

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**KEMIALLISET TAISTELUAINEET: OMINAISUUDET, TUNNISTUS,
SUOJA JA VÄLINEET**

Pro Gradu -tutkimus

Yliluutnantti

Tuomas Burke

SM3

Maasotalinja

huhtikuu 2014

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Sotatieteiden maisterikurssi 3	Linja Maasotalinja
Tekijä Yliluutnantti Tuomas Juha Ensio Burke	
Tutkielman nimi KEMIALLISET TAISTELUAINEET: OMINAISUUDET, TUNNISTUS, SUOJA JA VÄLINEET	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Kurssekirjasto (MPKK kirjasto)
Aika huhtikuu 2014	Tekstisivuja 79 Liitesivuja 8
TIIVISTELMÄ <p>Kemiallisten aseita on käytetty jo ensimmäisestä maailmansodasta lähtien. Viimeaikaiset tapahtumat mm. Syyriassa (Damaskos, elokuu 2013) ovat uudelleen herättäneet pelon näitä aseita kohtaan, joten uhka niiden käytölle on siis todellinen. Näin ollen myös tarve hyvälle ja luotettavalle keinolle niiden käytön ilmaisuun sekä tunnistamiseen on ajankohtainen.</p> <p>Tässä tutkimuksessa tutkitaan Puolustusvoimien taisteluaineiden tunnistamiseen käyttämiä välineitä ja niiden luotettavuutta. Tutkimuksen tavoitteena on kertoa, että kuinka luotettavaa tietoa Puolustusvoimien taisteluaineiden tunnistamiseen käyttämät välineet antavat. Tutkimuksen pääasiallisena tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuustutkimusta. Tutkimuksen lähteinä käytetään alan kirjallisuutta, kuten käsikirjoja (mm. Suojelun käsikirja, Handbook of Chemical Warfare and Terrorism), tieteellisiä artikkeleita ja julkaisuja sekä Internet-lähteitä, kuten IHS Jane'sin artikkeleita ja Wikipediaa.</p> <p>Tutkimuksen tuloksien mukaan taisteluaineiden tunnistaminen kenttäkäyttöisin laittein on haastavaa. Ongelmia välineiden luotettavalle ilmaisulle tuottavat (käytetystä tekniikasta riippuen) esimerkiksi ilmankosteus, useiden kemikaalien yhtäaikainen käyttö ja kentällä normaalisti esiintyvät kaasut, kuten savut ja pakokaasut. Ongelmina voi esiintyä esimerkiksi vääriä positiivisia ilmaisuja, ilmaisu ilman aineen tunnistamista tai jopa vääriä negatiivisia ilmaisuja eli ilmaisun pois jäämistä kokonaan.</p> <p>Tutkimuksen johtopäätöksiä voidaan esittää, että varmaan tunnistukseen ja luotettaviin tuloksiin voidaan päästä ainoastaan laboratoriolaitteita käyttäen. Kenttäkäyttöisillä välineillä voidaan kuitenkin saada suuntaa antavaa tietoa taisteluaineiden käytöstä ja niiden avulla on myös mahdollista varmentaa muilla tavoilla tehtyjä havaintoja. Varmimmin ilmaisun saa infrapuna-aluetta käyttävillä ilmaisulaitteilla, koska se on käytetyistä menetelmistä häiriöille epäherkin. Ioniliikkuvuuteen perustuvat ilmaisuvälineet ovat herkkiä esimerkiksi ilmankosteudelle ja pakokaasuille, mutta niiden luotettavuutta pystytään parantamaan käyttämällä ilmankuivaimia tai kosteusantureita. Myös laserspektrometriaa käyttävien välineiden ilmaisukyky on havaittu luotettavaksi. Lopuksi voidaan todeta, että kentällä käytettävien välineiden ilmaisu on aina hyvä tarkastuttaa viemällä ilmaisun antaneesta aineesta näytteet esimerkiksi kenttälaboratorioon, omantoimen ohella toimivaan laboratorioon tai vastaavaan, jotta käytetty aine voidaan varmuudella tunnistaa.</p>	
AVAINSANAT Kemialliset asept, Kemiallinen sodankäynti, Sensorit	

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	2
1.1	Tutkimuksen tausta	2
1.2	Tutkimusongelma ja tutkimuksen tavoitteet	3
1.3	Tutkimuksen rajaukset ja käsitteet	4
1.4	Tutkimusmenetelmät	4
2	KEMIALLINEN ASE	5
2.1	Kemiallisen aseiden historiasta	5
2.2	Kemiallisen aseiden kieltosopimus	9
2.3	Kemiallisten aseiden määrittely	10
2.4	Kemiallisten taisteluaineiden luokittelu ja ominaisuudet	13
2.4.1.	Ärsyttävät aineet	15
2.4.2.	Tukahduttavat aineet	16
2.4.3.	Syövyttävät aineet	17
2.4.4.	Psykotaisteluaineet	19
2.4.5.	Yleismyrkylliset aineet	19
2.4.6.	Hermokaasut	20
2.4.7.	Toksiinit	22
2.4.8.	Kasvintuhoaineet	22
2.4.9.	Myrkylliset teollisuuskemikaalit	23
2.5	Kemiallisten taisteluaineiden fysiologiset vaikutukset ja niiden hoitokeinot	24
2.5.1.	Ärsyttävät aineet	25
2.5.2.	Tukahduttavat aineet	25
2.5.3.	Syövyttävät aineet	25
2.5.4.	Psykotaisteluaineet	26
2.5.5.	Yleismyrkylliset aineet	27
2.5.6.	Hermokaasut	27
2.5.7.	Toksiinit	29
2.5.8.	Kasvintuhoaineet	29
2.5.9.	Myrkylliset teollisuuskemikaalit	29
2.6	Kemiallisen aseiden käyttö, leviäminen ja pysyvyys	30
2.6.1.	Kemiallisten aseiden käyttö ja levitystavat	30
2.6.2.	Kemiallisten aseiden leviäminen ja pysyvyys	33
2.7	Biologiset aseet	38
2.8	Yhteenveto	38

3	TAISTELUAINEIDEN TUNNISTUS JA VASTATOIMET.....	41
3.1	Ilmaisu, hälyttäminen ja tunnistaminen	41
3.2	Sähkömagneettinen spektri	44
3.3	Optinen säteily	46
3.4	Ionisoiva säteily	46
3.5	Spektroskopia.....	47
3.6	Liekkifotometria.....	49
3.7	Ioniliikkuvuusspektrometria	50
3.7.1.	AKS M90	55
3.7.2.	Chempro 100	55
3.7.3.	LCD 3.3	57
3.8	Infrapunaspektroskopia	57
3.8.1.	Yleistä.....	57
3.8.2.	Fourier'n muunnos	60
3.8.3.	Michelsonin interferometri.....	61
3.8.4.	HazMatID 360	62
3.9	Tiedustelujärjestelmät	62
3.10	Suoja.....	67
3.11	Puhdistaminen.....	72
3.12	Laitteiden käytettävyys ja luotettavuus.....	74
3.13	Yhteenveto	76
4	JOHTOPÄÄTÖKSET	78
	LÄHTEET	80
	LIITTEET.....	87

LYHENTEET

Absorptio	Imeytyminen. Energia-absorptio tarkoittaa energian siirtymistä väliaineeseen ja aineabsorptio aineen imeytymistä toiseen aineeseen. (Suojelu- ja pelastustoimintaopas)
Adduktio	Lähentyä (Wikipedia)
Aerosoli	Kaasun (ilman) ja siinä leijuvien kiinteiden hiukkasten tai nestepisaroiden muodostama kokonaisuus. Hiukkaskoko vaihtelee. (Suojelu- ja pelastustoimintaopas)
Antidootti	Vasta-aine (esim. hermokaasumyrkytystä vastaan)
Biologinen agenssi	tarkoittaa bakteereita, virusta tai mikrobia, jota voidaan käyttää biologisena taisteluaineena.
CBRN	Chemical, Biological, Radiological and Nuclear. Lyhenteellä CBRN tarkoitetaan kemiallisia, biologisia tai radiologisia aseita ja materiaaleja sekä ydinaseita tai -materiaaleja. (Pioneeritoimintaopas)
B-ase	(Biologinen ase) Biologisten taisteluaineiden ja maaliinsaattamisvälineiden muodostama kokonaisuus. (Suojelu- ja pelastustoimintaopas)
Binääriammus	(vert. Binääriaineet, Binääriase) Taistelukaasujen levittämiseen tarkoitettu ammus tai pommi, jossa kaasun komponentit ovat ammuskuoren sisällä väliseinien erottamassa säiliössä. Väliseinät hajoavat lähtösäyksestä tai kiertoliikkeen vuoksi, jolloin komponentit sekoittuvat ja muodostavat taistelukaasun. (Suojelu- ja pelastustoimintaopas)
C-ase	(Kemiallinen ase) Kemiallisten taisteluaineiden ja niiden maaliinsaattamisvälineiden muodosta kokonaisuus. (Suojelu- ja pelastustoimintaopas)
Dimeeri	Yhdiste, joka koostuu kahdesta identtisestä tai samankaltaisesta molekyylistä (Wikipedia)
Hydrolyysi	Hydrolyysi on kemiallinen reaktio, jossa yhdiste hajoaa vettä lisättäessä takaisin lähtöaineikseen. Reaktio luovuttaa energiaa, kun taas vastareaktio, kondensaatioreaktio, sitoo energiaa. (Wikipedia)
Konventionaalinen ase	tarkoittaa tavanomaista asetta, kuten kivääriä, kranaatinheitintä, tykkiä tai vast.
Kovalenttinen sidos	on kemiallinen sidos, jossa atomit jakavat elektroneja keskenään. Kovalenttinen sidos voi olla yksin-, kaksin- tai kolminkertainen. Kolminkertainen kovalenttinen sidos sisältää näistä eniten energiaa. (Wikipedia)
Polarisaatio	Poikittaiseen aaltoliikkeeseen liittyvä käsite, joka ilmaisee sähkömagneettisen säteilyn sähkökenttävektorin suunnan. (Wikipedia)
SIBCRA	Sampling and Identification of Biological, Chemical and Radiological Agents. Kiistattoman eli todistusvoimaisen näytön saamiseksi käytetään SIBCRA-näytteenottoa ja luotettavaksi todennetun laboratorion analysoimia tuloksia. (Pioneeritoimintaopas)
Taisteluaine	(vert. CBRN)
TIC	Toxic Industrial Chemical. Myrkyllinen teollisuuskemikaali.
Trimeeri	Yhdiste, jossa kolme samanlaista molekyyliä on yhdistynyt yhdeksi. (Wikipedia).

KEMIALLISET TAISTELUAINEET: OMINAISUUDET, TUNNISTUS, SUOJA JA VÄLINEET

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Länsimaisen kirjallisuuden ensimmäiset viittaukset kemiallisiin aseisiin löytyvät jo Antiikin Kreikan ajoilta. Homeroksen eepoksissa Ilias ja Odysseia vihjataan, että Troijan sodassa olisi käytetty myrkkynuolia molemmilla puolilla sotatanteretta. Kiinalaiset tunsivat arsenikkiset savut jo 1000 vuotta eaa. Kuitenkin ensimmäinen kirjattu kaasujen käyttö länsimaisessa sodankäynnissä ajoittuu Peloponnesolaissotaan neljä vuosisataa eaa. Nykyaikaisen kemiallisen sodankäynnin katsotaan alkaneen ensimmäisestä maailmansodasta, missä sen käyttö oli laajamittaista. [1]

Useat maat (Suomi ml.) ovat allekirjoittaneet kemiallisen aseiden kieltosopimuksen sen voimaan astumisen (29.4.1997) jälkeen. Kemiallisen aseiden kieltosopimus kieltää kemiallisten taisteluaineiden kehittämisen, tuottamisen, varastoimisen ja käyttämisen. OPCW (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons) on kansainvälinen kemiallisen aseiden kieltosopimuksen valvontajärjestö, joka toteuttaa kieltosopimusta ja sen valvontaa. Verifin taas on kemiallisen aseiden kieltosopimuksen instituutti Suomessa. Muutamat maat eivät ole vielä allekirjoittaneet sopimusta. Nämä maat ovat Angola, Egypti, Pohjois-Korea ja Etelä-Sudan (tilanne huhtikuussa 2014). [2; 3]

Elokuussa 2013 Damaskoksen kaupungissa Syyriassa jopa tuhat ihmistä tapannut kaasuisu käynnisti tapahtumaketjun, joka päättyi siihen, että Syyrian kemialliset aseet päätettiin tuhota. Tapaus herätti sen verran närkästystä, että Yhdysvallat mm. uhkasi tehdä Syyriaan ilmaiskun, mutta ei saanut iskulle riittävästi tukea. Tämän jälkeen Venäjä ehdotti Syyrian kemiallisten aseiden tuhoamista, johon OPCW tarttui. Tanska ja Norja aloittivat joulukuussa 2013 monikansallisen kansainvälisen merikuljetusoperaation Syyrian kemiallisten aseiden tuhoamiseen

liittyen, johon myös Suomi osallistuu. Suomi lähetti operaatioon Suojelun erikoisosaston, jonka tehtävänä on tuottaa CBRN-riskiarviot operaation johdolle, toteuttaa suojelutiedustelu- ja valvontatehtäviä lastauksen, kuljetuksen ja purkamisen aikana, ottaa tarvittaessa näytteitä ja tehdä alustava näytteiden tunnistaminen. Lisäksi osasto varautuu osallistumaan puhdistusteh- täviin ja suojelulääkintään alus- ja satamaympäristöissä. [4; 5; 6]

Syyrian tapaus osoitti sen tosiasian, että kemiallisia aseita on vielä olemassa ja että jotkut maat saattavat käyttää niitä vihollisiaan vastaan tavanomaisten aseiden ohella. Tämän vuoksi suojeluvälineiden ja suojelukoulutuksen taso täytyy pitää myös Suomessa korkealla tasolla, jotta voimme säilyttää toimintakykymme myös sellaisessa tilanteessa, jossa vihollinen mah- dollisesti sortuu kemiallisten taisteluaineiden käyttöön. On hyvä pitää mielessä myös se tosi- asia, että sitä suurempi kynnys taisteluaineiden käytölle on, mitä paremmin niitä vastaan on suojauduttu. Kemiallisen aseiden käyttö kun pakottaa myös käyttäjäosapuolen joukkojen käyt- tämään suojavälineitä.

Taisteluaineiden tunnistamiseen on kehitetty erilaisia tekniikoita ja sensoreita sekä näitä so- veltavia automaattisia ilmaisimia. Näiden ilmaisimien tavoitteena on antaa hälytys jo niin pienissä taisteluaineiden pitoisuuksissa, jotka eivät vielä aiheuta ihmisissä oireita. Pyrkimyk- senä on minimoida taisteluaineiden joukoille aiheuttamat vaikutukset.

Tämän tutkimuksen laatija on työskennellyt viisi vuotta Keuruulla Suojelukomppaniassa, jos- sa hän on kouluttanut mm. suojeluvälineiden, kuten kemiallisten taisteluaineiden ilmaisuväli- neiden käyttöä. Hän on myös osallistunut viranomaisyhteistyöhön, jossa on tarvittu suojelu- alan tietoa ja kokemusta. Tutkija on työnsä ohessa suorittanut mm. Suojelutiedusteluajoneuvo ja SIBCRA (Sampling and Identification of Biological, Chemical and Radiological Agents) - kurssit. Näillä kursseilla (ja kouluttaessaan välineitä) tutkija on perehtynyt näytteenoton oike- usopillisiin proseduureihin sekä kenttäkäyttöisiin kaasunilmaisimiin ja niiden lisäksi myös pintapuolisesti laboratorioissa käytettyihin välineisiin, kuten massaspektrometriin ja kaasu- kromatografiin.

1.2 Tutkimusongelma ja tutkimuksen tavoitteet

Tässä tutkimuksessa tutkitaan kemiallisten taisteluaineiden tunnistamista ja siihen käytettäviä tekniikoita sekä sensoreita. Tämän työn tavoitteena on selvittää miten kemiallisia taisteluai- neita tunnistetaan ja miten luotettavaa tähän käyttöön valittujen välineiden antama tieto on.

Pääkysymys: Mikä on Puolustusvoimien käyttämien välineiden kemiallisten taisteluaineiden tunnistuskyky?

Alakysymykset:

1. Mitä tähän tarkoitukseen käytettäviä välineitä meillä on käytössä?
2. Miten nämä välineet tunnistavat taisteluaineet?
3. Miten luotettavaa näiden välineiden antama tieto on?

1.3 Tutkimuksen rajaukset ja käsitteet

Tutkimuksessa käsitellään yleisimpiä taisteluaineiden tunnistustekniikoita ja näitä soveltavia välineitä sekä tutkitaan niiden suorituskykyä tämänhetkisiä uhkia vastaan. Tutkimuksessa tarkastellaan ainoastaan kemiallisten taisteluaineiden tunnistamisessa käytettäviä tekniikoita ja välineitä.

Keskeisimmät käsitteet:

Kemiallisella aseella tarkoitetaan myrkyllisiä kemikaaleja ja niiden lähtöaineita sekä näitä käyttämään suunniteltuja ammuksia ja laitteita. [2]

Myrkyllisellä kemikaalilla tarkoitetaan niitä kemikaaleja, jotka vaikuttavat elintoimintoihin ja voivat aiheuttaa kuolemaa, toimintakyvyn heikkenemistä tai pysyvää haittaa ihmisissä tai eläimissä. [2]

Lähtöaineella tarkoitetaan niitä aineita, joita käytetään valmistettaessa myrkyllisiä kemikaaleja. [2]

1.4 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen pääasiallisena tutkimusmetodina käytetään kirjallisuustutkimusta. Kirjallisuustutkimus menetelmänä on aiheeseen sopiva, koska kyseessä on välineiden teknisen toiminnan esittäminen ja tutkiminen. Tämän tutkimuksen lähteinä käytetään mm. alan käsikirjoja kuten Suojelun käsikirjaa ja Praeger Security Internationalin julkaisemaa kirjaa: ”Handbook of Chemical Warfare and Terrorism”. Lisäksi lähteinä käytetään laitteiden käsikirjoja ja ohjeita sekä Internet-lähteitä, kuten IHS Jane’sin artikkeleita ja Wikipediaa.

2 KEMIALLINEN ASE

Tässä luvussa käydään läpi kemiallisten aseiden historiaa, niiden ominaisuuksia ja käyttötapoja. Aineiden kemiallisten ominaisuuksien lisäksi tarkastellaan aineiden ihmisille aiheuttamia fysiologisia oireita ja niiden hoitokeinoja. Tämän lisäksi käsitellään kemiallisen aseiden käyttöönoton liittyen aineiden leviämiseen ja pysyvyyteen liittyviä tekijöitä.

2.1 Kemiallisen aseiden historiasta

Ensimmäisen maailmansodan aikana kehiteltiin aluksi kyynelkaasun tapaista asetta, mutta tiedemiehet kehittivät nopeasti uusia tehokkaampia ja vaarallisempia kaasuja. Valkaisuaineen valmistumisen sivutuotteena saatavaa klooria alettiin käyttää taisteluna. Kloorikaasu on helposti tunnistettavissa sen vihreästä väristä. Saksalaiset käyttivät sitä ensimmäisessä laajamittaisessa kaasuhyökkäyksessä Ypressin toisessa taistelussa 22.4.1915. Tuuliolosuhteiden ollessa suotuisia ympärysvaltiojen (Kanada, Iso-Britannia ja Ranska) päälle laskettiin 180 t kloorikaasua, joka levisi 6,4 km säteelle ja aiheutti 10 000:n taistelijan altistumisen. Heistä noin puolet tukehtui omiin keuhkonesteisiinsä ja kuoli. [7; 8]

Myöhemmin sodan molemmat osapuolet ottivat kemialliset aseet käyttöönsä. Kemiallisia taistelunaiteita levitettiin aluksi metallilieriöstä, jotka avattiin taistelukentällä. Tämä oli kuitenkin melko epävarmaa ja vaikutus riippui paljon tuulen suunnasta. Englantilaiset oppivat tämän ns. ”kantapään kautta” Loosin taistelussa 25.9.1915, kun he vahingossa levittivät kloorikaasua myös omien joukkojen päälle. Tarkkuutta parannettiin siirtymällä käyttämään taistelunaiteilla täytettyjä tykistökranaatteja, joilla levitykseen saatiin myös tehokkaampi vaikutus. [7; 8]

Ranskalaiset kehittivät fosgeenin vuonna 1915. Se oli tehokkaampi kemiallisena aseena kuin kloorikaasu, koska sen käyttö oli vaikeampi havaita. Saksalaiset kehittivät sinappikaasun syksyllä 1917. Se on paljon pysyvämpi (haihtuminen kestää jopa viikkoja) kuin aiemmat taistelunaiteet ja sen vaikutukset kestävät myös pitkään. Kuolettavalle annokselle altistuneet saattoivat kärsiä 4-5 viikkoa ennen kuolemaansa. Amerikkalaiset kehittivät ensimmäisen maailman sodan lopussa sinappikaasulle oman vastineensa levisiitin. Myös kloropikriini ja syanidikaasu kehitettiin ensimmäisen maailmansodan aikana. [7; 8; 9]

Toinen maailmansota toi mukanaan hermokaasut, joista ensimmäisenä kehitettiin tabuuni. Tohtori Gerhard Schraderin johtama saksalainen tutkimusryhmä keksi sen vahingossa 23.

päivä joulukuuta 1936 pyrkiessään kehittämään tehokasta hyönteismyrkkyä. Tammikuussa 1937 Schrader altisti vahingossa itsensä ja apulaisensa tabuunille ja teki samalla ensimmäiset havainnot sen vaikutuksesta ihmisiin. Schrader palkattiin valtiolle jatkamaan tutkimustaan ja vuonna 1938 hän kehittikin työryhmänsä kanssa sariinin. Vuonna 1944 tohtori Richard Kuhn kehitti olemassa olevien yhdisteiden pohjalta somaenin. Toisen maailmansodan aikana kehitettiin myös syklosariini, mutta sen tiedot katosivat, kunnes se kehitettiin uudestaan 1949. Englantilaiset tutkijat kehittivät tappavimman hermokaasun VX:n vuonna 1952. Myöhemmin samalla vuosikymmenellä kehitti Venäjä sille oman vastineensa: V-kaasut. [8; 10]

Hermokaasujen tutkimisen ohella kehitettiin myös maaliinsaattamisjärjestelmiä, kuten uusia tykistön ammuksia, M23 kemiallinen miina, M55 kemiallinen raketti ja MK116 Weteye kemiallinen ilmapommi (Kuva 1). Samanaikaisesti kehitettiin myös parempia suojavälineitä, kuten kaasunaamareita, suojaapukuja, puhdistusvälineitä ja alkeellisia tunnistusvälineitä. Hermokaasuille kehitettiin myös vastalääkkeitä, kuten atropiiniruiske. Amerikkalaiset tutkivat myös hallusinogeeneihin pohjautuvaa kemiallista asetta ja tekivät LSD:llä kokeita vapaaehtoisten kanssa. LSD oli kuitenkin kallista syntetisoida eikä sitä voinut käyttää aerosolimuo-
dossa. Myöhemmin löydettiin aine nimeltä BZ. Se oli halpaa valmistaa ja sen levittäminen oli mahdollista myös aerosolina. Hallusinogeeneistä kuitenkin luovuttiin kemiallisena aseena niiden epävarman vaikutuksensa vuoksi. Hallusinoiva sotilas kun voi yhtä hyvin muuttua itse-
tuhoiseksi ja vaaralliseksi kuin iloiseksi ja tottelevaiseksi. [8]



Kuva 1. M23 miina, M55 raketti ja Weteye ilmapommi [11; 12; 13]

Kemiallisia aseita on toisen maailmansodan jälkeen käytetty useaan kertaan erilaisten konfliktien yhteydessä. Niitä ovat käyttäneet mm. amerikkalaiset Vietnamin sodassa vuosina 1965–1975, molemmat osapuolet Irakin–Iranin sodassa 1983, Neuvostoliitto Afganistanin sisällissodassa 1979–1989, Irak Pohjois-Irakissa kurdeja vastaan 1988, Aum Shinrikyo -lahko Tokion metroiskussa 1995 ja entinen Jugoslavia Kosovon sodassa sen vastapuolta vastaan. Kemiallista asetta on lisäksi käytetty Syyrian sisällissodassa vuonna 2013. [14; 7; 8]

Tokion metroisku antaa hyvän esimerkin siitä miten kemiallisella aseella voidaan päättävissä käsissä aiheuttaa suurta sekasortoa. Maanantaina 20.3.1995 aamuruuhkan aikaan viisi Aum Shinrikyo (suom. Korkein totuus) -lahkon jäsentä aloittivat kemiallisen hyökkäyksen Tokion metron viidellä eri asemalla. He olivat valmistaneet nestemäistä sariinia n. 900 ml:n annoksiksi muovipusseihin ja teroittaneet sateenvarjojensa kärjet niiden puhkaisua varten. Hyökkääjistä neljä kuljetti kohteelleen kaksi pussia ja yksi kolme (yhteensä 11 pussia). Kohteella hyökkääjät pudottivat sariinilla täytetyt pussit maahan ja puhkoivat niihin useita reikiä, minkä jälkeen he poistuivat välittömästi. Nopeasti haihtuva hermokaasu levisi metrojuniin sekä asemalle ja vaikutti matkustajiin, metron työntekijöihin sekä muihin ihmisiin, jotka olivat kontaktissa aineeseen. Hyökkäyksessä kuoli 13 ihmistä, 50 sai vakavia vammoja ja tuhannet kärsivät näköhäiriöistä. [15]

Nykypäivänä vielä useat maat kykenevät valmistamaan kemiallisia aseita ja osa niistä kehittelee tälläkin hetkellä uusia aineita ja parempia maaliinsaattamisjärjestelmiä. Kemiallisten aseiden tutkimusten lisääntyminen ja aseteknologian kehitys (ml. tarkkuusnavigointitekniologia) luovat uusia uhkia maailman valtioille. Paras puolustuskeino kemiallisen aseiden uhkaa vastaan on tiedustelutiedon kerääminen ja analysointi. Tällä hetkellä on olemassa vielä useita laajoja alueita, joilla on tehtaita, joissa kemiallisten aseiden valmistus on mahdollista. [8]

Koillis-Aasiassa Pohjois-Korean kemiallisen aseiden ohjelman uskotaan olevan pitkälle kehittynyt ja heidän uskotaan kyenneen tuottamaan vuodesta 1989 asti suuria määriä hermokaasuja, syövyttäviä kaasuja, tukahduttavia kaasuja ja verikaasuja. Pohjois-Korealla uskotaan myös olevan suuret varastot kemiallisia aseita, joita he voisivat käyttää Etelä-Koreaa vastaan. Myös Kiinalla uskotaan olevan kehittynyt kemiallisten aseiden ohjelma, joka sisältää niiden tutkimista, kehittämistä, tuottamista ja aseistamista. Kiinalla on olemassa laaja valikoima maaliinsaattamisjärjestelmiä, kuten tykistöohjuksia, ilmapommeja, sumutusjärjestelmiä ja lyhyen kantaman ballistisia ohjuksia. Lisäksi niin Pohjois-Korean kuin Kiinan joukot ovat koulutettu toimimaan saastuneessa ympäristössä. Kiina on kuitenkin allekirjoittanut kemiallisen aseiden kieltosopimuksen (Chemical Weapons Convention, CWC) vuonna 1993 ja ratifioinut sen 1997. [8; 16]

Etelä-Aasiassa Intialla on kehittynyt kaupallinen kemian alan teollisuus, joka valmistaa paljon kemikaaleja oman maan käyttöön. Intia myönsi liittyessään CWC:hen 1996, että sillä oli oma kemiallisen aseiden ohjelma. Pakistanilla on vähemmän kehittynyt kemianteollisuus kuin Intialla, mutta sen uskotaan kykenevän pian tuottamaan kemiallisen aseiden valmistamiseen tarvitta-

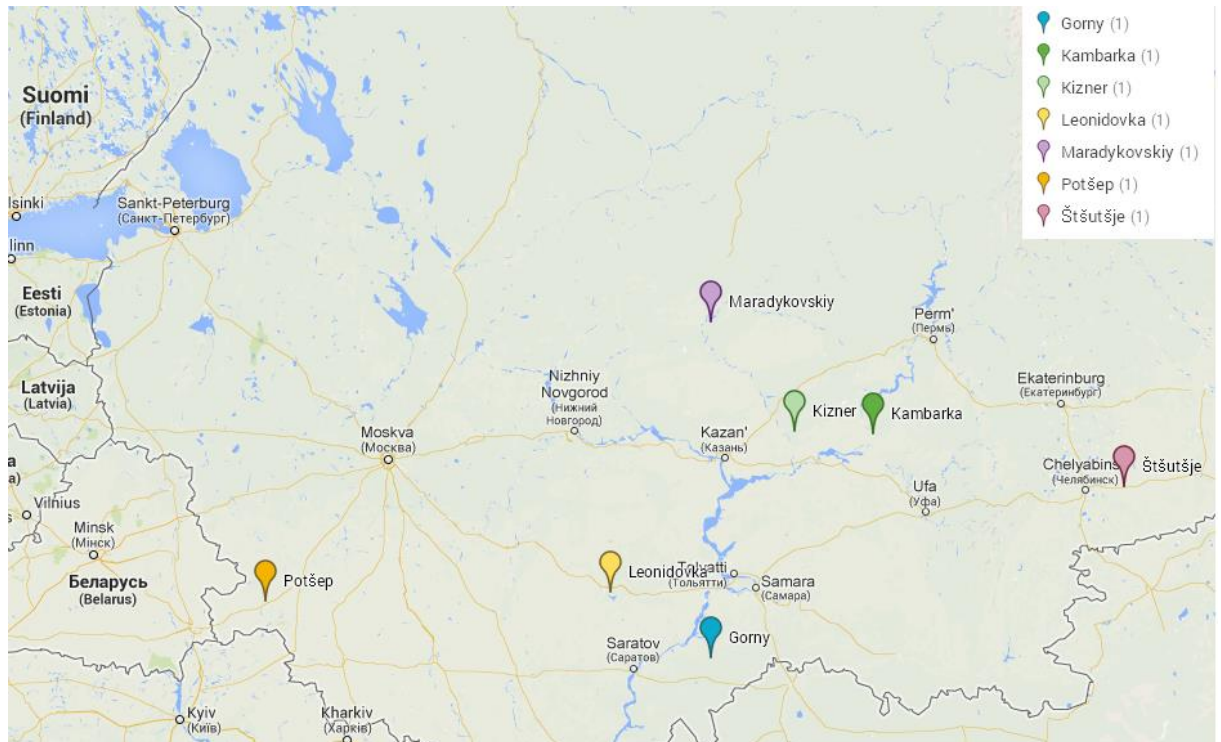
via lähtöaineita. Intialla ja Pakistanilla on molemmilla useita kemiallisen aseiden kuljetukseen sopivia ammusjärjestelmiä, kuten tykistöammuksia, ilmapommeja ja ohjuksia. [8]

Keski-Aasiassa Iranilla oli oma kemiallisen aseiden ohjelma, jonka myötä maalla oli hallussaan syövyttäviä kaasuja, yleismyrkyllisiä kaasuja, tukahduttavia ja mahdollisesti myös hermokaasuja. Lisäksi Iranilla on arsenaalissaan kemiallisen aseiden kuljetukseen sopivia tykistöammuksia ja ilmapommeja. Iran on liittynyt CWC-sopimukseen ja myöntynyt tuhoamaan kemialliset aseensa. Irakilla oli pitkälle kehittynyt kemiallisen aseiden ohjelma jo ennen Persianlahden sotaa (1991) ja sen valtavat kemiallisen aseiden varastot sisälsivät valikoiman hermokaasuja, kuten tabuunia, sariinia, syklosariinia sekä syövyttävää sinappikaasua. Irak kehitteli myös edistyneempää hermokaasua VX:ää ennen Persianlahden sotaa (vuosina 1985–1990). Ohjelma kuitenkin keskeytyi sodan myötä. Irak on liittynyt CWC-sopimukseen vuonna 2009. [8; 16]

Syyrialalla oli pitkälle kehittynyt kemiallisten aseiden ohjelma, joka sisälsi myös hermokaasujen kehittämistä. Syyria liittyi CWC-sopimukseen syyskuussa 2013 ja sen ilmoittamat kemiallisen aseiden tehtaot tuhoettiin lokakuussa 2013. [16; 17] Libya onnistui valmistamaan yhteensä peräti 100 tonnia syövyttäviä kaasuja ja hermokaasuja Rabtan tehtaassa ennen sen sulkemista vuonna 1990. Tehdas käynnistettiin farmaseuttisissa tarkoituksissa uudelleen 1995, mutta yleisesti arvellaan, että siellä voidaan edelleen valmistaa kemiallisia aseita. Libyalla on käytössään mm. ballistisia ohjuksia, joissa voidaan käyttää kemiallista asetta. Libya liittyi CWC:hen ja aloitti tuhoamaan kemiallisia aseitaan vuonna 2004. Syyskuussa 2013 oli Libyalla vielä 1,6 tonnia sinappikaasua ladattuna tykistön ammuksiin, 2,5 tonnia sitkostettua sinappikaasua ja 846 tonnia kemiallisten aseiden valmistusaineita jäljellä tuhottavaksi. [8; 16; 18]

Liittyessään CWC-sopimukseen vuonna 1993, ilmoitti Venäjä omaavansa maailman suurimman kemiallisen aseiden arsenaalin (n. 40 000 tonnia). Venäjän kemiallisten aseiden kokoelma sisältää fosgeenia, levisiittiä, sinappikaasua, levisiitin ja sinappikaasun sekoitusta (HL), sariinia, somaania sekä VX:ää. Nämä taisteluaaineet ovat pääasiassa valmiiksi aseistettuna tykistöammuksissa, ilmapommeissa, raketeissa ja ohjusten taistelukärjissä. Venäjän kemialliset aseet ovat hyvin kehittyneitä ja osassa ammuksissa on käytetty aineiden sekoituksia tai sakeutusaineita, jotta niiden pysyvyys maastossa olisi parempi. Monilla Venäjän kehittämistä uusista binäärisistä aineista (ks. binääriammus) on myös laillisia siviilisovellutuksia ja näin ollen ne eivät kuulu CWC:n kieltolistalle. Venäjä on myös jatkanut kemiallisen aseiden ohjelmaansa ”puolustuksellisessa mielessä”. Lokakuuhun 2011 mennessä Venäjä oli tuhonnut kemiallisista aseistaan 57 %:a. Jäljellä olevat kemialliset aseet on varastoituna seitsemässä eri

kohteessa. [8; 16; 19; 20] Kuvassa (Kuva 2) on esitetty Venäjän kemiallisten aseiden varastojen sijainnit.



Kuva 2. Venäjän kemiallisten aseiden varastot (Google Maps) [20]

2.2 Kemiallisen aseiden kieltosopimus

”Myrkkujen” käyttämisestä aseena on jo aikojen alusta pidetty vastenmielisenä. Niiden käyttöä on pyritty rajoittamaan ja jopa kieltämään erilaisilla sopimuksilla. Vuoden 1899 Haagin julistuksessa kiellettiin sellaisten ammusten käyttö, joiden ainoana tehtävänä oli ”tukehduttavien ja haitallisten kaasujen levittäminen”. Neljäs Haagin sopimus vuodelta 1907 kielsi ”myrkyn ja myrkyllisten aseiden käytön”. Vuonna 1925 hyväksyttiin Geneven pöytäkirja, joka koskee tukahduttavien, myrkyllisten tai muiden samankaltaisten kaasujen sekä bakteriologisten keinojen käytön kieltä sodassa. Geneven pöytäkirja siis laajensi kiellon koskemaan myös b-aseiden käyttöä, mutta se ei kuitenkaan asettanut mitään rajoituksia niiden kehittämiseksi, valmistamiseksi eikä varastoinnille. Vuonna 1997 astui voimaan kemiallisten aseiden kielto-sopimus, joka kieltää kemiallisten aseiden kehittämisen, valmistamisen, varastoinnin ja käytön. [21, s. 134-135]

Kemiallisen aseiden kielto-sopimus sisältää kolme eri luetteloa kemikaaleista, joita valvotaan ja joiden käyttöä rajoitetaan. Kemikaalit on lueteltu liitteessä 1. Luettelo 1 sisältää kemiallisina aseina käytetyt tai sellaisina helposti käytettävät kemikaalit, joilla on korkeintaan hyvin rajal-

lista käyttöä rauhanomaisiin tarkoituksiin. Näiden kemikaalien hallussapidon enimmäismäärä, lupavaatimukset ja luovutusrajoitukset ovat tiukasti rajoitettuja. Osaa kemikaaleista käytetään farmaseuttisissa valmisteissa tai diagnostiikassa ja osaa suojelutarkoituksissa, kuten kemiallisten aseiden suojarusteiden tai kemiallisten aineiden ilmaisimien testaamisessa. [21, s. 137]

Luettelo 2 sisältää kemiallisten aseiden lähtöaineita tai aineita joita voidaan joissain tapauksissa käyttää kemiallisten aseiden lähtöaineina, mutta joilla on muitakin kaupallisia käyttötarkoituksia. Näitä ovat hartsin, palonsuoja-aineiden, lisäaineiden, musteiden ja värjäysaineiden, torjunta-aineiden ja voiteluaineiden ainesosat sekä eräiden farmaseuttisten tuotteiden raaka-aineet. Luettelo 3 sisältää kemiallisina aseina tai kemiallisten aseiden valmistamiseen käytettäviä kemikaaleja, joita käytetään yleisesti myös rauhanomaisiin tarkoituksiin (mm. muovit, hartsi, kaivoskemikaalit, öljynjalostusdesinfiointiaineet, maalit, laminaatit, antistaattiset aineet ja voiteluaineet). Lisäksi yksittäisiä orgaanisia kemikaaleja, joita ei nimenomaisesti ole luetteloihin tai sopimukseen kirjattu, tuottavia tuotantolaitoksia valvotaan jos niiden tuotanto ylittää 200 tonnin vuosituotannon tai jos niihin kuuluvissa laitoksissa tuotetaan fosforia, rikkiä tai fluoriinia (PSF-kemikaalit) sisältäviä yhdisteitä. [21, s. 137]

Kemiallisen aseiden kieltosopimuksesta huolimatta kemiallisia aseita tutkitaan edelleen ainakin puolustuksellisessa mielessä. Kehitteillä on mm. rokotteita, jotka antaisivat suojaa hermokaasumyrkytystä vastaan ja hyperspektrisiä sensoreita (HSI, hyperspectral imaging), jotka mahdollistaisivat kemiallisen aseiden tunnistamisen kaukokäyttöisesti esim. pienen robottilennokin avulla. HSI-tekniikassa sensorille saapuva valo jaetaan useampaan eri osaan (kaistaan), jolloin analysointi helpottuu [22]. HSI sensorit ovat osoittautuneet mahdollisesti toimivaksi vaihtoehdoksi, kun tarvitaan ennakkovaroitusta kemiallisen aseiden käytöstä, mutta niiden käyttö biologisten agenssien tunnistamiseen on osoittautunut hankalaksi. [8]

2.3 Kemiallisten aseiden määrittely

Kemiallisten aseiden määritelmä (Kemiallisten aseiden kieltosopimuksen II artiklan mukaan):

1. "Kemialliset aseet" tarkoittaa seuraavia, joko yhdessä tai erikseen

- a) myrkyllisiä kemikaaleja ja niiden lähtöaineita, paitsi silloin kun niitä käytetään tarkoituksiin, joita ei kiellä tässä yleissopimuksessa, edellyttäen, että ne ovat laadultaan ja määrältään kyseisten tarkoitusten mukaisia,

b) ammuksia ja laitteita, jotka on nimenomaisesti suunniteltu aiheuttamaan kuolemaa tai muuta vahinkoa a kohdassa yksilöityjen myrkykemikaalien myrkyllisillä ominaisuuksilla, jotka vapautuisivat tällaisten ammuksien ja laitteiden käyttämisen seurauksena,

c) välineistöä, joka on nimenomaisesti suunniteltu suoraan käytettäväksi yhdessä b-kohdassa yksilöityjen ammusten ja laitteiden kanssa.

2. "Myrkyllinen kemikaali" tarkoittaa kemikaalia, jonka kemiallinen vaikutus elintoimintoihin voi aiheuttaa kuoleman, tilapäisen toimintakyvyttömyyden tai pysyvää vahinkoa ihmisille tai eläimille. Määritelmään sisältyvät kaikki kemikaalit riippumatta kemikaalin alkuperästä ja tuotantomenetelmästä tai siitä, tuotetaanko ne laitoksissa, ammuksissa vai muualla.

Maailmassa on olemassa tuhansia erittäin myrkyllisiä kemikaaleja, mutta vain osa niistä on käyttökelpoisia käytettäväksi kemiallisena aseena. Vuodesta 1915 lähtien n. 70:ä kemikaalia on käytetty kemiallisena aseena eri taisteluissa. Kemiallisen aineen käyttäminen taisteluaineena on kovin haasteellista. Aineen on oltava mm. riittävän myrkyllistä tappaakseen, mutta ei liian myrkyllistä käsiteltäväksi. Tärkeää on myös kemikaalin säilyvyys esim. ammuksissa ja varastoissa sekä kosteudensietokyky, jottei sen teho laskisi ajan kuluessa tai levityksen aikana. Aineen tulisi kestää myös kuumuutta ja painetta, jotta sitä voitaisiin käyttää räjähtävissä ammuksissa. Myös kemikaalin massamainen valmistus asekäyttöön tulisi olla myös mahdollista. Lisäksi aineen vaikutuksen pitäisi olla sellainen, että siltä olisi vaikea suojautua ja että se olisi vaikea ilmaista tai havaita normaalimenetelmin. [8]

Kemiallisissa aseissa käytettyjen kemikaalien myrkyllisyys vaihtelee paljon. Miedoimpia taisteluaineita ovat ärsyttävät aineet kuten kyynelkaasut, jotka ovat noin 100 kertaa vaarattomampia kuin esimerkiksi hermokaasu sariini. Botuliinitoksiini on kaikkein myrkyllisin yhdiste, jopa 100 000-1 000 000 kertaa myrkyllisempää kuin sariini. [23, s. 93] Taulukossa (Taulukko 1) on havainnollistettu eri aineiden myrkyllisyyttä.

Taulukko 1. Kemiallisten taisteluaineiden myrkyllisyys [23, s. 93]

Kemiallinen taisteluaine	Teoreettinen määrä, joka riittäisi tappamaan 5 miljoonaa ihmistä
Sinappikaasu	22 000 kg
Sariini	7 000 kg
VX	70 kg
Botuliinitoksiini	1,5 g

Kemiallisten aseiden kuolettavuutta voidaan kuvata LD₅₀ (Lethal Dose 50 %) arvolla, joka ilmaisee tarvittavan ainemäärän tappamaan puolet altistuneista. Koska kuolevuus vaihtelee eri testieläinten kohdalla, niin on päädytty valitsemaan LD₅₀ arvo esitystavaksi, kun kuvataan kuolettavuuden keskiarvoa. LD₅₀ arvot annetaan yleensä suhteutettuna testieläimen painoon ja ne ilmaisevat tavallisesti suun kautta nautitun ainemäärän arvoa jos muuta ei ole ilmoitettu. Esimerkiksi LD₅₀ arvot ihmiselle ihon kautta imeytyneenä ovat: sinappikaasu 34 mg/kg, sariini 1,4–1,7 mg/kg, somaani 0,7–4,3 mg/kg, tabuuni 2,8–14 mg/kg ja VX 0,14–3,1 mg/kg. [23, s. 94; 24, s. 709] Toinen tapa ilmaista aineiden myrkyllisyyttä on nk. LD_{LO} arvo (Lethal Dose Low, alin ilmoitettu kuolettava annos) [25].

Kemiallinen ase on yhdiste, jota käytetään sotatoimissa tarkoituksena aiheuttaa kuolemaa tai pysyviä vammoja ihmisten, eläinten tai kasvien normaaleissa elintoiminnoissa. Kemiallinen ase sisältää myös asejärjestelmän, jolla myrkky saatetaan kohteeseen (esim. tykistöaseet, lentopommit, miinat yms.). Kemiallista asetta käytetään yleensä tuhoamaan elävää voimaa, mutta sitä voidaan käyttää myös esim. estämään alueiden käyttöä. Sen käyttö on ensimmäisen maailmansodan jälkeen ollut harvinaista suojarahvarustuksen kehittymisen myötä. Toisaalta myös hyvin koulutettu ja varustettu joukko on haavoittuvainen silloin, kun vihollinen käyttää tai uhkaa kemiallisen aseiden käytöllä. [26, s. 475] ”Näkymättömän” vihollisen uhka on vähintään psykologinen ja on ensiarvoisen tärkeää saada oikea-aikainen ja luotettava havainto sen käytöstä. Kemiallisen aseiden käyttö tai sen uhka aiheuttaa todennäköisesti paniikkia ja pelkoa ainakin siviiliväestössä.

Kemiallista asetta voidaan käyttää strategisen iskun toteuttamiseen esim. tarkoituksena lamaannuttaa yhteiskunnan elintärkeät toiminnot. Nykyisin teollisuudessa käytetään hyvin toksisia kemikaaleja. Tämä mahdollistaa sen, että vastustaja voi myös konventionaalisilla aseilla saada aikaan vastaavan vaikutuksen kuin kemiallisella aseella, kun hyökkäys kohdistetaan teollisuuden kohteeseen tai vaarallisen aineen varastoon. [26, s. 476]

Kemiallisia aseita on kehitelty paremmiksi sitä mukaa, kuin on myös niitä vastaan tarkoitettuja suojavälineitä ja ilmaisimia. Ennen kaasunaamarin keksimistä kemialliseksi aseeksi kelpasi melkein mikä tahansa myrkyllinen kemikaali. Sittemmin on kehitetty hermokaasut, v-tyypin hermokaasut ja binääriteknologia. Samalla suojavälineiden suojaa, kuormittavuutta ja käyttömukavuutta on kehitetty. Myös ilmaisu- ja tunnistamismenetelmät sekä näitä soveltavat välineet ovat sotien jälkeen kehittyneet valtavasti. [26, s. 476]

Kemialliset taisteluaineet voidaan jaotella aikakausien mukaan sukupolviin 1G (1. sukupolvi, 1. generation), 2G ja 3G. 1G yhdisteisiin kuuluvat tavanomaiset myrkylliset kemikaalit, kuten kloori ja fosgeeni (tukahduttavat), syövyttävät (sinappikaasu, levisiitti) ja yleismyrkylliset taisteluaineet. G-tyypin hermokaasut ovat 2G ja V-tyypin hermokaasut 3G aineita. Uudet neljännen sukupolven taistelukaasut (Novichok ym.) valmistetaan binääri-periaatteella. Binääri-komponentit ovat sallittuja yhdisteitä, joita rauhanaikana voidaan käyttää esim. torjunta-aineina tai lääkkeiden raaka-aineina, mutta yhdistettynä ne voivat muodostaa jopa kymmenen kertaa tehokkaampia yhdisteitä (esim. Novichok-7) kuin VX-hermokaasu. [26, s. 476-477]

Tulevaisuuden yhtenä kehityslinjana voidaan nähdä 3G aineiden modifioiminen tehokkaammaksi, kuten sitkostamalla (lisää pysyvyyttä) tai mikrokapseloimalla (tehostaa levitystä) jo kehitettyjä yhdisteitä. Tavoitteena kehittämiselle on vaikeuttaa ilmaisua ja heikentää suojautumismahdollisuutta. Todennäköisin kehityslinja on binääristen taisteluaineiden kehittäminen, jolloin niiden salainen ja peitelty valmistus on mahdollista. Binääriset aineet tarjoavat myös oivallisen mahdollisuuden sabotaasi- ja terroritoimintaan. [26, s. 477]

2.4 Kemiallisten taisteluaineiden luokittelu ja ominaisuudet

Kemialliset taisteluaineet voidaan luokitella usealla eri tavalla. Ne voidaan luokitella niiden fysikaalisten ominaisuuksien (neste, kaasu jne.), pysyvyyden tai vaikuttavuuden mukaan. Eräs tapa on jaotella kemialliset taisteluaineet kuolettaviin, toimintakykyä alentaviin ja kasvintuhoaineisiin. Sotilaskäytössä yleisin tapa jaotella kemialliset taisteluaineet, on jakaa ne niiden eläville organismeille aiheuttamiensa vaikutusten mukaan. [8; 23, s. 83] Taulukossa (Taulukko 2) on esitelty kemiallisten taisteluaineiden luokittelu kuolettaviin, toimintakykyä alentaviin ja kasvintuhoaineisiin.

Taulukko 2. Kemiallisten taisteluaineiden luokittelu [23, s. 83]

Kuolettavat	Toimintakykyä alentavat	Kasvintuhoaineet
Hermokaasut	Ärsyttävät	Lehdenpudottajat
Yleismyrkylliset kaasut	Tukahduttavat	
	Syövyttävät	Kasvien hävittäjät
Toksiinit	Psykoaineet	

Kemialliset taisteluaineet jaotellaan niiden vaikuttavuuden mukaan ärsyttäviin, tukahduttaviin, syövyttäviin, psykoaineisiin, yleismyrkyllisiin, hermokaasuihin, toksiineihin ja kasvintuhoaineisiin. Aineiden vaikutukset ovat seuraavanlaisia: ärsyttävät aineet vaikuttavat ylempiin hengitysteihin ja silmiin; tukahduttavat aineet aiheuttavat keuhkovaurioita; syövyttävät aineet aiheuttavat vaikutuksia silmiin, ihoon ja hengityselimiin; psykoaineet vaikuttavat huumausaineiden tavoin; yleismyrkylliset kaasut (verikaasut) vaikuttavat nopeasti hengitysteiden kautta ja estävät normaalin hapen siirtymisen verenkierrossa; hermokaasut estävät hermoimpulssien häiriöttömän siirtymisen ja sitä kautta lamauttavat hermojärjestelmän; toksiinit aiheuttavat hermoston lamaanumista ja kasvintuhoaineet tuhoavat nimensä mukaisesti kasveja tai niiden lehtiä. [23, s. 84]

Kun kemialliset taisteluaineet jaotellaan pysyvyyden mukaan, niin silloin puhutaan ilma- ja maastokaasuista. Ilmakaasut ovat kaasumaisia tai helposti kaasuuntuvia yhdisteitä, jotka sekoittuvat ilmaan ja laimenevat melko nopeasti (minuuteista–tunteihin). Maastokaasut sen sijaan ovat huonosti haihtuvia öljymäisiä yhdisteitä, joiden vaikutus maastossa voi kestää pitkään (jopa useita kuukausia). [23, s. 84] Käytännön erona ilma- ja maastokaasuissa on siis niiden haihtuvuus. Nopeammin haihtuvia aineita kutsutaan ilmakaasuiksi ja hitaammin haihtuvia maastokaasuiksi. Tässä tutkimuksessa kemiallisten taisteluaineiden jaottelussa vaikuttavuuden mukaan on aineiden luettelointijärjestyksessä käytetty suojelukoulutuksesta tuttua muistisääntöä nk. ”suojelumiehen aivastusta” eli ÄTSPYHTK (Ärsyttävät, Tukahduttavat, Syövyttävät, Psykostaisteluaineet, Yleismyrkylliset, Hermokaasut, Toksiinit ja Kasvintuhoaineet).

Kemiallisilla taisteluaineilla ja muilla kemikaaleilla on usein oma ominaisuus, joka voi helpottaa niiden tunnistamista. Esimerkiksi hermokaasut voidaan tunnistaa niiden imelästä hedelmäisestä tuoksusta, ärsyttävät aineet niiden pistävästä hajusta ja syövyttävät aineet sipulimaisesta tuoksusta. Tosin ihmisen hajuaistin epäherkkydestä johtuen, on ihmisen aistiessa hajun myös myrkytysoireet todennäköiset. Voimakkaammin tuoksuvat kemikaalit, kuten ammoniakkin ja kloorin voi ihminen todennäköisemmin haistaa ennen kuin ne ehtivät aiheuttaa

myrkytyksen. Kloorilla on myös ehkä yleisesti tunnistettavin ominaistuoksu: ”uimahallin tuoksu”. Taulukossa (Taulukko 3) on esitetty eri kemikaalien ominaistuoksua.

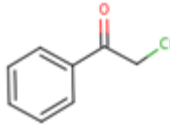
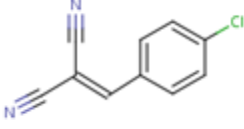
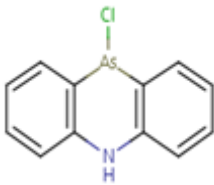
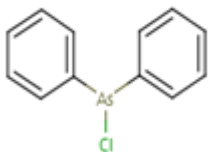
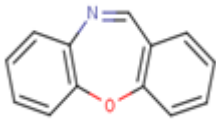
Taulukko 3. Taisteluaineiden ominaistuoksua [27, s. 34]

Kemikaali/taisteluaine	Ominaistuoksu
Akryyliniiri	Sipulimainen/valkosipulimainen
Ammoniakki, kyynelkaasu	Pistävä hajua
Fosgeeni	Voimakkaasti ärsyttävä
Kloori	Uimahallin tuoksu
Levisiitti	Pelargonia
Pippurisumute	Pippurimainen
Sinappikaasu	Valkosipuli
Somaani	Kamferi/eukalyptus
Tabuuni, sariini	Hedelmäinen
VX, rikkidioksidi	Rikki

2.4.1. Ärsyttävät aineet

Ärsyttävät aineet, jotka luokitellaan myös inkapasitoiviksi aineiksi, levitetään yleensä aerosoleina. Ne ovat nopeasti vaikuttavia ja aiheuttavat tilapäisen taistelukyvyttömyyden (mistä nimitys inkapasitoiva). Tällaisia aineita ovat mm. kyynelkaasut, joiden vaikutus kohdistuu lähinnä silmiin; aivastuskaasut, jotka ärsyttävät nenää (aiheuttavat aivastusreaktion); oksennuskaasut, jotka aiheuttavat pahoinvointia ja pippurikaasut joiden vaikutus on samankaltainen kuin kyynelkaasuilla. Yleisimmät agenssit ovat CS (o-Klooribentsaalimalonidiniiri) ja CN (Klooriasetofenoni). [23, s. 84-85] Taulukossa (Taulukko 4) on esitetty ärsyttävien taisteluaineiden ominaisuuksia.

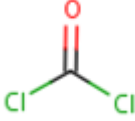
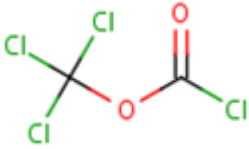
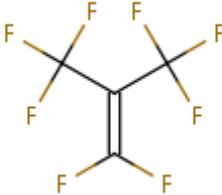
Taulukko 4. Ärsyttävien taisteluaineiden ominaisuuksia [23, s. 85; 28; 29; 30]

Aineen nimi ja NATO koodi	Kemiallinen rakenne	Haihtuvuus mg/m ³ (20 C°)	Sulamispiste/ Kiehumispiste (°C)	Kaasun tyyppi
Klooriasetonifenoni CN		105	56/247	kyynelkaasu
o-Klooribentsaalimalonidinitriili CS		0,71	93/310	kyynelkaasu
Adamsiitti DM		0,02	197/410	oksennuskaasu
Difenyyliklooriarsiini DC		0,3	35/383	oksennuskaasu
Dibentso-1, 4-oksatsepiini CR		< 1,0	72/329	kyynelkaasu

2.4.2. Tukahduttavat aineet

Tukahduttavien aineiden vaikutus kohdistuu lähinnä keuhkoihin, missä ne aiheuttavat keuhkopöhön kaltaisen tautitilan. Tukahduttavat aineet vaurioittavat keuhkorakkuloiden seinämiä, jolloin ne täyttyvät kudospainetta ja aiheuttavat tukehtumisen. Merkittävimmät tukahduttavat aineet ovat fosgeeni, difosgeeni ja perfluori-isobuteeni, joista fosgeenin ja difosgeenin ominaisuudet ovat samankaltaisia. Fosgeeni on ilmaa raskaampi, palamaton, kaasumainen aine, jonka haju muistuttaa pilaantuneen heinän hajua. Se hajoo vedessä hitaasti suolahapoksi ja hiilidioksidiksi. Fosgeenia käytetään myös lääkkeiden ja torjunta-aineiden valmistuksessa. Perfluori-isobuteenia muodostuu mm. kuumennettaessa teflonia. Se aiheuttaa jo hyvin pieninä pitoisuuksina keuhkopöhön. Erikoista perfluori-isobuteenissa on se, että se läpäisee aktiivihiihliuodattimen. [23, s. 85] Taulukossa (Taulukko 5) on esitetty tukahduttavien aineiden ominaisuuksia.


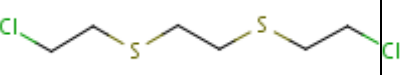
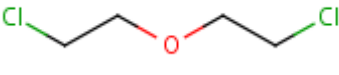
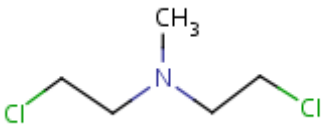
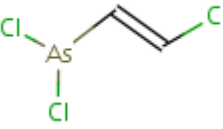
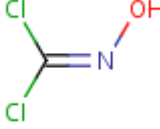
Taulukko 5. Tukahduttavien aineiden ominaisuuksia [23, s. 86; 28; 29]

Aineen nimi ja NATO koodi	Kemiallinen rakenne	Haihtuvuus mg/m ³ (20 C°)	Sulamispiste/ Kiehumispiste (°C)	Kaasun tyyppi
Fosgeeni CG		6,5 * 10 ⁶	-128/+8,2	ilmakaasu
Difosgeeni DP		4,5 * 10 ⁴	-57/+127	ilmakaasu
Perfluori-isobuteeni		8,9 * 10 ³	-130/+8	ilmakaasu

2.4.3. Syövyttävät aineet

Syövyttävät aineet nimensä mukaisesti aiheuttavat syöpymistä paljaaseen ihoon, silmiin ja hengityksen kautta myös keuhkoihin. Ne ovat nk. alkyloivia aineita, jotka tuhoavat soluja vaurioittamalla solujen nukleiinihappoja. Tärkein syövyttävistä aineista on rikkisinappikaasu (tunnetaan myös nimillä yperiitti ja keltaristi). Muita syövyttäviä aineita ovat happi- ja seskvisinappikaasut, typpisinappikaasut, levisiitti sekä myös nokkoskaasuina tunnetut fosgeenioksiimi ja difosgeenioksiimi. [23, s. 86; 31, s. 38] Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty syövyttävien aineiden ominaisuuksia.

Taulukko 6. Syövyttävien aineiden ominaisuuksia [23, s. 86; 28; 29; 32]

Aineen nimi ja NATO koodi	Kemiallinen rakenne	Haihtuvuus mg/m ³ (20 C°)	Sulamisaste/ Kiehumispiste (°C)	Kaasun tyyppi
Rikkisinappikaasu HD		610	14,4/217	maastokaasu (neste)
Seskvisinappikaasu Q		<1	57/140 (2,7 mbar)	maastokaasu (kiinteä)
Happisinappikaasu T		2,4	10/174 (2,7 mbar)	maastokaasu (neste)
Typpisinappikaasu NH3		117	-4/256	maastokaasu (neste)
Levisiitti L		4480	0-18/190	maastokaasu
Fosgeenioksiimi CX		1800	40/54 (28 mmHg)	neste/kiinteä

Epäpuhdas, vettä ja suolahappoa sisältävä sinappikaasu syövyttää rautaa ja terästä. Syöpymisen aiheuttavassa reaktiossa syntyy helposti haihtuvia kaasuja. Reaktiota voidaan hidastaa käyttämällä mm. tetra-alkyyliammoniumhalogenideja, kuten tetrametyyliammoniumbromidia, sekä eräitä orgaanisia amiinijohdoksia, kuten heksametyylitetramiinia ja pyridiinia. Sinappikaasu haihtuu hitaasti ja sen vaikutusaika maastossa on yhdestä kahteen päivään, talvella jopa viikkoja. [23, s. 87-88]

Levisiitti on syövyttävistä kaasuista nopeammin vaikuttava kuin sinappikaasu. Levisiittiä valmistetaan asetyleenistä (etyynistä) ja arseenitrikloridista alumiinitrikloridin avulla. Puhdas levisiitti on hajuton ja liukenee veteen 0,5 g/l. Tekninen tuote on öljymäinen ja tummanruskea

voimakkaasti pelargonialle tuoksuva neste. Levisiittiä voidaan sen hyvän liukoisuuden ansiosta käyttää yhdessä sinappi- ja hermokaasujen kanssa. Huono varastointikestävyys kuitenkin heikentää puhtaan levisiitin käytettävyyttä kemiallisena taisteluaaineena. Nokkoskaasujen fosgeenioksiimin (diklooriformoksiimi) ja difosgeenioksiimin (trikloorimetyyliformoksiimi) vaikutukset ovat puolestaan välittömiä. Difosgeenioksiimi sopii ominaisuuksiensa vuoksi paremmin taisteluainekäyttöön kuin fosgeenioksiimi. Difosgeenioksiimi on valkoinen, veteen liukenematon, kiteinen aine, joka säilyy vuosia hajoamatta. [23, s. 88]

2.4.4. Psykotaisteluaineet

Psykotaisteluaineet ovat kemiallisia taisteluaineita, jotka aiheuttavat altistuneissa suorituskyvyn alenemista ja psyykkisiä muutoksia jo hyvin pieninä annoksina. Psykotaisteluaineista tärkein on BZ eli kinuklidinylibentsilaatti, joka lamauttaa ihmisen keskushermoston ja aiheuttaa voimakkaita hallusinaatioita. BZ:n käyttöä taisteluaaineena rajoittaa sen kiinteä olomuoto. [23, s. 93] LSD:n (saksankieli: Lysergsäure diethylamid) käyttöä psykotaisteluaaineena on myös tutkittu, mutta se on havaittu olevan soveltumaton siihen käyttöön. Sveitsiläisessä Sandoz Laboratories nimisessä yrityksessä toiminut kemisti Albert Hofmann kehitti LSD:n vahingossa vuonna 1943. [8; 24, s. 682]

2.4.5. Yleismyrkylliset aineet

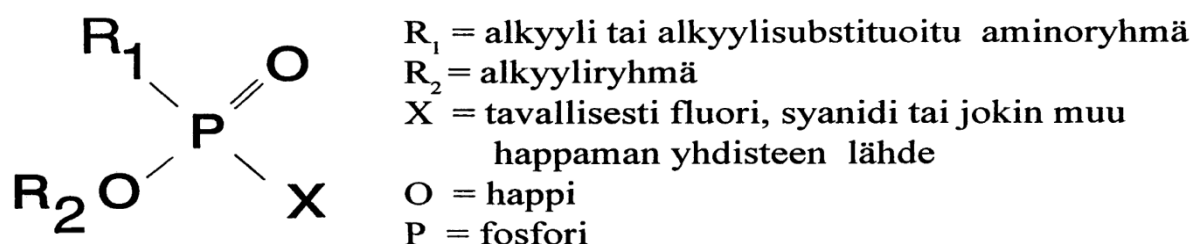
Yleismyrkylliset taisteluaineet (verikaasut) ovat lyhytvaikutteisia ja nopeasti haihtuvia kaasuja tai nesteitä, joiden vaikutus perustuu tiettyjen spesifisten entsyymien toiminnan estämiseen. Tärkeimmät yleismyrkylliset aineet ovat syaanivety ja kloorisyaani. Arseeni, fosforivety ja hiilimonoksidi luokitellaan myös yleismyrkyllisiin taistelukaasuihin, mutta näillä aineilla ei kuitenkaan ole merkitystä kemiallisina taisteluaineina. [23, s. 88]

Puhdas syaanivety (vetysyanidi) eli sinihappo on väritön ja kirkas neste, jonka kiehumispiste on 25,6 °C ja sulamispiste n. -15 °C. Syaanivety haihtuu alhaisen kiehumispisteensä vuoksi erittäin nopeasti. Kesällä se haihtuu avoimessa maastossa noin viidessä ja metsäisessä maastossa noin kymmenessä minuutissa. Pysyvyyttä voidaan parantaa mikrokapseloimalla tai käyttämällä esim. arseenitrikloridin, vetysyanidin ja trikloorimetaanien seosta. Mikrokapseloinnissa syaanivety imeytetään johonkin huokoiseen materiaaliin. Esimerkiksi keskitysleirien kaasukammioissa käytetty Zyklon B on piimaahan imeytettyä syaanivetyä. [23, s. 88-89]

Alle 50 mg/m^3 pitoisuudet syaanivetyä ovat yleensä myrkyttömiä, mutta 100 mg/m^3 voi aiheuttaa vakavan myrkytyksen jo 15 minuutissa. Tappava annos syaanivetyä on noin yksi mg per ihmisen painokilo. Kloorisyaani eli syaanikloridi on väritön neste, jonka kiehumispiste on $12,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Alhaisen kiehumispisteen vuoksi sitä voidaan käyttää taisteluna aineena lähinnä seoksina muiden kemiallisten taisteluna aineiden kanssa. Kloorisyaani aiheuttaa voimakasta silmien ärsytystä jo $2,5 \text{ mg/m}^3$ pitoisuuksissa, mutta muuten sen myrkyllisyys on noin puolet syaanivedyn myrkyllisyydestä. [23, s. 89]

2.4.6. Hermokaasut

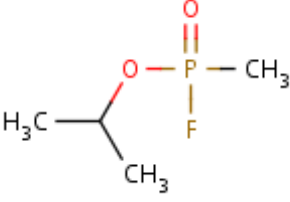
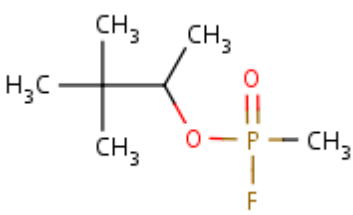
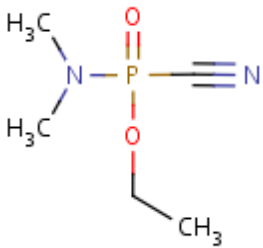
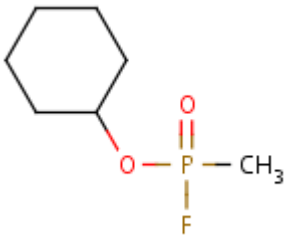
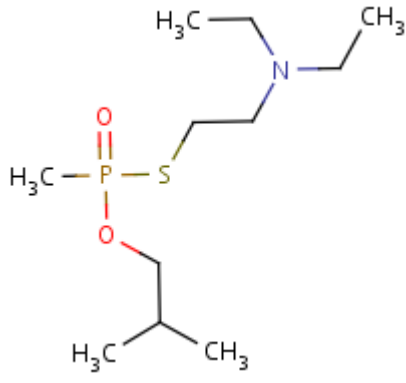
Hermokaasut ovat orgaanisia fosforihappestereitä, joiden toiminta perustuu asetylikoliini-esteraasientsyymin biologisen aktiivisuuden estämiseen eli inhiboimiseen. Ne ovat suhteellisen stabiileja ja helposti levitettäviä hyvin myrkyllisiä aineita, jotka vaikuttavat aineesta riippuen joko ihon tai hengitysteiden kautta. [23, s. 89] Kuvassa (Kuva 3) on esitetty hermokaasujen yleinen rakenne.



Kuva 3. Hermokaasujen yleinen rakenne [23, s. 89]

Hermokaasut jaetaan yleensä G- ja V-tyypin hermokaasuihin. Lisäksi ne voidaan luokitella pysyvyyden mukaan myös ilma- tai maastokaasuiksi. G-aineet ovat ilmakaasuja, jotka vaikuttavat lähinnä hengityksen kautta. V-kaasut ovat puolestaan maastokaasuja, jotka vaikuttavat sekä hengityksen että ihon kautta. Tunnetuimpia G-tyypin hermokaasuja ovat sariini, somaani ja tabuuni. V-tyypin hermokaasuista tärkeimmät ovat VX ja sitkostettu somaani. [23, s. 90] Taulukossa (Taulukko 7) on esitetty hermokaasujen ominaisuuksia.

Taulukko 7. Hermokaasujen ominaisuuksia [23, s. 90; 28; 29]

Aineen nimi ja NATO koodi	Kemiallinen rakenne	Haihtuvuus mg/m ³ (20 C°)	Sulamispiste/ Kiehumispiste (°C)	Kaasun tyyppi
Sariini GB		12000	-57/+147	ilmakaasu
Somaani GD		2000	-80/+198	maastokaasu
Tabuuni GA		400	-49/+245	maastokaasu
Syklosariini GF		600	-30/+92 (10 mmHg)	maastokaasu
VX		5-30	-51/+298	maastokaasu

2.4.7. Toksiinit

Toksiinit ovat elävien organismien, kuten bakteerien, homeiden ja hiivojen sekä kasvien ja eläimien tuottamia myrkkijä, joista osa on hermokaasujakin myrkyllisempiä. Clostridium botulinum -bakteerin tuottama neurotoksiini on voimakkain kaikista tunnetuista myrkyistä. Myrkyllisyytensä ansioista se soveltuu myös taisteluaineeksi. Kuolettava annos arvion mukaan on noin yksi mikrogramma suun kautta nautittuna ja hengitettynä vielä vähemmän. Bakteeri esiintyy luonnossa yleisesti ja voi kehittää toksii- nia hapettomassa tilassa esim. lihasäilykkeissä. Botuliini myrkytystä kutsutaan botulismiksi. [23, s. 92-93; 33] Muita tunnettuja toksii- neja ovat mm. risiinitoksiini ja saksitoksiini. Taulukossa (Taulukko 8) on esitetty toksii- nien LDLo arvoja.

Taulukko 8. Eräiden toksii- nien LDLo arvoja [28]

Toksiini	Imeytymisreitti	LDLo arvo (kohde jos muu kuin rotta)
Botulinum toksii- ni (tyyppi D)	Suun kautta	40 µg/kg (vuohi/lammas)
Stafylokokin enterotoksiini	Vatsaontelo	39 µg/kg
Shigatoksiini	Ruuansulatuskanava	1 µg/kg
Abriini	Suun kautta	7 µg/kg (ihminen)
Risiini	Suun kautta	300 µg/kg (ihminen)
Saksitoksiini	Suonensisäisesti	10 µg/kg (marsu)
Tetrodotoksiini	ei ilmoitettu	15 µg/kg

2.4.8. Kasvintuhoaineet

Kasvintuhoaineita eli herbisidejä käytetään maa- ja metsätaloudessa rikkakasvien tuhoami- seen. Niitä voidaan käyttää myös esim. viljasadon tuhoamiseen tai peitteisen kasvillisuuden poistamiseen ja näin heikentää vihollisen toimeentulo- tai suojautumismahdollisuuksia. Kas- vintuhoaineiden yhteisenä piirteenä on kyky rajoittaa tai estää kasvin normaali kasvu ja kehi- tys. Toimintatapana voi olla fotosynteesin, aminohappojen biosynteesin, solun jakaantumisen ja soluhengityksen esto tai auksiinivaikutuksen (kasvin liikakasvun) aiheuttaminen. [23, s. 92]

Tärkeimpiä herbisidejä sotilaallisessa käytössä ovat nk. lehdenpudottaja-aineet, joita esimer- kiksi Yhdysvallat käytti Vietnamin sodassa. Ne soveltuvat viidakkosotaan ja myös esim. huumeviljelmien tuhoamiseen. Tunnetuimpia kasvintuhoaineita ovat Agent Orange, Agent Blue ja Agent White. Agent Orange sisältää 50 % 2,4,5-trikloorifenoksisietikkahapon butyy-

liesteriä ja 50 % 2,4-dikloorifenoksisietikkahappoa. Agent Blue koostuu dimetyliarseenihaposta eli kadokyylihaposta. Agent White sisältää 25 % pikloraamia ja 75 % 2,4-dikloorifenoksisietikkahappoa. [23, s. 92; 1]

2.4.9. Myrkylliset teollisuuskemikaalit

Vaikka teollisuuskemikaaleja ei varsinaisesti luokitella taisteluaineiksi, voi onnettomuus teollisuudessa tai kemiallisen aineen kuljetuksissa pahimmillaan olla verrattavissa kemiallisen taisteluaineen tai polttoaseen käyttöön. Suomessa on teollisuuden laitoksissa käytössä kymmeniä tuhansia eri kemikaaleja, joista useat ovat terveydelle vaarallisia. Niihin kuuluvat erittäin myrkylliset, myrkylliset, haitalliset, syövyttävät, ärsyttävät, herkistävät, syöpää aiheuttavat, perimää vaurioittavat ja lisääntymiselle vaaralliset kemikaalit. Kemiallinen vaaratilanne voi teollisuuslaitoksessa syntyä esimerkiksi tulipalon, inhimillisen virheen, tuholais toiminnan, asevaikutuksen tai kuljetusonnettomuuden seurauksena. [23, s. 110-111] Vaarallisuusasteen mukaan jaoteltu lista myrkyllisistä teollisuuskemikaaleista löytyy tutkimuksen liitteenä 2.

Vaarallisimpia yleisimmin teollisuuden käyttämistä kemikaaleista ovat ammoniakki, kloori ja rikkidioksidi, jotka ovat kaikki ominaisuuksiltaan pistävän hajuisia. Ammoniakki (NH_3) on huoneenlämmössä väritön ja ilmaa kevyempi kaasu. Se aiheuttaa hengitettynä verisuonien supistumisen, verenpaineen kohoamisen ja suurina määrinä hengityksen salpautumisen sekä kuoleman ($3500\text{--}7000\text{ mg/m}^3$, altistus 10–15 min). Kloori on kellanvihreä ja ilmaa raskaampi erittäin myrkyllinen kaasu, joka on nestemäisenä oranssin väristä. Kloori aiheuttaa keuhko-, silmä- ja ihovammoja sekä on suurina pitoisuuksina hengenvaarallista (3000 mg/m^3 pitoisuudessa välitön tukehtumisvaara). Rikkidioksidi on väritön, voimakkaasti syövyttävä ja ilmaa raskaampi myrkyllinen kaasu. Alle $-10\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa se on nestemäistä. Myös rikkidioksidi aiheuttaa keuhko- ja ihovammoja. Muutaman minuutin oleskelu $1000\text{--}1300\text{ mg/m}^3$ pitoisuudessa on hengenvaarallista. [23, s. 113-115] Taulukossa (Taulukko 9) on esitetty edellä mainittujen kemikaalien ominaisuuksia. Esimerkkinä tilavuussuhteista: yhdestä litrasta neste-klooria höyrystyy ilmakehän paineessa n. 400 l kloorikaasua.

Taulukko 9. Eräiden kemikaalien ominaisuuksia [23, s. 113]

Ominaisuus	Kloori	Ammoniakki	Rikkidioksidi
Kiehumispiste	-34 °C	-33 °C	-10 °C
Tiheys			
– kaasu (ilma = 1)	2,6	0,6	2,3
– neste (vesi = 1)	1,6	0,7	1,5
Tilavuussuhde			
– kaasu/neste	400	750	500
Höyrystymislämpö			
– (vesi = 1)	0,13	0,6	0,17
Höyrönpaine (ylipaine)			
– +20 °C	5,5 bar	7,6 bar	2,3 bar
– 0°C	2,6 bar	3,3 bar	0,6 bar
– -20 °C	0,8 bar	0,9 bar	-
Liukoisuus veteen	Huono	Erittäin hyvä	Hyvä

2.5 Kemiallisten taisteluaineiden fysiologiset vaikutukset ja niiden hoitokeinot

Kemialliset taisteluaineet voivat esiintyä nesteenä, kaasuna tai höyrymäisessä muodossa. Myrkkujen imeytyminen ihmiskehoon voi tapahtua monen eri reitin kautta, usein yhtä aikaa. Imeytyminen voi tapahtua ihon läpi, keuhkojen kautta hengitysilman mukana, silmien kautta, nauttimalla saastunutta ruokaa tai vettä sekä systeemisesti (koko kehoon vaikuttava) verenkiertoon imeytymisen seurauksena. Ne voivat vaikuttaa ihmisessä kehon hermostoon, verenkiertoon, ihoon tai keuhkoihin. Myrkyt olomuodosta ja altistumistiestä riippuu myös oireiden laatu. Oireita voivat olla esimerkiksi kyynelehtiminen, ihorakkuloiden muodostuminen, oksentelu, hallusinaatiot tai kehon hallinnan menettäminen. [8; 34]

Kemialliselta taisteluaineelta suojautuminen on selvästi tehokkaampaa kuin myrkytys oireiden hoitaminen jälkikäteen lääkityksellä. Koska useimmat taisteluaineet imeytyvät tehokkaasti myös ihon läpi, tulee taistelijan koko vartalo suojata (pelkkä suojanaamari ei riitä). Roiskeuojapuvun alla käytetään lisäksi aktiivihiiliväliasia, joka estää höyrystyneen taisteluaineen pääsyn iholle. Riittävän aikainen ennakkovaroitus tarvitaan (esim. ilmaisimilla), jotta henkilöstö ehtii suojautua ennen taisteluaineiden vaikutusta. Jos taistelijan iholle on päässyt taisteluainetta (esim. suojautumattomuuden vuoksi), on välitön puhdistaminen ensiarvoisen tärkeää. Tehokkaimpaan vaikutukseen päästään, jos puhdistaminen suoritetaan viiden minuutin

kuluessa myrkyä joutumisesta iholle. Jauhemaisen puhdistuspulverin käyttö soveltuu parhaiten iholle joutuneiden taistelukemikaalipisaroiden välittömään puhdistukseen. Täydentävä puhdistaminen suoritetaan vedellä ja saippualla. [31, s. 36]

2.5.1. Ärsyttävät aineet

Ärsyttävillä aineilla altistuneille voi ensioireina ilmaantua silmäoireita, kipua, blefarospasmia (silmäluomen kouristus), kyynelvuotoa, nenäeritteitä, hengitystieoireita, yskimistä, nuhaa ja epäselviä kiputuntemuksia. Myöhemmin oireina voi ilmaantua painontunnetta rintakehään, hengitysvaikeuksia, polttavaa tunnetta suussa ja kielessä, lisääntynyttä syljen erityystä ja oksentelua. Altistuneille voi ilmaantua myös iho-oireita. Hoitokeinoina voidaan käyttää raitisilmatuuletusta, silmien ja ihon vesihuuhtelua sekä tarvittaessa yskänärsytystä hillitsevää lääkettä. [35; 31, s. 37]

2.5.2. Tukahduttavat aineet

Tukahduttavat aineet, kuten fosgeeni ja kloori vaikuttavat ilmäteihin alveolitasolla (keuhkorakkuloissa) aiheuttaen tulehdusta ja kudostuhoa. Näiden aineiden kulkeutumiseen ilmäteissä vaikuttavat mm. niiden pisarakoko ja liukoisuus. Mitä hienompaa aineen pisarakoko on, niin sitä syvemmälle sen vaikutukset hengitysteissä kantautuvat. Vesiliukoiset aineet (esim. ammoniakki) aiheuttavat vaurioita lähinnä ylähengitysteissä kun rasvaliukoiset (esim. fosgeeni) puolestaan voivat vaurioittaa myös pieniä ilmäteitä sekä keuhkorakkuloita. Kloorin vaikutus jää ylähengitysteiden ja keuhkorakkuloiden välimaastoon. Iho voi myös muuttua syanoottiseksi (sinertävä) ja keuhkoihin vuotava neste voi aiheuttaa potilaalle hypovolemian (tila jossa elimistössä kiertävien nesteiden määrä on vähentynyt). Keuhkopöhön estämiseksi potilas tulee pitää ehdottomassa levossa ja lämpimänä, muuten hoitona annetaan kortikosteroideja inhaationa. [35; 31, s. 37-38]

2.5.3. Syövyttävät aineet

Sinappikaasut vahingoittavat ihoa, silmiä ja hengityselimien limakalvoja. Vetisiä rakkuloita esiintyy etenkin kosteilla ja lämpimillä ihoalueilla. Silmät voivat sinappikaasuhöyryjen vaikutuksesta tulehtua ja alkaa märkiä ja hengityselimissä saattaa esiintyä kuolioita. Sinappikaasut voivat aiheuttaa myöhäisoireina, jopa useiden vuosien kuluttua hermoston ja ruoansulatuselinten sairauksia sekä syöpää. Typpisinappikaasun vaikutukset ilmenevät jonkin verran hitaammin kuin rikkisinappikaasun. [23, s. 87]

Levisiitti vaikuttaa sinappikaasujen tavoin, mutta nopeammin. Sen aiheuttamat ihovammat paranevat myös nopeammin kuin sinappikaasun aiheuttamat. Nokkoskaasut (fosgeenioksiimi ja difosgeenioksiimi) ovat voimakkaasti ihoa ja hengityselimiä ärsyttäviä aineita, joiden vaikutukset ovat välittömiä. Nimitys nokkoskaasut tulevat niiden iholla aiheuttamasta poltteesta, joka on samankaltainen kuin nokkosien aiheuttama. Polte leviää koko ihoon huolimatta siitä onko ihokosketus vain paikallinen vai laajempi. [23, s. 88]

Altistuksen voimakkuus vaikuttaa syövyttävien aineiden, kuten rikki- ja typpisinappikaasun aiheuttamien oireiden kehittymiseen. Oireet saattavat kehittyä vasta 12–24 tunnin kuluttua lievästä altistuksesta, mutta voimakkaan altistuksen jälkeen yleisoireet voivat alkaa jo 2–6 tunnin kuluessa. Oireet kehittyvät pikku hiljaa alkaen pahoinvoinnista, oksentelusta ja silmätuntemuksista iholle ilmaantuviin punoituksiin. Syövyttävillä kaasuilla altistuminen voi aiheuttaa myös päänsärkyä, kyynelvuotoa, takykardiaa (sydämen tiheälyöntisyys) ja fotofobiaa (valonarkuus). [34]

Hengitystieoireiden kehittyminen voi viedä 24 tuntia, jolloin voi ilmaantua keuhkotulehduksen oireita ja jopa keuhkopöhö. Ihovauriot vastaavat 2–3 asteen palovammoja ja vakavan altistuksen jälkeen voi kehittyä myös ihonekroosia (ihon kuolio). Sekundaari-infektio tai kehittynyt luuydinvaurio voivat aiheuttaa kuoleman. Ensihoitona on sinappikaasupisaroiden puhdistaminen iholta ja silmien huuhtelu vedellä tai 2 %:lla natriumbikarbonaatilla. Tämän jälkeen hoitoa jatketaan oireiden mukaisesti. Levisiittimyrkytyksessä ja muiden arseeniyhdisteiden aiheuttamiin oireisiin voidaan antaa dimerkaprolivoidetta (BAL) ja 2,3-dimerkapto-1-propaanisulfonaattia (DMPS). [34; 35; 31, s. 39-40]

2.5.4. Psykostaisteluaineet

Psykokemikaalit on nimensä mukaisesti, kehitetty tekemään altistuneet toimintakyvyttömiksi vaikuttamalla altistuneen psyykeen. Ne aiheuttavat altistuneissa suorituskyvyn alenemista ja psyykkisiä muutoksia jo hyvin pieninä annoksina. Suurina pitoisuuksina ne saattavat olla myös tappavia. [23, s. 93; 35] BZ voi aiheuttaa pitkäkestoisen antikolinergisen syndrooman (estää asetyylikoliinin toimintaa) eli atropiinin kaltaisen vaikutuksen. Oireina voi esiintyä kiihottuneisuutta, kouristuksia, hypertermiaa ja hallusinaatioita. Aerosolinen LSD voi ennen hallusinaatioita aiheuttaa oireina mm. pahoinvointia ja sympaattisen hermoston oireita, kuten pupillien laajenemista, takykardiaa, hypertensiota, tihentynyttä hengitystä ja hypertermiaa. Hallusinaatiot voivat olla näkö-, kuulo-, liike- tai hajuharjoja. Myös kehosta irtaantumisen

tuntemukset ovat yleisiä. Psykoottisten potilaiden rauhoittamiseen voidaan antaa diatsepaamia. Muuten varaudutaan aggressiiviseen ja arvaamattomaan käytökseen. [35; 31, s. 48]

2.5.5. Yleismyrkylliset aineet

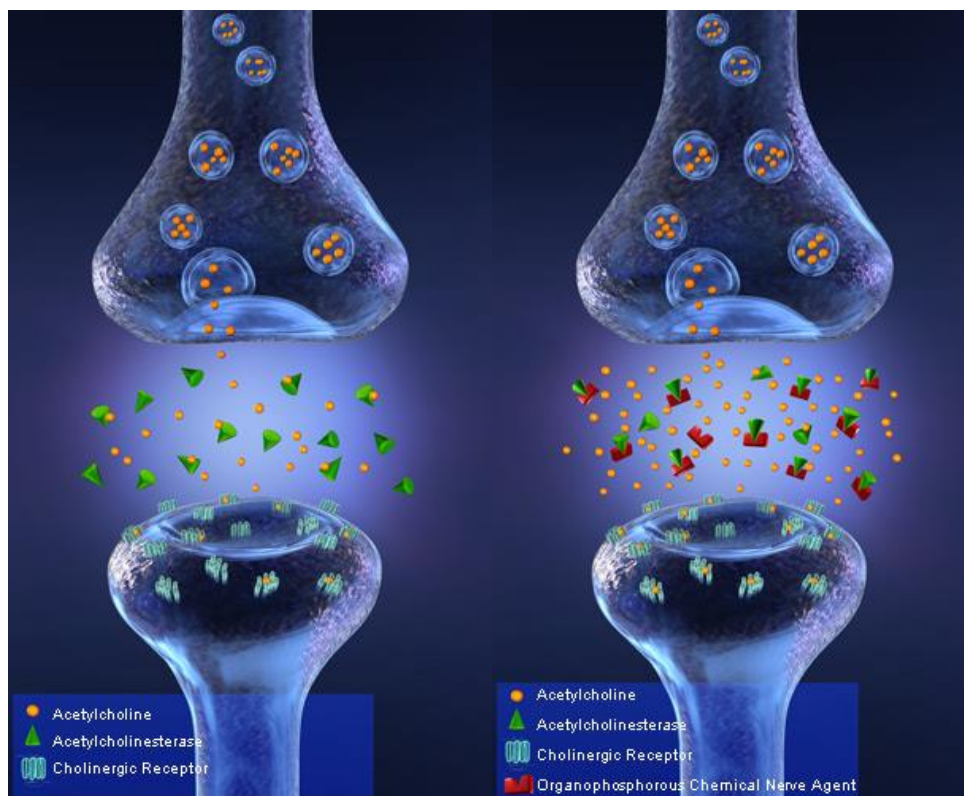
Yleismyrkylliset aineet sitoutuvat proteiinimolekyylien rautaioneihin, estäen hapen kuljetuksen verenkierrassa ja elimistön normaalin hapettamisen aineenvaihdunnan kautta. Esimerkiksi hiilimonoksidi sitoutuu hemoglobiiniin ja estää sen normaalin toiminnan hapenkuljettajana. [24, s. 697] Syanidi-ioni sitoutuu hemoglobiinista poiketen reversiibelisti (vain lyhyeksi aikaa) solun metalloentsyymeihin aiheuttaen sytokromioksidaasin (hengitysentyymi) eston ja häiritsee näin solunsisäistä aerobista aineenvaihduntaa. Solu ei pysty käyttämään happea ja laktaattia kertyy, minkä seurauksena on solun kuolema hapenpuutteeseen. Soluhengitystoiminnan salpautuminen johtaa laskimoveren oksihemoglobiinipitoisuuden kasvamiseen, mikä ilmenee uhrin punertavana ulkonäköinä. Ensiapuna hengittävälle potilaalle annetaan amyliiniitriittiä. Hydroksikobalamiini, natriumtiosulfaatti ja dikobolttiedetaatti ovat syanidi-onia sitovia antidootteja eli vasta-aineita. [35; 23, s. 89; 31, s. 41; 24, s. 699]

2.5.6. Hermokaasut

Organofosfaatit eli hermokaasut ovat kaikkein myrkyllisimpiä tunnetuista syntetisoiduista kemiallisista taisteluaineista. Ne voivat aiheuttaa kuoleman minuuteissa altistuksen ajankohdasta. Hermokaasut ovat nestemäisiä huoneenlämmössä ja muodostavat höyryä, joka voi penetreritua ihon, hengitystie-epiteelin ja silmässä kornean eli sarveiskalvon läpi. Elimistössä ne vaikuttavat erittäin nopeasti inhiboimalla (estämällä) asetyylikoliiniesteraasientsyymien toimintaa ja jonkin ajan kuluttua aiheuttavat sen tuhoutumisen. Seurauksena on asetyylikoliinin kertyminen ja kolinenerginen (asetyylkoliinin erityksen) ylistimulaatio sekä sentraalisesti (keskushermostoon) että perifeerisesti (muualle kehoon). Myös klooratut yhdisteet (dioksiinit) kuten kloorattuihin hiilivetyihin perustuvat torjunta-aineet voivat aiheuttaa hermokaasujen tapaisen myrkytyksen. Entsyymien tuhoutuminen tapahtuu eri hermokaasuilla erilaisella nopeudella. Esimerkiksi somaatin tuho vaikutus aiheutuu jo muutamien minuuttien kuluessa, kun VX kaasulla se voi kestää jopa 24–48 h. [34; 31, s. 42; 24, s. 706-707]

Hermosto koostuu hermosoluista, jotka ovat liittyneet nk. synaptisen kuilun välityksellä joko toiseen hermosoluun, lihassoluun tai aistielimeen. Normaalitilassa hermoimpulssi pääsee ylittämään synaptisen kuilun esteettä. Kuilun ylittäminen tapahtuu kemiallisen välittäjäaineen, asetyylikoliinin (ACh) avulla. Ylittämisen jälkeen asetyylikoliiniesteraasi (AChE) hajottaa

ACh:n koliiniksi ja etikkahapoksi. Hermokaasu estää hajoamisen ja aiheuttaa hermoimpulssien välittymisen jatkuvasti. [23, s. 90-91] Kuvassa (Kuva 4) on esitetty hermokaasujen vaikutus hermoston toimintaan. Kuvassa vasemmalla on esitetty normaalitoiminta, jossa asetyylikoliiniesteraasi pilkkoo asetyylikoliinin. Kuvassa oikealla hermokaasu on estänyt normaalitoiminnan, jolloin asetyylikoliinia kertyy reseptorille.



Kuva 4. Kolinergisen hermoston normaalitoiminta (vas.) ja organofosfaatin vaikutus siihen (oik.) [36]

Hermokaasujen aiheuttamia keskushermoston kautta välittyviä oireita ovat yleinen heikkouden tunne, sekavuus, hengityslamaus, vasomotorisen (verisuonten läpimittaa kontrolloiva) keskuksen lamautuminen, tajuttomuus, kouristukset, ataksia (haparointi), levottomuus, rauhattomuus, ahdistuneisuus ja puuroutunut puhe. Perifeerisen hermoston muskariinireseptorien kautta välittyviä oireita ovat mioosi (silmäterien supistuminen), näön hämärtyminen, limaisuus, bronkokonstriktio (keuhkoputken supistuminen), lisääntynyt syljeneritys, pahoinvointi, vatsakrampit, ripuli, hikoilu, bradykardia (sydämen harvallyöntisyys) sekä virtsan ja ulosteen pidätyskyvyttömyys. [34]

Hermokaasujen aiheuttamia nikotiinireseptorien kautta välittyviä, pääasiallisesti hermolihaskalvojen salpautumisesta johtuvia oireita ovat lihasnykäykset, lihaskrampit, lihasheikkous, velttohalvaus, hengityslihasten toiminnan lamautuminen ja hikoilu. Hengityslihasten lamau-

tuminen ja samanaikainen hengityskeskusten lama aiheuttaa kuoleman. Antidooteista atropiini kumoaa perifeeriset muskariinivaikutukset ja oksiiimi tai obidoksiimi vapauttaa asetyyliholiiniesteraasientsyymin sitoutuneesta hermokaasusta. Lihaskouristuksien hoitoon voidaan antaa diatsepaamia ja hengitysvaikeuksiin tekohengitystä. [34; 31, s. 45]

2.5.7. Toksiinit

Myrkyllisimmän Botulinum-toksiinin oireet alkavat 24–36 tunnin kuluttua altistuksesta aivohermo-oireina ja lihashalvauksina. Ensioireina havaitaan usein nielemisvaikeuksia, puheen vaikeutumista ja näköhäiriöitä. Myös ummetusta ja oksentelua voi esiintyä. Halvaukset voivat edetä kasvoista raajoihin muutamassa tunnissa (korkeintaan muutamassa päivässä), jolloin tyypillinen kuolemansyy on hengityshalvaus. Multivalentti antitoksiini pystyy sitomaan veressä kiertävää toksiinia. Myös kurkkumätä ja jäykkäkouristus -sairauksien aiheuttamien bakteerien erittämiä hermomyrkyjä difteriatoksiinia ja tetanustoksiinia vastaan on kehitetty rokotteet. Botulismiin ei ole olemassa vielä kaupallisessa käytössä olevaa rokotetta, mutta esimerkiksi Persianlahden sodan aikana Yhdysvallat antoi joukoilleen rekisteröimätöntä botulinum-rokotetta. Ruoansulatuskanavan altistuksessa hoitoon käytetään lääkehiiltä ja suolistovaurioista johtuvaan nestehukkaan annetaan nestehoitoa. [33; 37; 31, s. 31-32]

2.5.8. Kasvintuhoaineet

Kasvintuhoaineiden vaikutukset eivät kohdistu suoranaisesti ihmisiin, mutta niiden käytöllä on havaittu pitkäaikaisia haittavaikutuksia sotien jälkeen. Yhdysvaltojen käyttämän kasvintuhoaineen Agent Orangen teki ihmiselle vaaralliseksi sen sivutuotteena syntynyt voimakkaasti karsinogeeninen dioksiini. Agent Orangen on havaittu olevan genotoksista ja aiheuttaneen mm. epämuodostumia useille sodan jälkeen syntyneille lapsille. [1]

2.5.9. Myrkylliset teollisuuskemikaalit

Myrkylliset teollisuuskemikaalit ovat yleisesti hyvin haihtuvia ja voimakkaasti ärsyttäviä aineita. Niiden vaikutukset kohdistuvat pääosin hengitysteihin, missä ne ärsyttävät limakalvoja ja voivat jopa vahingoittaa hengityselimiä. Aineen vaikutusalue riippuu aineen ominaisuuksista, kuten sen haihtuvuudesta, vesiliukoisuudesta, hiukkaskoosta ja pitoisuudesta. Jos aineen pitoisuus on suuri tai vaikutusaika hyvin pitkä, voi aine aiheuttaa vaurioita myös laajemmalla alueella. [38] Taulukossa (Taulukko 10) on esitetty eri teollisuuskemikaalien vaikutusalueet hengityselimissä.

Taulukko 10. Ärsytystä aiheuttavien teollisuuskemikaalien vaikutusalueet hengityselimissä [38]

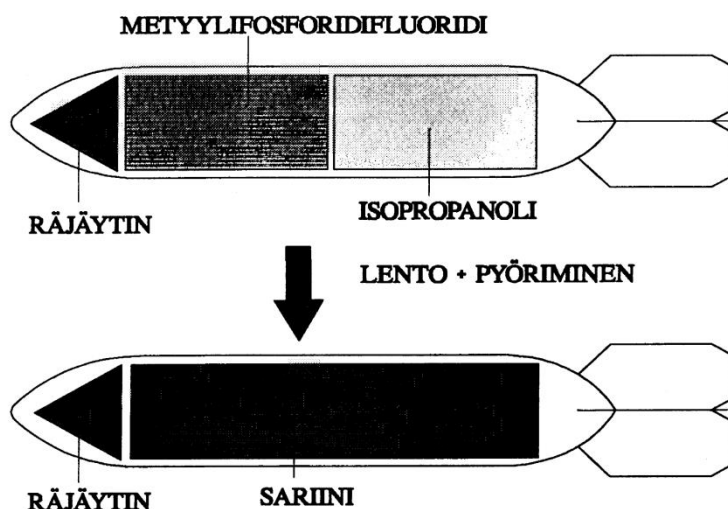
Ylähengitysteihin vaikuttavat aineet	
Akryylihappo	Glutaraldehydi
Akryylinitriili	Hydrokinoni
Ammoniakki	Kaliumsyyanidi
Asetonitriili	Metakryylihappo
Butyyliakrylaatti	Muurahaishappo
Etikkahappo	Rikkihappo
Etikkahappoanhydridi	Rikkivety
Fenoli	Trimetyyliamiini
Formaldehydi	Vetyperoksidi
Fosforihappo	Vinyyliasettaatti
Ylähengitysteihin ja keuhkoputkiin vaikuttavat aineet	
Epikloorihydriini	Klooridioksidi
Etyleenioksidi	Kloorivety
Fluorivety	Natriumhypokloriitti
Ftaalihappoanhydridi	Oleum
Hydratsiini	Rikkidioksidi
Kloori	Tolueenidi-isosyanaatti
Keuhkorakkulatasolla vaikuttavat aineet	
Typpidioksidi (väkevästä typpihaposta muodostunut)	

2.6 Kemiallisen aseiden käyttö, leviäminen ja pysyvyys

2.6.1. Kemiallisten aseiden käyttö ja levitystavat

Kemiallisia aseita voidaan levittää yleisimmillä käytössä olevilla asejärjestelmillä ja lisäksi esim. sumuttamalla. Nestettä sisältävän ammuksen ballistiset ominaisuudet ovat kuitenkin vaikeasti hallittavissa ja tehokkaan asevaikutuksen aikaansaamiseksi ammus tulee myös räjäyttää sopivalla korkeudella. Oman hankaluutensa aseiden käsittelyyn tuo lisäksi myrkyllisten aineiden vaarallisuus, mikä voi esimerkiksi aiheuttaa omia tappioita. Tätä ajatellen on kehitetty binääriase, jossa kaksi eri kemikaalia on omilla säiliöissään. Lähtöaineet eli prekursorit sekoittuvat binääriammuksen laukaisun jälkeen ja muodostavat vasta tällöin myrkyllisen taisteluaineen. Ainetta syntyy kuitenkin suhteessa vähemmän kuin ammuksessa, jossa käy-

tään puhdasta taisteluainetta. Sekä sariinille että VX-kaasulle on kehitetty omat binääriammuksensa. [8; 26, s. 478; 23, s. 102] Kuvassa (Kuva 5) on esitetty esimerkki binääriammuksesta.



Kuva 5. Lennon aikana binääriammuksessa muodostuu keskipakovoiman vaikutuksesta sariinia [23, s. 102]

Yhdysvaltojen General Accounting Office (nyk. Government Accountability Office) laatiman raportin mukaan Irak levitti Iranin ja Irakin välisessä sodassa sinappikaasua ja tabuunia tykistön ammuksilla, ilmapommeilla, ohjuksilla, raketeilla, kranaateilla sekä savuammuksilla. Venäläisillä on käytössään lyhyen kantaman ballistiset ohjukset Scud-B ja Frog-7 (Kuva 6), joihin voidaan asentaa kemiallisella taisteluaineella täytettyjä taistelukärkiä. Myös Irakilla on tällaisia taistelukärkiä omiin Scud ohjuksiinsa ja Pohjois-Koreankin uskotaan kehittäneen oman taistelukärjen. Kemiallista taisteluainetta sisältävät taistelukärjet ovat kuitenkin teknisesti haastavia rakentaa, koska taisteluaineet ovat hyvin erilaisia ominaisuuksiltaan ja edellyttävät ainekohtaisia sekoitussuhteita ja levitystapoja. Tämän vuoksi sumutussäiliöillä varustetut ohjukset olisivat erityisen toimivia kemiallisen aseiden levittämisessä. [8]



Kuva 6. Scud-B (vas.) ja Frog-7 (oik.) [39; 40]

Kemiallisten aseiden pysyvyyteen ja sitä kautta käytettävyyteen vaikuttavat niin sää- kuin maasto-olosuhteet. Esimerkiksi lämpötila ja tuulen nopeus vaikuttavat huomattavasti taisteluaineiden haihtuvuuteen. Myös taisteluaineiden myrkyllisyyden ja ominaisuuksien vaihtelevuus vaikuttaa niiden käytettävyyteen. Joitain aineita saatetaan tarvita suuria määriä, jotta päästään kuolettavaan vaikutukseen ja eräät aineet haihtuvat nopeammin kuin toiset. Kemiallisen aseiden tärkeimpiä kohteita ovat joukkojen keskitysalueet, johtamis- ja huoltokeskukset, ilma- ja laivastotukikohdat sekä infrastruktuuri. Hitaasti haihtuvia ja pitkävaikutteisia taisteluaineita eli nk. maastokaasuja (VX, sinappikaasu) voidaan käyttää sellaisissa kohteissa tai alueilla, joissa halutaan estää tai vaikeuttaa joukkojen normaalia toimintaa tai pakottaa joukot pitkäaikaiseen suojautumiseen ja vaikeaan puhdistamiseen. Nopeammin haihtuvia ja lyhytvaikutteisia yhdisteitä eli ilmakaasuja (G-tyypin hermokaasut, esim. sariini) käytetään yleensä suojautumatonta joukkoa vastaan sekä sellaisilla alueilla, joita hyökkääjä on suunnitellut käyttävän myös itse. [8; 26, s. 478; 41, s. 19]

Kemiallisia taisteluaineita voidaan levittää kaasuna, aerosolina tai nesteinä. Niiden levittämistapa valitaan käyttötarkoituksen mukaan. Aseiden kantamat vaihtelevat kilometristä satoihin kilometreihin ja niiden mahdollistamat aineiden levitysmäärät kilosta satoihin kiloihin. Esimerkiksi kranaatinheittimellä voidaan levittää 2–3 kilogrammaa taisteluainetta n. 5–10 kilometrin säteelle ja lentopommeilla sekä ohjuksilla satoja kilogrammoja jopa 600 kilometrin päähän. Lentopommien kantamaan vaikuttaa käytetyn lentokoneen käyttösäde. [23, s. 100] Taulukossa (Taulukko 11) on esitetty tyypillisten asejärjestelmien kantamat ja niiden mahdollistamat levitysmäärät.

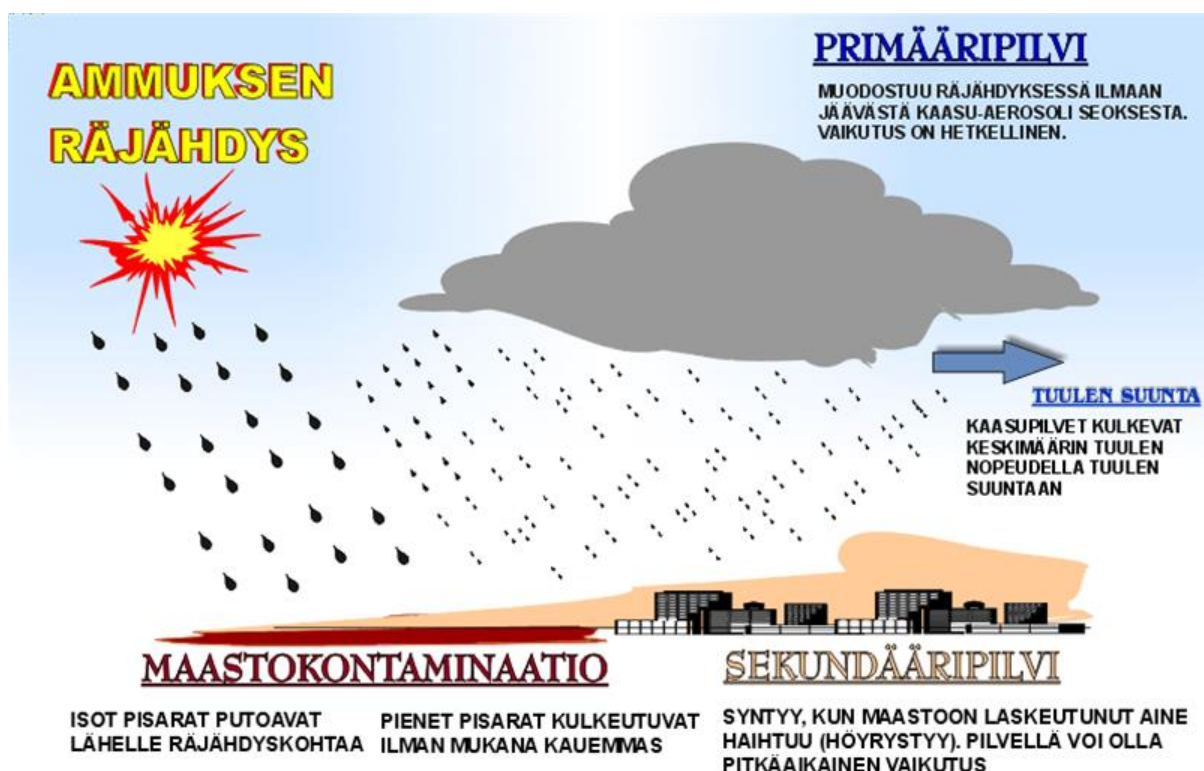
Taulukko 11. Asejärjestelmät, niiden kantamat ja ainemäärät [23, s. 100]

Asejärjestelmä: taisteluaine(et)	Kantama (km)	Taisteluainemäärä (kg)
Kranaatinheitin: sariini, somaani, VX, levisiitti	5–10	2–3
Kenttätykki: sariini, somaani, VX, levisiitti	10–40	1–7
Raketinheitin: sariini, somaani, VX	10–40	2–20/putki
Ohjus (esim Frog-7): VX	70	216
Ohjus (esim. Scud B): Viskoosi VX	300	555
Ohjus (esim. Al hussein): sariini	600	150
Lentopommi: sariini, somaani, sinappikaasu, levisiitti		50–300
Miina: VX, sinappikaasu		5
Käsikranaatti: CS		0,1–0,5

Kemiallisten taisteluaineiden käytöstä voidaan saada viitteitä tarkkailemalla ympäristöä. Niiden käytön varoitusmerkkejä voivat olla esimerkiksi ilman fyysisiä vammoja löytyneet kuolleet ihmiset tai eläimet, epätavalliset hajut ja savu- sekä kaasupilvet, matalalla lentävät helikopterit ja lentokoneet (jotka valuttavat tai sumuttavat nesteitä tai pölyä), roiskeita aiheuttavat pommit sekä normaalia heikommin räjähtävät kranaatit. Myös hengitysilman alhainen happipitoisuus sekä maastosta löytyneet levitysastiat, voivat viitata kemiallisten taisteluaineiden käyttöön. [27, s. 25; 41, s. 30]

2.6.2. Kemiallisten aseiden leviäminen ja pysyvyys

Aineen pisarakoko vaihtelee nestemäisen taisteluaineen levityksessä. Tämä ja lisäksi aineen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet sekä levitysalueella vallitsevat meteorologiset tekijät vaikuttavat taisteluaineen leviämiseen. Suurimmat eli painavimmat pisarat putoavat levitystai räjähdyspaikan lähelle, jolloin osa niistä höyrystyy ja muodostaa yhdessä pienempien pisaroiden kanssa kaasu-aerosolipilven. Pilvi kulkeutuu ja hajaantuu ilmakehän virtausten mukana (tuulen nopeutta ja tuulen suuntaan). [23, s. 102] Kuvassa (Kuva 7) on havainnollistettu taisteluaineen leviämiseen liittyviä ilmiöitä.



Kuva 7. Kemiallisen taisteluaineen käyttäytyminen maastossa [42]

Jos kemiallisia taisteluaineita levitetään hyvin korkealta (esim. lentokoneesta) ja maastoa halutaan kontaminoida mahdollisimman laajasti, niin levitetyn taisteluaineen täytyy muodostaa riittävän suuria pisaroita, jotta ne putoaisivat maahan eikä tuuli kuljettaisi niitä kauemmaksi. Haluttuun vaikutukseen pääsemiseksi nestemäiseen taisteluaineeseen voidaan lisätä sakeutusaineita, kuten polystyreeniä tai polyvinyylidikloridia. Tämä lisää aineen pysyvyyttä ja vaikeuttaa myös puhdistustoimenpiteitä. [8; 23, s. 103] Taulukossa (Taulukko 12) on esitetty eri taisteluaineiden maastokontaminaation määrää suhteessa alkuperäiseen aineeseen. Taulukosta voidaan huomata viskostetun somaaniin maastokontaminaation suhteen olevan tavalliseen somaaniin verrattuna yli kaksinkertainen.

Taulukko 12. Kemiallisten taisteluaineiden neste- ja kaasusuhteet räjähdyksessä [23, s. 103]

Aine	Häviö	Primääripilvi (Kaasu/aerosoli)	Maastokontaminaatio (Nestepisararat)
Sariini	-	80	20
Somaani	-	60	40
VX	5	25	70
Somaani (viskoosi)	5	10	85

Kuten taulukosta (Taulukko 12) voidaan todeta, on primääripilven koko huomattavasti suurempi käytettäessä nopeasti haihtuvia hermokaasuja sariinia tai somaania. Taisteluaineen ominaisuuksista haihtuvuus vaikuttaa siis merkittävästi taisteluaineen leviämisalueen laajuuteen ja sen aiheuttamien tappioiden määrään. Esimerkiksi käytettäessä nopeasti haihtuvia ilmakeasuja ovat suojautuneen henkilöstön todennäköiset tappiot pienemmät kuin käytettäessä maastokaasuja, mutta leviämisalue voi olla jopa kymmenkertainen [41, s. 55].

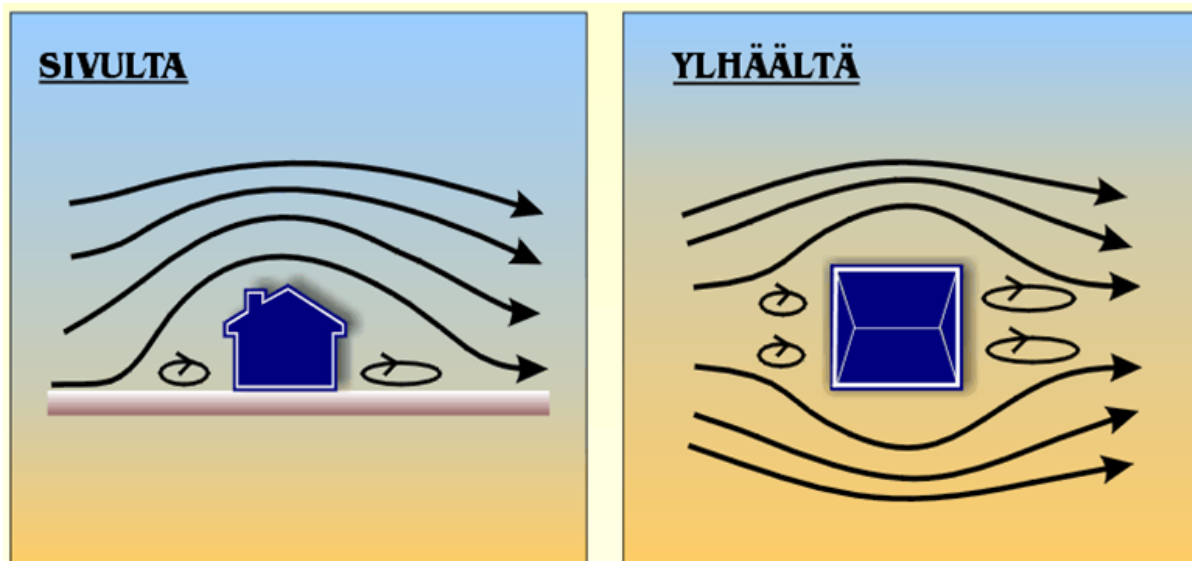
Tuuli on yksi tärkeimmistä vaikuttavista elementeistä levitettäessä taisteluainetta. Tuulta tarvitaan, jotta taisteluaine leviäisi, mutta esimerkiksi suuresti vaihteleva tuulensuunta voi laimentaa primääripilveä ja heikentää sen vaikutusta. Myös hyvin voimakas (yli 6 m/s) tai epävakaa tuuli voi laimentaa pilveä aiheuttamalla turbulenssia. Vaihtelevat tuuliolosuhteet pienentävät saastepilven leviämisalueen syvyyden saariinikaasulla kolmanteen osaan ja sinappikaasulla puoleen [41, s. 56]. Sade laimentaa myös pilveä huuhtomalla aerosolipartikkeleita ja höyryjä pois ilmakehästä. Suotuisin sää primääripilven leviämislle olisi tasainen ja heikko tuuli (alle 3 m/s), lämmin (yli +20 °C), vakaa ja sadeton keli. [8; 23, s. 106] Taulukossa (Taulukko 13) on esitetty keliolosuhteiden vaikutuksia taisteluaineiden haihtumisaikoihin.

Taulukko 13. Kemiallisten taisteluaineiden haihtumisaikoja erilaisissa sääolosuhteissa [23, s. 108]

Aine	+15°C, aurinkoista, heikko tuuli	+10°C, sadetta, tuulista	-10°C, aurinkoista, lumipeite, tyyni
Syaanivety	minuutteja	minuutteja	1–4 h
Sariini	¼-4 h	½-6 h	1–2 vrk
Tabuuni	1–4 vrk	3–12 h	1 vrk – 2 vko
Somaani	2,5–5 vrk	½-2 vrk	1–6 vko
Sinappikaasu	2–7 vrk	½-2 vrk	2–8 vko
VX	3–21 vrk	1–12 h	1–16 vko

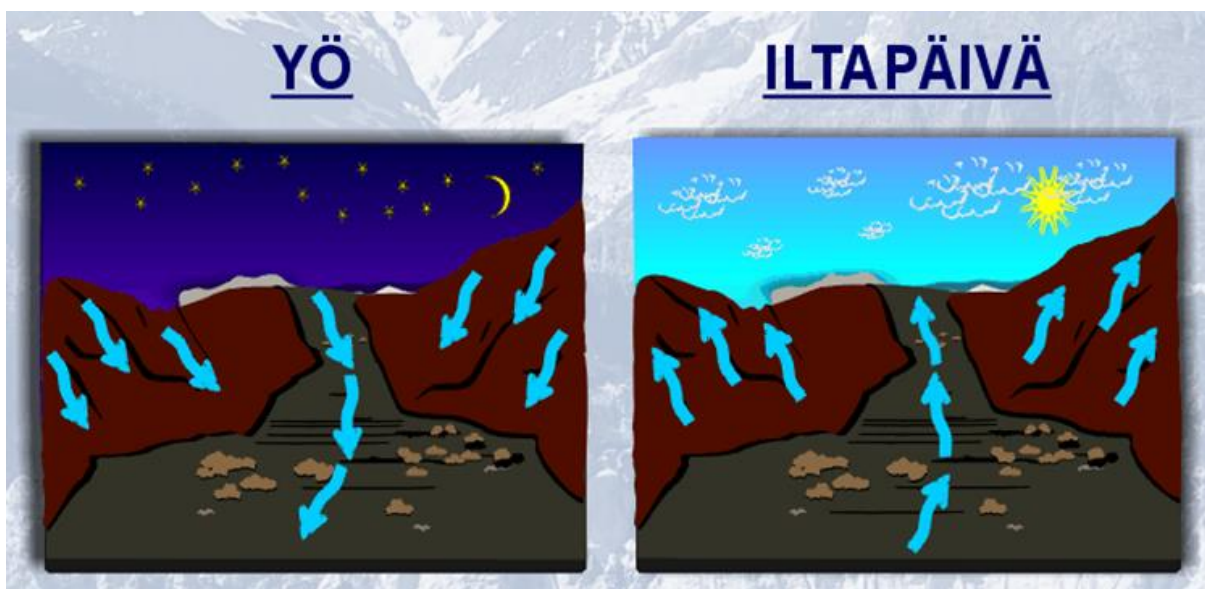
Maassa olevaan nestemäiseen taisteluaineeseen vaikuttaa sääilmiöiden lisäksi myös maalämpötila. Korkea maalämpötila nopeuttaa taisteluaineen haihtumista ja lisäksi aiheuttaa sen hajoamista. Pysyvyyteen vaikuttavat myös luonnossa esiintyvät kemialliset reaktiot, kuten hydrolyysi, fotokemialliset reaktiot, lämpöterminen hajoaminen ja muiden aineiden aiheuttamat reaktiot. Jos taisteluaine pääsee imeytymään pehmeään maahan, kuten sammaleeseen, hiekkään tai lumeen, voi sen haihtuminen pitkittyä jopa 30 %. Taisteluaineen pysyvyys maastossa

on kuitenkin rajallista ja lopulta sääilmiöt sekä aika tekevät tehtävänsä ja kontaminaatio ns. ”katoaa”, kun taisteluaineen pitoisuus putoaa vaarallisten rajojen alapuolelle. [8; 23, s. 107-108]



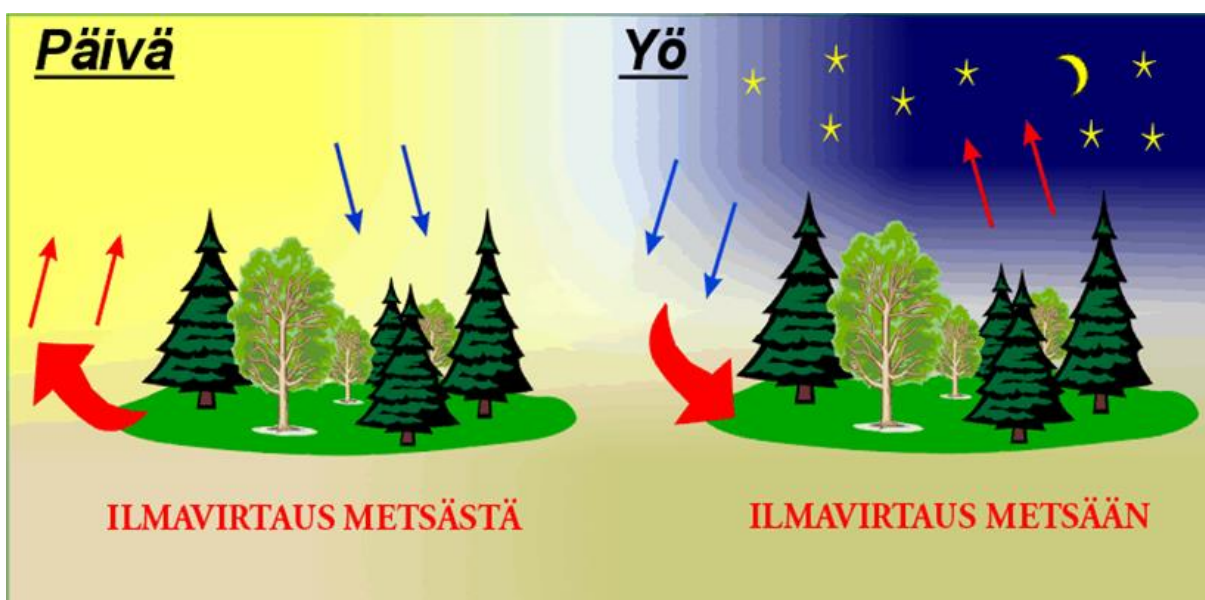
Kuva 8. Esteenvaikutus taisteluaineiden leviämiseen [42]

Metsässä taisteluaineiden pysyvyys voi, aukealle alueelle levitettyyn verrattuna, olla paljon pidempiaikainen, jopa kymmenkertainen [41, s. 56]. Maastokaasujen osalta tehokkuus säilyy maastossa keskimäärin kolme kertaa kauemmin kuin aukealla. Luonnollisten esteiden vuoksi tuuli aiheuttaa metsässä turbulenssia ja taisteluaine leviää epätasaisesti. Ilmanpyörteitä muodostuu esteiden eteen ja taakse (suhteessa ilmansuuntaan) ja taisteluainetta saattaa esiintyä suurempina pitoisuuksina näissä kohdissa (Kuva 8). Myös painanteissa ja laaksoissa taisteluaineiden pitoisuudet saattavat säilyä korkeina hyvinkin pitkiä aikoja. Etenkin yöllä levitetty taisteluaine ”valuu” ojiin ja kaivantoihin. Toisaalta kasvillisuus voi myös absorboida taisteluaineita ja näin pitkittää haihtumisaikoja. Toisaalta lehvästön vuoksi taisteluaine ei välttämättä pääse saastuttamaan maaperää niin paljon kuin aukealla. [23, s. 107] Kuvassa (Kuva 9) on esitetty päivänajan vaikutus taisteluaineiden leviämiseen laaksoissa ja solissa.



Kuva 9. Vuorokauden ajan vaikutus taisteluaineiden leviämiseen [42]

Myös aurinko vaikuttaa taisteluaineiden haihtumiseen ja leviämiseen. Aurinko lämmittää nopeammin aukeat alueet, joista ilmavirtaukset nousevat ylöspäin ja imevät ilmaa peitteisimmiltä alueilta, kuten metsästä. Yöllä vuorostaan päivällä lämmennyt metsä aiheuttaa ilmavirtauksia ylöspäin, jolloin leviämisuunta on päinvastainen kuin päivällä. Kuvassa (Kuva 10) on esitetty vuorokauden ajan vaikutus taisteluaineiden leviämiseen metsässä.



Kuva 10. Metsän vaikutus taisteluaineiden leviämiseen yöllä ja päivällä [42]

Arvioitaessa kemiallisen taisteluaineen leviämistä ja sitä ajan hetkeä jolloin saastepilvi saavuttaa joukon kannalta kriittisen tasan, jolloin suojautuminen on ehdotonta tappioiden välttämiseksi, tulee tiedustelulta saada varmentavat tiedot. Tiedustelun avulla selvitetään käytettyjen kemiallisten aseiden laatu ja määrä, saastuneen alueen laajuus ja myrkyllisten aineiden

tyypit. Lisäksi tieto aineiden käyttöajankohdasta, tuulen nopeudesta maanpinnan läheisissä ilmakerroksissa sekä ilman ja maaperän lämpötilasta tarvitaan leviämisen suunnittelun laatimiseen. Perussääntönä vaara-alueen säteelle voidaan pitää 10 km:ä, jos taisteluaine on levitetty tyynellä kelillä tai sen tyyppi on varmistettu maastokaasuksi. Jos levitysmenetelmää tai säätäyksiä ei tiedetä, niin vaara-alueen säteenä käytetään 50 km:ä. [41, s. 53; 23, s. 108-109]

2.7 Biologiset aseet

Biologisella aseella tarkoitetaan elävien pieneliöiden, mikrobien tai niiden osien käyttöä ase-tarkoituksessa ja niiden levittämiseen käytettäviä aseita. Biologisten aseiden käytön päämääränä on sairastuttaa tai aiheuttaa kuolema vastustajan henkilöstössä tai eläimissä. Tavallisimmin tartunta voi tapahtua hengityksen tai ruuansulatuselimistön kautta. Selkeimpänä erona kemiallisiin taisteluaineisiin on se, että biologisten aseiden taudinaiheuttajat eivät yleensä pysty aiheuttamaan vahinkoa ihon kautta ja lisäksi sairastuneet voivat levittää tauteja edelleen. [23, s. 75]

Bioaseiden tunnistamiseen voidaan käyttää lasertekniikkaa (Lidar ks. luku 3.1), mutta luonnossa normaalisti esiintyvien biohiukkasten ja bioaseiden erottaminen toisistaan on hankalaa. Käytännössä vielä ei ole olemassa tehokasta järjestelmää bioaseiden tunnistamiseen, ainoastaan joitain tietyille aineille hyvin spesifisiä kenttätestereitä. Ainut keino on varautua kehittämällä rokotteita ja lääkkeitä bioagensseja vastaan. Fysikaalinen suojautuminen ja ennaltaehkäisy on kuitenkin aina tehokkaampaa. Ongelmalliseksi tekee taudin mahdollinen pitkä oireeton jakso, jolloin se saattaa päästä leviämään salakavalasti. Viruksia infektoivia bakteereja (bakteriofagi) ollaan myös kehittämässä apuvälineiksi esim. pernaruttoa vastaan. [26, s. 495-499]

2.8 Yhteenveto

Vaikka kemialliset aseet ovat kiellettyjä ja useat maat ovat allekirjoittaneet niiden kielto-sopimuksen, on maailmassa silti vielä jäljellä paljon kemiallisia aseita ajalta, jolloin ne eivät vielä olleet kiellettyjä. Sen lisäksi jotkin maat saattavat peitellysti kehittää uusia ja tehokkaampia taisteluaineita ”puolustuksellisessa mielessä”. Koska valmiita aineita ja niiden lisäksi tietotaitoa on saatavilla, niin aina on mahdollisuus sille, että jokin pahantahtoinen taho käyttää niitä omia päämääriään täyttääkseen.

CBRN-aseiden käytön uhka tulee siis säilymään myös tulevaisuudessa ja uusien aseiden kehittäminen on mahdollista, mikä on otettava huomioon taistelujärjestelmiä suunniteltaessa. CBRN-aseiden vastakeinoja kuten ilmaisimia ja suojausta on myös kehitettävä. Suurimman uhan tulevaisuudessa aiheuttavat bioaseet, joille ei vielä ole olemassa toimivaa ilmaisinta eikä välttämättä lääkinnällistä suojaa. Fysikaaliselle suojalle on siis asetettava korkeat vaatimukset.

Kemiallisten taisteluaineiden ominaisuudet ja myrkyllisyys vaihtelevat suuresti eri aineiden välillä. Joitain aineita saatetaan tarvita suuriakin määriä ja joitakin taas riittää ns. ”hyppysellinen” kuolettavan vaikutuksen aikaansaamiseksi. Yhteistä aineilla on kuitenkin se, että ne on kehitetty tappamaan tai vähintään heikentämään altistuneiden toimintakykyä. Aineiden haihtuvuus on toinen merkittävä ominaisuus. Toiset aineet haihtuvat nopeammin kuin toiset ja eräät jopa niin nopeasti, että niitä voidaan käyttää vain seoksina hitaammin haihtuvien kanssa. Hitaammin haihtuvilla aineilla taas voidaan vaikuttaa toisin, kuten saastuttaa maastoa ja aiheuttaa pidempiaikaista haittaa.

Altistuksen poisto eli välitön puhdistaminen (dekontaminaatio) on tulevaisuudessakin paras hoitokeino taisteluaineita vastaan, mutta myös muita hoitokeinoja kuten lääkinnällisiä menetelmiä tullaan kehittämään. Joitain taisteluaineita, kuten hermokaasuja vastaan on kehitetty myös ennaltaehkäisevä lääkitys, joka parantaa eloonjäämisennustetta esimerkiksi somaanimyrkytyksessä. Osaan taisteluaineista on kehitetty myös vasta-aineita, joita voidaan antaa niiden aiheuttamiin myrkytystiloihin. Tärkein hoitokeino on kuitenkin altistuksen lopettaminen siirtämällä potilas puhtaalle alueella ja välitön dekontaminaatio. Yleisesti hengitysoireisiin voidaan antaa lisähappea sekä ventiloita ja hermokaasumyrkytykseen antidoottia eli vastalääkettä.

Useimmat kemikaali- ja kemiallisen aseiden aiheuttamat myrkytykset ovat siis hoidettavissa, jos ne diagnosoidaan riittävän varhain. Suuntaa antava tunnistus saadaan pikailmaisimilla, mutta mahdollinen eri aineiden sekoitusten tai epäpuhtaiden aineiden käyttö ja sitä kautta sekamyrkytyksen tunnistaminen vaatii asiantuntemusta ja kokemusta, mitä ei välttämättä voida hankkia pelkällä koulutuksella. Lisäksi psyykkisten reaktioiden aiheuttamat reaktiiviset oireet voivat muistuttaa todellisen altistumisen aiheuttamia oireita. Myös esimerkiksi suojapukua käytettäessä mahdollisesti syntyneen lämpöhalvauksen oireet voidaan sekoittaa kemiallisen aseiden oireisiin. Tämä asettaa osaltaan myös vaatimuksia tulevaisuuden ilmaisimelle. Ilmaisimen on kyettävä ilmaisun lisäksi myös tunnistamaan CBRN-aseita, minkä lisäksi sen toimivuus- ja luotettavuusaste tulee olla korkea.

Taisteluaineita voidaan levittää useilla eri asejärjestelmillä, mutta nestemäisen kemikaalin hallittu levitys perinteisillä aseilla on hankalaa. Ongelmia aiheuttaa mm. räjähdyksessä syntyvä kuumuus, joka haihduttaa taisteluaineita. Tämän lisäksi haasteita kemiallisten aseiden käsittelylle tuo niiden myrkyllisyys, mikä voi aiheuttaa pahimmassa tapauksessa omia tappioita. Ongelman tähän ratkaisuun tuo binääriset aseet, joissa kaksi ainetta muodostaa myrkyn vasta laukaisun jälkeen. Binääriset aseet muodostavat myös samalla uuden uhan, koska niiden salainen ja peitelty kehittäminen sekä valmistaminen on helpompaa kuin varsinaisten taisteluaineiden.

Kemiallisten taisteluaineiden pysyvyyteen maastossa vaikuttavat taisteluaineen tyypin ja ominaisuuksien lisäksi hyvin paljon myös sääolosuhteet. Viholliselle edullisinta taisteluaineen leviämisen ja vaikutuksen kannalta, olisi levittää taisteluainetta metsään maastoutuneen joukon päälle yöaikaan, jolloin kaasupilvi pääsisi painautumaan poteroihin ja korsuihin. Vaikutustehon kannalta parhaat sääolosuhteet taisteluaineiden levittämiseksi olisi tyyni ja sadeton, mutta pilvinen keli. Näin taisteluaine pääsisi haihtumaan hitaasti, saastepilvi pysyisi paremmin kasassa ja sen sisältämän myrkyn pitoisuus pysyisi korkeana.

Taisteluaineiden leviäminen on loppujen lopuksi hyvin vaikeasti ennustettavissa oleva asia, koska siihen vaikuttavat niin monet tekijät. Suuntaa antavia tekijöitä on tieto aineesta, sen levitystavasta ja sääilmiöistä. Tämän vuoksi leviämisenusteita tehdessä tiedustelutiedoista on käytävä ilmi käytetyn aineen lisäksi mm. tuulen suunta ja nopeus. Näillä tiedoilla voidaan tehdä arvioita taisteluaineiden leviämisen suunnasta ja laajuudesta, jotta joukkoja voidaan varoittaa riittävän ajoissa.

3 TAISTELUAINEIDEN TUNNISTUS JA VASTATOIMET

Tässä luvussa käydään läpi Puolustusvoimien käytössä olevia taisteluaineiden tunnistusvälineitä ja tekniikkaa sekä teoriaa niiden taustalla. Menetelmistä ja teoriassa keskitytään yleisimmin käytössä oleviin tekniikoihin ja välineisiin. Tarkastelujen painopiste luodaan ioniliikkuvuuspektrometriaan ja infrapunaspektrometriaan. Lisäksi tarkastellaan olemassa olevia tiedustelujärjestelmiä, vastatoimia eli suojavälineitä ja taisteluaineiden puhdistamista. Lopuksi arvioidaan taisteluaineiden ilmaisuvälineiden käytössä ilmeneviä ongelmia ja pohditaan sitä kautta näiden välineiden luotettavuutta.

3.1 Ilmaisun hälyttäminen ja tunnistaminen

Ilmaisun tavoitteena on selvittää mahdollisimman nopeasti mitä, miten, missä ja milloin taisteluainetta on käytetty, jotta vaara-alueella olevat joukot ehtivät suojautua riittävän ajoissa. Näiden tietojen perusteella voidaan määrittää saastealueen laajuus ja sen vaarallisuusaste. Leviämisen suunnitteluun tarvitaan myös säätiedot. Laitteiden ilmaisukynnyksen tulee olla esimerkiksi hermokaasuja ilmaistaessa vähintään $0,01-0,05 \text{ mg/m}^3$, jotta aineet eivät ehdi aiheuttaa vammoja ihmisille. Virheilmaisujen, joita aiheuttavat esimerkiksi palo- ja räjähdyskaasut, määrä tulisi puolestaan olla mahdollisimman pieni. [23, s. 94]

Puolustusvoimien käytössä olevia ilmaisuvälineitä ovat mm. Drägerin kaasunilmaisuputket, kaasunilmaisupaperi, kaasunilmaisuliuskat ja automaattiset kaasunilmaisimet, kuten suomalaisen Environicsin valmistamat AKS (Automaattinen kaasunilmaisin) M90 ja uudempi Chempro. Lisäksi myrkyllisten teollisuuskemikaalien ilmaisuun on käytössä X-AM 7000 monikaasuilmaisin ja näytteiden analysointiin Hazmat ID analysointilaite. Varmatoimisimpia näistä ovat nk. manuaaliset ilmaisuvälineet kuten kaasunilmaisupaperi ja -putket. Automaattisissa ilmaisimissa ilmenee herkemmin virheilmaisuja, jolloin laite voi ilmaista esim. pakokaasun hermokaasuna (false positive) tai laite ei jostain syystä ilmaisekaan ainetta (false negative). False negative -ilmaisut (ei ilmaisua) ovat ymmärrettävästi pahimpia, jolloin käyttäjän henki on vaarassa mahdollisen suojautumattomuuden takia.

Manuaalisten ilmaisimien toimintaperiaate on melko yksinkertainen. Kaasunilmaisupaperilla eli nk. kolmiväripaperilla voidaan ilmaista hermo- ja sinappikaasupisaroihin. Ilmaisun tapahtuu siten, että nestemäinen taisteluaine liukenee huokoiseen suodatinpaperiin ja reagoi siihen imeytetyn homogeenisen seoksen kanssa muodostaen yhden kolmesta väriaineesta. Punainen

väri ilmaisee sinappikaasua, keltainen G-tyypin hermokaasua ja vihreä V-tyypin hermokaasua. Kaasunilmaisuputkien ilmaisu vuorostaan perustuu kaasumuodossa olevien taisteluaineiden aiheuttamista reaktioista putken sisällä oleviin reagensseihin. Reaktion tuloksena muodostuu jokin selkeästi eroteltava väriaine. Putkia on olemassa niin taisteluaineiden kuin myös myrkyllisten teollisuuskemikaalien ilmaisuun. Kaasunilmaisuliuskoiden toimintaperiaate on vastaavanlainen kuin kaasunilmaisuputkilla. Niissä nesteampulli on laminoitu jäykälle pahville tai muoville, johon on liimattu värireagenssilla imeytetty suodatinpaperi. Liuskoja on sekä hermokaasuille että syaanivedylle. [23, s. 95-96]

Automaattisten kaasunilmaisimien toiminta perustuu elektronisiin komponentteihin ja sensoreihin. Keskeiset osat ovat detektori (sensori), mikroprosessoriohjattu elektroniikka, pumppu ja näyttöyksikkö. Yleisimmissä nykyaikaisissa ilmaisimissa pumppu imee näyteilmaa sensorin kaasuantureiden läpi, mikroprosessori käsittelee sensorivasteen ja lähettää tiedon näytölle. Sensorin tunnistustekniikka voi perustua ioniliikkuvuusspektrometriaan, liekkifotometriin tai entsyymikemiallisiin menetelmiin, puolijohdesensoreihin, optoakustisiin menetelmiin tai näiden yhdistelmiin. [23, s. 97]

Pääosa markkinoilla olevista kemiallisten taisteluaineiden automaattisista ilmaisimista perustuu IMS-tekniikkaan (Ion Mobility Spectrometry, ioniliikkuvuusspektrometria), missä mitataan aineen ionisoitujen molekyylien liikkuvuutta heikossa sähkökentässä. Tällä tekniikalla voidaan havaita niin perinteisiä taisteluaineita kuin toksisia kemikaaleja sekä räjähdys- ja psykoaineita. Uusin kaupallinen sovellutus IMS-tekniikasta on DMS (Differential Mobility Spectroscopy), missä käytetään voimakasta sähkökenttää alennetussa paineessa, jolloin saadaan aikaan parempi erottelukyky ja huomattavasti pienempi laitekoko. Siinä ionit altistetaan erilaisille sähkökentän voimakkuuksille eri ajan pituuksilla, jolloin vain tietyn liikkuvuuden omaavat ionit säilyvät [43]. C-sensoreista on olemassa jo useita sovellutuksia niiden liittämistä mm. lennokkeihin ja miehittämättömiin ajoneuvoihin. [26, s. 479-480]

Liekkifotometrisissä menetelmissä hermokaasut tunnistetaan fosforia ja sinappikaasut rikkiä sisältävien yhdisteiden fotometrisellä tunnistamisella. Entsyymipohjaisissa menetelmissä (kaasunilmaisuputket ja -liuskat) hermokaasujen tunnistus perustuu niiden kykyyn inhiboida asetyylikoliiniesteraasientsyymiä. Puolijohdesensoreiden toiminta taas perustuu siihen, että kaasun kiinnittyminen puolijohteen pinnalle muuttaa sen sähköistä vastusta. Optoakustisissa menetelmissä kaasumolekyylien säteilyttäminen nostaa niiden lämpötilaa ja aiheuttaa paineiskun, joka rekisteröidään herkällä mikrofonilla. [23, s. 98]

IMS-tekniikkaan perustuvien välineiden selektiivisyyttä ja herkkyyttä on parannettu edelleen liittämällä niihin esikonsentraattori ja multikapillaarikolonne. Ilmaisimiin voi olla myös liitetty muita sensoreita kuten elektrokemiallisia tai puolijohdemetallioksidisensoreita laajentamaan ilmaistavien yhdisteiden valikoimaa. SAW-ilmaisimessa (Surface Acoustic Wave), tunnistus perustuu pietsosähköisen kiteen värähdystaajuuden muutoksen mittaamiseen. Liittämällä SAW- ja IMS-teknologiat yhteen ilmaisimeen on saatu merkittävä virheilmaisuiden määrän pieneneminen. [26, s. 480]

Myös perinteisistä massa-, infrapuna- ja Raman-spektrometriaan perustuvista laboratoriolaitteista on kehitetty kenttäkäyttöisiä kannettavia versioita. Näillä tekniikoilla yhdisteet voidaan yleensä identifioida tai ainakin saada tietoa niiden rakenteesta. Massaspektrometriassa ilmaisu perustuu yhdisteiden pilkkoutumiseen ionisaatiossa, infrapunaspektrometriassa molekyylien kykyyn absorboida sähkömagneettisen säteilyn eri aallonpituuksia ja Raman-spektrometriassa aineeseen kohdistetun säteilyn siroamisesta. [26, s. 481]

Kemiallisten taisteluaineiden ilmaisuun on lisäksi käytetty liekki-ionisaatioon ja fotoionisaatioon perustuvia ilmaisimia. Ensimmäisessä tekniikassa ongelmana on laitteessa käytetyn vedyn räjähdysherkkyys ja jälkimmäisessä testeissä huonoksi osoittautunut ilmaisuherkkyys. Kaasunilmaisuputkien värinmuutokseen perustuvaa teknologiaa ollaan kehittämässä toimimaan ilman märkäkemiaa, jolloin värin muutos saataisiin aikaan myös aineista, jotka eivät ole nestemäisessä olotilassa. Tässä tekniikassa ilmaisimen reagenssi reagoi hermokaasun kanssa aiheuttaen eri aallonpituudella fluoresoivan rengasrakenteen muodostumisen. Myös immunokemiallista sensoritekniikkaa on kokeiltu, mutta siinä on ongelmana tunnistamiseen käytetyn biologisperäisen komponentin heikko säilyvyys. Uutena teknologiana on myös tutkittu polymeerinanolankojen soveltuvuutta hermokaasujen ilmaisuun. [26, s. 481-482]

Kemiallisten taisteluaineiden etämääritykseen käytetään IR-alueella (Infrared, infrapuna) toimivia lasereita. Aktiivisessa Lidar-mittauksessa (Light Detection and Ranging) käytetään taajuuspyyhkäisevää hiilidioksidilaseria, jonka takaisinsironnutta energiaa detektoidaan. Laite rekisteröi ajan, joka kuluu heijastuneen pulssin palaamiseen [44]. Passiivisessa IR-tekniikassa mitataan taustasta erottuvaa IR-säteilyä. Tällä tekniikalla kyetään ilmaisemaan hermo- ja si-nappikaasupilvet viiden kilometrin päästä. Nanoteknologian kehityksen mukanaan tuoma miniatyrisointi, eli laitteiden ja komponenttien rakentaminen pienemmässä koossa (ja sitä kautta laitteiden keventyminen), mahdollistaa näidenkin laitteistojen liittämisen lennokkeihin. Tulevaisuudessa Lidarissa on pyrkimyksenä yhdistää biologisten ja kemiallisten agenssien kaukomonitorointi. [26, s. 482; 23, s. 98]

3.2 Sähkömagneettinen spektri

Sähkömagneettinen spektri (SMG-spektri) on hyvin läsnä kaikkialla taistelukentällä, kuten myös kemiallisten taisteluaineiden tunnistuksessa. Tämän vuoksi on hyvä avata hieman syvällisemmin sitä ennen taisteluaineiden tunnistustekniikoihin syventymistä. Kun puhutaan SMG-spektristä, niin puhutaan sähkömagneettisesta säteilystä. Sähkömagneettinen spektri sisältää kaikki sähkömagneettisen säteilyn aallonpituusalueet. Se jaotellaan osiin suurimmasta pienimpään: radioaallot, mikroaalto, infrapunasäteily, valo, ultraviolettisäteily, röntgensäteily ja gammasäteily. [45; 46, s. 224]

Sähkömagneettinen säteily on sähkömagneettisen energian etenemistä aaltomaisina värähtelyinä (valona). Se voi olla vuorovaikutuksessa atomin ydintä tai elektroneja ympäröivän sähkömagneettisen kentän tai ydinvoimien aiheuttaman kentän kanssa absorption, elastisen tai epäelastisen sironnan kautta [47, s. 44]. Säteilyn ja materian vuorovaikutus riippuu säteilyn aallonpituudesta (l. taajuudesta), minkä vuoksi spektrin eri osat eroavat huomattavasti. Mitä suurempi on taajuus, niin sitä suurempi on myös sen energia ja vuorovaikutus materian kanssa. Pienitaajuista säteilyä kutsutaan radiotaajuiseksi säteilyksi tai radioaalloiksi. Suuritaajuista säteilyä vuorostaan kutsutaan optiseksi säteilyksi. Suuritaajuista säteilyä ovat esimerkiksi infrapunasäteily, valo ja ultraviolettisäteily. [48, s. 41; 46, s. 222]

Sähkömagneettisen säteilyn sähkökentän huippujen välistä etäisyyttä toisistaan kutsutaan aallonpituudeksi. Etäisyyden kasvaessa eli aallonpituuden kasvaessa säteilyn energia pienenee. Sähkömagneettisesta säteilystä voidaan puhua eri nimillä sen syntymekanismien ja aallonpituusalueen mukaan. Käyttötarkoituksen mukaan voidaan puhua esimerkiksi radio- ja tutkaaalloista sekä -säteilystä. Aallonpituusalueen mukaan voidaan vuorostaan puhua esimerkiksi mikro- ja millimetriaalloista, lämpösäteilystä ja niin edelleen. Kaikissa näissä energian muoto ja etenemismekanismi on sama, sähkömagneettinen säteily. Sähkömagneettista säteilyä esiintyy luonnossa kaikkialla ja koko spektrialueella. [48, s. 42]

Sähkömagneettista säteilyä, jota voidaan kutsua myös hiukkasvirraksi, kuvaa myös atomin uloimpien elektronikuorten välisissä transitoissa syntyvät fotonit. Fotonit edustavat pienintä energian siirtymistä aineeseen tai sähkökenttään. Fotonien energian muutosta (E) kuvaavat seuraavat yhtälöt:

$$E = hf;$$

$$E = \frac{hc}{\lambda},$$

joissa E on kvantin eli fotonin energia, h Planckin vakio ($6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$), f säteilyn taajuus eli taajuus ja c sähkömagneettisen säteilyn etenemisnopeus tyhjiössä (valonnopeus). Atomytimen energiatilan muutoksista aiheutuvaa sähkömagneettista säteilyä kutsutaan gammasäteilyksi. Myös ydintransitioissa tapahtuvaa kvantin energian muutosta voidaan kuvata yllä olevilla yhtälöillä. Säteilyn aallonpituuden (λ) ja taajuuden välillä vallitsee seuraava riippuvuus:

$$\lambda = \frac{c}{f}.$$

Eli toisin sanoen aallonpituus on kääntäen verrannollinen taajuuteen. [49, s. 181-182; 46, s. 223; 47, s. 14-19]

Vaikka lähi-UV ja näkyvä aallonpituusalue (200 – 800 nm) muodostavat hyvin kapean kaistaleen koko sähkömagneettisesta spektristä, ovat ne siitä huolimatta hyvin tärkeitä kemiallisesti. Tämä johtuu ulkoelektronien (valenssielektronit) merkityksestä yhdisteiden ja atomien kemiallisiin ominaisuuksiin, kuten kemiallisten sidosten muodostamiseen. Ionisidoksen muodostuksessa toinen atomi luovuttaa valenssielektroninsa toisella, kun taas kovalenttisen sidoksen muodostuessa osa valenssielektroneista siirtyy atomien yhteisiksi. [49, s. 181; 50; 46, s. 247] Taulukossa (Taulukko 14) esitetään miten SMG-spektrin eri säteilylajit syntyvät.

Taulukko 14. Sähkömagneettinen säteily ja spektrometrian laji [51; 52; 53]

Säteilylaji	Säteilyn alkuperä	Aallonpituus, λ	Spektrometrian laji
Gammasäteily	Atomin ydinprosessit	< 0,1 nm	Gammasädespektrometria
Röntgensäteily	Sisäkuorella olevien elektronien siirtymiset	0,01–2,0 nm	Röntgenfluoresenssispektrometria
UV-säteily	Ulkokuorella olevien elektronien siirtymiset	2,0–200 nm	Vakuumiultravioletispektrometria
UV-VIS -säteily	Atomin ulkokuorella olevien elektronien siirtymiset	200–800 nm	UV-VIS -spektrometria
IR-säteily	Molekyyliden värähdykset ja pyörimiset	0,8–300 μm	IR- ja ramanspektrometria
Mikroaallot	Molekyyliden pyörimiset	1 mm – 30 cm	Mikroaaltospektrometria
Radioaallot	Värähtelypiiri	0,6–10 m	Ydinmagneettinen resonanssispektrometria, NMR

Luvuissa 3.3 ”Optinen säteily” ja 3.4 ”Ionisoiva säteily” on avattu tarkemmin taisteluaineiden tunnistamisessa käytetyt sähkömagneettisen säteilyn lajit.

3.3 Optinen säteily

Yleisen jaon mukaisesti infrapuna-alue kattaa aallonpituudet aina millimetrin aallonpituudesta näkyvän valon aallonpituudelle asti. Varsinainen infrapuna-alue jaetaan kolmeen osaan aallonpituuden mukaisesti:

1. IR-A 780-1400 nm
2. IR-B 1,4–3,0 mm
3. IR-C 3 mm – 1 mm [48, s. 83-84]

Kun puhutaan valosta, niin tarkoitetaan ihmisen silmälle näkyvää säteilyä 400–780 nm alueella. Eräät eläimet kykenevät näkemään ihmissilmää laajemmalla spektrillä. Esimerkiksi mehiläinen näkee ultraviolettivaloa. Fotonin energia vaihtelee näkyvän valon aallonpituusalueella 1,6–3,2 eV:n välillä. [48, s. 85]

3.4 Ionisoiva säteily

Ionisoiva säteily on suurienergistä säteilyä, joka kykenee muuttamaan molekyylien sähkövarauksia. Ionisoiva säteily potkii elektronin atomin ulkokuorelta, jolloin tapahtuu nk. ionisointuminen. Tällöin myös atomien kemiallinen reaktiivisuus muuttuu ja niistä koostuvat yhdisteet voivat hajota. Ionisoiva säteily on niin korkeataajuista, että sen fotonin energia riittää elektronin poistamiseen atomikuoreltaan. Tämän vuoksi se voi aiheuttaa monia erilaisia fyysisiä sekä kemiallisia ilmiöitä. [54] Ionisoivaa säteilyä käytetään molekyylien ionisoimiseen esimerkiksi ioniliikkuvuuteen perustuvissa taisteluaineiden ilmaisimissa.

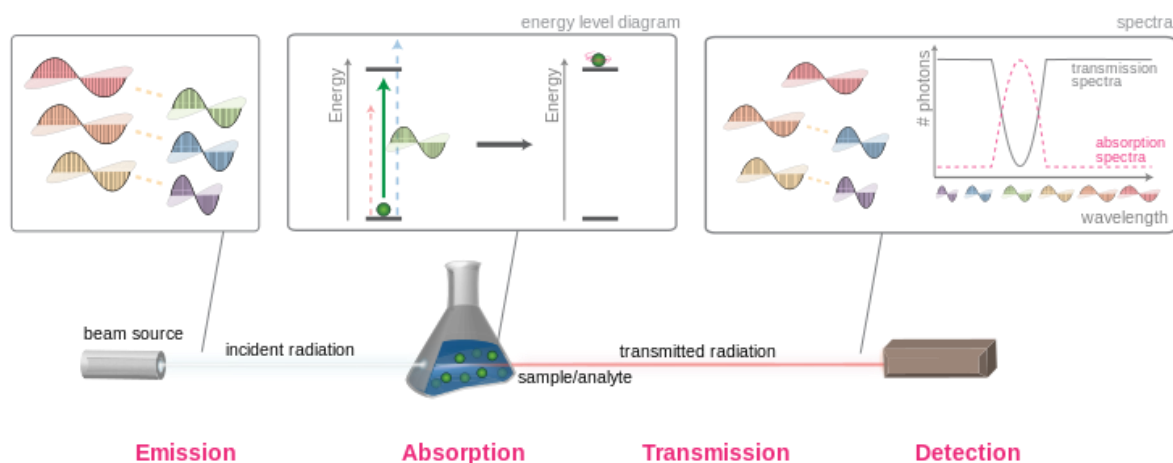
Radioaktiiviset lähteet sopivat ioniliikkuvuusspektrometriaa käyttäviin taisteluaineiden ilmaisimiin niiden vakaan ja luotettavan toiminnan ansiosta sekä myös sen vuoksi, että niissä ei ole liikkuvia osia eivätkä ne tarvitse erillistä virtalähdettä tai huoltoa. Yleisimmin ionisaatiolähteenä käytetään ^{63}Ni lähdettä, jota käytetään myös elektroninsieppausdetektoreissa (ECD) ja kaasukromatografeissa (GC). Chemprossa (ks. s. 55) ionisoimiseen käytetään ^{241}Am lähdettä, joka säteilee alfasäteilyä. ^{241}Am säteilemät alfa-partikkelit ovat hyvin korkeaa energiaa (yli 5,4 MeV) ja niillä on suppea vaikutusalue, minkä vuoksi ionisaatio on tehokasta myös pienillä lähteillä. [55, s. 71-72]

3.5 Spektroskopia

Spektroskopia on menetelmä, jolla voidaan havaita tutkittavasta kohteesta vastaanotettua sähkömagneettista säteilyä (esim. valoa) ja tutkia sitä hajottamalla se prisman tai hilan avulla spektriksi. Parempaan lopputulokseen päästään hilaa käyttämällä. Spektroskopiassa tutkittava kohde usein säteilee, absorboi, siroaa tai heijastaa saamaansa säteilyä (kiinteät näytteet). Nämä aallonpituudesta riippuvat säteilyn intensiteetin muutokset (jotka aiheutuvat energian muutoksista) näkyvät spektrissä. Tuotetusta spektristä pystytään päättelemään hyvin paljon tutkittavan aineen ominaisuuksista, kuten sen alkuainekoostumus. Spektroskopian suuri erottelukyky perustuu siihen, että materiaalin rakenteessa tapahtuvat resonanssi-ilmiöt (mitä absorptio ja emissio kuvaavat) voivat olla taajuuden suhteen hyvin selektiivisiä ja eri aineille luonteenomaisia. [56; 57; 58]

Absorboituneen tai emittoituneen (säteilevä) säteilyenergia vastaa systeemin kahden energiatilan välistä erotusta, joka vaihtelee suuresti sähkömagneettisen spektrin eri alueilla. Energia absorboituu ja emittoituu aineeseen tai aineesta energiakvantteina eli fotoneina. Nämä energiatilojen muutokset näkyvät spektrissä. Vibraatio- ja rotaatiotilat ovat yhteydessä toisiinsa, eli kun rotaatiotilat muuttuvat, niin se näkyy vibraatiotilojen hienorakenteessa ja päinvastoin. Puhtaat rotaatiospektrit ja molekyylipektriin hienorakenne saadaan parhaiten esille kaasumaisessa tilassa. Tällöin molekyylien keskinäinen vuorovaikutus on vähäistä. [49, s. 181-182]

Jos aine absorboi näkyvällä aallonpituusalueella ja sitä valaistaan valkoisella valolla (valo, joka sisältää kaikkia näkyvän alueen aallonpituuksia), määräävät absorboitumatta jääneet aallonpituudet aineen havaitun värin (komplementtiväri). Valon fotonit absorboituvat näytteeseen ja saattavat molekyyliä viritystiloihin, jolloin muut läpipäässeet fotonit määrittävät näkyvän värin. Esimerkiksi jos aine absorboi sinistä väriä, niin se näyttää keltaiselta. [49, s. 184-185] Kuvassa (Kuva 11) on esitetty yleiskuvaus absorptiosta ja sen käytöstä aineen tutkimisessä.



Kuva 11. Sähkömagneettisen säteilyn absorptioon hyödyntäminen aineiden tunnistamisessa [59]

Spektroskopiassa on havaittu, että sähkömagneettisen säteilyn absorboituminen riippuu absorboivan aineen määrästä eksponentiaalisesti. Tätä kutsutaan Beerin ja Lambertin laiksi (al-la). Sen mukaan aineen läpi pääsevän valon voimakkuus pienenee eksponentiaalisesti absorboivan aineen määrän kasvaessa. Toisin sanoen samankokoisissa kerroksissa valoa absorboituu prosentuaalisesti yhtä suuri osuus. Lakia käytetään kun halutaan selvittää absorboivien aineiden pitoisuuksia. Se soveltuu vain laimeille liuoksille ja pätee vain monokromaattiselle (yhdestä taajuudesta koostuvalle) säteilylle. [60]

Beerin ja Lambertin laki:

$$A = \epsilon bc,$$

jossa A on absorbanssi, ϵ on molaarinen absorptiokerroin (riippuu mm. absorboivasta aineesta, säteilyn aallonpituudesta ja lämpötilasta), b on näytteen paksuus ja c absorboivan aineen konsentraatio. Laki voidaan esittää myös muodossa:

$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-\epsilon bc}$$

jossa T on transmittanssi (näytteestä läpi päässeän säteilyn intensiteetti jaettuna alkuperäisellä intensiteetillä). Absorbanssi on suoraan verrannollinen absorboivan aineen konsentraatioon. [49, s. 185-186; 60]

Kemiallisten taisteluaineiden tunnistamiseen voidaan käyttää monia spektrometrisia tekniikoita kuten: ioniliikkuvuuspektrometriaa (IMS, Ion Mobility Spectrometry), infrapunaspektrometriaa (IR, Infra-Red Spectrometry) ja liekkifotometriaa. Yleisimmin kenttätunnistimet käyttävät ioniliikkuvuuteen perustuvaa tunnistusta, mutta myös liekkifotometria on alalla nousussa.

3.6 Liekkifotometria

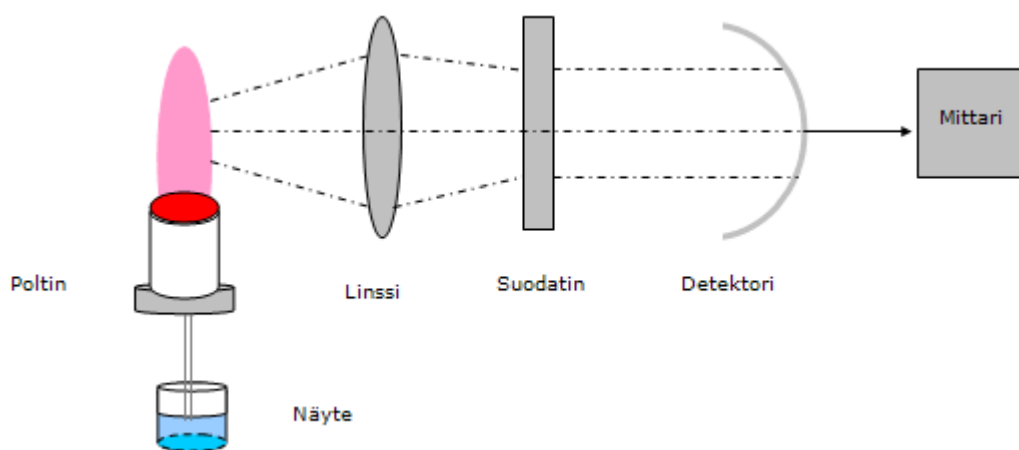
AP4C on ranskalaisen Proengin valmistama taisteluaineiden ilmaisim, jossa käytetään liekkifotometriaan perustuvaa aineen tunnistustekniikkaa. Se on kannettava kemiallisten aineiden tunnistin, joka havaitsee höyryjä, aerosoleja, pulverimuotoisia ja nestemäisiä aineita. Se tunnistaa fosforiyhdisteitä kuten G- ja V-tyypin hermokaasuja, arsenikkisia yhdisteitä ja muita kaasuja sekä näiden lähtöaineita. Sen herkkyys ja nopea reagointikyky mahdollistaa sen käytön tarkastettaessa mahdollista kontaminaatiota. [61]

Valmistajan mukaan AP4C:n käyttämä liekkifotometriaan perustuva tekniikka tekee siitä helppokäyttöisen, luotettavan ja virhevapaan taisteluaineiden sekä myrkyllisten teollisuuskemikaalien ilmaisimen. Laitteessa on ainoastaan päälle-/poiskytkin ja hälytykset ovat helposti havaittavissa itsevalaisevalta näytöltä eikä käyttäjän tarvitse valita kirjastoa tai kalibroida laitetta käyttöönotettaessa. Lisäksi ainutlaatuisen teknologiansa vuoksi laitteessa on erittäin lyhyt palautumisaika. Suurenkin altistumisen jälkeen laite on käytettävissä uudelleen muutamien sekuntien kuluttua. Kuvassa (Kuva 12) on esitetty AP4C. [61]



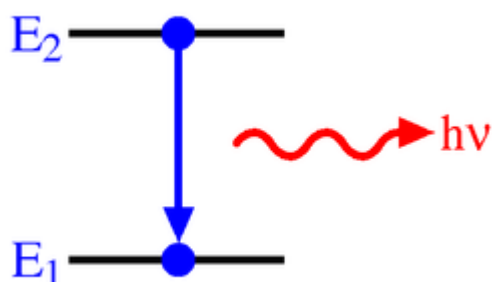
Kuva 12. AP4C [61]

Liekkifotometriassa (emissiospektrometrian ala) näyte kuumennetaan käyttämällä liekkiä, jolloin siinä olevat yhdisteet hajoavat kuumuudessa alkuaineiksi. Korkea lämpötila aiheuttaa törmäilyjä atomitasolla ja samalla osa atomeista virittyy. Tämän viritystilan lauetessa atomi säteilee (emittoi) valoa. Liekkifotometrissä säteily johdetaan linssin avulla prismaan tai hila-järjestelmään (suodatin), joka erottaa halutun aallonpituuden. Detektori (valokenno) mittaa lopuksi säteilyn voimakkuuden ja lähettää tiedon mittarille. Jokainen alkuaine emittoi sille luonteenomaisesti (perustuen sen elektroniseen rakenteeseen). Emissiospektrometria tutkii näiden emittoituvien fotonien aallonpituuksia. [62; 63] Kuvassa (Kuva 13) on esitetty pelkistetty liekkifotometrinen rakenne.



Kuva 13. Liekkifotometrin rakennekuva [62]

Kuvassa (Kuva 14) on kuvailtu emissiota.



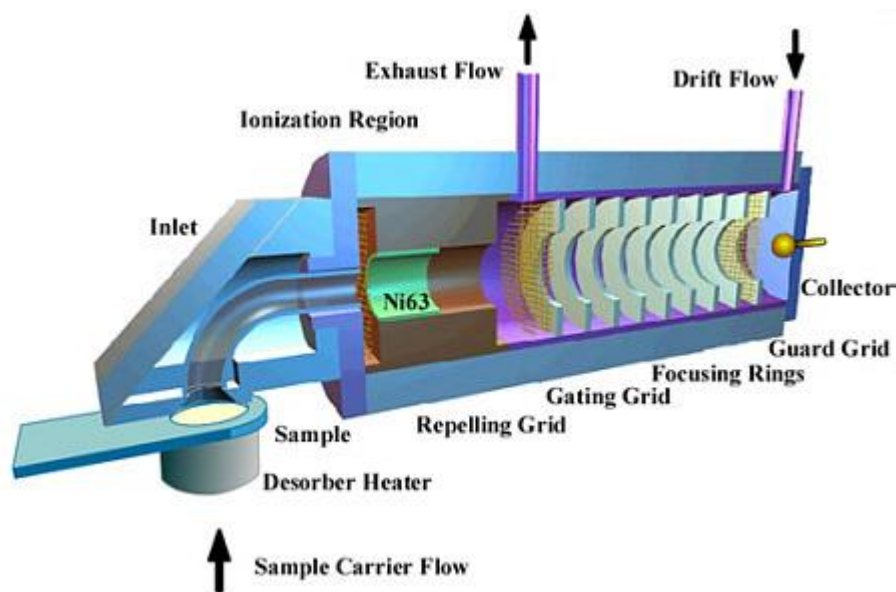
Kuva 14. Spontaani emissio [63]

3.7 Ioniliikkuvuusspektrometria

IMS (Ion Mobility Spectrometry) eli ioniliikkuvuusspektrometria on analyttinen tekniikka, mitä käytetään ionisoitujen molekyylien erotteluun ja tunnistukseen. IMS-tekniikan soveltuvuudesta organofosfaattien komponenttien tunnistamiseen raportoitiin jo 1970-luvulla [55, s. 289]. Ioniliikkuvuusspektrometrian tunnistusnopeus, tarkkuus ja käytön helppous on mahdollistanut sen hyödyntämisen myös kaupallisessa käytössä. Sitä käytetään laajalti etenkin armeijan ja turvallisuusalan tarvitsemissa laitteissa, kun halutaan tunnistaa nopeasti esim. huumeita, vaarallisia kemikaaleja tai räjähteitä. Myös monissa laboratorioiden analyttisissä välineissä käytetään IMS-teknologiaa ja sen yhteydessä myös massaspektrometria ja nestekromatografia. [43]

IMS-laitteita on olemassa erikokoisia ja kestävyydeltään erilaisia (käyttötarkoituksen mukaisesti). Lääkealan tehtaot käyttävät myös IMS:ää, kun tarvitaan tarkkaa tietoa esim. reaktioas-

tioiden puhtaudesta, jotta lääkkeen tuotannossa voidaan edetä seuraavaan vaiheeseen. Sitä käytetään lääkealalla myös valmiin tuotteen analysoimiseen eli laaduntarkkailussa. Armeijan käyttöön suunnitellut IMS-laitteet käyttävät nk. imevää IMS:ää (esim. Chempro 100). Näiden laitteiden tarkoituksena on havaita pieniä määriä kemikaaleja tai tutkia niiden määrää ympäröivässä ilmassa. Imevä IMS käyttää nk. avointa silmukkaa kierrättäessään tutkittavaa ilmaa. Ilmanäyte kuljetetaan ensin ionisaatiokammioon ja sieltä se saapuu mitta-alueelle, jossa mitta-alueelektrodit mittaavat sen ionit sähkökentässä. [43] Kuvassa (Kuva 15) on esitetty ioniliikkuvuuspektrometrin rakenne.



Kuva 15. Ioniliikkuvuuspektrometrin perusrakennekuva [64]

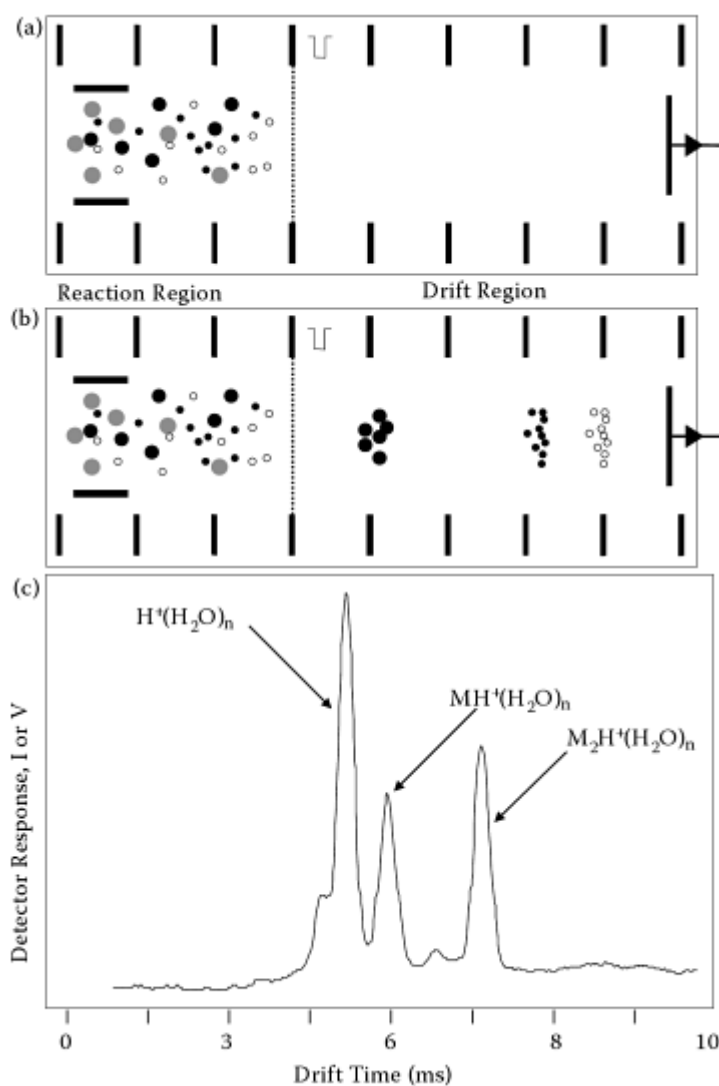
Perinteinen IMS-laite tuottaa ioneja, jotka kuljetetaan kantokaasun avulla sähköistetyssä kuljetusputken (Drift tube) läpi. Putken päässä on detektori eli tunnistin (yleensä Faradayn levy), joka mittaa ionien jännitteen. Laite laskee ionien massan, jännitteen, koon ja muodon sekä rakentaa näistä kaikista tiedoista ionin liikkuvuuteen perustuvan kuvan eli spektrin. Ionit tavallaan törmäilevät kuljetusputkessa kantokaasun kanssa ja mitä suurempia nämä ionimolekyylit ovat, niin sitä enemmän kantokaasu häiritsee niiden etenemistä eli sitä hitaammin ne myös liikkuvat eteenpäin. Näytteen molekyylit voidaan ionisoida koronapurkausta, APPI:a (Atmospheric Pressure PhotoIonization) so. ilmanpaineessa tapahtuvaa fotoionisaatiota, ESI:ä (Electrospray Ionization) so. sähkösumutusionisaatiota tai radioaktiivista lähdettä hyväksi käyttäen (esim. ^{63}Ni tai ^{241}Am). Tunnistusta helpottamaan voidaan käyttää myös apuaineita kuten asetonia kemiallisia aineita, klooriliuottimia taisteluaaineita ja nikotiiniamidia huumeita tunnistettaessa. [43]

Detektorina toimiva faradayn levy muuntaa siihen törmäävät ionit sähkövirraksi, jota mitataan. Levyä lähestyvät ioniparvet vetävät siinä olevia elektroneja puoleensa ja näin synnyttävät levyyn sähkövirran potentiaalinen muutoksen. Sähkövirta syntyy induktion takia jo ennen kuin ionit saapuvat levyille. Näin mittauksessa näkyvien ioniparvioiden näennäisleveys kasvaa, jolloin myös laitteen erotuskyky heikkenee. Tämän ongelman korjaamiseksi laitteissa yleensä käytetään eräänlaista ”verkkoa” suojaamaan detektoria ennenaikaiselta mittaukselta. Imevä IMS-sensori ei tarvitse tätä verkkoa, vaan se havaitsee ionit tehokkaasti käyttämällä yksinkertaista faradayn levyä. [55, s. 155-157]

Yleisesti käytössä olevissa ioniliikkuvuuteen perustuvissa ilmaisimissa ioniparvet suihkuteetaan kuljetusputkeen käyttämällä suljinta, jolla voidaan tahdistaa ionien liike. Ioniparvet kuljetetaan sähkökentän avulla kuljetusputken läpi puhdistetussa ilmassa ja normaalissa ilmanpaineessa. Ioniparvioiden liike rekisteröidään detektorilla ja näin voidaan määrittää ionien liikkuvuus (v_d), joka on kuljettu matka suhteutettuna aikaan:

$$v_d = \frac{d}{t_d}$$

jossa d on etäisyys ja t_d on matkaan käytetty aika. [55, s. 1] Kuvassa (Kuva 16) on esitetty IMS-laitteissa käytetyn kuljetusputken rakenne.



Kuva 16. IMS-kuljetusputken rakenne: a) Ensinnä näyte ionisoidaan nk. reaktioalueella b) Sitten ionisoidut molekyylit suihkutetaan nk. kuljetusalueelle, jossa ne jakautuvat liikkuvuutensa mukaan c) Mitatuista liikkuvuuksista positiivi-ionimoodissa muodostettu spektri (2-pentanoni), josta voidaan erottaa reaktantti, protonisoitu monomeeri ja protonisidottu dimeeri [55, s. 3]

IMS-kuljetusputken pituus on tyypillisesti 4-20 cm. Ioniparvella, joka kulkee 6 cm matkan 15 millisekunnissa 200 V/cm sähkökentässä, on täten 4 m/s liikenopeus. Kun liikenopeus normalisoidaan sähkökentän suhteen ($E, \frac{V}{cm}$), niin saadaan liikkuvuuskerroin K , joka on ioniparven liikkuvuus suhteessa sähkökenttään ($\frac{cm^2}{Vs}$):

$$K = \frac{v_d}{E}$$

joka on tässä tapauksessa $2,4 \frac{cm^2}{Vs}$ 25°C lämpötilassa ja 660 torr (n. 0,88 bar) paineessa. Koska paine ja lämpötila vaikuttavat liikkuvuuskerrotimeen, niin se yleensä normalisoidaan 273 kelvinin lämpötilaan ja 760 torr paineeseen, jolloin saadaan pelkistetty liikkuvuusker-

roin K_0 :

$$K_0 = K * \left(\frac{273}{T}\right) \left(\frac{P}{760}\right)$$

joka on tässä tapauksessa $2,0 \frac{cm^2}{Vs}$. [55, s. 2]

Vaikka paine ja lämpötila normalisoidaan, niin se ei siitä huolimatta takaa onnistunutta mittausta kaikissa liikkuvuusmittauksissa. Ongelmia aiheuttavat etenkin polaariset kaasut huoneenlämmössä. Näiden kaasujen lämpötila, paine, ionikoostumus ja törmäyksien vaikutusalat aiheuttavat muutoksia ioniliikkuvuuteen ja täten myös K_0 arvoihin. Liikkuvuusmittaukset ovat herkkiä erilaisille kaasuille, kuten adduktoiville polaarille kaasuille (esim. typpi ja ilma). Tällä hetkellä näille $K_0:n$ muutoksille ei ole olemassa suoraa havainnointitapaa. Jos mittauksen parametrit ovat hyvin hallittuja tai vakaita, niin liikkuvuuskerroimesta (K_0) voidaan johtaa ionien massa ja muoto. [55, s. 2-3]

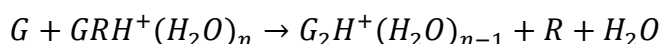
Taisteluaeineina käytetyt hermokaasut ovat organofosfaattien johdannaisia, joilla on suuri protoniaffiniteetti (yhtymistäipumus). Näillä kemiallisilla yhdisteillä on positiivi-ionimoodissa hyvin spesifiset vasteet, jotka voidaan tunnistaa nopeasti. Tämän vuoksi IMS-tekniikka soveltuu erinomaisesti näiden aineiden kenttätunnistamiseen. Syövyttävät taisteluaineet, verikaasut ja tukahduttavat taisteluaineet sekä niiden hajoamistuotteet voidaan tunnistaa negatiivi-ionimoodissa tai positiivi- ja negatiivi-ionimoodin yhdistelmällä. [55, s. 290-298]

Taisteluaineiden tunnistaminen IMS-tekniikalla perustuu siihen, että reaktantti-ionin (joka on apuaineen protonoitu dimeeri) ja organofosfaattimolekyylin välillä tapahtuu molekyylin siirtymä, missä muodostuu homogeeninen protonisidottu dimeeri. Esimerkkinä voidaan käyttää apuainetta $R_2H^+(H_2O)_n$ (missä R voi olla esim. asetoni), josta muodostuu $GRH^+(H_2O)_{n-1}$.

Apuaineen (R_2H) ja organofosfaatin (G) välinen yhtälö:

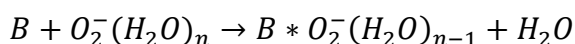


Jos apuaineen konsentraatio lisääntyy, niin reaktio voi toistua:



Dimeeri-ioni $G_2H^+(H_2O)_{n-1}$ voi muodostua, jos G:n ja H^+ :n välinen assosiaatio on voimakas. Edelleen protonisidottu trimeeri-ioni $G_3H^+(H_2O)_n$ ja sitä useampimolekyylisiä sidoksia voi myös muodostua, mutta niiden elinkaari on niin lyhyt, että niitä ei voida mitata huoneenlämmössä. Ionisaatioprosessia voidaan kontrolloida ja häiritseviä reaktioita vähentää käyttämällä reagenssikaasua. [55, s. 290-291]

Syövyttävät taisteluaineet sisältävät yleensä halogeeniatomeja (tyypillisesti klooria), joilla on matala protoniaffiniteetti ja näin ollen eivät muodosta huoneenlämmössä vakaita positiivisia ioneja. Ne voivat kuitenkin muodostaa ionisidoksia negatiivi-ionimoodissa:



Ilman suuri kosteuspitoisuus voi häiritä tätä reaktiota ja aiheuttaa ionisidoksien hajoamista. Tämänlaisessa tilanteessa liikkuvuuspektrissä havaittu ioni voi olla reaktantti-ioni, mikä saattaa aiheuttaa väärän positiivisen ilmaisun. [55, s. 291]

3.7.1. AKS M90

AKS M90 on Environicsin kehittämä LV217 radion koteloon rakennettu automaattinen kaasunilmaisin, joka käyttää IMS-tekniikkaa. Ensimmäisen version (M86) kehitti Heikki Paakanen P. Puumalaisen tutkimuskeskuksesta (myöh. Environics). Seuraava M90 versio oli pitkän kehitystyön tulos ja se oli jo selkeästi luotettavampi sekä kenttäkelpoisempi. Se avasi Environics Oy:lle myös kansainväliset markkinat. Puolustusvoimien tutkimuslaitos on tehnyt suurimman osan laitetestauksesta kemiallisilla taisteluaineilla suojelutekniikan erikoislaboratoriossa ja näin osallistunut kehitystyöhön merkittävästi. [65; 66] Kuvassa (Kuva 17) on esitetty AKS M90. Liitteessä 3 on esitetty AKS:n ilmaisemat taisteluaineet ja niiden ilmaisuherkkyydet.



Kuva 17. AKS M90 D1-C [65, s. 1]

3.7.2. Chempro 100

Chempro 100 on Environicsin valmistama avoimen kierron IMS:ään perustuva kannettava kemiallisten aineiden tunnistusväline. Siinä on IMS-sensorin lisäksi kaksi puolijohdesensoria sekä kosteus- ja lämpötila-anturit. Sillä pystyy havaitsemaan ja tunnistamaan niin kemiallisia taisteluaineita (CWA Chemical Warfare Agents) kuin teollisuuskaasuja (TIC Toxic Industrial Chemicals). Lisäksi sen vaihdettavien kirjastojen avulla se kykenee myös havaitsemaan taiste-

luaineiden lähtöaineita. Siihen on hankittavissa myös lisälaitteena säteilyntiedustelu moduuli sekä biologinen analysointi moduuli. [67] Kuvassa (Kuva 18) on esitetty Chempro 100.



Kuva 18. Chempro 100 [68]

Chempro 100 kaasuilmaisimen toiminta perustuu miniatyrisoituun 16 kanavaiseen IMS sensoriin (IMCell). IMCell on Environics Oy:n patentoima ioniliikkuvuuskenno, joka toimii läpivirtausperiaatteella. Se mittaa IMS spektrin usean sähkökentän avulla. Kaasujen tunnistus perustuu ionien massaan ja varaukseen, jolloin kukin kaasu saa aikaiseksi oman spektrinsä. Puolijohdeanturin pinta absorboi kaasumolekyylejä, jolloin sen sähköinen vastus muuttuu ja se antaa sensorille signaalin. Näiden eri antureiden antama tieto yhdistetään sumeaa logiikkaa ja LVQ (Learning Vector Quantization) menetelmää käyttäen, jolloin saadaan aikaiseksi tarkka tunnistus ja häiriöilmaisujen määrän pieneneminen. [68] Chempro käyttää taisteluaineiden tunnistamiseen siis eräänlaista hahmontunnistusmenetelmää, jossa laitteen kirjastoon on tallennettu aineille tunnetut ioniliikkuvuudet ja joista se mittaustilanteessa valitsee mitattua spektriä lähinnä olevan kirjastospektrin.

Chempron käyttämässä imevässä IMS-sensorissa (aspirator IMS, aIMS) ilma kiertää vapaasti kuljetusputken läpi, eikä siinä käytetä suljinta. Ionit erotellaan sähkökentän avulla kuljetusputken koko poikkileikkauksen alueelta, mutta valitulta leveydeltä. Tällä tekniikalla kuljetusputkeen vaeltavien ionien välimatkaa voidaan kaventaa toisistaan. Menetelmä auttaa erottelemaan spektrissä etenkin hydratoituneen protonin ja di-isopropyylimetyylifosfonaatin

(DIMP, hermokaasusimulantti), kuten myös protonoidun monomeerin karkeasti yhden piikin välein. [55, s. 132-133]

3.7.3. LCD 3.3

LCD 3.3. on Smiths Detectionin valmistama vastaava laite kuin Chempro 100. Laite on helpokäyttöinen eikä se vaadi käyttäjältään kalibrointia tai monimutkaista rutiini huoltoa. Myös tämän laitteen aineiden tunnistamisen taustalla on IMS-tekniikka, mutta se käyttää kehittyneempää säteilemätöntä teknologiaa. LCD 3.3 on kehittynyt varoituslaite, joka hälyttää jo alhaisilla pitoisuuksilla (alle hengenvaarallisten pitoisuuksien). Se tunnistaa kaasusta tai höyrystä aineen tai sen tyyppin lisäksi, sen luokan, pitoisuuden ja määrän. Sitä voidaan käyttää myös tiedusteluun tai valvontaan. Se voidaan myös liittää Smiths Detectionin langattomaan Sensa-LINX -verkkoon. Kuvassa (Kuva 19) on esitetty LCD 3.3. [69]



Kuva 19. LCD 3.3 [69]

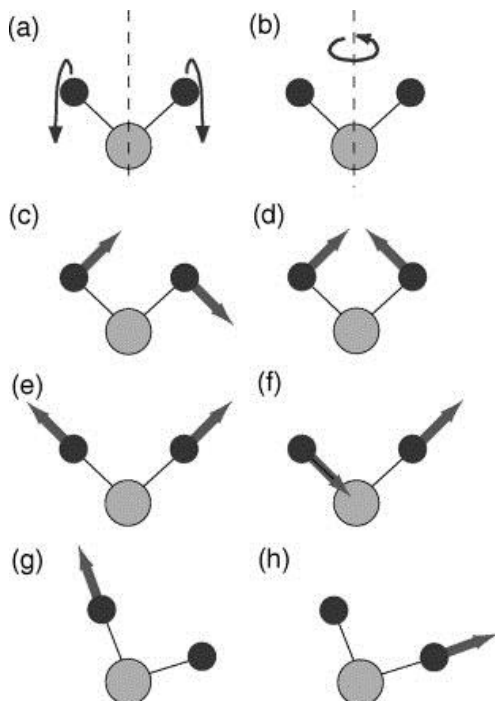
3.8 Infrapunaspektroskopia

3.8.1. Yleistä

Infrapunaspektroskopia (IR spektroskopia) menetelmänä hyödyntää nimensä mukaisesti sähkömagneettisen spektrin infrapuna-aluetta. Se käsittää monia tekniikoita, jotka perustuvat enimmäkseen säteilyn absorptioon. Niin kuin muitakin spektroskopisia menetelmiä, niin myös infrapunaspektroskopiaa voidaan käyttää tunnistamaan aineita kuten kemikaaleja ja taisteluaaineita. [70]

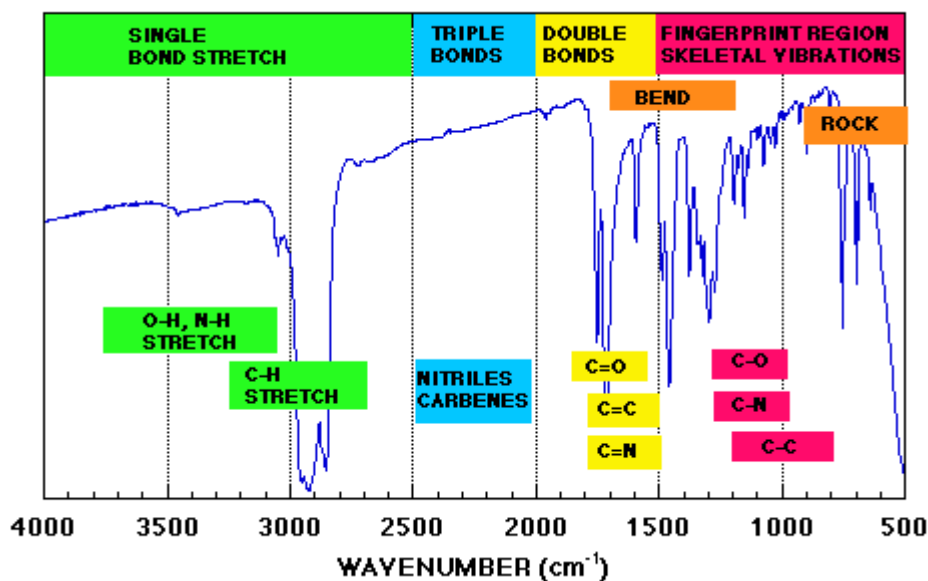
IR spektroskopiassa aineen spektrin muodostuminen pohjautuu molekyyllitasolla tapahtuviin värähtelyihin (venytys ja taivutus). Kuvassa (Kuva 20) on esitetty molekyyllissä tapahtuvat venytykset ja taivutukset dihydridissä (kaksi vetyatomia sisältävä molekyyli). Kuvan kirjainlyhenteet ovat seuraavat: (a) symmetrinen huojunta, (b) epäsymmetrinen vääntymisen, (c)

epäsymmetrinen keinunta, (d) symmetrinen saksitaivutus, (e) symmetrinen venytys ja (f) epäsymmetrinen venytys. Kuvassa on esitetty myös kallistetun molekyylin taivutukset: (g) pystytaivutus sekä (h) vaakataivutus. Mitä monimutkaisemmasta molekyylistä on kyse, niin sitä monimuotoisempi on myös sen spektri. [70]



Kuva 20. Molekyylin venytykset ja taivutukset [71]

Jokaisella aineella on sille ominainen spektri nk. "sormenjälki", minkä avulla se on mahdollista tunnistaa etsimällä sitä tietokannasta. Vaikka uuden aineen spektriä ei löydetäisikään valmiista kirjastosta, niin spektristä voi siitä huolimatta kertoa paljon esim. aineen ominaisuuksista. Kuvassa (Kuva 21) on esitetty eri molekyyliliosien tyypillisiä infrapunaspektrin alueita (nk. ryhmätaajuudet) joissa piikkejä esiintyy. [72]



Kuva 21. Infrapunaspektrin tyypilliset piikit [72]

Infrapunaspektroskopia perustuu siihen, että tietyntyyppiset molekyylit absorboivat tiettyjä taajuuksia. Tämä aiheuttaa molekyylin atomeissa liikettä (ks. Kuva 20), mitkä johtuvat siitä kun absorboitu säteily sopii yhteen sidoksen tai joukon kanssa ja aiheuttaa resonanssia. Näyte läpäistään infrapunasäteellä ja kun säteen taajuus sekä molekyylin värähtelytaajuus kohtaavat, niin säteily vaimenee (absorboituu). Siirretyn valon määrää tutkimalla saadaan selville kuinka paljon energiaa on absorboitunut. Tähän käytetään apuna monokromaattoria (laite, joka päästää säteilystä läpi halutun kaistan) tai vaihtoehtoisesti FTIR-menetelmää (Fourier Transform Infrared), jossa näyte valaistetaan koko aallonpituusalueella. Spektrin piikkien paikan, muodon ja voimakkuuden tutkiminen antaa tietoa aineen molekyyliarakenteesta. [70; 73]

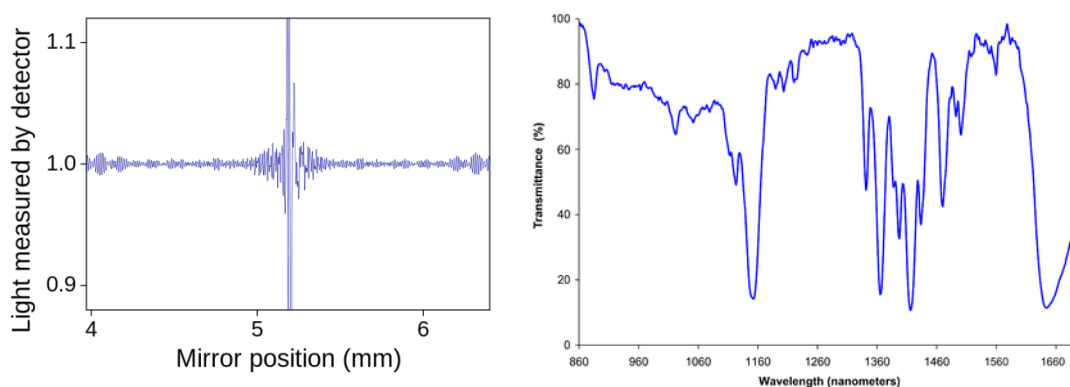
Ramansironta eli Ramanin ilmiö on yksi taisteluaineiden tunnistamisessa käytetty FTIR:ää täydentävä tekniikka. Veden ramansironta on heikkoa, mikä mahdollistaa vesiliukoisten aineiden tutkimisen. Ramansironnaksi kutsutaan ilmiötä, kun ohjattaessa säteilyä aineeseen osa sen fotoneista osuu molekyyliin ja poikkeaa etenemissuunnastaan eli siroaa. Sirotessaan fotonin menettää osan energiastaan aineelle, jolloin sen säteilyn taajuus muuttuu aineelle ominaisella tavalla. Ilmiön avulla voidaan tunnistaa molekyyliä ja selvittää niiden rakenteita spektroskooppisesti. Raman-spektri sisältää saman informaation kuin IR-spektri [74; 75]

ATR (Attenuated total reflectance) on eräs tapa mitata aineen spektri. Tällä tekniikalla näytteitä voidaan analysoida niiden kiinteässä tai nestemäisessä olomuodossa ilman erityisiä valmisteluja. ATR:ssä käytetään hyödyksi kokonaisheijastumista, jossa säde saapuessaan oikeassa kulmassa heijastavalle pinnalle (esim. timantille) heijastuu siitä kokonaan. Samalla myös

muodostuu lyhytulotteisia aaltoja, jotka läpäisevät heijastuspinnan ja käyvät pinnan ulkopuolella näytteessä. Tyypillisesti tämän aallon läpäisyvyvyys näytteessä on n. 0,5-2 μm . Lopulta aallot päätyvät detektorille, jossa ne analysoidaan. [76]

Vesihöyry absorboi sähkömagneettista säteilyä kolmella eri sähkömagneettisen spektrin alueella. Rotaatiosiiirtymät absorboivat sähkömagneettisen säteilyn mikroaalto- ja kaukoinfrapuna-alueella, vibraatiosiiirtymät absorboivat keski- ja lähi-infrapuna-alueella sekä lisäksi elektronien siirtymät absorboivat vakuumiultravioletialueella. Vesi absorboi mikroaaltoja, mutta sillä ei ole rotaatiospektriä. Jäällä on samankaltainen spektri kuin vedellä. [77] Vesihöyryn aiheuttama absorptio voi aiheuttaa infrapuna-alueella toimiville kaasunilmaisimille ongelmia. Laitteet saattavat esimerkiksi luulla veden aiheuttamaa spektriä joksikin muuksi aineeksi ja antaa virheilmaisuja.

Yleisesti käytössä oleva IR spektroskopiaan perustuva väline on FTIR-spektroskopi. FTIR spektrianalyysi on tekniikka, mitä käytetään kun halutaan infrapuna-alueen spektri jonkin tietyn aineen (kiinteän, nestemäisen tai kaasun) kyvystä imeä, luovuttaa tai läpäistä valoa sekä sen Ramansironnasta. Tekniikan nimi juontuu siitä, että tuloksien analysoinnissa ja niiden laskennassa käytetään Fourier'n muunnosta. [78] Kuvassa (Kuva 22) on havainnollistettu FTIR:ssä tyypillistä interferometriä ja siitä Fourier'n muunnoksen avulla laskettua spektriä.



Kuva 22. FTIR Interferogrammi I. raakadata spektrometriltä (vas.) ja siitä Fourier'n muunnoksen avulla muodostettava spektri (oik.) [79; 80]

3.8.2. Fourier'n muunnos

Fourier'n muunnos on matematiikassa käytetty jatkuva integraalimuunnos, jota käytetään esimerkiksi signaalinkäsittelyssä erilaisissa taajuusanalyysiä vaativissa sovelluksissa. Sen

avulla voidaan laskea taajuuden amplitudi ja vaihe. Fourier'n muunnos esittää säännöllisen funktion sinimuotoisten funktioiden integraalina. Fourier'n muunnos:

$$\hat{f}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-i\omega x} dx$$

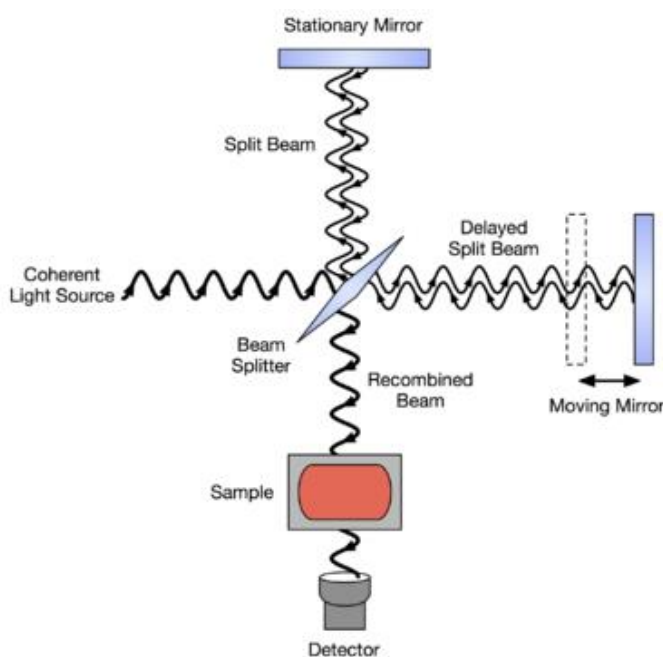
missä ω on kulmataajuus. Diskreetti Fourier'n muunnos (DFT) on Fourier'n muutoksen diskreetti aikainen yleistys, jossa signaali voidaan esittää äärellisenä Fourier'n sarjana. Samalla integraali korvautuu summalausekkeella:

$$F_n = \sum_{k=0}^{N-1} f_k e^{2\pi i n k / N}, n = 0, \dots, N - 1$$

missä f_k on N :n pituinen reaali- tai kompleksiarvoinen sarja. Diskreetin Fourier'n muunnoksen laskemiseen käytetään nopeaa FFT (Fast Fourier Transform) algoritmia. [81]

3.8.3. Michelsonin interferometri

Yleisesti FTIR-menetelmässä käytössä oleva interferometri (laite joka yhdistää kaksi eri valoaaltoa yhdeksi kuvaksi) on Michelsonin interferometri. Se sisältää peilejä, joilla voidaan muuttaa säteen vaihe detektorilla. Se toimii siten, että liikuttamalla moottorin avulla yhtä näistä peileistä, voidaan valon eri aallonpituudet säännöstellä vuoroin päästämällä ja estämällä säteen etenemistä (interferoida). Samalla eri aallonpituudet moduloidaan eriaikaisiksi siten, että joka hetkellä interferometriltä ulostulevalla säteellä on eri vaihe. Koska säteen kulkeman matkan pituus muuttuu, muuttuu myös sen vaihe. [78] Kuvassa (Kuva 23) on esitetty Michelsonin interferometrin rakenne.



Kuva 23. Michelsonin interferometri [78]

Michelsonin interferometrissä infrapunasäde keskitetään säteen halkaisijalle, missä ideaalitalteessa puolet siitä ohjautuu liikkuvalle ja puolet paikallaan olevalle peilille. Säde halkaistaan nk. puoliläpäisevällä peilillä, joka heijastaa säteestä puolet ja päästää läpi puolet. Tämän jälkeen erilliset säteet ohjautuvat peileiltä takaisin säteen halkaisijalle, jossa ne kootaan yhdeksi säteeksi, joka läpäisee näytteen. Säde analysoidaan lopuksi detektorilla. Interferogrammi muodostuu aineen säteeseen aiheuttamasta poikkeamasta (absorboitujen aallonpituuksien vaimenemisesta). [78]

3.8.4. HazMatID 360

HazMatID 360 on Smiths Detectionin valmistama kannettava FTIR kemikaalianalysaattori. Se kykenee FTIR spektrianalyysin ja laajan kirjastonsa avulla tunnistamaan niin kiinteitä, tahnamaisia kuin nestemäisiä aineita jopa alle kahdessa minuutissa. Sillä voi tehdä kattavia analyyssejä myös aineista, joihin on mahdollisesti sekoittunut jotain ylimääräistä (esim. vettä tai likaa). Laitteella voidaan lähettää analyysitiedot komentopaikalle myös langattomasti suoraan likaiselta alueelta. Se kykenee tunnistamaan yli 32 000 ainetta, kuten taisteluaineita, teollisuuskemikaaleja, räjähteitä ja huumeiden lähtöaineita. Kuvassa (Kuva 24) on esitetty HazMatID 360. [82]



Kuva 24. HazMatID 360 [82]

3.9 Tiedustelujärjestelmät

Tiedustelujärjestelmiä on olemassa niin maa- kuin ilmakäyttöisiä. Maanpäällä kulkevia tiedustelujärjestelmiä kutsutaan tiedusteluajoneuvoiksi ja ilmassa lentäviä tiedustelulennokeiksi.

Taktista tiedusteluajoneuvoa on perinteisesti käytetty selvittämään vihollisen puolustusasemien sijainti ja puolustuksen heikkoudet oman etulinjan edessä. Perinteisten rynnäköpanssari-vaunujen tyypisesti rakennettujen tiedusteluajoneuvojen tilalla käytetään jonkin verran kevyemmin panssaroituja ja aseistettuja ajoneuvoja, joiden sensorivarustus puolestaan on olennaisesti parempi. [48, s. 368] Myös nykyisiin tiedustelulennokkeihin voidaan helposti vaihtaa tai lisätä hyötykuormaksi myös taisteluaineiden tiedusteluun tarkoitettuja välineitä.

Taisteluaineiden tiedustelua varten on myös kehitetty erilaisia järjestelmiä. Esimerkiksi Envisionics on kehittänyt yhteistyössä Patrian ja ranskalaisen Thalesin kanssa maatiedustelua varten Suojelutiedusteluajoneuvon (SUTI), jolla voidaan taisteluaineiden tiedustelun lisäksi suorittaa aineiden analysointia sekä näytteenottoa. Se on varustettu kollektiivisuojalla, automaattisilla kaasunilmaisimilla (AKS M90), säteilymittarilla, kaasukromatografilla ja massaspektrometrilla. Sen automaattisten kaasunilmaisimien virheilmaisuja on vähennetty ja samalla tarkkuutta parannettu käyttämällä ilmankuivaimia ja suodatusta. Siinä AKS:lle menevä ilma kulkee ensin silikageeliputken läpi ja ilmaisimelta se edelleen kulkeutuu aktiivihiihliisuodattimen läpi uudelleen laitteen ilmankiertoon (nk. puolisuoljettu kierto). Sillä voidaan alentaa ilmaisimessa kulkevan ilman suhteellisen kosteus siten, että se on kaikissa oloissa vain muutama prosentti luokkaa [83, s. 12-13]. SUTI:n kaasukromatografi ja massaspektrometri käyttävät kantokaasuna typpeä, joka syrjäyttää happea. Tämän vuoksi SUTI:n sisäilmaa tarkkailaan X-AM 7000 monikaasuilmallisimella mahdollisten vuotojen varalta. Kuvassa (Kuva 25) on esitetty suomalainen Suojelutiedusteluajoneuvo.



Kuva 25. Suojelutiedusteluajoneuvo [83, s. 1]

Yksi tulevaisuuden suuntalinja on miehittämättömät maanpäälliset sensorit ja niistä muodostettavat verkot. Esimerkiksi Yhdysvaltojen armeija on kehittänyt omaa järjestelmäänsä viime vuosikymmeninä ja tunnetuin näistä on L-3 Communicationsin REMBASS (Remotely Monitored Battlefield Sensor System). Tästä on kehitetty myös uudempi versio REMBASS-II (ks. Kuva 26). Se havaitsee, tunnistaa ja määrittää vihollisen miehistön ja ajoneuvojen kulkusuunnan passiivisesti. Se käyttää kolmea perussensoria: seisminen/akustinen, IR ja magneettinen sekä kehittyntä signaalin prosessointia. REMBASS-II:een voidaan lisäksi liittää kemiallisia ja biologisia sensoreita ilman järjestelmä- tai ohjelmistomuutoksia. Havaintoja pystyy seuraamaan kannettavasta monitorista, jonka pystyy yhdistämään myös tietokoneen kautta kartta-ohjelmistoon. [84]



Kuva 26. REMBASS-II [84]

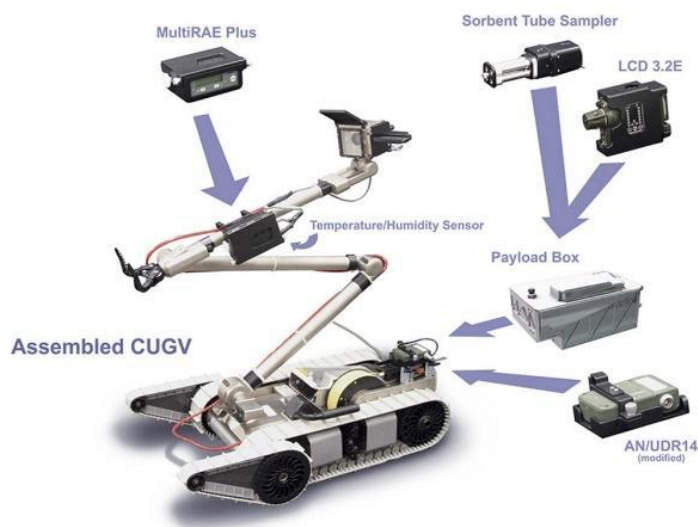
Toinen kehitteillä oleva tulevaisuuden kandidaatti on Smiths Detectionin valmistama käsin leviteltävä kemiallinen tunnistin. Sen toiminta perustuu upotettuun vähävirtaiseen siruun ja sisäiseen langattomaan yhteyteen. Smiths Chemalert UGS (katso Kuva 27) painaa 57 grammaa ja on kooltaan 5 cm^3 . Sitä kehitellään yhteistoiminnassa Yhdysvaltain armeijan tutkimuslaboratorion kanssa. Se tunnistaa hermokaasut (tabuuni, sariini ja somaani) ja syövyttävät kaasut (sinappikaasu, typpisinappikaasu) sekä myrkylliset teollisuuskaasut. Se käyttää samanaista nanokomposiitti sensoriryhmää (yhteensä 32 sensoria), kuin Smithin kehittämä Cyrano-se 320 nk. kannettava "elektroninen nenä". [84]



Kuva 27. Chemalert UGS [84]

Taisteluaineiden tunnistamiseen käytettäviä sensoreita ja välineitä on testattu myös olemassa olevissa maalla kulkevissa miehittämättömissä roboteissa. Yksi on amerikkalaisten kehittämä CBRN Unmanned Ground Vehicle (CUGV). Tarkoitukseen valittiin aikaisemmin räjähteiden raivaamiseen käytetty robotti ja siihen lisättiin sopivat sensorit, joilla sitten saatiin kyky tais-

teluaineiden, myrkyllisten teollisuuskaasujen sekä säteilyn tunnistamiseen. Kuvassa (Kuva 28) on esitetty CUGV. [85]



Kuva 28. CUGV [85]

Myös Patria on kehittänyt oman tiedustelulennokin MASS:n (Modular Airborne Sensor System), joka sisältää elektro-optisen kameran ja IR-kameran lisäksi ohjattavia kameroita. Lennokkiin voidaan myös liittää myös näytteenkeräin ja kemiallinen ilmaisin tai säteilynilmaisin. Lennokkia voidaan ohjata kaukokäyttöisesti maa-asemalta (GCS, Ground Control System) tai se voi lentää myös autonomisesti. Koko järjestelmään kuuluu sensoreiden lisäksi 1-3 lennokkia, viestiyhteysvälineet, GCS (kannettava tietokone), teleskooppiantenni, laukaisualusta, paristot ja varaparistot. Järjestelmän käyttöönotto (laukaisu), paluu ja pakkaus voidaan suorittaa alle kahdeksassa minuutissa. [86] Kuvassa (Kuva 29) on esitetty Patrian tiedustelulennokki.



Kuva 29. Patrian tiedustelulennokki MASS [86]

3.10 Suoja

Yleisen käsityksen mukaan suoja-asut alentavat suorituskykyä merkittävästi. Kuitenkin tutkimusten mukaan hyvin koulutettu joukko kykenee suojautuneena toimimaan n. 80 %:n teholla verrattuna suojautumattomaan. Taistelijan NBC-suojaus (Nuclear, Biological, Chemical) voidaan toteuttaa joko eristämällä henkilö ympäristöstä tai suodattamalla käytetty hengitysilma. Henkilön eristämisessä tyypillisesti käytetään paineilmalaitteita sekä kumista suojaapukua (kemikaalisuojaapuku) ja suodattamiseen perustuvassa suojassa käytetään suojanaamaria sekä aktiivihiiliä. Eristämisessä käytetyt varusteet ovat yleensä raskaita ja toiminta-aika on rajoitettua, kun taas suodatusmenetelmää käytettäessä varusteet ovat kevyitä ja niiden pitkäaikainen yhtäjaksoinen käyttö on myös mahdollista. Suodatusmenetelmää käytettäessä rajoitteita aiheuttaa ilman alentunut happipitoisuus, hiilimonoksidi (läpäisee suodattimen) ja vaarallisen aineen hyvin korkea pitoisuus (syrjäyttää ilman ja voi läpäistä suodattimen). [23, s. 140]

Taistelijan henkilökohtaisiin suojarusteisiin kuuluvat maastopuvun lisäksi sadeasu, kumisaappaat ja suojanaamari. Maastopuku itsessään on käsitelty vettä ja öljymäisiä aineita hylkiväksi, jolloin nestemäiset aineet jäävät pieninä pisaroina maastopuvun kankaan pinnalle, mutta höyrystyneet kemikaalit läpäisevät sen melko helposti. Sadeasu ja saappaat lisäävät suojaa kemiallisia taisteluaineita vastaan muutamia tunteja. Taistelijan varsinaisia suojarusteita ovat suojaapuku, suojanaamari ja suojakäsineet. Suojanaamari suojaa taistelijan kasvot, silmät ja hengityselimet neste- kaasu tai aerosolimuodossa olevilta aineilta. Butyylikumista valmistettu suojanaamari M-95 (Kuva 31) kestää nestemäistä sinappikaasua useiden vuorokausien ajan. Toisaalta suojanaamarin suodatin asettaa myös rajoituksia. Taistelijan suorituskykyyn vaikuttavat mm. suodattimen aiheuttama hengitysvastus ja lisäksi hengitysilman hiilidioksidipitoisuuden kasvu. Hengitysilman hiilidioksidipitoisuus on suojanaamaria käytettäessä yleensä 0,6–1,0 tilavuusprosenttia, mikä johtuu sisänaamariin jääneen ilman uudelleen sisäänhengityksestä. Suojanaamarin vaikutus fyysiseen suorituskykyyn on kuitenkin melko vähäinen. [23, s. 140-143]



Kuva 30. Kaasunaamarin kehitys [87]

Kuvassa (Kuva 30) on esitetty kaasunaamarin kehityshistoriaa. Kuvassa ylhäällä vasemmalla on ensimmäisen taisteluainehyökkäyksen (Ypressin toinen taistelu) jälkeen joukoille jaettu puuvillavanusta valmistettu suokappale, jota kutsuttiin nimellä ”Black Veil Respirator”. Brittiläiset kehittivät ideaa eteenpäin ja tekivät siitä enemmän koko päätä suojaavan mallin, joka sai nimen ”Hypo Helmet” (ylhäällä oikealla). Useiden kehitysvaiheiden kautta kaasunaamari muuntui ja siinä alettiin käyttämään suodatinta - aluksi letkun päässä ja myöhemmin suoraan naamariin kiinnitettynä. [88]

Hengitysilman puhdistaminen tapahtuu suodattimen avulla. Suodatin koostuu aerosolisuodattimesta, aktiivihiilisuodattimesta ja rungosta. Nykyaikaisten aktiivihiileen perustuvien CBRN-suodattimien toiminta perustuu mikrohuokoisen materiaalin adsorptioon ja lisäaineisiin perustuvaan kemisorptioon eli kemialliseen adsorptioon. Hiukkasten suodatuksessa käytetään mikrolasikuituelementtejä, joilla saavutetaan jopa yli 99,999 % suodatustehokkuus. Pienhiukkaset ja aerosolimuodossa olevat kemialliset taisteluaineet jäävät aerosolisuodattimeen, mutta höy-

rystyneet taisteluaineet kulkeutuvat aktiivihiilikerrokseen saakka. [26, s. 485-486; 23, s. 144-145]

Aktiivihiilisuodattimen pidätyskapasiteetti vaihtelee taisteluaineesta riippuen muutamista grammoista kymmeneen grammoihin. Käsittelemätön aktiivihiili sitoo heikosti syaanivetyä ja kloorisyaania, mutta lisäämällä siihen kupari-, kromi- ja hopeayhdisteitä saavutetaan kemiallinen pidätyskyky myös näille aineille. Aktiivihiilen merkitys suodattimissa tulee säilymään myös tulevaisuudessa ja lisääaineiden ja menetelmien kehittyessä voidaan taisteluaineiden ja myrkyllisten teollisuuskemikaalien suodatusta parantaa edelleen. Aktiivihiilen veden adsorptiota ja lisääaineiden vanhenemisongelmia voidaan vähentää kuivattamalla tuloilmaa molekyyliseula-aineella eli zeoliitilla. [26, s. 485-486; 23, s. 144-145]

Nykyaikainen taistelijan suojarahustus perustuu suojanaamariin ja aktiivihiiliasuun. Suojanaamareissa käytetty bromopolybutadieeni antaa kemikaalien lisäksi suojaa myös lyhytaikaisesti liekkiä ja lämpösäteilypulssia vastaan. Kaksilasisissa naamareissa käytetään linssimateriaalina polykarbonaattia tai polyamidia, joiden kovuutta voidaan parantaa kovien pintakalvojen avulla. Puhallinsuojainten avulla voidaan poistaa hengitysvastus ja eliminoida hallitsemattomat vuodot, mutta niiden ongelmana on suuri tehon kulutus. Uusilla kalvolaminaattimateriaaleilla saavutetaan tehokas ja pitkäaikainen kemiallinen suoja. Sen lisäksi niistä on mahdollista valmistaa myös kertakäyttöasuja. [26, s. 483-484] Kuvassa (Kuva 31) on esitetty Puolustusvoimien käyttämä nykyaikainen suojanaamari M95.



Kuva 31. Suojanaamari M95, jonka suodatin voidaan kiinnittää kasvo-osan oikealle tai vasemmalle puolelle. Siinä voidaan lisäksi tarvittaessa käyttää näönkorjaimia ja se sisältää myös juomalaitteen, mikä mahdollistaa nesteiden nauttimisen. [89]

Suojelujoukot käyttävät taisteluaineilta suojautumiseen suoja-pukua, aktiivihiiliväliasia ja suojanaamaria. Suojapuku suojaa taisteluaineroiskeilta ja estää nestemäisen taisteluaineen pääsyn iholle. Höyrymuodossa olevan taisteluaineen pysäyttää viimeistään aktiivihiiliväliasia, joka suodattaa ja sitoo taisteluainepartikkelit. Taistelijan lähes täydelliseen eristämiseen ulkoilmasta voidaan käyttää butyylikumista valmistettuja kemikaalisuojapukuja. Kemikaalisuojapuvun käyttö on suositeltavaa, kun kyseessä on esimerkiksi tuntemattoman vaarallisen kemikaalin vuoto, tai kun taisteluaineen pitoisuus ilmassa on hyvin suuri. Suoja-asut ja etenkin höyryä läpäisemätön kemikaalisuojapuku nostaa taistelijan lämpökuormitusta ja rajoittaa näin puvun käyttöaika. Käsinemateriaalina voidaan käyttää butyylikumia tai kerroslaminaattia. Butyylikumista valmistetut kumisaappaat antavat suojaa kemiallisia taisteluaineita vastaan ainakin 24 tunnin ajaksi. [23, s. 146-151] Kuvassa (Kuva 32) on esitetty yleisimmin käytössä oleva kemikaalisuojapuku VPS.



Kuva 32. Kemikaalisuojapuku VPS [90]

Henkilöstön suojaumisaste vaikuttaa taisteluaineiden aiheuttamien tappioiden muodostumiseen. Suojelu- ja pelastustoimintaopas määrittää henkilöstön suojaumisasteen kolmiportaiseksi: hyvä, keskinkertainen ja huono. Hyvä suojaumisaste tarkoittaa käytännössä, että henkilöstö on hyväkuntoista sekä hyvin koulutettua ja se on suojaunut täydelliseen taistelijan suojaruustukseen, tarkkailee suojavälineiden kuntoa sekä sovittaa kasvo-osaa jatkuvasti ja majoittuu suoja-uissa korsuissa. Keskinkertainen suojaumisaste tarkoittaa tyydyttäväkun-

toista ja tyydyttävästi koulutettua henkilöstöä, joka käyttää tavanomaista taistelijan suojarustusta, tarkkailee suojavälineiden kuntoa sekä sovittaa kasvo-osaa 2–3 vrk välein ja majoittuu katetuissa suojissa. Huono suojausaste tarkoittaa fyysisesti väsynyttä ja huonosti koulutettua henkilöstöä, jolla ei ole suojarustusta tai se on puutteellinen ja esim. suojanaamareita ei ole sovitettu päälle. [41, s. 54] Taulukossa (Taulukko 15) on esitetty arvio henkilöstön suojausasteen vaikutuksesta tappioiden määrään.

Taulukko 15. Arvio mahdollisista tappioista elävälle voimalle, jotka aiheutuvat käytetäessä taisteluaaineita eri levitystavoin [41, s. 55]

Henkilöstön suojausaste	Kaatuneita tai vakavasti sairaita	Lievästi sairaita	Kaatuneita tai vakavasti sairaita	Lievästi sairaita
Käytetty aine ja sen levitystapa	Sariini ammuttaessa kaasukranaatit kenttätykistöpatterilla yhteislaukauksena 50 hehtaarin (700 x 700 m ²) alueelle		1000 kg VX-kaasua lentokoneesta levitettynä 1200 x 500 m alueelle	
Hyvä	5	20	10	30
Keskinkertainen	20–40	10–20	10–20	30–50
Huono	70	30	50–90	10–50

Elintarvikkeiden ja talousveden mahdollinen saastuminen on myös otettava huomioon. Ravinnon saastumisriskin vähentämiseksi on kiinnitettävä riittävästi huomiota omavalvontaan ja vartiointiin. Juomavettä voidaan puhdistaa käyttämällä mekaanista suodatusta, aktiivihii-lisuodatusta, UV-desinfiointia, otsonointia, käänteisosmoosia ja kemiallista desinfiointia. Kiinteissä rakennuksissa voidaan sisätila tarvittaessa eristää ympäristöstä käyttämällä sulku-tilaa, jolloin ilmanotto on suljettuna. Sulku-tilaa voidaan pidentää huolehtimalla hiilidioksidin poistosta ja hapen lisäyksestä. Karkealla esisuodattimella voidaan vähentää radioaktiivisten hiukkasten pääsyä varsinaiselle suodattimelle, missä ilma puhdistetaan aktiivihii- len avulla. Suodatusjärjestelmän puhallin on tärkeää varmistaa myös manuaalisella kammella sähkökatkosten varalta. Myös ajoneuvoihin ja laivoihin voidaan asentaa CBRN-suojaus, jonka teho perustuu hiukkas- ja kaasusuodattimen lisäksi lievään ylipaineistukseen. [26, s. 484-485]

Kollektiivisuodatusmenetelmistä on pyritty kehittämään jatkuvatoimisia ja ilman suodattimen vaihtoa toimivia. Uusi ajoneuvoihin ja lentokoneisiin soveltuva suodatusmenetelmä perustuu katalyyttiseen hapetukseen. Siinä vaaralliset aineet hapetetaan vedeksi ja hiilidioksidiksi sta-

biilin jalometallikatalyytin avulla 200–250°C lämpötilassa ja jälkisuodatin huolehtii muista lopputuotteista. Menetelmä tehoaa myös eläviin organismeihin, kuten bakteereihin. Toinen uusi menetelmä on syklinen suodatus, joka perustuu reversiibeliin (uusiutuvaan) fysikaaliseen adsorptio-desorptiosykliin. Kolmas uusi kollektiivisuodatusmenetelmä perustuu sähköiseen regenerointiin, joka on kehittyneempi versio aiemmin kehitetystä lämpötilan ja/tai paineen avulla regeneroitavista järjestelmistä. [26, s. 486-487]

Tärkeimmän suojan antaa riittävän aikainen ennakkovaroitus ilmaisu- ja tunnistamisvälineillä, jolloin mahdollistetaan joukkojen fysikaalinen suojautuminen. Keskeisin suojaväline yksittäiselle sotilaalle on hengitysilman aktiivihiilisuodatukseen perustuva suojanaamari. Puhdistusvälineillä ja –menetelmillä voidaan tehostetaa suojavälineiden antamaa suojaa. Hermokaasuja vastaan on myös kehitetty tehokkaita vastalääkkeitä. Tulevaisuudessa uudet nanosensorit ja itsepuhdistuvat pinnoitteet parantavat suojaa huomattavasti. Toisaalta nanoteknologia tuo mukanaan myös mahdolliset nanokaasut, mihin aktiivihiilisuodatin ei auta eikä niitä nykyiset ilmaisimet välttämättä tunnista. [26, s. 478-479]

Tulevaisuudessa suojaruustuksen kehitystä ohjaa pyrkimys taistelijan kuormituksen pienentämiseen ja suorituskyvyn parantamiseen. Kommunikointia parannetaan suojanaamarin sisällä mikrofoniin, näkökenttää laajennetaan taipuisalla visuurilla ja hengitysvastusta alennetaan käyttämällä kahta matalaprofiilista suodatinta yhden korkeaprofiilisen sijaan. Lisäksi suojavaatetuksessa siirrytään käyttämään valikoivasti läpäiseviin membraaneihin, jotka läpäisevät vesihöyryä, mutta eivät taisteluaineita. Hengityksen suojaukseen tullaan integroimaan koko pään alueen suojaus, sisältäen ballistisen suojauksen, lasersuojauksen, pimeänäkölaitteen, GPS-antennin sekä infrapunaherätettä pienentävän järjestelmän. Lisäksi tavoitteena on kasvattaa suojaruusteiden yhtäjaksoista käyttöaika aina 72 tuntiin. Nanoteknologinen kehitys tuo mukanaan veren pikatestin C-aineille ja mahdollistaa mm. asumateriaalin käyttämisen sensorina erilaisille aineille. [26, s. 485-489]

3.11 Puhdistaminen

Puhdistamisella tarkoitetaan henkilöstön, kaluston ja maaston puhdistamista saasteista kuten esimerkiksi kemiallisista taisteluaineista. Sen päämääränä on saastuneen henkilöstön toimintakyvyn ja esimerkiksi ajoneuvojen, välineiden ja tärkeiden kohteiden käytettävyyden palauttaminen. Puhdistaminen jaetaan välittömään puhdistamiseen, täydentävään puhdistamiseen ja perusteelliseen puhdistamiseen. Ensimmäinen toimenpide jouduttaessa taisteluainehyökkäyksen kohteeksi on nopea hengityksen ja ihon suojaaminen. Iholle, varusteiden ja välineiden

pinnoille tulleet roiskeet tulee poistaa välittömästi. Tämän välittömän puhdistamisen tarkoituksena on hengen pelastaminen ja vahinkojen minimoiminen. Täydentävä puhdistaminen tehtävän kannalta välttämättömille varusteille ja toimintaympäristön puhdistaminen voidaan suorittaa joukkoyksikön suojelehenkilöstön tukemana. Perusteellinen puhdistaminen ja esimerkiksi raskaan kaluston puhdistaminen toteutetaan suojelejoukkojen perustamalla puhdistuspaikalla tai -asemalla. Rakennusten, maaston ja muiden laajempien kohteiden puhdistamisen laajuus tulee harkita tapauskohtaisesti. [23, s. 164; 91, s. 41-42]

Kemiallisten taisteluaineiden puhdistamismenetelmät voidaan jakaa fysikaalisiin ja kemiallisiin menetelmiin. Taisteluaineiden hajottamiseen voidaan käyttää myös biokemiallista menetelmää. Luonnossa kemialliset taisteluaineet hajoavat ajan kanssa. Hajoamista voidaan nopeuttaa esimerkiksi kiihdyttämällä mikrobitoimintaa. Fysikaalisia menetelmiä ovat esimerkiksi imeyttäminen (adsorbointi), liuottaminen, pesu, saastuneen kohdan poistaminen, haihduttaminen ja peittäminen. Kemiallisia menetelmiä ovat vedellä hajottaminen eli hydrolyysi sekä hapettaminen. Kemiallisessa puhdistusmenetelmässä taisteluaine muuttuu vaarattomaksi yhdisteeksi. [23, s. 167,170]

Imeyttämisessä voidaan käyttää mm. Fullerin maata, bentoniittia, silikageeliä, talkkia, titaanioksidia, magnesiumoksidia, kalsiumoksidia, TCAH:ta (tetrakalsiumalumiinihydraatti), vehnä jauhoa, aktiivihieletä sekä useita eri hartseja. Liuottamiseen voidaan käyttää orgaanisia liuottimia kuten halogeenihieletä (mm. freoni), hieletä (mm. valopetrooli), alkoholeja ja amiineja (ml. ammoniakki). Taisteluaineiden poistamiseen voidaan käyttää myös saippuavettä. Kun saippuaveteen sekoitetaan sopivassa suhteessa liuotinta ja tehoaineita, saadaan aikaan emulsio. Nykyisin emulsiossa käytetään liuottimena ksyleeniä. Tehoaineena voidaan käyttää esimerkiksi kalsium- tai natriumhypokloriittia. Kalsiumhypokloriitti soveltuu paremmin talviolosuhteisiin. Levitettäessä emulsio muodostaa kohteen pinnalle suojakalvon, joka estää taisteluaineiden haihtumista. Taisteluaine liukenee ja hajoaa emulsiossa 20-30 minuutissa yli 95-prosenttisesti. [23, s. 167-169]

Taisteluaineet hydrolysoituvat veteen hitaasti. Reaktiota voidaan nopeuttaa lisäämällä veden emäksisyyttä esimerkiksi saippualla. Rikkisinappikaasun teoreettinen puoliintumisaika vedessä on 4,5 minuuttia. Sinappikaasu on huono liukenemaan veteen, minkä vuoksi hydrolyysi tapahtuu käytännössä paljon hitaammin. Liukenevuutta voidaan parantaa saippualla, mutta tällöin sinappikaasulla esiintyy nk. kapseloitumisilmiö, joka hidastaa hajoamista. Sariinin puoliintumisaika neutraalissa vedessä (pH 7) on 4400 minuuttia ja lievästi emäksisessä (pH 9,5) 26 minuuttia. VX:n puoliintumisaika on vastaavasti 350 vuorokautta ja 2 vuorokautta.

VX:n hydrolyysissä syntynyt hajoamistuote on lähes yhtä myrkyllinen kuin VX itse. [23, s. 170]

3.12 Laitteiden käytettävyys ja luotettavuus

Taisteluaineiden ilmaisuun käytettävät automaattiset kaasunilmaisimet ovat hyvin teknisiä välineitä, jotka on pyritty tekemään mahdollisimman herkiksi, jotta ilmaisu saataisiin mahdollisimman pienillä pitoisuuksilla. Samalla kuitenkin laitteiden luotettavuus kärsii. Mitä herkemäksi laitteet säädetään, niin sitä herkemmin ne myös antavat virheellisiä ilmaisuja. Laitteita voidaan säätää tilanteen mukaan, mutta se edellyttää niiden viemistä ylemmän tason huoltopaikkaan. [92]

Koska laitteet on säädetty herkiksi, niin myös taisteluaineiden suuret pitoisuudet aiheuttavat ongelmia. Esimerkiksi AKS on hyvin herkkä lähes kaikille suurina pitoisuuksina oleville kemikaaleille. Laitteen sijoittelulla ja kemikaalien käsittelyä välttämällä voidaan kuitenkin vähentää vääriä hälytyksiä. Myös tietyn tyyppiset kemikaalit aiheuttavat ongelmia. Ongelmat johtuvat näiden kemikaalien osamolekyylien sisältämisestä samankaltaisuuksista taisteluaineiden kanssa. Erityisesti hiilivedyt aiheuttavat ongelmia. Häiriöaineita AKS:lle ovat esim. puhdistuskemikaalit, lattiovaha, tuulilasin pesuneste, polttoaineet ja pakokaasut. [93; 92] Lisäksi tavalliset alkoholit ja niitä sisältävät aineet, kuten lasinpesunesteet ja palonsammutusvaahto AFFF, voivat aiheuttaa väärän positiivisen hälytyksen. [94]

Tietyt kemikaalit aiheuttavat taisteluaineiden ilmaisimille ongelmia, niiden kemiallisen rakenteensa vuoksi. Esimerkiksi vetysyanidi on hyvin hankala ilmaista ioniliikkuvuuteen perustuvilla laitteilla. Ongelmat johtuvat siitä, että vetysyanidin molekyylit eivät ionisoidu riittävästi, jolloin niitä ei voi havaita tai mitata. Ainoastaan hyvin suuret pitoisuudet (50 mg/m^3) voidaan ilmaista, mutta silloinkin tunnistus jää yleensä saamatta. Sinappikaasut ja G-tyypin hermokaasut ovat tyyppillisesti helpompia ilmaista ja tunnistaa. Myös hyvin suuret pitoisuudet tiettyjä kemikaaleja, kuten klooria tai ammoniakkia saattavat peittää alleen jonkin toisen aineen. Tämänlaisessa tilanteessa saadaan kuitenkin hälytys (Chemprossa ”Kemiallinen vaara” -hälytys), mutta tällöin ainetta ei välttämättä kyetä tunnistamaan. [92]

Koska Chempro kierrättää ilman laitteiston läpi, ei sitä voida käyttää esimerkiksi hyvin pölyisissä tiloissa tai esimerkiksi hiekkamyrskyssä. Tällöin hiekka- tai pölypartikkelit voivat joutua laitteeseen ja tukkia ilmanoton. [68] Tätä ongelmaa ei esiinny esim. laserspektrometriaa käytävissä laitteissa. Myös infrapunaspektrometriset laitteet, kuten Hazmat ID toimivat tämän

tyyppisissä tilanteissa, jos vain näyte saadaan pidettyä puhtaana ylimääräisistä pöly- tai hiekkapartikkeleista. Ymmärrettävästi kaikilla laitteilla voi tulla ongelmia, jos näytteeseen sekoituu ylimääräisiä aineita.

Chempro:n sensorivaste on suoraan riippuvainen havaitun aineen myrkyllisyydestä. Pitoisuuden kasvu kasvattaa myös sensorivastetta. Vaikka laite ei tunnistaisikaan ainetta, antaa se ”Kemiallinen vaara” -hälytyksen. Hälytyksen pitäisi tulla ainoastaan tapauksissa, jolloin havaittu kemikaali on terveydelle vaarallista ja sen pitoisuus ylittää terveydelle haitallisen rajan. Myös hyvin suuret pitoisuudet taisteluaineita voivat aiheuttaa ”Kemiallinen vaara” -hälytyksen. [68] Toisin sanoen jos ilmassa on hyvin suuria pitoisuuksia ainetta, joka on pienissä määrin terveydelle vaaratonta, niin laite hälyttää vaikka ei tunnistaisikaan sitä.

Jos Chempro käynnistetään ympäristössä, jossa taustailma on saastunutta, mahdollisuus aineiden tunnistuksen puuttumiseen (false negative) kasvaa. Todennäköisin ilmaisu tällöin on ”Kemiallinen vaara” -hälytys, jolloin aineentunnistusta ei saada. Myös aineen pitoisuuden hidas kasvu voi aiheuttaa tunnistuksen puuttumisen, koska laite kalibroii itseään koko ajan taustailmaan. Väärä negatiivinen tunnistus voi ilmetä, jos hälytykseen riittävän pitoisuuden haihtumiseen kuluu yli kuusi minuuttia. CWA-kaasukirjastoa käytettäessä voi akrylinitriini korkeina pitoisuuksina aiheuttaa väärän hermokaasutunnistuksen (false positive). Liuottimet ja polttoainehöyryt voivat aiheuttaa CWA-kaasukirjastolla ”Syövyttävä tst. aine” -hälytyksen. TIC-kaasukirjastolla voivat rikkidioksidi ja levisiitti aiheuttaa pieninä pitoisuuksina väärän tunnistuksen. [68]

Kun verrataan laitteita niiden ilmoitettujen herkkyksien mukaan (Liitteet 3 ja 4), niin AKS:n ja Chempron välillä ei ole suuria eroja. AKS ilmaisee VX-hermokaasun pienemmissä pitoisuuksissa ($0,04 \text{ mg/m}^3$ vs. 1 mg/m^3), mutta tällöin vasteaika on kohtuuttoman suuri (jopa 90 sekuntia). G-tyyppin hermokaasuilla vasteaika on pienemmissä pitoisuuksissa ($0,1 \text{ mg/m}^3$) selkeästi pienempi ($\leq 30 \text{ s}$) ja suuremmissa pitoisuuksissa (1 mg/m^3) aina $\leq 10 \text{ s}$. AKS ilmaisee myös VX:n alle tai tasan kymmenessä sekunnissa. Syövyttävien kaasujen havaitseminen etenkin pienissä pitoisuuksissa on selkeästi hankalampaa. Esimerkiksi AKS:n vasteaika sinappikaasulle ja levisiitille 2 mg/m^3 pitoisuudessa on ≤ 120 sekuntia. Kokemuksien mukaan pienillä pitoisuuksilla laitteen palautuminen mittauskuntoon esimerkiksi AKS:llä tapahtuu tyypillisesti alle yhdessä minuutissa, kun taas suuremmissa pitoisuuksissa se voi kestää jopa 30 minuuttia [94].

Myös tämän työn tutkija on työssään törmännyt laitteiden epäluotettavuuteen. Esimerkiksi koulutustilanteissa on Chempro antanut helposti vääriä positiivisia hälytyksiä. Näitä hälytyksiä on tullut juuri näiden ohjekirjoissa mainittujen aineiden kanssa, kuten pihatiloissa tapahtuvassa koulutuksessa ilmeisesti pakokaasut ovat aiheuttaneet hälytyksiä ja sisätiloissa lattioiden vahauksen jälkeen on laitteilla tullut hermokaasuhälytyksiä. Myös kaasunilmaisupaperilla on tullut vääriä positiivisia ilmaisuja esimerkiksi hyttysmyrkyllä. Nämä ongelmat on tiedostettu ja koulutuksessa on mm. painotettu, että lähistöllä olevat ajoneuvot tulee sammuttaa kun näitä välineitä käytetään. Myös puhdistusasemalla normaalitoimenpiteisiin kuuluu, että tarkastuspisteelle saapuvan ajoneuvon moottori käsketään sammuttaa ennen tarkistamisen aloittamista. Tutkija on havainnut vääriä tunnistuksia käyttäessään SUTI:n massaspektrometria.

Tutkijan mielestä tällä hetkellä käytettävät laitteet ovat hyviä ilmaisemaan myrkyllisiä aineita, mutta ne eivät ole kuitenkaan kovin luotettavia. Hieman enemmän laitteita käytettyään ja niiden toimintaan perehtyessään voi käyttäjä kuitenkin oppia tunnistamaan virheilmaisut. Ilmaisut on joka tapauksessa aina hyvä tarkastaa toisella välineellä (mieluiten manuaalisilla välineillä), jotta voidaan olla täysin varmoja hälytyksen paikkansapitävyydestä. Myös suojelomiehet koulutetaan tarkastamaan aina automaattisen kaasunilmaisimen antamat hälytykset myös kaasunilmaisuputkilla.

3.13 Yhteenveto

Taisteluaineiden tunnistamiseen on käytössä monenlaisia tekniikoita, joista ioniliikkuvuuspektrometria on yleistynyt kentällä käytetyissä välineissä. Tätä tekniikkaa soveltavien laitteiden käytössä on kuitenkin haasteita. Haasteita tuovat mm. kentällä normaalisti esiintyvät häiriöaineet, kuten savut ja pakokaasut. Myös infrapunatekniikan käytössä on haasteita, joita aiheuttaa esim. veden absorptio. Varmatoimisimpia ilmaisimista ovat nk. manuaaliset ilmaisimet, kuten kaasunilmaisuputket ja kaasunilmaisupaperi.

Teknologisen kehittymisen ja sen mahdollistaman miniatyrisoinnin myötä taisteluaineiden tunnistusvälineet tulevat pienenemään entisestään. Nyt kun puhutaan kannettavasta laitteesta, niin tarkoitetaan puuklapin eli halon kokoista laitetta (vertaa NMT-puhelimet aikanaan), kun tulevaisuudessa saman asian voi ajaa pienen pieni laatikko (esim. älypuhelin). Lisäksi laitteiden luotettavuus ja nopeus tulee paranemaan huomattavasti. Laskentateho kasvaa suorittimien nopeuden kasvaessa ja tunnistustarkkuus menetelmien sekä sensorien kehittyessä. Karrikoidusti ei tarvitse enää soittaa suojeluhälytyssireeniä viiden minuutin välein, kun väline sekoittaa pakokaasut ja hermokaasut keskenään.

Tulevaisuudessa miehittämättömät robotit ja ilmalennokit ja/tai sensoriryppäät (vert. Smith Detectionin Chemalert) mahdollisesti kykenevät kommunikoimaan keskenään ja pystyvät muodostamaan suuren verkon, minkä avulla CBRN-tilannekuvaa pystyttäisiin seuraamaan reaaliaikaisesti vaikkapa älypuhelimien näytöltä. Jokaisella taistelijalla oleva henkilökohtainen CBRN-tunnistin (esim. kaulusnappi) mahdollistaisi hälytyksen suorittamisen niin paikallisesti kuin välittämään sen myös komentopaikalle ja sitä kautta koko joukolle. Näin pystyttäisiin maksimoimaan teknologiset hyödyt ja minimoimaan vihollisen mahdollisuudet käyttää taisteluaineita.

Aktiivihiihden merkitys suodattimissa tulee säilymään myös tulevaisuudessa. Taistelijan suorituskykyä tullaan parantamaan hengityssuojauksen osalta esim. laajentamalla suojanaamarin näkökenttää, alentamalla hengityssuojaimen vastusta sekä integroimalla siihen koko pään alueen suojaus. Tavoitteena on myös kasvattaa suojavälineiden yhtäjaksoista käyttöaika 72 tuntiin, mihin vaikuttaa osaltaan myös akkukapasiteetin kehitys. Tulevaisuudessa lasertekniikkaan pohjautuviin järjestelmiin pyritään integroimaan ilmaisukyky niin kemiallisille, biologisille kuin radiologisille (säteily) aseille.

Puhdistusmenetelmät, jotka ovat yksinkertaisuudessaan tapoja puhdistaa saastuneita kohteita, ovat myös tärkeä osa kokonaissuojaa. Puhdistamisen päämääränä on toimintakyvyn palauttaminen, jolloin puhdistamistoimenpiteet on tärkeää aloittaa mahdollisimman pian saastumisesta. Perinteinen puhdistusaine, jota ihmiset käyttävät päivittäin normaalissa elämässään, on saippuavesi. Taisteluaineiden puhdistamiseen voidaan käyttää myös liuottimia, alkoholeja tai hiilivetyjä (polttoaineet). Niiden puhdistamiseen on myös kehitetty tehokkaampia aineita, kuten puhdistusemulsio, joka myös aktiivisesti hajottaa taisteluainetta.

Koska taisteluaineiden ilmaisimien tavoite on ilmaista aineet ennen kuin ne aiheuttavat oireita ihmisissä, on ne myös jouduttu säätämään hyvin herkiksi. Tämä aiheuttaa helposti myös vääriä hälytyksiä. Väärät hälytykset saattavat kyllästyttää taistelijat, jolloin kaikkiin hälytyksiin ei välttämättä reagoida niiden vaatimalla tavalla. Laitteita voidaan kuitenkin tarvittaessa säätää tilanteen mukaan, mutta se

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Puolustusvoimilla on käytössä monenlaisia ilmaisuvälineitä, niiden erilaisia käyttötilanteita varten. Automaattisten kaasunilmaisimien pääsääntöisenä taisteluaineiden ilmaisutekniikkana käytetään ioniliikkuvuusspektrometriaa, joka on havaittu nopeaksi ja herkäksi. Keskeiset välineet ovat AKS ja Chempro. Näiden automaattisten kaasunilmaisimien ohella käytetään myös manuaalisia ilmaisuvälineitä: kaasunilmaisuputkia, kaasunilmaisupaperia ja kaasunilmaisuliuskoja.

Taisteluaineiden tunnistaminen kenttäkäyttöisin laittein on haastavaa. Ongelmia välineiden luotettavalle ilmaisulle tuottavat (käytetystä tekniikasta riippuen) esimerkiksi ilmankosteus, useiden kemikaalien yhtäaikainen käyttö ja kentällä normaalisti esiintyvät kaasut (esim. pakokaasu). Ongelmina voi esiintyä esimerkiksi vääriä positiivisia ilmaisuja, ilmaisu ilman aineen tunnistamista tai jopa vääriä negatiivisia ilmaisuja eli ilmaisuuden pois jäämistä kokonaan. Haasteita voi ioniliikkuvuuteen perustuvissa välineissä tuottaa myös taustailmassa normaalisti esiintyvät partikkelit. Tämä johtuu siitä, että mittauksessa voi esiintyä monia samankokoisia molekyylejä, jolloin niiden liikkuvuus on sama.

Automaattiset kaasunilmaisimet toimivat hyvin ennakkovaroittimina, mutta niiden herkkyys ja toistuvat väärät hälytykset saattavat kyllästyttää taistelijat. Väärät positiiviset ilmaisut voivat aiheuttaa myös turhaa paniikkia taistelijoiden keskuudessa ja väärät negatiiviset taas voivat aiheuttaa suuriakin tappioita, kun suojautumattomat taistelijat altistuvat taisteluaineille. Tällä hetkellä ei kuitenkaan ole olemassa yhtään ilmaisinta, joka kykenisi tunnistamaan kaikki taisteluaineet ja myrkylliset teollisuuskemikaalit täydellisesti. Näin ollen aina on hyvä käyttää useampia laitteita tukemaan toisiaan ja tarkastamaan ilmaisuuden paikkansapitävyys.

Ottaen huomioon laitteille tehdyt testit ja kenttäkokemukset, voidaan tehdä johtopäätös että tunnistamisvälineissä on parannettavaa. Varmaan tunnistukseen ja luotettaviin tuloksiin voidaan päästä ainoastaan laboratoriolaitteita käyttäen. Kenttäkäyttöisillä välineillä voidaan saada suuntaa antavaa tietoa taisteluaineiden käytöstä ja niillä voidaan myös varmentaa muilla tavoin tehtyjä havaintoja. Varmimmin ilmaisuuden saa infrapuna-aluetta käyttävillä ilmaisulaitteilla, koska se on käytetyistä menetelmistä häiriöille epäherkin. Ioniliikkuvuuteen perustuvat ilmaisuvälineet ovat herkkiä mm. ilmankosteudelle ja esimerkiksi pakokaasuille, mutta niiden luotettavuutta pystytään parantamaan käyttämällä ilmankuivaimia tai kosteusantureita. Laserspektrometriaa käyttävien välineiden ilmaisukyky on havaittu luotettavaksi.

Kun tiedostetaan automaattisten kaasunilmaisuvälineiden herkkyys ja ongelmia aiheuttavat tilanteet sekä tunnetaan häiriöitä aiheuttavat aineet, voidaan laitteita käyttää myös luotettavasti. Tällöin vain vältetään laitteen käyttöä alueilla, joilla kemikaalien pitoisuus saattaa olla suuri ja varmennetaan havainnot aina epäilyttävissä tilanteissa. Kenttäkäyttöisten ilmaisuvälineiden heikon tunnistusvarmuuden vuoksi onkin niiden antama ilmaisu aina hyvä tarkastuttaa viemällä ilmaisun antaneesta aineesta näytteet esimerkiksi kenttälaboratorioon, oman toimen ohella toimivaan laboratorioon tai vastaavaan, jotta käytetty aine voidaan varmuudella tunnistaa.

Ilmaisutekniikoiden yhdistäminen voisi kuitenkin vähentää laitteiden antamaa ilmaisuherkkyttä ja näin parantaa niiden luotettavuutta. Tulevaisuudessa voisikin tutkia olisiko mahdollista rakentaa kenttäkäyttöinen taisteluaineiden ilmaisin, jossa käytettäisiin useampaa tekniikan yhdistelmää.

LÄHTEET

- [1] Wikipedia. *Chemical warfare* [verkkojulkaisu]. [viitattu 18.2.2013]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_warfare.
- [2] OPCW. *Convention on the prohibition of the development, production, stockpiling and use of chemical weapons and on their destruction* [verkkojulkaisu]. [viitattu 18.2.2013]. Saatavissa: http://www.opcw.org/index.php?eID=dam_frontend_push&docID=6357.
- [3] OPCW. *Non-member States* [verkkojulkaisu]. [viitattu 10.7.2013]. Saatavissa: <http://www.opcw.org/about-opcw/non-member-states/>.
- [4] BBC. *Syria conflict: "Chemical attacks kill hundreds"* [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.12.2013]. Saatavissa: <http://www.bbc.co.uk/news/world-middle-east-23777201>.
- [5] Helsingin Sanomat. *Lehti: Syyrian kemialliset aseet hävitettäväksi merelle* [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.12.2013]. Saatavissa: <http://www.hs.fi/ulkomaat/Lehti+Syyrian+kemialliset+aseet+h%C3%A4vitett%C3%A4v%C3%A4ksi+merelle/a1384916784709>.
- [6] Puolustusvoimat. *Maavoimien suojeluosasto valmistautuu osallistumaan Syyrian kemiallisten aseiden hävittämiseen* [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.12.2013]. Saatavissa: http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/su%20puolustusvoimat.fi/pv.fi%20staattinen%20si_vusto%20su/puolustusvoimat/tiedotteet/maavoimat%20valmistautuu%20osallistumaan%20syyrian%20kemiallisen%20asekyvyn%20havittamiseen.
- [7] Wikipedia. *Kemiallinen ase* [verkkojulkaisu]. [viitattu 25.7.2013]. Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Kemiallinen_ase.
- [8] Hoenig, S. *Handbook of Chemical Warfare and Terrorism*. Westport CT: Greenwood Press, 2002. ISBN 03130 11354 (E-kirja).
- [9] Wikipedia. *Chemical weapons in World War I* [verkkojulkaisu]. [viitattu 8.10.2013]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_weapons_in_World_War_I.
- [10] Wikipedia. *Nerve Agent* [verkkojulkaisu]. [viitattu 29.10.2013]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Nerve_agent.
- [11] Tomlinson, S. *Last nerve gas landmine destroyed at Umatilla facility* [verkkojulkaisu]. Julkaistu 6.10.2008. [viitattu 17.12.2013]. Saatavissa: http://www.oregonlive.com/news/index.ssf/2008/11/last_nerve_gas_landmine_destro.html.
- [12] Wikipedia. *M55 Rocket* [verkkojulkaisu]. [viitattu 17.12.2013]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Photo_m55_rocket_disassembly_cse.jpg.

- [13] Wikipedia. *Weteye bomb* [verkkojulkaisu]. [viitattu 17.12.2013]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/File: Bomb_Weteye.jpg.
- [14] Suomen YK-liitto. *Todisteita kemiallisten aseiden käytöstä Syyriassa löytynyt* [verkkojulkaisu]. Julkaistu 5.6.2013. [viitattu 10.7.2013]. Saatavissa: <http://www.ykliitto.fi/uutiset-ja-tiedotus/uutisarkisto/todisteita-kemiallisten-aseiden-kaytosta-syyriassa-loytynyt>.
- [15] Wikipedia. *Sarin gas attack on the Tokyo subway* [verkkojulkaisu]. [viitattu 31.10.2013]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Sarin_gas_attack_on_the_Tokyo_subway.
- [16] OPCW. *OPCW Member States* [verkkojulkaisu]. [viitattu 19.12.2013]. Saatavissa: <http://www.opcw.org/about-opcw/member-states/>.
- [17] Wikipedia. *Syria and weapons of mass destruction* [verkkojulkaisu]. [viitattu 19.12.2013]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Syria_and_weapons_of_mass_destruction.
- [18] Wikipedia. *Libya and weapons of mass destruction* [verkkojulkaisu]. [viitattu 19.12.2013]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Libya_and_weapons_of_mass_destruction.
- [19] Wikipedia. *Russia and weapons of mass destruction* [verkkojulkaisu]. [viitattu 19.12.2013]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Russia_and_weapons_of_mass_destruction.
- [20] Russian Munitions Agency. *Facilities of CW Stockpiling and Destruction* [verkkojulkaisu]. [viitattu 19.12.2013]. Saatavissa: <http://www.munition.gov.ru/eng/objects.html>.
- [21] The Weapons of Mass Destruction Commission. *Kauhun aseet* [verkkojulkaisu]. [viitattu 17.12.2013]. Saatavissa: http://www.blixassociates.com/wp-content/uploads/2011/02/WOT_finska.pdf.
- [22] Wikipedia. *Hyperspectral imaging* [verkkojulkaisu]. [viitattu 17.4.2014]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Hyperspectral_imaging.
- [23] Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus. *Suojelun käsikirja*. Vaasa: Ykkös-Offset Oy, 1996. 217 s. ISBN 951-25-0839-7.
- [24] Hill, J. & Kolb, D. *Chemistry for changing times*. 7th edition. New Jersey: Prentice Hall, 1995. 720 s. ISBN 0-02-355100-3.
- [25] Wikipedia. *Lowest published lethal dose* [verkkojulkaisu]. [viitattu 23.3.2014]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Lowest_published_lethal_dose.

- [26] Kari, M., Hakala, A., Pääkkönen, E. & Pitkänen, M. (toim.). *Sotatekninen arvio ja ennuste 2025, STAE 2025 Osa 1: Teknologian kehitys*. Puolustusvoimien Teknillisen Tutkimuslaitoksen Julkaisuja 14. Helsinki: Edita Prima Oy, 2008. 564 s. ISBN 978-951-25-1888-3.
- [27] Sosiaali- ja terveysministeriö. *CBRNE-Ensitoimintaopas*. Helsinki: Unigrafia, 2011. 64 s. ISBN 978-952-10-6230-8. Turvaluokiteltu STIV.
- [28] United States National Library of Medicine. *ChemIDplus Advanced* [verkkojulkaisu]. [viitattu 2.1.2014]. Saatavissa: <http://chem.sis.nlm.nih.gov/chemidplus/>.
- [29] U.S. National Library of Medicine. *PubChem* [verkkojulkaisu]. [viitattu 21.1.2014]. Saatavissa: <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>.
- [30] Royal Society of Chemistry. *ChemSpider* [verkkojulkaisu]. [viitattu 23.3.2014]. Saatavissa: <http://www.chemspider.com/>.
- [31] Pääesikunnan terveydenhuolto-osasto. *Suojelulääkintäopas*. Helsinki: Pääesikunta, 2001. 57 s. ISBN 951-25-1278-5.
- [32] U.S. Department of Health and Human Services. *Agency for Toxic Substances & Disease Registry* [verkkojulkaisu]. [viitattu 23.3.2014]. Saatavissa: <http://www.atsdr.cdc.gov/>.
- [33] Vakavien kemiallisten uhkien osaamiskeskus (C-osaamiskeskus). *Biologiset ja kemialliset agenssit ja sabotaasi* [verkkojulkaisu]. [viitattu 2.1.2014]. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/partner/cosk/lisatietoa/Documents/eto12.pdf>.
- [34] Jousela, I. *Kemialliset joukkotuhoaseet -ajankohtaiskatsaus anestesiologin näkökulmasta* [verkkojulkaisu]. Julkaistu 2005. [viitattu 17.12.2013]. Saatavissa: http://www.finnanest.fi/files/a_jousela.pdf.
- [35] Riihimäki, V. & Jousela, I. *Kemikaalien aiheuttama joukkomyrkytys* [verkkojulkaisu]. Julkaistu 2004. [viitattu 18.12.2013]. Saatavissa: <http://www.ebm-guidelines.com/xmedia/duo/duo94118.pdf>.
- [36] DuoDote. *Nerve Agents Affect the Cholinergic Nervous System* [verkkojulkaisu]. [viitattu 18.12.2013]. Saatavissa: <http://www.duodote.com/how-nerve-agents-affect-the-body.aspx>.
- [37] Terveyden ja hyvinvoinnin hoitolaitos. *Botulismi* [verkkojulkaisu]. [viitattu 2.1.2014]. Saatavissa: http://www.thl.fi/fi_FI/web/infektiotaudit-fi/botulismi.
- [38] Työterveyslaitos. *OVA-ohjeet: Käyttäjän opas* [verkkojulkaisu]. Julkaistu 2012. [viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/ova/kaytop.html>.

- [39] Army Recognition. *Scud B SS-1 ground-to-ground mobile medium range ballistic missile* [verkkojulkaisu]. [viitattu 18.12.2013]. Saatavissa: http://www.armyrecognition.com/russia_russian_missile_system_vehicle_uk/scud_scud-a_scud-b_ss-1_9k72_r-11_ground_to_ground_medium_range_ballistic_missile_data_sheet_uk.html.
- [40] Army Recognition. *Afghanistan army military armoured equipment pictures* [verkkojulkaisu]. [viitattu 18.12.2013]. Saatavissa: <http://www.armyrecognition.com/forum/viewtopic.php?t=1037>.
- [41] Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus. *Suojelu- ja pelastustoimintaopas*. Nurmijärvi: Kirjakas Ky, 1999. 213 s. ISBN 951-25-1120-7.
- [42] Jäppinen, A. *Taisteluaineiden leviäminen*. Ylöjärvi: Puolustusvoimien tutkimuslaitos. 2007. Luentomateriaali.
- [43] Wikipedia. *Ion-mobility spectrometry* [verkkojulkaisu]. [viitattu 11.11.2012]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Ion-mobility_spectrometry.
- [44] Wikipedia. *Lidar* [verkkojulkaisu]. [viitattu 15.4.2014]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Lidar>.
- [45] Wikipedia. *Sähkömagneettinen spektri* [verkkojulkaisu]. [viitattu 11.11.2012]. Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_spektri.
- [46] Brady, J. & Holum, J. *Chemistry: The Study of Matter and Its Changes*. 2nd edition. New York: John Wiley & Sons Inc., 1996. 955 s. ISBN 0-471-10042-0.
- [47] Ikäheimonen, T. *Säteily ja sen havaitseminen*. Hämeenlinna, Karisto Oy, 2002. [viitattu 11.4.2014] Saatavissa: http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja1/_files/12222632510020944/default/kirja1_1.pdf.
- [48] Kosola, J. & Solante, T. *Digitaalinen taistelukenttä: Informaatioajan sotakoneen tekniikka*. Helsinki: Edita Prima Oy, 2003. 532 s. ISBN 951-25-1449-4.
- [49] Saarinen, H. & Lajunen, L. *Analyttisen kemian perusteet*. 4. muuttamaton painos. Oulu: Oulun yliopistopaino, 2004. 198 s. ISBN 951-42-7594-2.
- [50] Wikipedia. *Valenssielektroni* [verkkojulkaisu]. [viitattu 10.7.2013]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Valenssielektroni>.
- [51] Opetushallitus. *Spektrometriset menetelmät* [verkkojulkaisu]. [viitattu 15.2.2013]. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_5-1_yleista_spektroskopiasta.html.

- [52] Wikipedia. *Sähkömagneettinen säteily* [verkkojulkaisu]. [viitattu 8.4.2014]. Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_s%C3%A4teily#S.C3.A4hk.C3.B6magneettisen_s.C3.A4teilyn_1.C3.A4hteet.
- [53] Glenn, E. *Electromagnetic Spectrum*. The Physics Hypertextbook. [viitattu 8.4.2014] Saatavissa: <http://physics.info/em-spectrum/>.
- [54] Wikipedia. *Ionisoiva säteily* [verkkojulkaisu]. [viitattu 11.11.2012]. Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Ionisoiva_s%C3%A4teily.
- [55] Eiceman, G., Karpas, Z. & Hill Jr., H. *Ion Mobility Spectrometry*. 3rd edition. Boca Raton: CRC Press, 2014. 428 s. ISBN 978-1-4398-5997-1.
- [56] Wikipedia. *Spektrometri* [verkkojulkaisu]. [viitattu 5.2.2013]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Spektrometri>.
- [57] Wikipedia. *Spektrosgrafi* [verkkojulkaisu]. [viitattu 5.2.2013]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Spektrografi>.
- [58] Wikipedia. *Spektroskopia* [verkkojulkaisu]. [viitattu 5.2.2013]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Spektroskopia>.
- [59] Wikipedia. *Absorptiospektri* [verkkojulkaisu]. [viitattu 19.7.2013]. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Absorptiospektri>.
- [60] Wikipedia. *Beerin ja Lambertin laki* [verkkojulkaisu]. [viitattu 17.7.2013]. Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Beerin_laki.
- [61] Proengin. *AP4C* [verkkojulkaisu]. [viitattu 16.2.2013]. Saatavissa: <http://www.proengin.com/images/pdf/proengin%20fiche%20ap4c.pdf>.
- [62] Opetushallitus. *Liekkifotometria* [verkkojulkaisu]. [viitattu 15.2.2013]. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_5-2_liekkifotometria.html.
- [63] Wikipedia. *Emission spectrum* [verkkojulkaisu]. [viitattu 15.2.2013]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Emission_spectroscopy.
- [64] Smiths Detection. *Ion Mobility Spectrometry* [verkkojulkaisu]. [viitattu 18.2.2013]. Saatavissa: <http://www.smithsdetection.com/IMS.php>.
- [65] Environics Oy. *M90-D1-C, Kaasunilmaisimien käyttäjän käsikirja*. 2003. Käyttöohje.
- [66] Seulanto, H. *Suojelutekniikan kehitystyön tuloksia*. Sensori, 2013. Vol. 2, s. 30. ISSN 1458-5391.
- [67] Environics. *Chempro 100*. Esite. [viitattu 18.11.2012]. Saatavissa: <http://www.environics.fi/images/stories/datasheets/ChemPro100-Chemical->

Detector.pdf.

- [68] Environics Oy. *Chempro 100*. Käyttäjän käsikirja. 13.12.2006.
- [69] Smiths Detection. *LCD 3.3*. Esite. [viitattu 16.2.2013]. Saatavissa: http://www.smithsdetection.com/LCD3_3.php.
- [70] Wikipedia. *Infrared spectroscopy* [verkkojulkaisu]. [viitattu 13.2.2013]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_spectroscopy.
- [71] *Molekyylitasolla tapahtuvat värähtelyt*. Kuva. [viitattu 15.2.2013] Saatavissa: <http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0039602899011309-gr3.jpg>.
- [72] Ilwaine, P. *Mass spectrometry and infra-red spectroscopy as instrumental methods of analysis* [verkkojulkaisu]. [viitattu 15.2.2013]. Saatavissa: <http://www.lcc.ukf.net/Chem14/IR&MassSpec.htm>.
- [73] Wikipedia. *Monokromaattori* [verkkojulkaisu]. [viitattu 26.2.2013]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Monokromaattori>.
- [74] Wikipedia. *Ramansironta* [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.12.2013]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Ramansironta>.
- [75] Smiths Detection. *Raman spectroscopy* [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.12.2013]. Saatavissa: <http://www.smithsdetection.com/en/raman.html>.
- [76] Wikipedia. *Attenuated total reflectance* [verkkojulkaisu]. [viitattu 7.4.2014]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Attenuated_total_reflectance.
- [77] Wikipedia. *Electromagnetic absorption by water* [verkkojulkaisu]. [viitattu 12.4.2014]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_absorption_by_water.
- [78] Wikipedia. *Fourier transform infrared spectroscopy* [verkkojulkaisu]. [viitattu 18.11.2012]. Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/FTIR>.
- [79] Wikipedia. *Fourier transform spectroscopy* [verkkojulkaisu]. [viitattu 15.2.2013]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_transform_spectroscopy.
- [80] Wikipedia. *Near-infrared spectroscopy* [verkkojulkaisu]. [viitattu 15.2.2013]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Near-infrared_spectroscopy.
- [81] Wikipedia. *Fourier'n muunnos* [verkkojulkaisu]. [viitattu 28.12.2013]. Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Fourier'n_muunnos.
- [82] Environics. *HazmatID 360* [verkkojulkaisu]. [viitattu 18.11.2012]. Saatavissa: <http://www.smithsdetection.com/hazmatid360.php>.
- [83] Environics. *SUTI - NBC Tiedusteluajoneuvo*. Käyttöohje. Mikkeli, 2006.
- [84] Jane's International Defence Review 2006. *The art of detection: UGS systems make a*

- quantum leap in reliability and utility* [verkkojulkaisu]. Julkaistu 2.8.2006. [viitattu 18.11.2012]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?&ItemId=1097763>.
- [85] Jane's Unmanned Ground Vehicles and Systems. *CBRN unmanned ground reconnaissance (CUGR)* [verkkojulkaisu]. Julkaistu 7.12.2011. [viitattu 18.11.2012]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?ItemId=1374472>.
- [86] Jane's Unmanned Aerial Vehicles and Targets. *Patria MASS* [verkkojulkaisu]. Julkaistu 17.1.2014. [viitattu 15.4.2014]. Saatavissa:
<https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?ItemId=1318608>.
- [87] Australian Government. *Australian War Memorial* [verkkojulkaisu]. [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: <http://www.awm.gov.au/>.
- [88] Wikipedia. *Gas mask* [verkkojulkaisu]. [viitattu 18.3.2014]. Saatavissa:
https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_mask.
- [89] Scott Safety. *M95* [verkkojulkaisu]. [viitattu 8.4.2014]. Saatavissa:
<https://www.scottsafety.com/fi/emea/Pages/ProductDetail.aspx?productdetail=M95>.
- [90] Ansell Limited. *Trelchem VPS* [verkkojulkaisu]. [viitattu 8.4.2014]. Saatavissa:
<http://protective.ansell.com/en/Products/Trelchem/Gastight-Suits/Trelchem-VPS/>.
- [91] Maavoimien Esikunta. *Pioneeritoimintaopas (PTO 2011)*. Tampere: Juvenes Print Oy, 2011. 61 s. Turvaluokiteltu STIV.
- [92] Seulanto, H. Kaasunilmaisuvälineiden luotettavuus. PVTUTKL. 1.4.2014. Puhelinkeskustelu.
- [93] Automaattinen kaasunilmaisin M-90, PVMATL TOK 02:03.02, HB1636. Tampere: Suoja- ja liikkuvuusosasto. 12.5.2005.
- [94] Maatela, P. *M90-DI-C Automaattinen kemiallisten taisteluvälineiden ilmaisin*. Ylöjärvi, Puolustusvoimien tutkimuslaitos, 2004. Luentomateriaali.
- [95] U.S. Department of Justice. *Guide for the Selection of Chemical and Biological Decontamination Equipment for Emergency First Responders* [verkkojulkaisu]. Julkaistu 2001. [viitattu 25.3.2014]. Saatavissa:
<https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/189724.pdf>.

LIITTEET

- LIITE 1 Kemiallisen aseiden kieltosopimuksen kemikaaliliite
- LIITE 2 Koonnos myrkyllisistä teollisuuskemikaaleista
- LIITE 3 AKS M90 suorituskyky
- LIITE 4 Chempro 100:n kaasukirjastojen hälytykset ja tunnistetut aineet

KEMIKAALILIITE (Suom. Markku Mesilaakso)

A. SUUNTAVIIVAT KEMIKAALIEN VALINNALLE LUETTELOIHIN

Luettelon 1 suuntaviivat

1. Seuraavat kriteerit tulee ottaa huomioon harkittaessa sisällytetäänkö myrkyllinen kemikaali tai lähtöaine luetteloon 1.

a) Se on kehitetty, tai sitä on tuotettu, varastoitu tai käytetty kemiallisena aseena II artiklassa määritellyllä tavalla.

b) Se muodostaa muutoin suuren riskin sopimuksen päämäärälle ja tarkoitukselle johtuen sen suuresta mahdollisuudesta tulla käytetyksi tämän sopimuksen kieltämiin tarkoituksiin, koska se täyttää yhden tai useamman seuraavista ehdoista:

(i) Sen kemiallinen rakenne on läheistä sukua luettelossa 1 mainituille myrkyllisille kemikaaleille, ja sillä on tai voidaan olettaa olevan, vastaavat ominaisuudet,

(ii) Sillä on sellainen tappava tai toimintakyvyttömäksi tekevä myrkyllisyys sekä muita ominaisuuksia, jotka mahdollistaisivat sen käytön kemiallisena aseena,

(iii) Sitä voidaan käyttää luettelossa 1 mainitun myrkyllisen kemikaalin lähtöaineena viimeisessä yksittäisessä tuotantovaiheessa, riippumatta siitä, tapahtuuko tämä vaihe tehtaassa, ammuksessa tai muualla,

c) Sillä on vähän tai ei ollenkaan käyttöä muihin kuin tämän sopimuksen kieltämiin tarkoituksiin.

Luettelon 2 suuntaviivat

2. Seuraavat kriteerit tulee ottaa huomioon harkittaessa pitäisikö luettelossa 1 olevan myrkyllisen kemikaalin tai luettelossa 1 tai luettelon 2 osassa A olevan kemikaalin lähtöaineen kuulua luetteloon 2:

a) Se muodostaa merkityksellisen riskin tämän sopimuksen tarkoitukselle ja päämäärälle, koska sillä on sellainen tappava tai toimintakyvyttömäksi tekevä myrkyllisyys sekä muut ominaisuudet, jotka voisivat mahdollistaa sen käytön kemiallisena aseena,

b) Sitä voidaan käyttää lähtöaineena luettelossa 1 tai luettelossa 2 olevan kemikaalin yhdessä viimeisen tuotantovaiheen kemiallisista reaktioista,

c) Se muodostaa merkityksellisen riskin sopimuksen tarkoitukselle ja päämäärälle johtuen sen tärkeydestä luettelossa 1 tai luettelon 2 osassa A olevan kemikaalin tuotannossa,

d) Sitä ei tuoteta suuria kaupallisia määriä tarkoituksiin, joita sopimus ei kiellä.

Luettelon 3 suuntaviivat

3. Seuraavat kriteerit tulee ottaa huomioon harkittaessa, pitäisikö muissa luetteloissa olematon myrkyllinen kemikaali tai lähtöaine sisällyttää luetteloon 3:

a) Sitä on tuotettu, varastoitu tai käytetty kemiallisena aseena,

b) Se muodostaa muutoin riskin tämän sopimuksen tarkoitukselle ja päämäärälle, koska sillä on sellainen tappava tai toimintakyvyttömäksi tekevä myrkyllisyys sekä muita ominaisuuksia, joiden vuoksi sitä voitaisiin käyttää kemiallisena aseena,

c) Se muodostaa riskin tämän sopimuksen tarkoitukselle ja päämäärälle johtuen sen tärkeydestä tuotettaessa yhtä tai useampaa luettelossa 1 tai luettelon 2 osassa B olevaa kemikaalia,

d) Sitä saatetaan tuottaa suuria kaupallisia määriä tarkoituksiin, joita tämä sopimus ei kiellä.

B. KEMIKAALILUETTELOT

Seuraavat luettelot luettelevat myrkylliset kemikaalit ja niiden lähtöaineet. Nämä luettelot nimeävät ne kemikaalit, joita koskevat todentamisliitteessä esitetyt valvontatoimenpiteet

tämän sopimuksen täytäntöönpanemista varten. II artiklan 1 kappaleen a kohdan mukaisesti nämä luettelot eivät muodosta kemiallisen aseiden määritelmää.

(Aina kun viitataan dialkyloituihin kemikaaleihin, joiden viittausta seuraa alkyyliryhmien luettelo sulkeissa, kaikkia mahdollisia suluissa olevien alkyyliryhmien yhdistelmiä pidetään sisältyvänä vastaavaan luetteloon ellei niitä ole tarkoituksellisesti suljettu pois luettelosta. Tähdellä (*) merkittyä kemikaalia luettelossa 2, Osa A, koskee erillinen ilmoitusta ja todennusta koskeva kynnyksarvo (tuotantomäärä), joka määritetään todentamisliitteen VII osassa.)

Luettelo 1

(CAS rekisteri -numero)

A. Myrkylliset kemikaalit:

1. O-alkyyli ($\leq C_{10}$, sisältäen sykloalkyylin)alkyyli (metyyli, etyyli, n-propyyli tai isopropyyli) fosfonofluoridaatit

esim. sariini: O-isopropyyylimetyylifosfonofluoridaatti (107-44-8)

somaani: O-pinakolyylimetyylifosfonofluoridaatti (96-64-0)

2. O-alkyyli ($\leq C_{10}$, sisältäen sykloalkyylin)(N,N)-dialkyyli (metyyli, etyyli, n-propyyli tai isopropyyli) fosforoamidotsyanidaatit

esim. tabuuni: O-etyyli-(N,N)-dimetyylifosforoamido-syanidaatti (77-81-6)

3. O-alkyyli(H tai $\leq C_{10}$, sisältäen sykloalkyylin)-S-2-(N,N)-dialkyyli-(metyyli, etyyli, n-propyyli tai isopropyyli)-aminoetyylialkyyli(metyyli, etyyli, n-propyyli tai isopropyyli)fosfonotiolaatit tai vastaavat alkyloidut tai protonoidut suolat

esim. VX: O-etyyli-S-2-(N,N)-di-isopropyyliaminoetyylimetyylifosfonotiolaatti (50782-69-9)

4. rikkisinappikaasut:

2-kloorietyylikloorimetyylisulfidi (2625-76-5)

sinappikaasu: bis(2-kloorietyyli)sulfidi (505-60-2)

bis(2-kloorietyylitio)metaani (63869-13-6)

seskvisinappikaasu: 1,2-bis(2-kloorietyylitio) etaani (3563-36-8)

1,3-bis(2-kloorietyylitio)-n-propaani (63905-10-2)

1,4-bis(2-kloorietyylitio)-n-butaani (142868-93-7)

1,5-bis(2-kloorietyylitio)-n-pentaani (142868-94-8)

bis(2-kloorietyylitio)metyylietteri (63918-90-1)

O-sinappikaasu: bis(2-kloorietyyli)etteri	(63918-89-8)
5. lewisiitit:	
lewisiitti 1: 2-kloorivinyylidiklooriarsiini	(541-25-3)
lewisiitti 2: bis(2-kloorivinyyli)klooriarsiini	(40334-69-8)
lewisiitti 3: tris(2-kloorivinyyli)arsiini	(40334-70-1)
6. typpisinappikaasut:	
HN1: bis(2-kloorietyyli)etyyliamiini	(538-07-8)
HN2: bis(2-kloorietyyli)metyyliamiini	(51-75-2)
HN3: tris(2-kloorietyyli)amiini	(555-77-1)
7. saksitoksiini	(35523-89-8)
8. risiini	(9009-86-3)

B. Lähtöaineet:

9. alkyyli(metyyli, etyyli, n-propyyli tai isopropyyli)-fosfonodifluoridit	
esim. DF: metyylifosfonodifluoridi	(676-99-3)
10. O-alkyyli(H tai $\leq C_{10}$, sisältäen sykloalkyylin)- O-2-(N,N)dialkyyli(metyyli, etyyli, n-propyyli tai isopropyyli)aminoetyylialkyyli(metyyli, etyyli, n-propyyli tai isopropyyli)fosfoniitit	
esim. QL: O-etyyli-O-2-(N,N)-di-isopropyyliaminoetyyli- metyylifosfoniitti	(57856-11-8)
11. kloorisariini: O-isopropyylimetyylifosfonokloridaatti	(1445-76-7)
12. kloorisomaani: O-pinakolyylimetyylifosfonokloridaatti	(7040-57-5)

Luettelo 2

(CAS rekisteri -numero)

A. Myrkylliset kemikaalit:

1. amiton: O,O-dietyyli-S-2-(N,N)-dietyyliaminoetyyli- fosforotiolaatti	(78-53-5)
ja vastaavat alkyloidyt tai protonoidut suolat	
2. PFIB: 1,1,3,3,3-pentafluoro-2-(trifluorometyyli)-1-propeeni	(382-21-8)
3. BZ: 3-kinuklidinylibentsilaatti (*)	(6581-06-2)

B. Lähtöaineet:

4. Kemikaalit, lukuun ottamatta luettelossa 1 olevia kemikaaleja, jotka sisältävät fosforiatomin, johon on sitoutunut yksi metyyli, etyyli, n-propyyli tai isopropyyli-ryhmä, mutta ei muita hiiliatomeja.

esim. metyylifosfonodikloridi (676-97-1)

dimetyylimetyylifosfonaatti (756-79-6)

Lukuun ottamatta fonofos:

O-etyyli-S-fenyli-etyylifosfonotiolotionaatti (944-22-9)

5. N,N-dialkyyli(metyyli, etyyli, n-propyyli tai isopropyyli)-fosforoamidodihalidit

6. dialkyyli(metyyli, etyyli, n-propyyli tai isopropyyli)-(N,N)-dialkyyli(metyyli, etyyli, n-propyyli tai isopropyyli)fosforoamidaatit

7. arseenitrikloridi (7784-34-1)

8. 2,2-difenyli-2-hydroksietikkahappo (76-93-7)

9. 3-kinuklidinoli (1619-34-7)

10. 2-(N,N)-dialkyyli(metyyli, etyyli, n-propyyli tai isopropyyli)aminoetyylikloridi ja vastaavat protonoidut suolat

11. 2-(N,N)-dialkyyli(metyyli, etyyli, n-propyyli tai isopropyyli)aminoetanolit ja vastaavat protonoidut suolat

Lukuun ottamatta:

2-(N,N)-dimetyyliaminoetanolit (108-01-0)

ja vastaavat protonoidut suolat

2-(N,N)-dietyyliaminoetanolit (100-37-8)

ja vastaavat protonoidut suolat

12. 2-(N,N)-dialkyyli(metyyli, etyyli, n-propyyli tai isopropyyli)aminoetaanitiolit ja vastaavat protonoidut suolat

13. tiodiglykoli: bis(2-hydroksietyyli)sulfidi (111-48-8)

14. pinakolyylialkoholi: 3,3-dimetyyli-2-butanoli (464-07-3)

Luettelo 3

(CAS rekisteri -numero)

A. Myrkylliset kemikaalit:

1. fosgeeni: karbonylidikloridi (75-44-5)

2. kloorisyanidi (506-77-4)

3. vetysyanidi (74-90-8)
4. klooripikriini: trikloorinitrometaani (76-06-2)

B. Lähtöaineet:

5. fosforioksikloridi (10023-87-3)
6. fosforitrikloridi (7719-12-2)
7. fosforipentakloridi (10026-13-8)
8. trimetyylifosfiitti (121-45-9)
9. trietyylifosfiitti (122-52-1)
10. dimetyylifosfiitti (868-85-9)
11. dietyylifosfiitti (868-85-9)
12. rikkimonokloridi (10025-67-9)
13. rikkidikloridi (10545-99-0)
14. tionyylikloridi (7719-09-7)
15. etyylidietanoliamiini (139-87-7)
16. metyylidietanoliamiini (105-59-9)
17. trietanoliamiini (102-71-6)

**MYRKYLLISIÄ TEOLLISUUSKEMIKAALEJA JAOTELTUNA NIIDEN
VAARALLISUUSASTEEN MUKAAN: [95, s. 10]**

Korkea	Keskitaso	Alhainen
Ammoniakki	Asetonisyanohydiini	Allyyli-isotiosyanaatti
Arsiini	Akroleiini	Arseenitrikloridi
Booritrikloridi	Akrylinitriili	Bromi
Booritrifluoridi	Allyylialkoholi	Bromikloridi
Hiilidisulfidi	Allyyliamiini	Bromipentafluoridi
Kloori	Allyylikloorikarbonaatti	Bromitrifluoridi
Diboraani	Booritribromidi	Karbonyylifluori
Etyleenioksidi	Hiilimonoksidi	Klooripentafluoridi
Fluori	Karbonyylisulfidi	Klooritrifluoridi
Formaldehydi	Klooriasetoni	Klooriasetaldehydi
Bromivety	Klooriasetonitriili	Klooriasetyylikloridi
Kloorivety	Kloorisulfonihappo	Krotonaldehydi
Syaanivety	Diketeeni	Syaanikloridi
Fluorivety	1,2-dimetylihydratsiini	Dimetyylisulfaatti
Rikkivety	Etyleenibromidi	Difenyylimetaani-4.4'-di-isosyanaatti
Typpihappo	Seleenivety	Etyyliklooriformiaatti
Fosgeeni	Metaanisulfonyylikloridi	Etyyliklooritioformiaatti
Fosforitrikloridi	Metyylibromidi	Etyylifosfonotiidikloridi
Rikkidioksidi	Metyyliklooriformiaatti	Etyylifosfonidikloridi
Rikkihappo	Metyylikloorisilaani	Etyleeni
Volframiheksafluoridi	Metyylihydratsiini	Heksakloorisyklopentadieeni
	Metyyli-isosyanaatti	Jodivety
	Metyylimerkaptaani	Rautapentakarbonyyli
	Typpidioksidi	Isobutyliklooriformiaatti
	Fosfiini	Isopropyliklooriformiaatti
	Fosforioksidikloridi	Isopropyli-isosyanaatti
	Fosforipentafluoridi	n-butyliklooriformiaatti
	Seleenikesafluoridi	n-butyli-isosyanaatti
	Piitetrafluoridi	Typpioksidi
	Stibiini	n-propyyli-formiaatti

	Rikkitrioksidi	Parationi
	Sulfuryylikloridi	Perkloorimetyylimerkaptaani
	Sulfuryylifluoridi	sek-butyylikloroformiaatti
	Telluriumheksafluoridi	tert-butyli-isosyanaatti
	n-oktyylimerkaptaani	Lyijytetraetyyli
	Titaanietrakloridi	Tetraetyylipyrofosfaatti
	Triklooriasetyylikloridi	Lyijytetrametyyli
	Trifluoriasetyylikloridi	Tolueeni-2,4-di-isosyanaatti
		Tolueeni-2,6-diisosyanaatti





M90-D1-C kaasunilmaisimen ilmaisukyky standardikaasukirjastoa käyttäen (suhteellinen kosteusalue 5-95 %): [65, s. 15]

Aine, luokka ja tyyppi	Ainekonsentraatio (mg/m³)	Vasteaika (sekuntia)	Lämpötila-alue (°C)	Hälytys
VX	0.04 1.00	≤ 90 ≤ 10	-10-52	HKS
Tabuuni GA	0.10 1.00	≤ 30 ≤ 10	-30-52	HKS
Sariini GB	0.10 1.00	≤ 30 ≤ 10	-30-52	HKS
Somaani GD	0.10 1.00	≤ 30 ≤ 10	-30-52	HKS
Sinappikaasu HD	2.00 50.00	≤ 120 ≤ 10	15-52	SYÖVKS
Levisiitti L	2.00 50.00	≤ 120 ≤ 10	-18-52	SYÖVKS
Vetysyanidi AC	30.00	≤ 10	-10-52	YLMYRKKS

CHEMPRO 100 KAASUKIRJASTOJEN HÄLYTYKSET JA TUNNISTETUT AINEET: [68]

CWA 9.2.1.

Hälytykset ja tunnistetut aineet:

Hälytykset Teksti	Kuvake	Kirjastossa määritetyt aineet	Matala ⁽¹⁾ mg/m ³	Kirjastossa määrittämättömät aineet/tapaukset
Hermokaasu		GA, GB, GD, GF, VX	0.1 0.1 ⁽²⁾	Hermokaasujen lähtöaineet
Syövyttävä tst. aine		HD, L	2 2 ⁽³⁾	Syövyttävien tst. aineiden lähtöaineet
Kemiallinen vaara		-	-	Aine vaarallisissa pitoisuuksissa
Yleismyrk. tst. aine		AC, CK	20	-

Huom.

(1): Matala = Hälytys raja. Huomaa: Hälytys voi ilmetä myös tätä alemmilla pitoisuuksilla.

(2): Pätevä <35°C ja <20 g(H₂O)/m³ olosuhteissa.

(3): Pätevä <17g(H₂O)/m³ olosuhteissa.

Seuraavat kappaleet käsittelevät muita yleisiä rajoituksia ja ehtoja yksityiskohtaisemmin.

Kirjastossa määritetyt aineet:

Hermokaasu: Hermokaasut Tabuuni (GA), Sariini (GB), Somaani (GD), Syklosariini (GF), sekä VX. "Kemiallinen vaara" -hälytys voi ilmetä, kun hermokaasujen pitoisuus kasvaa suureksi

Syövyttävä tst. aine:

Syövyttävät kaasut Rikki sinappi (HD) ja Lewisiitti (L). "Kemiallinen vaara" -hälytys voi ilmetä, kun syövyttävien kaasujen pitoisuus kasvaa suureksi.

Yleismyrk.tst. aine:

Verikaasut Syaaniivety (AC) sekä Kloorisyanidi (CK).

Kirjastossa määrittämättömät aineet/tapaukset:

Hermokaasu: Hermokaasujen lähtöaineet, kuten esim. Dimetyylifosfiitti, Metyyli fosfoni dikloridi ja Dimetyyli metyyli fosfonaatti voivat aiheuttaa hälytyksen.




Syövyttävä tst. aine:

Syövyttävien kaasujen lähtöaineet, kuten esim. Tiodiglykoli, voi aiheuttaa hälytyksen.

Kemiallinen vaara:

Kirjastossa määritetyt aineet, korkeina pitoisuuksina voivat aiheuttaa hälytyksen. Lisäksi on mahdollista, että muut aineet voivat aiheuttaa hälytyksen. Mikäli havaittu aine on myrkyllinen, "Kemiallinen vaara" -hälytys on erittäin todennäköinen.

TIC 9.2.1.**Hälytykset ja tunnistetut aineet:**

Hälytykset Teksti	Kuvake	Kirjastossa määritetyt aineet	Matala (¹) ppm	Kirjastossa määrittämättömät aineet/tapaukset
Happo		Kloorivety Fluorivety Typpihappo	50 ⁽²⁾ 30 ⁽²⁾ 25 ⁽²⁾	Etikkahappo
Myrkyllinen aine		Ammoniakki Rikkihiili Rikkivety Kloori Kloorisyanidi Syaanivety Arsiini Etyleenioksidi Fosfori trikloridi	300 500 100 50 ⁽²⁾ 50 50 3 100 25	Akryylinitriini
Kemiallinen vaara		-	-	Aine vaarallisissa pitoisuuksissa

Huom.

(1): Matala = Hälytystaso (IDLH-taso). Huomaa: Hälytys voi ilmetä myös tämän tason alapuolella.

(2): Pätee < 16 g(H₂O)/m³.

Seuraavat kappaleet käsittelevät muita yleisiä rajoituksia ja ehtoja yksityiskohtaisemmin.

Kirjastossa määritetyt aineet:

Happo: Kloorivety (HCl), Fluorivety (HF) ja Typpihappo (HNO₃) IDLH-tasolla (Immediate Danger for Life and Health). "Kemiallinen vaara" -hälytys voi ilmetä, kun happojen pitoisuus kasvaa suureksi.

Myrkyllinen aine:

Ammoniakki (NH₃), Rikkihiili (CS₂), Rikkivety (H₂S), Syaanivety (AC), Kloorisyanidi (CK), Etyleenioksidi (ETOX), Arsiini (AsH₃), Kloori (Cl₂) ja fosforitrikloridi (PCl₃) n. IDLH-tasolla. "Kemiallinen vaara" -hälytys usein ilmenee ennen "Myrkyllinen aine" -hälytystä.

Kirjastossa määrittämättömät aineet/tapaukset:

Happo: Etikkahappo pienissä pitoisuuksissa voi aiheuttaa hälytyksen.

Myrkyllinen aine:

Teolliset kemikaalit, kuten Akryylinitriini IDLH-tasolla.

Kemiallinen vaara:

Kirjastossa määritetyt aineet, korkeina pitoisuuksina voivat aiheuttaa hälytyksen. Lisäksi on mahdollista, että muut aineet voivat aiheuttaa hälytyksen. Mikäli havaittu aine on myrkyllinen, "Kemiallinen vaara" -hälytys on erittäin todennäköinen.

First Responder 9.2.1.:**Hälytykset ja tunnistetut aineet:**

Hälytykset		Kirjastossa määrietyt aineet	Hälytystaso ⁽¹⁾ ppm
Teksti	Kuvake		
Myrkyllinen aine		Etyleeni oksidi	100
		Akryylinitriini	100
		Vetysulfidi	10
		Arsiini	5
		Ammoniakki	400
		Fosfori trikloridi	25
		Rikkihiili	500
		Allyyli alkoholi	40
		Syaanivety	100
		Kloorisyanidi	100
		G-typin Hermokaasu	0.2 mg/m ³
		HD tyypin syövyttävä kaasu	5 mg/m ³
		Kemikaali havaittu	-

Huom.

(1): Toiminta kylmissä (< 5°C) ja kuumissa olosuhteissa (>35°C) voi aiheuttaa hälytysrajojen nousun. Toiminta olosuhteissa, joissa ympäröivä ilma on vähäisesti saastunutta voi myös johtaa kohonneisiin hälytystasoihin.

Myrkyllinen aine:

Myrkylliset teolliset kemikaalit, kuten: Etyleeni oksidi (ETOX), Akryylinitriini, Arsiini (AsH₃), Vetysulfidi (H₂S), Ammoniakki (NH₃), Fosfori trikloridi (PCl₃), Rikkihiili (CS₂), Allyyli alkoholi, Syaanivety (AC) ja Kloorisyanidi (CK) sekä kemialliset taisteluaineet, kuten G-tyypin hermokaasut ja HD-tyypin syövyttävät kaasut.

Kemikaali havaittu:

Kirjastossa määritetyt aineet pitoisuuksissa, jotka ovat hälytysrajan alapuolella. Edeltää ja ilmenee ”Myrkyllinen aine” -hälytyksen jälkeen. Ilmoituksen voi myös aiheuttaa useat muut yhdisteet