

## 5 KEMIKAALIPÄÄSTÖJEN LEVIÄMINEN JA TORJUNTA

### LUVUN SISÄLTÖ

5	KEMIKAALIPÄÄSTÖJEN LEVIÄMINEN JA TORJUNTA.....	2
5.1	JOHDANTO.....	2
5.2	KAASUT.....	3
5.2.1	Sisätila.....	3
5.2.2	Viemäri.....	5
5.2.3	Ulkoilma.....	5
5.2.4	Vesistö.....	8
5.3	NESTEYTETYT KAASUT.....	9
5.3.1	Sisätila.....	9
5.3.2	Viemäri.....	10
5.3.3	Ulkoilma.....	11
5.3.4	Maanpinta.....	12
5.3.5	Vesistö.....	13
5.4	NESTE.....	14
5.4.1	Sisätila.....	14
5.4.2	Viemäri.....	14
5.4.3	Maanpinta.....	18
5.4.4	Maaperä.....	18
5.4.5	Vesistö.....	20
5.5	KIINTEÄ AINE.....	22
5.5.1	Leviäminen.....	22
5.6	KIRJALLISUUTTA.....	23

## 5 KEMIKAALIPÄÄSTÖJEN LEVIÄMINEN JA TORJUNTA

### 5.1 JOHDANTO

Kemikaalin leviäminen vuototilanteessa riippuu paitsi sen olomuodosta ja ominaisuuksista, myös vuodon suuruudesta, tapahtumapaikasta ja ympäristöolosuhteista. Leviämisen ennustaminen vaatii usein asiantuntija-apua ja toisinaan leviäminen voidaan selvittää vasta jälkikäteen analysoimalla näytteitä laboratoriossa.

Pelastustoiminnan johtajan on havaintojensa ja tietojensa perusteella tehtävä alustava arvio kemikaalin leviämisestä. Arvion perusteella hän pystyy määrittämään vuodon vaara-alueen ja päättelemään mahdollisen ympäristövahingon laajuuden. Arvion tekemistä varten hänen on tunnettava ympäristön ominaisuudet ja kemikaalien leviämiseen vaikuttavat tekijät. Nämä tiedot auttavat myös torjuntamenetelmän valinnassa.

Taulukossa 1 on yhteenveto ympäristöistä, joissa kemikaalien eri olomuodot leviävät. Kaksi rastia tarkoittaa todennäköistä ja merkittävää vaaran aiheuttavaa leviämisympäristöä. Yksi rasti tarkoittaa epätodennäköistä tai vähäisen vaaran aiheuttavaa leviämisympäristöä. Taulukossa on myös yhteenveto tavallisimmista torjuntamenetelmistä, joilla leviämistä voidaan rajoittaa.

**Taulukko 5. 1 Kemikaalien leviämisympäristöt**

olomuoto	sisätila	viemäri	ulkoilma	maanpinta	maaperä	vesistö
kaasu	xx	x	xx			x
nest. kaasu	xx	x	xx	xx		x
neste	x	xx		xx	xx	xx
kiinteä	x	x	x	x		x
kaasu	sulje, tuuleta	sulje, tuuleta	laimenna, pese			sulje
nest. kaasu	sulje, tuuleta	sulje, tuuleta	peitä	patoa, peitä		patoa
neste	tuki, tuuleta	tuki, tuuleta		patoa, pumppaa	pumppaa, poista	puomita, patoa
kiinteä	kerää	tuki	peitä	kerää		puomita, kerää

## 5.2 KAASUT

Kaasua voi vuotaa kaasupullosta, -säiliöstä tai -putkistosta. Kaasua voi myös muodostua kemiallisessa reaktiossa: esimerkiksi kun vahva happo reagoi metallin kanssa, muodostuu vetyä. Kaasumaisessa olomuodossa olevaa ainetta, joka on haihtunut nestemäisestä kemikaalista, kutsutaan tämän kemikaalin höyryksi.

### 5.2.1 Sisätila

#### 5.2.1.1 Leviäminen

Kaasun leviämiseen sisätilassa vaikuttaa vuotoaukon koko ja sijainti, kaasun paine putkessa tai säiliössä, kaasun tiheys sekä tilan koko ja ilmanvaihto. Ohjekorteissa annetaan kaasun suhteellinen tiheys ilmaan verrattuna. On huomattava, että tämä tarkoittaa laimenemattoman kaasun tiheyttä.

Jos kaasu vuotaa kaasupullosta, sen ulosvirtausnopeus on suuri ja kaasuun vuotoaukon ulkopuolella sekoittuva ilma laimentaa sitä tehokkaasti. Sisätiloissa olevat kaasuputkistot ovat yleensä matalapaineisia. Jos kaasu vuotaa tällaisesta putkistosta, sen ulosvirtausnopeus on pieni ja kaasuun sekoittuu suhteellisen vähän ilmaa. Lattialle vuotaneesta nesteestä haihtuvaan höyryyn sekoittuu samoin suhteellisen vähän ilmaa.

Huonetilaan vuotavan kaasun käyttäytyminen riippuu vuodossa muodostuvan kaasun ja ilman seoksen tiheydestä ympäröivään ilmaan verrattuna. Ellei kaasu ole hyvin kylmää tai hyvin kuumaa, seoksen tiheys on aina kaasun tiheyden ja ilman tiheyden välissä. Ilmaa kevyempi kaasu, esimerkiksi vety tai metaani (maakaasu on lähes puhdasta metaania), muodostaa ilmaa kevyemmän seoksen ja ilmaa raskaampi kaasu, esimerkiksi propaani, ilmaa raskaamman seoksen. Nestemäisten kemikaalien höyry on ilmaa raskaampaa ja muodostaa siis ilmaa raskaamman seoksen.

Sisätilaan vuotava ilmaa kevyempi kaasu muodostaa vuotokohdan ja katon väliin kerroksen, jossa kaasun pitoisuus on vakio. Ilmaa raskaampi kaasu muodostaa vastaavanlaisen kerroksen vuotokohdan ja lattian välille (kuva 5.1).

Tilassa on oletettu olevan painovoimainen tai koneellinen ilmanvaihto, jossa ilma poistuu katon korkeudelta. Kaasuvuoto on oletettu niin pieneksi, että vuotava kaasu sekoittuu tilan ilmaan eikä vaikuta olennaisesti tilan ilmanvaihtoon. Jos kaasuvuoto on hyvin suuri, se synnyttää tilaan ylipaineen, joka muuttaa tilan ilmanvaihdon toisenlaiseksi.

Tehdyillä oletuksilla kaasun pitoisuus kerroksessa määräytyy vuodon suuruuden (l/s kaasua) ja tilan ilmanvaihtonopeuden (l/s ilmaa) suhteesta. Jos tämä suhde on suuri (vuoto on suuri tai ilman vaihtuminen on hidasta), pitoisuus on korkea.

Lattialle vuotaneesta nesteestä haihtuva höyry on ilmaa raskaampaa ja muodostaa kerroksen lattian läheisyyteen (kuva 5.1). Ilmaa raskaampi kaasu tai höyry valuu

lattian syvennyksiin, kellareihin ja viemäreihin. Koska näissä tiloissa ilma vaihtuu hitaasti, niihin saattaa muodostua korkea pitoisuus.

Jos kaasu vuotaa ulkona ja sitä tulee sisään ilmanvaihdon mukana, kaasu on yleensä laimentunut niin paljon, että seoksen tiheys on suunnilleen sama kuin ilman. Tällöin kaasu sekoittuu koko huoneen ilmaan.

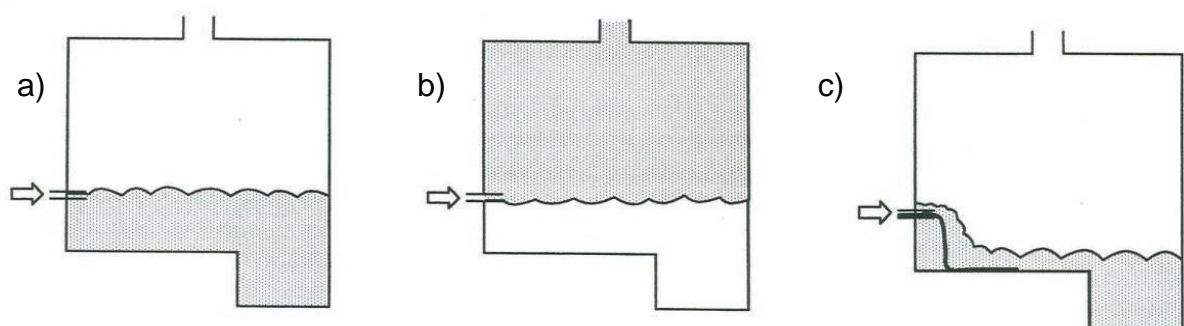
### 5.2.1.2 Torjunta

Tilan suunnittelussa voidaan varautua vuotoihin tehokkaalla ilmanvaihdolla ja sijoittamalla ilmanvaihtoventtiilit tarkoituksenmukaisiin paikkoihin. Kaasun leviäminen viereisiin tiloihin voidaan estää ylipaineistuksella ja ilmanvaihtokanavien palopeltien ohjauksella.

Vuodon sattuessa pitoisuutta pienennetään rajoittamalla vuotoa, siirtämällä vuotava pullo ulos tai tehostamalla ilmanvaihtoa. Kohteesta riippuen ilmanvaihtoa voidaan tehostaa kasvattamalla ilmanvaihtolaitoksen ilmavirtaa tai avaamalla ikkunat ja ulko- ovet ja tarvittaessa tuulettamalla tila.

Tuuletus on tehokkainta, jos tilaan voidaan järjestää läpiveto avaamalla ikkunat ja ovet sekä tuulen ylä- että alapuolella. Tuulettamista voidaan tehostaa suihkuttamalla sumusuihkulla ulospäin tuulen alapuolella olevassa ikkuna- tai oviaukossa. Jos oviaukkoja on vain yksi, sumusuihkulla suihkutetaan sisään oviaukosta, jolloin ilma poistuu avatuista ikkunoista. [Ohje M7a](#).

Voidaan myös käyttää (kipinöimätöntä) savutuuletinta, jolla puhalletaan ilmaa sisään (tuulen yläpuolella olevasta) oviaukosta. [Ohje M7a](#). Vuodon lakattua kaasu tai höyry poistuu huonetilasta vähitellen ilmanvaihdon mukana. Tuulettaminen nopeuttaa kaasun poistumista.



**Kuva 5. 1 a) Ilmaa raskaampi kaasu muodostaa kerroksen päästökohdan ja lattian välille. b) Ilmaa kevyempi kaasu muodostaa kerroksen päästökohdan ja katon välille. c) Helposti haihtuvan nesteen höyryt leviävät lattian läheisyydessä ja valuvat syvennyksiin.**

## 5.2.2 Viemäri

### 5.2.2.1 Leviäminen

Ilmaa raskaampaa kaasua ja nesteestä haihtunutta höyryä voi valua tai imeytyä viemäriin. Kaasu leviää viemäriverkossa virtaavan ilman mukana. Syttyvä kaasu tai höyry voi aiheuttaa viemäriverkossa räjähdysvaaran.

### 5.2.2.2 Torjunta

Kaasun tai höyryn joutuminen viemäriverkkoon estetään sulkemalla vuoto, tuulettamalla tila, peittämällä viemäriin aukko tai tukkimalla viemäri. Syttyvän kaasun tapauksessa poistetaan syttymislähteet. Molemmista päistään tukittu viemäriosuus tuuletetaan puhaltamalla sinne ilmaa (kipinöimättömällä) savutuulettimella. [Ohje M7a](#). Viemäriin joutunut kaasu voidaan poistaa myös paineilmaejektorilla imemällä.

## 5.2.3 Ulkoilma

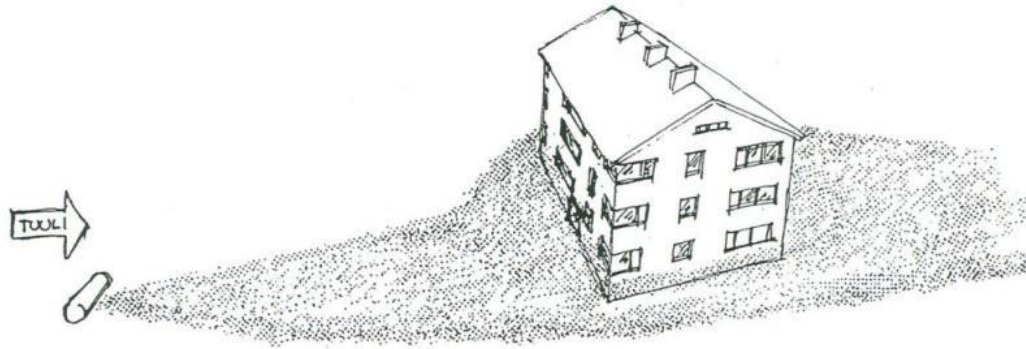
### 5.2.3.1 Leviäminen

Pieni vuoto ulkoilmaan esim. kaasupullosta ei yleensä aiheuta haittaa. Kaasu virtaa ulos suurella nopeudella ja siihen sekoittuva ilma laimentaa kaasua tehokkaasti. Suuri kaasupäästö ulkoilmaan esimerkiksi kaasuputkesta tai -säiliöstä voi aiheuttaa vaaraa etäämpänä tuulen alapuolella.

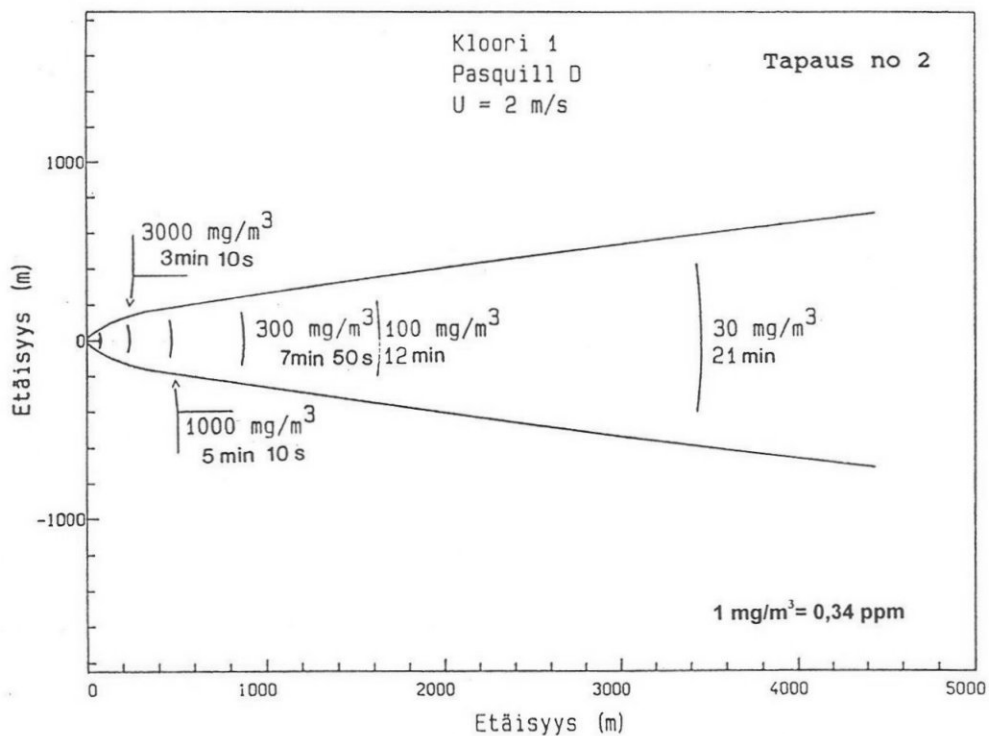
Päästö kulkeutuu myötätuuleen maanpintatuulen mukana. Vuotokohtaan lähellä ilmaa kevyempi tai lämmin kaasu kohoaa aluksi ylöspäin, kun taas ilmaa raskaampi tai kylmä kaasu saattaa painua maanpinnan läheisyyteen. Maanpintatuuli kiertää suuret rakennukset ja muut esteet (kuva 5.2).

Jos kaasu pääsee ilmaan suuren rakennuksen takana, se sekoittuu ilmaan rakennuksen synnyttämässä tuulen pyörteissä. Sekoittuminen pienentää hieman vuodon vaaraetäisyyttä. Maanpintatuulen nopeus hidastuu metsässä. Esteet muuttavat siten paikallisesti kaasun leviämistä.

Kun kaasuvana kulkeutuu, siihen sekoittuu jatkuvasti lisää ilmaa. Vanan leveys ja korkeus kasvavat ja kaasun pitoisuus vanassa pienenee. Tavallisimmissa säätilanteissa kaasu leviää 10 - 20°:n sektorissa (kuva 5.3). Aurinkoisina heikkotuulisina kevät- ja kesäpäivinä sektori on leveämpi: 30 - 40°.



Kuva 5. 2 Kaasupäästö seuraa maanpintatuulta, joka kiertää rakennukset ja muut suuret esteet (Lautkaski & Teräsmaa 1990).



Kuva 5. 3 Nesteklooria vuotaa 6,3 kg/s, joka kaikki höyrystyy. Sää on pilvinen ja tuulen nopeus on 5 m/s. Kaasu leviää 16°:n sektorissa (Kukkonen & Savolainen 1988).

Kaasun pitoisuus pienenee ja sen aiheuttama vaara vähenee vuotokohdasta mitatun etäisyyden kasvaessa. Vaaraetäisyys riippuu mm. päästön suuruuden ja tuulen nopeuden suhteesta. Siten vaaraetäisyys kasvaa kun päästön suuruus (kg/s) kasvaa tai tuulen nopeus (m/s) pienenee.

Vaaraetäisyys riippuu myös ilmakehän lämpötilajakaumasta eli stabiiliudesta (kuva 5.4):

- Vaaraetäisyys on suurin stabiilissa säätilanteessa, joka esiintyy öisin ja talvella myös päivisin, kun taivas on selkeä tai puolipilvinen ja tuulen nopeus alle 5 m/s.
- Vaaraetäisyys on keskimääräinen neutraalissa säätilanteessa, joka esiintyy pilvisellä säällä sekä silloin, kun tuulen nopeus on vähintään 5 m/s.

- Vaaraetäisyys on pienin labiilissa säätilanteessa, joka esiintyy lumettomana aikana (varsinkin keväällä ja kesällä) päivisin, kun taivas on selkeä tai puolipilvinen ja tuulen nopeus alle 5 m/s.

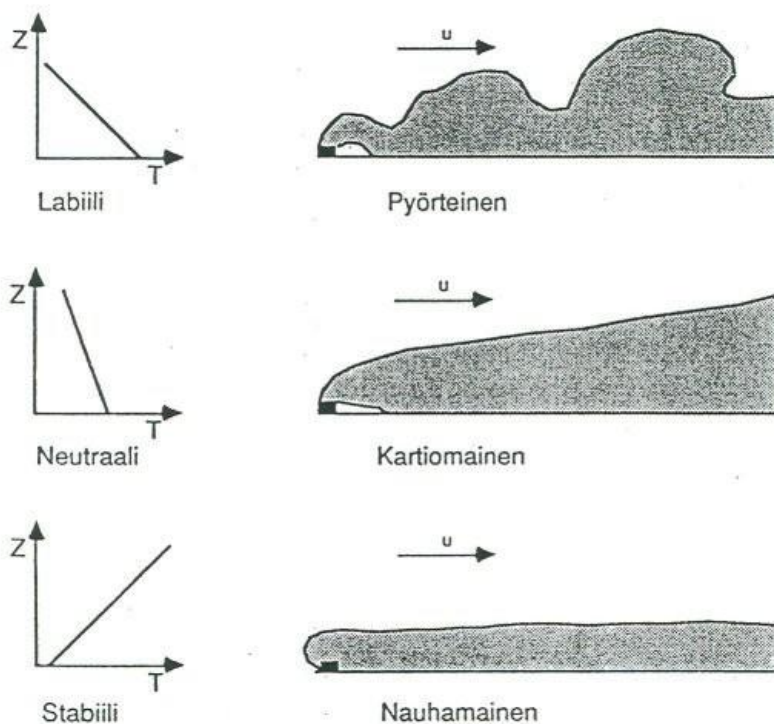
### 5.2.3.2 Torjunta

Suuren kaasuvuodon vaara-alue on ympyrä päästökohdan ympärillä ja 40°:n sektori myötätuuleen (kuva 5.5). Kaasuvana jää tällöin vaara-alueen sisään, vaikka esteet levittäisivät sitä ja vaikka tuulen suunta olisi määritetty epätarkasti.

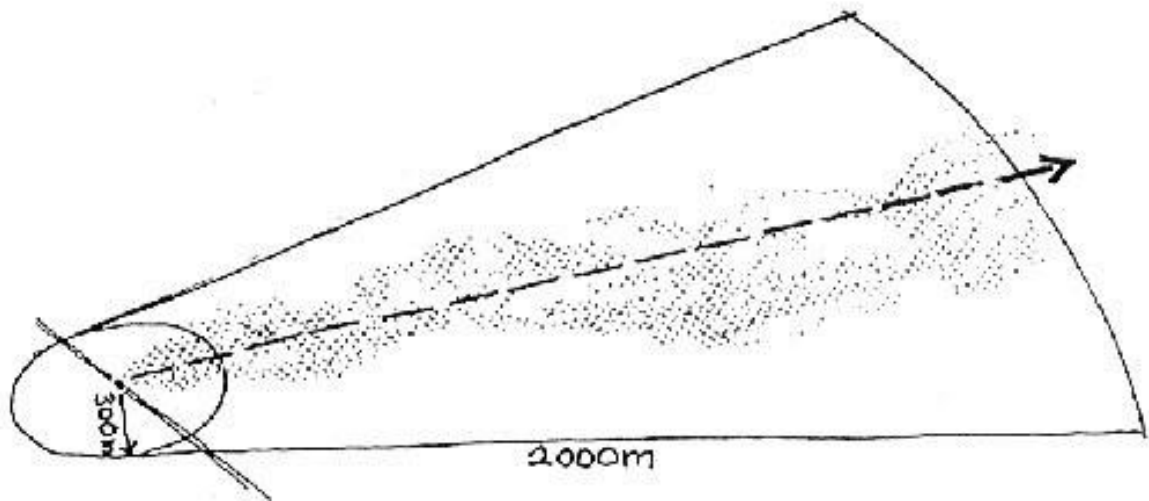
Suuren vuodon tapauksessa ensisijainen toimenpide on vaarassa olevien ihmisten varoittaminen ja siirtäminen sivutuuleen kävelemällä pois vaara-alueelta tai sisätiloihin. Sisätilat antavat hyvän suojan kaasulta, kunhan ikkunat ja ovet suljetaan sekä koneellinen ilmanvaihto pysäytetään.

Kaasupäästöä voi jonkin verran laimentaa ja sen vaara-aluetta pienentää tehostamalla vuotokohdan lähellä ilman sekoittumista päästöön. Tapauksesta riippuen voidaan käyttää sumusuihkuja (suihku imee mukaansa ilmaa ja toimii näin tuulettimena), suorja suihkuja tai (kipinöimätöntä) savutuuletinta.

Vesiliukoisia kaasuja voidaan jossain määrin pestä ilmasta (liuottaa vesipisaroihin). Sumusuihkut suunnataan vanan näkyvään osaan sivulta päin ja vinosti myötätuuleen. Jos vanan lähelle ei pääse, suorat suihkut suunnataan vinosti ylöspäin siten, että suihkut hajotessaan putoavat kaasuvan päälle. [Ohje M8c](#).



Kuva 5. 4 Ilmakehän lämpötilajakauman eli stabiiliuden vaikutus kaasun leviämiseen. Labiili tilanne = lämpötila alenee voimakkaasti ylöspäin mentäessä. Neutraali tilanne = lämpötila alenee vain vähän ylöspäin mentäessä. Stabiili tilanne = lämpötila nousee ylöspäin mentäessä. (Kukkonen & Savolainen 1988)



Kuva 5. 5 Myrkyllisen kaasupäästön vaara-alue on ympyrä ja 40°:n sektori. Kaasuvana jää sektorin sisään, vaikka tuulen suunta olisi määritelty epätarkasti (Lautkaski & Teräsmaa 1990).

## 5.2.4 Vesistö

### 5.2.4.1 Leviäminen

Kaasun joutuminen vesistöön on epätodennäköistä. Näin voi käydä, jos vuotava kaasupullo putoaa vesistöön. Vuotava kaasu nousee tällöin kuplina pinnalle. Jos kaasu on vesiliukoista, se liukenee osittain tai kokonaan veteen. Pinnan alla vuotavan kaasun aiheuttama vaara on vähäinen. Vesiliukoinen kaasu, kuten ammoniakki, saattaa kuitenkin aiheuttaa ympäristövahingon.

### 5.2.4.2 Torjunta

Jos vuotava kaasu voi veteen liuetessaan aiheuttaa ympäristövahingon, vuotava kaasupullo poistetaan vedestä.



### 5.3 NESTEYTETYT KAASUT

Nesteytettyä kaasua voi vuotaa kuljetus- tai varastosäiliöstä sekä putkistosta. Vuotavan nesteytetyn kaasun käyttäytymisen määrää sen lämpötila säiliössä. Jäähdyttämällä nesteytettyjen kaasujen lämpötila säiliössä on suunnilleen kiehumislämpötila. Tämä lämpötila on hyvin alhainen: hapella ja typellä noin -190 °C.

Paineenalaisena nesteytettyt kaasut ovat säiliössä ympäristön lämpötilassa. Tavallisesti ympäristön lämpötila on kiehumislämpötilaa korkeampi. Tällöin säiliössä on ylipainetta. Eräiden kaasujen kiehumislämpötila on suhteellisen korkea ja ympäristön lämpötila voi olla sitä alempi erityisesti pakkasella. Tällöin säiliö on paineeton.

Jäähdyttämällä nesteytetyn kaasun vuoto muodostaa aina lammikon. Lammikko muodostuu myös paineenalaisena nesteytetyillä kaasuilla, jos niiden lämpötila säiliössä on enintään noin 15 °C kiehumislämpötilan yläpuolella.

Kun paineenalaisena nesteytetty kaasua vuotaa, osa siitä höyrystyy paineen laskiessa säiliön paineesta ulkoiseen paineeseen. Jäljelle jäävä neste jäähtyy kiehumislämpötilaan. Jos säiliössä olevan nesteen lämpötila on vähintään 15 - 25 °C kiehumislämpötilaa korkeampi, osa nesteestä hajoaa pisaroiksi. Pisaroituminen on täydellistä, kun em. erotus on 40 - 55 °C.

Koska kiehumislämpötila on varsin matala, nestepisarat ovat kylmiä. Suihkuun sekoittuva ilma haihduttaa pisarat ja jäähtyy samalla. Ilman vesihöyry tiivistyy tällöin sumupisaroiksi. Pisaroituva suihku muodostaa valkoisen (kloorilla oranssin), läpinäkymättömän sumupilven.

#### 5.3.1 Sisätila

Nesteytettyjen kaasujen varastosäiliöt ja kuljetussäiliöiden täyttö- ja tyhjennyspaikat ovat yleensä ulkona. Nesteytetty kaasua höyrystetään ulkona ja johdetaan kaasumaisena käyttöpaikalle. Joissakin teollisuuslaitoksissa paineenalaisena nesteytetyn myrkyllisen kaasun varastosäiliöt ja kuljetussäiliöiden täyttö- tai tyhjennyspaikka on sijoitettu erilliseen huonetilaan. Nesteammoniakin vuoto sisätilaan on mahdollinen jäähdytyslaitoksissa.

##### 5.3.1.1 Leviäminen

Kun paineenalaisena nesteytetyn myrkyllisen kaasun varastosäiliö tai kuljetussäiliöiden täyttö- tai tyhjennyspaikka on sijoitettu sisätilaan, pienten vuotojen joutuminen ulkoilmaan voidaan estää johtamalla kaasua hävityslaitteistoon. Hävityslaitteistossa esim. kloori liuotetaan natriumhydroksidiliuokseen ja rikkidioksidi veteen. Laitteiston teho riittää vain pienille vuodoille.

Suuremmilla vuotoilla kaasua virtaa tilaan ja myöhemmin ilmaan sekoittuneena tilan aukoista ulkoilmaan. Kaasun pääsy ulkoilmaan viivästyy tällä tavalla muutamia minuutteja, jonka aikana vaaraan joutuvia ihmisiä voidaan varoittaa.

Nesteammoniakin vuoto sisätilaan voi muodostaa syttyvän seoksen (syttymisalue on 16 - 28 %). Voimakas sytytyslähde, esimerkiksi sähkölaitteen kipinä voi sytyttää ammoniakin ja ilman seoksen, jolloin seurauksena on sisätilaräjhdys.

### 5.3.1.2 Torjunta

Pisaroituva nestevuoto pyritään peittämään tai johtamaan putkeen siten, että suihku törmää peitteeseen tai putken seinään. Peitteestä muodostetaan telta vuodon ympärille, jotta suihkuun ei pääse sekoittumaan ilmaa. Ilman virtaus putken lävitse estetään sulkemalla putken aukko vuotokohdan takana. Peitteeseen tai putken seinään törmäävät pisarat valuvat lattialle lammikoksi. [Ohje M8a](#).

Ulkona sattuviin vuotoihin verrattuna sisätilaan muodostuu huomattavasti suurempi kaasupitoisuus. Pienissäkin vuotoissa suojaustason on oltava korkeampi kuin ulkona. Kemikaalisuojapuvun pukemiseen kuluva aika hidastaa torjunnan aloittamista ja huono näkyvyys pisarapilvessä haittaa torjuntaa.

Ammoniakkilaitoksen tapauksessa poistetaan syttymislähteet (katkaistaan sähkövirta tilan ulkopuolelta). Räjähdyksivaaran poistamiseksi tila tuuletetaan (kipinöimättömällä) savutuulettimella. [Ohje M7a](#). Tarvittaessa tuulen alapuolella olevia varoitetaan ammoniakkipäästöstä.

## 5.3.2 Viemäri

### 5.3.2.1 Leviäminen

Nesteytetyn kaasun valuminen viemäriin on epätodennäköistä. Jos näin käy, nesteytetty kaasu kiehuu joutuessaan kosketukseen sitä lämpimämmän viemärivereden kanssa ja muodostaa paljon kaasua (1 litra nesteytettyä kaasua muodostaa noin 500 l kaasua). Kaasu leviää viemäriverkkoa pitkin ja purkautuu viemärikaivojen kautta ilmaan. Syttyvän nesteytetyn kaasun valuminen viemäriin aiheuttaa räjähdysvaaran.

### 5.3.2.2 Torjunta

Nesteytetyn kaasun valuminen viemäriin estetään sulkemalla vuoto, patoamalla lammikko, peittämällä viemäriin aukko tai tukkimalla viemäri. Syttyvän kaasun tapauksessa poistetaan syttymislähteet. Viemärikaivojen ympäristö eristetään.

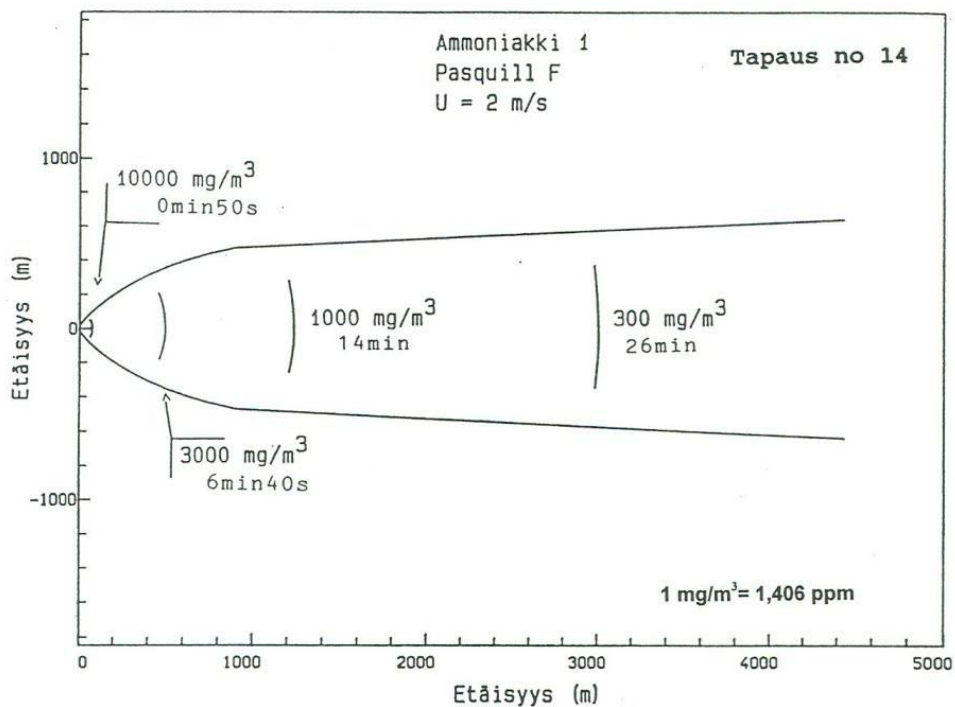
Molemmista päistään tukittu viemäriosuus tuuletetaan puhaltamalla sinne ilmaa (kipinöimättömällä) savutuulettimella. [Ohje M7a](#). Viemäriin joutunut kaasu voidaan poistaa myös paineilmaejektorilla imemällä.

### 5.3.3 Ulkoilma

#### 5.3.3.1 Leviäminen

Heikolla tuulella ja suurella päästöllä (kg/s) muodostuu kylmä kaasuvana, joka on ympäröivää ilmaa raskaampi senkin jälkeen kun sumu on haihtunut. Myötätuuleen kulkeutuva raskas kaasuvana painuu vuotokohdan lähellä matalaksi ja leviää samalla valumalla sivusuuntaan. Lähialueella (muutamien kymmenen tai sadan metrin etäisyydellä) kaasu voi levitä jopa 90°:n sektorissa (kuva 5.6). Kauempana kaasuvana on jo lämmennyt niin paljon, että sen korkeus alkaa kasvaa ja päästö kulkeutuu myötätuuleen maanpintatuulen mukana.

Maanpintatuuli kiertää suuret rakennukset ja muut esteet (kuva 5.2). Jos kaasu pääsee ilmaan suuren rakennuksen takana, se sekoittuu ilmaan rakennuksen synnyttämässä tuulen pyörteissä. Sekoittuminen pienentää hieman vuodon vaaraetäisyyttä. Maanpintatuulen nopeus hidastuu metsässä. Esteet muuttavat siten kaasun leviämistä paikallisesti.



**Kuva 5.6** Nesteammoniakkaa vuotaa 11,6 kg/s, joka kaikki höyrystyy. Selkeä yö, tuulen nopeus 2 m/s. Lähialueella (0 - 600 m) kaasu leviää 65°:n sektorissa (Kukkonen & Savolainen 1988).

Kun kaasuvana kulkeutuu, siihen sekoittuu jatkuvasti lisää ilmaa. Vanan leveys ja korkeus kasvavat ja kaasun pitoisuus vanassa pienenee. Tavallisimmissa säätilanteissa kaasu leviää (lähialuetta lukuun ottamatta) 10 - 20°:n sektorissa (kuva 5.3). Aurinkoisina heikkotuulisina kesäpäivinä sektori on leveämpi: 30 - 40°.

Kaasun pitoisuus pienenee ja sen aiheuttama vaara vähenee vuotokohdasta mitatun etäisyyden kasvaessa. Vaaraetäisyys riippuu päästön suuruuden ja tuulen nopeuden suhteesta. Vaaraetäisyys kasvaa kun päästön suuruus (kg/s) kasvaa tai tuulen nopeus (m/s) pienenee.

Vaaraetäisyys riippuu myös ilmakehän lämpötilajakaumasta eli stabiiliudesta (kuva 5.4):

- Vaaraetäisyys on suurin stabiilissa säätilanteessa, joka esiintyy öisin ja talvella myös päivisin, kun taivas on selkeä tai puolipilvinen ja tuulen nopeus alle 5 m/s.
- Vaaraetäisyys on keskimääräinen neutraalissa säätilanteessa, joka esiintyy pilvisellä säällä sekä silloin, kun tuulen nopeus on vähintään 5 m/s.
- Vaaraetäisyys on pienin labiilissa säätilanteessa, joka esiintyy lumettomana aikana (varsinkin keväällä ja kesällä) päivisin, kun taivas on selkeä tai puolipilvinen ja tuulen nopeus alle 5 m/s.

### 5.3.3.2 Torjunta

Suuren kaasuvuodon vaara-alue on ympyrä päästökohdan ympärillä ja 40°:n sektori myötätuuleen (kuva 5). Kaasuvana jää tällöin vaara-alueen sisään, vaikka esteet levittäisivät sitä ja vaikka tuulen suunta olisi määritetty epätarkasti.

Paineenalaisena nesteytetyn myrkyllisen kaasun vuotaessa ensisijainen toimenpide on vaaraan joutuvien ihmisten varoittaminen ja kehottaminen suojautumaan sisä-tiloihin. Sisätilat antavat hyvän suojan kaasulta, kunhan ikkunat ja ovet suljetaan sekä koneellinen ilmanvaihto pysäytetään.

Torjunnassa peitetään pisaroituva nestesuihku tai johdetaan se putkeen siten, että suihku törmää peitteeseen tai putken seinään. Peitteestä muodostetaan telta vuodon ympärille, jotta suihkuun ei pääse sekoittumaan ilmaa. Ilman virtaus putken lävitse estetään sulkemalla putken aukko vuotokohdan takana. [Ohje M8a](#).

Toimenpiteellä saadaan peitteeseen tai putken seinään törmäävät pisarat valumaan maahan lammikoksi, jonka laajeneminen estetään patoamalla. Vuodon peittäminen on huomattavasti tehokkaampi torjuntatoimenpide kuin kaasun laimentaminen ja peseminen sumusuihkulla.

Paineenalaisena nesteytetyn syttyvän kaasun vuodossa kaasua laimennetaan suuntaamalla vanan näkyvään osaan sivulta päin ja vinosti myötätuuleen sumusuihkuja. Jos vanan lähelle ei pääse, suorat suihkut suunnataan vinosti ylöspäin siten, että suihkut hajotessaan putoavat kaasuvanan päälle. Suihkujen mukaansa tempaama ilma laimentaa kaasua ja pienentää aluetta, jolla on syttymisvaara. [Ohje M8c](#).

### 5.3.4 Maanpinta

Jäähdyttämällä nesteytetyn kaasun vuoto muodostaa aina lammikon. Myös paineenalaisena nesteytetyn kaasun vuoto muodostaa lammikon, jos kaasun lämpötila säiliössä on kiehumislämpötilan alapuolella tai enintään noin 15 °C sen yläpuolella. Jos kaasun lämpötila säiliössä on tätä korkeampi, lammikko muodostuu, jos pisaroituva suihku törmää esteeseen.

#### 5.3.4.1 Leviäminen

Lammikko kiehuu aluksi maanpinnasta siihen johtuvan lämmön vaikutuksesta. Maanpinta jäähtyy kuitenkin nopeasti ja kiehuminen lakkaa. Lammikon alla oleva maa yleensä jäätyy. Jää tukkii maan huokokset ja estää nestettä tunkeutumista syvemmälle. Ilmasta voi tiivistyä vesihöyryä lammikon pinnalle. Kylmällä säällä vesi- höyry muodostaa vähitellen kuurakerroksen. Jos lammikko pääsee laajenemaan, se kiehuu reunoiltaan.

Kiehuva lammikko höyrystyy kylmää kaasua, joka leviää myötätuuleen. Heikolla tuulella kaasuvana on lammikon lähellä matala ja vasta etäämpänä kasvaa korkeutta. Kaasua haihtuu myös sen jälkeen, kun kiehuminen on lakannut, mutta vähemmän.

#### 5.3.4.2 Torjunta

Lammikon laajeneminen estetään patoamalla. Tämän vaikutuksesta nesteen kiehuminen lakkaa pian. Haihtumista voidaan tarvittaessa vielä vähentää peittämällä lammikko muovilla. [Ohje M8d](#).

### 5.3.5 Vesistö

#### 5.3.5.1 Leviäminen

Nesteytetyn kaasun joutuminen vesistöön on epätodennäköistä. Jäähdyttämällä nesteytetty kaasu kelluu veden pinnalla kiehuen kiivaasti, kunnes kaikki kaasu on haihtunut. Matalassa vedessä kiehuva lammikko alle saattaa muodostua jäätä. Nesteytetty ammoniakki liukenee osittain veteen ja voi siten aiheuttaa ympäristövahingon. Kiehuva lammikko höyrystyy kylmää kaasua, joka leviää vedenpinnan läheisyydessä ja etäämpänä maanpintatuulen mukana.

#### 5.3.5.2 Torjunta

Nesteytetyn kaasun valuminen vesistöön estetään patoamalla lammikko hiekalla tai maalla. [Ohje M8b](#). Jos vuotava kaasu voi veteen liuetessaan aiheuttaa ympäristövahingon, vuotava säiliö nostetaan vedestä.

## 5.4 NESTE

Vuotojen leviäminen riippuu ympäristöolosuhteiden ohella nesteen viskositeetista, tiheydestä ja vesiliukoisuudesta.

### 5.4.1 Sisätila

#### 5.4.1.1 Leviäminen

Sisätilassa käsitellään yleensä vain nestemäisten kemikaalien astioita. Vuotava nestemäärä on siksi pieni, luokkaa 100 l. Astiavarastot tulisi allastaa siten, että vuotanut neste ei leviä laajalle. Putkistoista saattaa vuotaa enemmänkin nestettä. Jos neste on helposti syttyvää, nesteestä haihtuva höyry aiheuttaa tilaan räjähdys- vaaran.

#### 5.4.1.2 Torjunta

Torjunta riippuu vuotaneen nesteen ominaisuuksista ja määrästä. Lattialle vuotanut neste imeytetään sopivaan imeytysaineeseen tai neutraloidaan. Jos nestekerros on riittävän syvä, neste pumpataan, imetään tai äyskäröidään astiaan, altaaseen tai säiliöön. Jos nesteestä aiheutuu räjähdysvaara, syttymislähteet poistetaan ja tila tuuletetaan avaamalla ikkunat ja ulko-ovet. Tuuletusta voidaan tehostaa sumu-suihkulla tai (kipinöimättömällä) savutuulettimella. [Ohje M7a](#).

### 5.4.2 Viemäri

Useimmissa kunnissa on erillisviemärointi, jolloin jätevesi- ja sadevesiviemärit ovat toisistaan erillään. Jätevesi johdetaan jätevedenpuhdistamon kautta vesistöön. Sekä sade- että jätevesiviemäriässä virtaa erityisesti keväisin ja syksyisin pohjavettä. Sade- vesiviemärien vesi johdetaan vesistöön tai imeytetään maahan. Vanhojen kaupunkien keskustoissa on vielä sekaviemärointi, jossa jätevesi ja sadevesi johdetaan samaan viemäriverkkoon.

Jätevesi- ja sekaviemäri tuuletetaan talojen katoille johdettujen tuuletusputkien kautta. Sadevesiviemäri tuulettuu viemärikaivojen kautta. Alavilla paikoilla on tuuletusputkilla varustettuja viemärivereden pumppaamoja, joissa automaattinen uppopumppu nostaa veden korkeammalle tasolle (kuva 5.7).

#### 5.4.2.1 Leviäminen

Maahan kestopäällystetyllä alueella vuotava neste valuu edelleen sadevesiviemäriin, ellei viemärikaivoja peitetä tai tukita. Vettä kevyempi ja niukkaliukoinen neste leviää nopeasti laajalle viemäriverkossa.

Jos neste on helposti syttyvää, siitä haihtuva höyry aiheuttaa räjähdysvaaran viemäriverkossa. Höyryt voivat syttyä viemärikaivon suulla, pumppaamalla tai puhdistamalla. Räjähdys vahingoittaa katua ja em. laitoksia.

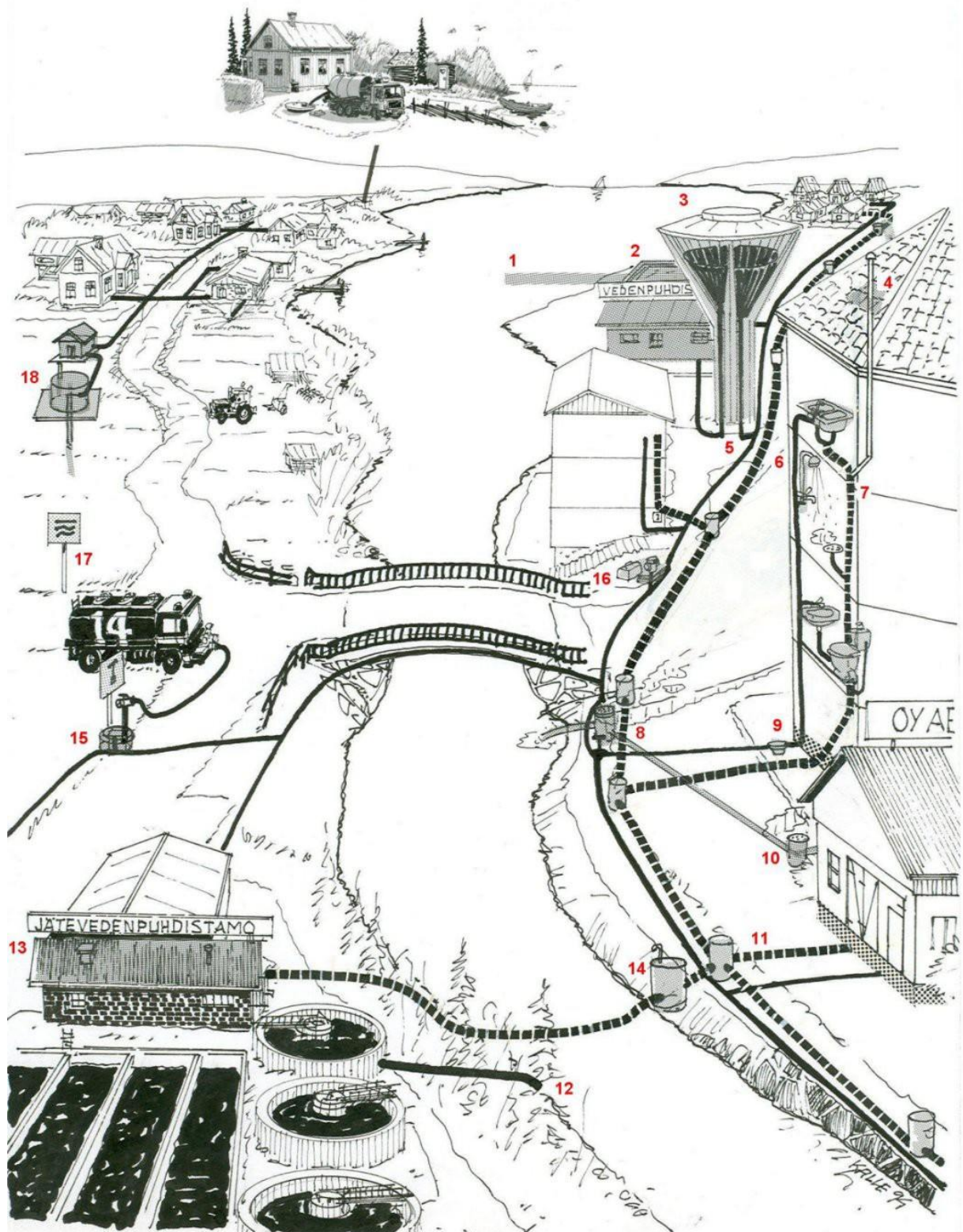
Viemäriin valunut kemikaali saattaa syövyttää viemäriputkia (vahvat hapot syövyttävät nopeasti betoniset putket) tai tuhota puhdistamon pieneliökannan. Puhdistamon aktiivilietteen pieneliökannan toipuminen kestää kuukausia, jona aikana viemäriverkko joudutaan laskemaan vain mekaanisesti puhdistettuna vesistöön.

#### 5.4.2.2 Torjunta

Nesteen valuminen viemäriin estetään peittämällä tai tukkimalla viemärikaivot. Nesteen leviäminen viemäriin estetään tukkimalla vuotokohdan molemmilla puolilla olevat viemärikaivot. [Ohje M8b](#). Vuodosta on mahdollisimman pian ilmoitettava vesilaitokselle.

Viemäriin valunut neste poistetaan sieltä tai tehdään vaarattomaksi. Torjunta- menetelmä valitaan nesteen määrän ja vaaratekijöiden perusteella:

- Jos nestettä on paksu kerros, se pumpataan säiliöön. [Ohje M10a](#).
- Helposti syttyvä neste (esim. bensiini) haihdutetaan tuulettamalla viemäri (kipinöimättömällä) savutuulettimella. [Ohje M7a](#). Viemäriin joutuneet höyryt voidaan poistaa myös paineilmaejektorilla imemällä. Paineilmaejektorilla ei sovellu syttyvien nesteiden imemiseen.
- Syövyttävät nesteet neutraloidaan viemäriin. [Ohje M10c](#).
- Viemäriin huuhteleminen vedellä tulee yleensä kysymykseen vain syttyvillä vesi- liukoisilla nesteillä.



Kuva 5. 7 Viemäriverkon periaatekuva.



Kuvanumerointi:

### 1. Vedenottoputki

- ottaa pintavettä joesta tai järvestä

### 2. Vedenpuhdistamo (pinta- tai pohjavedenottamo)

- puhdistaa ja jalostaa veden kuluttajille

### 3. Vesitorni

- vesisäiliö ja paineentasaaja
- vesi pumpataan vedenpuhdistamolta kulutukseen. Osa vedestä kulkeutuu vesitorniin ja osa suoraan kuluttajille

### 4. Tuuletusputki

### 5. Päävesijohto

### 6. Kiinteistövesijohto

### 7. Kiinteistöviemäri

### 8. Talonsulkuventtiili

### 9. Vesimittari

- vesi- ja jätevesimaksu perustuu kiinteistön vedenkulutukseen

### 10. Sadevesiviemäri

- viemäriin kerätään katoilta ja kaduilta tuleva ns. hulevesi
- joskus maastosta johtuen viemäriin rakennetaan sadevesipumppaamo

### 11. Jätevesiviemäri

- käytetty vesi johdetaan kiinteistön viemäriä pitkin yleiseen viemäriin ja sieltä jätevedenpuhdistamoon

### Sekavesiviemäröinti (ei kuvassa)

- jäte-, sade- ja perustusten kuivatusvedet johdetaan samaan viemäriin
- vesi johdetaan jätevedenpuhdistamoon
- sekaviemäröinnistä ollaan luopumassa

### 12. Purkujohto

- puhdistettu jätevesi lasketaan takaisin luontoon

### 13. Jätevedenpuhdistamo

- jätevedestä puhdistetaan kiintoaineet, orgaaniset aineet ja erilaiset ravinteet (typpi, fosfori)
- jätevedestä erotetaan kiinteät aineet

### 14. Jätevedenpumppaamo

- joskus maasto on sellainen, että jätevesi pumpataan paikasta toiseen paineviemärissä (0,5 – 3 bar)
- pumput voidaan pysäyttää, näin saadaan ”tulppa” esim. öljyvudossa

## 15. Paloposti

## 16. Palovesiasema

## 17. Pohjavesialuetta osoittava kilpi

## 18. Pohjavedenottamo

### Pohjavesi

- maahan imeytynyttä sade- ja sulamisvettä
- vesi otetaan kuilukaivoa tai putkikaivoa käyttäen

## 5.4.3 Maanpinta

### 5.4.3.1 Leviäminen

Vuotanut neste jää maanpinnalle, jos se on kestopäällystetty, maa on jäässä tai pintamaa on vettä läpäisemätöntä maalajia. Tasaisella alustalla neste muodostaa lammikon ja viettävällä valuu. Useimmat nesteet ovat viskositeetiltaan veden kaltaisia, jotkut ovat jähmeämpiä ja valuvat hitaammin.

### 5.4.3.2 Torjunta

Lammikon pinta-ala pidetään pienenä ja nesteen valuminen estetään patoamalla. [Ohje M8b](#).

## 5.4.4 Maaperä

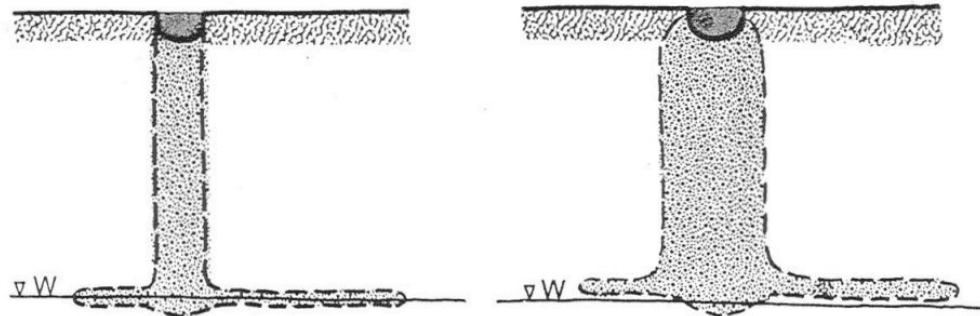
### 5.4.4.1 Leviäminen

Vuotava neste imeytyy maahan, jos pintamaa on vettä läpäisevää maalajia. Maaperä koostuu maahiukkasista (esim. hiekkajyväsistä), joiden välissä on huokosia. Maanpinnan lähellä huokosissa on ilmaa, syvempänä ilmaa ja vettä ja pohjaveden pinnan alapuolella huokokset ovat veden täyttämiä.

Pohjaveden pinta noudattaa maanpintaa siten, että korkeissa maastonkohdissa se on syvemmällä kuin matalissa. Pohjaveden pinta vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Pohjavesi virtaa kohti alempia maastonkohtia, yleensä hyvin hitaasti.

Kun nestemäistä kemikaalia imeytyy vettä läpäisevään maaperään, se painuu suoraan alaspäin, kunnes kohtaa pohjaveden pinnan tai vettä läpäisemättömän maa-kerroksen (kuva 5.8). Vettä keveämpi niukkaliukoinen neste leviää tämän jälkeen sivusuuntaan pohjaveden pinnalla. Vettä raskaampi niukkaliukoinen neste saattaa painua pohjavesikerroksen lävitse, kunnes kohtaa vettä läpäisemättömän maakerroksen tai peruskallion.

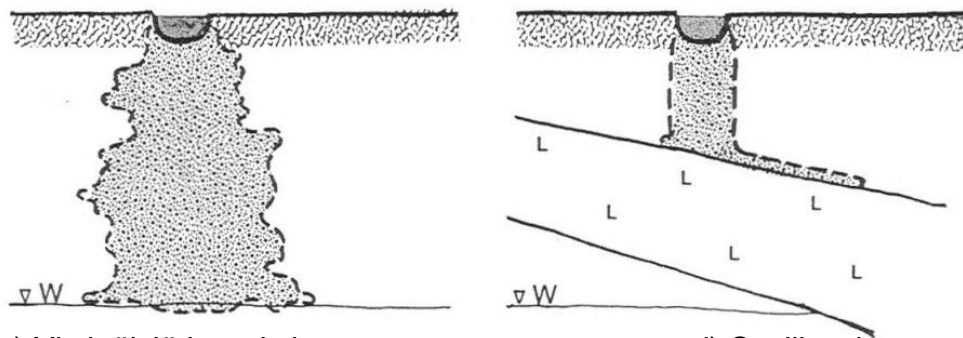
#### Lajittunut maaperä



a) Karkea sora

b) Hieno hiekka

#### Kerroksellinen maaperä



c) Yksittäisiä kerroksia

d) Savilinssi

**Kuva 5. 8 Maahan imeytyvän nesteen käyttäytyminen. Pohjaveden pinta on merkitty W:llä (Kaupunkiliitto 1982).**

Kemikaalia sitoutuu maahiukkasiin pohjavesikerroksen yläpuolella. Liukeneminen pohjaveteen riippuu kemikaalin liukoisuudesta. Silloinkin kun nestettä, esimerkiksi öljytuotetta, liukenee vain vähän, se saattaa tehdä pohjavedestä juotavaksi kelpaamattoman.

Nesteen tunkeutumissyvyyttä maahan on vaikea päätellä ilman tietoja maaperän rakenteesta. Usein maaperä koostuu läpäisevyydeltään hyvin erilaisista kerroksista. Pohjavesialueilla pintamaa on aina vettä hyvin läpäisevää. Maanteiden ym. penkereet, kaapeli- ja putkikanavat ovat myös hyvin vettä läpäiseviä. Savimaa ei sinänsä läpäise vettä. Kuivan saven halkeamat, puun juuret ja eläinten tekemät käytävät johtavat kuitenkin vettä ja muita nesteitä hyvin. Myös kallion halkeamat johtavat hyvin nestettä.

#### 5.4.4.2 Torjunta

Nesteen imeytymistä maahan rajoitetaan patoamalla neste vettä läpäisemättömälle alueelle, esimerkiksi maantienojaan. [Ohje M8b](#). Vuotava neste kerätään astiaan tai esim. säkkiputkeen (ns. öljysukkaan). Ilmoita vuodosta ympäristöviranomaiselle. Jos vuotopaikan lähellä on pohjavedenottamo, ilmoita myös vesilaitokselle.

Vuodon lakattua kemikaalin saastuttama maa poistetaan ja korvataan puhtaalla maalla. Pohjavesi puhdistetaan sopivalla pumppausjärjestelyllä. Saastunut maaperä tuuletetaan painamalla siihen ilmaa. Tilanteesta riippuen maasta poistuva ilma puhdistetaan aktiivihilisuodattimella tai päästetään sellaisenaan ulkoilmaan.

### 5.4.5 Vesistö

#### 5.4.5.1 Leviäminen

Neste voi valua vesistöön maanpinnalta tai sadevesiviemärin kautta. Myös vuotava säiliö voi joutua vesistöön. Nestemäisen kemikaalin käyttäytyminen vesistöissä määräytyy kemikaalin ominaisuuksista ja veden virtauksesta.

Nestemäiset kemikaalit voidaan ominaisuuksiensa perusteella jakaa neljään ryhmään:

1. Veteen liukenevat ja vettä raskaammat nesteet
2. Veteen liukenevat ja vettä kevyemmät nesteet
3. Veteen liukenemattomat ja vettä raskaammat nesteet
4. Veteen liukenemattomat ja vettä kevyemmät nesteet

Ensimmäisen ryhmän nesteet ovat yleensä syövyttäviä aineita, jotka liukenevat lämpöä kehittäen veteen (reaktio voi olla kiivas, jolloin vesi kiehuu roiskuttaen kemikaalia). Kemikaalit muuttavat veden pH:ta, ovat vielä laimeinkin myrkyllisiä kaloille ja pilaavat juomaveden. Riittävästi laimennuttuaan ne tulevat lopulta vaarattomiksi.

Useimmat toisen ryhmän kemikaaleista ovat palavia nesteitä ja niiden höyryt saattavat muodostaa syttyvän seoksen veden pinnalle. Useat alkoholit kuuluvat tähän ryhmään. Kemikaalien aiheuttama ympäristövahinko on huomattavasti pienempi kuin ensimmäisen ryhmän.

Kolmannen ryhmän kemikaalit ovat myrkyllisiä aineita. Ne painuvat pohjaan ja liukenevat erittäin hitaasti veteen. Kemikaali aiheuttaa vesistölle vaaraa siihen saakka, kunnes se on poistettu pohjasta.

Useimmat palavista nesteistä kuuluvat neljänteen ryhmään. Vuotanut neste jää kellumaan veden pinnalle ja sitä liukenee vain vähän veteen. Kemikaali voi aiheuttaa vaaraa vesilinnuille ja saastuttaa rannat.

#### 5.4.5.2 Torjunta

Ilmoita vahingosta ympäristöviranomaiselle. Jos vuoto uhkaa vedenottamoaa, ilmoita myös vesilaitokselle.

Vesiliukoisia ensimmäisen ja toisen ryhmän kemikaaleja ei voi erottaa vedestä, johon ne ovat lienneet. Jos syövyttävää kemikaalia on liennut suhteellisen pieneen vesimäärään, se voidaan ehkä padota ja neutraloida. Kemikaalin vuotaminen maalta vesistöön lopetetaan patoamalla oja, tukkimalla sadevesiviemäri ym. toimenpiteillä.

Kolmannen ryhmän kemikaalit poistetaan vesistön pohjasta erilaisilla ruoppausmenetelmillä. Menetelmä ja kalusto valitaan paikan, veden syvyyden ja virtausnopeuden sekä pohjan laadun perusteella.

Neljännän ryhmän kemikaalien leviämistä vesistöissä rajoitetaan öljyvuomeilla. Kemikaali poistetaan vedestä öljyntorjunnan menetelmillä: kuorimalla, öljynerottimilla, imeyttämällä jne.

## 5.5 KIINTEÄ AINE

### 5.5.1 Leviäminen

Kiinteä kemikaali voi valua vahingoittuneesta pakkauksesta lattialle, maahan tai vesistöön. Aineen leviämiseen vaikuttaa sen hiukkaskoko. Tuuli voi nostattaa ilmaan ja kuljettaa mukanaan hienojakoista jauhetta.

Viemäriin tai vesistöön joutunut aine kulkee veden virtauksen mukana. Vesiliukoinen aine liukenee veteen, kun taas niukkaliukoinen kulkeutuu virtauksen mukana tai painuu pohjaan. Tulipalossa kiinteät aineet leviävät palokaasujen ja sammutusveden mukana. Sammutusveden talteenottoon on siksi varauduttava.

#### 5.5.1.1 Torjunta

Lattialle tai maanpinnalle valunut kiinteä kemikaali voidaan yleensä helposti kerätä lapioimalla tai muulla vastaavalla menetelmällä astioihin. Jos tuuli pölysiyttää hienojakoista ainetta, kasa voidaan aluksi peittää muovipeitteellä tai sitä voidaan kostuttaa.

Aineen valuminen viemäriin tai vesistöön estetään. Jos aine aiheuttaa vaaraa viemäriverkossa tai jätevedenpuhdistamolla esim. myrkyllisyytensä takia, sen leviäminen estetään tukkimalla viemäri. [Ohje M8b](#). Vesistön pohjaan valunut aine poistetaan sopivalla ruoppausmenetelmällä. Ilmoita vuodosta vesilaitokselle tai ympäristöviranomaiselle.

Jos erittäin myrkyllisiä kemikaaleja (kuten torjunta-aineita) on mukana tulipalossa, saattaa olla paras ratkaisu antaa niiden palaa. Erittäin myrkyllisten aineiden palamistuotteet ovat usein vähemmän vaarallisia kuin itse aineet. Kiivaassa palossa myrkyllisiä aineita sisältävät palokaasut nousevat ylös eivätkä aiheuta vaaraa tuulen alapuolella oleville.

Jos palo päätetään sammuttaa, sammutusveden määrää on rajoitettava ja sen joutuminen vesistöön on estettävä tukkimalla viemäriin aukot sekä patoamalla. [Ohje M8b](#). Sammutusveden mahdollisesti sisältämien kemikaalien ympäristövaaran selvittämiseksi palosta on ilmoitettava ympäristöviranomaiselle.

## **5.6 KIRJALLISUUTTA**

Kaupunkiliitto 1982. Pohjaveden suojele. Helsinki, Kaupunkiliiton julkaisu B 93.

Kukkonen, J. & Savolainen, A. L. 1988. Vaarallisten aineiden leviämisen arviointi onnettomuustilanteissa. Helsinki, Ilmatieteen laitos, Ilmansuojelun julkaisuja 4.

Lautkaski, R. & Teräsmaa, I. (toim.) 1990. Vaarallisten aineiden torjunta. Helsinki, Sisäasiainministeriö, Valtion painatuskeskus. 178 s.

Pipatti, R., Lautkaski, R. & Fieandt, J. 1985. Vaarallisten aineiden maakuljetuksiin liittyvät vaaratilanteet. Espoo 1985, Valtion teknillinen tutkimuskeskus.