tulipalo on syttynyt räjähdysten seurauksena. Laskennassa on oletettu, että puolet siilon tilavuudesta on räjähdyskelpoista pölyä ja loput kiinteää inerttiä pellettiä, joka ei räjähdä. Pölyn on oletettu olevan siilon yläosassa ja pelletit peittävät siilon alaosan. Pellettien kuiva-aineen koostumus on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Pellettien koostumus (C, H, O, S, N ja tuhka -osuudet kuiva-aineesta).

Pelletti	C	H	O	S	N	Tuhka
Massaosuus %	50	6,3	43,02	0,05	0,03	0,6

Pelletin tiheydeksi oletettiin 575 kg/m^3 . Pelletin kosteusprosentiksi kiinnitettiin 9 %.

Mallinnuksessa tarkasteltiin tilannetta, jossa palaa 1 kg/s pellettiä, josta muodostuu 5,9 kg/s savukaasuja ja 0,017 kg/s nokea (1,7 %). Aluksi laskettiin 1 m³ räjähdyspallolla lähdetermi. Paineennousu on 1 m³ pallossa 170 bar/s, pallossa on pelkästään savukaasua. Lähdetermiksi saatiin 7,5 MW/m³, jota käytettiin räjähdyslaskennoissa. Palossa muodostuvien savukaasujen massaosuudet on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Pellettisiilon palossa vapautuvien savukaasujen koostumus.

Komponentti	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	NO ₂
Massaosuus %	64,39	2,24	23,55	9,79	0,0144	0,0143

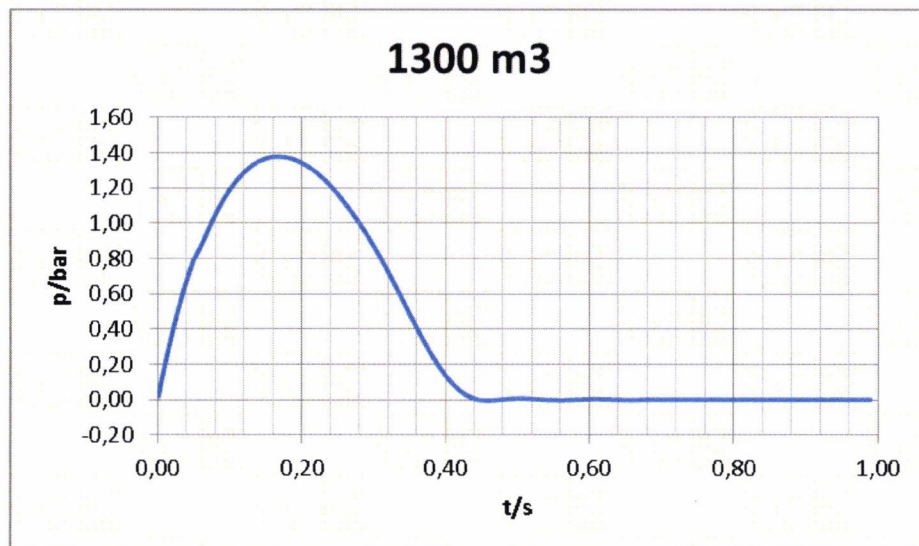
Leviämismallinnuksessa oletettiin tasainen palotapahtuma, jossa savukaasut vapautuvat suoraan kevennysluukun koko pinta-alalta. Tällöin palotapahtuman massavirraksi kiinnitettiin 2 kg/s, joka vastaa palonopeutta 0,045 mm/s. Palamistapahtumassa muodostuu 12,5 kg/s savukaasua ja 34 g/s nokea.

4.3.1. Kevennysluukku

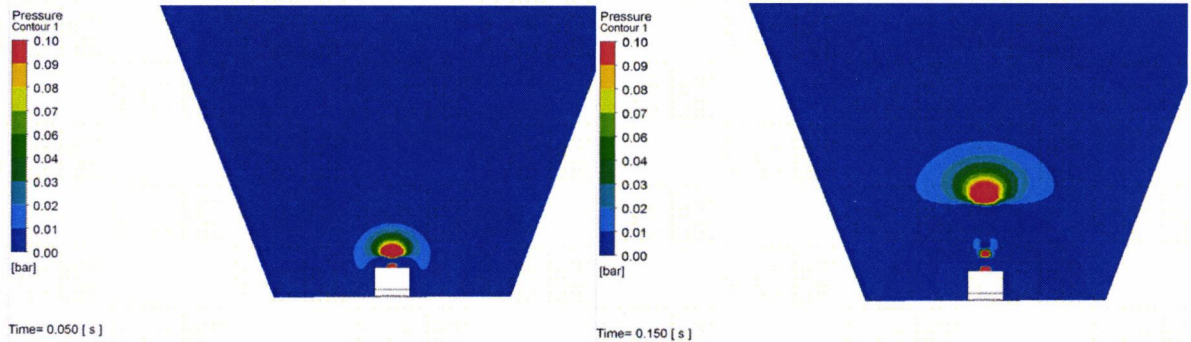
1 300 m³ pellettisiilon räjähdysmallintaminen aloitettiin laskemalla pellettisiilon kevennysluukun koko standardin EN14491:2012 osoittamalla tavalla. Varastosiilon kevennysluukun pinta-alaksi saatiin 13,35 m².

4.3.2. Kevennetyn räjähdys sisäinen painetarkastelu

Pellettisiilon räjähdys transienttipaine on esitetty kuvissa 5 ja 6. Räjähdys on laskettu tilavuudelle 650 m³. Kevennysluukku aukeaa ajassa $t = 0,005$ s (kun paine siilossa on ylittänyt 0,1 bar). Maksimipaine 1,4 bar saavutetaan ajassa $t = 0,17$ s.



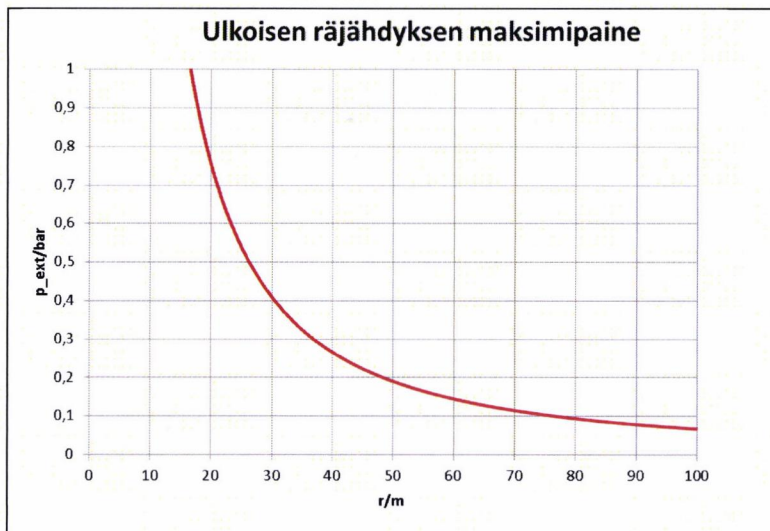
Kuva 5. Pelletin varastosiilon transienttipaine.



Kuva 6. Pelletin varastosiilon transienttipaine 0,05 s ja 0,15 s kuluttua räjähdyksestä.

4.3.3. Ulkoisen räjähdysten maksimipaine

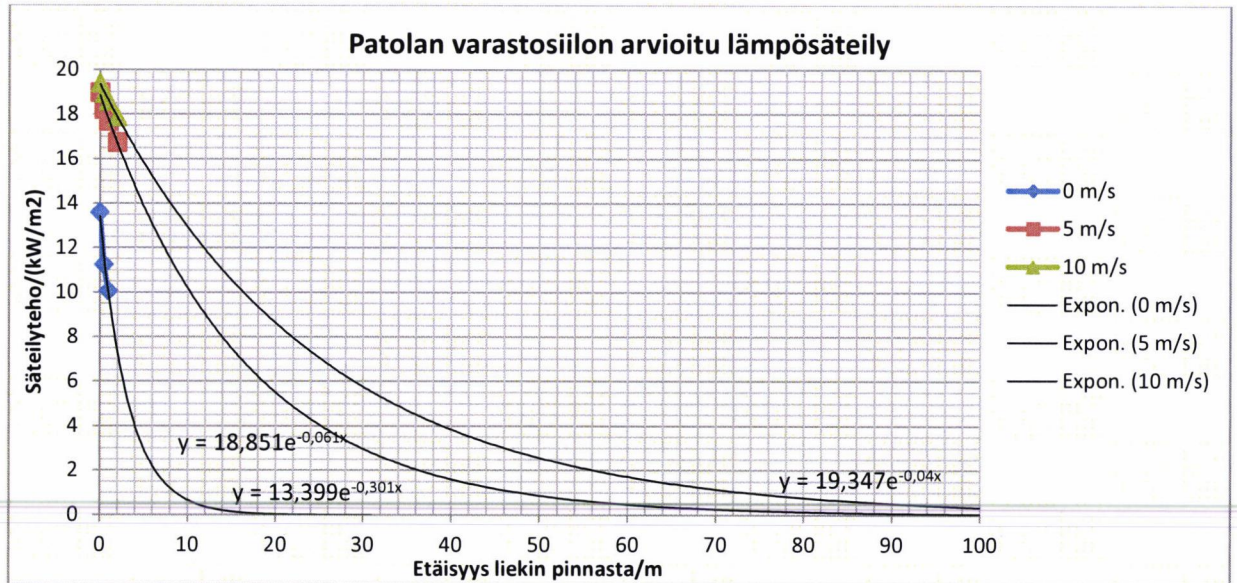
Kuvassa 7 on esitetty pelletin varastosiilon ulkoisen räjähdysten maksimipaine.



Kuva 7. Pelletin varastosiilon ulkoisen räjähdysten maksimipaine.

4.3.4. Lämpösäteily

Pelletin varastosiilon palosta aiheutuva lämpösäteily tuulen nopeuksilla 0 m/s, 5 m/s ja 10 m/s on esitetty kuvassa 8. Lasketut etäisyydet lämpösäteilyn intensiteeteille 3 kW/m², 5 kW/m² ja 8 kW/m² eri tuulen nopeuksilla nähdään taulukosta 6.



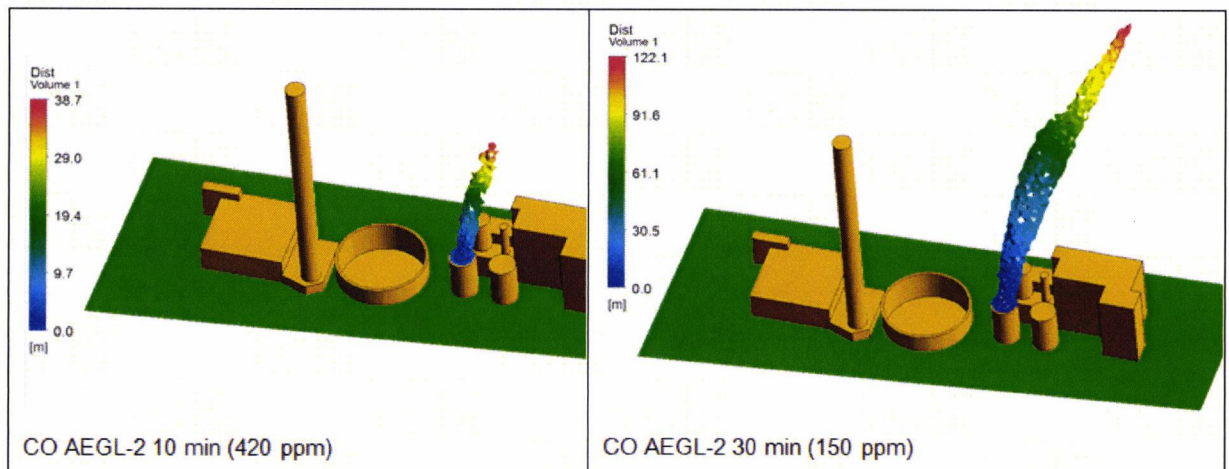
Kuva 8. Pelletin varastosiilon palon arvioitu lämpösäteily tuulen nopeuksilla 0 m/s, 5 m/s ja 10 m/s.

Taulukko 6. Lämpösäteilyn raja-arvojen etäisyydet pelletin varastosiilosta eri tuulen nopeuksilla.

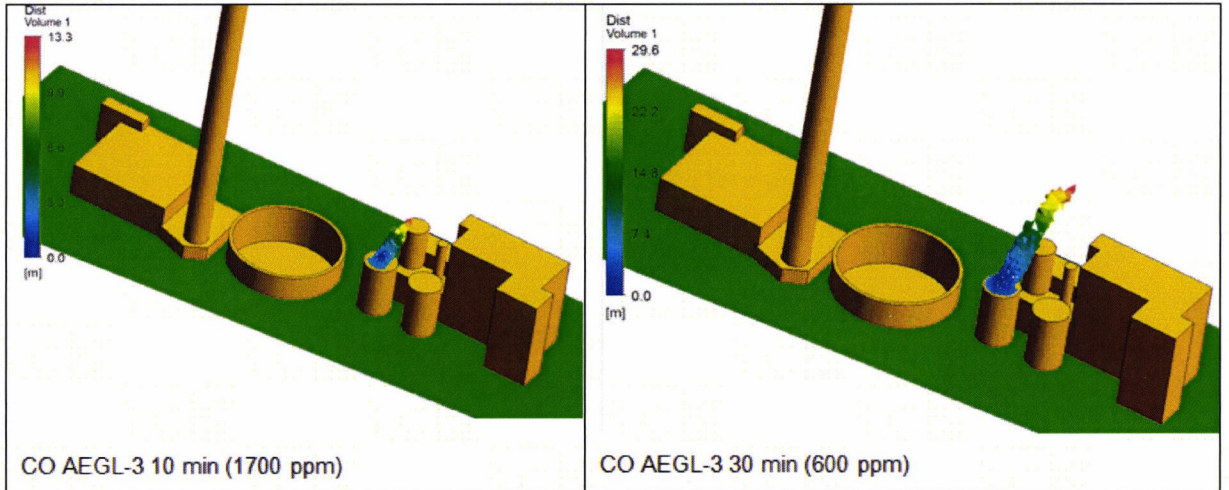
Lämpösäteilyn intensiteetti	Tuulen nopeus		
	0 m/s	5 m/s	10 m/s
3 kW/m ²	5,0 m	30,1 m	46,6 m
5 kW/m ²	3,3 m	21,8 m	33,8 m
8 kW/m ²	1,7 m	14,1 m	22,1 m

4.3.5. Savukaasujen leviäminen

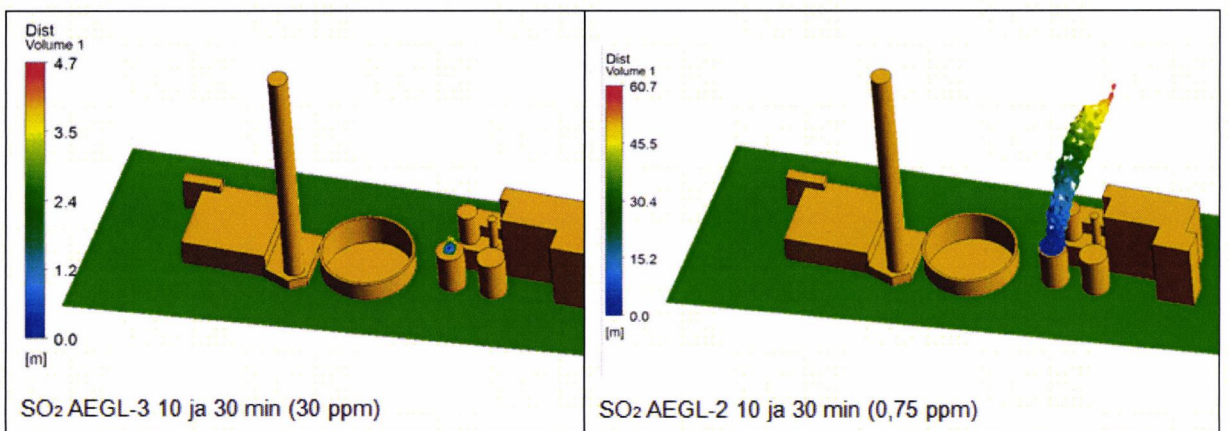
Kuvissa 9, 10, 11, 12 ja 13 nähdään hiilimonoksidin, rikkidioksidin ja typpidioksidin leviämisalueet, joilla AEGL-2 (10 ja 30 min) ja AEGL-3 (10 ja 30 min) -arvot ylittyvät. AEGL-rajat ylittävät typpidioksidipilvet eivät juuri leviä siilojen päältä muualle.



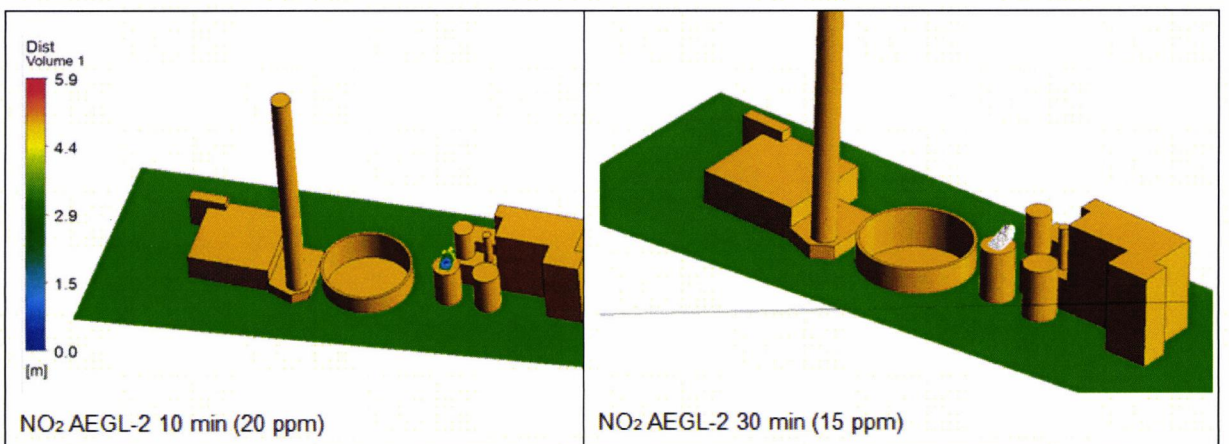
Kuva 9. Hiilimonoksidin leviämisalueet, joilla AEGL-2 (10 min ja 30 min) pitoisuudet ylittyvät.



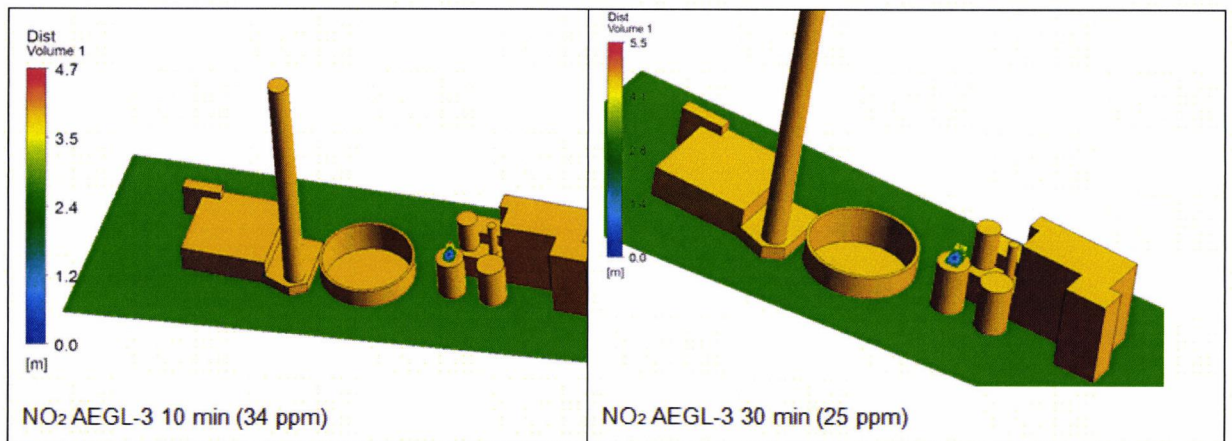
Kuva 10. Hiilimonoksidin leviämisalueet, joilla AEGL-3 (10 min ja 30 min) pitoisuudet ylittyvät.



Kuva 11. Rikkidioksidin leviämisalueet, joilla AEGL-2 ja AEGL-3 (10 ja 30 min) pitoisuudet ylittyvät.



Kuva 12. Typpidioksidin leviämisalueet, joilla AEGL-2 (10 min ja 30 min) pitoisuudet ylittyvät.



Kuva 13. Typpidioksidin leviämisalueet, joilla AEGL-3 (10 min ja 30 min) pitoisuudet ylittyvät.

4.4. Pelletin pölysiilo

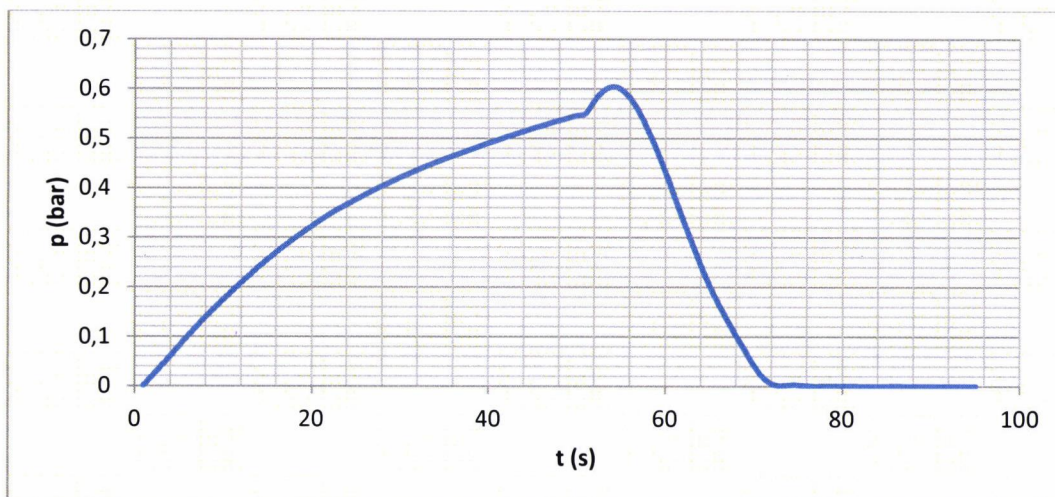
Pelletin pölysiilon laskennassa on oletettu, että puolet siilon tilavuudesta on räjähdyskelpoista ilman ja pölyn seosta ja loput inerttiä jauhettua pellettiä, joka ei räjähdä. Pellettipölyn kuiva-aineen koostumus on sama kuin taulukossa 4 esitetty pelletin koostumus. Pelletin pölysiilon palamistapahtumassa palaa 0,2 kg/s pellettipölyä, josta muodostuu 1,2 kg/s savukaasua ja 3,4 g/s nokea.

4.4.1. Kevennysluukku

75 m³ pölysiilon räjähdysten mallintaminen aloitettiin laskemalla pellettisiilon kevennysluukun koko standardin EN14491:2012 osoittamalla tavalla. Pölysiilon kevennysluukun pinta-alaksi saatiin 1,82 m².

4.4.2. Kevennetyn räjähdysten sisäinen painetarkastelu

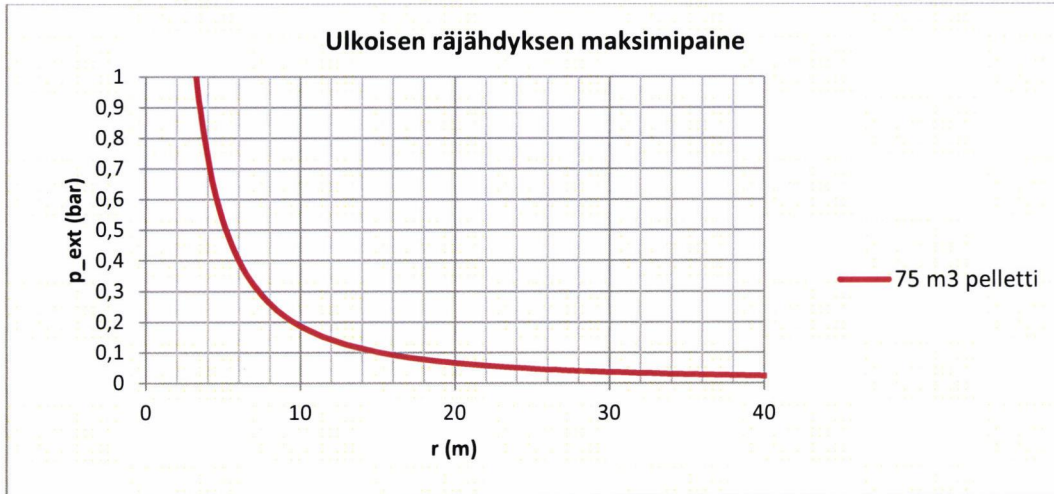
Pelletin pölysiilon räjähdysten transienttipaine on esitetty kuvassa 14. Räjähdys on laskettu tilavuudelle 37,5 m³. Kevennysluukku aukeaa ajassa $t = 0,005$ s (kun paine siilossa on ylittänyt 0,1 bar). Maksimipaine 0,60 bar saavutetaan ajassa $t = 0,08$ s.



Kuva 14. Pelletin pölysiilon transienttipaine.

4.4.3. Ulkoisen räjähdysen maksimipaine

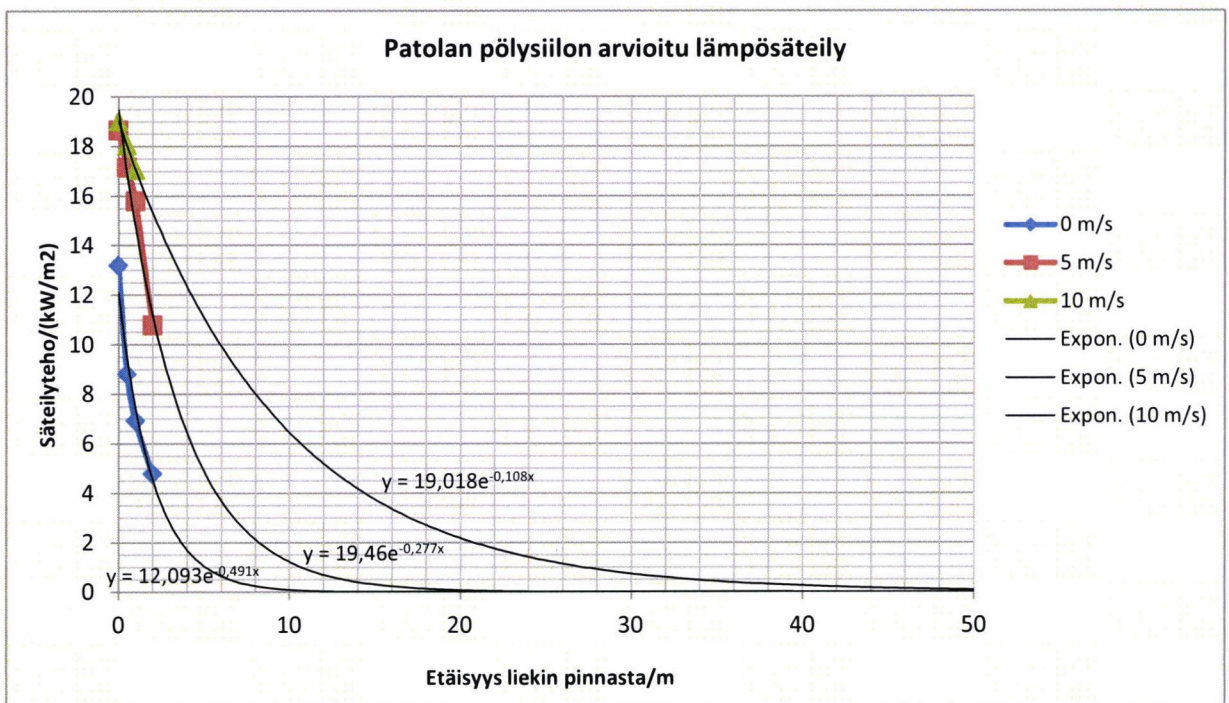
Pelletin pölysiilon ulkoisen räjähdysen aiheuttama maksimipaine on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Pelletin pölysiilon ulkoisen räjähdysen maksimipaine.

4.4.4. Lämpösäteily

Pelletin pölysiilon palosta aiheutuva lämpösäteily tuulen nopeuksilla 0 m/s, 5 m/s ja 10 m/s on esitetty kuvassa 16. Lasketut etäisyydet lämpösäteilyn intensiteeteille 3 kW/m², 5 kW/m² ja 8 kW/m² eri tuulen nopeuksilla nähdään taulukosta 7.



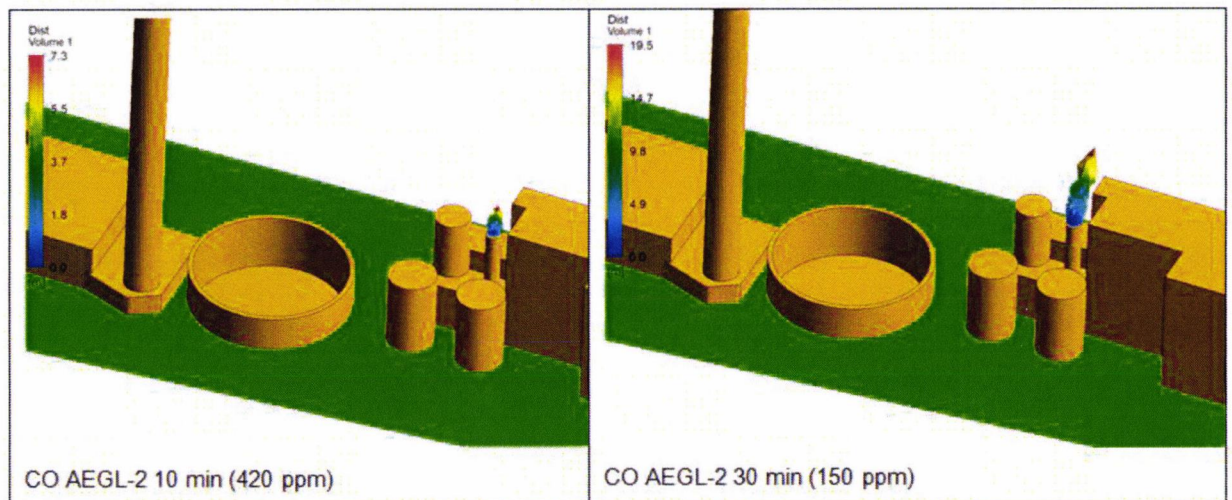
Kuva 16. Pelletin pölysiilon palon arvioitu lämpösäteily tuulen nopeuksilla 0 m/s, 5 m/s ja 10 m/s.

Taulukko 7. Lämpösäteilyn raja-arvojen etäisyydet pelletin pölysiilosta eri tuulen nopeuksilla.

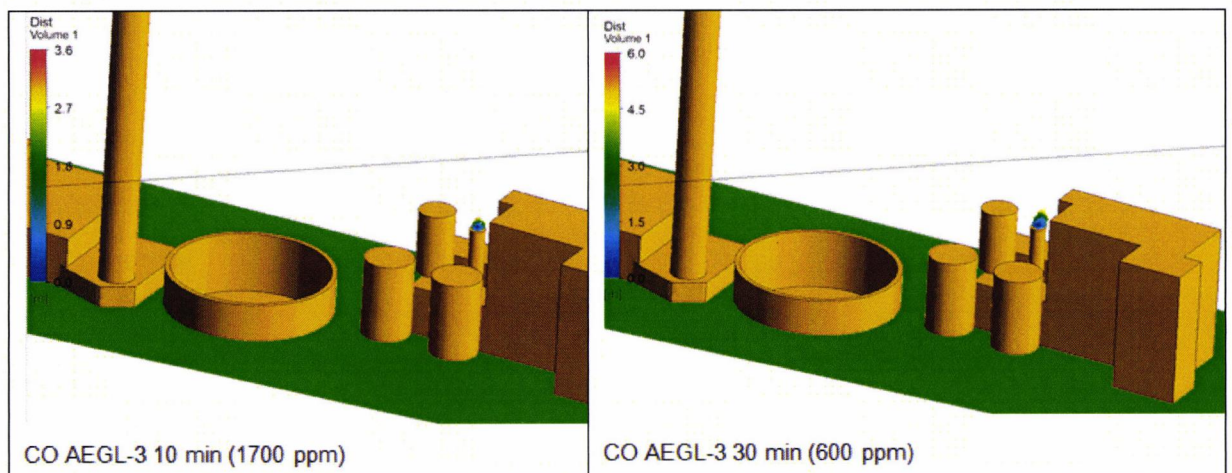
Lämpösäteilyn intensiteetti	Tuulen nopeus		
	0 m/s	5 m/s	10 m/s
3 kW/m ²	2,8	6,7	17,1
5 kW/m ²	1,8	4,9	12,4
8 kW/m ²	0,8	3,2	8,0

4.4.5. Savukaasujen ja hiukkasten leviäminen

Kuvissa 17, 18, 19, 20 ja 21 nähdään hiilimonoksidin, typpidioksidin ja rikkidioksidin leviämisalueet, joilla AEGL-2 (10 ja 30 min) ja AEGL-3 (10 ja 30 min) -arvot ylittyvät. Pilven väriyys osoittaa etäisyyttä siilon kevennysluukusta. Kuvista nähdään, että pitoisuuksien raja-arvot ylittävät päästöpilvet ovat tilavuudeltaan hyvin pieniä.



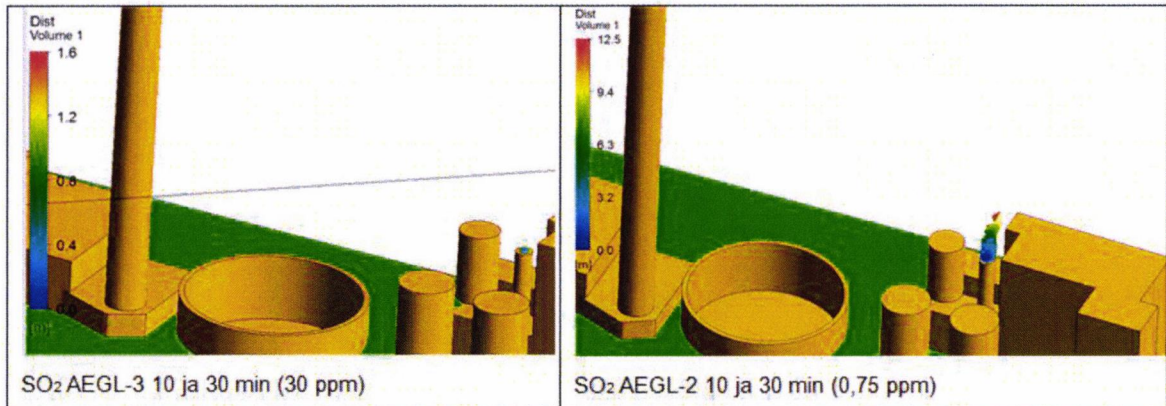
Kuva 17. Hiilimonoksidin leviämisalueet, joilla AEGL-2 (10 min ja 30 min) pitoisuudet ylittyvät.



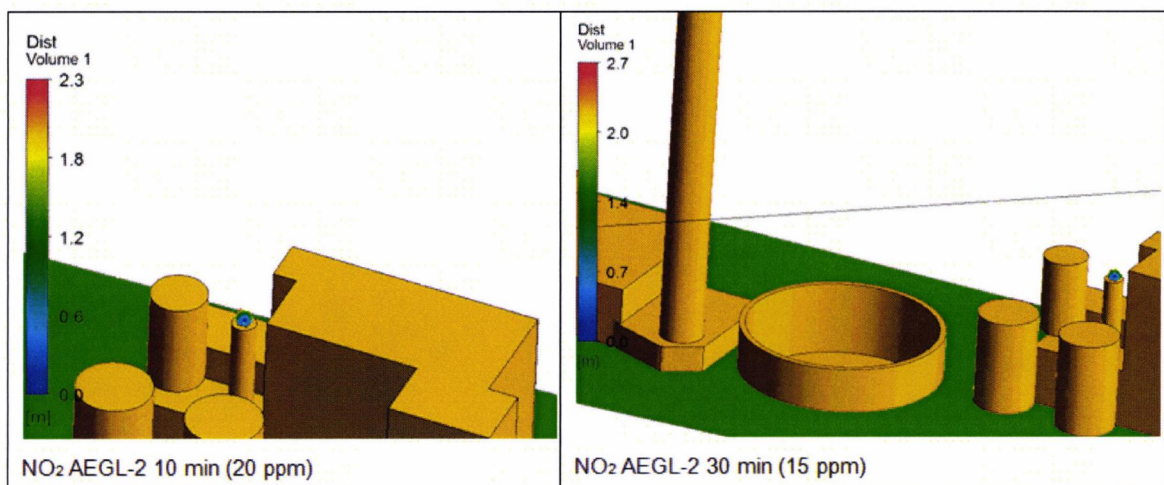
Kuva 18. Hiilimonoksidin leviämisalueet, joilla AEGL-3 (10 min ja 30 min) pitoisuudet ylittyvät.

56021-001 rev A

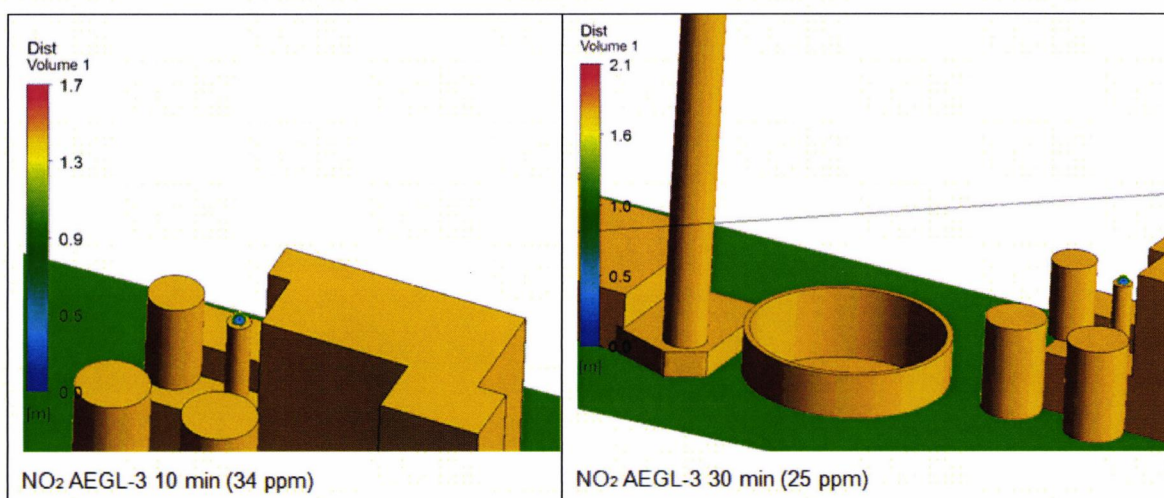
Patolaan suunnitellun pellettilämpökeskuksen
suuronnettomuusvaarojen vaikutusten arviointi



Kuva 19. Rikkidioksidin leviämisalueet, joilla AEGL-2 ja AEGL-3 (10 ja 30 min) pitoisuudet ylittyvät.



Kuva 20. Typpidioksidin leviämisalueet, joilla AEGL-2 (10 min ja 30 min) pitoisuudet ylittyvät.



Kuva 21. Typpidioksidin leviämisalueet, joilla AEGL-3 (10 min ja 30 min) pitoisuudet ylittyvät.

4.5. POK-säiliö

Olemassa olevan 10 000 m³ POR-säiliön 1 000 m³ sisäsäiliö on tarkoitus muuttaa POK-säiliöksi, jolloin ulomman POR-säiliön seinämä toimii säiliön kaksoisvaippana. Säiliö sijaitsee osittain maanpinnan alapuolella, ja sitä ympäröivät betoniseinät. Säiliön seinämän ja betoniseinän välissä on kulkutila.

POK-säiliölle tehtiin palamisen lämpösäteily- ja terveysvaikutusten arviointi ja savukaasujen leviämismallinnus. Mallinnuksessa oletettiin, että säiliössä on 900 m³ kevyttä polttoöljyä, joka palaessaan leviää ulompaan 10 000 m³ säiliön pinta-alan laajuudelle. Palamisen seurauksen säiliön katto tuhoutuu kokonaan. Öljyn palonopeudeksi oletettiin 0,06 mm/s.

Laskennassa käytettiin taulukon 8 mukaista kevyen polttoöljyn koostumusta.

Taulukko 8. POK:n koostumus.

Komponentti	C	H	O	S	N	Tuhka
Massaosuus %	87,6	12,3	0,0	0,001	0,01	0,03

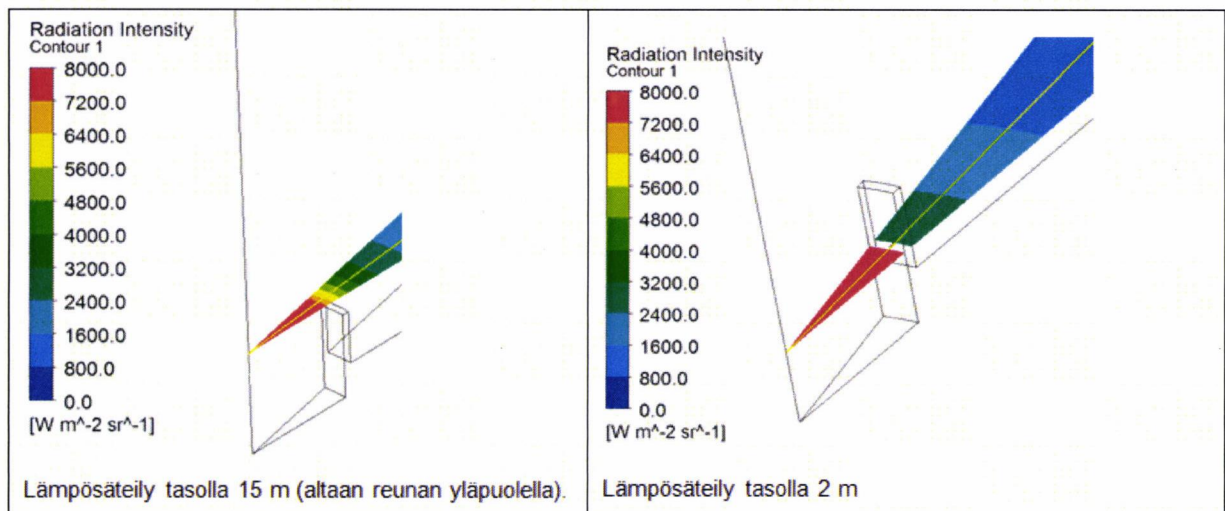
Mallinnuksessa tarkasteltiin tilannetta, jossa pinnalla palaa kevyttä polttoöljyä 40 kg/s josta muodostuu 503 kg/s savukaasua ja 6,8 kg/s nokea. Savukaasujen koostumus on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Savukaasujen koostumus.

Komponentti	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	NO ₂
Massaosuus %	71,7	0,4	20,6	7,3	0,0	0,0

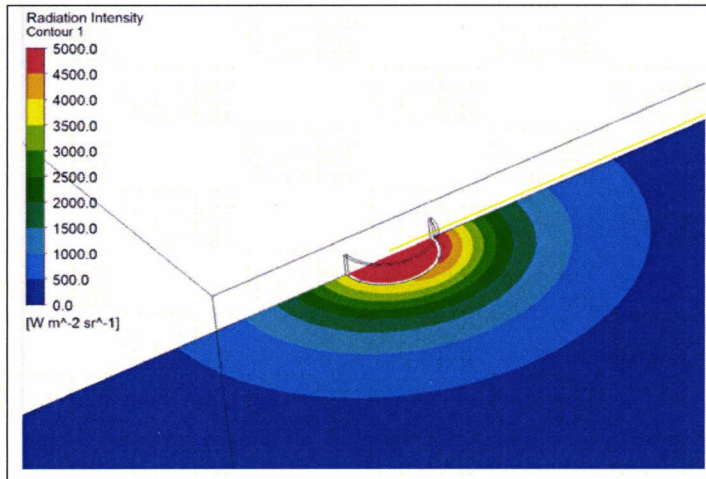
4.5.1. Lämpösäteily

POK-säiliön palosta aiheutuva lämpösäteily tuulennopeudella 0 m/s on esitetty kuvassa 22. Lämpösäteilyvaikutus tuulennopeudella 0 m/s laskettiin mallintamalla säiliöstä 12 asteen sektori. Tuloksista nähdään, että ilman tuulen vaikutusta 2 m tasolla 3 kW/m² ylittävä lämpösäteilyalue rajoittuu säiliön betoniseinien sisäpuolelle.

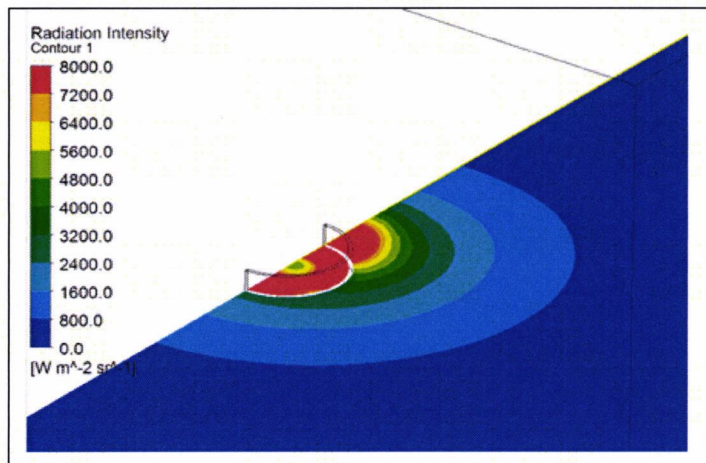


Kuva 22. POK-säiliön palon arvioitu lämpösäteily tasolla 15 m ja 2 m, kun tuulennopeus on 0 m/s.

Tuulen nopeuden vaikutuksen huomioimiseksi mallinnettiin puolikas allas. Lämpösäteilyn intensiteettiä tuulen nopeuksilla 5 m/s ja 10 m/s on esitetty kuvissa 23 ja 24.



Kuva 23. POK-säiliön palon arvioitu lämpösäteily tasolla 2 m, kun tuulen nopeus on 5 m/s.



Kuva 24. POK-säiliön palon arvioitu lämpösäteily tasolla 2 m, kun tuulen nopeus on 10 m/s.

Lasketut etäisyydet lämpösäteilyn intensiteeteille 3 kW/m², 5 kW/m² ja 8 kW/m² eri tuulen nopeuksilla nähdään taulukosta 10.

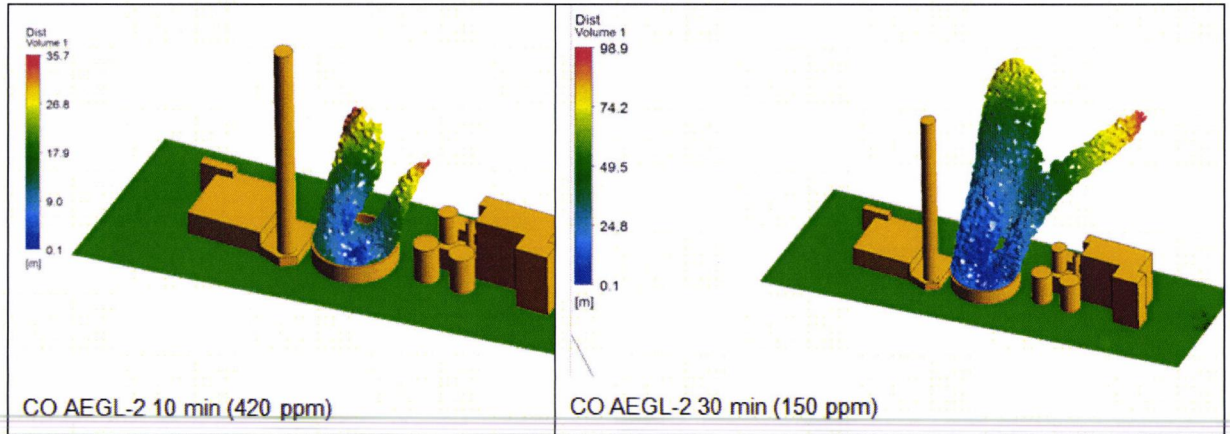
Taulukko 10. Lämpösäteilyn raja-arvojen etäisyys POK-säiliön betoniseinän ulkoreunalta (taso 2 m maanpinnan yläpuolella).

Lämpösäteilyn intensiteetti	Tuulen nopeus		
	0 m/s	5 m/s	10 m/s
3 kW/m ²	0 m	15 m	28 m
5 kW/m ²	0 m	0 m	20 m
8 kW/m ²	0 m	0 m	14 m

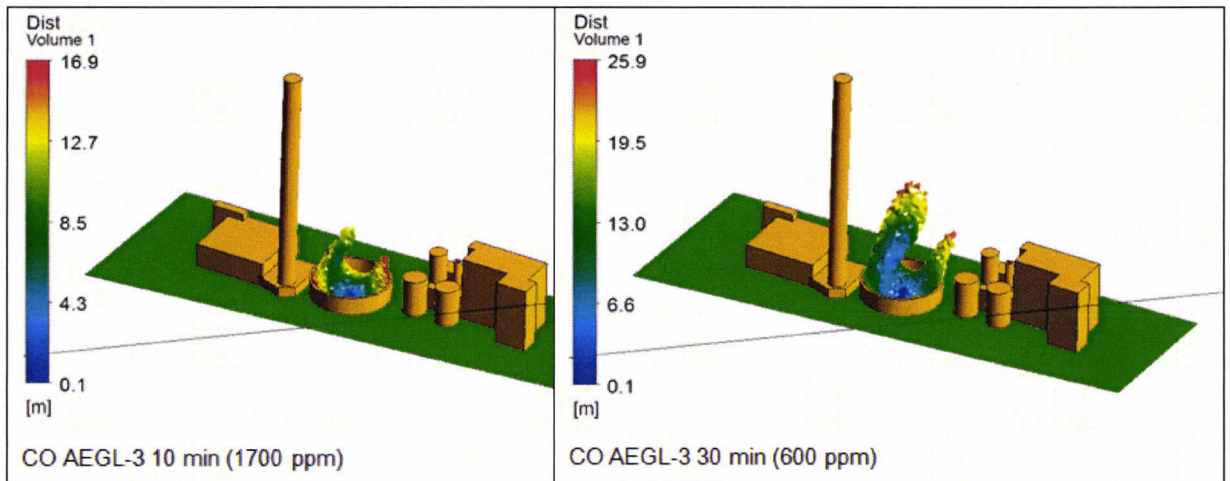
4.5.2. Savukaasujen ja hiukkasten leviäminen

Kuvissa 25 ja 26 hiilimonoksidin leviämisalueet, joilla AEGL-2 (10 min ja 30 min) ja AEGL-3 (10 min ja 30 min) -arvot ylittyvät. Kuvissa pilvien väri osoittaa etäisyyttä päästölähteestä. POK-säiliön

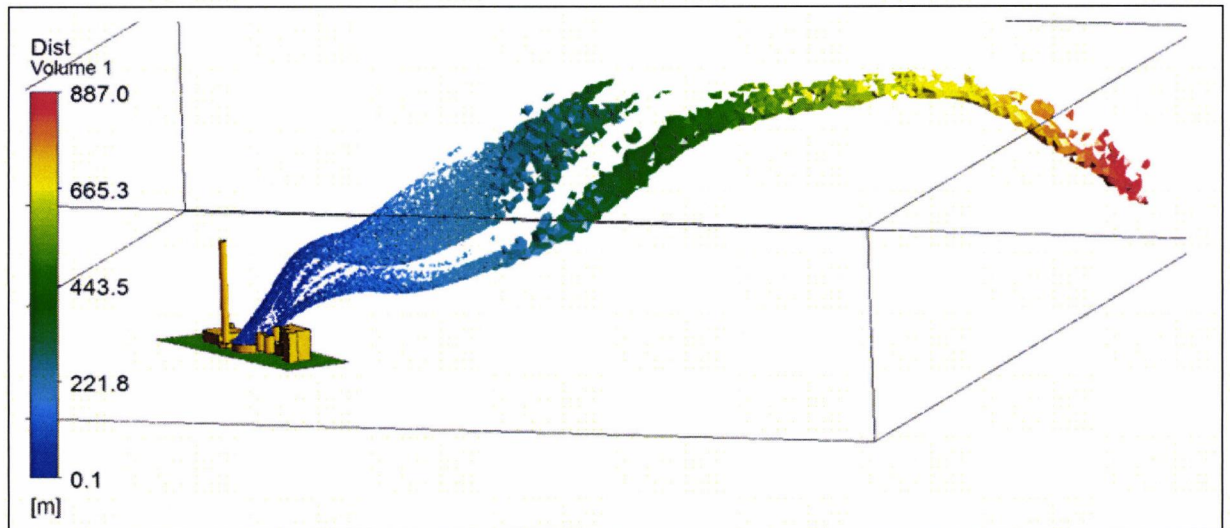
palossa typpidioksidin tai rikkidioksidin AEGL-2 tai AEGL-3 -rajat eivät ylittyneet. Palon nokipäästöt on esitetty kuvassa 27.



Kuva 25. Hiilimonoksidin leviämisalueet, joilla AEGL-2 (10 min ja 30 min) pitoisuudet ylittyvät.



Kuva 26. Hiilimonoksidin leviämisalueet, joilla AEGL-3 (10 min ja 30 min) pitoisuudet ylittyvät.


 Kuva 27. Nokipäästöjen leviämialue, jolla 10 mg/m^3 pitoisuus ylittyy.

5. TULOSTEN ANALYSOINTI

5.1. Terveysvaikutukset

Taulukossa 11 on esitetty säde, jonka alueella pelletin varastosiilon palossa terveystaivaitta aiheuttavat pitoisuudet ylittävät. Säteenä käytettiin mallinnuksessa saatua päästöpilven etäisyyttä päästölähteeseen nähden. Säde kuvaa päästöjen mahdollista leviämialuetta eri tuulilla. Vastaavat arvot pölysiilon palolle on esitetty taulukossa 12. Varastosiilosta ja pölysiilosta savukaasut purkautuvat kevennysluukun kautta. Pitoisuudet ylittävät hiilimonoksidin, rikkidioksidin ja typpidioksidin osalta.

POK-säiliön palolle suojaetäisyydet hiilimonoksidin terveystaivaitta aiheuttaville pitoisuuksille on esitetty taulukossa 13. POK-säiliön palossa savukaasut purkautuvat koko valuma-altaan poikkipinta-alalta. Pitoisuudet on esitetty myös kartalla kuvassa 28.

Taulukko 11. Pelletin varastosiilo; etäisyys, jolla AEGL-pitoisuus ylittyy.

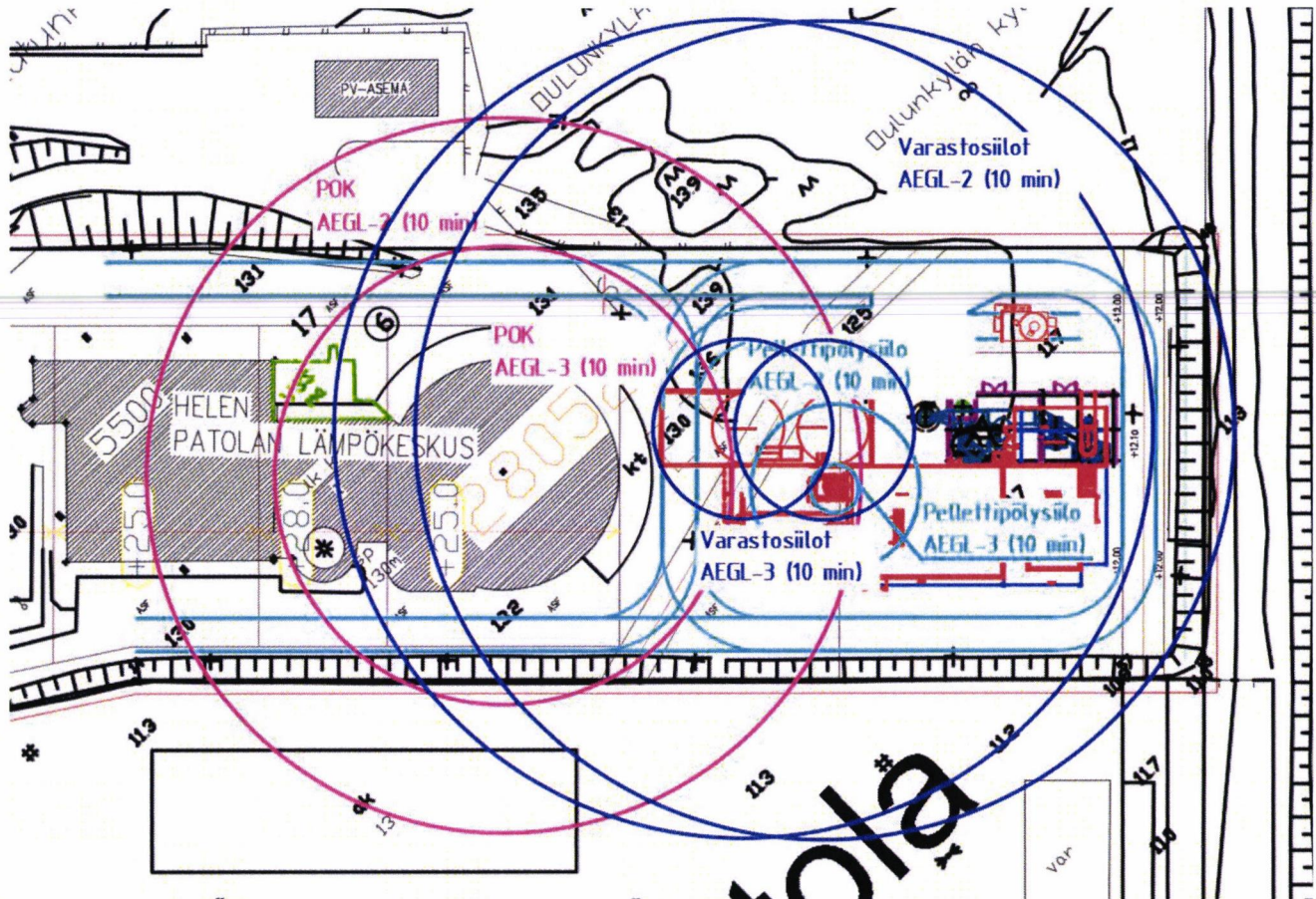
Kemikaali	AEGL-2, 10 min	AEGL-2, 30 min	AEGL-3, 10 min	AEGL-3, 30 min
CO Hiilimonoksidi	38,7 m	122,1 m	13,3 m	29,6 m
SO ₂ Rikkidioksidi	60,7 m	60,7 m	4,7 m	4,7 m
NO ₂ Typpidioksidi	5,9 m	7 m	4,7 m	5,5 m

Taulukko 12. Pelletin pölysiilo; etäisyys, jolla AEGL-pitoisuus ylittyy.

Kemikaali	AEGL-2, 10 min	AEGL-2, 30 min	AEGL-3, 10 min	AEGL-3, 30 min
CO Hiilimonoksidi	7,3 m	19,5 m	3,6 m	6,0 m
SO ₂ Rikkidioksidi	12,5 m	12,5 m	1,6 m	1,6 m
NO ₂ Typpidioksidi	2,3 m	2,7 m	1,7 m	2,1 m

Taulukko 13. POK-säiliö; etäisyys, jolla AEGL-pitoisuus ylittyy.

Kemikaali	AEGL-2, 10 min	AEGL-2, 30 min	AEGL-3, 10 min	AEGL-3, 30 min
CO Hiilimonoksidi	36 m	99 m	17 m	26 m



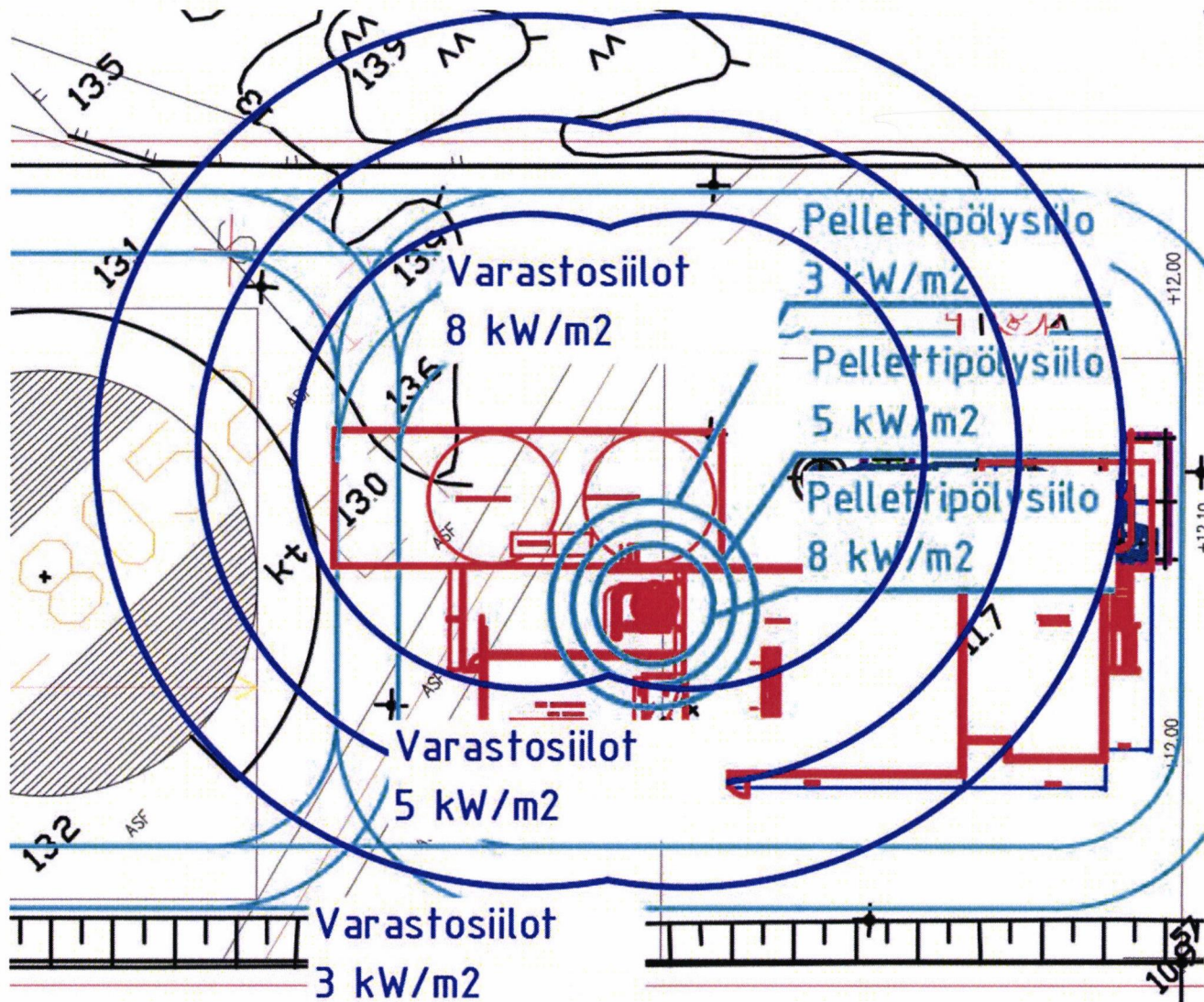
Kuva 28. Pelletin varastosiihon, pölysiilon ja POK-säiliön suurimmat 10 min AEGL-arvot ylittävät etäisyydet.

5.2. Lämpösäteily

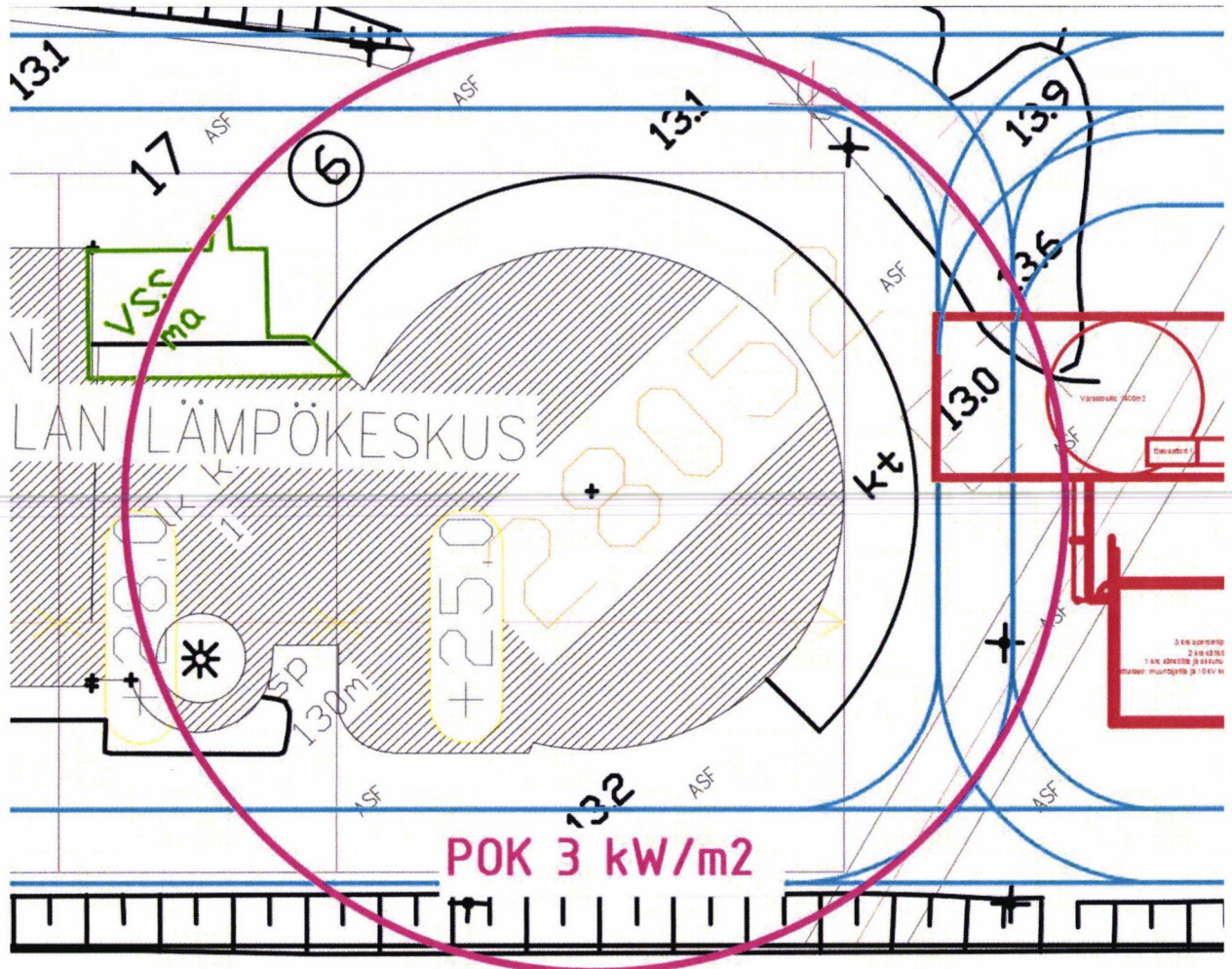
Arvioidut lämpösäteilyn vaikutusalueet pölysiilon ja pelletin varastosiihojen sekä POK-säiliön palossa tuulen nopeudella 5 m/s on esitetty kuvissa 29 ja 30. Vaikutusalueiden säteet on koottu taulukkoon 14. Kuvista nähdään, että pelletin varastosiihon palo voi tietyissä tuuliolosuhteissa levitä toiseen varastosiihoon tai pölysiiloon. POK-säiliön palossa lämpösäteilyn intensiteetti 5 kW/m² ei ylitä säiliön betoniseinämien ulkopuolella.

56021-001 rev A

Patolaan suunnitellun pellettilämpökeskuksen
suuronnettomuusvaarojen vaikutusten arviointi



Kuva 29. Lämpösäteilyn vaikutusalueet pelletin varastosiilon ja pölysiilon palossa tuulen nopeudella 5 m/s.



Kuva 30. Lämpösäteilyn vaikutusalueet POK-säiliön palossa tuulen nopeudella 5 m/s.

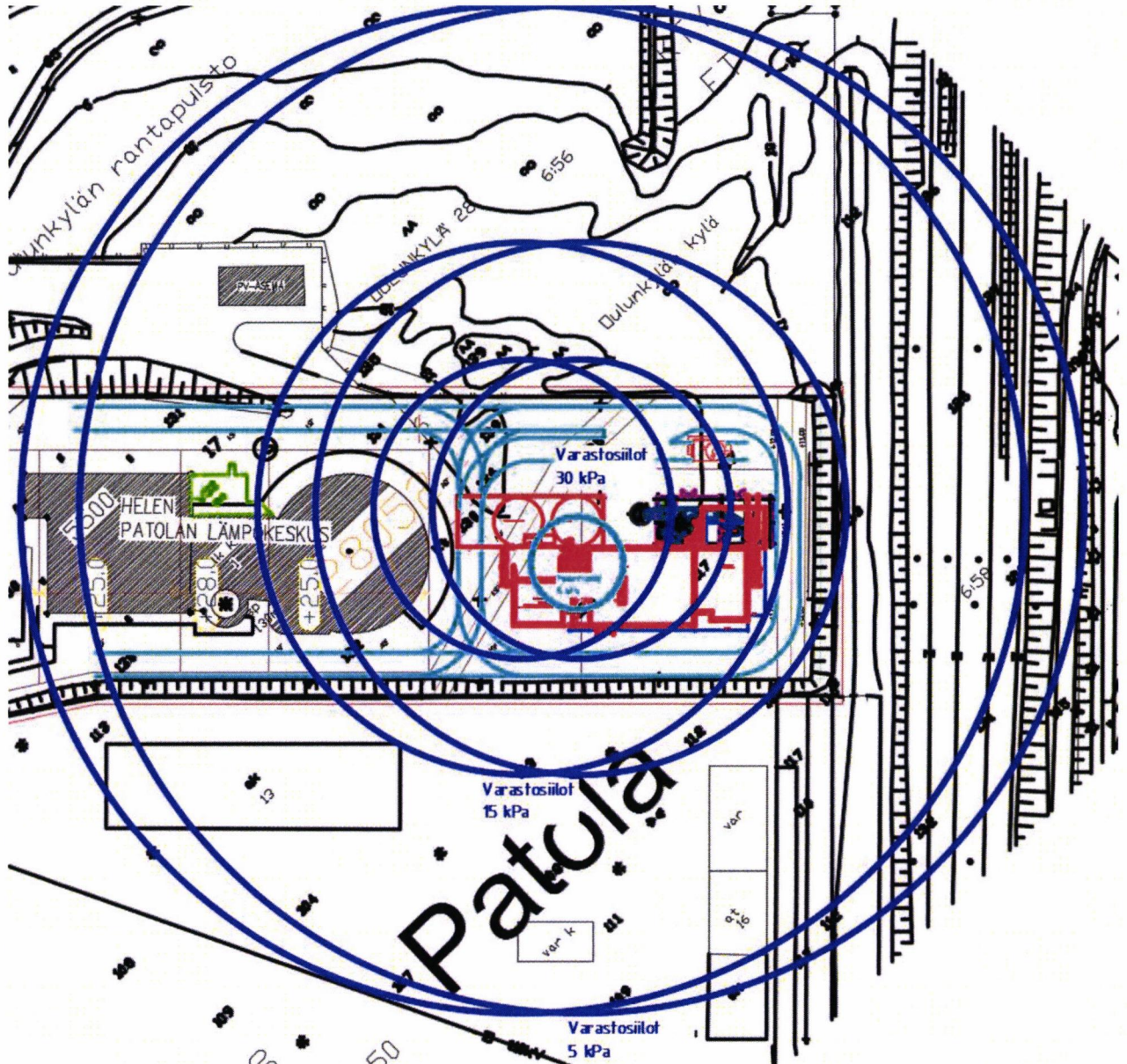
Taulukko 14. Lämpösäteilyn vaikutusalueet pelletin varastosiilon, pölysiilon ja POK-säiliön palossa tuulen nopeudella 5 m/s.

Lämpösäteilyn intensiteetti, tuuli 5 m/s	Vaikutusalueen säde		
	Pelletin varastosiilo	Pölysiilo	POK-säiliö
3 kW/m ²	35,1 m	8,3 m	32 m
5 kW/m ²	26,8 m	6,5 m	17 m
8 kW/m ²	19,1 m	4,8 m	17 m

5.3. Painevaikutukset

Pelletin varastosiilon ja pölysiilon ulkoisen räjähdysen maksimipaineen raja-arvojen säteet tasossa 2 m maanpinnan yläpuolella on esitetty kuvassa 31 ja taulukossa 15. Pelletin varastosiilot sijaitsevat sellaisella etäisyydellä toisistaan ja kattilalaitoksesta, että räjähdys voi aiheuttaa

rakenteiden vaurioitumisen. Pelletin varastosiihon ulkoisen räjähdysen lievemät ylipainevaikutukset ulottuvat myös laitosalueen ulkopuolelle.



Kuva 31. Pelletin varastosiihon ja pölysiilon ulkoisen räjähdysen maksimipaineiden säteet (taso 2 m).

Taulukko 15. Pelletin päiväsiilon ja pölysiilon ulkoisen räjähdysten maksimipaineiden säteet (taso 2 m).

Ylipaine	Säde	
	Pelletin varastosiilo	Pölysiilo
30 kPa	32 m	-
15 kPa	57 m	-
5 kPa	108 m	10 m

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Polttoaineiden käsittelyyn ja varastointiin liittyy useita riskejä, joiden seuraukset ovat vakavat, mutta todennäköisyys pieni. Onnettomuuksien todennäköisyyteen voidaan vaikuttaa suunnitteluvaiheessa laitevalinnoilla sekä käytön aikana koulutuksen ja ohjeistuksen keinoin.

1000 m³ POK-säiliön sijoitus tyhjiällä olevan entisen 10 000 m³ POR-säiliön vaipan sisään suojaa laitosta palon leviämislä POK-säiliön ja pelletin varastosiilojen välillä. Betoniseinät torjuvat myös varastosiilon pölyräjähdysten painevaikutuksia niiden sisällä sijaitsevaan POK-säiliöön. Tulosten perusteella pelletin varastosiilon palo saattaa kuitenkin levitä varastosiilosta toiseen tai kattilarakennukseen.

Pelletin varastosiilon ulkoisella räjähdyksellä on laajin vaikutusalue tarkastelluista tapauksista. Räjähdysten sattuessa vauriot ympäröiviin laitosalueen rakenteisiin ovat mahdollisia. Myös viereisen tontin varastorakennukset jäävät osittain 15 kPa vaikutusalueen sisäpuolelle ja kokonaan 5 kPa vaikutusalueen sisäpuolelle.

Päästöjen leviämismallinnuksen tuloksena POK-säiliön ja varastosiilojen tulipalo aiheuttaa päästöpilven, joka leviää laitosalueen ulkopuolelle. Kuuma päästöpilvi kohoaa ylöspäin, joten päästöt kulkeutuvat ympäristössä sijaitsevien rakennusten yläpuolella. AEGL-pitoisuuksien 10 minuutin raja-arvot mahdollisesti ylittävillä alueilla ei sijaitse erityisesti huomioitavia kohteita. Säiliön tai siilon palo arvioidaan epätodennäköiseksi tapahtumaksi.

56021-001 rev A

Patolaan suunnitellun pellettilämpökeskuksen
suuronnettomuusvaarojen vaikutusten arviointi**LÄHTEET**

1. Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (Kemikaaliturvallisuuslaki) 390/2005
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2005/20050390> [haettu 12.5.2016]
2. Pirinen P., Simola H., Aalto J., Kaukoranta J.-P., Karlsson P. ja Ruuhela R. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010. Ilmatieteen laitos (2012) saatavissa
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja_Suomen_ilmastosta_1981_2010.pdf
3. Suomen standardisoimisliitto SFSCEN, EN14491:2012 Pölyräjähdysten paineenkevennysjärjestelmät
4. Suomen Tuuliatlas <http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html>
5. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, Tuotantolaitosten sijoittaminen (2015)
http://www.tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit_kaasu/Tuotantolaitosten_sijoittaminen_2015.pdf [haettu 12.5.2016]
6. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, Vaarallisten kemikaalien varastointi (2015)
7. Työterveyslaitos, OVA-ohjeet:
 - A Hiilimonoksidi <http://www.ttl.fi/ova/hiilimono.html> [haettu 12.5.2016]
 - B Rikkidioksidi <http://www.ttl.fi/ova/rikkidio.html> [haettu 12.5.2016]
 - C Kevyt polttoöljy <http://www.ttl.fi/ova/kepoltto.html> [haettu 12.5.2016]
8. United States Environmental Protection Agency (EPA) Typpidioksidin AEGL-arvot
<http://www.epa.gov/aegl/nitrogen-dioxide-aegl-program> [haettu 12.5.2016]
9. Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta (685/2015)
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150685> [haettu 12.5.2016]
10. Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012 (turvallisuusvaatimusasetus)
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120856> [haettu 12.5.2016]