

The background of the cover is an abstract geometric pattern composed of various sized triangles in black, white, and gray. The triangles are arranged in a way that creates a sense of depth and movement. A large white rectangular area is positioned in the upper-middle part of the cover, containing the title text.

SUOJELUN KÄSIKIRJA

SUOJELUN KÄSIKIRJA
(Slukäsik)

1996

© Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus

ISBN 951-25-0839-7
PUMA 7610-448-7061

Ykkös-Offset Oy
Vaasa
1996

PÄÄESIKUNTA

Helsinki

15.3.1996

Vahvistan tämän Suojelun käsikirjan käyttöön otettavaksi. Käsikirja kumoaa Suojelun käsikirjan vuodelta 1980.

Maavoimapäällikkö
Kenraalimajuri


Juha Kainulainen

Pioneeri- ja
suojelutarkastaja
Eversti


Arto Mikkonen

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
JOHDANTO	17
I LUKU RADIOAKTIIVINEN SÄTEILY, YDINRÄJÄHDE JA NIIDEN VAIKUTUKSET	19
1.1 Yleistä	19
1.2 Ydinfysiikan peruskäsitteitä	19
1.3 Radioaktiivinen hajoaminen	23
1.4 Eri säteilylajien vuorovaikutuksista	23
1.5 Säteilyilmaisimet	29
1.6 Ydinaseet ja ydinräjähde	32
1.6.1 Perusteita	32
1.6.2 Fissio	33
1.6.3 Fuusio	35
1.6.4 Ydinräjähdyksen energijakautuma	39
1.6.5 Tulipallo ja radioaktiivinen pilvi	41
1.6.6 Paineaalto	44
1.6.7 Lämpösäteily	49
1.6.8 Radioaktiivinen säteily	52
1.6.9 Ionisaatioilmiöt	59
1.6.10 Sähkömagneettinen pulssi (EMP)	59
1.6.11 Muut ilmiöt	63
1.7 Säteilyn vaikutus ihmiseen	63
1.7.1 Perusteita	63
1.7.2 Säteilyn varhaisvaikutukset	65
1.7.3 Säteilyn myöhäisvaikutukset	67
1.8 Rauhan ajan säteilyonnettomuudet	68
1.8.1 Ydinvoimalaonnettomuus	68
1.8.2 Onnettomuudet ydinkäyttöisillä aluksilla	69
1.8.3 Onnettomuudet käytetyn polttoaineen käsittelyssä	69
1.8.4 Onnettomuus käsiteltäessä ydinaseita	70
1.8.5 Muut onnettomuudet	71
1.9 Säteilyn raja-arvot ja niiden ylittymisen aiheuttamat toimenpiteet	72

	Sivu
II LUKU BIOLOGINEN ASE	75
2.1 Yleistä	75
2.2 B-aseagenssit	75
2.3 Biologisen taisteluaineen levitys	78
2.4 Biologisen aseiden vaikutus	78
2.5 B-aseiden ilmaisu ja suojautuminen	80
III LUKU KEMIAALLISET TAISTELUAINEET	83
3.1 Kemiaallisten taisteluaineiden määrittely	83
3.1.1 Ärsyttävät aineet	84
3.1.2 Tukahduttavat aineet	85
3.1.3 Syövyttävät aineet	86
3.1.4 Yleismyrkylliset taisteluaineet eli verikaasut	88
3.1.5 Hermokaasut	89
3.1.6 Kasvintuhoaineet (herbisidit)	92
3.1.7 Toksiinit	92
3.1.8 Psykootaisteluaineet	93
3.1.9 Kemiaallisten taisteluaineiden myrkyllisyys	93
3.2 Kemiaallisten taisteluaineiden ilmaisu	94
3.2.1 Ilmaisuputket, -paperit ja -liuskat	95
3.2.2 Automaattiset kaasunilmaisimet	97
3.2.3 Kaukomonitorointi eli etämääritys	98
3.2.4 Laboratoriomenetelmät	99
3.3 Kemiaallisten taisteluaineiden levittäminen ja leviäminen	100
3.3.1 Taisteluaineiden levittäminen	100
3.3.2 Leviämiseen vaikuttavat tekijät	104
3.3.3 Leviämisen ennustaminen	108
3.4 Onnettomuudet kemian teollisuudessa ja kemiaallisten aineiden kuljetuksissa	110
3.4.1 Perusteita	110
3.4.2 Onnettomuusriskit kemian teollisuudessa	111
3.4.3 Onnettomuusriskit kemiaallisten aineiden kuljetuksissa	112
3.4.4 Tietoja eräistä kemikaaleista, niiden leviämisestä ja vaikutuksista	113

IV LUKU	POLTTOASE JA TULIPALOT	119
4.1	Yleistä	119
4.2	Polttotaisteluaineet	119
4.2.1	Maaöljypohjaiset polttotaisteluaineet	120
4.2.2	Metalliset polttotaisteluaineet	123
4.2.3	Itsestään syttyvät (pyroforiset) polttotaisteluaineet	124
4.2.4	Itsestään palavat (pyrotekniset) polttotaisteluaineet	126
4.3	Polttotaisteluaineen levittämismenetelmät	128
4.4	Tulipalot ja niiden sammuttaminen	132
4.4.1	Palaminen	132
4.4.2	Sammutteet	134
4.4.3	Huoneisto- ja metsäpalot	135
4.5	Polttotaisteluaineiden vaikutukset ja suojautuminen niiltä	138
V LUKU	SUOJAUTUMINEN ABC- JA POLTTOASEEN VAIKUTUKSILTA	139
5.1	Yleistä	139
5.2	Yksilön suojaus	140
5.2.1	Suojauksen periaatteet	140
5.2.2	Henkilökohtaisten varusteiden antama suojaus	140
5.2.3	Varsinaiset suojavausteet	141
	Suojanaamari	141
	Suodatin	143
	Suojanaamarin käyttö ja huolto	145
	ABC-suojavaatetus	146
	Aktiivihiiheen perustuvat suoja-asut	147
	Eristävät suoja-asut	149
	Kertakäyttöiset suoja-asut	150
	Käsien ja jalkojen suojaus	150
5.2.4	Varsinaiset paloasut	151
5.2.5	Paineilmahengityslaitteet	151

	Sivu	
5.3	Joukkojen suojaaminen	152
5.3.1	Pika- ja kenttälinnoitteet	153
5.3.2	Rakennukset	155
5.3.3	Väestönsuojat	157
5.3.4	Kantalinnoitteet ja suojarakennukset	160
5.3.5	Panssaroidut ajoneuvot	160
5.3.6	Muut kollektiivisuojat	163
VI LUKU	PUHDISTAMINEN	164
6.1	Puhdistamisen perusteet	164
6.1.1	Puhdistaminen säteilypölystä	164
6.1.2	Puhdistaminen biologisista taisteluaineista	165
6.1.3	Puhdistaminen kemiallisista taisteluaineista	167
6.2	Henkilöpuhdistaminen	172
6.3	Varusteiden ja kaluston puhdistaminen	174
6.4	Maaston ja erityiskohteiden puhdistaminen	177
VII LUKU	SUOJELULÄÄKINTÄ	179
7.1	Säteily sairauksien ensiapu ja hoito	179
7.2	B-aseiden aiheuttamien sairauksien ensiapu ja hoito	180
7.3	Kemiallisten taisteluaineiden aiheuttamien vammojen ensiapu ja hoito	181
7.3.1	Hermokaasumyrkytys	181
7.3.2	Sinappikaasumyrkytys	183
7.3.3	Syaanivety	183
7.3.4	Fosgeenimyrkytys	184
7.3.5	Kyynelkaasut	184
7.4	Palovammojen ensiapu ja hoito	185

LIITELUETTELO

	Sivu	
Liite 1	Radioaktiivisuuden ja dosimetrian suureet	188
Liite 2	Säteilyn laskulevyn käyttöohje	191
Liite 3	Sanasto	195
Liite 4	Kirjallisuusluettelo	214

KUVALUETTELO

	Sivu	
Kuva 1	Helium-atomi	20
Kuva 2	Natrium-atomin elektronikuorirakenne	20
Kuva 3	Ytimen sidosenergia yhtä nukleonia kohti massaluvun funktiona	22
Kuva 4	Säteilysuojelun kannalta merkittävimmät fotonien vuorovaikutukset	25
Kuva 5	R_{90} vedessä fotonin energian funktiona	26
Kuva 6	Lyijyn massavaimennuskerroin ja sen eri komponentit energian funktiona	27
Kuva 7	^{235}U :n kokonaisvaikutusala ja fissiovaikutusala	28
Kuva 8	Säteilymittareita	30
Kuva 9	Kanuunatyypinen ydinräjähde	34
Kuva 10	Kokoonpuristamiseen perustuva ydinräjähde	35
Kuva 11	Lämpöydinräjähde	37
Kuva 12	Esimerkkejä ydinaseista	38
Kuva 13	Tavanomaisen ja neutroniräjähteen energioiden jakautuminen ja vaikutusten ulottuvuus	40
Kuva 14	Eri energiamuotojen suhteellisen intensiteetin ajallinen käyttäytyminen	41
Kuva 15	Tulipallon lämpötilan ajallinen käyttäytyminen	42
Kuva 16	Tulipallon säde eri räjähdysvoimakkuuksilla	42
Kuva 17	Radioaktiivisen räjähdyspilven sisäiset virtaukset	43
Kuva 18	Radioaktiivisen pilven nousunopeus	44

Kuva 19	Radioaktiivisen pilven mittasuhteet	44
Kuva 20	Paineaallon aiheuttama paineen vaihtelu	45
Kuva 21	1 kt:n ilmaräjähteen aiheuttama staattinen ylipaine eri etäisyyksillä	46
Kuva 22	Staattisen paineen arvoja vastaava dynaaminen paine sekä paineiskun ja tuulen nopeudet	46
Kuva 23	Ylipaineen ulottuvuus ilmaräjähdyksessä	47
Kuva 24	Keskimääräinen ydinräjähdysten paineaallon aiheuttama vammoittumisetäisyys ihmiselle	47
Kuva 25	Metsätuhot	48
Kuva 26	Ylipaineen aiheuttamat vauriot rakennuksille	48
Kuva 27	Ylipaineen aiheuttamia kalustovaurioita	49
Kuva 28	Lämpösäteilyn ulottuvuus	50
Kuva 29	Palovammojen syntyminen	51
Kuva 30	Havumetsän syttyminen	51
Kuva 31	Alkusaäteilyannos matalissa ilmaräjähdeissä	53
Kuva 32	Gammasäteilyn vaimeneminen eri väliaineissa	53
Kuva 33	Neutronisäteilyn vaimeneminen eri väliaineissa	54
Kuva 34	Eri kokoisten hiukkasten putoamisajat ja niiden osuudet kokonaisaktiivisuudesta	56
Kuva 35	Laskeuma-alue ja kokonaisannoskäyrät kolmella eri ajanhetkellä	57
Kuva 36	15 Mt:n räjähteestä syntyneen laskeuman muoto ja kokonaisannoskäyrät	58

	Sivu
Kuva 37 EMP:n vaikutusalue 100 km ja 400 km korkeuksilla suoritetuissa räjäytyksissä	60
Kuva 38 Ionisaatioalueen muodon riippuvuus räjäytyskorkeudesta	61
Kuva 39 Sähkö- ja magneettikentän huippuarvot räjäytyskorkeuden funktiona	62
Kuva 40 Säteilylähteen koskettamisen aiheuttama ihovamma	66
Kuva 41 Äkillisesti saadun säteilyannoksen aiheuttamia terveyshaittoja	67
Kuva 42 Säteilyn raja-arvot ja ylittämisestä aiheutuvat toimenpiteet	72
Kuva 43 Elintarvikkeiden nauttimista rajoittavat aktiivisuusarvot	74
Kuva 44 B-aseeksi soveltuvia bakteereja	76
Kuva 45 B-aseeksi soveltuvia toksiineja	77
Kuva 46 Eräiden b-agenssien ominaisuuksia	79
Kuva 47 Kemiallisten taisteluaineiden ryhmittely	83
Kuva 48 Ärsyttävien taisteluaineiden ominaisuuksia	85
Kuva 49 Tukahduttavien taistelukaasujen ominaisuuksia	86
Kuva 50 Syövyttävien taistelukaasujen ominaisuuksia	86
Kuva 51 Sinappikaasun aiheuttamia ihovammoja	87
Kuva 52 Hermokaasujen fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia	90
Kuva 53 Hermokaasujen vaikutusmekanismi	91
Kuva 54 Kemiallisten taisteluaineiden myrkyllisyys	94
Kuva 55 Hermo- ja sinappikaasun sekä yleismyrkyllisten kaasujen ilmaisuputket	96
Kuva 56 Hermo- ja yleismyrkyllisten kaasujen ilmaisuliuskat	96

Kuva 57	Automaattinen kaasunilmaisin M90A	97
Kuva 58	Asejärjestelmät, taisteluaineet, kantomatkat ja ainemäärät	100
Kuva 59	Taisteluaineiden levittämiseen soveltuvia asejärjestelmiä	101
Kuva 60	Sariiniammus binääriaseena	102
Kuva 61	Kemiallisen taisteluaineen leviäminen ja hajaantuminen	102
Kuva 62	Taisteluainepilven ja maastosaasteen vaikutukset	103
Kuva 63	Eräiden taisteluaineiden prosentuaalinen jakautuminen primääripilveen ja maastokontaminaatioon	103
Kuva 64	Sääluokan arvioiminen savuvanan avulla	104
Kuva 65	Ilmakehän stabiiliuden määrittäminen sovellettua Pasquill-luokitusta käyttäen	105
Kuva 66	Sään vaikutus primääripilveen	106
Kuva 67	Sään vaikutus maastokontaminaatioon	107
Kuva 68	Eräiden kemiallisten taisteluaineiden haihtumisaikoja	108
Kuva 69	Vaara-etäisyyksien määrittäminen eri levitysjärjestelmillä ja eri säätyypeissä	109
Kuva 70	Taisteluainepilven leveys eri etäisyyksillä erilaisissa säätilanteissa	109
Kuva 71	Annoskertymät pilven keskiakselilla tuulen kulkusuunnassa	110
Kuva 72	Tietoja kloorin, ammoniakkin ja rikkidioksidin ominaisuuksista	113
Kuva 73	Ammoniakin vaikutus ihmiseen	114
Kuva 74	Kloorikaasun vaikutus ihmiseen	114
Kuva 75	Rikkidioksidin vaikutus ihmiseen	115

	Sivu	
Kuva 76	Karkea ennustusmenetelmä vaarallisten aineiden leviämiseksi	115
Kuva 77	Ammoniakin leviäminen ilmassa	116
Kuva 78	Kloorin leviäminen ilmassa	116
Kuva 79	Nestekaasuräjähdyksen syntyminen	118
Kuva 80	Tietoja napalmeista ja pyrogeeleista	122
Kuva 81	Tietoja metallisista polttotaisteluaineista	123
Kuva 82	Tietoja itsestään syttyivistä polttotaisteluaineista	126
Kuva 83	Tietoja itsestään palavista polttotaisteluaineista	128
Kuva 84	Napalm-hyökkäys	129
Kuva 85	Halkileikkaus tykistön kuorma-ammuksesta	130
Kuva 86	Tietoja liekinheittimistä	131
Kuva 87	Huoneistopalon kehittyminen	136
Kuva 88	Maastopalon etenemistavat	137
Kuva 89	Suojanaamari M-95 ja hengitysilman kulku suojanaamarissa	142
Kuva 90	ABC-suodattimen rakenne	143
Kuva 91	Aerosolisuodattimen rakenne	144
Kuva 92	Pallohiilikankaan rakenne	148
Kuva 93	Ihon ABC-suojaus aktiivihiihiväliasun avulla	149
Kuva 94	Paineilmahengityslaitteisto	152
Kuva 95	Poteron antama suoja alkusäteilyä vastaan	153
Kuva 96	Gammasäteilyn puoliintumispaksuudet alku- ja jälkisäteilylle	154
Kuva 97	Rakennusten vaimennuskertoimet laskeumatilanteessa	156

Kuva 98	Jokamiehen pölynsuodatin	157
Kuva 99	VSS-suodatin	158
Kuva 100	Suodatinhiilen kostuminen	159
Kuva 101	Esimerkki taistelupanssarivaunun suojelujärjestelmästä	161
Kuva 102	ABC-radialisuodatin	162
Kuva 103	ABC-suojattu huonetila	163
Kuva 104	Eräiden fysikaalisten puhdistusmenetelmien vaikutus mikrobeihin	166
Kuva 105	Eräiden puhdistuskemikaalien tehokkuus mikrobien torjunnassa	166
Kuva 106	Taisteluaineiden liukenevuus eri liuottimiin	168
Kuva 107	Kemialliseen puhdistukseen soveltuvia kemikaaleja ja niiden ominaisuuksia	171
Kuva 108	Mikroreitit taisteluaineiden imeytymiselle sarveiskerroksen läpi kohti verenkiertoa	172
Kuva 109	Ihonpuhdistukseen soveltuvat puhdistuspulverit ja niiden ominaisuudet	173
Kuva 110	Liuotinaineen levittäminen	175
Kuva 111	Puhdistusajoneuvo	176
Kuva 112	Suojasuihkut toiminnassa	178
Kuva 113	Tärkeimmät B-asetorjunnassa käytettävät lääkkeet	181
Kuva 114	Hermokaasumyrkytyksen kliininen kuva	182
Kuva 115	Vastalääkkeenantolaite	182
Kuva 116	Palovammojen laajuuden arviointi	185
Kuva 117	Hoitotoimenpiteet joukkosidontapaikalla	186

JOHDANTO

Ydinaseet sekä biologiset ja kemialliset taisteluaaineet vaikuttavat ihmiseen, materiaaliin ja luontoon mitä moninaisemmalla tavalla. Näiden nk. **ABC- aseiden** tuho-vaikutus on kymmeniä - satoja jopa tuhansia kertaluokkia suurempi kuin tavanomaisten aseiden teho. Tuho-vaikutus tulee esille varsinkin silloin, jos käytön kohteena olevaa joukkoa ei ole varustettu eikä koulutettu toimimaan taisteluaaineiden vaikutuspiirissä.

Taisteluaineita ei läheskään aina voida havaita aistimalla. Mittari tai hälytintä voi olla ainoa keino paljastaa niiden olemassaolo. Monet taisteluaaineet vaikuttavat viiveellä, joten altistuminen on jo tapahtunut, kun ensimmäiset oireet ilmenevät.

Taisteluaaineet eivät myöskään noudata ballistisia lentoratoja, vaan ne voivat kulkeutua ilmanvirtausten mukana pitkiäkin matkoja. Tavanomainen suojaus ei niitä välttämättä estä. Siinä missä luodilta suojaudutaan komposiittikypärällä tai sirpaleliivillä, taisteluaineita vastaan on käytettävä suojanaamaria ja abc-suojapukua. Luodin aiheuttama haava peitetään siteellä. Taisteluainepisara tai säteilypöly sitävastoin on poistettava iholta, varusteista ja toimintaympäristöstä mahdollisimman nopeasti. Panssari suojaa miehistöä sirpaleilta, suodatinjärjestelmä estää kemiallisten ja biologisten taisteluaaineiden pääsyn vaunun sisälle.

ABC- ja polttoaseiden käytön kieltämiseksi, rajoittamiseksi ja hävittämiseksi on tehty paljon työtä, myös edistymistä on tapahtunut. Mitkään merkit eivät kuitenkaan viittaa siihen, että kyseisten aseiden leviäminen olisi kokonaan pysähtynyt. Aseiden ja niiden käyttömenetelmien kehittäminen jatkuu edelleen. Niin kauan, kun näitä aseita on olemassa, niiden käyttöön on varauduttava. Aukoton valvonta- ja hälytysjärjestelmä sekä joukkojen hyvä suojeluvälineistö ja koulutustaso ovat paras tae ABC- ja polttoaseiden käytön estämiseksi ja välttämättömä niiden aiheuttamien tappioiden vähentämiseksi.

Jokaisen taistelijan on tunnettava ABC- ja polttoaseiden vaikutukset ja kyettävä täyttämään omat tehtävänsä myös suojavarustuksessa. Johtajien on osattava kouluttaa ja johtaa joukkokohtaiset suojelutoimenpiteet sekä hallittava taistelun johtaminen myös ABC- ja polttoaseiden uhan vallitessa ja niiden käytön aikana.

Suojelun Käsikirjaan on koottu perustiedot ABC- ja polttoaseista sekä niiden vaikutuksista ihmiseen, materiaaliin ja luontoon. Kirja sisältää tietoja suojavarusteiden ja -välineiden sekä ajoneuvojen ja muiden suojien antamasta suojasta, ensiapu- ja hoitotoimenpiteistä, tulipalojen sammuttamisesta sekä taisteluaaineiden puhdistamiseen soveltuvista aineista, välineistä ja menetelmistä. Asioita on käsitelty teknisestä ja osittain myös tieteellisestä näkökulmasta. Tieteellisyys on kuitenkin pyritty esit-

tämään mahdollisimman pelkistetyksi. Toimintaohjeiden ja -mallien antamista on vältetty, jotta kirjasta ei olisi tullut liian laajaa.

Kirja on tarkoitettu ensisijaisesti suojele- ja pelastusalan kouluttajille sekä suojele-
tehtäviin koulutettaville reserviläisille. Sitä voidaan käyttää oppikirjana myös hen-
kilökunnan kursseilla.

Suojelun Käsikirja on perusteos. Sitä täydentävät valmiit (Suojelumies, Suojelu-
opas, Suojelujoukkojen koulutusopas) ja lähivuosina valmistuvat (Suojelu- ja
pelastustoimintaopas, Suojeluhuolto-opas, Laboratoriotoimintaopas, Suojelu-
komppanian opas) oppaat sekä alan koulutusohjeet, joissa annetaan yksityiskohtai-
sia toimintamalleja ja menettelyohjeita.

Tämä käsikirja korvaa vuodelta 1980 olevan Suojelun Käsikirjan.

I LUKU

RADIOAKTIIVINEN SÄTEILY, YDINRÄJÄHDE JA NIIDEN VAIKUTUKSET

1.1 YLEISTÄ

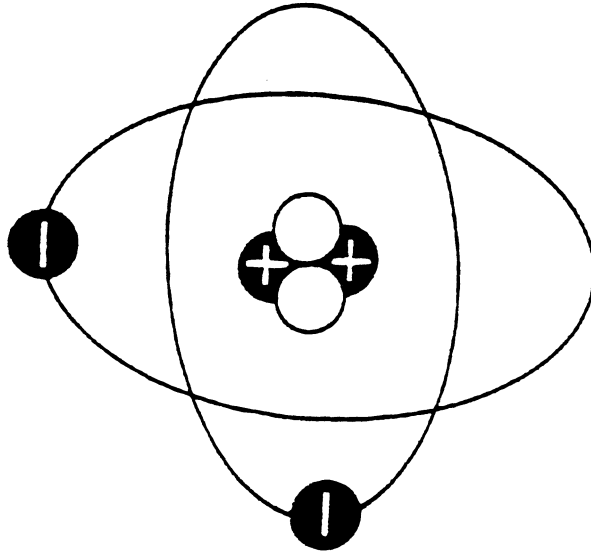
Radioaktiivisen säteilyn ja sen vaikutusten ymmärtämiseksi on tunnettava ydinfysiikan peruskäsitteet, radioaktiivinen hajoaminen sekä säteilyn vuorovaikutukset ihmisen ja materiaalin kanssa. Perusasioiden tunteminen luo pohjan myös ydinräjähteen toimintaperiaatteen ja vaikutusten ymmärtämiselle. Rauhan aikana käytettävä ydinenergia saattaa aiheuttaa säteilyonnettomuuksia, joiden vaikutukset ovat verrattavissa ydinaseen aiheuttamaan radioaktiiviseen säteilyyn. Ydinfysiikassa tavallisimmin käytettävät radioaktiivisuuden ja dosimetrian suureet on koottu liitteeseen 1.

1.2 YDINFYSIIKAN PERUSKÄSITTEITÄ

Ydinreaktioiden ja radioaktiivisten ydinten hajoamisen yhteydessä syntyy **ionisoivaa** säteilyä. Tämän säteilyn ja aineen väliset fysikaaliset vuorovaikutukset saavat elollisessa kudoksessa aikaan kemiallisia muutoksia, jotka ilmenevät säteilyn biologisina haittavaikutuksina. Myös säteilyn havaitseminen ja vaimeneminen väliaineessa sekä säteilyn hyötykäyttö perustuvat säteilyn ja aineen välisiin vuorovaikutuksiin.

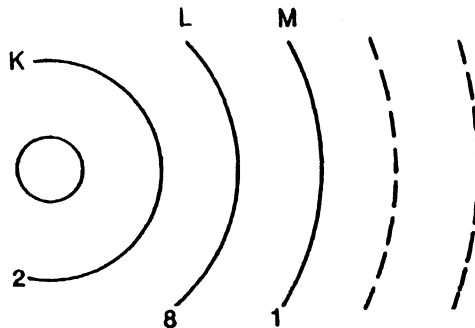
Ionisoiva säteily on joko **sähkömagneettista säteilyä**, kuten **gamma-** ja **röntgensäteily**, tai **hiukkassäteilyä**, kuten ^4He -atomin ytimistä koostuva **alfa-säteily**, elektroneista tai positroneista koostuva **beetasäteily** sekä **neutronisäteily**.

Atomi muodostuu positiivisesti varautuneesta **ytimestä** ja sitä ympäröivistä negatiivisista **elektroneista**. Ydin puolestaan koostuu **nukleoneista**, joita ovat sähköisesti positiivinen **protoni** ja varaukseton **neutroni**. Perustilassaan oleva atomi on sähköisesti neutraali eli sen elektroniverhon elektronien lukumäärä on sama kuin ytimen protonien lukumäärä **Z**, jota sanotaan atomin **järjestyslukuksi**. Järjestysluku määrää atomin kemialliset ominaisuudet, ja saman alkuaineen atomeilla on sama järjestysluku. Atomi voi menettää yhden tai useampia elektroneja, siihen voi myös sitoutua ylimääräisiä elektroneja. Tällöin atomi saa sähkövarauksen, jolloin sitä sanotaan **ioniksi**. Kuvassa 1 on esitetty helium-atomin rakenne.



KUVA 1 *Helium-atomi*

Atomin **elektronit** sijaitsevat ydintä ympäröivillä elektronikuorilla. Sisimmällä elektronikuorella, K- kuorella, voi olla enintään 2 elektronia. Toisella elektronikuorella, L- kuorella, voi olla 8 ja sitä seuraavalla M- kuorella 18 elektronia. Elektronien maksimimäärä kullakin elektronikuorella on $2n^2$, missä n on kuoren järjestysluku. Kuvassa 2 on esitetty natrium-atomin elektronikuorirakenne.



KUVA 2 *Natrium-atomin elektronikuorirakenne*

Ytimen neutronien lukumäärää N sanotaan neutroniluvuksi ja nukleonien kokonaismäärää

$$A = Z + N$$

nukleoni- eli **massaluvuksi**. **Nuklidi** on atomityyppi, jolla on tietty järjestys- ja massaluku. Saman alkuaineen atomeja, joilla on eri massaluku, sanotaan

isotoopeiksi. Alkuaineen eri isotooppien kemiallisessa käyttäytymisessä on eroja erittäin harvoin, niiden ydinfysikaaliset ominaisuudet sitävastoin voivat poiketa merkittävästi toisistaan.

Nuklideja merkitään siten, että alkuaineen kemialliseen symboliin liitetään massaluku. Esimerkiksi hiilen isotoopin 12 merkinä on ^{12}C . Protonien lukumäärä voidaan merkitä selvyuden vuoksi massaluvun alle, esimerkiksi $^{12}_6\text{C}$.

Atomin massan (atomimassan) yksikkönä käytetään usein ns. atomimassayksikköä **u**, joka määritellään Tämän yksikön suuruus $1,6606 \times 10^{-27}$ kg on suunnilleen sama kuin yhden nukleonin massa.

$$1 \text{ u} = \frac{1}{12} \times ^{12}\text{C} \text{ -atomimassa}$$

Atomien ja ytimien koot ovat käsitteinä epämääräisiä ja ne voidaan määritellä eri tavoin. Ytimen säde on noin 10^{-15} m, joka puolestaan on noin sadastuhannesosa atomin säteestä.

Nuklideja tunnetaan yli 2000. Niistä noin 270 on stabiileja eli pysyviä. Muut ovat epästabiileja eli ne muuttuvat ilman ulkoista syytä toisiksi nuklideiksi. Epästabiilien nuklidien ytimet lähettävät hajotessaan säteilyä, minkä vuoksi niitä kutsutaan radioaktiivisiksi nuklideiksi tai lyhyesti **radionuklideiksi**. Ilmiöstä puolestaan käytetään nimitystä radioaktiivinen hajoaminen.

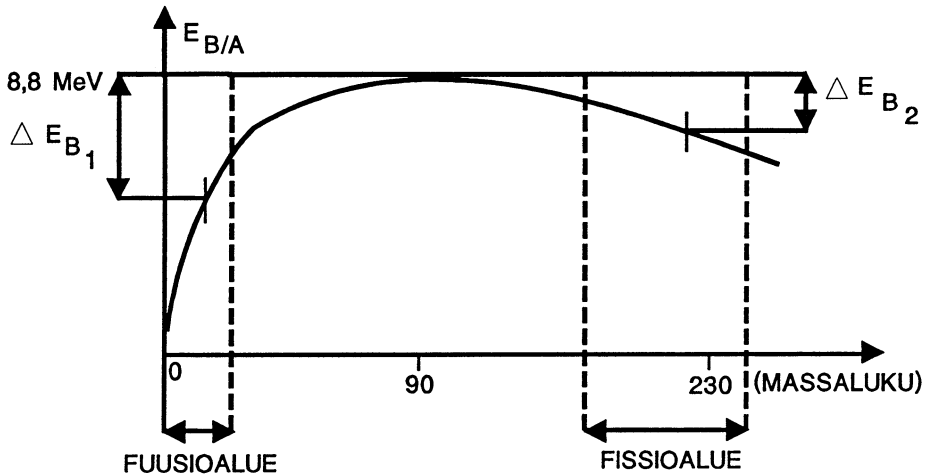
Ytimen stabiilisuutta kuvaa sen **sidosenergia Q** eli se energia, joka tarvitaan erottamaan perustilassaan olevan ytimen nukleonit niin kauas toisistaan, että niiden väliset vuorovaikutukset ovat merkityksettömiä. Sidosenergian yksikkönä käytetään yleensä elektronivoltia (eV), joka määritellään

$$1 \text{ eV} = 1,6022 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

Elektronin kiihtyessä tyhjiössä yhden voltin potentiaalieron yli sen liike-energia muuttuu yhden elektronivoltin verran.

Tavallisesti käytettyjä sidosenergian yksiköitä ovat kiloelektronivoltti, keV = 1000 eV, megaelektronivoltti, MeV = 10^6 eV ja gigaelektronivoltti, GeV = 10^9 eV.

Ytimen stabiilisuudesta antaa hyvän kuvan sidosenergia nukleonia kohti, **Q/A**. Mitä suurempi tämä arvo on, sitä stabiilimpi ydin on. Nukleonia kohti laskettu sidosenergia on raskailla ja keskiraskailla ytimillä noin 8 MeV ja keveillä ytimillä tätä pienempi. Kuvassa 3 on esitetty ytimen sidosenergia massaluvun funktiona. Käyrästä havaitaan, että keskiraskailla ytimillä on suurin sidosenergia.



HUOMAA:

$$\Delta E_{B1} > \Delta E_{B2}$$

KUVA 3 Ytimen sidosenergia *yhtä* nukleonია kohti massaluvun funktiona

Lepomassaa vastaavat energiat ovat sidosenergiaa huomattavasti suurempia, esimerkiksi protonin lepomassaa vastaava energia on 938,3 MeV.

Perustilan lisäksi ytimellä on **viritystiloja** samaan tapaan kuin atomilla. Ydin voi ottaa vastaan ja luovuttaa vain kahden energiatilan erotusta vastaavia energiamääriä.

Sidotumpaan viritystilaan tai perustilaan siirtyvä ydin lähettää sähkömagneettista säteilyä. Joissakin tapauksissa hiukkasemissio voi välittää siirtymän. Siirtymää viritystilasta sidotumpaan ("alempaan") energiatilaan sanotaan viritystilan laukeamiseksi, transitioksi tai yksinkertaisesti hajoamiseksi. Sähkömagneettinen säteily koostuu erillisistä energiakvanteista, fotoneista. Sähkömagneettista säteilyä, joka on peräisin atomiytimen energiatilan muutoksista, sanotaan **gamma-säteilyksi**. Transition alku- ja lopputilan energioiden erotus E_y , kvantin energia on

$$E_y = E_1 - E_2$$

Radioaktiiviseen hajoamiseen liittyvät gammaenergiat voivat vaihdella muutamasta kymmenestä keV:sta noin kymmeneen MeV:iin. Sähkömagneettisella säteilyllä on sekä hiukkas- että aaltoluonne. Suurenergisessä säteilyssä korostuu hiukkasluonne, jolloin gamma-säteilyn fotoneja voidaan ajatella massattomina hiukkasina.

Nukleonien käyttäytymisen määrää niiden välinen vahva vuorovaikutus eli **ydinvoima** ja protonien välinen sähköstaattinen **Coulombin voima**.

1.3 RADIOAKTIIVINEN HAJOAMINEN

Epästabiilit ytimet muuttuvat toisiksi ytimiksi radioaktiivisessa hajoamisessa tai ydinreaktioissa. Radioaktiivisessa hajoamisessa ydin lähettää hiukkasia tai fotoneja. Alkuperäistä nuklidia sanotaan emonuklidiksi ja syntyvää uutta nuklidia tytärnuklidiksi. Ydinreaktio syntyy ytimen ja alkeishiukkasen tai kahden ytimen törmätessä. Radioaktiivisella hajoamisella ja ydinreaktioilla on paljon yhteisiä piirteitä, koska ne perustuvat samoihin fysikaalisiin perusmekanismeihin ja koska niissä myös syntyy säteilyn eri lajeja ja reaktiotuotteita.

Alfahajoaminen on yleistä raskailla nuklideilla. Alfahajoamisessa ytimestä lähtee kahden protonin ja kahden neutronin muodostama α -hiukkanen, joka on ${}^4\text{He}$ -atomin ydin. Hajoamisen tuloksena syntyvä tytärydin saattaa olla virittynyt, jolloin sen lauetessa syntyy sähkömagneettista säteilyä. Hajoamisessa syntyvien α -hiukkasten energia on muutamia megaelektronivolteja.

Beetahajoamisessa ydin siirtyy alempaan energiatilaan siten, että ytimen varaus muuttuu, mutta massaluku ei muutu. Tämä voi spontaanisti tapahtua kolmella tavalla. β^- -**hajoamisessa** yksi ytimen neutroni hajoaa protoniksi ja elektroniksi. Protoni jää ytimeen, elektroni eli β^- -hiukkanen sitävastoin sinkoutuu ulos β^- -säteilynä. β^+ -**hajoamisessa** yksi ytimen protoneista hajoaa neutroniksi ja positroniksi eli β^+ -hiukkaseksi. Hajoamisen yhteydessä esiintyy myös sähkömagneettista annihilaatiosäteilyä, kun positronit törmäävät elektroneihin. β^+ -hajoamisen kanssa vaihtoehtoinen prosessi on **elektronikaappaus**, jossa ydin sieppaa atomin elektroniverhosta yhden elektronin.

Beetasäteilyllä on jatkuva energiaspektri eli ytimestä lähtevien -hiukkasten energioilla on kaikki mahdolliset arvot nollan ja kyseiselle ytimelle ominaisen maksimienergian välillä.

Spontaanissa fissiossa raskas ydin hajoaa kahdeksi keskiraskaaksi ytimeksi. Samalla vapautuu yleensä kaksi tai kolme neutronia. Luonnon nuklideista vain ${}^{235}\text{U}$ fissioituu spontaanisti, sen todennäköisyys on kuitenkin erittäin pieni. Keinotekoisesti valmistetuilla raskailla nuklideilla spontaani fissio sitävastoin on yleisempää. Fissiossa vapautuvien neutronien energia on muutamia megaelektronivolteja.

1.4 ERI SÄTEILYLAJIEN VUOROVAIKUTUKSISTA

Varauksiset hiukkaset, alfa, protoni ja elektroni ovat **suoraan** eli välittömästi ionisoivaa säteilyä. Gamma- ja neutronisäteily sitävastoin ovat **epäsuorasti** eli välillisesti ionisoivaa säteilyä. Tämän säteilyn vaikutuksesta syntyy ionisoivia hiukkasia, jotka puolestaan aiheuttavat varsinaisen säteilyvaurion aineessa.

Kun varauksinen hiukkanen etenee väliaineessa, se menettää energiaa. Siirtynyt energia aiheuttaa väliaineessa muutoksia. Energian siirtyminen aineeseen on monimutkainen prosessi, jossa syntyy suuri määrä ioneja sekä atomien ja molekyylien viritystiloja. Näiden tapahtumien seurauksena osa väliaineen molekyyleistä hajoo. Kiteisen väliaineen rakenteeseen tulee paikallisia muutoksia. Suurin osa aineeseen siirtyneestä energiasta muuttuu lämmöksi.

Atomista, joka menettää vuorovaikutustapahtumassa elektronin, tulee positiivinen ioni. Kun sironnut elektroni liittyy neutraaliin atomiin, syntyy negatiivinen ioni. Ionipari syntyy usein myös molekyylien dissosioituessa. Atomiryhmä on kemiallisesti hyvin aktiivinen, jos sille jää sitoutumaton elektroni. Tällä ns. **vapaalla radikaalilla** on tärkeä merkitys säteilyvaurion aiheuttajana.

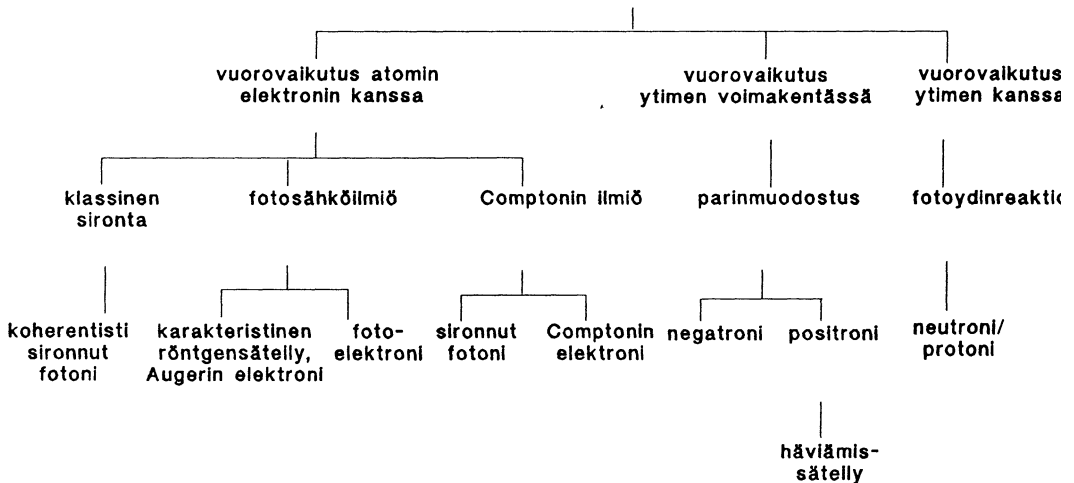
Alfasäteily on tiheään ionisoivaa säteilyä. Koska alfa-hiukkasen massa on yli 7000 kertaa elektronin massa, se kulkee aineessa suoraviivaisesti. Törmätessään aineen elektroneihin hiukkanen menettää nopeasti energiaansa, samalla törmäyksen kohteena olevan ytimen energiatila muuttuu. Hiukkanen hidastuu nopeasti ja sen kantama jää lyhyeksi. Väliaineatomien kanssa tapahtuu törmäyksiä vasta jarruuntumisen loppuvaiheessa, jolloin hiukkanen on menettänyt suuren osan energiastaan ja jolloin sen nopeus on pieni. Alfa-hiukkasen kantama ilmassa on muutamia senttimetrejä ja kiinteässä väliaineessa millimetrin sadasosia.

Beetasäteily on selvästi harvemmin ionisoivaa kuin alfasäteily. Koska beta-hiukasten (elektroni tai positroni) massa on yhtä suuri tai paljon pienempi kuin törmäyksen kohteena olevan elektronin tai atomin massa, ne menettävät energiaansa pääasiassa sirotessaan epäelastisesti aineen elektroneista ja ytimistä. Beetahiukkanen voi menettää koko energiansa jopa yhdessä törmäyksessä, jolloin syntyy suurenergistä jarrutus säteilyä. Beetasäteilyn kantama on ilmassa muutamia metrejä ja kudoksessa muutamia millimetrejä.

Sähkömagneettinen säteily (gamma- ja röntgensäteily) on epäsuorasti ionisoivaa säteilyä. Sen vuorovaikutus aineen kanssa tuottaa ionisoivia hiukkasia. Sähkömagneettinen säteily voi olla vuorovaikutuksessa myös sähkömagneettisen kentän kanssa. Vuorovaikutus voi olla absorptio, elastinen sironta tai epäelastinen sironta.

Gammasäteily on lyhytaaltoista sähkömagneettista säteilyä, jota ei luonnehdita aallonpituuden vaan energian mukaan. Mitä lyhytaaltoisempaa säteily on, sitä suurempi on säteilykvantin eli fotonin energia. Energiat vaihtelevat muutamasta keV:sta muutamaan kymmeneen MeV:iin. Säteily etenee suoraviivaisesti valon nopeudella ja sen ulottuvuus ilmassa on muutamia kilometrejä. Säteilyn tunkeutumiskyky riippuu säteilyn energiasta ja väliaineen tiheydestä. Mitä raskeampaa väliaine on sitä paremmin se vaimentaa gammasäteilyä. Kuvassa 4 on esitetty säteilysuojelun kannalta merkittävät fotonien vuorovaikutukset ja niissä syntyvät hiukkaset.

FOTONIN VUOROVAIKUTUS AINEEN KANSSA



KUVA 4 Säteilysuojelun kannalta merkittävimmät fotonien vuorovaikutukset

Klassinen sironta on fotonin elastista sirontaa lujasti sitoutuneesta elektronista. Sironnassa koko atomi ottaa vastaan rekyylienergian eikä fotonin energia merkittävästi muutu. Tällä sironnalla on merkitystä vain silloin, kun fotonin energia on pieni.

Fotosähköilmiössä fotoni luovuttaa koko energiansa atomin elektronille, joka sinkoutuu ulos atomista ja saa liike-energiakseen fotonin energian vähennettynä elektronin sidosenergialla.

Comptonin ilmiössä fotoni siroaa löyhästi sitoutuneesta (sidosenergia < fotonin energia) elektronista. Fotonin menettämä energia siirtyy sellaisenaan elektronin liike-energiaksi.

Parinmuodostus on kysymyksessä silloin, kun ytimen voimakenttään joutunut fotoni häviää ja sen energiasta syntyy elektroni ja positroni. Ilmiön edellytyksenä on, että fotonin energia on yli $1,022 \text{ MeV} (= 2 m_e c^2)$. Elektroni ja positroni saavat liike-energian, jonka suuruus on

$$E_y - 2m_e C^2$$

missä C on valon nopeus tyhjiössä eli $3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$.

Fotodyinreaktio voi tapahtua silloin, kun fotonin energia on niin suuri, että se absorboituessaan ytimeen aiheuttaa nukleonin irtoamisen. Fotodyinreaktioilla

on nukleonin sidosenergiasta johtuva kynnysergia, joka useimmilla teknisesti tärkeillä aineilla on 10 - 15 MeV. Berylliumissa reaktio voi tapahtua jo 1.67 MeV:n energialla, joten sitä voidaan käyttää neutronilähteenä yhdessä jonkin sopivan gamma-aktiivisen nuklidin kanssa.

Fotonien **matkavaimennuskerroin** on verrannollinen **vuorovaikutusten** todennäköisyyteen. **Kokonaisvaimennuskerroin** (μ) on eri tapahtumien makrovaikutusalojen summa

$$\mu = \mu_f + \mu_c + \mu_p [\text{m}^{-1}]$$

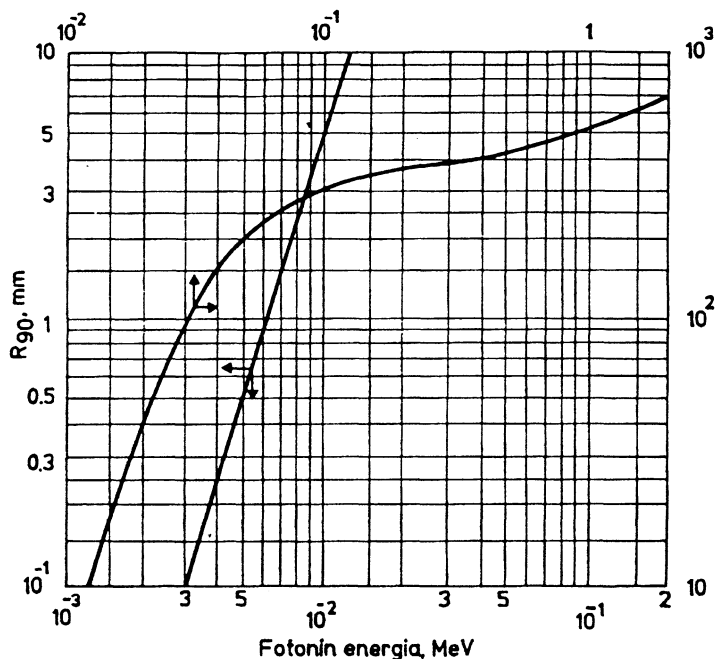
jossa alaindeksi **f** tarkoittaa fotosähköilmiötä, **c** Comptonin sirontaa ja **p** parinmuodostusta.

Fotonivirtasuuhkun, Φ , vaimenemisen ainesyvyydellä x voi laskea kaavasta

$$\Phi(x) = \Phi_0 e^{-\mu x}$$

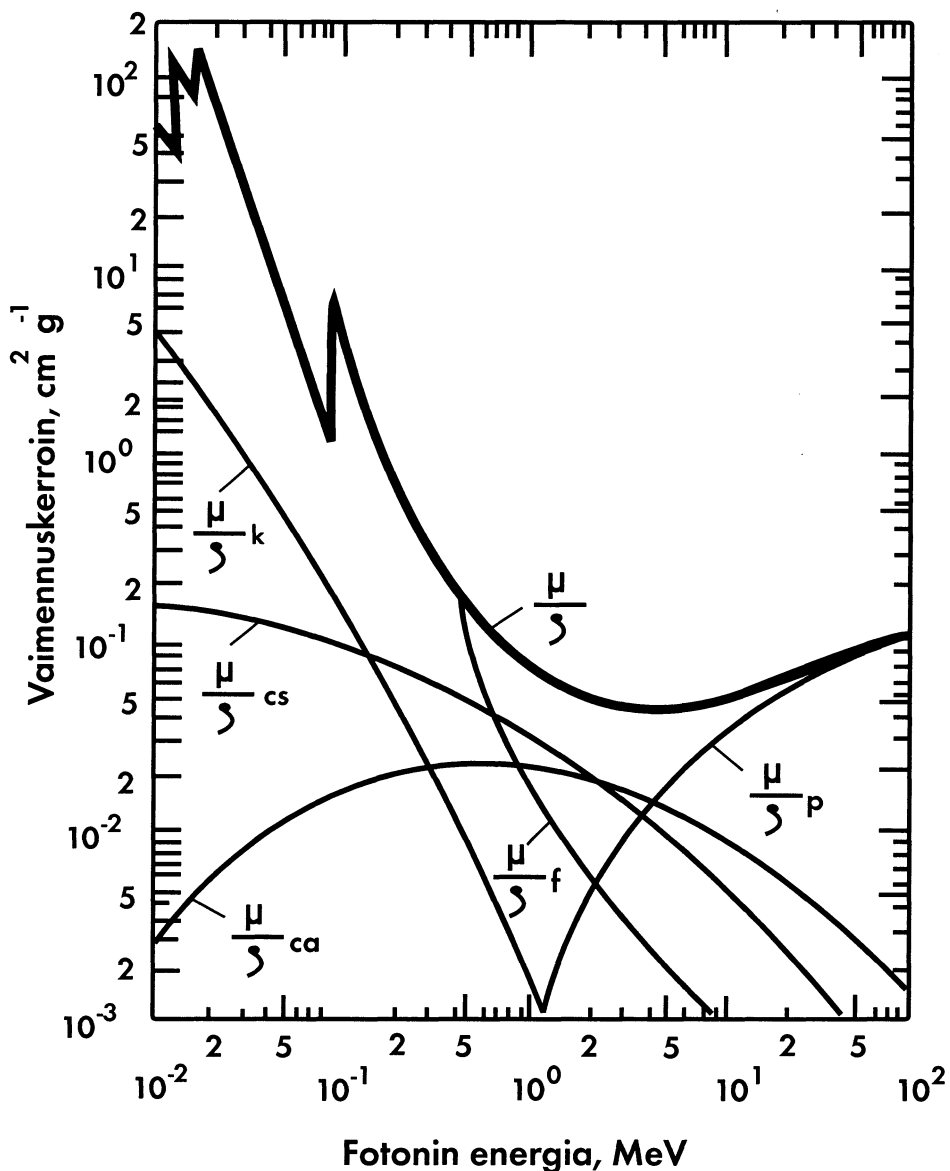
jossa Φ_0 on tulevan fotonivirran tiheys.

Kuvassa 5 on esitetty fotonin energian funktiona vedessä olevaa pistelähdettä ympäröivän pallon säde, jonka sisälle 90 % lähteen säteilyenergiasta absorboituu. Kuva antaa käsityksen siitä, millaisella matkalla eri energian omaavat fotonit absorboituvat veteen, jonka tiheys on likipitään sama kuin ihmisen tiheys.



KUVA 5 R_{90} vedessä fotonin energian funktiona

Kuvassa 6 on esitetty lyijyn **massavaimennuskerroin** energian funktiona (**K** = klassinen sironta, **cs** = comptonin ilmiön sironta, **ca** = comptonin ilmiön absorptio, **f** = fotosähköilmiö ja **p** = parinmuodostus). Kuva antaa käsityksen eri vuoro-vaikutusten merkityksestä eri energian omaavien fotonien absorboituessa lyijyyn. Ylin käyrä on komponenttien summa.



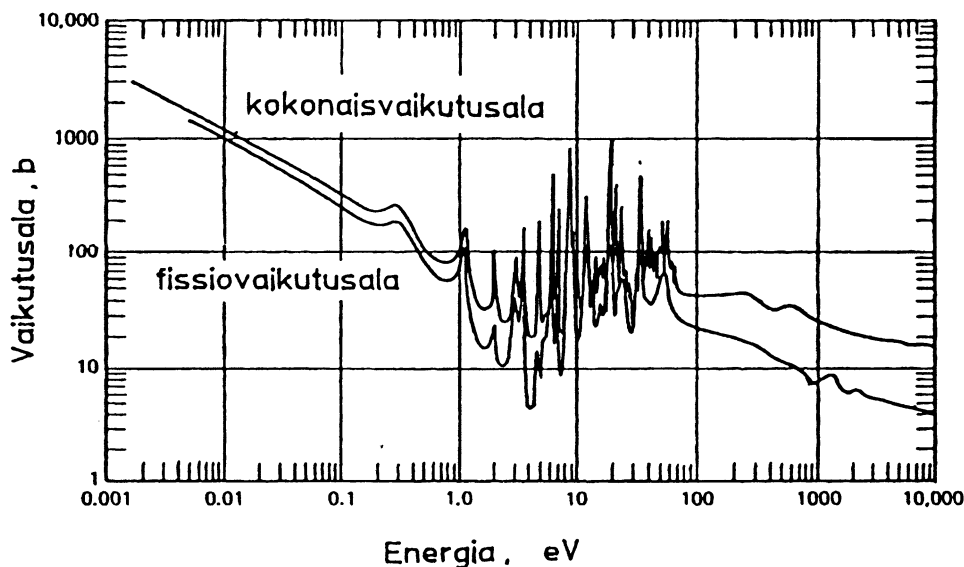
KUVA 6 Lyijyn massavaimennuskerroin ja sen eri komponentit energian funktiona

Sähkömagneettisen säteilyn ja aineen vuorovaikutuksissa energiaa absorboituu, siroaa ja muuttuu häviämässäteilyksi. Edellä esitetyt vaimenemiskertoimet kuvaavat vain alkuperäisen fotonisuihkun vaimenemista. Niissä ei ole otettu huomioon sekundaarisäteilyä, jonka energia- ja suuntajakaumat ovat erilaisia kuin alkuperäisessä fotonisuihkussa.

Neutroneilla ei ole sähkövarausta eivätkä ne näinollen voi ionisoida materiaalia suoraan. Neutronien ja ytimien välisiä reaktiota ovat elastinen ja kimmoton sironta, ydinreaktiot sekä fissio. Reaktioissa syntyvät varauksiset hiukkaset ja gamma-kvantit sekä rekyylienergiaa saavat ytimet voivat normaaliin tapansa aiheuttaa atomin ytimissä ionisaatiota ja virittymistä, joten neutronisäteily on **välillisesti ionisoivaa** säteilyä. Neutronit etenevät valon nopeutta hitaammin, mutkitellen ja niiden kantama ilmassa on muutamia satoja metrejä. Neutronisäteily tunkeutuu syvemmälle väliaineeseen kuin varatut hiukkaset.

Neutronien ja ytimien vuorovaikutukset riippuvat voimakkaasti neutronien energiasta. Neutronit voidaan luokitella liike-energiansa perusteella erittäin nopeisiin (liike-energia yli 20 MeV), nopeisiin (0.1 MeV - 20 MeV), keskinopeisiin (1 keV - 100 keV), hitaisiin (alle 1 keV) ja termisiin neutroneihin (0.005 eV - 0.1 eV).

Energia-alueista käytetään myös muita nimityksiä mm. sen mukaan, millainen merkitys kyseisellä energialla on eri reaktiotyyppeihin. Esimerkiksi **resonanssi-alueella** tarkoitetaan energiaväliä 0.5 eV - 3000 eV, jolla useat tärkeät nuklidit saavat aikaan ytimen virittymisen tiettyyn energiatilaan. **Kokonaisvaikutusala** (b, barn = 10^{-28}m^2) tarkoittaa kaikkien ydinreaktioiden yhteenlaskettua todennäköisyyttä.



KUVA 7 ^{235}U :n kokonaisvaikutusala ja fissiovaikutusala

1.5 SÄTEILYILMAISIMET

Säteilyilmaisimien toiminta perustuu säteilyn ja aineen vuorovaikutuksiin. Vuorovaikutuksissa syntyy varattuja hiukkasia, jotka kerätään ilmaisimen elektrodeille. Syntyvä varauspulssi muutetaan vahvistimessa jännitepulssiksi.

Säteilyilmaisimien tärkeimpiä ominaisuuksia ovat säteilyn **havaitsemistehokkuus** ja **energiaresoluutio**, jolla tarkoitetaan ilmaisimen kykyä erottaa saman säteilylajin eri energian omaavat osat toisistaan. Vuorovaikutus- tai pysäytysaika on hyvin lyhyt, muutamia nanosekunteja, **kaasutäytteisillä** ja muutamia pikosekunteja **kiinteän olomuodon** ilmaisimilla. Käytännössä säteilyenergian siirto ilmaiseeseen voidaan ajatella tapahtuvan välittömästi. Energian siirron seurauksena syntyy tietty varausmäärä ilmaisimen aktiivisen tilavuuden sisälle. Yksinkertaistetussa mallissa varaus Q syntyy hetkellä $t=0$ yksittäisen hiukkasen tai fotonin aiheuttamana. Tämä varaus muutetaan jännitesignaalksi.

Monet vanhimmista ja laajimmin käytetyistä säteilyilmaisimista perustuvat varattujen hiukkasten **liikkumiseen kaasussa**. Näin toimivat ionisaatiokammiot, verrannollisuuslaskurit ja Geiger-Mueller laskurit, joita käytetään ensisijaisesti suoran säteilyn aiheuttaman ionisaation havaitsemiseen. Kaikissa näissä elektroninen ulostulosignaali saa alkunsa ilmaisimen kaasutäytteessä syntyvistä ionipareista.

Ionisaatiokammion toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen. Kaikki kammion kaasussa syntyneet suoran ionisaation aiheuttamat varaukset kerätään sähkökentän avulla. Yhden MeV hiukkanen aiheuttaa noin 30000 ioniparia. Jos ionisaatioon tarvittava energia ei riipu säteilylajista, voidaan säteilyn energia määrittää mittamalla syntyneiden ioniparien määrä.

Verrannollisuuslaskurissa säteilyn synnyttämien ioniparien määrää vahvistetaan kasvattamalla ioneja keräävää sähkökenttää. Sopivissa olosuhteissa ionisaation määrä pysyy verrannollisena säteilyn aiheuttamien ionien määrään, mutta ionien kokonaismäärä voi kasvaa monituhatkertaiseksi. Tämä ilmaisimen varausvahvistusominaisuus (ns kaasuvahvistus) vähentää ulkoisen esivahvistimen käyttötarvetta ja voi oleellisesti parantaa signaali-kohina suhdetta verrattuna ionisaatiokammioihin.

Geiger-Mueller laskurit eli geigerputket ovat vanhimpia säteilyilmaisimia. Putkessa on kaasuseos ja jännite, joiden avulla ioniparin aiheuttama varaus kasvataan niin suureksi, että se voidaan havaita helposti. Putkissa oleva kiihdytysjännite on niin suuri, että jokainen vyöry voi saada aikaan keskimäärin ainakin yhden uuden vyöryn eri kohdassa ilmaisinputkea. Seurauksena on ketjureaktio, jossa hyvin lyhyenä aikana tapahtuu eksponentiaalisesti kasvava määrä vyöryjä. Kun tämä purkaus saavuttaa tietyn koon, yksittäisten purkausten aiheuttama yhteisvaikutus

päättää ketjureaktion. Koska tämä raja-arvo saavutetaan aina samalla vyöryjen lukumäärällä, kaikki geigerputkesta tulevat pulssit ovat yhtä suuria riippumatta ilmaisimeen tulleen säteilyn aiheuttamasta ioniparien lukumäärästä. Geigerputki siis toimii yksinkertaisena säteilyn aikaansaamien tapahtumien eli annosnopeuden laskurina, eikä sillä voi saada mitään **tietoa itse säteilyn energiasta**.

Geigerputken pulssi koostuu noin 10^9 - 10^{10} ioniparista, jotka muodostuvat purkauksessa. Ulostulopulssi on muutamia voltteja, joten ilmaisimessa käytettävää elektroniikkaa voidaan yksinkertaistaa esimerkiksi jättämällä esivahvistin pois.

Säteilyn energiatiedon puuttumisen lisäksi geigerputken toinen puute on poikkeuksellisen pitkä toimimaton aika eli ns kuollutaika kahden säteilytapahtuman välillä. Tämä rajoittaa ilmaisimen käytön pienille laskentataajuuksille. Keskisuurilla laskentataajuuksilla (muutamia satoja pulseja sekunnissa) pitää putkille tehdä kuollutaikorjaus. Joillakin geigerputkityypeillä on lisäksi rajoitettu käyttöaika, ts ne eivät enää toimi tietyn pulssimäärän jälkeen. Geigerputkeen perustuviin säteilyannosnopeusmittareihin voidaan liittää myös **annosmittaus**. Annosmittari kertoo kertyneen annoksen alkaen virran kytkemisestä. Yksinkertaisesta toimintaperiaatteesta, edullisesta hinnasta ja helppokäyttöisyydestä johtuen tämän tyyppinen laskuri on erittäin suosittu ja niitä on vieläkin käytössä paljon. Melkein kaikki puolustusvoimien annosnopeus- ja annosmittarit toimivat tällä periaatteella. Kuvassa 8 on kolme suomalaista säteilymittaria. RDS-10:llä voidaan mitata vain annosnopeutta, RDS-100:lla ja 120:llä myös kertyneen annoksen määrää.



KUVA 8 *Säteilymittareita, vasemalla RD-10, keskellä RDS-100 ja oikealla RDS-120*

Tuikeilmaisimien toiminta perustuu siihen, että ionisoiva säteily aiheuttaa tietyissä materiaaleissa valotuikahduksen. Sopivimpia ovat epäorgaaniset alkalimetallihalogenidikiteet, kuten natriumjodidi, sekä orgaaniset nesteet ja muovit. Epäorgaanisilla aineilla on paras valontuotto ja lineaarisuus, mutta niiden vasteajat joitakin poikkeuksia lukuunottamatta ovat suhteellisen pitkiä. Orgaanisten tuikeaineiden vasteajat ovat yleensä lyhyempiä, mutta aineet tuottavat vähemmän valoa. Tuikeilmaisimien erottelukyky ei riitä säteilyn energian tarkkaan mitaamiseen.

Tuikelaskennan käyttö säteilyn havaitsemisessa ja spektroskopiassa olisi mahdollista, ellei olisi laitteita, jotka pystyvät muuttamaan tuikeaineessa syntyviä erittäin pieniä valopulsseja sähköisiksi signaaleiksi.

Valomonistinputki pystyy antamaan käyttökelpoisen jännitepulssin muutaman sadan fotonin valopulssista. Puolijohdefotodiodien kehityksestä huolimatta se on edelleenkin säilyttänyt asemansa.

Tyhjiövalomonistinputken pääosat ovat **fotokatodi** ja **elektronivahvistin**. Fotokatodi muuttaa valoa matalaenergisiksi elektroneiksi. Koska tyypillisestä valopulssista syntyy vain muutamia satoja elektroneja, niiden virta on liian pieni suoraan mitattavaksi. Putken vahvistinosassa elektronit kiihdytetään suurjännitteen avulla suureen nopeuteen, jolloin ne törmäävät kohtiolevyihin ja synnyttävät sekundääri elektroneja. Tällä tavoin pulssin elektronien määrä saadaan kohoamaan 10^7 - 10^{10} -kertaiseksi, mikä riittää signaaliksi kuvaamaan alkuperäistä tuiketapahutunaa. Varaus kerätään valomonistinputken anodilta ja johdetaan mittausslaitteelle. Hyvin lyhyt valopulssi ilmaantuu 20-50 nanosekunnin kuluttua muutaman nanosekunnin pituisena elektronisena pulssina.

Perinteiset **puolijohdefotodiodit** muuntavat valoa elektroni-aukkopareiksi, jotka kerätään ulkoiselle vahvistimelle. Vyöryfotodiodeissa varauksenkuljettajien määrää kasvatetaan sähkökentän avulla. Fotodiodien etuja verrattuna valomonistinputkiin ovat parempi tehokkuus fotonien muuttamisessa varaukseksi, pienempi tehonkulutus ja koko sekä parempi mekaaninen kestävyys.

Puolijohdemateriaalien käyttö säteilyn havaitsemiseen antaa monia etuja verrattuna kaasutäytteisiin ja tuikeilmaisimiin. Niitä ovat mm. energiaerottelukyvyn paraneminen ja ilmaisimien koon pieneneminen. Puolijohdemateriaaleissa varauksenkuljettajina toimivat elektroni-30 aukkoparit, joita syntyy säteilyhiukkasen siirtäessä ilmaisimen aktiivisessa kerroksessa. Elektroni-aukkoparit vastaavat kaasutäytteisten ilmaisimien ionipareja. Puolijohdeilmaisimien vasteajat ovat lyhyet ja ilmaisinten efektiivinen paksuus voidaan valita tarpeen mukaan. Haittana on säteilyvaurioiden aiheuttama ominaisuuksien huononeminen.

Pii on käytetyin puolijohdemateriaali varattujen hiukkasten spektroskopiassa. Germaniumia käytetään gammafotonien mittauksissa.

Gammasäteilyä lähettävät radioaktiiviset aineet pystytään tunnistamaan niiden lähettämän säteilyn energian perusteella.

Neutronit havaitaan niiden ydinreaktioissa aikaansaamien varattujen hiukkasten, protonien ja alfahiukkasten, avulla. Kaikissa neutroni-ilmaisimissa on kohtiomateriaali, jossa ydinreaktiot tapahtuvat, ja ilmaisinosia, jolla varatut hiukkaset havaitaan.

Hitaat neutronit, joiden energia on yleensä alle 0,5 eV, havaitaan esimerkiksi niiden boorissa (^{10}B) tai litiumissa (^6Li) aikaansaamien alfa-hiukkasten perusteella.

Kun neutronin energia kasvaa, todennäköisyys neutronin ja ilmaisinaiseen väliselle vuorovaikutukselle pienenee. **Nopeat neutronit** voidaan havaita suhteellisen helposti esimerkiksi neutronin ja vety-ytimen eli protonin välisissä törmäyksissä syntyvien **rekyyliprotonien** perusteella. Rekyyliprotonin energia on verrannollinen törmäävän nopean neutronin energiaan, joten menetelmällä on mahdollista mitata myös neutronin energia. Kyseistä nopeiden neutroneiden havainnointia ja niiden energian mittausta kutsutaan **nopeiden neutroneiden spektroskopiaksi**. Joissakin tapauksissa riittää neutronien pelkkä havaitseminen, jolloin voidaan käyttää **nopeiden neutroneiden laskimia**.

1.6 YDINASEET JA YDINRÄJÄHDE

1.6.1 Perusteita

Ydinräjähteellä tarkoitetaan räjähdettä, jossa energian vapautuminen perustuu atomiytimien reaktioihin. Näissä reaktioissa massayksikköä kohti vapautuva energia on kymmenen miljoonaa kertaa suurempi kuin konventionaalisissa kemiallisissa räjähteissä syntyvä energia. Reaktioita on kahta päätyyppiä. Raskaiden ydinten halkeamis- eli **fissioreaktio** ja keveiden ydinten yhtymis- eli **fuusioreaktio**. Edellisessä tapauksessa puhutaan fissioräjähteistä tai synonyymisesti atomipommeista. Jälkimmäiseen reaktioon perustuvista aseista käytetään nimityksiä fuusio- tai lämpöydinräjähdde sekä vetypommi.

Ydinaseet jaetaan ampumaetäisyyden ja käyttötarkoituksen perusteella taktisiin, operatiivisiin ja strategisiin ydinaseisiin. **Taktisten** ydinräjähteiden ampumaetäisyys on muutamasta kilometristä tuhanteen kilometriin ja teho kilotonneista kymmeneen kilotonneihin. **Operatiivisten** ydinaseiden kantama on 1000-6000 km. Ne voivat sisältää useita ydinkärkiä, jolloin kokonaisteho voi nousta satoihin kilotonneihin. **Strategisten** ydinaseiden ampumaetäisyydet ovat tuhansia kilometrejä. Niihin on yleensä sijoitettu useita ydinkärkiä, jolloin kokonaisteho nousee satoihin kilotonneihin, jopa megatonneihin.

Ydinaseiden **maaliin** saattamiseen soveltuvat monet eri asejärjestelmät. Ohjustyyppiä edustavat maalta, mereltä tai ilmasta ammuttavat ohjukset ja risteilyohjukset, lyhyen kantaman rynnäkköohjukset, ilmatorjuntaohjukset sekä merimaali-ohjukset. Ohjuksen koosta ja lentotavasta riippuu, kuinka suuren latauksen ja kuinka kauas se pystyy kuljettamaan. Tykistöohjukset sekä suurikaliperinen raketinheittimistö ja kenttätykistö soveltuvat kilotonnien luokkaa olevien ydinräjähteiden ampumiseen. Ydinase voidaan sijoittaa myös ohjautuvaan, ohjattavaan tai tavanomaiseen lentopommiin sekä syvyyspommiin.

1.6.2 Fissio

Fissiossa raskas ydin halkeaa kahdeksi keskiraskaaksi ytimeksi. Vaikka kaikki raskaat ytimet periaatteessa voivat fissioitua ilman ulkoista syytä, tapahtuu tämä erittäin harvoin. Käytännössä fissio tapahtuu vasta silloin, kun ytimeen syötetään ulkopuolelta lisäenergiaa kullekin aineelle ominaisen kynnyksen ylittävää määrää. Helpoin keino lisäenergian saamiseksi on ampuu ytimeen ylimääräinen neutroni. Joissakin tapauksissa jopa nollaenergiainen neutronin kiinnittyminen ytimeen saa aikaan fission. Sellaisia ytimiä, jotka käyttäytyvät edellämainitulla tavalla, kutsutaan **halkeaviksi** eli **fissiileiksi**.

Tärkeimmät halkeavat ytimet ovat uraani 233 (^{233}U), uraani 235 (^{235}U) ja plutonium 239 (^{239}Pu), joista ainoastaan ^{235}U esiintyy luonnossa (n 0.71 % luonnonuraanista).

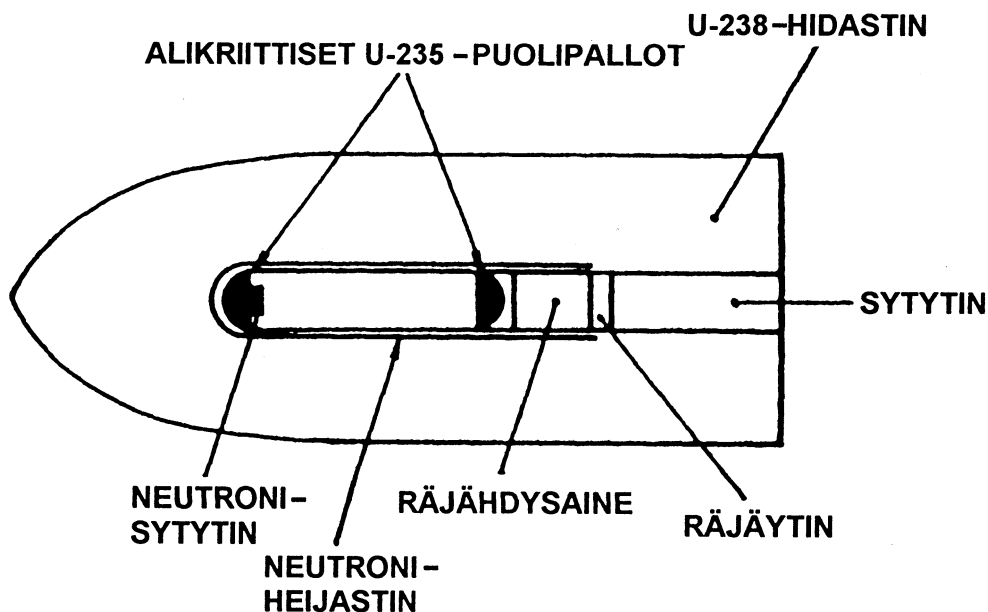
Muissa ytimissä nollaenergiainen neutroni ei yleensä saa aikaan fissiota, vaan tulevalla neutronilla on oltava energiaa fission indusoimiseksi. Jos tämän energian määrä on alle 10 MeV, kutsutaan lähtöydintä **halkeamiskelpoiseksi**. Tärkein halkeamiskelpoinen ydin on ^{238}U , joka on luonnonuraanin tärkein osa. Tämän ytimen halkeamiseen tarvittava kynnyksenenergia on 0,6 MeV.

Fissioreaktion tuloksena syntyvät ytimet eivät ole edeltäkäsääräytyjä, vaan niitä muodostuu tietyn todennäköisyysjakauman mukaisesti ja monet niistä ovat radioaktiivisia. Yleensä halkeaminen tapahtuu kahteen osaan. Täysin symmetrisen halkeaminen on harvinainen. Todennäköisimmin fissiofragmenttien massaluvut ovat joko välillä 85 - 105 tai 130 - 150.

Ydinpommeissa käytetään hyväksi joko ^{235}U :n tai ^{239}Pu :n fissiota. Vastaavasti puhutaan joko uraani- tai plutoniumpommeista. Ydinräjähdde on mahdollista rakentaa myös ^{233}U :n fissioon perustuen.

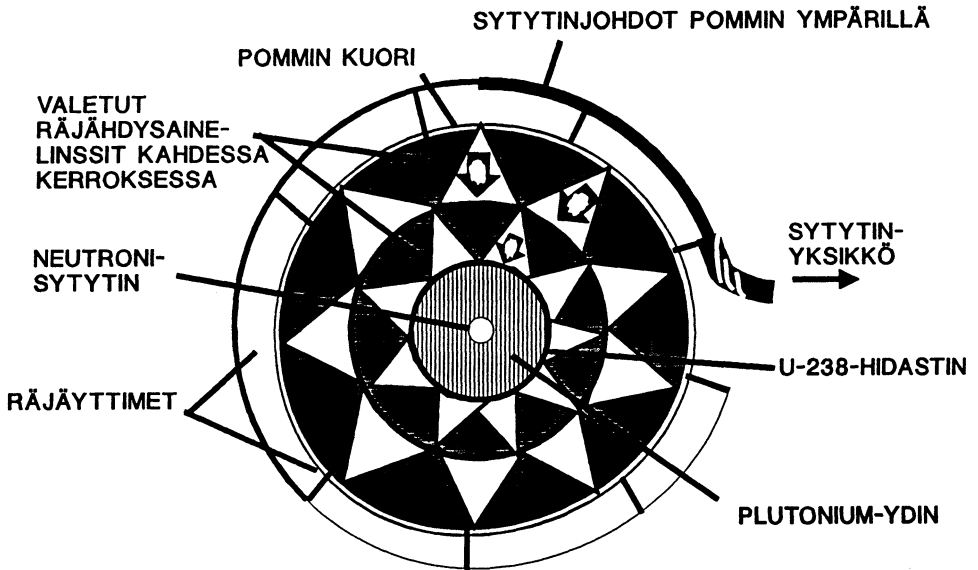
Ydinaseen kannalta tärkeintä on, että fissioreaktiossa vapautuu sekä energiaa että vaihteleva määrä neutroneja. Esimerkiksi ^{235}U :n ytimen haljetessa syntyy energiaa noin 200 MeV ja 2 - 3 neutronia. Jos yhden kilogramman ^{235}U :n jokainen ydin hajoaisi, saataisiin siitä 8×10^{13} joulea energiaa, mikä vastaa noin 20 000 tonnia TNT:tä.

Kanuunatyypisessä ydinräjähteessä polttoaine (^{235}U) on kahdessa puolipallon muotoisessa kappaleessa, joiden massa erikseen on selvästi **alikirittinen**, mutta yhdessä **ylikirittinen**. Kappaleet ovat erossa toisistaan kanuunaputken muotoisen puristimen päissä. Putki voi olla valmistettu köyhdytetystä uraanista. Polttoaine saatetaan yhteen räjäyttämällä tavanomainen räjähdysainepanos toisen puolipallon takana. Samalla hetkellä, kun puolipallot kohtaavat, tuotetaan sytyttimestä neutroneja, joiden avulla ketjureaktio saadaan aikaan. Kriittinen massa pelkälle pallolle on 49 kg, jolloin sen säde on 170 mm. Jos pallo ympäröidään neutroniheijastimella, massa pienenee 17 kilogrammaan ja säde 118 mm:iin. Kanuunatyypisen ydinräjähteen hyötysuhde on huono. Esimerkiksi 20 kt:n aseessa vain noin 3 % polttoaineesta fissioituu ja loppu jää käyttämättä. Tästä syystä niiden tilalle on kehitetty jo paljon tehokkaampia vaihtoehtoja. Kuvassa 9 on esitetty kanuunatyypisen ydinräjähteen rakenne.



KUVA 9 Kanuunatyypinen ydinräjähde

Kokoonpuristamiseen perustuvassa ydinräjähteessä kriittistä massaa pienennetään kasvattamalla ydinpolttoaineen tiheyttä. Fissioituvaa aine on pienen alikiittisen pallon muodossa. Sitä ympäröi fissioituvaa materiaalia, esimerkiksi ^{238}U , sisältävä neutroniheijastin. Ulommaisena on räjähdysainekerros, joka sytytetään samanaikaisesti useasta kohdasta symmetrisen puristuksen aikaansaamiseksi. Räjähdyspaineen puristaman ydinpolttoaineen tiheys kasvaa alkutiheyden nähden kaksin- jopa kolminkertaiseksi, jolloin reaktion aikaansaamiseen tarvittava kriittinen massa voi olla neljä - kahdeksan kertaa pienempi kuin normaalin tiheyden polttoaineella. Ydintä kohti vapautuvien neutronien lukumäärä nousee samalla alle yhdestä noin kahteen. Kuvassa 10 on esitetty tällä periaatteella toimiva ydinräjähde.



KUVA 10 *Kokoonturistamiseen perustuva ydinräjähdde*

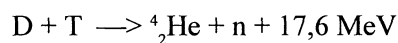
Pu 239:n fissiossa vapautuu useampia neutroneja kuin uraani 235:n fissioituessa. Plutoniumin kriittinen massa on 6,0 kg, jolloin plutoniumipallon säde on 90 mm. Mikäli plutonium puristetaan kaksinkertaiseen tiheyteen, kriittinen massa on vain 1,5 kg.

Jos räjähteen teho halutaan kasvattaa siten, että se vastaa satoja kilotonneja TNT:tä, pitää ammuksessa olla useita kiloja fissioituvaa ainetta. Tämä on mahdollista siten, että alkutilanteessa aine on ontton pallon muotoisena, joka puristuessaan kokoon muuttuu yhtenäiseksi, tiheäksi ylikriittiseksi palloksi.

1.6.3 Fuusio

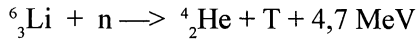
Uraanin rikastaminen tai plutoniumin valmistus ja erottaminen on hyvin kallista. Suuritehoinen ydinräjähdde saadaan aikaan paljon halvemmalla, kun käytetään hyväksi **fuusiota**.

Helpoimmin fuusio saadaan tapahtumaan vedyn kahden isotoopin, deuteriumin ($D = {}^2_1\text{H}$) ja tritiumin ($T = {}^3_1\text{H}$) välillä.



Deuteriumia eli raskasta vetyä on luonnossa noin 0.015 % kaikesta vedystä. Tritiumin puoliintumisaika on vain noin 12 vuotta, joten luonnossa sitä on verraten

vähän. Tritiumia voidaan kuitenkin valmistaa keinotekoisesti esimerkiksi aliesitetyn reaktion avulla, jossa syntyy myös energiaa.



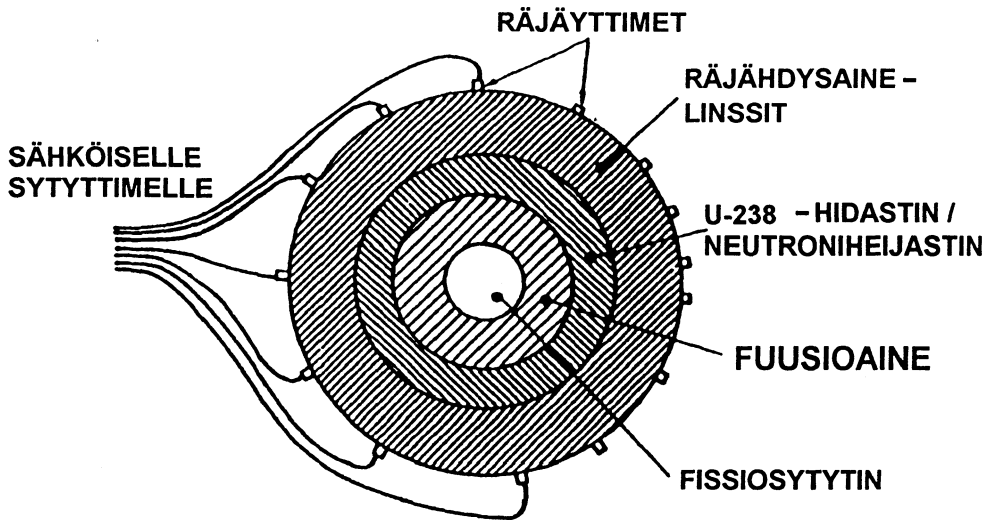
Fuusioreaktiot eivät tapahdu spontaanisti. Tämä johtuu siitä, että ytimien välinen sähköstaattinen poistovoima synnyttää potentiaalivallin, joka on ylitettävä ennenkuin lyhytkantamaiset ydinvoimat pääsevät vaikuttamaan ja vetävät fuusioituvat osat yhteen. Deuteriumin ja tritiumin fuusio on todennäköinen vasta, kun törmäävien hiukkasten suhteellinen liike-energia on 10 - 100 keV.

Liike-energia, joka reaktiossa tarvitaan, saadaan aikaan noin sadan miljoonan asteen lämpötilalla, mistä johtuu nimitys lämpöydinfuusio. Käytännössä näin korkean lämpötilan saavuttamiseen tarvitaan fissioräjähdde. Fuusioon perustuvien reaktioiden energiatuotto on kolmin - nelikertainen fissioreaktioihin verrattuna. Lämpöydinfuusiota käytetään ydindräjähteissä hyväksi kolmella toisistaan poikkeavalla tavalla.

Fissioräjähteen tehoa voidaan parantaa merkittävästi, jos se sisältää pienen määrän fuusiopolttoainetta. Itse fuusiopolttoaine ei tuota kovinkaan paljon lisäenergiaa. Sen sijaan fuusiosta syntyvät korkeaenergiset neutronit nopeuttavat ketjureaktiota, jolloin ehtii tapahtua normaalia paljon suurempi määrä fissioreaktioita ennen, kuin polttoaine laajenee alikriittiseksi. Menetelmästä käytetään nimitystä **tehostettu fissioräjähdde**.

Korkean tuoton räjähteessä fuusioreaktio käynnistetään fissiosytyttimellä, jolloin suurin osa energiasta syntyy fuusion tuloksena. Puhtaan fuusioräjähteen hinta on kuitenkin korkea.

Halvempi ratkaisu on käyttää köyhdytetystä uraanista valmistettua heijastinkerrosta lämpöydinräjähteen ympärillä. Köyhdytetty uraani ei halkea fissiosytyttimestä tulevista neutroneista. Vasta fuusioreaktioista vapautuvat suurienergiset neutronit aiheuttavat sen fissioitumisen. Useimmat korkean tuoton räjähteet ovat tätä tyyppiä. Vaikka näitä kutsutaankin lämpöydinaseiksi tai vetypommeiksi, noin puolet energiantuotosta syntyy neutroniheijastimessa tapahtuvista fissioista. Kuvassa 11 esitetyn lämpöydinräjähteen rakennetta voidaan vielä parantaa vaihtamalla fissiosytyttimen ja fuusiomateriaalin paikkoja, jolloin fissiosta vapautuvalla energialla puristetaan fuusioituvaa ainetta ja samalla kasvatetaan lämpöydinreaktion nopeutta sekä tehokkuutta.



KUVA 11 *Lämpöydinräjähde*

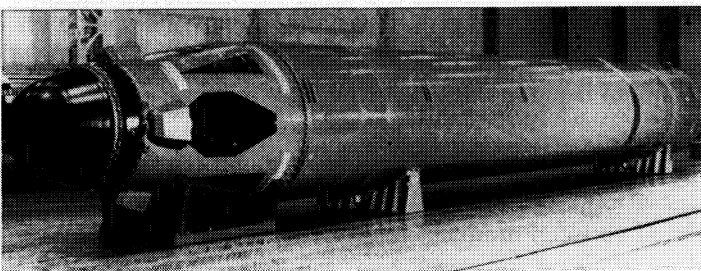
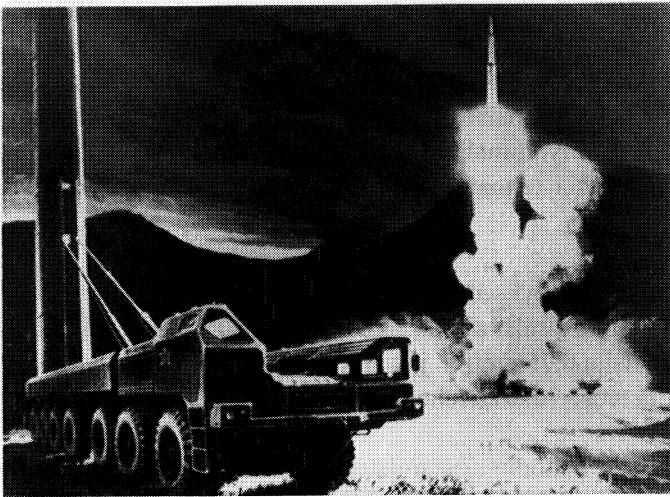
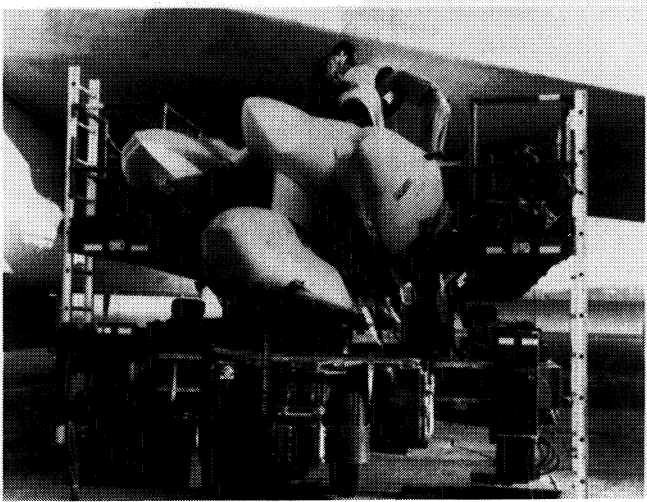
On myös mahdollista valmistaa suhteellisen pienitehoinen räjähde, jossa pienellä fissiosytyttimellä käynnistetään fuusioreaktio. Jos räjähteen rakenne on sellainen, että ydinreaktiot tapahtuvat mahdollisimman nopeasti, heijastimen ei tarvitse olla paksu. Tällöin suuri osa energettisistä neutroneista pääsee karkuun, mikä lisää räjähteestä lähtevän neutronisäteilyn määrää, paine- ja lämpövaikutukset sitävastoin ovat pienemmät verrattuna säteilyominaisuuksiltaan samantehoiseen tavanomaiseen fissioräjähteeseen. Tällaisia **tehostetun säteilyn** aseita kutsutaan **neutronipommeiksi**.

Yhteenvedona ydinräjähdeiden kehityksestä voidaan todeta, että Hiroshimassa käytetty kanuunatyypinen räjähde sisälsi noin 42 kg uraania (80% ^{235}U). Räjähteen pituus oli 3,2 metriä, halkaisija 0,75 metriä ja paino 4,4 tonnia. Sen teho oli vain 12,5 kt eli alle 2 prosenttia teoreettisesta tehosta.

Nagasakin ydinpommi edusti kokoonpuristamistekniikan ensimmäistä sukupolvea. Sen teho oli 20 kt. Pallonmuotoisessa räjähteessä oli kaikkiaan 96 kemiallista räjähdysainepanosta, jotka sytytettiin 32 eri kohdasta ja joiden yhteispaino oli 2 tonnia. Nykytokniikalla valmistettu 1 kt:n ydinräjähde voidaan sijoittaa 155 mm tykin kranaattiin. Suurimman fissioräjähteen teho on ollut 500 kt.

Ensimmäinen nestemäiseen deuteriumiin ja tritiumiin perustunut lämpöydinräjähde testattiin vuonna 1952. Sen teho oli 10 Mt ja paino jäädytyslaitteineen 66 tonnia. Nykyaikaiseen mannerten väliseen monikärkiohjukseen voidaan sijoittaa useita lämpöydinräjähdeitä.

Kuvassa 12 on esimerkkejä ydinaseiden maaliinsaattamisjärjestelmistä. Ylimpänä strateginen ydinohjus SS-25, jonka kantama on yli 10 000 km ja ydinlatauksen teho 550 kt, keskellä ilmasta ammuttava risteilyohjus AGM-86-ALCM, jonka kantama on noin 2500 km ja latauksen teho 200 kt, alimpana sukellusveneestä ammuttava strateginen ohjus SS-N-23, jonka latauksen teho voi olla satoja kilotonneja lentoradan korkeudesta riippuen.



KUVA 12 *Esimerkkejä ydinaseista*

1.6.4 Ydinräjähdysten energajakautuma

Ydinräjähdyksessä vapautuva energia vaikuttaa ympäristöön **lämpösäteilynä, paineaaltona, ydinsäteilynä, ionisaationa ja sähkömagneettisena pulssina**. Kaksi viimeistä eivät ole peräisin itse pommista, vaan ne syntyvät ydinräjähdysten ja ilmakehän vuorovaikutusten seurauksena.

Ydinräjähdykset voidaan jakaa räjäytyskorkeuden mukaan ilma-, pinta- ja syvyyssekä vedessä tapahtuviin räjähdyksiin.

Sotilaalliselta kannalta kaikkein todennäköisimpiä ovat **ilmaräjähteet**, joista on kyse silloin, kun räjähdyksessä syntyvä tulipallo ei kosketa maan pintaa. Lähellä maan pintaa tapahtuvasta ilmaräjähteestä aiheutuvat vauriot johtuvat ensisijaisesti paineiskusta, lämpösäteilystä ja alkusäteilystä. Korkealla tapahtuva ilmaräjähdys aiheuttaa ilmakehän ionisoitumisen ja sähkömagneettisen pulssin.

Pintaräjähdyksessä tulipallo koskettaa maan pintaa. Räjähdyspaine synnyttää kraaterin, joka on suurin silloin, kun räjähdys tapahtuu juuri maan pinnassa. Jos räjähdyskorkeus on enemmän kuin 1/10 tulipallon koosta, ei mainittavaa kraateria enää synny. Pintaräjähdysten aiheuttaman lämpösäteilyn ja paineaallon vaikutusetäisyydet ovat pienemmät, mutta radioaktiivisen laskeuman osuus suurempi kuin ilmaräjähteessä.

Syvyysräjähdyksessä syntyy voimakas tärinäaalto. Muut räjähdysten välittömät vaikutukset ovat vähäisemmät kuin ilmaräjähteellä, ellei radioaktiivista pilveä muodostu.

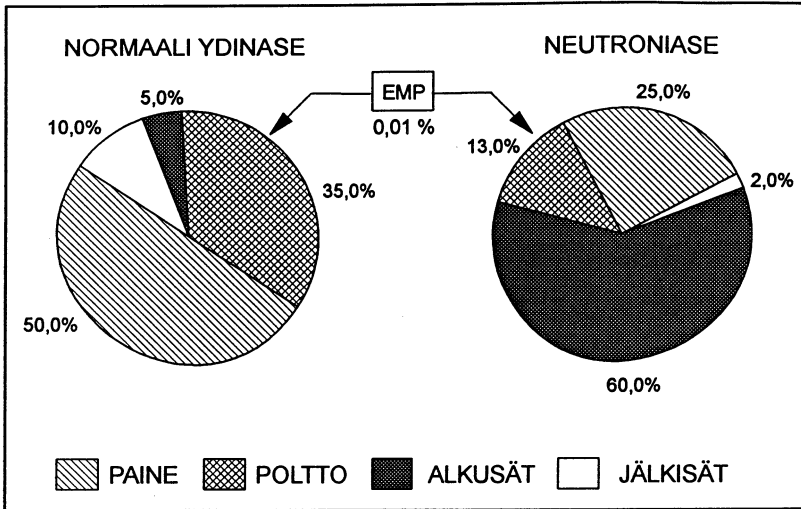
Räjähdysten tapahtuessa **veden pinnan alla** laajeneva höyry aiheuttaa paineaallon, joka näkyy veden pinnalla vettä vaaleampana kehänä ja synnyttää jopa useiden metrien korkuisia hyökyaaltoja. Kuumen höyryn saavuttaessa veden pinnan on tulipallon hehku jo sammunut. Höyry nousee edelleen ja muodostaa valkean radioaktiivisen pilven, joka tulee sateen muodossa alas noin tunnin kuluessa räjähdysketkestä.

Ilmakehän alemmissa osissa räjäytetyn räjähteen kokonaisenergiasta noin prosentti menee ensimmäiseen lämpösäteilypulssiin ja alle prosentti alkusäteilyn neutroneille ja gammasäteilyn osalle. Noin kolmannes energiasta ilmenee toisena lämpösäteilypulssina. Pääosa kokonaisenergiasta jää shokin hydrodynaamiseksi energiaksi, joka voi aiheuttaa normaalia ilmanpainetta yli miljoona kertaa suuremman paineen.

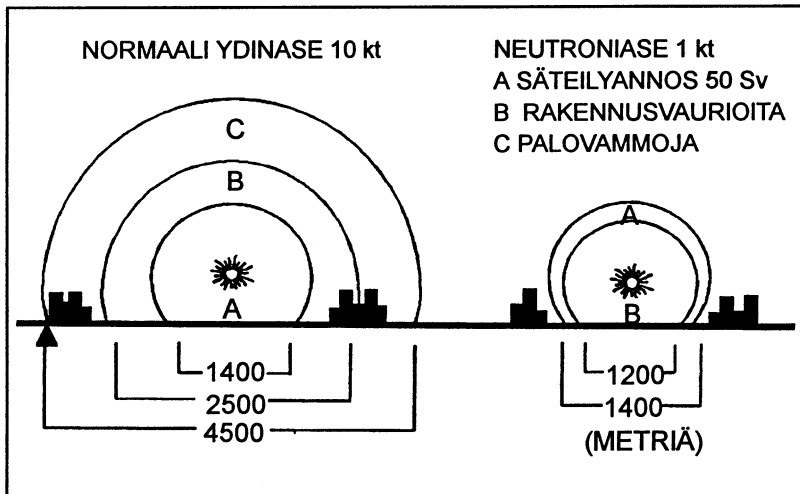
Välittömästi vapautuvan 180 MeV:n lisäksi jokaista haljennutta ydintä kohti vapautuu fissiotuotteiden radioaktiivisessa hajoamisessa energiaa noin 20 MeV. Tästä energiasta koostuu pääosa alkusäteilystä ja koko jälkisäteily. Energian jakautuminen vaihtelee kuitenkin ydinräjähteen rakenteen mukaan. Tavanomaisen

fissiopommin energiasta noin puolet ilmenee painevaikutuksena, noin kolmasosa lämpövaikutuksena ja loput alku- ja jälkisäteilynä. Neutronipommista vapautuvasta energiasta noin kaksi kolmasosaa on neutronien aiheuttamaa alku- ja jälkisäteilyä, jolloin paine- ja lämpövaikutuksille jää vain yhden kolmasosan osuus. Kuvassa 13 on vertailtu normaalin ydinaseen ja neutroniaseen energiajakautumia ja vaikutusten ulottuvuutta.

ENERGIAJAKAUMA

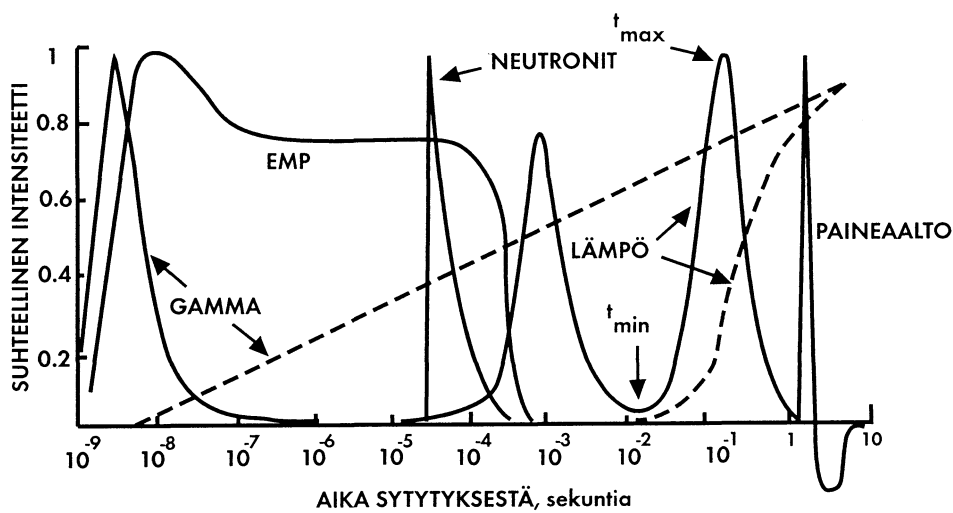


VAIKUTUSTEN ULOTTUVUUS



KUVA 13 Tavanomaisen ja neutroniräjähteen energioiden jakautuminen ja vaikutusten ulottuvuus

Jäljempänä esitetyt tiedot ydinräjähteiden vaikutuksista koskevat tavanomaisia ydinaseita. Räjähdyksen energiamuodot eivät ilmene samanaikaisesti. Paineiskua lukuunottamatta eroja on käytännössä kuitenkin lähes mahdotonta havaita. Kuvassa 14 on esitetty eri energiamuotojen suhteellinen intensiteetti ja energian ajallinen esiintyminen 1 km:n etäisyydellä räjähdyspisteestä, kun kysymyksessä on 27 kt:n ilmaräjähde. Huomaa ajan logaritminen asteikko.

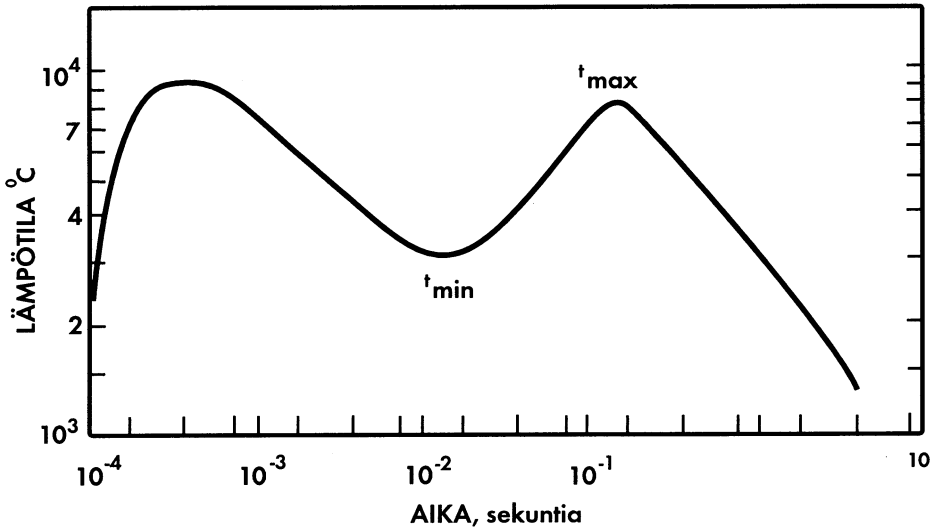


KUVA 14 Eri energiamuotojen suhteellisen intensiteetin ajallinen käyttäytyminen

Lähellä maanpintaa räjäytetyn ydinräjähteen energiasta ketjureaktioiden päätyttyä 85% on reaktiotuotteiden liike-energiaa ja 15% ydinsäteilyä.

1.6.5 Tulipallo ja radioaktiivinen pilvi

Laajenevien reaktiojätteiden lämpötila nousee kymmeneen miljooniin asteisiin ja paine miljooniin baareihin, jolloin kuumien aineiden lämpösäteily tapahtuu pehmeällä röntgenalueella. Röntgensäteet etenevät melko vapaasti kuumassa materiassa, mutta absorboituvat lyhyellä matkalla kohdatessaan räjähdettä ympäröivän kylmän aineen. Tämän seurauksena räjähdyspisteen ympärille syntyy lähes vakio- lämpöinen **tulipallo**, joka rajoittuu jyrkästi sitä ympäröivään väliaineeseen. Tämä nk isoterminen pallo laajenee nopeasti säteilydiffusion seurauksena. Toisin sanoen säteily tunkeutuu uusiin materiaalikerroksiin, jotka lämpiävät ja päästävät säteilyä lävitseen siten, että laajeneva pallo pystyy säilyttämään korkean lämpötilansa. Kuvassa 15 on esitetty 20 kt:n ilmaräjähdyksestä syntyvän tulipallon lämpötilan ajallinen käyttäytyminen. Huomaa logaritminen aika-asteikko.

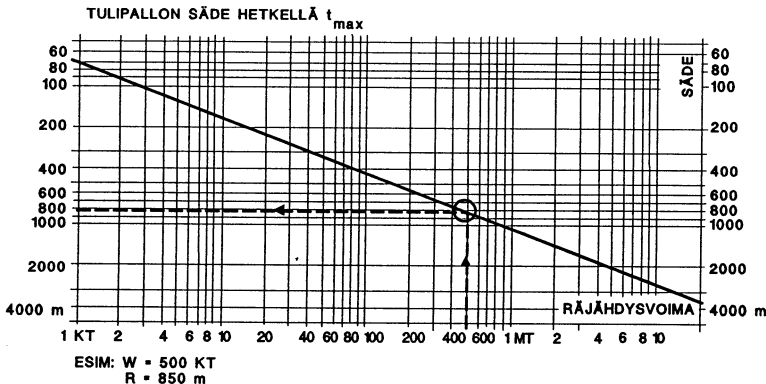


KUVA 15 Tulipallon lämpötilan ajallinen käyttäytyminen

Isotermisen pallon paine on suuri ja sen pinnalta pyrkii jatkuvasti irtoamaan ns **hydrodynaaminen shokki**. Tämä voi kuitenkin tapahtua vasta sen jälkeen, kun pallon kasvunopeus on hidastunut pienemmäksi kuin shokin lähtönopeus.

Shokkiaalto puristaa ilman suureen tiheyteen ja nostaa sen lämpötilan niin korkeaksi, että ilma tulee hehkuvaaksi. Tulipallo muodostuu tässä vaiheessa sisemmästä isotermisestä pallosta ja sen ulkopuolella olevasta valaisevasta shokkiaallosta, joka säteilee ensimmäisen lämpösäteilypulssin. Shokki jäähtyy laajetessaan nopeasti. Alle 2000 °C:n lämpötilassa se lakkaa hehkumasta ja tulee läpinäkyväksi.

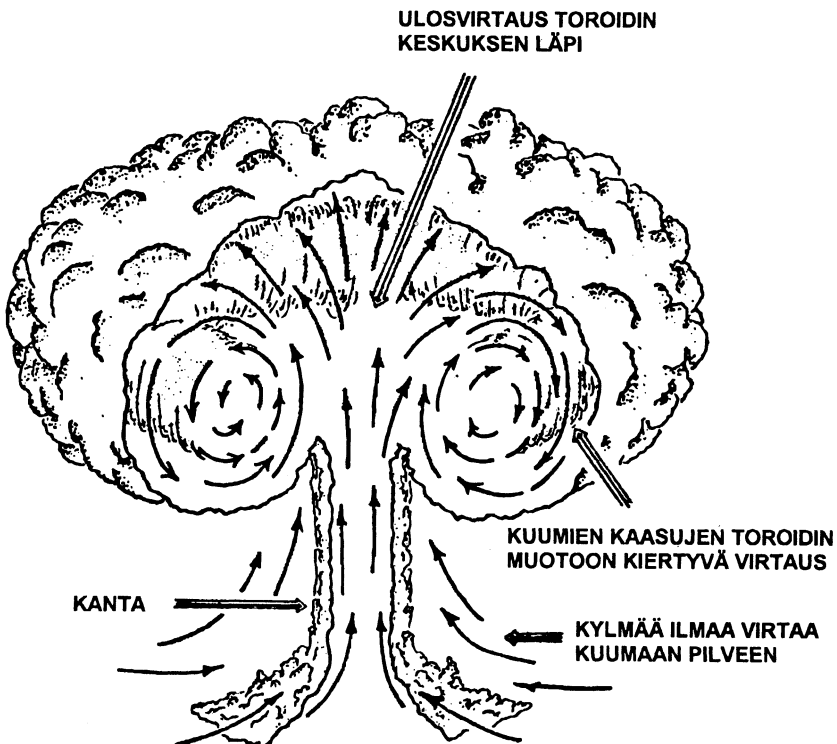
Tulipallo, jonka reunana on nyt isotermisen pallon ulkopinta, jatkaa tämän jälkeenkin kasvuaan hidastuvalla nopeudella kokoon, joka on noin kaksi kertaa irtoamissädettä suurempi. 20 kt:n räjähteellä tämä raja saavutetaan noin sekunnin kuluttua räjähdyksestä. Kuvassa 16 on esitetty tulipallon säde eri räjähdysvoimakkuuksilla hetkellä, jolloin lämpösäteilypulssin toisella osalla on maksimi-arvo.



KUVA 16 Tulipallon säde eri räjähdysvoimakkuuksilla

Alussa tulipallon väri on punainen tai punaruskea ja lopussa valkoinen. Samalla kun tulipallo laajenee, se kohoaa kuumailmapallon tavoin. 1 Mt:n ydinräjähdysen tulipallon halkaisija on 0,7 ms:n kuluttua räjähdyksestä noin 135 m ja kasvaa 10 s:ssa maksimiarvoonsa noin 2200 m:iin. Tulipallon nousunopeus on tällöin 75 - 100 m/s. Yhden minuutin kuluessa tulipallo kohoaa 7,2 km:n korkeuteen ja jäähtyy niin paljon, ettei sitä voida erottaa paljaalla silmällä.

Kohoava tulipallo synnyttää peräänsä voimakkaan nousevan ilmavirran ja sisään-päin kohdistuvan ns jälkituulen. Tuuli imee maaperän laadusta ja räjähdyskorkeudesta riippuen valtavia määriä pölyä ja muuta materiaalia räjähdyspilveen, jolloin syntyy nk **radioaktiivinen pilvi**. Mitä korkeammalla räjähdys tapahtuu, sitä vähemmän materiaalia tempautuu pilveen. Tästäkin vain pieni osa saastuu, koska hiukkasten sekoittuminen radioaktiivisen jätteen kanssa tapahtuu vasta sen jälkeen, kun räjähdhöyryt ovat jo kondensoituneet. Lähellä maan pintaa tapahtuvassa räjähdyksessä sitävastoin suuri määrä pölyä, likaa ja muuta hienojakoista materiaalia sekoittuu radioaktiiviseen pilveen jo varhaisessa vaiheessa. Räjähteestä syntyneet jätehöyryt kondensoituvat tämän materiaalin pinnalle ja aikaansaavat radioaktiivisia hiukkasia, jotka putoavat maahan varhaislaskeumana. Kuvassa 17 on kuvattu radioaktiivisen räjähdyspilven sisäiset virtaukset.



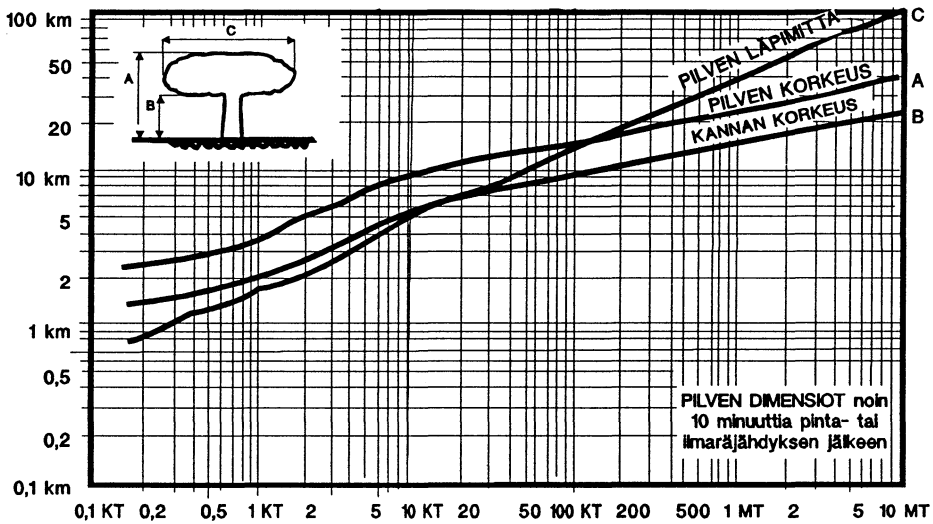
KUVA 17 Radioaktiivisen räjähdyspilven sisäiset virtaukset

Radioaktiivisen pilven nousunopeus riippuu sääolosuhteista ja räjähdysenergian tuotosta. Pilven nousunopeus, kun kysymyksessä on 1 Mt matalla tapahtunut ilmaräjähdys, on esitetty taulukossa 18. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että pilvi saavuttaa viiden kilometrin korkeuden noin puolessa minuutissa.

Korkeus (km)	Aika (min)	Nousunopeus (km/h)
3,2	0,3	480
6,4	0,75	320
9,7	1,4	230
16,1	3,8	140
22,5	6,3	56

KUVA 18 Radioaktiivisen pilven nousunopeus

Pilvi saavuttaa maksimikorkeutensa noin 10 minuutissa. Se kuitenkin jatkaa kasvuun sivusuunnassa ja saa tyypillisen sienimäisen muodon. Pilvi voi olla näkyvä noin tunnin ajan, ennen kuin tuulet hajottavat sen ympäröivään ilmakehään, missä se sulautuu luonnollisiin pilviin. Kuvassa 19 on esitetty radioaktiivisen pilven mittasuhteet eri räjähdysvoimakkuuksilla 10 minuutin kuluttua räjähdyshetkestä.



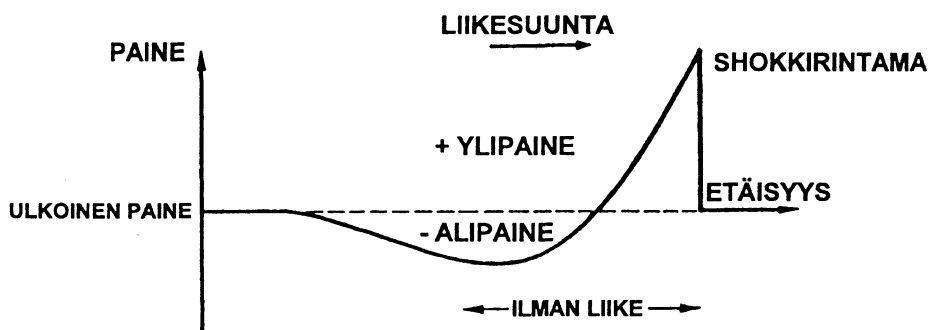
KUVA 19 Radioaktiivisen pilven mittasuhteet

1.6.6 Paineaalto

Ydinräjähdyksessä syntyvä **paineaalto** on periaatteessa samankaltainen kuin tavanomaisen kemiallisen räjähdysjälkeen syntyvä paineaalto. Suurin ero on siinä,

että ydinräjähdysten aiheuttama paineaalto kestää huomattavasti kauemmin ja sen vaikutukset kohdistuvat laajalle alueelle.

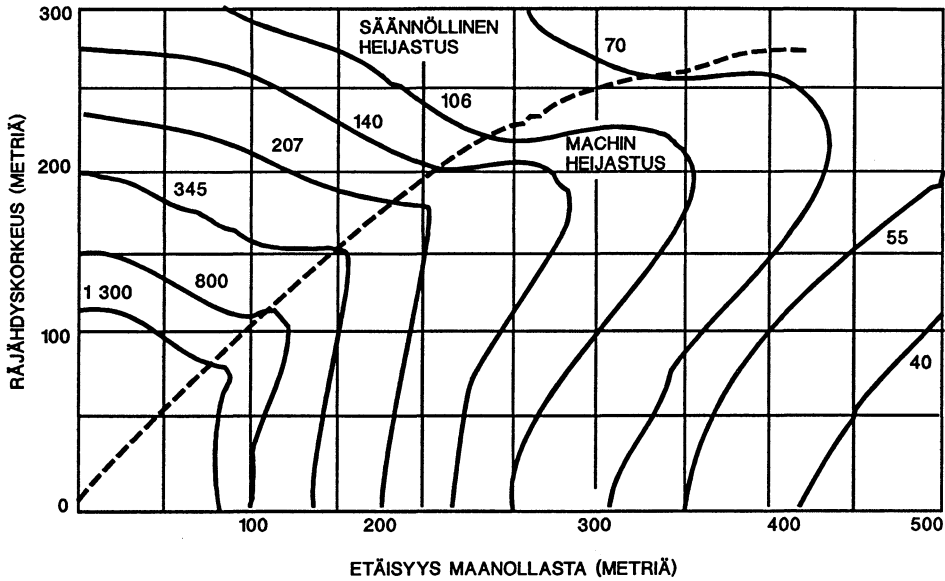
Paineaallon kulkiessa ohi, paine nousee ensin hyvin jyrkästi ja palautuu sitten normaalitasolle. Tämän jälkeen seuraa alipainevaihe, joka ylipainevaiheeseen verrattuna on huomattavasti pienempi, mutta kestää kauemmin. Tämä koskee nimenomaan **staattista painetta** eli sitä, joka aiheutuu ilman puristumisesta kokoon. Paineaallossa oleva ilmassa on myös liikkeessä, joka aiheuttaa aallon tielle osuviin kohteisiin räjähdyspisteestä pois päin suuntautuvan tuulivoiman ja myöhemmässä vaiheessa heikomman vastakkaiseen suuntaan eli räjähdyspistettä kohti vaikuttavan voiman. Tätä paineaalton liittyvän tuulen voimaa kutsutaan **dynaamiseksi paineeksi**. Kuvassa 20 on esitetty paineaallon aiheuttama paineen vaihtelu.



KUVA 20 Paineaallon aiheuttama paineen vaihtelu

Paineaallon etureunan, iskuvaallon eli shokin nopeus on lähellä räjähdyspistettä monta kertaa äänen nopeutta suurempi, mutta lähestyy sitä kaukana räjähdyspisteestä. Esimerkiksi 1 kt:n matalalla suoritetun ilmaräjähteen paineaalto etenee 2 km:n matkan noin 5 s:ssä.

Kun paineaalto kohtaa maan tai veden rajapinnan, tapahtuu nk **Machin heijastus**. Heijastunut aalto leviää suoraan menneen aallon kokoonpuristamassa ja lämmittämässä ilmassa, jolloin sen nopeus kasvaa. Kun nämä kaksi aaltorintamaa yhtyvät, syntyy ns **Machin rintama**, jossa paineaallon staattinen ja dynaaminen paine ovat huomattavasti suurempia kuin suoralla paineaallolla. Koska Machin rintama etenee likipitään vaakasuorassa suunnassa, ovat erityisesti kaikki pystysuorat pinnat alttiita sen aiheuttamille tuhoille. Kuvassa 21 on esitetty 1 kt:n räjähteen aiheuttama staattinen ylipaine eri etäisyyksillä, kuvassa 22 staattisen paineen arvoja vastaavat dynaamiset paineet ja ylipaineiden aiheuttamat tuulen nopeudet ja kuvassa 23 ilmaräjähteen aiheuttaman ylipaineen ulottuvuus.



KUVA 21 1 kt:n ilmaräjähteen aiheuttama staattinen ylipaine eri etäisyyksillä. Huomaa Machin heijastuksen merkitys paineeseen.

Ylipaine kPa		Nopeus m/s	
Paineisku	Dynaaminen paine	Paineisku	Painetuuli
1	0	341	2
5	0	347	11
15	1	361	34
30	3	376	65
50	8	407	102
100	30	465	178
200	110	560	294
350	290	680	425
500	520	780	529
1 000	1 470	1 050	785

KUVA 22 Staattisen paineen arvoa vastaava dynaaminen paine sekä paineiskun ja tuulen nopeudet. Hirmumyrskyssä tuulen nopeus ylittää 33 m/s.

Ylipaine kPa	Räjähdysoimakkuus					
	1 kt	5 kt	20 kt	100 kt	500 kt	1 Mt
	Etäisyys maanollapisteestä km					
1	7,5	13	20	35	60	75
5	2,1	3,6	5,7	10	17	21
15	1,1	1,8	2,9	4,9	8,4	11
30	0,67	1,2	1,8	3,1	5,3	6,7
50	0,50	0,85	1,4	2,3	4,0	5,0
100	0,35	0,60	0,95	1,6	2,8	3,5
200	0,23	0,39	0,62	1,1	1,8	2,3
350	0,16	0,27	0,43	0,74	1,3	1,6
500	0,13	0,22	0,35	0,60	1,0	1,3
1 000	0,09	0,15	0,24	0,42	0,71	0,90
1 500	0,08	0,14	0,22	0,37	0,64	0,80

KUVA 23 Ylipaineen ulottuvuus ilmaräjähdyksessä

Maaston muodot ja rakennusryhmät aiheuttavat hetkellisiä muutoksia paineaaltoon. Aallon kohdatessa mäenrinteen ja noustessa ylöspäin sen energia ahtautuu pienempään tilavuuteen, mistä on seurauksena paineen nousu. Kun aalto on ohittanut mäen laen, tapahtuu laajentuminen ja paineen pieneneminen. Tietyn matkan päässä aalto jälleen saa likipitään sen muodon, mikä sillä olisi ollut edetessään esteettömästi koko matkan. Metsä pienentää painetta. Asutuskeskuksissa paineen vaihtelut rakennusten korkeudesta ja sijainnista johtuen ovat suuria ja ennalta arvaamattomia.

Paineaalto vaikuttaa ihmiseen sekä suoraan että epäsuorasti. Suora vaikutus aiheutuu aallon staattisesta paineesta, jota ihminen kestää melko hyvin. Alle 300 kPa:n ylipaine johtaa harvoin kuolemaan. Keuhkovaurioita voi kuitenkin syntyä 100 kPa:n ylipaineesta alkaen ja korvien tärykalvot puhjeta jo 30-50 kPa:n ylipaineessa.

Epäsuorat painevaikutukset voivat ihmisen kannalta olla huomattavasti vakavampia kuin staattisesta paineesta johtuvat vahingot. Suojautumattomiin ihmisiin kohdistuu sirpaleista, tuulen mukanaan lennättämistä esineistä, kaatuvista puista ja sortuvista rakennuksista aiheutuvia vaurioita. Ihminen voi myös paiskautua painetuulen vaikutuksesta kovaa kohdetta vastaan. Kuvassa 24 on esitetty ilmaräjähdyksen paineaallon ihmiselle aiheuttamat keskimääräiset vammoittumisetäisyydet.

Räjähdysoimakkuus	Suojautumisaste			
	Suojaton	Potero	Panssarivaunu	Korsu
	Etäisyys maanollapisteestä km			
1 kt	0,8	0,5	0,4	0,2
10 kt	1,5	0,9	0,8	0,3
100 kt	3,0	1,8	1,5	0,6
1 Mt	6,0	4,0	3,0	1,3

KUVA 24 Keskimääräinen ydinräjähdyksen paineaallon aiheuttama vammoittumisetäisyys ihmiselle

Paineaalto, erityisesti dynaaminen paine, aiheuttaa suuria tuhoja rakennuksille, kalustolle, mastoille, voimalinjoille sekä metsälle, koska sen vaikutus kohdistuu samanaikaisesti kaikkiin kohtiin ja kestää kauan. Konventionaaliset räjähdykset aiheuttavat esimerkiksi rakennuksissa vaurioita vain rajoitetuille osille. Metsätuhot muistuttavat hirmumyrskyn aiheuttamia tuhoja. Jos maa ei ole roudassa, puut kaatuvat juurineen. Kuvassa 25 on esitetty paineen aiheuttamien metsätuhojen etäisyys ilmaräjähteen maanollapisteestä.

Tuhon aste	Räjähdysoimakkuus					
	1 kt	5 kt	20 kt	100 kt	500 kt	1 Mt
	Etäisyys maanollapisteestä km					
Täysi tuho	0,4	0,7	1,2	2,0	3,4	4,3
30 % puista kaatuu	0,6	1,2	2,1	4,0	7,7	10

KUVA 25 *Metsätuhot*

Eri tyyppiset rakennukset kestävät paineaallon vaikutuksia luonnollisesti eri tavoin. Hiroshimassa osoittautui, että erityisesti teräsbetonirakennukset selvisivät ilman suurempia runkovaurioita. Kevytrakenteisemmat talot sitävastoin tuhoutuivat noin 3 km etäisyydellä. Hiroshiman rakennuksilla oli, vastoin yleistä käsitystä, likipitään sama kestävyys paineaallon aiheuttamille kuormituksille kuin tyyppillisillä pohjoismaisilla rakennuksilla. Kuvassa 26 on esitetty ylipaineen aiheuttamat vauriot rakennuksille.

Vaurio-luokka	Ylipainealue kPa	Vauriokuvaus
1	1 - 5	Ikkunat särkyvät
2	5 - 10	Ovat ja kevyet väliseinät vaurioituvat.
3	10 - 20	Vaurioita, mutta ei sortumia puurakenteisissa taloissa. Ovet, katot ja kevyet seinät rikkoutuvat.
4	20 - 30	Puurakenteet ja kevyet väliseinät sortuvat, seinäelementit putoilevat.
5	30 - 50	Muuratut tiiliseinät sortuvat, mutta teräsbetoniset ja teräksiset runkorakenteet säilyvät. Vahvasti rakennetut kellarit säilyvät.
6	50 - 500	Talot sortuvat, runkorakenteet sortuvat. Vahvat maanalaiset suojat säilyvät (S I- lk:n väestönsuoja, katto ja seinät 25-40 cm betonia, kestää n 100 kPa).
7	yli 500	Täydellinen tuho. Erittäin vahvat maanalaiset suojat saattavat säilyä. (Kalliosuojat kestävät 750-1000 kPa).

KUVA 26 *Ylipaineen aiheuttamat vauriot rakennuksille*

Muiden rakenteiden ja ajoneuvojen paineen kestävykseen vaikuttaa niiden muoto, konstruktio ja sijainti räjähdykseen nähden. Esimerkiksi avojohdot vaurioituvat 50-70 kPa:n ylipaineesta ja jo 10-15 kPa:n paine aiheuttaa maassa oleville ilma-aluksille merkittäviä vaurioita. Kuvassa 27 on esitetty ilmaräjähteen paineesta johtuvat vaurioetäisyydet eri välineille. Vaurioaste on niin suuri, että se edellyttää korjaustoimenpiteitä, ennenkuin kalusto voidaan ottaa uudelleen käyttöön.

Kalusto	Räjähdysoimakkuus							
	1 kt	2 kt	5 kt	10 kt	20 kt	50 kt	100 kt	200 kt
	Etäisyys maanollapisteestä km							
Panssarivaunut ja tykit	150	200	300	400	530	730	980	1 300
Moottoriajoneuvot ja viestikalusto	250	350	500	650	850	1 300	1 700	2 100

KUVA 27 Ylipaineen aiheuttamia kalustovaurioita

1.6.7 Lämpösäteily

Ydinräjähdyksessä syntyvästä energiasta huomattava osa vapautuu termisenä säteilynä eli **lämpösäteilynä**. Lämpösäteily ilmenee kahtena pulssina, joiden ajallinen käyttäytyminen noudattaa aiemmin esitettyä tulipallon lämpötilan kehittymistä. Ensimmäisen pulssin yhteydessä esiintyy erittäin voimakas, sokaiseva välähdys, joka voi aiheuttaa joko pysyviä tai ohimeneviä silmävammoja. Lämpösäteily etenee tulipallosta suoraviivaisesti valon nopeudella ja vaikuttaa auringonvalon tavoin kaikkiin varjottomiin kohtiin. Normaalisissa ilmaräjähdyksissä lämpösäteilyn osuus on n 30 - 40 % vapautuvasta energiasta. Konventionaalisilla räjähteillä lämpösäteilyn osuus on merkityksetön.

Vaikutukseltaan merkittävä lämpösäteily kestää räjähdysvoimakkuudesta riippuen sekunnin kymmenesosista muutamiin sekunteihin. Koska lämpösäteily tulee hyvin lyhyessä ajassa, ovat pienetkin lämpömäärät vaarallisia. Esimerkiksi 1 kt:n räjähteestä ei tule 1 kilometrin päähän minuutin kuluessa enempää lämpöä kuin auringosta, silti se aiheuttaa 1. asteen palovamman suojaamattomalle iholle.

Lämpösäteilyn ulottuvuus riippuu räjähdysten suuruudesta, räjähdyskorkeudesta, sääoloista ja maastosta. Mitä parempi näkyvyys on, sitä kauemmaksi lämpösäteily ulottuu.

Lämpösäteilyn määrä neliometriä kohti eri etäisyyksillä (**R**) voidaan laskea kaavasta

$$Q = \frac{0,35 \times 4,186 \times 10^{12} \text{ W T}}{4\pi R^2} \text{ joulea/m}^2,$$

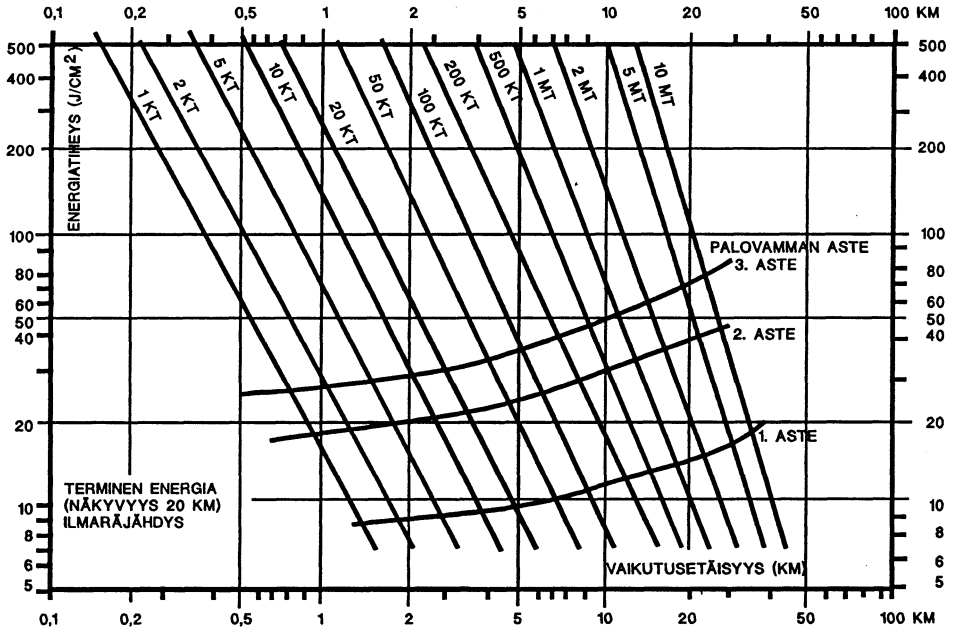
missä **Q** = lämpösäteilyn määrä, **R** = etäisyys räjähdyspisteestä, **W** = räjähteen voima kilotonneissa ja **T** = ilman läpäisykerroin. Kerroin 0,35 kuvaa termisen energian osuutta koko räjähdystapahtumasta. Ilman läpäisykerroin (**T**) vaihtelee välillä 0,2-1,0. Näkyvyyden ollessa 20 km, on läpäisykerroin muutaman kilometrin etäisyydelle 1,0-0,8. Kymmenen kilometrin päässä se on jo noin 0,3. Huono näkyvyys pienentää läpäisykerrointa. Korkealla olevat pilvet sekä lumi lisäävät lämpösäteilyn voimakkuutta. Läpäisykerroin on tällöin 1,5- 2ertainen hyvään näkyvyyteen verrattuna.

Kuvassa 28 on esitetty ilmaräjähteestä tulevan lämpösäteilyn ulottuvuus silloin, kun näkyvyys on 50 km. Näkyvyyden ollessa 30-40 km vähenee lämpömäärä noin 10 % ja näkyvyydellä 10-20 km noin 25 %. Matalalla oleva pilvikerros vaimentaa lämpösäteilyn määrää. Tiheä puusto vähentää maan pinnalle tulevan lämpösäteilyn määrää jopa 50-80 %.

Lämpö- määrä J/cm ²	Räjähdysvoimakkuus						
	1 kt	5 kt	20 kt	100 kt	500 kt	1 Mt	5 Mt
	Etäisyys km						
10	1,00	2,1	4,2	8,9	18	24	52
20	0,72	1,6	3,1	6,4	14	18	37
40	0,50	1,1	2,1	4,7	10	14	27
60	0,42	0,9	1,8	4,1	8	12	23
80	0,37	0,8	1,6	3,5	7	10	21
100	0,33	0,7	1,4	3,1	6,5	9	19
120	0,30	0,6	1,3	2,8	6	8	17

KUVA 28 *Lämpösäteilyn ulottuvuus*

Palovammoja aiheuttavat lämpömäärät riippuvat räjähdysvoimakkuudesta. Räjähdysvoimakkuuden kasvaessa saman asteisen palovamman aiheuttamiseen tarvittava lämpömäärä kasvaa. Tämä johtuu siitä, että suuremman räjähteen lämpövaikutus tulee pitemmällä aikavälillä, jolloin iho ehtii luovuttaa osan lämpömäärästä pois. Kuvassa 29 on esitetty ilmaräjähteiden aiheuttaminen palovammojen laadun riippuvuus räjähdysvoimakkuudesta ja etäisyydestä.



KUVA 29 Palovammojen syntyminen

Lämpösäteilyn vaikutus materiaaleihin riippuu lämpömäärästä, lämpösäteilyn kestoajasta ja kohteena olevan aineen absorptiokyvystä. Vaaleat ja sileät pinnat ottavat vastaan lämpöä vähemmän kuin tummat ja karheat pinnat. Kuivat ja huokoiset materiaalit syttyvät helpoiten.

Kankaat syttyvät kilotonniluokan räjähdyksissä 30-70 J/cm² :n lämpömäärästä. Vastaavissa oloissa höyläämätön mäntylauta tarvitsee syttyäkseen lämpöä noin 25, höylätty mäntylauta noin 40, höylätty koivulauta noin 80 ja kotitalousmateriaalit 20-60 J/cm². Ikkunalasi ei sanottavasti vaimenna lämpösäteilyä, joten tulipaloja saattaa syttyä myös rakennusten sisällä, jos lämpömäärät ylittävät mainitut arvot.

Kuiva kanervikko tarvitsee syttyäkseen lämpöä noin 50 ja kuivunut heinä noin 25 J/cm². Kuvassa 30 on esitetty havumetsän syttyminen poutakaudella ilmaräjähteen eri räjähdysvoimakkuuksilla ja etäisyyksillä tilanteessa, jossa näkyvyys on yli 50 km. Pintaräjähdyksissä arvoista tulee vähentää noin 25 %. Lehtimetsä syttyy huomnommin kuin havumetsä.

Räjähdysvoimakkuus	1 kt	5 kt	20 kt	100 kt	500 kt	1 Mt	5 Mt
Etäisyys km	1	2	3,5	6,5	13	17	32

KUVA 30 Havumetsän syttyminen

1.6.8 Radioaktiivinen säteily

Ydinräjähdyksessä syntyvää radioaktiivista säteilyä käsiteltäessä tulee erottaa toisaalta **alkusäteily** ja toisaalta **jälkisäteily** eli **laskeuma**. Edellisellä tarkoitetaan välittömästi ja heti räjähdysen jälkeen syntynyttä säteilyä, jälkimmäisellä myöhemmin, pitkän ajan kuluessa vapautuvaa säteilyä. Rajana voidaan pitää **yhtä** minuuttia, jona aikana ilmaräjähdys tulipallo ja sen mukanaan kuljettama radioaktiivinen pilvi ovat nousseet niin korkealle, että pilvestä suoraan maahan tuleva säteily on pienentynyt merkityksettömälle tasolle. Jälkisäteily alkaa vaikuttaa vasta, kun pilvessä olevat radioaktiiviset hiukkaset vähitellen laskeutuvat maan pinnalle.

Alkusäteilyn osuus ilmaräjähteen radioaktiivisen säteilyn energiasta on noin **kolmasosa** eli n 3-5 % räjähdysen koko energiantuotosta. Pintaräjähteissä sen osuus on noin 25 % pienempi. Koska alfa- ja beetahiukkasten kantamat ilmassa ovat verraten lyhyet, ei niillä alkusäteilyn kannalta ole käytännön merkitystä, vaan sen katsotaankin muodostuvan yksinomaan **gamma-** ja **neutronisäteilystä**.

Osa gammasäteilystä muodostuu sekunnin sisällä räjähdyksestä ja pääosa radioaktiivisen hajoamisen seurauksena vähitellen eli ns. viivästyneinä gammoina.

Lähes kaikki ydinräjähdyksessä vapautuvat neutronit ovat peräisin itse räjähdysreaktiosta. Fuusiossa kaikki ja fissiossa noin 99 % neutroneista syntyy välittömästi, eli ns. kerkeinä neutroneina. Loputkin fissioneutronit syntyvät ensimmäisen minuutin kuluessa, joten nekin ovat osa alkusäteilyä. Noin 90 % neutroneista absorboituu pommin sisällä, joten noin 10 % niistä pääsee vaikuttamaan alkusäteilynä. Neutronisäteily aiheuttaa huomattavan suuren biologisen riskin verrattuna niiden kuljettamaan pieneen energiaan, joka on vain 0.025 - 1 % kokonaisenergiasta.

Maahan ulottuvan gamma- ja neutronisäteilyn suhde riippuu ydinräjähteen rakenteesta sekä räjähdysvoimakkuudesta ja -korkeudesta. Kilotonniluokan fissioräjähteillä neutronisäteilystä saatavan annoksen osuus kokonaisannoksesta on 250 m:n etäisyydellä noin 80 %, 1 km:n etäisyydellä 50 % ja 2 km:n etäisyydellä noin 5 %.

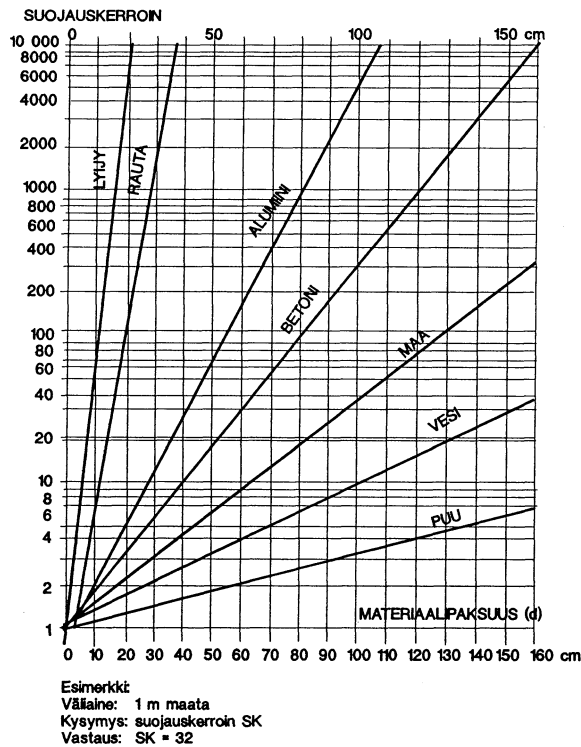
Pääosa alkusäteilystä tulee ensimmäisten sekunttien aikana. Yli puolet kilotonniluokan räjähteiden alkusäteilystä tulee 1 sekunnin kuluessa, megatonniluokan räjähteillä vastaava määrä saadaan 6 sekunnin kuluessa. Alkusäteilyn aiheuttaman säteilyannoksen suuruus eri räjähdysvoimakkuuksilla ja eri etäisyyksillä on esitetty kuvassa 31.

Säteily- annos Gy	Räjähdysoimakkuus						
	1 kt	5 kt	20 kt	100 kt	500 kt	1 Mt	5 Mt
	Etäisyys maanollapisteestä km						
0,30	1,4	1,7	2,0	2,5	3,0	3,3	3,8
1	1,1	1,5	1,8	2,2	2,7	2,9	3,5
3	0,9	1,2	1,5	1,9	2,4	2,6	3,2
5	0,8	1,1	1,4	1,8	2,3	2,5	3,0
10	0,7	1,0	1,3	1,6	2,1	2,3	2,9

KUVA 31 Alkusäteilyannos matalissa ilmaräjähhteissä

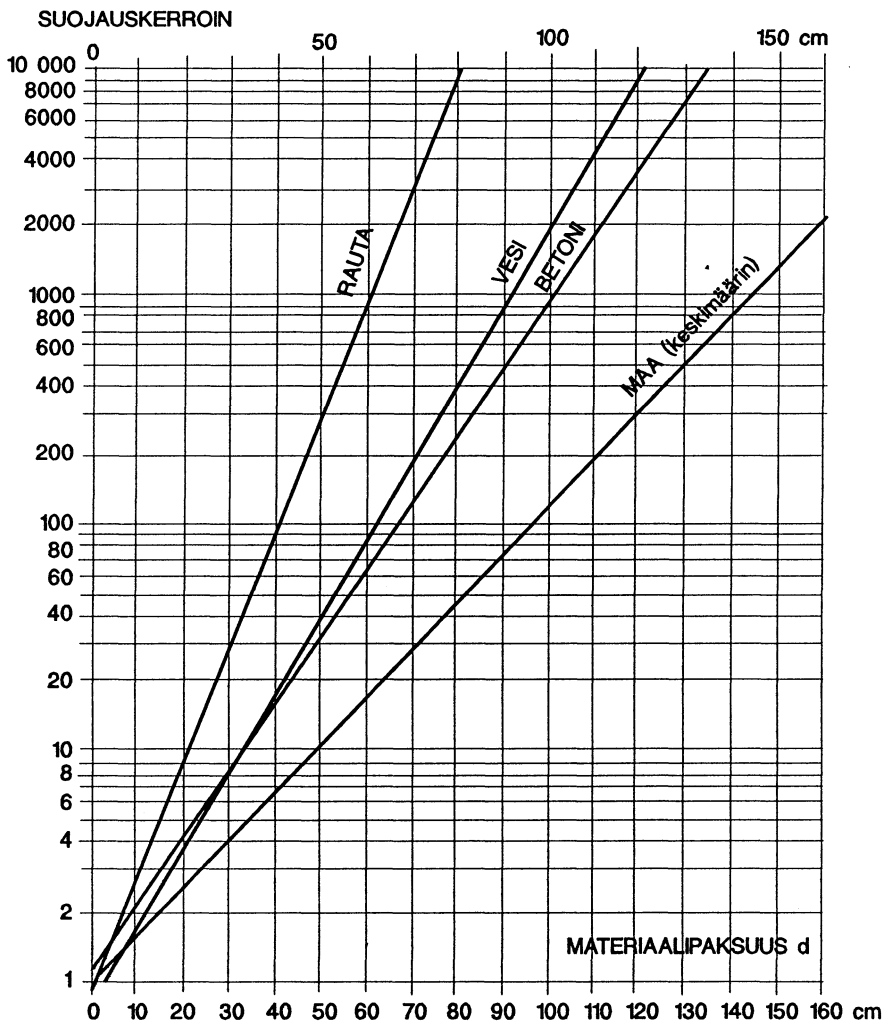
Suojautuminen alkusäteilyltä edellyttää, että säteilylähteen ja kohteen välissä on riittävän paksu väliaine, joka vaimentaa säteilyä. Ainoastaan korsut ja varsinaiset suojatilat antavat lähes täydellisen suojan alkusäteilyä vastaan. Suojautuminen painanteisiin tai avopoteroihin ei täysin riitä, koska noin 10 % alkusäteilystä tulee takaa, edestä ja sivulta ns. hajasäteilynä.

Käsityksen eri aineiden suojauskyvystä antaa paksuus, joka tarvitaan vaimentamaan gammasäteilyn intensiteetti 1000:een osaan, kun on kysymys fissiotuotteiden hajoamisessa syntyvistä gammoista. Arvot ovat 2 m maalle, 1,3 m betonille, 30 cm teräkselle ja 15 cm lyijylle. Kuvassa 32 on esitetty gammasäteilyn vaimeneminen eri väliaineissa.



KUVA 32 Gammasäteilyn vaimeneminen eri väliaineissa

Neutronisäteilyn vaimentamisessa voidaan erottaa kolme vaihetta, jotka ovat 1) hidastaminen suurilta energioilta keskisuurille energioille, 2) hidastaminen pienille energioille ja 3) hitaiden neutronien absorbointi. Parhaiten tämä voidaan toteuttaa valitsemalla kuhunkin tarkoitukseen soveltuvin väliaine. 1. vaiheeseen ovat parhaita epäelastiset sirottajat kuten rauta tai barium, 2. vaiheeseen sopivimpia ovat keveitä alkuaineita, erityisesti vetyä sisältävät aineet kuten vesi. Monet aineet soveltuvat 3. vaiheeseen, vesi on tähänkin erittäin hyvä. Neutronien lopulliseen absorptioon liittyy usein kaappausgamman emissio, joten neutroneja absorboivan kerroksen sisäpuolella on vielä oltava riittävä gammasuoja. Neutronisäteilyn vaimeneminen eri väliaineissa on esitetty kuvassa 33.



KUVA 33 Neutronisäteilyn vaimeneminen eri väliaineissa

On selvää, ettei kenttäoloissa voida rakentaa tämänkaltaisia erityissuojia. Betoni ja maa antavat kohtalaisen suojan sekä gamma- että neutronisäteilyä vastaan. Karkeasti yleistäen voidaan sanoa, että sellaiset betoni-, maa- tai hiekkarakenteet, jotka kestävät paineallion vaikutukset, antavat riittävän suojan alkusäteilyä vastaan. Poikkeuksena ovat terässuojat, esimerkiksi panssariajoneuvot, jotka suojaavat hyvin paineelta, mutta huonosti varsinkin pienten-ydinräjähteiden alkusäteilyltä.

Ilmaräjähdyksessä syntyvän **jälkisäteilyn** vaikutus havaitaan vasta, kun radioaktiiviset hiukkaset vähitellen laskeutuvat maan pinnalle. Pintaräjähdyksessä ero alkua jälkisäteilyn välillä ei ole yhtä jyrkkä, koska tulipallo ei vie mukanaan kaikkea radioaktiivisuutta, vaan osa siitä jää maan pinnalle ja emittoi säteilyä suorana jatkona alkusäteilylle.

Radioaktiivisten tuotteiden kiinnittyessä tulipallon mukaansa ottamaan pölyyn ja muuhun hienojakoiseen materiaaliin syntyy **radioaktiivisia hiukkasia**. Pudotessaan maan pinnalle nämä hiukkaset muodostavat **radioaktiivisen laskeuman**, jossa voidaan erottaa **varhaislaskeuma** ja **myöhäislaskeuma**. Edellisellä tarkoitetaan yhden vuorokauden kuluessa tapahtuvaa laskeumaa ja jälkimmäisellä tätä myöhemmin saapuvaa laskeumaa.

Varhaislaskeuman osuus on suurempi matalalla ja maan pinnalla tapahtuvissa räjähdyksissä kuin korkeissa ilmaräjähdyksissä. Pintaräjähdyksessä syntyvästä kokonaisaktiivisuudesta on varhaislaskeuman osuus 50-70 %. Varhaislaskeuma aiheuttaa merkittävän biologisen vaaran ja sen vaara-alue on huomattavasti suurempi kuin ydinräjähdysten välittömien vaikutusten alue.

Raskaat hiukkaset putoavat luonnollisesti nopeammin ja lähemmäksi räjähdyspistettä kuin kevyet hiukkaset. Hiukkaset, joiden koko on suurempi kuin 400 mikrometriä eli yli 0,4 mm, putoavat jo radioaktiivisen pilven nousun aikana. Varhaislaskeuma on selvästi nähtävissä pöly- tai tuhkasateena.

Ydinräjähdysten **radioaktiivisuus** syntyy räjähdysprosessiin kuuluvien ydinreaktioiden tuotteena tai räjähdyksessä vapautuvien neutronien absorboituessa ympäröivään väliaineeseen ja synnyttäessä radioaktiivisia ytimiä. Kolmannen radioaktiivisuuden lähteen muodostaa räjähdyksessä halkeamatta jäänyt uraani tai plutonium, jotka kuitenkin ulkoisena säteilylähteenä voidaan jättää huomiotta. Mikäli ne joutuvat kehon sisäpuolelle hengitysilman, ravinnon tai haavojen kautta, ovat ne kuitenkin erittäin haitallisia.

Fission tuotteena syntyy monimutkainen sekoitus yli 200:sta eri isotoopista. Nämä hajoavat radioaktiivisesti eksponenttilakia noudattaen, kukin omalla puoliintumisajallaan. Ne voivat synnyttää myös uusia isotooppeja, jotka edelleen hajoavat radioaktiivisesti.

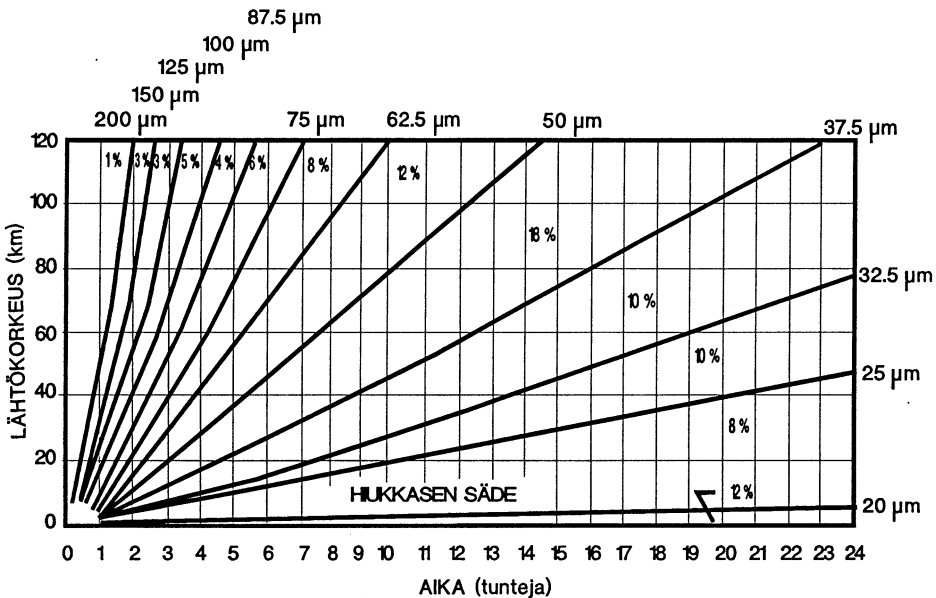
Annosnopeus noudattaa ajan suhteen potenssilakia. Tarkemmin sanottuna riippuvuus on $t^{-1,2}$ -lain mukainen. Kun annosnopeus jonain vertailuaikana t_0 räjähdys-hetkestä lukien on R_0 , niin minä tahansa muuna ajanhetkenä t annosnopeus R_t on

$$R_t = R_0 (t/t_0)^{-1,2}$$

eli ajan seitsenkertaistuessa annosnopeus pienenee kymmenenteen osaan.

Lain soveltuvuus ulottuu 25 % tarkkuudella 200 vuorokauteen asti. Tämän jäl-keen annosnopeus pienenee nopeammin.

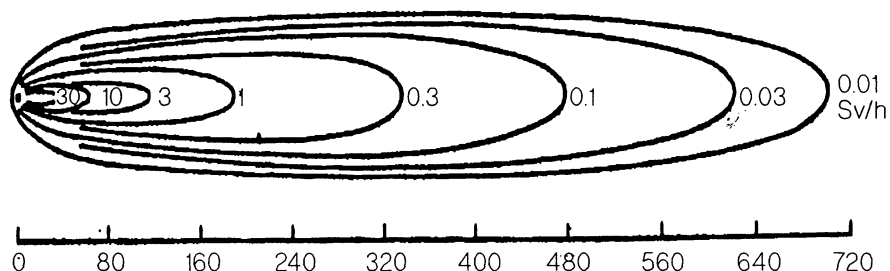
Saastepilveen joutuneiden hiukkasten koot vaihtelevat suuresti, alle mikrometristä useisiin millimetreihin. Maanalaisissa lähellä pintaa tapahtuneissa räjäytyksissä radioaktiiviseksi muuttuneen kiven tai lohkareen koko voi olla jopa useita metrejä. Todelliseen laskeumaan luokitellaan kuitenkin vain sellaiset hiukkaset, joiden halkaisija on pienempi kuin 0,1 mm. Tähän luokkaan kuuluvien hiukkasten putoamisajat lähtökorkeuden funktiona ja eri hiukkaskokojen osuus kokonaisaktiivisuudesta on esitetty kuvassa 34. Aineen tiheydeksi on oletettu 2.5 g/cm^3 , joka likipitään vastaa hiekkaa.



KUVA 34 Eri kokoisten hiukkasten putoamisajat ja niiden osuudet kokonaisaktiivisuudesta

Laskeuma-alueen määrittämiseksi ja sillä olevien annosnopeuksien arvioimiseksi on useita eri laskentamalleja. On kuitenkin huomattava, että ennusteet ovat teoreettisia ja vain paikalla suoritettavat mittaukset antavat lopullisen varmuuden laskeuman laajuudesta ja annosnopeuksista.

Pikamenetelmällä, jolloin tiedetään vain ydinräjähdysen tapahtumapaikka ja -aika sekä tuulen suunta, voidaan laatia karkea arvio joukkojen tai väestön hälyttämiseksi ja säteilytiedustelun tehostamiseksi. Suojeluoppaan liitteessä 21 on ohje puolustusvoimien käyttämästä pikamenetelmästä. Kuvassa 35 on esitetty pikamenetelmällä laadittu ennuste 1 Mt:n pintaräjähteen laskeuma-alueen laajuudesta ja annosnopeuksista eri aikoina tuulen nopeuden ollessa 6,7 m/s.



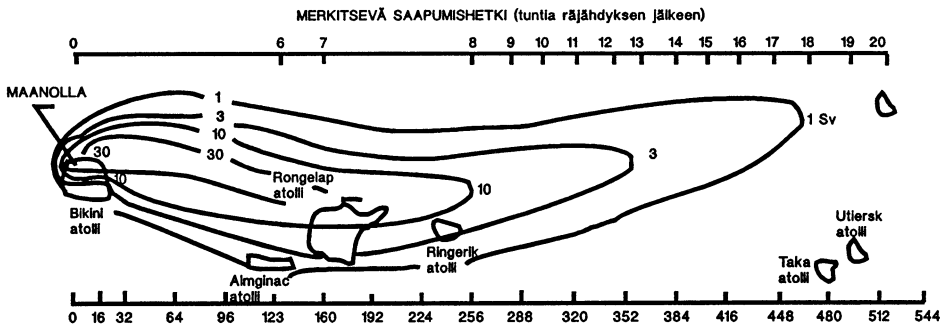
KUVA 35 Laskeuma-alue ja kokonaisannoskäyrät kolmella eri ajanhetkellä

Tarkennetuissa ja yksityiskohtaisissa menetelmissä arviointi perustuu tarkkoihin räjähdysen lähtötietoihin ja ilman eri kerroksissa vallitseviin tuulen suuntiin ja nopeuksiin. Ennuste voidaan laatia joko manuaalisesti tai tietokoneohjelmalla. Näin laadittujen ennusteiden pohjalta joukkoja ja väestöä voidaan varoittaa säteilystä sekä antaa ohjeita suojautumisesta. Sisäasiainministeriön Pelastusosaston ohjeessa A:48 ”Toiminta ydinräjähdystilanteessa” on annettu ohjeet tarkennetun menetelmän käytöstä. Ennusteiden laatimisessa voidaan käyttää hyväksi myös tietokoneohjelmia, esimerkiksi SVO+ -ohjelmaa.

Sään vaihteluista johtuen laskeuman todellinen muoto voi poiketa teoreettisesta mallista hyvinkin huomattavasti. Laskeumakuvio on yleensä mutkitteleva ja se sisältää paikallisia voimakkaan laskeuman saarekkeita, ns. kuumia läikkiä. Nämä johtuvat yleensä siitä, että vesi- tai lumisade on tuonut mukanaan radioaktiivisia aineita. Radioaktiivisuuden korkeat vaihtelut ovat ominaisia pienitehoisille räjähteille, joiden muodostama radioaktiivinen pilvi voi kokonaisuudessaan tulla sateen mukana alas. Suurten räjähteiden muodostama radioaktiivinen pilvi sitävastoin nousee nopeasti sadekerroksen yläpuolelle eli yli 5 km:iin, jolloin sade ei vaikuta hiukkasten maahan laskeutumiseen. Sateella voi toisaalta olla myös maan pintaa puhdistava ja säteilyvaaraa pienentävä vaikutus, koska sen ansiosta nuklidit kulkeutuvat nopeasti vesistöihin tai syvemmälle maaperään. Säteily sinänsä ei heikkene, sen paikka vain muuttuu.

Laskeuma-alueen tarkka koko ja sillä vallitsevat annosnopeudet saadaan selville kiinteiden säteilyvalvonta-asemien ja niiden havaintoja täydentävien säteilytiedustelupartioiden mittausten perusteella. Vasta näiden mittausten ja näytteistä tehty-

jen laboratorionalyysien perusteella voidaan esittää lopulliset arviot varhaislaskeuman vaikutuksista joukkojen ja väestön toimintamahdollisuuksiin. Kuvassa 36 on esitetty erään 15 Mt:n ydinräjähteen lähilaskeumakuvion todellinen muoto ja kokonaisannoskäyrät 96 tuntia kokeen jälkeen.



KUVA 36 15 Mt:n räjähteestä syntyneen laskeuman muoto ja kokonaisannoskäyrät

Varhaislaskeuman annosnopeuden heikkenemisen ja laskeumasta saatavan säteilyannoksen laskemiseen voidaan käyttää **säteilylaskulevyä**, jonka laskentamallit perustuvat aiemmin mainittuun säteilyn heikkenemisen 7-10 sääntöön. Säteilylaskulevyn rakenne ja käyttöohje on esitetty liitteessä 2.

Räjähdykskorkeuden ollessa niin suuri, ettei tulipallo kosketa maata, jää tulipalloon imeytyvän materiaalin määrä pieneksi. Radioaktiivisuus sitoutuu tällöin räjähddehyryistä kondensoituneisiin erittäin hienojakoisiin, halkaisijaltaan 0,1 mikrometriä oleviin, näkymättömiin metallioksidihukkasiin. Näiden putoamisnopeus mukailee ilman liikkeitä. Ne voivat jäädä leijumaan ilmakehään pitkiksi ajoiksi, useiksi kuukausiksi tai jopa vuosiksi, kunnes lopulta saapuvat maan pinnalle **myöhäislaskeumana**. Myös pintaräjähdyksessä syntyy pieni myöhäislaskeuma.

Myöhäislaskeuma hajaantuu laajalle alueelle. Sen saapuessa kaikkein aktiivisimmat komponentit ovat jo hajooneet, joten siitä saatava säteilyannos jää niin pieneksi, ettei siitä ole välitöntä terveyshaittaa. Jäljellä olevista pitkäikäisistä isotoopeista tärkeimmät ovat strontium-90, puoliintumisaika 27,7 v, ja cesium-137, jonka puoliintumisaika on 30,2 v. Pitkistä puoliintumisajoista johtuen isotooppien aktiivisuustaso on alhainen, joten niillä ei ole merkitystä ulkoisena säteilytekijänä. Isotoopit saattavat kuitenkin joutua elimistöön ravinnon tai hengitysilman kautta, jolloin kehoon kohdistuu sisäinen ja pitkäaikainen, terveydelle haitallinen säteilyrasitus.

Säteilyn ihmiselle aiheuttamia haittavaikutuksia on käsitelty kohdassa 1.7 ja suojatun luvussa V.

1.6.9 Ionisaatioilmiöt

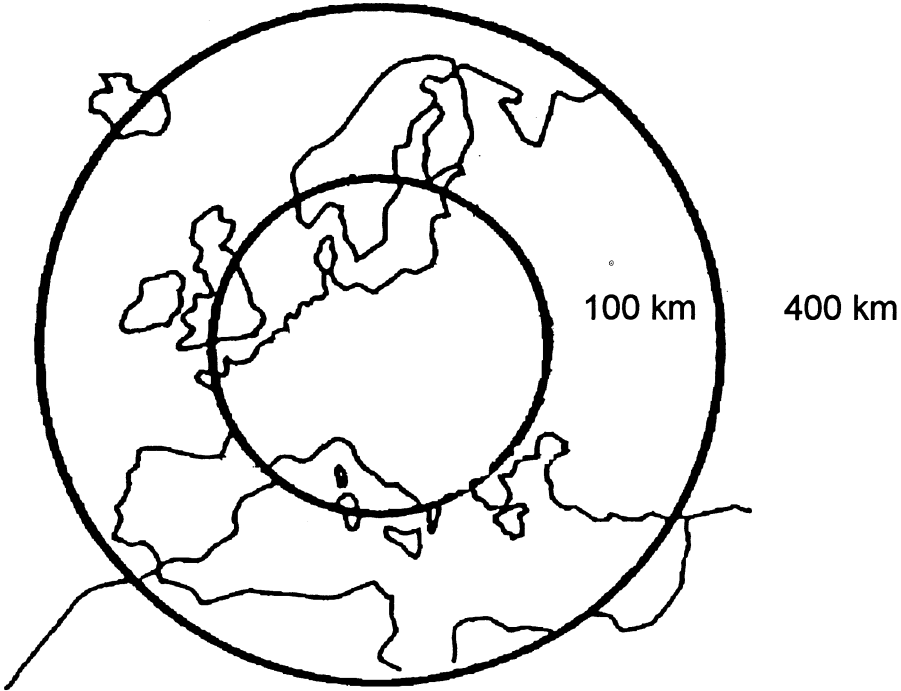
Avaruudesta, pääosin auringosta, tuleva säteily aiheuttaa jatkuvasti ilma-
molekyylien **luonnollista ionisoitumista**. Voimakkainta tämä on ilmakehän yle-
missä kerroksissa, 60 km:stä ylöspäin eli ionosfäärissä, missä vapaiden elektroni-
en tiheys on suurin.

Ilmaräjähteessä syntyvä ydin- tai röntgensäteily saa aikaan räjähdyspisteen ympä-
rillä olevan ilman **ionisoitumisen** ja samalla voimakkaan häiriön ilmakehän sähkö-
magneettisissa ominaisuuksissa. Esimerkiksi 1 Mt:n ilmaräjähteestä syntyy 10^{32}
vapaata elektronia, mikä on samaa luokkaa, kuin koko maapallon ionosfäärissä
olevien vapaiden elektronien määrä. Koska palloaaltojen pitkän kantaman etene-
minen perustuu ionosfäärissä tapahtuviin heijastuksiin, aiheuttaa vapaiden elekt-
ronien määrän huomattava lisääntyminen häiriön, joka ilmenee radio- ja tutka-
aaltojen vaimenemisena, taipumisena tai heijastumisena.

Ydinräjähdys aiheuttamassa ionisaatiossa voidaan erottaa toisaalta alkusäteilyn
aikaansaama **elektronitiheyden** muutos ja toisaalta laskeumapilvessä oleva **jälki-
säteily**. Ensimmäisten vaikutukset kestävät muutamia kymmeniä sekunteja ja
saattavat aiheuttaa esimerkiksi tutkan näkökentän hetkellisen pimenemisen.
Laskeumapilvessä oleva jälkisäteily sitävastoin vaikuttaa kauan, koska sen inten-
siteetti aktiivisuuden heiketessä ja laskeumapilven levitessä laajemmalle alueelle
pienenee hitaasti. Tämä nk. **viivästynyt ionisaatio** johtuu radioaktiivisen pilven
emittimästä beeta- ja gammasäteilystä, joista ensimmäinen on merkittävämpi.
Ilmiö vaimentaa sähkömagneettisten aaltojen etenemistä. Ionisaatio kestää pisim-
pään, jos räjähdys tapahtuu 35-60 km:n korkeudessa.

1.6.10 Sähkömagneettinen pulssi (EMP)

Ionisaation lisäksi ydinräjähdys aiheuttaa **sähkömagneettisen pulssin** eli EMP:n.
Pulssilla on erittäin suuri merkitys yli 50 km:n korkeudessa suoritetuissa
räjäytyksissä, sillä tällöin sen elektronisia laitteistoja tuhoava vaikutus ulottuu käy-
tännöllisesti katsoen räjähdyspisteestä näkyvään horisonttiin eli noin 1000 km:iin
saakka. Muut maan pinnalla havaittavat vaikutukset ovat hyvin vähäisiä. Kuvassa
37 on esitetty EMP:n vaikutusalueet, kun räjäytyskorkeudet ovat olleet 100 ja 400
km.



KUVA 37 EMP:n vaikutusalue 100 km ja 400 km korkeuksilla suoritetuissa räjäytyksissä

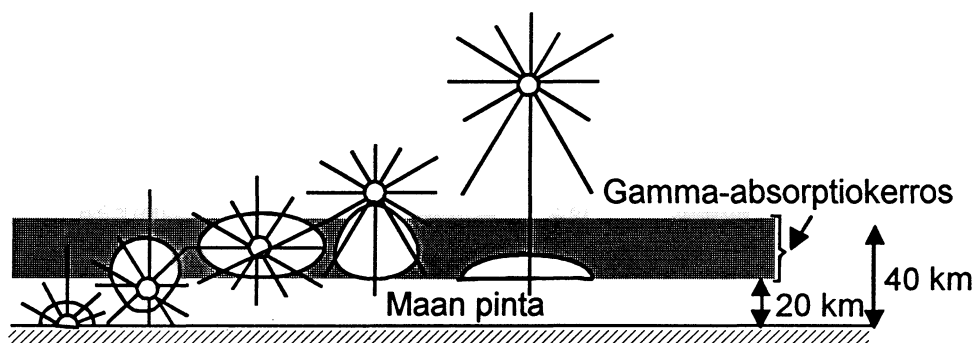
Pulssin tärkein aiheuttaja on ydinreaktiossa välittömästi vapautuva **gamma-säteily**, jonka osuus ydinräjähdyskokonaisenergiasta on noin 0,1 %. Sen vaikutusta tehostaa samassa reaktiossa syntyvien neutronien epäelastinen sironta ympäröivän materiaalin ytimistä. Maan tai veden alla suoritetuissa räjäytyksissä syntyvän EMP:n vaikutukset ovat merkityksettömiä.

Törmäyksessä eli ns Comptonin siroinnassa gamma luovuttaa lähes koko energiansa elektronille, jotka lentävät likipitään säteittäisesti pois päin räjähdyspisteestä. Jokainen elektroni jättää jälkeensä raskaamman positiivisen ionin. Matkallaan elektronit törmäävät ilmamolekyyleihin ja irrottavat uusia elektroneja. Näin syntyvä **varattujen hiukkasten** erkanema aiheuttaa räjähdyspisteen ympäristöön voimakkaan säteittäisen **sähkökentän**. Sähkökenttä ei pääse kasvamaan rajattoman suureksi, koska johtavuusvirta purkaa nopeasti kenttää ylläpitävän varuserkaneman eli palauttaa elektronit. Näin ollen ilmiö on kokonaisuudessaan erittäin lyhytaikainen.

Radiaalinen sähkökenttä vaikuttaa räjähteen ionisaatioalueessa ja sen säde on muutamia satoja metrejä. Mikäli edelläkuvattu ilmiö olisi täysin symmetrinen, ei siitä aiheutuisi ulospäin sähkömagneettista vaikutusta. Maan läheisyys ja ilman

oheneminen ylöspäin aiheuttavat kuitenkin sähkökentässä epäsymmetrisyyden, joka ilmenee lyhyenä, mutta voimakkaana sähköpulsseinä. Myös räjähdde itse aiheuttaa jonkin verran epäsymmetriaa sähkökentässä.

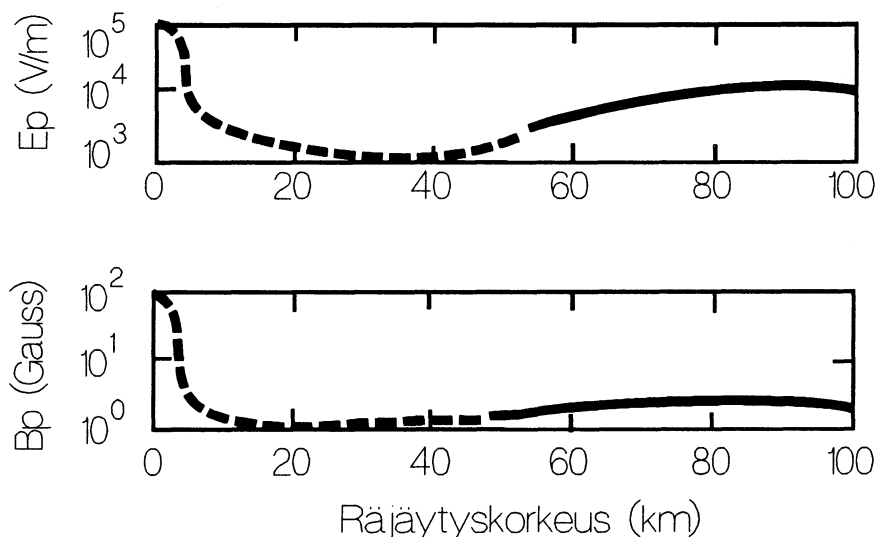
Mitä matalammalla räjähdys tapahtuu, siitä suurempi on maan vaikutus. Maan pinnalla tai sen läheisyydessä räjäytetty ydinräjähdde aiheuttaa voimakkaan, mutta suppea-alaisen pulssin. Kun räjähdyskorkeus nostetaan niin suureksi, ettei ionisaatioalue ulotu maan pinnalle, on ilmakehän tiheydellä maata suurempi merkitys. EMP on pienin 20-40 km:n korkeudessa tapahtuvissa ydinräjähdysissä, koska ionisaatioalue on kyseisellä korkeudella kaikkein symmetrisin. Kun räjäytyskorkeus nousee yli 50 km:n muodostuu ionisaatioalue 20-40 km:n korkeudessa olevaksi laakeaksi levyksi ja EMP:n voimakkuus nousee jälleen. Kuvassa 38 on esitetty ionisaatioalueen muodot eri korkeuksilla tapahtuvissa räjähdysissä.



KUVA 38 Ionisaatioalueen muodon riippuvuus räjäytyskorkeudesta

Korkealla tapahtuneen ydinräjähdysen aiheuttaman EMP:n seurauksena maan pinnalle syntyy sähkökenttä, jonka voimakkuus voi nousta yli 30 kV/m:iin ja magneettikentän voimakkuus noin 100 A/m:iin. Pulssin nousuaika voi nopeimmillaan olla 6 ns ja energiatiheys 30-70 mJ/m². Energiasta puolet on alle 5 MHz:n taajuuksilla, noin 5 % voi olla yli 20-30 MHz:n taajuuksilla.

Pintaräjähdysen EMP:n voimakkuus on yli 150 kV/m ja lähes 8 kA/m. Sen vaikutusalue on kuitenkin paikallinen, sillä jo 5-10 km:n etäisyydellä ovat korkealla räjäytetyn räjähteen EMP-vaikutukset suuremmat. Pulssin sähkö- ja magneettikenttien huippuarvojen käyttäytyminen räjähdyskorkeuden funktiona on esitetty kuvassa 39.



KUVA 39 Sähkö- ja magneettikentän huippuarvot räjäytyskorkeuden funktiona

Korkealla tapahtuneen ydinräjähdysen EMP-vaikutuksen seurauksena jo alle 1 m:n pituiset lanka-antennit, silmukat ym. voivat aiheuttaa virtapiireihin usean kilovoltin jännitepulssin ja kerätä satojen mikrojoulien energian. Sähkö- ym. johtimet voivat saada satojen joulien energian ja niissä syntyvien virta- ja jännitepulssien amplitudit vaihdella johtimien korkeudesta riippuen sadoista ampeereista kiloampeereihin ja kymmenistä kilovolteista satoihin kilovolteihin. Pintaräjähdyksissä virran voimakkuus ja jännite ovat vieläkin suurempia. Johtimien kaivamisella maahan ei ole juurikaan merkitystä, sillä niihin indusoitunut pulssi voi edetä johdinta pitkin tuhoalueen ulkopuolelle.

Erityisen alttiita EMP:n vaikutuksille ovat antenneihin ja johtimiin liitetyt puolijohdekomponentteja sisältävät suojaamattomat laitteet. Nämä saattavat vaurioitua jo 1 mikroJ - 1 milliJ:n energiasta. Suojaamattomat metallikalvovastukset vaurioituvat muutaman kymmenen mikroJ:n energiasta, digitaaliset laitteet tätäkin pienemmistä energiämääristä. Kaasut ja herkästi syttyvät nesteet voivat syttyä noin 100 mikroJ:n energialla.

Elektronisten laitteiden EMP-suojaus voidaan toteuttaa pienentämällä EMP:n aiheuttamaa kenttävoimakkuutta, estämällä EMP:n synnyttämän energian kytkeytyminen, rajoittamalla kytkeytyvää virtaa ja jännitettä sekä pyrkimällä välttämään EMP:lle herkkien osien käyttöä. Johto- ja viestikeskusten laitteiden suojauksessa nämä otetaan huomioon jo niiden rakennus- tai valmistusvaiheessa.

1.6.11 Muut ilmiöt

Ydinräjähdykseen liittyy joukko muita ilmiöitä, joilla on merkitystä lähinnä räjähdysten havaitsemisen kannalta.

Ilmaräjähdysten paineaalto vaimenee kaukana räjähdyspisteestä tavallisiksi **akustisiksi** eli ääniaalloiksi. Ilmakehän kerroksisuuden ja äärellisen korkeuden ansiosta ne saattavat edetä jopa useita kertoja maapallon ympäri. Aaltojen taajuudet ovat niin matalia, ettei niitä voida kuulla, minkä vuoksi niistä käytetään myös nimitystä infrääniä. Aallot voivat edetä joko puhtaina akustisina aaltoina tai veden laineisiin verrattavina painovoima-aaltoina. Viimemainittu on yleisempi etenemismuoto ja se syntyy ydinräjähdysten aiheuttaman tulipallon nousun ja laajenemisen seurauksena.

Yli 100 km:n korkeudessa tapahtuneessa ydinräjähdyksessä muodostuvien röntgensäteiden absorptioalue on laakean levyn muotoinen. Koska röntgensäteet emittoituvat lyhyenä pulssina, ne loitontuvat räjähdyspisteestä valon nopeudella ohuen pallonkuoren tavoin. Kun tämä kuori leikkaa absorptiokerroksen laajenevan renkaan, tapahtuu röntgensäteiden indusoiman ilman **fluoresenssi**, joka näkyy valona. Rengas pyyhkäisee koko taivaan yli niin nopeasti, että se voidaan rekisteröidä ainoastaan optisin välinein.

Ydinräjähdysten irrottamat vapaat elektronit kiinnittyvät ilmamolekyyleihin normaalisti hyvin lyhyessä ajassa. Jos räjähdyskorkeus on useita satoja kilometrejä, ne samoin kuin muutkin räjähdyksessä vapautuvat varatut hiukkaset voivat jäädä pitkäksi ajaksi maan magneettikenttään, missä ne virittävät ilmakehän atomeja ja molekyylejä. Tämän seurauksena syntyy räjähdyspaikan kautta kulkevan magneettisen voimaviivan määräämille alueille **keinotekoiset revontulet**.

Kun räjähdys tapahtuu veden yläpuolella tai ilman kosteus on suuri, voi kosteus tiivistyä näkyväksi pilveksi eli ns. **kondensaatiopilveksi**, josta käytetään myös nimeä Wilsonin pilvi. Tämä tapahtuu paineaallon alipainevaiheen aikana kaukana räjähdyspisteestä, jolloin shokkiaalto on jo suhteellisen heikko. Pilvi häviää muutamassa sekunnissa, kun pisarat höyrystyvät uudelleen lämpenevässä ilmassa.

1.7 SÄTEILYN VAIKUTUS IHMISEEN

1.7.1 Perusteita

Elollisten solujen rakenne ja toiminta perustuu joitakin poikkeuksia lukuunottamatta **DNA-** molekyylin, deoksiribonukleinihapon, sisältämään tietoon eli genomiin. Ionisoiva säteily voi aiheuttaa vauriota ja muutoksia geenien sekä muiden tärkeiden DNA- jaksojen rakenteessa tai toiminnassa, jotka ilmenevät säteilyn aiheuttamina **terveyshaittoina**.

Solujen herkkyydessä on suuria eroja. Herkimmin vahingoittuvat vilkkaasti jakautuvat solut, joita on ennen kaikkea luuytimessä, suoliston limakalvossa ja ihossa. Vastustuskykyisimpiä ovat solut, jotka ovat menettäneet jakautumiskykynsä kokonaan. Näitä ovat mm. hermosolut. Verisuonen seinämän solut ovat myös hyvin herkkiä säteilylle. Tämä on usein syynä suuren paikallisen säteilyannoksen aiheuttamaan elinvaurioon, vaikka elimen varsinaiset solut eivät suoraan tuhoutuisikaan. Sikiön solut ovat erittäin herkkiä säteilyn vaikutuksille varsinkin niinä aikoina, jolloin elimet muodostuvat ja aivojen hermosolujen lisääntyminen on voimakasta.

Ulkoisessa säteilyssä säteilylajina käytännössä tulee kyseeseen vain gammasäteily, sillä alfasäteily ulottuu vain muutaman senttimetrin ja beetasäteilykin vain noin metrin etäisyydelle. Vaikka keho olisikin säteilyn kantaman alueella, pysähtyy alfasäteily vaatteisiin ja ihon pintakerrokseen. Rakennukset antavat lähes täydellisen ja vaatteetkin kohtalaisen suojan beetasäteilyä vastaan.

Sisäisessä säteilyssä myös alfa- ja beetasäteilijät ovat merkittäviä. Joillakin radioaktiivisilla aineilla on taipumus kerääntyä määrättyihin elimiin tai konsentroitua ravintoketjussa. Esimerkiksi jodin ¹³¹I-isotooppi siirtyy nopeasti kasveista lehmiin ja edelleen ihmisiin, joissa kerääntyy kilpirauhaseen. Pitkäaikaisista isotoopeista merkittävämpiä ovat strontiumin isotoopit 89 ja 90 sekä cesium-137.

Ihminen sairastuu, kun tarpeeksi suuri osa solukosta tuhoutuu. Tällöin kyseessä on solujen kuolemista johtuva säteilyn **välitön** haittavaikutus. Toipuminen riippuu siitä, pystyykö ympäröivä solukko jakautumalla korvaamaan menetetyn osan. **Myöhemmin** ilmenevät terveys- ja perinnöllisyshaitat johtuvat säteilyn solujen perimässä aiheuttamista vauriosta ja muutoksista, jotka ajan kuluessa monentuvat ja sattumanvaraisesti muuttavat solujen toimintaa ja rakennetta. Kullekin haitalle on tietty säteilyannoksen **kynnysarvo**, joka vaihtelee eri yksilöillä. Samansuuruisen säteilyannos voi siis vaikuttaa ihmisiin eri tavalla. Kynnysarvon alapuolellakin kuolee soluja, mutta niin vähän, ettei sairauden oireita esiinny eikä välitöntä haittaa näin ollen ole. Varsinkin tiheään ionisoiva säteily tappaa yksittäisiä soluja, vaikka kudoksen saama keskimääräinen annos jäisikin hyvin pieneksi. Useimpien solujen tumat kuitenkin säästyvät säteilyltä, joten välitöntä haittavaikutusta ei synny.

Annosnopeus vaikuttaa sekä kynnysarvoon että syntyvän vaurion vakavuuteen. Ihmisen säteilysetokeytykseen vaikuttaa ensisijaisesti se, kuinka suuri osa kehosta altistuu säteilylle. Säteilykentän suuruus puolestaan vaikuttaa yksittäisten kudosten ja elinten säteilyherkkyyteen. Pieni kudostuho korjautuu luonnollisesti nopeammin ja tehokkaammin kuin suuri, myös verisuonivauriot jäävät tällöin paikallisiksi. Säteilyn haittavaikutuksia käsiteltäessä tulee aina erottaa kehon saama **kokonaisannos** ja tietyn alueen saama **paikallinen** annos. Esimerkiksi sädehoidossa käytetään niin suuria paikallisia annoksia, että ne koko keholle saatuina olisivat tappavia.

1.7.2 Säteilyn varhaisvaikutukset

Jos ihminen saa vuorokaudessa yli yhden **grayn** (Gy) kokonaisannoksen ionisoivaa säteilyä, hänelle kehittyy **säteily sairaus**. 1 Gy vastaa koko keholle saatavaa 1000 milliSv:n eli 1 Sv:n annosta. Jo 0.5 Gy:n annos voi aiheuttaa vähäisiä muutoksia veren valkosolujen määrässä, mutta varsinaista sairautta ei yleensä kehity.

Säteily sairauden **alkuoireita** ovat ruokahaluttomuus, pahoinvointi, väsymys ja lämmön nousu. Oireet ilmaantuvat 1-6 tuntia altistumisesta. Mitä suurempi säteilyannos on ollut, sitä nopeammin ja voimakkaampina oireet ilmaantuvat. Jos oireita ei esiinny lainkaan, altistus ei ole ollut vaarallisen suuri. Toisaalta jo tunnin sisällä alkava pahoinvointi ennakoii hengenvaarallista säteily sairautta. Yksilöllisen vaihtelun takia alkuoireisiin perustuva annosarvio on hyvin karkea ja vain suuntaa antava, sillä esimerkiksi suuronnettomuuden jälkeen ihmiset voivat tuntea psyykkisistä syistä aiheutuvaa pahoinvointia, jolla ei ole säteilyn kanssa mitään tekemistä. Alkuoireet häviävät yleensä vuorokaudessa.

Varsinainen **säteily sairaus**, jonka vakavuus riippuu saadusta säteilyannoksesta, kehittyy muutaman viikon mittaisen oireettoman kauden jälkeen. Yli 1 Gy:n kokonaisannos vaurioittaa **luuydintä** ja kaikkien **verisolujen** määrä vähenee. Valkosolujen (**granulosyyttien**) väheneminen lisää infektioherkkyyttä, jolloin ihminen voi menehtyä esimerkiksi verenmyrkytykseen tai keuhkokuumeeseen. Verihiutaleiden väheneminen johtaa verenvuototaipumukseen, punasolujen määrän vähenemisen seurauksena on anemia. Granulosyyttien määrä on pienimmillään noin 4 ja verihiutaleiden 2-4 viikkoa altistumisesta. Anemia kehittyy näitä hitaammin.

Jos kokonaisannos ylittää 6-7 Gy, luuydin tuhoutuu yleensä täydellisesti. Tällöin toipuminen on lähes mahdotonta, koska elävää kantasolukkoa ei ole jäljellä. Potilas menehtyy infektioihin tai verenvuotoihin viimeistään kuukauden kuluttua altistuksesta.

Yli 3 Gy:n kokonaisannos aiheuttaa myös **suoliston** oireita. Ohutsuolen limakalvon tuhoutuminen johtaa ripuliin. Limakalvojen haavaumien kautta verenkiertoon pääsevät suoliston pieneliöt aiheuttavat verenmyrkytyksen, jonka vaarallisuutta lisää samanaikaisesti tapahtuva valkosolujen väheneminen. Yli 12 Gy:n annos tuhoaa limakalvon täydellisesti ja potilas menehtyy viikon kahden kuluessa veriin ripuliin ja suureen nestehukkaan.

Suuri säteilyannos saattaa aiheuttaa myös **keuhkovaurion**, joka ilmenee kuivana yskänä, hengenahdistuksena ja kuumeiluna muutamien viikkojen kuluttua altistumisesta. Oireet johtuvat keuhkorakkuloihin muodostuvasta sidekudoksesta, hiussuonten määrän vähenemisestä ja keuhkorakkuloiden ilmatilan pienenemisestä. Vaikka potilas jäisikin henkiin, on seurauksena yleensä pysyvä hengityksen vajaa-toiminta ja taipumus keuhkoinfektioihin.

Keskushermoston oireet ovat vallitsevia silloin, kun annos on yli 50 Gy. Puolen tunnin kuluessa altistuksesta ilmenee pahoinvointia, voimakasta väsymystä, sekavuutta ja usein myös kouristuksia. Potilas menettää tajuntansa muutamassa tunnissa ja kuolee kahden vuorokauden kuluessa. Taudin nopea kehittyminen johtuu aivojen verisuonten vaurioitumisesta.

Iho on varsin herkkä paikalliselle säteilylle ja vaurioituu helposti, jos se joutuu suoraan kosketukseen radioaktiivisen aineen kanssa. Vaurion aste riippuu säteilylajista ja annoksen suuruudesta. Beetahiukkaset luovuttavat energiansa nopeasti ihossa ja ihonalaisessa kudoksessa, mistä johtuen betasäteilijät aiheuttavat helposti vakavia ihovaurioita.

Ihovaurion punoitus ilmenee muutamia tunteja altistuksesta ja häviää vuorokauden kuluessa. Alkuvaiheen punoituksen kynnyсарvo on 6-8 Gy. Toinen punoitusaalto seuraa kahden kolmen viikon kuluttua, kestää kauemmin ja muistuttaa tavallista palovammaa. Jos ihon saama paikallinen annos on 10-20 Gy, päättyy toinen vaihe kuivaan hilseilyyn. Yli 20 Gy:n paikallinen annos tuhoaa ihon soluja, jonka seurauksena iholle syntyy nesterakkuloita ja haavaumia. Haavaumat yleensä paranevat ja peittyvät uudella iholla muutamassa viikossa. Mikäli myös ihonalainen kudos ja verisuonet vaurioituvat, voi seurauksena olla pitkäaikainen ja huonosti paraneva kudiskuolio. Kuvassa 40 on cesium-137 sisältävän säteilylähteen koskettamisen aiheuttama ihovamma.



KUVA 40 *Säteilylähteen koskettamisen aiheuttama ihovamma*

Hiustenlähtöä pidetään kokokehoaltistuksessa kohtalaisen vaikean säteily-sairauden oireena. Jo 3 - 4 Gy:n annos aiheuttaa hiuskarvojen lähtemisen altistuneelta alueelta parin viikon kuluttua. Hiukset saattavat kasvaa uudelleen kuukausien kuluttua. Hiustenlähtö on kuitenkin pysyvä, jos päänahan annos on yli 7 Gy. **Suun** ja ylempien hengitysteiden limakalvot voivat vaurioitua samalla tavalla ja samoista syistä kuin iho.

Sekä miehen että naisen **sukurauhaset** kuuluvat kaikkein säteilyherkimpiin elimiin. Jo alle 1 Gy:n paikallinen annos vähentää siittiösolujen määrää ja 1-6 Gy:n annos aiheuttaa yleensä muutamia kuukausia kestävästi sterilitettiin. Tätä suuremmat annokset johtavat mitä suurimmalla todennäköisyydellä pysyvään sterilitettiin. Taulukossa 41 on esitetty äkillisesti saatujen säteilyannosten biologisia haittavaihtokuituksia ja käytössä olevia raja-arvoja.

Annos		Vaikutus
6-10 Sv	6-10 Gy	Kuolema muutamassa viikossa
4-6 Sv	4-6 Gy	Yli puolet kuolee
2-4 Sv	2-4 Gy	Kaikki tarvitsevat hoitoa, alle 50 % kuolee
1/2-2 Sv	1/2-2 Gy	10 % tarvitsee hoitoa
500 milliSv	500 milliGy	Ei välitöntä sairastumisriskiä

KUVA 41 Äkillisesti saadun säteilyannoksen aiheuttamia terveyshaittoja

1.7.3 Säteilyn myöhäisvaikutukset

Säteilyn myöhäisvaikutuksista merkityksellisin on **syöpä**. Teoreettisiin laskelmiin perustuvissa arvioissa sairastumisriskiä on kuvattu seuraavasti: ”Jos 10 000 ihmisestä kukin saisi 100 milliSv:n kokonaisannoksen, 50 henkilöä kuolisi ennenaikaisesti säteilyn aiheuttamaan syöpään. Riski kasvaisi kaksinkertaiseksi, jos pitkäaikainen annoskertymä olisi 1500 mSv eli 1,5 Sv”.

Japanin ydinpommitusten seurantatutkimusten perusteella voidaan hyvin pelkistetysti arvioida, että säteilylle altistuneilla verrattuna muihin oli noin nelinkertainen riski sairastua leukemiaan ja 1-2 kertainen riski muihin syöpäsairauksiin. Suurin osa leukemiatapauksista ilmeni 3-15 vuotta altistumisesta. Riski sairastua muihin syöpäsairauksiin alkoi kasvaa merkittävästi noin 10 vuotta altistumisen jälkeen.

Muita säteilytauteja, jotka saattavat ilmetä vuosien kuluttua, ovat mm. **kasvun ja kehityksen häiriöt** sekä **perinnölliset** haitat. Kasvun ja kehityksen haitat johtuvat ensisijaisesti sikiön saamasta säteilyannoksesta. Arvioiden mukaan 10 milliGy:n annos aiheuttaisi sikiövaurion 0,2 %:lle elävänä syntyvistä lapsista. Perinnöllisyshaittojen syynä on säteilyn aiheuttamat mutaatiot vanhempien sukusoluissa. Mutaatio siirtyy jälkeläisille jopa kymmenien sukupolvien ajan, koko ajan kuitenkin heiketen. Olennaista on, onko mutaatio vallitseva vaiko peittyvä.

Vallitseva mutaatio ilmenee aina, peittyvä vasta silloin, kun molemmilla vanhemmilla on sama mutaatio. Geneettisen riskin todennäköisyyttä pidetään pienempänä kuin mahdollisuutta saada säteilyn aiheuttama syöpä.

1.8 RAUHAN AJAN SÄTEILYONNETTOMUUDET

1.8.1 Ydinvoimalaonnettomuus

Ydinvoimalaitoksen normaalin toiminnan aiheuttamat säteilyannokset ovat sekä työntekijöille että lähiseudun asukkaille pieniä verrattuna annoksiin, jotka ovat peräisin luonnonsäteilystä.

Ydinvoimalaitokset pyritään suunnittelemaan ja varustamaan siten, ettei minkäänlainen onnettomuus vaurioittaisi itse **reaktoria**. Varmennetuilla **turvajärjestelmillä** ja monilla peräkkäisillä esteillä pyritään estämään radioaktiivisten aineiden leviäminen ympäristöön. Onnettomuutta ja sen aiheuttamaa radioaktiivisten aineiden päästöä ei kuitenkaan voida täysin sulkea pois.

Reaktorivaurio voi aiheutua esimerkiksi polttoainesauvan rikkoutumisesta, jolloin jäähdytysveteen vuotaa radioaktiivisia tuotteita. Radioaktiivisia aineita voi vapautua myös silloin, jos reaktori ylikuumenee joko vuodon tai jäähdytyspiirissä olevan vian vuoksi.

Reaktorissa olevaan polttoaineeseen voi kohdistua myös suora ulkoinen vaikutus, kuten luonnonmullistus tai asevaikutus, ihmisen tahallinen tai tahaton toiminta tai jopa putoava lentokone. Tällöin polttoaine voi rikkoutua mekaanisesti, josta puolestaan saattaa aiheutua vuoto ja reaktorin ylikuumeneminen ellei jäähdytysjärjestelmä toimi tai reaktoria kyetä sammuttamaan riittävän nopeasti. Inhimillisten erehdysten ja tahallisen vahingoittamisen mahdollisuus on pyritty minimoimaan.

Vakavan ydinvoimalavaurion seuraukset riippuvat onnettomuustypistä, päästön suuruudesta ja kestosta sekä vapautuneiden radioaktiivisten aineiden koostumuksesta ja leviämistavasta. Pahimmillaan sekä terveydelliset haitat että taloudelliset vahingot saattavat olla mittaamattoman suuria. Väestö voidaan joutua evakuoimaan pysyvästi muutamien kymmenien kilometrien säteeltä voimalasta, lähilaskeumasta saastuneen alueen maa- ja metsätalouskäyttö voi olla lähes mahdotonta, asuntojen ja maan arvo romahtaisi jne. Radioaktiivisia aineita saattaa nousta myös korkealle ilmakehään, jossa ne voivat kulkeutua satoja jopa tuhansia kilometrejä ja laskeutua myöhäislaskeumana esimerkiksi sateen mukana maahan.

Suojautumistoimenpiteet voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. Alkuvaiheessa tärkeintä on suojautua sisätiloihin, nauttia joditabletit, puhdistaa henkilöstö laskeumapölystä ja välttää oleskelua ulkona. Suojaväistö voidaan toteuttaa vasta sen jäl-

keen, kun laskeuma on päättynyt. Keskivaiheessa toteutetaan suojavaistöt tai pysyvä evakuointi sekä aloitetaan saastuneen alueen puhdistaminen. Kolmannessa vaiheessa, mikäli tilanne ei ole edellyttänyt siirtymistä puhtaalle alueelle, jatketaan maan ja rakenteiden puhdistamista sekä noudatetaan ruuan ja veden nauttimisesta käskettyjä rajoituksia. Vaiheiden pituudet vaihtelevat tilanteesta riippuen päivistä viikkoihin, jopa vuosiin.

1.8.2 Onnettomuudet ydinkäyttöisillä aluksilla

Eniten ydinreaktoreita on **sukellusveneissä**. Ydinvoimaa käyttävät myös useimmat lentotukialukset, jotkut risteilijät sekä muutamat, lähinnä Pohjoisen Jäämeren oloihin tarkoitettut jäänmurtajat. Matkustaja- ja rahtilaivoissa ydinenergian käytöstä on luovuttu. Reaktoreiden terminen teho on 100 megawatin luokkaa. Vertailun vuoksi mainittakoon, että suomalaisten ydinvoimaloiden terminen teho vaihtelee 1000-2000 megawattiin. Sähköntuottoteho on noin 1/3 termisestä tehosta. Reaktoreiden lisäksi sekä sota-aluksissa että sukellusveneissä voi olla myös ydinaseita.

Ydinvoiman hyödyntäminen sukellusveneissä ja sotalaivoissa perustuu siihen, että alukset voivat operoida merillä kuukausia jopa vuosia ilman polttoainetäydennystä. Reaktorit ovat pienikokoisia eikä niissä välttämättä ole yhtä mittavia turvajärjestelmiä kuin ydinvoimaloiden reaktoreissa. Niiden toimintaperiaate on kuitenkin samanlainen, joten mahdollisen onnettomuuden seuraukset ovat myös samankaltaiset, joskin vähäisemmät. Palavasta ydinreaktorilla varustetusta aluksesta voi päästä ilmaan radioaktiivisia aineita. Alus voi myös upota ja saastuttaa lähiympäristön. Pahimmat seuraukset syntyvät silloin, jos reaktori vaurioituu aluksen ollessa satamassa.

Vakavan reaktorionnettomuuden yhteydessä myös aluksen ydinaseet saattavat vaurioitua. Lukitusjärjestelmät todennäköisesti estävät niiden räjähtämisen, mutta plutoniumia voi silti levitä mereen tai ilmakehään.

1.8.3 Onnettomuudet käytetyn polttoaineen käsittelyssä

Käytetty polttoaine **varastoidaan** tilapäisesti ennen loppusijoitusta tai jälleenkäsittelyä. Aluksi sitä säilytetään ja jäädytetään vesialtaissa. Sen jälkeen polttoaine siirretään välivarastoihin tai kuljetetaan jälleenkäsittelylaitokseen. Välivarastointi saattaa kestää kymmeniä vuosia. Käytetyn polttoaineen aktiivisuus vähenee 40 vuodessa 1/1000 osaan siitä, mikä se oli reaktorista poistettaessa.

Välivarasto voi olla vesiallas-, kuiva- tai ns. kuljetussäiliövarasto, joista ensinmainittu on yleisin. Kuljetussäiliövarastoissa polttoaineniippuja ei poisteta lainkaan säiliöstään.

Käytännössä polttoainenippu voi vaurioitua välivarastossa vain siirtämisen yhteydessä. Riskitekijöitä pienennetään sijoittamalla kuljetussäiliöihin kerrallaan vain osa polttoainepuista ja laittamalla säiliön alle iskunvaimennin siirron kriittisten vaiheiden ajaksi. Yhden kuljetussäiliön sisältämien polttoaine-elementtien vaurioituminen ei aiheuta ympäristölle merkittävää säteilyvaaraa. Vakava onnettomuus voisi tapahtua, jos jäähdytysjärjestelmä samalla pettäisi ja polttoaine kuumenisi noin 1000 °C:n lämpötilaan. Käytetyn polttoaineen oma lämmöntuotto riittää pitämään lämpötilan näin korkeana muutaman kuukauden jopa vuoden ajan. Käytettyä polttoainetta ei myöskään varastoida yhdessä paikassa niin paljon, että se muodostaisi ydinräjähdyksessä tarvittavan kriittisen massan. Tämä estetään esimerkiksi polttoainesäiliöiden väljällä sijoittamisella ja sopivilla neutroniabsorbattoreilla.

Käytetyn polttoaineen **kuljetuksissa** käytetään massiivisia kuljetussäiliöitä, jotka samalla ovat hyviä säteilysuojia. Säiliöiden kestävyydelle on asetettu tiukat normit, ne eivät saa vahingoittua esimerkiksi törmäyksessä. Koska polttoaine on jäähtynyt jo usean vuoden ajan, sen sisältämät radioaktiiviset aineet ovat pitkäikäisiä ja tiiviisti kiinni polttoainematriisissa. Kuljetussäiliön murtuessa ja polttoaine-elementtien vahingoittuessa ei ilmaan näin ollen pääse merkittäviä määriä radioaktiivisia aineita. Kuljetusonnettomuuden vaikutukset jäävät yleensä paikallisiksi.

Euroopan suurimmat käytetyn ydinpolttoaineen **jälleenkäsittelylaitokset** ovat Englannissa, Ranskassa ja Venäjällä. Suomen rajojen lähellä niitä ei ole. Laitosten turvallisuuskysymykset ovat samantapaisia kuin ydinvoimaloissa. Kevytvesireaktoreissa käytetystä polttoaineesta on noin 96 % uraania, 3 % fissiotuotteita, 1 % plutoniumia ja pieni määrä muita aktinoideja. Radioaktiiviset aineet ovat kuitenkin helposti leviävässä muodossa, joten päästöjen vähentämiseksi rakennetaan erityisiä fissiotuotteiden ja raskaiden alkuaineiden talteenottojärjestelmiä.

Jälleenkäsittelylaitoksissa suurin vaara aiheutuu tulipaloista, tavanomaiset räjähdyksistä ja kriittisyysvaarasta eli ydinenergian tuotosta räjähdysmäisesti. Näistä kaikista saattaa olla seurauksena radioaktiivisten aineiden vapautuminen ympäristöön. Prosessin kemialliset reaktiot tunnetaan varsin hyvin, joten tulipalo- ja räjähdysvaaraa voidaan vähentää oikealla suunnittelulla, valitsemalla halkeavien aineiden konsentraatiot oikein ja käyttämällä sopivia neutroniabsorbattoreita.

1.8.4 Onnettomuus käsiteltäessä ydinaseita

Ydinaseiden siirtämiseen, varastointiin ja purkamiseen liittyy aina säteilyvaara. **Kuljetusonnettomuuden** seurauksena aseissa oleva plutonium voi aiheuttaa erittäin pahan, joskin vain paikallisen säteilyvaaran. Mikäli onnettomuuteen liittyy tavanomainen räjähdys, voi radioaktiivinen aine levitä kilometrien laajuiselle alueel-

le. Riskit lisääntyvät sodan uhan aikana, jolloin myös ydinaseita valmistellaan ampumakuntoon tai siirretään uusiin aseisiin.

Ydinaseiden **varastointi** edellyttää eritysrakenteita sekä säännöllistä aseiden seuranta- ja huoltamista. Mikäli näitä ei esimerkiksi taloudellisten resurssien tai muiden syiden vuoksi voida toteuttaa asianmukaisesti, voi varastossa tapahtua säteily-onnettomuus, jolla on ainakin paikallinen vaikutus.

Tulipalo voi rikkoa ydinaseen kuorirakenteen, jolloin plutoniumia saattaa päästä ympäristöön. Säteily aiheuttaisi vakavan terveysriskin ainakin onnettomuuden lähi-alueilla, koska plutoniumhiukkaset siirtyvät ihmiseen hengitysilman mukana.

Ydinaseiden purkamiseen liittyy useita työvaiheita, joissa on huomattava säteilyvaara. Purkamisen yhteydessä vapautuu uraania ja plutoniumia, viimeainittuakin jopa satoja tonneja. Uraani voidaan hyödyntää ydinvoimaloiden polttoaineena, plutoniumin käyttämiseksi em. tarkoitukseen ei ole vielä menetelmiä. Yhtenä vaarana onkin sen joutuminen väärin käsiin.

1.8.5 Muut onnettomuudet

Maanalaiset ydinkokeet tehdään syvällä maaperässä joko pystysuorissa kuiluissa tai vaakasuorissa tunneleissa. Vaikka kokeisiin valmistaudutaankin huolellisesti, on mahdollista, että räjähdysen seurauksena syntyvistä halkeamista tai maaperässä olevista huokosista pääsee radioaktiivisia aineita ilmakehään.

Ydinkäyttöisessä satelliitissa on joko ydinparisto (radionuklidiparisto) tai ydinreaktori, joissa syntyvä lämpö muutetaan sähköksi. Satelliitin putoaminen maahan saattaa aiheuttaa radioaktiivisten hiukkasten leviämisen laajalle alueelle.

Reaktorilla varustetussa satelliitin polttoaine on korkeasti väkevöityä uraania, jota on noin 30 kg. Radioisotooppeja hyödyntävissä satelliiteissa käytetään tavallisimmin plutoniumia tai strontiumia 1-10 kg. ²³⁸Pu lähettää alfasäteilyä (heliumytimiä). ⁹⁰Sr on beetasäteilijä, jonka lähettämiä elektroneja käytetään suoraan sähkövirran tuottamiseen.

Aiemmin pyrittiin siihen, että paristolla varustettu satelliitti paloi nopeasti syöksyessään ilmakehään. Nykyisin satelliittien voimalähdeosa rakennetaan siten, että se ei pala ilmakehässä eikä rikkoudu törmätessään maahan tai veteen. Reaktorilla varustettu satelliitti laukaistaan käytön jälkeen korkeammalle radalle, jossa sen sisältämät radioaktiiviset aineet hajoavat 100-300 vuoden ajan, ennen kuin palaavat ilmakehään.

Vakava vaaratilanne syntyy, jos reaktorikäyttöinen satelliitti syöksyy ilmakehään suunniteltua aiemmin eikä pala kokonaan ilmakehän yläosissa. Vaikka putoavan satelliitin lentorata voidaan ennustaa melko hyvin, kyetään tarkka putoamisalue

määrittämään vasta muutamaa tuntia ennen satelliitin hajoamista ja jäänteiden maahansyöksymistä. Satelliitti voi aiheuttaa säteilyvaaran kymmenien, satojen kilometrien pituiselle kapeahkolle alueelle. Väestön saama kokonaisuus jäänee vähäiseksi, asutuilla alueilla reaktorisydämen jäänteet sitävastoin voivat aiheuttaa suuriakin yksilöannoksia.

1.9 SÄTEILYN RAJA-ARVOT JA NIIDEN YLITTYMISEN AIHEUTTAMAT TOIMENPITEET

Säteilytilanteen akuuttivaiheen johtamisen ja tiedottamisen selkiyttämiseksi viranomaisille on käsketty ulkoilman annosnopeuteen perustuvat säteilyn raja-arvot ja niiden ylittämisen aiheuttamat toimenpiteet, jotka on esitetty kuvassa 42.

Raja-arvo/ Annosnopeus	Vaikutus/Toimenpide
500 milliSv	Yläraja rauhan aikana pelastettaessa ihmisiä ja estettäessä suuronnettomuuksia, käytettävä suojanaamaria ja -pukua
100 milliSv	Yläraja rauhan aikana pelastuspalvelussa, käytettävä suojanaamaria ja -pukua
50 milliSv	Yläraja säteilyn alaisessa työssä vuodessa
6 milliSv	Keskimääräinen suomalaisten saama säteilyannos vuodessa
1000 mikroSv/h	Hälytysraja yleisölle = Säteilyhälytys
100 mikroSv/h	Varoitusraja yleisölle = Säteilyvaroitus
0,7 mikroSv/h	Viranomaisten välinen ilmoitusraja
0,1-0,2 mikroSv/h	Normaali taustasäteily

KUVA 42 *Säteilyn raja-arvot ja ylittämisestä aiheutuvat toimenpiteet*

Normaalin taustasäteilyn vallitessa säteilyvalvonta on **perusvalmiudessa**. Viimeistään silloin, kun ilmoitusraja ylittyy, aloittavat säteilyvalvontaan osallistuvat ja sitä johtavat viranomaiset tietojen vaihtamisen. Viimeistään tällöin myös siirrytään **tehostettuun** säteilyvalvontaan. **Suojeluvaroitus** väestölle annetaan viimeistään silloin, kun säteilyn voimakkuus ylittää 100 mikrosievertiä. **Suojeluhälytys** käsketään voimakkuuden ylittäessä 1000 mikrosievertiä eli 1 millisievertiä.

Säteilyturvakeskuksen suosituksen mukaan väestön tulee suojautua sisätiloihin, välttää liikkumista ulkona ja nauttia joditabletit, jos säteilyn annosnopeus ylittää 100 mikroSv/h.

Sisätilojen ja varsinaisten väestönsuojien antamaa suojaa on käsitelty tarkemmin **VI** luvussa. Suojautumista koskeva päätös tulisi tehdä 3-4 tuntia ennen päästöpilven saapumista, jotta tiedottamiseen ja suojautumiseen jäisi riittävästi aikaa.

Liikkumisrajoituksilla voidaan vähentää turhia säteilyannoksia sekä pitää asiattomat poissa pelastus- ja puhdistustöiden tieltä.

Stabiilin **jodin** nauttimisella voidaan vähentää radioaktiivisen jodin kerääntymistä kilpirauhaseen. Kaliumjoditabletit suojaavat tehokkaasti varsinkin lapsia hengityksen kautta elimistöön joutuvalta radioaktiiviselta jodilta. Yli 12-vuotiaille voidaan antaa kerta-annoksena 1 tabletti, 1-12 vuotiaille puoli tablettia, alle 1 vuoden ikäisille 1/4 tablettia ja alle viikon ikäisille 1/8 tablettia. Jos stabiili jodi nautitaan 1-6 tuntia ennen radioaktiivisen jodin hengittämistä, antaa se lähes 100 % suojan. Suoja on noin 90 %, jos stabiili jodi nautitaan samaan aikaan radioaktiivisen jodin sisäänhengittämisen kanssa ja 50 %, jos joditabletti otetaan 4-6 tuntia myöhemmin. Puolen vuorokauden kuluttua radioaktiivisen jodin hengittämisestä joditablettien nauttimisella ei vähennetä kilpirauhasen saamaa säteilyannosta.

Mikäli annosnopeuden arvioidaan ylittävän 500 mikroSv/h, suositellaan **suojavaistöä**. Suojavaistöllä tarkoitetaan väestön tai sen osan nopeaa ja tilapäistä siirtämistä laskeuma-alueelta ennen saastepilven saapumista. Näin menetellen voidaan välttää lähes koko säteilyannos. Mikäli on epävarmaa, ehditäänkö suojavaistö toteuttaa ennen radioaktiivisen päästön saapumista, on siitä luovuttava.

Jos suojavaistön arvioidaan kestävän useita vuorokausia, tulee harkita sen muuttamista **väliaikaiseksi siirroksi**. Väestön poissaollessa on kotieläinten hoidosta ja omaisuuden vartioinnista huolehdittava. Muita haittoja ovat väestön siirron aiheuttamat kustannukset ja erityisryhmien, kuten sairaiden ja vanhusten siirtämiseen liittyvät riskit. Väestön väliaikainen siirto voi kestää muutamasta päivästä aina pariin vuoteen. Väliaikaisen siirron aikana saastunut alue pyritään puhdistamaan, jotta väestö voisi palata alueelle mahdollisimman pian.

Säteilytilanteen akuuttivaiheen jälkeen saattaa tulla harkittavaksi koko **väestön** tai sen osien **siirtäminen** saastuneelta alueelta puhtaaseen elinympäristöön. Väestön siirtoja ei toteuta operatiivisten toimenpidetasojen perusteella, koska harkinta-aikaa on yleensä riittävästi ja päätöksen teon yhteydessä joudutaan pohtimaan hyvin laajasti yhteiskunnallisia ja sosiaalisia kysymyksiä.

Väestön **uudelleen asuttaminen** on äärimmäinen toimenpide, jonka tulee perustua terveydellisten näkökohtien lisäksi vapaaehtoisuuteen. Pysyvää siirtämistä pidetään lähes aina perusteltuna, jos elinikäinen annos nousee yli 1000 milliSv.

Säteilyonnettomuuksissa voidaan tarvita toimia, joilla pelastetaan ihmishenkiä, estetään vakavia loukkaantumisia tai estetään väestöannosten merkittävä kasvu. Näihin saattaa liittyä vaara, että pelastamistehtäviin osallistuvat itsekkin altistuvat säteilylle. Tehtäviin määrättävien tulee olla vapaaehtoisia ja tietoisia ottamastaan säteilyriskistä. Ketään ei saa pakottaa tehtävään vastoin omaa tahtoaan. Työntekijöille on järjestettävä annostarkkailu. Välittömien terveyshaittojen estämiseksi kokekehoannos on pyrittävä pitämään 0,5 Gy:n ja ihoannos 5 Gy:n alapuolella.

Myös elintarvikkeille on määritetty ohjeelliset yhteispohjoismaiset **aktiivisuusarvot**, joiden perusteella niiden käyttöä voidaan rajoittaa ja siten vähentää elimistöön joutuvaa säteilyannosta. Äkillisessä säteilytilanteessa käytetään korkeampia arvoja, jotka eivät kuitenkaan ilman eri päätöstä saa olla voimassa yli kuukautta. Eräiden elintarvikkeiden nauttimista rajoittavat arvot on esitetty kuvassa 43.

Radionuklidi ja elintarvike	Pysyvä toimenpidetaso (Bq/kg)	Toimenpidetaso 1. kuukauden aikana (Bq/kg)
²³⁹ Pu ja muut aktinidit maidossa ja lasten ruuassa	1	10
²³⁹ Pu ja muut aktinidit muissa elintarvikkeissa	10	100
⁹⁰ Sr ja ¹³¹ I maidossa ja lasten ruuassa, ⁹⁰ Sr muissa elintarvikkeissa	100	1000
¹³⁴ Cs ja ¹³⁷ Cs maidossa ja lasten ruuassa, ¹³¹ I, ¹³⁴ Cs ja ¹³⁷ Cs muissa elintarvikkeissa	1000	10 000

KUVA 43 Elintarvikkeiden nauttimista rajoittavat aktiivisuusarvot

Karjan ja varastoissa olevan **rehun** suojaamiseen on ryhdyttävä, jos arvioitu ulkoinen annosnopeus ylittää 10 mikroSv/h. Tärkeintä on estää radioaktiivisen jodin kulkeutuminen maitoon. Kesällä lehmät on pidettävä sisällä laskeuman ajan ja ruokittava puhtaalla rehulla. Laskeuman saastuttama uusi rehu on leikattava sekä haudattava ja pellot kynnettävä, jotta laskeuma saadaan mahdollisimman nopeasti syvälle maan sisään. Myös maidon ohjaaminen pelkästään juustotuotantoon tai luopuminen sen käytöstä kokonaan voivat tulla harkittaviksi.

II LUKU BIOLOGINEN ASE

2.1 YLEISTÄ

Biologisella aseella (bioase, B-ase) tarkoitetaan elävien pieneliöiden, mikrobien tai niiden osien käyttöä asetarkoituksessa ja niiden levittämiseen käytettäviä aseita. Vuonna 1972 solmitun kansainvälisen B-asesopimuksen mukaan myös toksiiinit, jotka voivat olla joko mikrobien, kasvien tai eläinten tuottamia myrkkyjä, luetaan biologisiksi aseiksi. Levitysjärjestelmä voidaan valita yksinkertaisesta sabotaasikäyttöön soveltuvasta säiliöstä tai pullostasta nykyaikaisimpaan asejärjestelmään.

Biologisten aseiden käytön päämääränä on saada aikaan sairastumiseen tai kuolemaan johtava tartunta tai toksiinin aiheuttama myrkytys vastustajan henkilöstössä tai eläimissä. Tavallisimmin tartunta tapahtuu hengityksen tai ruuansulatuselimistön kautta. Iholle saatu taudinaiheuttaja ei yleensä pysty aiheuttamaan sairastumista, ellei agenssia siirretä esimerkiksi kädellä suuhun. Tartunnan saaneet voivat levittää tauteja edelleen. Myös maaston saastuttaminen ja sen käytön estäminen miinoitteiden tapaan on mahdollista.

Vaikka B-asetta ei todistettavasti olekaan käytetty nykyaikaisissa sodissa laajassa mittakaavassa, on sen käyttömahdollisuuksia tutkittu viime vuosienkin aikana. Kemiallisten aseiden kieltosopimus on lisännyt kiinnostusta B-asetta kohtaan. Biologisen aseiden laajamittaista käyttöä rajoittavat tautien vaikeasti ennakoitavissa oleva leviäminen, pitkät tartunta-ajat ja omien joukkojen suojaamistarve.

2.2 B-ASEAGENSSEIT

B-asekäyttöön sopivia mikrobeja on kaikissa mikrobiryhmissä, mutta virukset, bakteerit ja toksiiinit tarjoavat laajimmat vaihtoehtovalikoimat. Myös eräät muut mikrobien osat voivat tulla kyseeseen.

Bakteerit ovat pieniä eliöitä, joiden koko on noin 0,5-1 µm. Niitä tavataan lähes kaikkialta luonnosta. Myös ihmisen iholla ja suolistossa elää suuri määrä bakteereja, joita kutsutaan normaaliflooraksi. Useimmat bakteerit pystyvät kasvamaan keinotekoisissa elatusaineissa, mikä tekee niiden kasvattamisen verraten helpoksi. Tavalliset bakteerit lisääntyvät jakautumalla. Hyvissä kasvuolosuhteissa yksi

jakaantumiskierto kestää noin puoli tuntia. Tämä merkitsee sitä, että teoriassa jo parissa vuorokaudessa pystytään kasvattamaan lähes rajattomat määrät bakteerimassaa. Käytännössä viljelmän huolto asettaa rajat tälle kasvatuspotentialille. Bakteereiden kasvatukseen suuressa mittakaavassa käytetään ns. fermenttoreita tai bioreaktoreja.

Jotta bakteeri tai muu mikrobi soveltuisi hyvin B-aseagenssiksi, sen on aiheutettava vakava tauti, sen tulee tarttua helposti, sen on kestävä ulkoisia vaikutuksia ja tartunta on aikaansaatuva mahdollisimman pienellä määrällä B-agenssia. Kuvassa 44 on esitetty B-aseeksi soveltuvia bakteereja.

Bakteeri	Tauti
Bacillus anthracis	Pernarutto eli anthrax
Brusella abortus	Bruselloosi
Chlamydia psittaci	Papukaijakuume
Francisella tularensis	Tularemia eli jänisrutto
Pseudomonas mallei	Räkätauti
Pseudomonas pseudomallei	Melioidoosi
Salmonella typhi	Lavantauti
Shigella dysenteriae	Punatauti
Vibrio cholerae	Kolera
Yersinia pestis	Rutto

KUVA 44 B-aseeksi soveltuvia bakteereja

Virukset ovat selvästi bakteereja pienempiä, halkaisija on noin 0,01 um. Ne eivät pysty lisääntymään isäntäsolujen ulkopuolella, koska niiden rakenne on hyvin yksinkertainen ja ne tarvitsevat lisääntyäkseen isäntäsolun solukoneistoja. Sen vuoksi viruksia ei voida kasvattaa keinotekoisilla elatusaineilla, vaan kasvatus tapahtuu soluviljelmissä, hedelmöitettyissä kananmunissa tai koe-eläimissä. Yhdessä isäntäsolussa valmistuu suuri määrä viruksia, jotka kulkeutuvat ulos solusta ja voivat siirtyä uusiin soluihin. Joskus virus saattaa jäädä pesimään soluun pitkäksi aikaa, kuten esimerkiksi AIDSin aiheuttaja. Myös viruksia pystytään kasvattamaan lyhyessä ajassa suuria määriä. Kasvatus on kuitenkin huomattavasti vaativampaa kuin bakteerien kasvattaminen. Monet virukset kuolevat nopeasti isäntäeliön ulkopuolella.

B-asekäyttöön soveltuvilta viruksilta vaaditaan samoja ominaisuuksia kuin bakteereiltakin. Sopivia ovat verenvuotokuumevirukset, joista esimerkkeinä mainittakoon Lassa-, Marburg-, Krimi- ja Dengue-virus sekä aivokuumevirukset, kuten Venezuelan, Läntinen, Japanin ja Puutiaisaivokuumevirus. Myös keltakuumevirus, isorokkovirus, Hantaan virus ja influenssavirus ovat mahdollisia B-agensseja.

Bakteerien ja virusten huono säilyvyys rajoittaa niiden käyttöä asejärjestelmissä. Paras säilytysmenetelmä on mikrobien kylmäkuivaus. Useimmissa tapauksissa jouduttaneen kuitenkin turvautumaan B-aseiden määrävälein toteutettavaan uudelleen lataamiseen.

Klamydiat ja riketsiat ovat rakenteeltaan bakteerien kaltaisia, mutta muistuttavat joiltakin ominaisuuksiltaan viruksia. Myös näistä pienehköistä mikrobiryhmistä löytyy useita B-agensseiksi soveltuvia taudinaiheuttajia.

Toksiineja eli luonnon eliöiden tuottamia myrkyjä tunnetaan suuri joukko. Nämä voivat olla kasvien, eläinten esim. käärmeiden ja hämähäkkien, tai bakteerien tuottamia. Varsin monet toksiinit soveltuvat B-asekäyttöön. Bakteeritoksiinien valmistus on suhteellisen helppoa, koska niitä saadaan kasvattamalla myrkyä tuottavia bakteereja. Kasvien tuottamia myrkyjä, kuten risiiniä, voidaan eristää veraten helposti kasveista. Käärmeiden ja hämähäkkien tuottamien myrkyjen saanti suuressa määrin on vaikeampaa. On huomattava, että eräitä toksiineja pystytään nykyisin valmistamaan myös kemiallisesti. Kuvassa 45 on esimerkkejä B-asekäyttöön soveltuvista toksiineista.

Toksiini	Lähde
Botulinus-toksiini	Bakteerin tuoma myrky
Perfringens-toksiinit	Bakteerin tuoma myrky
Stafylokokki-toksiinit (SEB)	Bakteerin tuoma myrky
Risiini	Risiinipavusta saatava myrky
Mikrocystiini	Sinilevämyrky
Saxitoksiini	Merinilviäisestä saatava myrky

KUVA 45 B-aseeksi soveltuvia toksiineja

B-aseagensseina voidaan käyttää myös eräitä kotieläimissä tauteja aiheuttavia mikrobeja, joista esimerkkinä mainittakoon suu- ja sorkkataudin aiheuttajavirus. Yleensä nämä eivät kuitenkaan ole vaarallisia ihmiselle. Myös eräät kasvitautien aiheuttajat, joista useimmat ovat sieniä, soveltunevat B-agensseiksi.

Biotekniikan menetelmin voidaan taudinaiheuttajia nykyisin muokata yhä paremmin soveltuviksi B-asekäyttöön. Vaarattomaan bakteeriin voidaan myös siirtää perintötekijä, joka mahdollistaa myrkyllisen toksiinin tuottamisen ja joka näin voi kokonaan muuttaa bakteerin alkuperäistä luonnetta. Ominaisuuksia, joita voidaan ja joita kannattaa muokata ovat

- bakteerin lääkeaineherkkyyden vähentäminen, millä heikennetään hoitomahdollisuuksia
- mikrobin säilyvyyden parantaminen

- mikrobin taudinaiheuttamiskyvyn lisääminen sekä
- mikrobin pintarakenteiden muuttaminen, millä voidaan vähentää rokotuksen tehoa.

2.3 BIOLOGISEN TAISTELUAINEEEN LEVITYS

Biologisen aseiden käytössä voidaan erottaa tuholaisoimintatyyppinen käyttö ja varsinainen asekäyttö. Tuholaisoiminnassa agenssi voi olla nesteinä tavallisessa lasipullossa tai kuivatussa muodossa vaikkapa muovipussissa. Koska tehokkuus painoyksikköä kohden on hyvin suuri, voidaan pienelläkin määrällä saastuttaa esimerkiksi suuren kaupungin juomavesi.

Tavallisin levitystapa on **aerosolilevitys**. B-taisteluainetta sisältävä, hitaasti maahan vajoava pilvi muodostetaan aerosolilaitteella, joka voi esimerkiksi olla paineistettu tai puhalluslaitteella varustettu säiliö. Teoriassa tässäkin levitysmuodossa voidaan käyttää suhteellisen pieniä ainemääriä, mutta tehon varmistamiseksi ja laajan alueen saastuttamiseksi aerosolialainetta tarvitaan satoja litroja. Aerosolilaitteiden käyttöä taistelutilanteissa ei pidetä todennäköisenä.

Ohjukset ja pommit soveltuvat hyvin aerosolilevitykseen, mutta niiden käyttö edellyttää pitkälle kehittyntä tekniikkaa. Koska agenssit säilyvät huonosti, on ohjuksissa ja pommeissa käytettävä hyvin ulkoisia vaikutteita kestäviä taisteluaineita, joista esimerkkinä on pernaruttobakteeri. Aerosolin pisarakoon tulee olla sellainen, että pisarat laskeutuvat riittävän hitaasti ja tunkeutuvat syvälle hengitysteihin. Viimemainittu asia on oleellisen tärkeä käytettäessä mikrobeja, jotka eivät normaalisti leviä pisaratartuntana. Sopivin pisarakoko on noin 1 µm.

2.4 BIOLOGISEN ASEEN VAIKUTUS

Mikrobit aiheuttavat **infektiotauteja**, jotka oireiltaan ja vaikutuksiltaan vastaavat samojen mikrobien aiheuttamia luonnollisia tauteja. Epätavallinen tartuntatapa ja mikrobin keinotekoinen muokkaaminen voivat johtaa myös poikkeavaan taudinkuvaan. Useimmille mikrobeille on ominaista, että taudin saanut potilas levittää sitä toisiin ihmisiin. Jollei tätä mahdollisuutta estetä, voi syntyä epidemia, jonka vaikutus saattaa ulottua alkuperäistä kohdetta huomattavasti laajemmalle alueelle.

Toksiinit aiheuttavat **myrkytyksiä**, jotka vastaavat kemiallisilla myrkyillä aikaansaatuja tautitiloja. Tässä mielessä toksiinit ovat hyvin lähellä kemiallista asetta. Toksiinien aiheuttama myrkyvaikutus tulee esille verraten hitaasti, tuntien - muu-

tamien vuorokausien kuluessa. Jotkut toksiinit aiheuttavat voimakkaita yleisoireita, joidenkin vaikutus kohdistuu hermoston toimintaa. Botulinustoksiini vaikuttaa hermostoon siten, että lihasten toiminta halvaantuu ja hengitys pysähtyy, josta puolestaan on seurauksena kuolema. Stafylokokkienterotoksiini aiheuttaa heikotusta, pahoinvointia ja toimintakyvyttömyyttä. Yleensä potilas toipuu tästä kuitenkin jo muutamassa tunnissa.

Tauti	Oireeton aika	Kuolleisuus ilman hoitoa	Muuta
Bakteeritauteja			
Rutto	2-5 vrk	50-100 %	Aerosolilevitys aiheuttaa ns keuhkoruton, joka on taudin pahin muoto
Anthrax	3-5 vrk	lähes 100 %	Bakteeri muodostaa itiöitä, jotka ovat hyvin kestäviä, aerosolilevityksen aiheuttama keuhko-anthrax on vaarallisin tautimuoto
Tularemia	2-10 vrk	alle 20 %	Helposti tarttuva, aerosolilevitys aiheuttaa taudin vakavimman muodon
Kolera	1-5 vrk	20-50 %	Tartunta ruuan tai juoma välityksellä, melko helposti kontrolloitavissa ja hoidettavissa
Riketsiatauteja			
Q-kuume	1-4 vk	alle 5 %	Helposti tarttuva melko lievöireinen kuumesairaus. Aiheuttaja Coxiella burneti
Virustauteja			
Isorokko	12-14 vrk	10-50 %	Kestävä, helposti tarttuva. Virus on tarkoitus kokonaan hävittää maailmasta
Lassakuume	2-14 vrk	10-50 %	Ns verenvuotokuume, kaikkia ominaisuuksia ei vielä tunneta
Enkefaliitti	1-2 vk	5-50 %	Useita eri aiheuttajia, eivät kovin kestäviä, levitys voi olla vaikeaa
Toksiinimyrkytyksiä			
Botulinustoksiini	1-3 vrk	50-100 %	Voimakkain tunnettu myrky. Levitys ruuan tai juoman välityksellä, tuhoutuu keitettäessä
Stafylokokkitoksiini	1-5 tuntia	alle 1 %	Kestää keittämisen, levitys ruuan tai juoman välityksellä

KUVA 46 Eräiden b-agenssien ominaisuuksia

B-aseen käytössä on otettava huomioon, että ne eivät koskaan vaikuta välittömästi. Kaikkiin infektiotauteihin liittyvä oireeton alkuvaihe eli taudin inkubaatioaika voi vaihdella vuorokaudesta jopa kuukausiin ja ääritapauksissa vuosiin. Lisäksi moniin hengenvaarallisiin tauteihin voi kuulua lieväoireinen, yleensä kuitenkin lyhyt alkuvaihe. Näin ollen B-aseen taktinen käyttö on erittäin vaikeaa ja edellyttää tarkkaa suunnittelua. Taisteluaineiksi voidaan valita mikrobeja, joilla inkubaatioaika on mahdollisimman vakio ja riittävän lyhyt. Käytettävissä on agensseja, joiden aiheuttama kuolleisuus ilman hoitoa vaihtelee vähäisestä lähes 100%:iin. Vaikka kuolleisuus olisi hyvin pieni, saattaa potilas olla toimintakyvytön useiden viikkojen ajan. Kuvassa 46 on esitetty eräiden B-agenssien ominaisuuksia.

2.5 B-ASEEN ILMAISU JA SUOJAUTUMINEN

B-aseen käyttö voidaan todeta joko mikrobin aiheuttamasta sairaudesta tai havaitsemalla mikrobi levittämisen yhteydessä. B-aseiden aiheuttamien tautien erottaminen poikkeusoloissa ja sodan aikana esiintyvistä tavanomaisista tartuntataudeista ja epidemioista on erittäin hankalaa. Jos epidemia kuitenkin alkaa äkillisesti ja yhtäaikaaisesti, sen oireet ovat poikkeavat tai kyseessä on outo taudinaiheuttaja, on syytä epäillä biologisen aseiden käyttöä.

Lopullinen varmistus saadaan vasta, kun taudinaiheuttaja tunnistetaan mikrobiologisin menetelmin **laboratoriotutkimuksissa**. Tunnistamisessa käytettävä näyte voi olla peräisin elintarvikkeista, juomavedestä, ilmankerääjästä, ympäristöstä, ihmisestä tai eläimestä. Näytteet voidaan tutkia joko mikrobiologian kenttälaboratorioissa, kenttähygienian laboratorioissa tai siviililaboratorioissa.

Useimmat laboratorioden käyttämistä tunnistusmenetelmistä ovat verraten hitaita. Mikrobin kasvattaminen, sen biokemialliset tutkimukset ja muut tunnistusmenetelmät vievät muutamia vuorokausia, joskus pidempäänkin. Uusin, **immunologinen tai nukleiinihapporakenteen** tunnistava tekniikka lyhentää tunnistamiseen tarvittavan ajan pariin kolmeen tuntiin. Suojautumisen kannalta tämäkin on varsin pitkä aika.

Toksiinien tunnistamiseen käytetään joko immunologisia menetelmiä, **biosensoreita tai kromatografiamenetelmiä**. Viimemainittua menetelmää käytetään myös kemiallisia taisteluaineita tutkittaessa.

Taistelukentällä tapahtuvaan ilmaisuun on toistaiseksi varsin vähän laitteistoja. Niiden kehittäminen on kuitenkin käynnissä. Nykyisillä laitteilla voidaan paljastaa bakteerit ja eräät muut mikrobit niissä olevan **ATP**-aineen perusteella. Ilmaisu perustuu **entsyymireaktiossa** syntyvään valoon, joten hälytys on mahdollista saa-

da nopeasti ja automaattisesti. Ilmassa normaalisti esiintyvät bakteerit ja muu biologinen materiaali, kuten siitepöly, saattavat aiheuttaa virheilmaisuja tällä periaatteella toimivissa laitteissa.

Toisena tunnistusmenetelmänä käytetään **biosensoreita** tai **vasta-aineita**, joilla voidaan todeta ilmassa olevat B-aseagenssit. Vasta-ainetekniikkaa käytetään myös yksinkertaisissa tiedusteluliuskoissa, jotka ovat samantyyppisiä kuin vastaavat C-agenssien ilmaisuliuskat. Jokaista B-agenssia kohti tarvitaan kuitenkin oma liuska, joten niiden laajamittainen kenttäkäyttö ei ole mahdollista.

Koska kenttäkelpoisia automaattisia ilmaisulaitteita ei vielä ole, on syytä muistaa myös merkit, jotka voivat viitata B-aseen käyttöön. Näitä ovat

- hitaat, matalalla tapahtuvat lennot yöllä
- maastosta löytyvät levitysastiat
- murrot vesilaitoksiin ja elintarvikevarastoihin
- kuolleet eläimet maastossa ja
- oudot, heikosti räjähtävät ammuksset.

Mahdollisuudet suojautua B-asevaikutuksia vastaan ovat varsin hyvät. **Suoja-naamarin** aerosolisuodatin estää aerosolimuodossa olevien mikrobien pääsyn hengitysteihin ja antaa siten hyvän suojan aerosolihyökkäystä vastaan. **Kollektiivinen** suojausjärjestelmä estää kokonaan ja ilmanvaihdon pysäyttämisen sekä ikkunoiden ja ovien tiivistäminen vähentävät sisälle tunkeutuvan aerosolin määrää. Hyvä elintarvike- ja kenttähygieniä vähentävät sekä tavanomaisten tartuntatautien että biologisten aseiden aiheuttamia sairastumisia.

Välttämällä tarkastamattoman veden ja elintarvikkeiden nauttimista sekä puhdistamalla vesi ja elintarvikkeet vähennetään sairastumisriskiä. Tehokkain menetelmä on keittäminen, myös kemiallisia aineita voidaan käyttää elintarvikkeiden desinfiointiin. Vedenpuhdistuslaitteisto suodattaa useimmat B-agenssit vedestä. Pohjavedet eivät yleensä saastu B-asehyökkäyksessä.

Iholle joutunut mikrobisaaste voidaan poistaa joko pesemällä saippualla tai käyttämällä desinfiointia aineita. Näin estetään mikrobien joutuminen hengitysteihin tai ruuansulatuselimistöön. Ihon läpi ne eivät juurikaan vaikuta. Ympäristöön joutunut B-saaste poistetaan desinfiointiaineilla tai alue eristetään. Epidemioita vastaan voidaan suojautua eristämällä sairastuneet ja tartunnan saaneet henkilöt.

Rokotteet ovat yksi tärkeimmistä suojautumiskeinoista. Ne antavat kohtalaisen tehokkaan suojan eri taudinaiheuttajia, myös joitakin toksineja, vastaan. Niiden avulla voidaan myös estää taudin leviäminen terveen väestön keskuuteen. Rokotteiden huonoja puolia ovat, että ne on annettava etukäteen ja jokaista taudinaiheuttajaa varten tarvitaan oma rokote. Hyökkääjä voi myös käyttää sellaisia taudinaiheuttajia, joita ei tunneta ja joita vastaan ei olla osattu varautua. Rokotteita on mm ruttoa, pernaruttoa, isorokkoa ja eräitä enkefaliitteja vastaan.

Tärkeimmät suojautumiskeinot B-aseita vastaan ovat

- rokotteet
- suojanaamarin ja muun suojarustuksen käyttäminen
- suojautuminen sisätiloihin ja niiden tiivistäminen
- hyvä kenttähygienia
- juomaveden keittäminen tai kemiallinen puhdistaminen
- elintarvikkeiden suojaaminen ja keittäminen sekä
- tartunnan saaneiden eristäminen.

III LUKU

KEMIALLISET TAISTELUAIINEET

3.1 KEMIALLISTEN TAISTELUAIINEIDEN MÄÄRITTELY

Kemialliset taisteluaiineet ovat yhdisteitä, joita käytetään sota-, tuholais- tai sabotaasitoimissa aiheuttamaan kohteina olevissa ihmisissä joko kuolema, tilapäinen toimintakyvyttömyys tai vammautuminen. Niitä voidaan käyttää myös eläimiä ja kasvillisuutta vastaan. Vaikka monet aineet soveltuvatkin tähän tarkoitukseen, olemassa on vain noin 70 yhdistettä, jotka sanan varsinaisessa merkityksessä luetaan kemiallisiksi taisteluaiineiksi. Taisteluaiineet ovat yleensä nestemäisiä aineita, jotka joko imeytyvät ihon läpi tai kaasuuntuneina vaikuttavat hengityselimiin. Tyypillisiä ihovammoja ovat voimakas ihon ärsytys sekä rakkuloiden ja syöpymien muodostuminen. Ihon kautta saatu hermokaasu aiheuttaa vakavan, jopa kuolemaan johtavan myrkytystilan. Hengitettyinä kemialliset taisteluaiineet aiheuttavat ylempien hengitysteiden voimakasta ärsytystä ja keuhkopöhön, hermokaasut lähes aina kuoleman.

Kemiallinen ase (C-ase) käsittää taisteluaiineen ja sen maaliinsaattamisjärjestelmän. Esimerkiksi raketinheitin, joka ampuu taisteluaiineella ladattuja raketteja, on kemiallinen ase. Sen tuhovaikutus ei perustu räjähtävään voimaan, vaan taisteluaiineen myrkyvaikutukseen.

Kemialliset taisteluaiineet voidaan ryhmitellä usealla eri tavalla. Yleisimmin ne luokitellaan eläville organismeille aiheuttamiensa vaikutusten mukaan. Toinen on jako kuolettaviin, toimintakykyä alentaviin ja kasvintuhoaineisiin. Sotilaallisen käyttötavan mukainen luokittelu on jako ilma- ja maastokaasuihin. Kuvassa 47 on selventävä esitys kemiallisten taisteluaiineiden ryhmittelystä.

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

KUVA 47 *Kemiallisten taistelulaineiden ryhmittely*

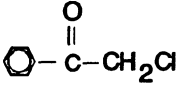
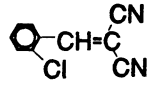
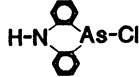
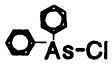
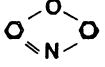
Hermokaasut ovat erittäin myrkyllisiä ja nopeavaikutteisia taistelukaasuja, jotka estävät hermoimpulssien häiriöttömän siirtymisen ja näin lamauttavat hermojärjestelmän. **Yleismyrkylliset** aineet, joista käytetään myös nimeä verikaasut, ovat nopeavaikutteisia hengitysmyrkkyjä, jotka estävät normaalin hapenoton. **Toksiinit** ovat hiivojen, homeiden tai bakteerien mikrobien tai kehittyneimpien organismien, kuten alkueläinten, eläinten ja kasvien tuottamia myrkyjä. Sellaiset toksiinit, joita ei voida valmistaa synteettisesti, luetaan yleensä biologisiin taisteluaineisiin. **Ärsyttävät** aineet vaikuttavat ylempiin hengitysteihin ja silmiin. **Tukahduttavat** aineet aiheuttavat keuhkovaurioita. **Syövyttävien** aineiden vaikutus kohdistuu silmiin, ihoon ja hengityselimiin. **Psykoaineet** ovat huumausainneiden tavoin vaikuttavia yhdisteitä. **Kasvintuhoaineilla** voidaan tuhota esimerkiksi viljapelloja tai hävittää peitteistä kasvillisuutta.

Käsitteet ilma- ja maastokaasu kuvaavat kemiallisen taisteluaineen pysyvyyttä. **Ilmakaasut** ovat joko kaasumaisia, kuten syaanivety ja fosgeeni, tai helposti kaasuuntuvia yhdisteitä, kuten esimerkiksi sariini ja somaani. Ilmakaasut sekoittuvat ilmaan ja laimenevat melko nopeasti. Tämän vuoksi niitä käytetäänkin tilanteissa, joissa halutaan nopea, mutta lyhytaikainen, muutamista minuuteista pariin tuntiin kestävä, vaikutus. Suojanaamari antaa yleensä riittävän suojan ilma-kaasuja vastaan. **Maastokaasut** ovat huonosti haihtuvia, öljymäisiä yhdisteitä, jotka saastuttavat maaston pitkäksi, jopa useiden kuukausien ajaksi. Maastoasun saastuttamalla alueella ei voida toimia ilman täydellistä suojarustusta.

3.1.1 Ärsyttävät aineet

Ärsyttävät aineet levitetään aerosoleina. Muutamien minuuttien kuluttua altistumisesta ne johtavat tilapäiseen taistelukyvyttömyyteen. Pysyviä vaurioita ei yleensä jää. **Kyynelkaasujen** vaikutus kohdistuu lähinnä silmiin, joissa ne aiheuttavat kirvelyä ja kyynelvuotoa sekä vaikeuttavat silmien aukipitämistä. Suuri kyynelkaasupitoisuus aiheuttaa myös ihon kirvelyä. **Aivastuskaasut** ärsyttävät nenää, nielua ja ylempiä hengitysteitä. Ne ja erityisesti **oksennuskaasut** aiheuttavat myös pahoinvointia.

Kyynelkaasuja käytetään ensisijaisesti mellakantorjunnassa. Yleisimmät agenssit ovat CS ja CN. CS-kaasu voi saastuttaa sisätilat, esimerkiksi auton, pitkäksi aikaa. Uutuutena mainittakoon **pippurikaasu**, jonka tehoaineena on punapippuriuute. Kuvassa 48 on esitetty eräitä ärsyttävien aineiden ominaisuuksia.

Aine Nimi ja NATO koodi	Kemiallinen rakenne	Haihtu- vuus mg/m ³ 20 C ^o	Sp/Kp °C	Huom
Klooriasetonifenoni CN		105	56/247	kyynel- kaasu- aerosoli
o-Klooribentsaalimalonidi- nitrili CS		0,71	93/310	kyynel- kaasu- aerosoli
Adamsiitti DM		0,02	197/410	oksennus- kaasu- aerosoli
Difenyliikooriarsiini DC		0,3	35/383	oksennus- kaasu- aerosoli
Dibentso-1, 4-oksatsepiini CR		< 1,0	72/?	kyynel- kaasu- aerosoli

KUVA 48 Ärsyttävien taisteluaineiden ominaisuuksia

3.1.2 Tukahduttavat aineet

Tukahduttavien aineiden vaikutus kohdistuu lähinnä keuhkoihin. Ne aiheuttavat keuhkopöhön kaltaisen tautitilan, jossa keuhkorakkuloiden seinämät ovat vaurioituneet ja osittain täyttyneet kudospainotteilla. Tämän ryhmän merkittävimmät aineet ovat fosgeeni, difosgeeni ja perfluori-isobuteeni. Tietoja tukahduttavista taistelukaasuista on kuvassa 49.

Fosgeeni on huoneenlämpötilassa ilmaa raskaampi, palamaton, kaasumainen aine, jonka haju muistuttaa pilaantuneen heinän hajua. Se hajoaa vedessä hitaasti suolahapoksi ja hiilidioksidiksi. Fosgeenilla ei nykyisin ole merkitystä taisteluaineena, vaikka se aiheuttikin ensimmäisessä maailman sodassa 80 % kaikista taisteluainekuolemista. Rauhanomaisessa tarkoituksessa fosgeenia käytetään orgaanisten hienokemikaalien, kuten lääkkeiden ja torjunta-aineiden valmistuksessa. **Difosgeenin** myrkytysominaisuudet ovat fosgeenin kaltaiset.

Perfluori-isobuteeni, jota syntyy esimerkiksi kuumennettaessa teflonia, aiheuttaa jo hyvin pieninä pitoisuuksina keuhkopöhön, joka tunnetaan nimellä polymeerikuume. Sen ensioireita ovat päänsärky, yskä, rintakipu ja hengenahdistus. Mielenkiinto perfluori-isobuteeniin johtuu siitä, että nykyisin käytössä olevat naamarisuodattimet pidättävät sitä huonosti.

Aine Nimi ja NATO koodi	Kemiallinen rakenne	Haihtu- vuus mg/m ³ 20 C ^o	Sp/Kp °C	Huom
Fosgeeni CG	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \diagdown \\ \text{C}=\text{O} \\ \diagup \\ \text{Cl} \end{array}$	6,4 *10 ⁶	-128/ +8,2	ilmakaasu
Difosgeeni DP	$\begin{array}{c} \text{Cl}_3\text{CO} \\ \diagdown \\ \text{C}=\text{O} \\ \diagup \\ \text{Cl} \end{array}$	4,5*10 ⁴	-57/ +127	ilmakaasu
Perfluori-isobuteeni	$\begin{array}{c} \text{F}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{C} - \text{F}_2\text{C} \\ \diagup \\ \text{F}_3\text{C} \end{array}$	8,9*10 ³	kaasu	ilmakaasu

KUVA 49 Tukahduttavien taistelukaasujen ominaisuuksia

3.1.3 Syövyttävät aineet

Syövyttävät aineet vaikuttavat paljaaseen ihoon, silmiin ja hengityksen kautta keuhkoihin. Niistä tärkein on **rikkisinappikaasu**, joka tunnetaan myös nimillä yperiitti ja keltaristi. Muita tämän ryhmän edustajia ovat **happi-** ja **seskvisinappikaasut**, **typpisinappikaasut**, **levisiitti** sekä ns. nokkoskaasuina tunnetut **fosgeenioksiimi** ja **difosgeenioksiimi**. Tietoja syövyttävistä taistelukaasuista on kuvassa 50.

Aine Nimi ja NA- TO koodi	Kemiallinen rakenne	Haihtu- vuus mg/m ³ 20 C ^o	Sp/Kp °C	Huom
Rikkisinap- pikaasu HD	$\begin{array}{c} \text{ClCH}_2\text{CH}_2 \\ \diagdown \\ \text{S} \\ \diagup \\ \text{ClCH}_2\text{CH}_2 \end{array}$	610	14,4/217	maastokaasu neste
Seskvisinap- pikaasu Q	$\begin{array}{c} \text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{S} \\ \diagdown \\ \text{CH}_2 \\ \text{CH}_2 \\ \diagup \\ \text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{S} \end{array}$	<1	57/140 (2,7 mbar)	maastokaasu kiinteä
Happisinap- pikaasu T	$\begin{array}{c} \text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{SCH}_2\text{CH}_2 \\ \diagdown \\ \text{O} \\ \diagup \\ \text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{SCH}_2\text{CH}_2 \end{array}$	2,4	10/174 (2,7 mbar)	maastokaasu neste
Typpisinap- pikaasu NH3	$\begin{array}{c} \text{ClCH}_2\text{CH}_2 \\ \diagdown \\ \text{N} \\ \diagup \\ \text{ClCH}_2\text{CH}_2 \\ \diagdown \\ \text{ClCH}_2\text{CH}_2 \end{array}$	117	-4/256	maastokaasu neste
Levisiitti L	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{ClCH} = \text{CH} - \text{As} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	4480	0-18/190	maastokaasu
Fosgeenioksiimi CX	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{C} = \text{N-OH} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	ei tiedossa	40/54 (28 mmHg)	neste kiinteä

KUVA 50 Syövyttävien taistelukaasujen ominaisuuksia

Sinappikaasut vahingoittavat ihoa, silmiä ja hengityselimien limakalvoja. Ensimmäiset oireet ilmaantuvat 1-12 tunnin kuluessa altistumisen alkamisesta. Voimakas altistuminen aiheuttaa pahoinvointia, vatsakipua, ripulia, päänsärkyä ja yleistä heikkoutta. Iho-oireina ovat vetiset rakkulat erityisesti kosteilla ja lämpimillä ihoalueilla. Hengityselimien, kurkunpään, henkitorven ja keuhkojen, limakalvoissa saattaa esiintyä kuolioita. Sinappikaasuhöyryt ärsyttävät silmiä, jolloin ne tulehtuvat ja alkavat märkiä. Myöhäisoireina, useiden vuosien kuluttua, voi esiintyä hermoston ja ruoansulatuselinten sairauksia sekä syöpää. Myrkytysoireet johtuvat sinappikaasun kyvystä reagoida solun DNA ja RNA molekyylien sekä solukalvojen proteiinien ja muiden bioproteiinien kanssa. Rasvaliukoisena sinappikaasu imeytyy nopeasti ihon ja limakalvojen läpi.

Typpisinappikaasun aiheuttamat oireet ilmenevät jonkin verran hitaammin kuin rikkisinappikaasun oireet. Kuvassa 51 on sinappikaasun iholle aiheuttamia vammoja.



KUVA 51 *Sinappikaasun aiheuttamia ihovammoja*

Epäpuhdas, vettä ja suolahappoa sisältävä sinappikaasu syövyttää rautaa ja terästä. Sen yhteydessä muodostuu helposti haihtuvia kaasuja, jotka aiheuttavat paineen kasvua suljetuissa tiloissa, kuten pommeissa, kranaateissa ja varastointisäiliöissä. Syöpymistä ja hajoamista hidastavina aineina voidaan käyttää mm tetraalkyyliammoniumhalogenideja, kuten tetrametyyliammoniumbromidia, sekä eräitä orgaanisia amiinijohdoksia, kuten heksametyylitetramiinia ja pyridiinia.

Sinappikaasun pysyvyys ja vaikutusaika riippuvat ensisijaisesti käytetystä levitysmenetelmästä ja sääolosuhteista. Isot sinappikaasupisararat säilyvät maastossa yhdestä kahteen päivään, talviolosuhteissa jopa viikkoja.

Levisiitti vaikuttaa sinappikaasujen tavoin kosketusmyrkkynä. Sen vaikutukset ilmenevät välittömästi ilman latenssiaikaa. Ihovammat paranevat kuitenkin nopeammin kuin sinappikaasun aiheuttamat vammat. Levisiitillä on myös suuri yleismyrkyllisyys, jonka aiheuttamia oireita ovat keuhkopöhö, ripuli, heikkous ja alentunut verenpaine.

Levisiitti valmistetaan asetyleenistä (etyynistä) ja arseenitrikloridista alumiinitrikloridin avulla. Puhdas tuote on hajuton ja sen liukoisuus veteen on 0,5 g/litra. Tekninen tuote on öljymäinen tummanruskea voimakkaasti pelargonialle tuoksuva neste.

Hyvän liukoisuutensa ansiosta levisiittiä voidaan käyttää yhdessä sinappi- ja hermo-kaasujen kanssa. Huono varastointikestävyys ja sinappikaasua lyhyempi vaikutusaika rajoittavat puhtaan levisiitin käyttöä kemiallisena taisteluaineena. Varsinkin sade laskee sen tehokkuutta hyvin nopeasti.

Fosgeenioksiimi (diklooriformoksiimi) ja **difosgeenioksiimi** (trikloorimetyyli-formoksiimi) ovat voimakkaasti ihoa ja hengityselimiä ärsyttäviä aineita. Niiden vaikutukset ilmenevät ilman latenssiaikaa. Iholla ne aiheuttavat samankaltaisen poltteen kuin nokkoset. Vaikka koko ruumis ei olisikaan joutunut kosketuksiin aineen kanssa, leviää polte koko iholle. Difosgeenioksiimi sopii paremmin taisteluainekäyttöön kuin fosgeenioksiimi. Se on valkoinen, veteen liukenematon, kiteinen aine, joka säilyy vuosikautia hajoamatta.

3.1.4 Yleismyrkylliset taisteluaineet eli verikaasut

Yleismyrkylliset taisteluaineet eli verikaasut (blood agents) ovat lyhytvaikutteisia ja nopeasti haihtuvia kaasuja tai nesteitä, joiden myrkyllinen vaikutus perustuu tiettyjen spesifisten entsyymien toiminnan estämiseen. Ryhmän tärkeimmät aineet ovat syaanivety ja kloorisyaani. Yleismyrkyllisiin taistelukaasuihin luetaan myös arseeni- ja fosforivety sekä hiilimonoksidi. Näillä aineilla ei kuitenkaan ole nykyisin merkitystä kemiallisina taisteluaineina.

Puhdas **syaanivety** (vetysyanidi) eli sinihappo on väritön kirkas neste, jonka kiehumispiste on 25,6 °C ja sulamispiste noin -15 °C. Alhaisen kiehumispisteensä ja suuren höyrynpaineensa vuoksi syaanivety haihtuu normaalissa lämpötilassa erittäin nopeasti. Levitettäessä syaanivetyä muodostuu valkoisia pilviä, jotka haihtuvat nopeasti näkymättömiksi.

Taistelukentän olosuhteissa on juuri suuresta haihtuvuudesta johtuen erittäin vaikeaa aikaansaada riittävän myrkyllisiä pitoisuuksia. Kesällä syaanivety haihtuu avoi-

messa maastossa noin 5:ssä ja metsäisessä maastossa noin 10 minuutissa. Haihtuvuutta voidaan pienentää käyttämällä esimerkiksi arseenitrikloridin, vetysyanidin ja trikloorimetaanin seosta tai mikrokapseloimalla syaanivetyä. Mikrokapseloinnissa syaanivety on absorboitu johonkin huokoiseen materiaaliin. Esimerkiksi Zyklon B, jota käytettiin keskitysleirien kaasukammioissa, on piimaahan imeytettyä syaanivetyä.

Syaanivety vaikuttaa soluhengitysmyrkkinä, koska se sitoutuu voimakkaasti sytokromioksidaasi Fe^{3+} entsyymiin ja näin estää sen toiminnan. Koska veressä oleva happi ei voi siirtyä soluihin, seuraa siitä soluhengitystoiminnan salpautuminen ja hapenpuute soluissa. Tämä puolestaan johtaa laskimoveren oksihemoglobiinipitoisuuden kasvamiseen, mikä uhrin kuolinhetkellä näkyy punertavana ulkonäköinä.

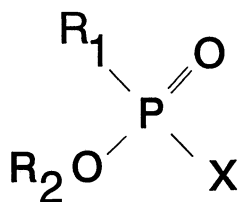
Alle 50 mg/m^3 pitoisuudet ovat yleensä myrkyttömiä, kun taas 100 mg/m^3 aiheuttaa 15 minuutissa vakavan myrkytyksen. Tappava annos syaanivetyä on noin 1 mg/ ihmisen painokilo.

Halogeenisyanideista merkittävin on **kloorisyaani** eli syaanikloridi. Se on väritön neste, jonka kiehumispiste on $12,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Taisteluaineena sen käyttö tulee kyseeseen lähinnä seoksina muiden taistelukaasujen kanssa. Kloorisyaani aiheuttaa voimakasta silmien ärsytystä, ärsytyskynnys on $2,5 \text{ mg/m}^3$. Muuten sen myrkyllisyys on noin puolet syaanivedyn myrkyllisyydestä.

Arsiini (arsenivety) ja **fosfiini** (fosforivety) ovat kaasumaisia syaanivetyä myrkyttömpiä yhdisteitä. Niiden käyttö taistelukaasuina on hyvin epätodennäköistä.

3.1.5 Hermokaasut

Hermokaasut ovat orgaanisia fosforihappoestereitä. Näiden kaasujen myrkyllisyys perustuu siihen, että jo hyvin pienetkin pitoisuudet estävät hermosoluissa olevan asetyylikolinesteraasientsyymien (AChE) biologisen aktiivisuuden eli ne ovat ns. asetyylikolinesteraasi-inhibiittoreita. Hermokaasujen yleinen rakenne voidaan esittää seuraavasti:



R_1 = alkyyli tai alkyylisubstituoitu aminoryhmä

R_2 = alkyyliryhmä

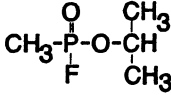
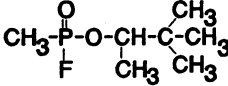
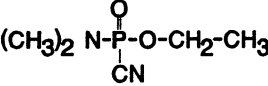
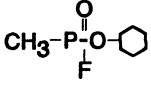
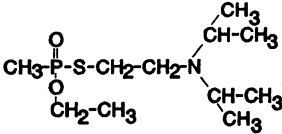
X = tavallisesti fluori, syanidi tai jokin muu happaman yhdisteen lähde

O = happi

P = fosfori

Hermokaasut ovat suhteellisen stabiileja, helposti levitettäviä ja hyvin myrkyllisiä aineita. Kaasutyypistä riippuen ne vaikuttavat nopeasti joko ihon tai hengitysten kautta.

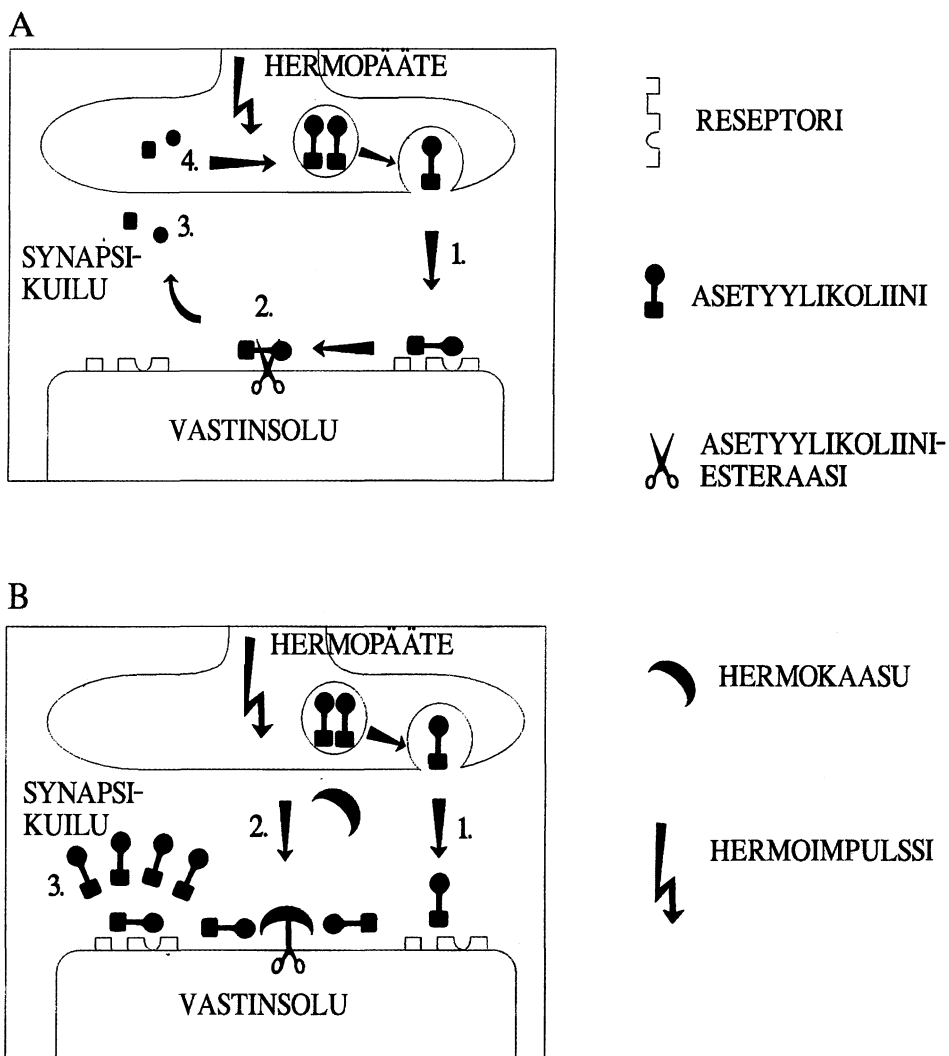
Hermokaasut jaetaan yleensä G- ja V-aineisiin. Ne voidaan luokitella myös ilmakaasuiksi ja maastokaasuiksi. G-aineet, joista tunnetuimmat ovat **sariini**, **somaani** ja **tabuuni**, ovat ilmakaasuja, jotka vaikuttavat pääasiassa hengityksen kautta. V-kaasut, joista tärkeimmät ovat **VX** ja **sitkostettu somaani** ovat puolestaan maastokaasuja ja vaikuttavat sekä hengityksen että ihon kautta. Kuvaan 52 on koottu hermokaasujen tärkeimpiä ominaisuuksia.

Aine Nimi ja NA- TO koodi	Kemiallinen rakenne	Haihtu- vuus mg/m ³ 20 C°	Sp/Kp °C	Huom
Sariini GB		12000	-57/ +147	ilmakaasu neste
Somaani GD		2000	-80/ +198	maastokaasu neste
Tabuuni GA		400	-49/ +245	maastokaasu neste
Syklosariini GF		600	-30/ +92/ 10 mmHg	maastokaasu neste
VX		5-30	-51/ +298	maastokaasu neste

KUVA 52 Hermokaasujen fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia

Hermosto koostuu hermosoluista, jotka ovat liittyneet nk. synaptisen kuilun välityksellä joko toiseen hermosoluun, lihassoluun tai aistielimeen. Jotta hermojärjestelmä toimisi, on hermoimpulssin ylitettävä synaptinen kuilu. Kuilun ylittäminen

tapahtuu kemiallisen välittäjäaineen, asetyylikoliinin (ACh) avulla. Kun hermoimpulssi saavuttaa synaptisen kuilun, erittyy asetyylikoliinia, joka siirryttyään kuilun yli aiheuttaa vastinsolun reseptorissa muutoksen, mikä puolestaan mahdollistaa hermoimpulssin siirtymisen kuilun yli. Tämän jälkeen asetyylikolinesteraasi (AChE) hajottaa ACh:n koliiniksi ja etikkahapoksi. Hermokaasun vaikutuksesta asetyylikoliini ei hajoakaan, mistä johtuen hermoimpulsseja tapahtuu jatkuvasti. Tapahtumaketju on esitetty kuvassa 53.



KUVA 53 *Hermokaasujen vaikutusmekanismi*

A. Normaali toiminta, jossa asetyylikolinesteraasi pilkkoo hermoimpulssin välittäjäaineena toimivan asetyylikoliinin. Sen hajoamistuotteet varastoituvat takaisin hermopäätteeseen valmiina vastaanottamaan uuden hermoimpulssin ja siirtämään sen synapsin yli.

B. Hermokaasu estää asetyylikolinesteraasin toiminnan, mistä seurauksena on ylimääräisen asetyylikoliinin kertyminen reseptorille.

3.1.6 Kasvintuhoaineet (*herbisidit*)

Kasvintuhoaineita käytetään maa- ja metsätaloudessa hyötykasvien suojeluun rikkasveja vastaan. Niillä voidaan myös tuhota viljasato sekä peitteinen kasvullisuus ja näin heikentää vihollisen toimeentulo- tai suojautumismahdollisuuksia.

Kasvintuhoaineilla voi olla hyvin erilaiset toisistaan poikkeavat toksikologiset ja kemialliset ominaisuudet sekä vaikutustavat. Niiden yhteisenä piirteenä on kuitenkin kyky rajoittaa tai estää kasvin normaali kasvu ja kehitys. Ne voivat estää mm. fotosynteesin, aminohappojen biosynteesin, solun jakaantumisen ja soluhengityksen tai aikaansaada auksiinivaikutuksen eli aiheuttaa kasvin liikakasvua.

Sotilaallisesti tärkeimpiä ovat ns. lehdenpudottaja-aineet, jotka soveltuvat erittäin hyvin viidakkosotaan ja myös huumeviljelmien tuhoamiseen. **Agent Orange**-nimistä seosta on käytetty kasvullisuuden hävittämiseen. Seoksessa on 50 % 2,4,5-trikloorifenoksietikka- hapon butyyliesteriä ja 50 % 2,4 dikloorifenoksietikka-happoa. **Agent Blue**- nimistä ainetta, joka koostuu dimetyyliarseenihaposta eli kakodyylihaposta, on käytetty viljapeltojen tuhoamiseen. Puuvartisten kasvien hävittämiseen voidaan käyttää **Agent White**- nimistä ainetta, jossa on 25 % pikloraamia ja 75 % 2,4 dikloorifenoksietikkahappoa.

3.1.7 Toksiinit

Toksiinit ovat elävien organismien, kuten bakteerien, homeiden ja hiivojen sekä kasvien ja eläimien tuottamia myrkkyyjä. Monet niistä ovat äärimmäisen myrkyllisiä, useita kertaluokkia myrkyllisempiä kuin hermokaasut. Toksiinien rakenne koostuu yleensä pitkästä aminohappojen ketjusta, jonka molekyylipaino voi vaihdella muutamasta sadasta sataantuhanteen. Ensinmainittuun ryhmään kuuluvat ns. peptiditoksiinit ja jälkimmäiseen ns. proteiinitoksiinit.

Sotilaskäyttöön soveltuvista bakteeritoksiineista tunnetuin on ns. botuliinus. Tämä **Clostridium botulinum**- bakteerin tuottama toksiini on voimakkain kaikista tun-

netuista myrkyistä. On arvioitu, että kuolettava annos suun kautta nautittuna on noin yksi mikrogramma, hengitettynä vieläkin vähemmän. Clostridium botulinum bakteeri on yksi luonnon yleisimmistä maabakteereista. Lihasäilykkeisiin jou- tuessaan se voi hapettomissa olosuhteissa kehittää toksinia ja aiheuttaa säilykettä syöneelle botulismiin.

3.1.8 Psykostaisteluaineet

Psykostaisteluaineet ovat kemiallisia taisteluaineita, jotka jo erittäin pieninä an- noksina aiheuttavat käytön kohteeksi joutuneissa henkilöissä suorituskyvyn ale- nemista ja psyykkisiä muutoksia. Näitä voivat olla voimakkaat pelkotilat, pako- kauhu, täydellinen apatia tai ylikorostunut hyvinolontunne.

Näistä aineista tärkein on **BZ** eli kinuklidinyylibentsilaatti. Se lamauttaa ihmisen keskushermoston ja aiheuttaa voimakkaita hallusinaatioita. BZ on kiinteä aine, mikä rajoittaa sen käyttöä taisteluaineena.

3.1.9 Kemiallisten taisteluaineiden myrkyllisyys

Kemiallisten taisteluaineiden myrkyllisyys vaihtelee suuresti. Kaikkein myrkyllisin yhdiste on botuliinustoksiini, joka on noin miljoona kertaa myrkyllisempää kuin sariini. Kyynelkaasut puolestaan ovat noin sata kertaa vaarattomampia kuin sariini. Hyvän käsityksen taistelukaasujen myrkyllisyydestä saa, kun tiedetään, että **teo- riassa**

- 1,5 g botuliinustoksiinia
- 70 kg VX- hermokaasua
- 7000 kg sariini- hermokaasua tai
- 22000 kg sinappikaasua riittää tappamaan 5 miljoonaa ihmistä.

Kuvaan 54 on koottu tärkeimpien kemiallisten taisteluaineiden myrkyllisyyttä kuvaavia lukuarvoja. LD₅₀-arvo tarkoittaa ns. ”puoliksi tappavaa” annosta milligrammoina painokiloa kohden. Toisin sanoen tämä ainemäärä aiheuttaa kuo- leman puolelle altistuneista. LCt₅₀ tarkoittaa sitä pitoisuutta ilmassa milligram- maa kuutiometrissä, jossa minuutin oleskelu aiheuttaa kuoleman 50 %:n todennä- köisyydellä. Esimerkiksi, jos LCt₅₀-arvo on 100 mg*min/m³, niin minuutin oles- keltu 100 mg/m³ olevassa pitoisuudessa (tai kaksi minuuttia 50 mg/m³:ssa) johtaa 50 %:n todennäköisyydellä kuolemaan. Samalla tavalla ICt₅₀ tarkoittaa sitä an- nosta mikä keskimäärin aiheuttaa taistelukyvyttömyyden (toiminta- kyvyttömyyden).

Aine	IC ₅₀ mg*min/m ³	LC ₅₀ mg*min/m ³	LD ₅₀ mg/kg
Ärsyttävät			
- CN	80	10000	
- CS	20		
- Adamsiitti	10		
- Difenyliklooriarsiini		15000	
Tukahduttavat			
- Fosgeeni	1600	3200	
- Difosgeeni	1600	3200	
Syövyttävät			34 (iho)
- Sinappikaasu	200 (silmä) 2000 (iho)		
- Seskvisinappikaasu	40 (heng)	1500 (heng) 10000 (iho)	
- Happisinappikaasu	50 (heng)	200 (heng)	
- Levisiitti	1200 (heng)		
Yleismyrkylliset			
- Vetyyanidi	2000 (heng)	4500 (heng)	
- Kloorisyaani	7000 (heng)	11000 (heng)	
Hermokaasut			
- Sariini	50 (heng)	100 (heng) 12000 (iho)	1,4 - 1,7 (iho)
- Somaani	25 (heng)	100 (heng) 800 (iho)	0,7 - 4,3 (iho)
- Tabuuni	100 (heng)	400 (heng) 40000 (iho)	2,8 - 14,0 (iho)
- VX	5 (heng)	10 (heng) 1000 (iho)	0,14 - 3,1 (iho)

KUVA 54 *Kemiallisten taisteluaineiden myrkyllisyys*

3.2 KEMIALLISTEN TAISTELUAINEIDEN ILMAISU

Ilmaisun tavoitteena saada mahdollisimman nopeasti selville mitä taisteluainetta, miten, missä ja milloin on käytetty, jotta vaara-alueella olevat joukot ehtivät suojautua tai kohottaa suojautumisvalmiuttaan ajoissa. Ilmaisun perusteella voidaan määrittää saastealueen laajuus, saasteen laatu sekä vaarallisuusaste. Säätiötojen avulla arvioidaan taisteluaineen leviäminen. Ilmaisun kynnyksen tulee olla niin alhainen, että taisteluaine ei ehdi aiheuttaa vammoja ihmiselle. Esimerkiksi hermokaasut on kyettävä ilmaisemaan pitoisuudessa, joka on alle 0,01-0,05 mg/m³. Ilmaisimien tulee myös mahdollisimman hyvin erotella eri taisteluaineet toisistaan, eivätkä ne saa antaa esimerkiksi palo- tai räjähdyskaasuista eivätkä polttoaineista johtuvia virrehälytyksiä.

3.2.1 Ilmaisuputket, -paperit ja -liuskat

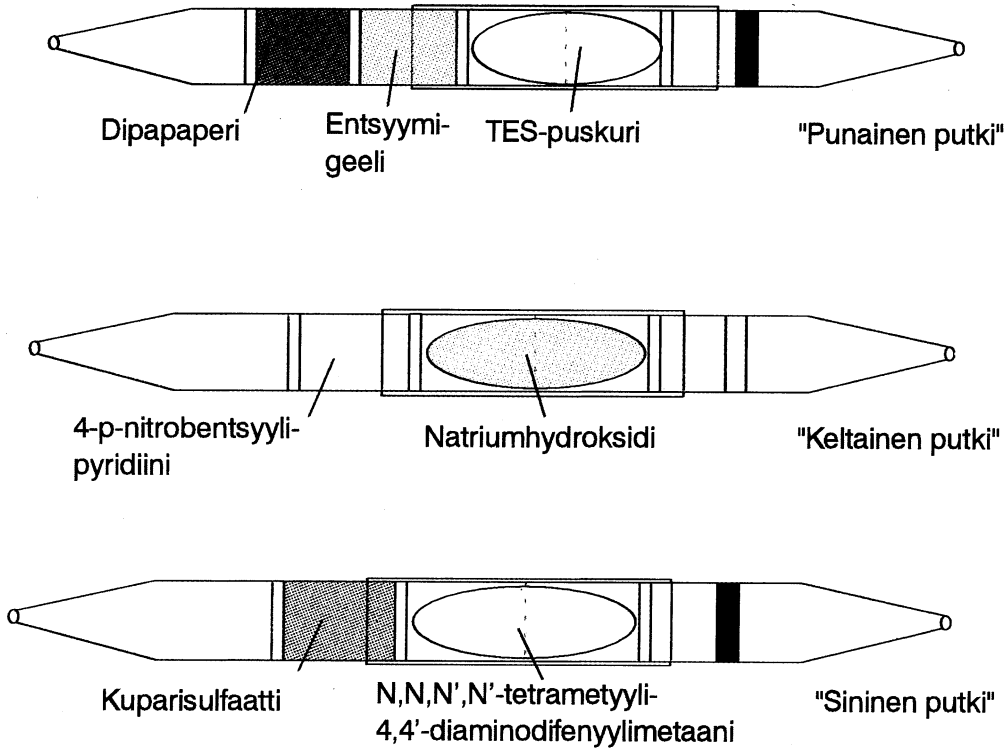
Mieskohtaisilla ilmaisuvälineillä kyetään ilmaisemaan kaasumaisia tai pisaramuodossa olevia taisteluaaineita. Niiden rakenne ja toimintaperiaate on melko yksinkertainen.

Hermo- ja sinappikaasupisaroiden ilmaisuun tarkoitettussa **kolmiväripaperissa** huokoiseen suodatinpaperiin on imeytetty kolme väriainetta homogeeniseksi seokseksi. Nestemäinen taisteluaine liuottaa yhden kolmesta väriaineesta. Punainen väritäplä osoittaa sinappikaasun, keltainen G-tyypin hermokaasun ja vihreä V-tyypin hermokaasun. Kolmiväripaperin etuina ovat halpa hinta, toimintavarma rakenne ja helppokäyttöisyys.

Hermokaasujen ilmaisuputken (punainen putki) ilmaisu perustuu taistelukaasujen kolinesteraasi-entsyymien toimintaa estävään vaikutukseen. Putki koostuu kolmesta osasta, jotka ovat dipapaperi, entsyymigeeli ja TES- puskuri. Dipapaperi on suodatinpaperi, johon on imeytetty dikloori-indofenyylisetaattia. TES-puskurilla tarkoitetaan liuosta, jonka pH-arvo ei muutu, vaikka siihen sekoittuukin pieniä määriä happamia tai emäksisiä liuoksia. Kun putken läpi imetään ilmaa, tarttuu ilmassa oleva hermokaasu entsyymigeeliin ja tuhoaa siinä olevan entsyymien. Sen jälkeen, kun puskuriliuosta sisältävä ampulli on rikottu, imetään entsyymi TES-puskuriliuoksen avulla dipapaperiin. Jos näytteessä on ollut hermokaasua, dipapaperissa ei tapahdu värinmuutosta. Mikäli kaasua ei ole, muuttuu punainen dipapaperi hitaasti siniseksi, koska toimintakykyinen entsyymi värjää dipaperissa olevan punaisen väriaineen siniseksi.

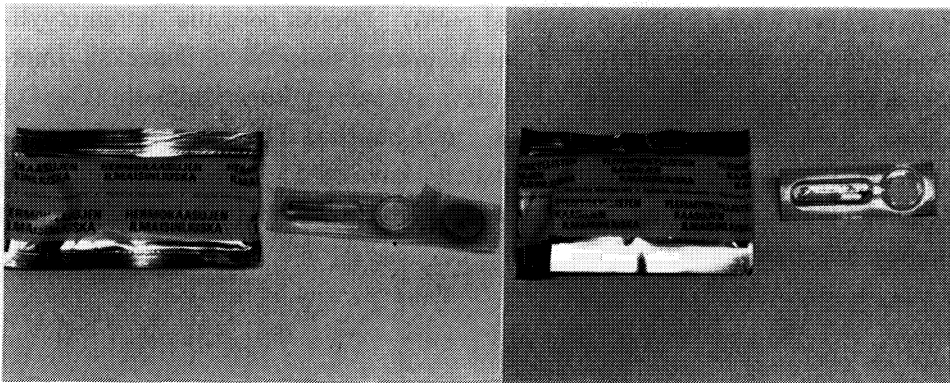
Sinappikaasun ilmaisuputken (keltainen putki) ilmaisu perustuu sinappikaasun ja 4-p-nitrobentsyyliipyridiinin väliseen reaktioon, josta tuloksena on sinivioletti väriaine.

Syaanivedyn ilmaisuputkessa (sininen putki) ilmaisu perustuu tetrametyyli-diamiinidifenyylimetaanin (TDDM) muuttumiseen siniseksi väriaineeksi. Imettäessä ilmaa putken läpi, reagoi siinä oleva syaanivety kuparisulfaatin (CuSO_4) kanssa. Reaktiossa muodostuu happea, joka hapettaa TDDM:n siniseksi väriaineeksi. Ilmaisuputkien rakenne on esitetty kuvassa 55. Nimitykset punainen, keltainen ja sininen putki johtuvat väreistä, joilla putkien toinen pää on maalattu tunnistamisen helpottamiseksi.



KUVA 55 Hermokaasujen (punainen), sinappikaasun (keltainen) ja syaanivedyn (sininen) ilmaisuputket

Ilmaisuliuskat toimivat samalla periaatteella kuin ilmaisuputket. Liuskoissa oleva nesteampulli on laminoitu jäykälle pahville (sininen liuska) tai muoville (punainen liuska), johon on liimattu värireagenssilla imeytetty suodatinpaperi. Ilmaisuliuskoja on sekä hermokaasuille että syaanivedylle. Kuvassa 56 on hermokaasujen ja yleismyrkyllisten kaasujen ilmaisuliuskat.



KUVA 56 Hermo- ja yleismyrkyllisten kaasujen ilmaisuliuskat

3.2.2 Automaattiset kaasunilmaisimet

Automaattiset kaasunilmaisimet ovat vähitellen yleistymässä. Ilmaisimen perusosat ovat pumppu, detektori, mikroprosessoriohjattu elektroniikka ja näyttöyksikkö. Nykyiset ilmaisimet toimivat siten, että pumppu imee näyteilmaa detektorin kaasuantureiden läpi, mikroprosessori käsittelee detektorivasteen ja lähettää tiedon näytölle.

Kaasunilmaisimen tärkein komponentti on detektori eli se osa laitteesta, joka tunnistaa kemiallisen taisteluaineen. Tunnistustekniikka voi perustua

- ioniliikkuvuusspektrometriaan
- liekkifotometriin menetelmiin
- entsyymikemiallisiin menetelmiin
- puolijohdesensoreihin tai
- optoakustisiin menetelmiin

Ioniliikkuvuusspektrometriassa näyteilman sisältämät happi-, typpi- ja vesimolekyylit ionisoidaan alfa-säteilijällä. Näin syntyneet primääri-ionit reagoivat hermo- tai sinappikaasumolekyylien kanssa ja muodostavat sähköisesti varautuneita molekyylidikimppuja. Molekyylidikimput johdetaan sähkökentän avulla yhdelle tai useammalle keräyselektrodille, joille syntyvä varaus mitataan herkällä vahvistimilla. Ioniliikkuvuuteen perustuu myös suomalaisen automaattisen kaasunilmaisimen M90A:n toiminta.



KUVA 57 Automaattinen kaasunilmaisimen M90A

Liekkifotometrisissä menetelmissä hermokaasujen ilmaisu perustuu fosforia ja sinappikaasujen rikkiä sisältävien yhdisteiden fotometriseen tunnistamiseen. Tässä menetelmässä näyteilma johdetaan vetyrikkaaseen liekkiin, jossa molekyylin fosfori- ja rikkiatomit pelkistyvät alkuainemuotoon ja edelleen virittyvät. Viritystilan purkautuessa atomi emittoi sille aallonpituudeltaan tyypillistä säteilyä, jonka intensiteetti mitataan valomonistinputkella.

Entsyymipohjaiset menetelmät perustuvat hermokaasujen kykyyn lamauttaa eli inhiboida asetyylidikolinesteraasi entsyymiä. Entsyymin aktiivisuus on suoraan verrannollinen hermokaasun pitoisuuteen, joten mittaamalla aktiivisuus voidaan määrittää kaasun pitoisuus.

Puolijohdesensoreiden toiminta perustuu siihen, että kaasun kiinnittyminen puolijohde- pinnalle muuttaa sen sähköistä ominaisuutta. Sensoreiden materiaalina on tavallisimmin tinaoksidi. Puolijohdesensoreita käytetään ensisijaisesti palavien kaasujen, kuten hiilimonoksidin, hiilivedyn ja alkoholin detektoinnissa sekä halvoissa alkometreissä.

Optoakustisissa menetelmässä näytekäasua säteilytetään moduloidulla monokromaattisella säteilyllä, jolloin kaasumolekyylit adsorboivat säteilyä ja virittyvät. Palautuessaan ne luovuttavat lämpöä. Lämpötilan nousu puolestaan aiheuttaa suljetussa tilassa, esimerkiksi kennossa, tilavuuden muutoksen ja paineiskun, joka rekisteröidään herkällä mikrofonilla.

Taistelukaasujen ilmaisuun soveltuvien laitteiden tuotekehitys on vilkasta. Suurin mielenkiinto kohdistunee biosensori- ja muihin mikrosensoritekniikoihin. Tavoitteena on yhä pienemmät ja toimintavarmemmat laitteet.

3.2.3 Kaukomonitorointi eli etämääritys

Kemiallisten taisteluaineiden etämäärityksellä tarkoitetaan menetelmää, jolla ilmakehässä oleva taisteluainepilvi voidaan havaita jo kaukaa. Tavallisimmin siihen käytetään LIDAR- tekniikalla varustettuja tutkia (LIDAR = Light Detection and Ranging, Light Radar). Laitteisto koostuu pulssilaserista ja kaukoputken tavoin toimivasta vastaanottimesta. Taisteluaineen tunnistus sekä pilven koon ja taisteluainepitoisuuden määrittäminen tapahtuu seuraamalla lyhyen laser- pulssin aiheuttamaa valon takaisinsirontaa ajan funktiona. Laitteistot, eräitä teollisuuden sovelluksia lukuunottamatta, eivät ole vielä kenttäkäytössä.

3.2.4 Laboratoriomenetelmät

Kenttäilmaisumenetelmillä tai -välineillä ei kyetä läheskään kaikkien taistelukaasujen ilmaisuun. Mikäli halutaan päästä kattavaan ilmaisuun, on turvauduttava erilaisiin kemian analyysilaitteisiin, joista tärkeimmät ovat kaasukromatografi ja massaspektrometri sekä niiden yhdistelmät.

Näillä laitteilla pystytään melko suurella varmuudella toteamaan kemiallisen aseiden käyttö ja tunnistamaan jopa uusia aineita.

Kaasukromatografisessa analyysissä näyte höyrystetään 200-250 °C lämpötilassa ohueen ja pitkään (tavallisesti 0,2 mm x 25 m) kapillaariputkeen eli kolonniin, jonka sisäpinta on päällystetty ohuella polymeerikalvolla. Näytteen sisältämät komponentit kulkevat putkessa 25-30 cm/s virtaavan heliumkaasun mukana kohti kolonnin toisessa päässä olevaa liekki-ionisaatioilmaisinta. Ilmaisimessa ne palaavat vetyrikkaassa liekissä ja muodostavat sähköisesti varautuneita hiukkasia eli ioneja, jotka ilmaisimessa havaitsee. Koska komponenttien kulkunopeus kolonnissa riippuu mm. niiden kiehumispisteestä, ne saavuttavat ilmaisimen eri aikoihin. Etenemiseen käytetty aika, josta käytetään nimitystä viipymä- tai retentioaika, on kullekin yhdisteelle luonteenomainen tunnistusparametri. Analyysin lopputuloksena on ns. kaasukromatogrammi, jossa jokaisella tunnistettavalla yhdisteellä on oma retentioaika vastaava piikki. Piikkien perusteella voidaan todeta, mitä aineita näyte on sisältänyt.

Kaasukromatografian ilmaisimella voidaan korvata nk. massaselektiivisellä ilmaisimella, jolloin kyseessä on **kaasukromatografi-massaspektrometri** laitteisto. Laitteiston avulla yhdisteet voidaan tunnistaa sekä retentioajan että kullekin aineelle ominaisen massaspekttrin perusteella.

Myös **infrapunaspektrokopia** (IR-spektrokopia) voidaan käyttää kemiallisten taisteluaineiden käytön osoittamiseen ja niiden tunnistamiseen. Varsinkin ns. FTIR-tekniikka (= Fourier transform infrared) on hyvin käyttökelpoinen menetelmä. IR-spektrokopiassa aineiden tunnistaminen perustuu infrapuna-alueella tapahtuvan sähkömagneettisen säteilyn absorptioon ja siitä saatavaan IR-spektriin, joka on ikäänkuin tunnistettavan aineen tai molekyylin sormenjälki.

Näiden laboratoriotasoa olevien laitteiden kokoa pyritään pienentämään ja tekemään niistä entistä helppokäyttöisempiä. Sijoittamalla laitteet esimerkiksi panssariajoneuvoihin voidaan tiedustelu suunnata saastuneelle alueelle ja saada tulokset nopeasti joukkojen käyttöön ilman laboratoriotutkimuksiin kuluva viivettä.

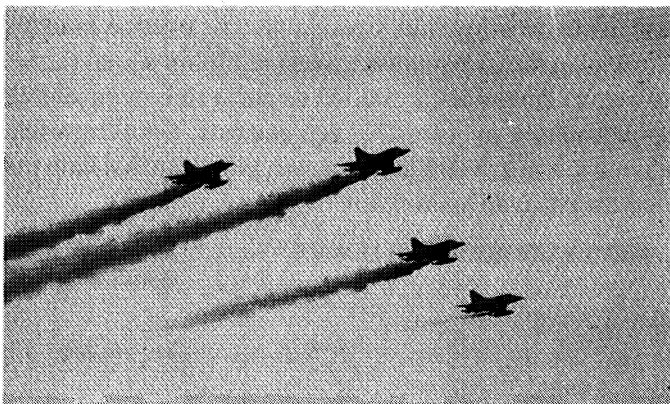
3.3 KEMIALLISTEN TAISTELUAINEIDEN LEVITTÄMINEN JA LEVIÄMINEN

3.3.1 Taisteluaineiden levittäminen

Kemiallisia taisteluaineita levitetään kaasuna ja aerosolina ilmaan tai pisaroina maastoon. Taisteluaineiden levittämistapa valitaan käyttötarkoituksen mukaan. Levittämistapoja ovat lentokoneisiin ja helikoptereihin sijoitetut säiliöt, ohjukset, tykistöroketit, tykistön ammukset, miinat ja lentopommit sekä aluksiin, sukellusveneisiin tai erikoisajoneuvoihin sijoitetut puhalluslaitteet. Aineiden levitysmäärät voivat vaihdella muutamasta kilosta satoihin kiloihin. Kuvassa 58 on esitetty tyyppisimmät asejärjestelmät, kantomatkat ja aseiden sisältämät taisteluainemäärät. Kuvassa 59 on esimerkkejä kemiallisten taisteluaineiden levittämiseen soveltuvista asejärjestelmistä.

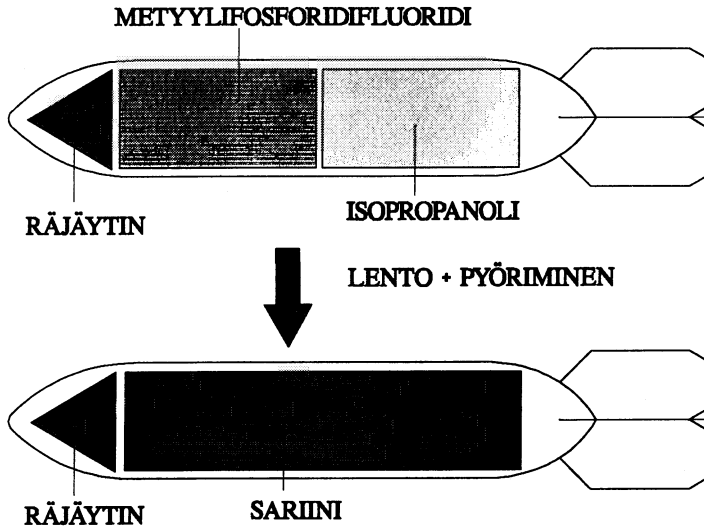
Asejärjestelmä Taisteluaine	Kantama (km)	Taisteluainemäärä (kg)
Kranaatinheitin sariini, somaani, VX, levisiitti	5 - 10	2 - 3
Kenttätykki sariini, somaani, VX, levisiitti	10 - 40	1 - 7
Raketinheitin sariini, somaani, VX	10 - 40	2 - 20/putki
Ohjus (esim. Frog 7) VX	70	216
Ohjus (esim. Scud B) Viskoosi VX	300	555
Ohjus (esim. Al Hussein) Sariini	600	150
Lentokone: pommi säiliö sariini, somaani, sinappikaasu, levisiitti		50 - 300 160 - 630
Miina VX, sinappikaasu		5
Käsikranaatti CS		0,1 - 0,5

KUVA 58 Asejärjestelmät, taisteluaineet, kantomatkat ja ainemäärät



KUVA 59 Taisteluaineiden levittämiseen soveltuvia asejärjestelmiä

Binäärimenetelmässä, josta on esimerkki kuvassa 60, taisteluväline muodostetaan levityksen aikana. Ammuksessa tai pommissa on eri säiliöihin sijoitettuna esimerkiksi kahta lähes vaaratonta lähtöainetta. Säiliön seinämä rikkoutuu lähtöhetkellä ja aineet sekoittuvat ammuksen pyörimisliikkeen ansiosta. Sekoittumisen tuloksena syntyy taisteluväline, jonka määrä jää kuitenkin pienemmäksi kuin puhtaalla taisteluvälineellä täytetyn vastaavan ammuksen.



KUVA 60 Sariiniammus binääriaseena

Levitettäessä nestemäistä taisteluvälinettä muodostuu erikokoisia nestepisaroita. Aineiden käyttäytyminen ilmassa riippuu niiden kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista, pisaroiden kokojakaumasta sekä meteorologisista tekijöistä. Suurimmat pisarat putoavat levitys- tai räjähdyspaikan lähelle. Osa pisaroista höyrystyy ja muodostaa yhdessä pienimpien pisaroiden kanssa kaasu-aerosolipilven, joka kulkeutuu ja hajaantuu ilmakehän virtausten mukana. Ilmiötä on havainnollistettu kuvassa 61.



KUVA 61 Kemiällisen taisteluvälineen leviäminen ja hajaantuminen

Pienimmät pisarat ja kaasumuodossa oleva aine muodostavat ns. **primääripilven** ("primary cloud"). Maanpintaan pudonnut neste, **maastokontaminaatio**, muodostaa lyhyt- tai pitkäaikaisen saastealueen, josta syntyy höyrystymisen eli haihtumisen tuloksena ns. **sekundääripilvi** ("secondary cloud"). Taisteluainepilvien ja maastokontaminaation vaikutuksia ja vaikutusetäisyyksiä on esitetty kuvassa 62.

Vaikuttaja \ Vaikutus	Primääripilvi	Maastosaaste	Skundääripilvi
Ensisijainen vaikutuskohde	Hengityselimet (ja iho)	Iho (ja hengityselimet)	Hengityselimet
Vaikutusetäisyys	Kymmeniä kilometrejä	< Kilometri	Kilometrejä
Vaikutusaika	Minuutteja - tunteja	Tunteja - vuorokausia	Tunteja - vuorokausia

KUVA 62 Taisteluainepilven ja maastosaasteen vaikutukset

Primääripilven ja maastosaasteen suhde riippuu taisteluaineesta, lämpötilasta, levitysmenetelmästä ja levityskorkeudesta. Helposti höyrystyvillä aineilla ja lämpimällä säällä primääripilven osuus on suuri. Pysyvä yhdiste puolestaan aiheuttaa suuren maastosaasteen. Maahan putoavan aineen osuutta voidaan lisätä sitkoaineilla. **Ilmakaasuiksi** kutsutaan aineita, joilla huomattava osa aineesta joutuu primääripilveen. **Maastokaasuja** puolestaan ovat aineet, joilla maanpintaan putoava osuus on suurempi.

Kuvassa 63 on esitetty eräiden taisteluaineiden keskimääräinen jakaantuminen primääripilveen ja maastosaasteeseen. Sariini pyritään levittämään ilmakaasuna joko höyrymuodossa tai pieninä pisaroina, jolloin se vaikuttaa pääasiallisesti hengityselimien kautta. Somaani jakaantuu sekä ilma- että maastokaasuksi. VX ja sinappikaasu ovat maastokaasuja, joista pieni osa aina vapautuu ilmaan muodostaen primääripilven. Häviö johtuu levittämisen yhteydessä tapahtuvasta taisteluaineen hajoamisesta.

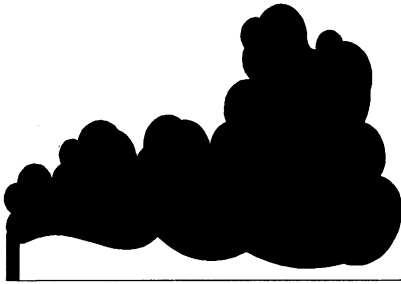
Aine	Häviö	Primääripilvi Kaasu/ Aerosoli	Maastosaaste Nestepisararat
Sariini	-	80	20
Somaani	-	60	40
VX	5	25	70
Somaani (viskoosi)	5	10	85

KUVA 63 Eräiden taisteluaineiden prosentuaalinen jakaantuminen primääripilveen ja maastokontaminaatioon

3.3.2 Leviämiseen vaikuttavat tekijät

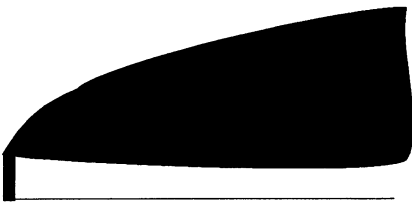
Meteorologiset tekijät vaikuttavat ratkaisevasti siihen, miten taisteluaineet leviävät ilmassa. Aineiden kulkeutumisen ja hajaantumisen kannalta tärkeimpiä tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, lämpötila, ilmakehän turbulenssi sekä sade.

Ilmakehän **turbulenssista** eli pyörteisyydestä riippuu ensisijaisesti, miten aineet ilmassa hajaantuvat. Turbulenssia kuvataan ilmakehän **stabiiliuden** ja **sääluokkien** avulla. Yleisesti käytetty Pasquillin luokitus käsittää kuusi stabiiliusluokkaa A, B, C, D, E ja F. Stabiiliuden vaikutusta taisteluainepilven hajaantumiseen on havainnollistettu kuvassa 64. Sekä vaaka- että pystysuunnassa tapahtuva hajaantuminen on vähäisintä vakaassa eli stabiilissa säätilassa (sää-luokat E-F) ja tehokkainta epävakaa eli labiilissa säätilassa (sääluokat A-B). Maanpintainversio, jota esiintyy lähellä maanpintaa tyynellä ilmalla, estää kaasujen sekoittumisen inversiokerroksen yläpuolelle ja näin heikentää taistelukaasujen hajaantumista korkeussuuntaan.



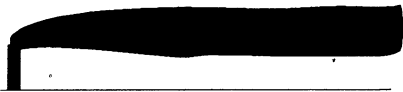
EPÄVAKAA (voimakas turbulenssi)

Ilma on lämpimämpää maan läheisyydessä kuin korkeammalla. Esiintyy yleensä lämpiminä kesäpäivinä, tuulen nopeus on heikko tai kohtalainen. Pilvi hajooa suhteellisen nopeasti.



NEUTRAALI ("normaali" turbulenssi)

Ilma on samanlämpöistä maanpinnalla ja korkeammalla. Esiintyy yleensä pilvisinä päivinä ja öisin kohtalaisella tai voimakkaalla tuulella.



VAKAA (heikko turbulenssi)

Ilma maan pinnalla on kylmempää kuin ylempänä. Esiintyy yleensä tyyninä kylminä öinä ja tyyninä talvipäivinä. Pilvi pysyy pitkään kasassa ja voi aiheuttaa pitkiä vaara-etäisyyksiä.

KUVA 64 Sääluokan arvioiminen savuvanan avulla

Suomessa esiintyy yli 50 % neutraaleja tilanteita (sääluokka C-D) ja noin 40 % vakaita tilanteita. Maamme pohjoisesta sijainnista johtuen heikkotuuliset stabiilit tilanteet ovat poikkeuksellisen yleisiä. Näitä tilanteita esiintyy eniten talvisin, pakkaskautena jopa muutamia vuorokausia yhtäjaksoisesti sekä varsinkin öisin myös muina vuodenaikoina. Epävakaita tilanteita esiintyy erityisesti päivisin, jolloin ilmakehän turbulenssi on voimakkaimmillaan.

Stabiilisuusluokka voidaan Suomen olosuhteissa määrittää kuvan 65 perusteella. Tämä luokitusjärjestelmä poikkeaa Pasquillin alkuperäisestä luokitusjärjestelmästä mm. siinä, että lumipeitteen vaikutus stabiiliuteen on otettu huomioon. Luokittelu ei ole voimassa jäätömän meren yläpuolella. Sääluokan määrittämiseksi on arvioitava tuulen nopeus, pilvisuus ja auringon korkeuskulma. Auringon korkeuskulma on saatavissa esimerkiksi Helsingin Yliopiston vuosittain julkaisemasta almanakasta. Sääluokka riippuu lisäksi vuoden ja vuorokauden ajasta.

a) Talvella (maanpinta lumen peitossa):

Tuulen nopeus 10 m:ssä	Päivä				Yö
		35°<60	20°<35	5°<20	<5°
	N>7	N≤4 N>4	N≤4 N>4	N≤4 N>4	N≤4 N>4
< 2 m/s	D	C C	F E	F E	F F
2 - 3 "	D	C D	E D	F D	F E
3 - 5 "	D	D D	D D	E D	E D
5 - 6 "	D	D D	D D	D D	D D
> 6 "	D	D D	D D	D D	D D

b) Kesällä (lumettomana aikana):

Tuulen nopeus 10 m:ssä	Päivä				Yö
		35°<60	20°<35	5°<20	<5°
	N>7	N≤4 N>4	N≤4 N>4	N≤4 N>4	N≤4 N>4
< 2 m/s	D	A B	B C	C D	F F
2 - 3 "	D	B C	C D	D D	F E
3 - 5 "	D	B C	C D	D D	E D
5 - 6 "	D	C D	D D	D D	D D
> 6 "	D	D D	D D	D D	D D

Merkinnät: <5° = auringon korkeuskulma, N = kokonaispilvisuus (N = 0 pilvetön ja N = 8 täysin pilvinen)

KUVA 65 Ilmakehän stabiiliuden määrittäminen sovellettua Pasquill-luokitusta käyttäen

Lähellä maanpintaa olevassa ilmakerroksessa tuulen suunta ja nopeus sekä ilma-kehän turbulenssi riippuvat paikallisista sää- ja auringonsäteilyolosuhteista, maanpinnan rosoisuudesta ja laaja-alaisista sääjärjestelmistä. Säätilan muutokset voivat eri vuorokauden aikoina ja lähellä toisiaankin olevissa paikoissa olla suuria ja nopeita. Nopeimpia ne ovat auringon nousun ja laskun aikoina. Yleisesti ottaen tuulen nopeus lähellä maan pintaa on lähes olematon ja kasvaa nopeasti korkeussuunnassa. Myös tuulen suunta voi vaihdella eri korkeuksissa. Kaasupilvi voi näin ollen levitä ja kulkeutua eri korkeuksissa erilaisilla nopeuksilla.

Tuulen nopeudesta riippuu pääosin se, missä ajassa pilvi saavuttaa tietyn kohteen. Kova tuuli aiheuttaa pilven nopean ohikulkeutumisen ja siten vähemmän tappioita. Toisaalta suojautumiseen jää vähemmän aikaa. Kohtalaisella tuulella pilvi säilyy vaarallisena pitkällä matkalla, jolloin myös tappiot ovat suuremmat. Suojautumiseen jää kuitenkin enemmän aikaa, koska pilvi liikkuu hitaammin. Hyvin heikolla tuulella tai lähes tynnellä tuulen suunta voi vaihdella huomattavasti, joten pilven vaikutusalueetta on vaikea arvioida. Tällöin yleensä käytetäänkin pyöreää vaara-alueen ennustemallia.

Ilman kosteudella ei yleensä ole suurta merkitystä taisteluaineiden käyttäytymiseen. Useat taisteluaineet hajoavat hitaasti kosteuden vaikutuksesta. Poikkeuksena ovat fosgeeni ja levisiitti, jotka hajoavat kosteassa ilmassa nopeasti. Sinappikaasun vaarallisuus kasvaa kosteuden lisääntyessä, koska aine imeytyy paremmin ihoon.

Sateen mukana epäpuhtaudet laskeutuvat maanpintaan eli syntyy ns märkälaskeuma. Sateen vaikutus aerosoleihin ja kaasuihin riippuu pääasiassa niiden kemiallisesta koostumuksesta. Yleensä sateella on puhdistava vaikutus. Sateen laatu ja kesto vaikuttavat erityisesti siihen, miten hyvin ilma, kasvillisuus, erilaiset pinnat ja maasto puhdistuvat taistelukaasuista. Kuvissa 66 ja 67 on selvitetty sään vaikutuksia taistelukaasujen pysyvyyteen ja vaarallisuuteen.

Tekijä	Primääripilven vaarallisuus vähenee	Primääripilven vaarallisuus lisääntyy
Tuulen suunta	Vaihteleva	Vakaa (taktinen asema myös tärkeä)
Tuulen nopeus	> 6 m/s	≤ 3 m/s
Säätyyppi	Epävakaa	Vaaka (inversio)
Lämpötila	< 0 °C	> 20 °C
Kosteus		Korkea kosteus tekee sinappikaasun vaarallisemmaksi
Sade	Sataa	Ei sada

KUVA 66 Sään vaikutus primääripilveen

Tekijä	Kontaminaation vaarallisuus vähenee	Kontaminaation vaarallisuus lisääntyy
Lämpötila	Maanpinnan korkea lämpötila	Aineellinen jäätymispisteen ja 0 °C välillä
Tuulen nopeus	Suuri	Pieni
Säätyyppi	Epävaka	Vaaka (inversio)
Kosteus		Korkea kosteus tekee sinappikaasun vaarallisemmaksi
Sade	Kova sade	Hyvin heikko sade

KUVA 67 *Sään vaikutus maastokontaminaatioon*

Maastotekijät, kuten mäet, metsät, pellot, maastoesteet ja rakennukset, vaikuttavat paikallisiin meteorologisiin olosuhteisiin ja siten myös kaasujen leviämiseen. Maastotekijöiden merkitys korostuu stabiilissa ja tynnessä tai heikkotuulisessa säätilassa, jolloin kaasupilven kulkusuuntaa ja vaikutusalueita on muutoinkin erittäin vaikea arvioida.

Ilmamassat sekoittuvat rakennetussa ja kumpuilevassa maastossa sekä metsässä tehokkaammin kuin avoimessa ja tasaisessa maastossa. Tällöin myös taisteluainepilvet hajoavat nopeammin ja niiden aiheuttamat vaaraetäisyydet ovat lyhyempiä. Osa kaasuista ja aerosoleista kiinnittyy kuitenkin puiden lehvistöön ja muuhun kasvustoon, mistä johtuen vaara-aika on pitempi kuin aukealla. Maastokaasu pysyy tehokkaana keskimäärin kolme kertaa kauemmin metsässä kuin avoimessa maastossa.

Tiheä metsä estää taisteluainepisaroiden putoamisen maahan, mistä johtuen maasto saastuu vähemmän kuin aukealla paikalla. Pensaikkoon ja taimistoon jääneet taisteluainepisarat kuitenkin lisäävät saastumisriskiä.

Lähellä levitysaluetta olevat metsät, kapeat solat, kuopat, notkot sekä kadut ja kujat ovat paikkoja, joihin taistelukaasu keräytyy säätilan ollessa vakaa ja heikkotuulinen. Taisteluaine pysyy vaarallisena näissä paikoissa kauan. Vaara-etäisyydet ovat suurimpia silloin, kun taisteluainepilvi seuraa laakson reunaa tai ylittää aukean pellon tai järven.

Maanpinnan lämpötila ja **kosteus** vaikuttavat maastokaasujen pysyvyyteen lähinnä siten, että korkea lämpötila edistää aineen höyrystymistä ja kosteus sen hajoamista. Höyrystyminen on verrannollinen tuulen nopeuteen. Kun tuulen nopeus kasvaa, aineet myös höyrystyvät nopeammin. Tämän seurauksena sekundääripilven osuus kasvaa ja maastokontaminaation vaikutusaika vähenee. Kuvassa 68 on esitetty eräiden taisteluaineiden haihtumisaikoja erilaisissa sääolosuhteissa.

Aine	+15°C aurinkoista heikko tuuli	+10°C sadetta tuulista	-10°C aurinkoista lumipeite tyyni
Syaanivety	Minuutteja	Minuutteja	1 - 4 h
Sariini	1/4 - 4 h	1/2 - 6 h	1 - 2 vrk
Tabuuni	1 - 4 vrk	3 - 12 h	1 vrk - 2 vk
Somaani	2 1/2 - 5 vrk	1/2 - 2 vrk	1 - 6 vk
Sinappikaasu	2 - 7 vrk	1/2 - 2 vrk	2 - 8 vk
VX	3 - 21 vrk	1 - 12 h	1 - 16 vk

KUVA 68 Eräiden kemiallisten taisteluaaineiden haihtumisaikoja

Maaston pinta vaikuttaa siihen, kuinka nopeasti taisteluaine häviää ja miten helposti se tarttuu ihmisiin tai ajoneuvoihin. Koska taisteluaine höyrystyy kuivalta ja kovalta pinnalta nopeammin kuin pehmeiltä pinnoilta, on saastumisriski esimerkiksi kalliolla, asfaltilla ja betonilla luonnollisesti pienempi ja lyhytaikaisempi kuin pellolla. On kuitenkin huomattava, että höyrystyminen voi aiheuttaa hetkellisesti korkean kaasupitoisuuden sekundääripilvessä.

Koska saaste imeytyy nopeasti pehmeään maahan, kuten sammaleeseen, hiekkaan tai lumeen, aineen häviäminen maastosta voi olla vain näennäistä. Haihtuminen pehmeältä alustalta on noin 30 % hitaampaa kuin kovilta pinnoilta. Suojautumattomille henkilöille tällaiset alueet ovat vaarallisia.

3.3.3 Leviämisen ennustaminen

Ennustettaessa taisteluaaineiden leviämistä tulee tietää taisteluaineen laatu, sen levitystapa, levitysalueen koko sekä sää- ja maasto-olosuhteet. Mitä tarkempi ennuste halutaan, sitä tarkempien tulee lähtötietojen olla. Kemiallinen taisteluaine oletetaan aina ilmakaasuksi ellei olla täysin varmoja siitä, että kyseessä on maastokaasu.

Jos säätila on **tyyni** tai on **täysin varmaa**, että kyseessä on maastokaasulevitys, vaara-alueen säde on 10 km.

Jos tuulen nopeus ja suunta ovat selvästi havaittavissa ja kysymys on ilmakaasusta, vaaraetäisyys määritetään kuvan 69 mukaisesti. Vaara-alue piirretään Suojelupöytäkirjassa esitetyllä tavalla.

Levitys- menetelmä	Etäisyys h-alueen keskipisteestä, kun säätila on		
	epävaka	neutraali	vakaa
Tykistö, krh, pienet pommit	10 km	30 km	50 km
Raketinheittimet, ohjukset, pommit	15 km	30 km	50 km

KUVA 69 Vaara-etäisyyksien määrittäminen eri levitysjärjestelmillä ja eri säätyypeissä

Jos levitysmenetelmää tai säätyyppiä ei tiedetä, arvioidaan vaara-alue siten, että levitysmenetelmänä on raketinheitin ja säätila on vakaa.

Taisteluaineiden ilmassa tapahtuvaa leviämistä voidaan ennustaa tarkemmin tietokoneohjelmilla. Kuvissa 70 ja 71 on esitetty leviämismalliohjelmalla lasketut ilmakaasun vaara-alueen leveys ja arviot annoskertymistä eri etäisyyksillä. Taulukoita voidaan käyttää manuaalisten ennusteiden pohjana, jos tietokoneohjelmaa ei ole käytettävissä.

Pilven leveys on laskettu annoskertymälle $0.01 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{m}^3$. Jos aine on levitetty linja- tai aluelähteenä, on levityslinjan pituus tai alueen leveys lisättävä pilven leveyteen yhden kilometrin etäisyydelle asti. Yli yhden kilometrin etäisyydellä lähteen leveys menettää merkityksensä pilven hajoamisen ja muiden häviöiden vaikutuksesta. On huomattava, että kuvassa 70 esitetyt arvot ovat keskimääräisiä arvioita, joihin vaikuttavat mm paikalliset sää- ja maasto- olosuhteet.

Sää- tyyppi	Etäisyys (km)												
	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30
	Taisteluainepilven leveys (km)												
Epävaka B	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5	5	6	7	7,5	8	9	14	18
Neutraali D	0,3	0,6	0,9	1,3	1,7	2,0	2,2	2,6	2,8	3,2	3,5	6	8
Vakaa F	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	1,1	1,4

KUVA 70 Taisteluainepilven leveys eri etäisyyksillä erilaisissa säätilanteissa

Esimerkiksi, jos kemiallista taisteluainetta sisältävä lataus räjähtää neutraalissa säätilanteessa, on pilven leveys 8 km päässä noin 2,8 km. Jos linjalevityksen pituus on 500 m, on pilven leveys epävakaassa säätilanteessa 0,5 km päässä 1,5 km ja 5 km päässä noin 5 km.

Kuvassa 71 esitetään keskimääräiset annoskertymät taistelukaasupilven keskiakselilla tilanteessa, jossa on tapahtunut pistemäinen 100 kg suuruinen ilma-kaasulevitys, esimerkiksi taisteluainetta sisältäneen pommin räjähdys. On muistettava, että malleilla laaditut leviämisarviot ovat keskimääräisiä arvioita, joissa on vaikea ottaa huomioon paikalliset maaston ja hetkelliset säätilan vaihtelut. Todellisuudessa taistelukaasupilvi hakeutuu sinne minne ilmavirtauksetkin, eli se seuraa maaston muotoja ja kiertää esteet.

Sää- tyyppi	Tuulen nopeus	Etäisyys (km)							
		0,5	1	2	4	6	10	20	30
		Taisteluainepilven leveys (km)							
Epävaka B	2 m/s 7 km/h	51	13	3,2	0,8	0,4	0,2	0,09	0,06
	5 m/s 20 km/h	20	5,0	1,3	0,3	0,2	0,07	0,04	0,02
Neutraali D	2 m/s 7 km/h	440	130	40	12	5,7	2,3	0,7	0,4
	5 m/s 20 km/h	180	52	16	4,7	2,3	0,9	0,3	0,1
	8 m/s 30 km/h	110	33	10	2,9	1,5	0,6	0,2	0,09
Vaka F	1 m/s 4 km/h	5 140	1 880	690	250	140	70	40	30
	3 m/s 10 km/h	1 720	630	230	85	50	25	14	10

KUVA 71 Annoskertymät pilven keskiakselilla tuulen kulkusuunnassa

Kuvan arvot antavat annoskertymän, jos kohde on paikallaan. Jos kohde liikkuu pilven saastuttaman alueen läpi, annoskertymä on pienempi. Taulukkoa voidaan yleistää siten, että levitetyn ainemäärän kaksinkertaistuessa myös annoskertymä kaksinkertaistuu. Jos ainemäärä on puolet esitetystä ainemäärästä, annoskertymä on myös noin puolet taulukon arvosta jne.

Esimerkiksi, jos ilmakaasua on levitetty 100 kg neutraalissa säätilanteessa tuulen nopeuden ollessa 5 m/s, on annoskertymä pilven keskiakselilla 6 km päässä noin $2,3 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{m}^3$. Jos vakaassa säätilanteessa tuulen nopeuden ollessa 3 m/s, levitetään 200 kg ilmakaasua, on annoskertymä 10 km päässä noin $50 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{m}^3$.

3.4 ONNETTOMUUDET KEMIAN TEOLLISUUDESSA JA KEMIALLISTEN AINEIDEN KULJETUKSESSA

3.4.1 Perusteita

Maailmassa tunnetaan noin 11 miljoonaa eri kemikaalia, joista Suomessa on käytössä yli 50 000. Arvioiden mukaan joka vuosi valmistetaan noin 20 000 uutta yhdistettä.

Vaaralliset aineet luokitellaan lainsäädännössä **palo- ja räjähdysvaarallisiin, terveydelle vaarallisiin** sekä **ympäristölle vaarallisiin kemikaaleihin**.

Palo- ja räjähdysvaarallisiin kemikaaleihin kuuluvat räjähtävät, hapettavat, erittäin helposti syttyvät, helposti syttyvät ja syttyvät kemikaalit.

Terveydelle vaarallisiin kemikaaleihin kuuluvat erittäin myrkylliset, myrkylliset, haitalliset, syövyttävät, ärsyttävät, herkistävät, syöpää aiheuttavat, perimää vaurioittavat ja lisääntymiselle vaaralliset kemikaalit. Ympäristölle vaaralliset kemikaalit muodostavat oman ryhmänsä.

Onnettomuus kemian teollisuudessa tai kemiallisen aineen kuljetuksessa aiheuttaa yleensä **paikallisen**, joskus myös alueellisen vahingon. Pahimmillaan sen vaikutukset ovat verrattavissa kemiallisen taisteluaineen tai polttoaseen käyttöön.

Kemiallisten aineiden torjunta edellyttää tietoa niiden ominaisuuksista ja käyttäytymisestä erilaisissa tilanteissa, torjuntaan soveltuvaa kalustoa ja suojavarustusta sekä taitoa käyttää niitä. Torjunnan kannalta tärkeitä perustietoja ovat aineen olomuoto, tiheys, liukoisuus, syttyvyys ja syttymisrajat, leimahduslämpötila, räjähtävyys, reaktiivisuus sekä myrkyllisyys.

3.4.2 Onnettomuusriskit kemian teollisuudessa

Onnettomuudet kemikaaleja valmistavissa tai niitä suuressa mittakaavassa käytävissä tuotantolaitoksissa ovat melko harvinaisia. Laki edellyttää, että turvajärjestelyt on mitoitettu riskien mukaan.

Kemiallinen **vaaratilanne** voi syntyä teollisuuslaitoksessa, tuotantoprosessissa tai varastossa syttyvän tulipalon, vuodon, käsittelyvirheen, erehdyksen, tuholaisoiminnan, asevaikutuksen tai kuljetusonnettomuuden seurauksena. Myös huolimaton tai vastuuton kemikaalien hävittäminen voivat johtaa kemiallisen onnettomuuden syntymiseen.

Kaikkein hankalimpia ovat palavat tai myrkylliset kaasut, koska purkautuvien kaasujen hallinta sekä kaasupitoisuuden ja sen aiheuttaman myrkytysvaaran arviointi on erittäin vaikeaa. **Kaasuvuoto** voi olla joko jatkuva tai kertapästö. Vuodon seuraukset riippuvat kemikaalin myrkyllisyydestä, vuotaneen aineen määrästä sekä säätilasta. Sisätiloissa kaasu voi syrjäyttää hapen, josta seurauksena pahimmillaan on kuolema.

Tulipalon aiheuttaman kemiallisen onnettomuuden vahingot voivat olla erittäin suuret. Kaasun ja ilman seoksen syttyminen voi aiheuttaa palovammoja ja syyttää uusia tulipaloja jopa satojen metrien säteellä onnettomuuskohteesta. Palon yhteydessä saattaa lisäksi vapautua myrkyllisiä kaasuja. Palo voi olla luonteeltaan myös

räjähdyksenomainen, jolloin sen aiheuttamat paine- ja polttovaikutukset ulottuvat laajalle alueelle.

Nestevuodon vaikutukset voivat olla mitä moninaisemmat. Kaasuuntuva tai nopeasti haihtuva neste voi aiheuttaa myrkytyksen tai tulipalon vaaran. Maahan imeytyvä tai vesistöön vuotava kemikaali saattaa pilata pinta- ja pohjavedet. Erikoisuutena mainittakoon, että kiehumispistettään lämpimämmissä oloissa vuotava kaasu voi aiheuttaa torjuntahenkilöstölle paleltumavammoja.

Virheellinen torjunta saattaa aiheuttaa lisävahinkoja. Tällaisia voivat olla esimerkiksi sammutusveden aiheuttamat lisävuodot sekä sammutusveden tai imeytysaineen ja kemikaalin reagoiminen siten, että syntyy myrkyllisiä kaasuja.

3.4.3 Onnettomuusriskit kemiallisten aineiden kuljetuksissa

Vaarallisten aineiden **kuljetukset** ovat suurempi riski kuin kemian teollisuus itse. Vuosittain tapahtuu kymmenkunta onnettomuutta, joissa vaarallista ainetta kuljettava ajoneuvo on mukana.

Maanteillä kuljetetaan vaarallisia aineita vuosittain noin 10 miljoonaa ja rautateillä noin 6 miljoonaa tonnia. Meriteitse erilaisia liuotinkemikaaleja kuljetetaan yli 4 miljoonaa tonnia ja öljytuotteita 15-20 miljoonaa tonnia. Kaikista kemikaalikuljetuksista bensiinin ja polttoöljyn osuus on yli puolet ja maantiekuljetuksista noin 80 %. Myrkyllisten ja palavien kaasujen osuus maanteillä kuljetettavista kemikaaleista on noin 3 % ja rautateillä kuljetettavista noin 7 %. Räjähävien aineiden osuus on vain noin 0,1 %.

Noin 60 %:ssa kaikista onnettomuustapauksista mukana on jokin kymmenestä eniten kuljetetusta aineesta eli polttoöljy, dieselöljy, bensiini, nestekaasu, rikkihappo, ammoniakki, kloori, typpihappo, suolahappo tai natriumhydroksidi.

Yleisin onnettomuuden syy sekä maanteillä että rautateillä on kuljetussäiliön pohjaventtiilin **vuotaminen**. Muita tyypillisiä onnettomuuksia maanteillä ovat kolarit ja ulosajot, joiden seurauksena kemikaalisäiliö repeytyy. Rautateillä onnettomuudet sattuvat useimmiten ratapihoilla. Yleisin vahinkotyyppi on säiliövaunun päädyn vaurioituminen törmäyksessä.

Lainsäädäntö asettaa veloitteita vaarallisten aineiden kuljettamiseen käytettävillä ajoneuvoille ja niiden kuljettajille. Kuljetus on merkittävä tunnusnumerokilvellä sekä ajoneuvossa ja pakkauksissa olevilla varoituslipukkeilla. Tästä nk. YK-kilvestä sekä varoituslipukkeista ilmenevät kuljetettavan aineen nimi ja sen tärkeimmät ominaisuudet. Eräiden aineiden kuljetukset on merkittävä myös niiden laatua osoittavilla väreillä. Torjunnassa tarvittavia tietoja saadaan erilaisista kemikaalitiedostoista ja -rekistereistä sekä asiantuntijajärjestelmältä. Kuljetuksissa käyte-

tään erityisvaunuja tai -ajoneuvoja ja kuljettajilta vaaditaan erityislupa. Vaarallisia aineita saa maanteillä kuljettaa kerrallaan 25-35 tonnia ja rautateillä 20-80 tonnia/vaunu.

3.4.4 Tietoja eräistä kemikaaleista, niiden leviämisestä ja vaikutuksista

Vaarallisimpia eniten kuljetetuista kemikaaleista ovat ammoniakki, kloori ja rikkidioksidi. Tietoja näiden ominaisuuksista on kuvassa 72.

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

1) Esimerkki: 1 litrasta nesteklooria höyrystyy ilmakehän paineessa noin 400 l kloorikaasua

KUVA 72 Tietoja kloorin, ammoniakin ja rikkidioksidin ominaisuuksista

Ammoniakki (NH₃) on huoneen lämmössä väritön, pistävänhajuinen, ilmaa kevyempi kaasu, joka hengitettynä aiheuttaa verisuonien supistumisen, verenpaineen kohoamisen ja hengityksen salpautumisen. Oleskelu suuressa ammoniakkipitoisuudessa johtaa kuolemaan. Ammoniakkia käytetään lannoitteiden, typpihapon, eräiden räjähdystarvikkeiden ja väriaineiden valmistuksessa sekä jäähdystyslaitteistoissa. Ammoniakki syövyttää galvanoituja pintoja, kuparia, sinkkiä ja alumiinia.

Ammoniakkia kuljetetaan ja käsitellään nesteytettynä jäähdystetyissä ja yleensä paineistetuissa kuljetussäiliöissä. Tällaisesta säiliöstä vuotava ammoniakkisuihku tai -roiskeet aiheuttavat myös paleltumavammoja. Vuosittainen kuljetusmäärä on noin 200 000 tonnia. Nestemäisessä muodossa oleva ammoniakki palaa, ei kuitenkaan kovin hyvin. Ilman ja ammoniakin kaasuseos, jossa viimeksimainittua on 15-25 %, sitävästoin palaa räjähdysnomaisesti.

Ammoniakkia käytetään myös vesiliuoksena (NH₄OH), jolloin se ei ole palava. Liuoksesta haihtuvat kaasut ovat kuitenkin lähes yhtä vaarallisia kuin kaasuu-

muodossa oleva ammoniakki. Ammoniakkipitoisuuksien vaikutuksia ihmiseen on esitetty kuvassa 73.

Pitoisuus mg/m ³	Pitoisuus ppm	Vaikutus ihmiseen
3,5 - 35	5 - 50	Haju tuntuu
70	100	Lievä nenän ja nielun ärsytys
200 - 350	280 - 500	30 min - 1 h oleskelu mahdollinen
300	420	Välitön nielun ärsytys, yskittää
500	700	Silmien ärsytys, kyynelvuotoa
1200	1700	Voimakas yskän ärsytys, 30 min oleskelu aiheuttaa keuhkovammoja
2500	3500	30 min - 1 h oleskelu hengenvaarallinen
3500 - 7000	5000 - 10000	10 - 15 min oleskelu tappava

KUVA 73 Ammoniakin vaikutus ihmiseen

Kloori on pistävänhajuinen, kellanvihreä, ilmaa raskaampi, erittäin myrkyllinen kaasu. Nestemäisessä muodossa oleva kloori on oranssin väristä. Klooria on perinteisesti käytetty selluloosan valkaisuun, nykyisin käyttö on kuitenkin vähemmän. Muita käyttäjiä ovat muoviteollisuus ja vedenpuhdistamot. Myös kloori kuljetetaan nesteytettynä, jäähdytettynä ja paineenalaisena. Vuosittainen kuljetusmäärä on noin 200 000 tonnia.

Kloori itse ei pala, mutta reagoidessaan muiden aineiden kanssa se aiheuttaa syttymistä, hiilivetykaasujen kanssa jopa räjähdysten. Kosteaa klooria syövyttää rautaa ja muita metalleja sekä hitaasti myös betonia ja kumia. Kloorivuodon tukahduttamisessa ei saa käyttää vettä, koska se syövyttää vuotokohdan suuremmaksi. Suuri klooripitoisuus on hengenvaarallista. Se aiheuttaa myös aiheuttaa keuhko-, silmä- ja ihovammoja. Tietoja kloorikaasun vaikutuksesta on esitetty kuvassa 74.

Pitoisuus mg/m ³	Pitoisuus ppm	Vaikutus ihmiseen
0,3 - 3	0,1 - 1	Haju tuntuu
10 - 20	3 - 7	Voimakas haju, silmien ja nenän ärsytystä, 1 h oleskelu ei aiheuta vammoja
50	15	Välitön silmien, nenän ja nielun ärsytys, kyynelvuotoa ja yskää
100	30	Tukahduttava yskä, rintakipua
150 - 300	50 - 100	Keuhkovammat mahdollisia
3000	1000	Välitön tukehtumisvaara

KUVA 74 Kloorikaasun vaikutus ihmiseen

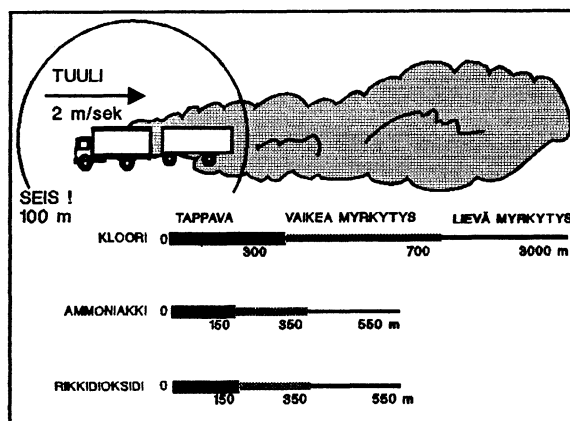
Rikkidioksidi on väritön, pistävänhajuinen, voimakkaasti syövyttävä, ilmaa raskaampi, myrkyllinen kaasu. Alle -10 °C:n lämpötilassa rikkidioksidi on nesteenä. Rikkidioksidia käytetään valkaisuun paperi-, selluloosa- ja tekstiiliteollisuudessa sekä pieniä määriä muussa tuotannossa esim. sokerin valmistuksessa. Rikkidioksidi kuljetetaan jäähdytettynä, ei kuitenkaan paineenalaisena. Vuosittainen kuljetusmäärä on noin 50 000 tonnia.

Rikkidioksidi aiheuttaa suurina pitoisuuksina keuhko- ja ihovammoja. Se syövyttää kosteana useimpia metalleja ja rakennusaineita sekä vahingoittaa tekstiilejä ja nahkaa. Edellämäntästä syystä myöskään rikkidioksidivuodon yhteydessä ei saa käyttää vettä. Tietoja rikkidioksidin vaikutuksista ihmiseen on esitetty kuvassa 75.

Pitoisuus mg/m ³	Pitoisuus ppm	Vaikutus ihmiseen
1 - 2,5	0,4 - 1	Haju ja hapan maku havaittavissa
8	3	Voimakas haju
13 - 30	5 - 11	Välitön silmien, nenän ja nielun ärsytys
125 - 250	50 - 100	Tukahduttava yskä
400 - 500	150 - 200	30 min - 1 h oleskelu hengenvaarallinen
1000 - 1300	400 - 500	Muutaman minuutin oleskelu hengenvaarallinen

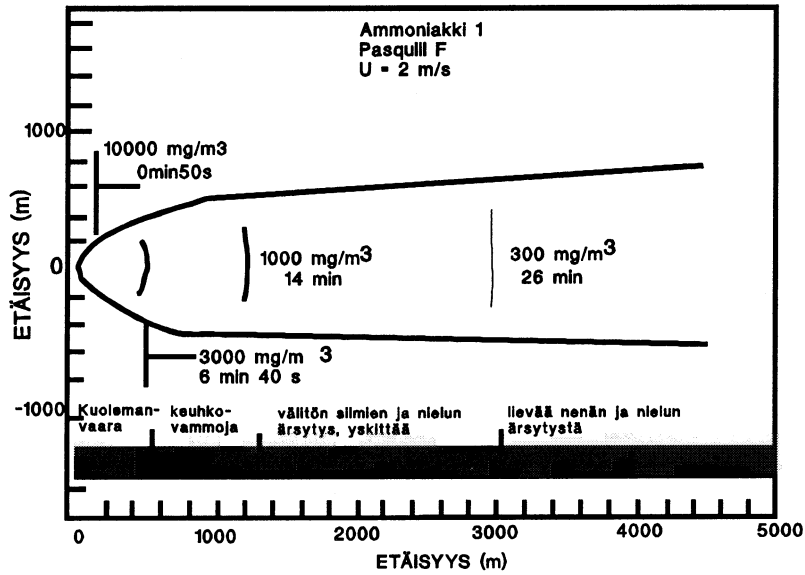
KUVA 75 Rikkidioksidin vaikutus ihmiseen

Vaarallisten aineiden leviämisen arviointiin voidaan käyttää karkeaa ennustusmenetelmää, josta esimerkki on kuvassa 76 tai tietokonemalleja, joista on esimerkit kuvissa 77 ja 78.



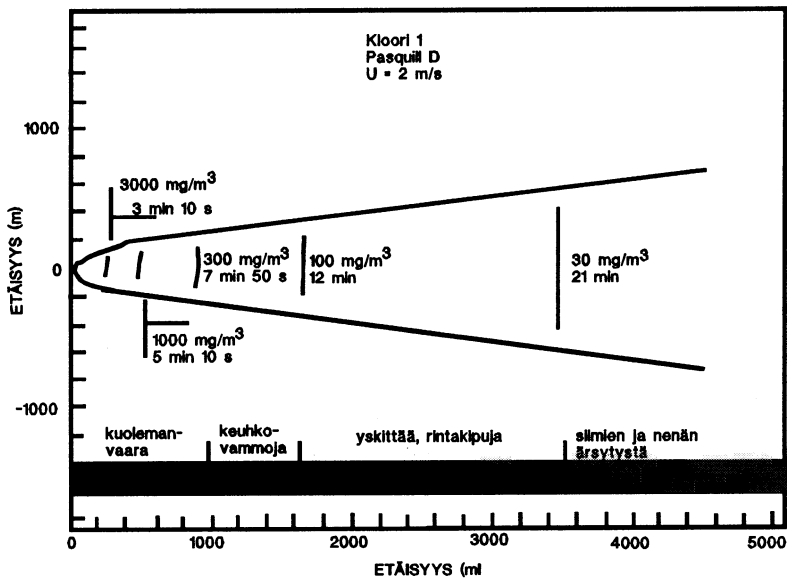
Jo noin 10 minuutin altistuksen vaikutukset ovat vakavia !

KUVA 76 Karkea ennustusmenetelmä vaarallisten aineiden leviämiseksi



Nesteammoniakkia vuotaa 11,6 kg/s, joka kaikki höyrystyy. Sääluokka F, selkeä yö, tulen nopeus 2 m/s. Lähialueella (0-600 m) kaasu leviää 65°:n sektorissa.

KUVA 77 Ammoniakin leviäminen ilmassa



Nesteklooria vuotaa 6,3 kg/s, joka kaikki höyrystyy. Sääluokka D, sää on pilvinen ja tuulen nopeus on 5 m/s. Kaasu leviää 16°:n sektorissa.

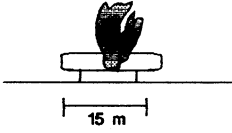
KUVA 78 Kloorin leviäminen ilmassa

Nestekaasu on joko propaania (C_3H_8), butaania (C_4H_{10}) tai niiden seosta. Puhdas kaasu on hajuton ja väritön, mutta ei myrkyllinen. Nestekaasun vaarallisuus perustuukin sen syttymisherkkyyteen, suureen palamisnopeuteen sekä siihen, että se syrjäyttää suljetuissa tiloissa hapen ja voi täten aiheuttaa kuoleman. Kaasuvuodon tunnistamiseksi siihen lisätään nykyisin hajuaineita.

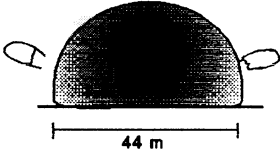
Kaasun nestemäinen olomuoto saadaan aikaan paineen avulla. Koska nestekaasun kiehumispiste on -42 °C , se höyrystyy välittömästi normaalipaineessa ja tavanomaisissa lämpötiloissa. Räjähdyksrajat ovat 2,2 - 9,5 tilavuusprosenttia. Kaasun purkautuessa sekä neste että säiliö jäähtyvät voimakkaasti. Ilmaa raskaampana, tiheys noin 1,6, höyrystynyt kaasu hakeutuu kellareihin, ojiin ja muihin alaviin paikkoihin.

Nestekaasuonnettomuuden voi aiheuttaa vuotava putki tai venttiili. Se voi aiheuttaa myös liikenneonnettomuudessa vaurioituneesta kuljetussäiliöstä, jolloin vuoto on suuri, kertapäästöön rinnastettava tapahtuma. Tällöin neste kaasuuntuu nopeasti ja voi syttyä heti. Mikäli kaasu ei syty välittömästi, lähtee siitä muodostuva pilvi liikkeelle myötätuulen suuntaan maaston alavia kohtia seuraten. Pilvi saattaa syttyä esimerkiksi ohiajavan auton, sähkökatkaisijan tai kipinän takia. Syttymiskelpoisen pilven pituus vaihtelee sääoloista ja vuodon suuruudesta riippuen muutamista kymmenistä metreistä jopa yli 100 metriin.

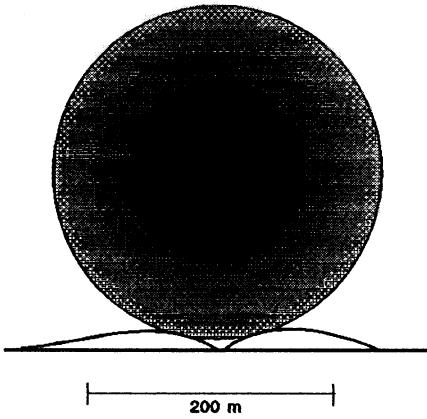
Vaarallisin onnettomuustilanne syntyy säiliön repeytyessä tulipalon, räjähdysten tai liikenneonnettomuuden seurauksena siten, että kaasu pääsee purkautumaan yhtäaikaan. Tällöin voi tapahtua kiehovasta nesteestä vapautuvan höyryn räjähtäminen eli nk. Bleve-ilmio. Sen vaikutuksia ovat paineaalto, jopa 800 metrin päähän lentävät sirpaleet ja 200 metriä halkaisijaltaan oleva tulipallo, jonka kuumuus on yli 1000 °C . Tulipalo aiheuttaa III asteen palovammoja noin 200 metrin ja II asteen palovammoja noin 300 metrin etäisyydellä räjähdyspisteestä. Nestekaasuräjähdyksen syntymistä on esitetty kuvassa 79.



1) Nestekaasuvuodon liekit kuumentavat säiliötä kaasutilan kohdalta. Varoventtiili on avautunut.



2) Kuumentunut säiliö repeää ja bleve hajoittaa sen sisällön höyrysarapilveksi.



3) Pilvi palaa tulipallona.

KUVA 79 Nestekaasuräjähdyksen syntyminen

IV LUKU

POLTTOASE JA TULIPALOT

4.1 YLEISTÄ

Polttoaseella pyritään vastustajan joukkojen tuhoamiseen tai lamauttamiseen, pakottamaan niiden liike oman toiminnan kannalta edullisille alueille, aiheuttamaan niissä pakokauhua sekä sitomaan niitä tulipalojen sammuttamiseen. Aseella voidaan tuhota myös vastustajan asejärjestelmiä ja materiaalia.

Polttoase kuuluu tavanomaisiin aseisiin, joten sen käyttö taistelukentällä on varsin todennäköistä. Myös perinteiset sekä ennenkaikkeaa ydin- ja aluevaikutteiset aseet sytyttävät tulipaloja, joilla on samankaltainen vaikutus kuin varsinaisilla polttoaseilla. Vaikka aluevaikutteiset aseet, yleinen mielipide ja neuvottelut polttoaseiden kieltämiseksi ovatkin vähentäneet niihin kohdistuvaa mielenkiintoa, muodostavat ne halpuutensa, yksinkertaisuutensa ja tehokkuutensa vuoksi vakavasti otettavan uhkan ainakin alemman asteisissa kriiseissä. Kansainväliset sopimukset kieltävät polttoaseen käytön siviiliväestöä vastaan.

Polttoase koostuu syttymisen aiheuttavasta polttotaisteluaineesta, aineen kuljettamiseen tarvittavasta säiliöstä, kuorma-ammuksesta, pommista, kranaatista, raketista, ohjuksesta, miinasta tai puhalluslaitteesta sekä aseesta, asejärjestelmästä tai välineestä, jolla polttotaisteluaine saatetaan maaliin. Valikoima ulottuu yksinkertaisesta polttopullosta nykyaikaiseen kuorma-ammukseen. Ase voidaan valita maalin ja halutun vaikutuksen perusteella.

Samanaikaisesti polttoaseen kanssa käytettävät sirpalevaikutteiset aseet vaikeuttavat tulipalojen sammuttamista ja aiheuttavat lisää tappioita. Jotkut polttotaisteluaineet ovat sellaisenaan myrkyllisiä tai synnyttävät palaessaan myrkyllisiä kaasuja, mikä edellyttää samanlaista suojautumista kuin kemiallisia aseita vastaan.

4.2 POLTTOTAISTELUAINHEET

Polttotaisteluaineet ovat nestemäisiä tai kiinteitä kemiallisia yhdisteitä, jotka palaessaan vapauttavat paljon lämpöä. Aineiden vaatimuksia ovat mm. hyvä syttyvyys, ihanteellinen ja tarvittaessa säädeltävissä oleva palamisaika, korkea palamislämpötila, hyvä tarttuvuus, vähäinen haihtuvuus, soveltuvuus eri asejär-

jestelmille, helppo käsiteltävyys, vaikea sammutettavuus sekä ominaisuuksien säilyminen erilaisissa sää- ja kosteusoloissa.

Polttotaisteluaineet voidaan jakaa

- maaöljypohjaisiin
- metallisiin
- itsestään syttyviin (pyroforisiin) sekä
- itsestään palaviin (pyroteknisiin) polttotaisteluaineisiin.

Jako ei ole yksiselitteinen. Metallisia polttotaisteluaineita voidaan käyttää maaöljypohjaisten polttotaisteluaineiden lisäaineina tai ne voivat kuulua joko itsestään syttyviin tai itsestään palaviin polttotaisteluaineisiin. Kehittyneimmät polttotaisteluaineet ovatkin useimmiten edellämainittujen yhdistelmiä.

4.2.1 Maaöljypohjaiset polttotaisteluaineet

Yksinkertaisimmillaan **maaöljypohjainen** polttotaisteluaine on öljyn jalostustuote kuten bensiini, petrooli, dieselöljy, polttoöljy, bentseeni tai näiden sekoitus. Näiden helposti saatavissa olevien, halpojen, hyvin paloa levittävien ja ahtaisiin paikkoihin tunkeutuvien aineiden palamislämpötila on 800-1000 °C. Huonoja ominaisuuksia ovat nopea palaminen sekä vähäisestä viskositeetista johtuva huono soveltuvuus liekinheittämiin ja sellaisiin pommeihin, joissa sytyttimenä käytetään räjähdyspanoksia.

Sitkostetut maaöljypohjaiset polttotaisteluaineet tunnetaan paremmin nimillä **napalm** ja **pyrogeeli**. Niiden perusaineena käytetään öljyn jalostustuotteita, joiden viskositeettia, tarttuvuutta, palamisaikaa, palamislämpötilaa ja muita palamisominaisuuksia parannetaan erilaisilla lisäaineilla.

Napalmien paloaineina ovat yleisimmin bensiini, bentseeni tai kerosiini. Tarttuvuutta ja viskositeettia lisäävinä aineina käytetään kumia, hartsia, öljyn jalostuksessa syntyviä jäteaineita tai muovia. Palamislämpötilaa kohotetaan esimerkiksi palmitiini-, nafteeni- ja oleiinihappojen alumiinisuoloilla ja lisähapettimilla. Palamislämpötila on 1000-1200 °C.

Napalmien ominaisuuksista mainittakoon korkea lämmöntuotto, suhteellisen pitkä (10-15 min) palamisaika, hyvä tarttuvuus ja tunkeutuvuus ahtaisiin paikkoihin, helppo syttyvyys, kyky palaa myös vedessä, suuri hapenkulutus sekä voimakas savun ja hiilimonoksidin muodostus.

Suuren napalm-määrän levitessä räjähdysen vaikutuksesta hulmahtaa koko roiskealue muutaman sekunnin ajan kiivaasti palavaksi tulimereksi. Samalla syntyy hetkellinen happivaje. Palon alkuvaiheessa liekit kohoavat 4-5 metrin korkeuteen. Tukahduttaminen on ainoa tehokas keino sammuttaa napalm-palo.

Teoreettisesti laskettuna 250 kg:n napalmpommin aiheuttaman paloalueen koko on noin 2500 m². Palaessaan täydellisesti pommi kuluttaa ilmaa noin 3000 m³ tai puhdasta happea noin 600 m³. Taistelijan käytettävissä olevan ilman tilavuus kyseisellä paloalueella on noin 6000 m³, joten kiivaimman palamisen aikana happipitoisuus laskee noin 10 %:iin. Tämän seurauksena ihminen menettää tajuntansa jo runsaan minuutin kuluessa. Palamisen yhteydessä syntyy myös myrkyllistä hiilimonoksidia. Jo 1 %:n häkäpitoisuus aiheuttaa yhden - kahden minuutin kuluessa tajunnan menetyksen ja kuoleman.

Taisteluhauta tai katettu potero eivät anna riittävää suojaa, mikäli ne jäävät napalmhyökkäyksen keskelle. Lämpötila kohoaa niissä 500 jopa 600 °C:een, happipitoisuus laskee 10-15 %:iin ja hiilimonoksidipitoisuus nousee noin 1 %:iin. Myöskään ajoneuvot panssarivaunuja lukuunottamatta eivät anna riittävää suojaa napalmpommitusta vastaan. Suojautuminen korsiin on ainoa tapa selviytyä hengissä napalmhyökkäyksestä.

Napalmeja käytetään palopommeissa, ilmasta pudotettavissa säiliöissä, liekinheitteissä ja kraanateissa.

Pyrogeelit ovat napalmien kaltaisia ja niiden tavoin toimivia polttoseoksia. Viskositeettia parantavien muovien lisäksi ne sisältävät metalleja, joista tärkeimmät ovat magnesium ja alumiini, hapettimia kuten natriumnitraattia sekä hiiltä ja öljyteollisuuden jätteenä. Palamislämpötila on yleensä 1600-1800 °C, mutta voi korkeimmillaan olla jopa yli 2000 °C.

Pyrogeeleilla on korkeampi palamislämpötila, suurempi viskositeetti ja lyhyempi palamisaika kuin napalmeilla. Ne pystyvät polttamaan reiän myös metallipintojen lävitse. Pyrogeelit soveltuvat hyvin palopommeihin ja kraanateihin. Tietoja napalmeista ja pyrogeeleista on esitetty kuvassa 80.

Nimi	Liutainaine	Lisäaineet	Ulkonäkö	Väri	Palamis- lämpötila °C
M-1 Napalm	Bensiini 91-98 %	2-9% M1 tai 4-8 % M-2	Siirappimainen hyytelö	Ruskehtava	800-1000
M-2 Napalm	Bensiini/kero- siini 91-96 %	4-9 % M-2	Siirappimainen hyytelö	Ruskehtava	800-1000
M-4 Napalm	Bensiini/kero- siini 89-90 %	10-11 % M-1 tai M-4	Siirappimainen hyytelö	Kellertävä, läpikuultava	800-1000
IM- Napalm	Bensiini 89-90 %	10-11 % IM	Muovimainen, tahmea hyytelö	Vaalean keltainen	yli 1000
B- Napalm	Bensiini 25 % ja bentseeni 25 %	50 % Polystyreeni	Tahmea, siir- appimainen hyytelö	Ruskehtava	noin 1200
PT-1 Pyrogeeli	Bensiini 30-60 %	40-70 % PT-1	Tahmea, mel- kein kiinteä seos	Musta	1 600
PT-2 Pyrogeeli	Bensiini 60 %	40 % PT-2	Tahmea, muovimainen hyytelö	Tumman harmaa	1 600-2 000
PTV Pyrogeeli	Bensiini 60 %	40 % PTV	Tahmea, mel- kein kiinteä seos	Vaalean- keltainen	1 200-1 600

- M-1** = 50 % palmitiinihappojen alumiinisuoloja, 25 % nafteiinihappojen alumiinisuoloja ja 25 % oleiinihappojen alumiinisuoloja
- M-2** = 95 % M-1 ja 5 % kuivaa piigeeliä (silikageeli)
- M-4** = 98 % kookoshappojen alumiinisuoloja ja 2 % kuivaa piigeeliä (silikonია)
- IM** = 50 % isobutyylimetakrylaattia, 30 % steariinihappoa ja 20 % kalsiumoksidia
- PT-1** = 3-5 % isobutyylimetakrylaattia, 10% magnesiumipulveria, 3 % kerosiinia sekä asfalttia, aktiivihiiltä ja natriumnitraattia
- PT-2** = 5 % isobutyylimetakrylaattia, 10 % magnesiumipulveria ja asfalttia, öljyyn sekoitettua kivihiiltä ja bariumnitraattia
- PTV** = 5 % polybutadieenia, 6 % natriumnitraattia ja 28 % natrium- tai magnesiumipulveria ja p-aminofenolia

KUVA 80 Tietoja napalmeista ja pyrogeeleista

Aluskasvillisuuden ja miinoitteiden raivaamiseen kehitettyä **aerosolipommia** (FAE) voidaan joissain tapauksissa käyttää polttoaseen tavoin. Ilmaan sekoitettu aerosolimuodossa oleva butaanin ja propanin seos räjäytetään sytytyspanoksella. Onnistuneessa räjähdyksessä syntyvä paineaalto vaurioittaa henkilöstöä ja materiaalia, raivaa aluskasvillisuuden sekä räjäyttää sellaiset miinat, joiden sytytintä ei kestä painevaikutusta.

Epätäydellisessä syttymisessä syntyy nopeasti leimahtava tulipallo, jota voidaan verrata nestekaasusäiliön räjähtämiseen. Palovamma-alue saattaa ulottua jopa 300-400 metrin etäisyydelle räjähdyspisteestä. Aerosolipommin tekniikkaa on vaikea hallita eikä se vielä ole kenttäkäytössä. Säätökijöillä on keskeinen osuus aerosolipilven muodostumiseen ja pysymiseen.

4.2.2 Metalliset polttotaisteluvaineet

Metallisia polttotaisteluvaineita käytetään huonosti palavien kohteiden polttamiseen ja rakennusten sytyttämiseen. Jotta ne saataisiin syttymään, on niitä kuumennettava voimakkaasti. Syttyessään ne reagoivat hapen kanssa ja hulmahtavat kiivaasti palaviin liekkeihin. Metallit ovat yleensä polttotaisteluvaineen lisäaineita tai metalliseoksia, puhtaina niitä ei juurikaan käytetä, vaikka ne palavatkin kuumalla liekillä ja tuottavat paljon lämpöä.

Tunnetuin metallisista polttotaisteluvaineista on **magnesium**. Syttymislämpötilan (623 °C) saavuttamisen jälkeen magnesium reagoi kiivasti hapen kanssa, jolloin lämpötila kohoaa nopeasti kiehumispisteeseen, joka on 1100 °C. Liekin lämpötila voi kohota jopa 2000 °C:een.

Alumiini ei sellaisenaan sovellu polttotaisteluvaineeksi. Sitä käytetään kuitenkin monien polttoseosten lisäaineena kohottamaan palamislämpötilaa ja siten parantamaan niiden tehoa. **Natriumia, kaliumia, litiumia, kalsiumia ja bariumia** ei myöskään sellaisinaan käytetä polttotaisteluvaineina, vaan erityisesti napalmien ja pyrogeelien lisäaineina.

Metalliseoksista tunnetuin ja käytetyin on **elektronmetalli**. Siinä on magnesiumia noin 90 %, alumiinia noin 10 % ja kuparia noin 1 %. Elektronmetallit sytytetään yleensä termaattilla, joten se voi olla esimerkiksi termaattipommin kuoriaineena. Seos on vaalea hopeanvärinen. Se palaa hitaasti, häikäisevällä, sinertävän valkoisella liekillä. Palamislämpötila on noin 2800 °C, termaatin kanssa jopa 3000 °C. Tietoja metallisista polttotaisteluvaineista on kuvassa 81.

Aine	Käyttö	Ominaisuudet	Väri	Palamislämpötila °C
Alumiini (Al)	Jauheena, rakeisena tai seosmetallina muiden polttotaisteluvaineiden lisäaineena	Kevyt metalli, joka palaessaan tuottaa runsaasti lämpöä	Vaalea, hopeanvärinen	yli 2000 sp. 659 kp. 2270
Magnesium (Mg)	Kuten yllä	Kuten yllä	Vaalea, hopeanvärinen	noin 2000 sp. 650 kp. 1100
Alkali- ja maaalkalimetallit (Na, K, Li, Ca ja Ba)	Muiden polttotaisteluvaineiden lisäaineina	Kuten yllä	Leikkauspinnat vaaleita, hopeanvärisiä	
Elektronmetalli - 89 % Mg - 10 % Al - 1 % Cu	Esim termaattipommin kuoriaineena	Kevyt metalliseos	Vaalea, hopeanvärinen	2800-3000

KUVA 81 Tietoja metallisista polttotaisteluvaineista

4.2.3 Itsestään syttyvät (pyroforiset) polttotaisteluaineet

Pyroforiset polttotaisteluaineet syttyvät itsestään joutuessaan kosketuksiin ilman hapen kanssa. Tämän vuoksi niitä käytetään hyvin usein muiden polttotaisteluaineiden sytyttämiseen.

Valkoinen fosfori on tunnetuin itsestään syttyvä polttotaisteluaine. Se on vahamainen, kiinteä, vaalean keltainen valkosipulille tuoksuva aine. Syttymislämpötila riippuu aineen raakoosta - mitä pienempi koko on, sitä alhaisempi on syttymispiste. Hyvin hienojakoinen valkoinen fosfori syttyy lähellä 0 °C lämpötilaa, yleensä syttymislämpötila on kuitenkin 40-60 °C. Aine palaa kellertävällä liekillä kauan ja samalla kehittyy fosforipentoksidisavua. Palamislämpötila on 800-1200 °C.

Aine liukenee eräisiin orgaanisiin liuottimiin ja öljyihin, mutta ei veteen. Itsestään syttymisen estämiseksi aine onkin varastoitava veden alla.

Valkoista fosforia ei yleensä käytetä sellaisenaan, vaan palavien nesteiden, napalmien ja pyrogeelien tai rikkihiilen sytyttämisaineena. Kraanaatin tai palopommin räjähtämisen seurauksena laajalle alueelle levinnyt varsinainen polttotaisteluaine sytytetään valkoisella fosforilla.

Mekaanisten ja palamiseen vaikuttavien ominaisuuksien parantamiseksi valkoisen fosforin rakeet voidaan sitoa (plastisoida) kumista valmistetun geelin avulla kiinteäksi aineeksi. Näin valmistettu aine säilyttää syttymisominaisuutensa ja tarttuu hyvin vinoille ja pystysuorille pinnoille.

Valkoinen fosfori on myrkyllistä. Paljaalle iholle se aiheuttaa vaikeasti parantuvia palohaavoja ja myrkytyksen, joka pahimmassa tapauksessa saattaa johtaa kuolemaan.

Palava fosfori voidaan sammuttaa vedellä, mutta on huomattava, että kuivuttuaan se syttyy uudelleen.

Trietyylialumiini on väritön, juokseva neste. Joutuessaan kosketuksiin hapen kanssa, se palaa rajusti ja kehittää noin 2300 °C lämpötilan. Vedessä aine palaa räjähdyksenomaisesti, samalla syntyy voimakas savu. Palavat roiskeet aiheuttavat pahoja, hitaasti paranevia palovammoja ja sytyttävät tulipaloja. Palokaasut ja höyryt aiheuttavat vaikeita keuhkovammoja.

Trietyylialumiinia käytetään puhtaana tai sakeutettuna sekä maaöljypohjaisten että metallisten polttotaisteluaineiden lisäaineena.

Sakeuttamiseen voidaan käyttää polyisobuteenia, polymeroituja hiilivetyjä, aktiivihiiltä, piidioksida, kumia, parafiinia ja muita elastisia yhdisteitä. Käyttämällä sakeutettua trietyylialumiinia yhdessä maaöljypohjaisten ja metallisten polttotaisteluaineiden kanssa voidaan valmistaa tehokkaita seoksia mitä erilaisimpiin tarkoituksiin ja mitä erilaisimmille aseille.

Polttotaisteluaineena tai sen sytyttämiseen voidaan käyttää myös muita metallisia yhdisteitä. Näitä ovat mm. alkalimetallialkyyli-, sinkkialkyyli- ja boorialkyyliyhdisteet.

Myös **zirkonium** kuuluu itsestään syttyviin metallisiin polttotaisteluaineisiin. Se on kiinteä, teräkseltä näyttävä metalli. Hienojakoinen zirkonium syttyy iskusta ja palaa erittäin kuumalla liekillä.

Synteettiseen kumiin tai polyesterihartsiin sekoitettua zirkoniumia käytetään räjähtävissä ammuksissa. Ammukseen valettu tai muovailtu seos voi sisältää 60-85 % hienoksi jauhettua zirkoniumia, lopun ollessa hartsia tai kumia. Metallisirpaleiden ja räjähdyspaineen kanssa kymmenien metrien etäisyydelle räjähdyspisteestä sinkoutuvat zirkonium-partikkelit palavat muutaman sekunnin ja sytyttävät materiaalin tuleen. Zirkoniumia voidaan käyttää myös panssarintorjunta-aseiden ontelokranaateissa. Panssaroinnin läpäisevän suihkun mukana vaunun sisälle tunkeutuva hiukkasmuodossa oleva zirkonium aiheuttaa voimakkaan tulipalon ja näin tuhoaa vaunun miehistön ja sisätilat.

Zirkoniumin palo-ominaisuuksia voidaan parantaa sekoittamalla sitä esimerkiksi titaanin, lyijyn tai ceriumin kanssa.

Uraanilla on samankaltaiset ominaisuudet kuin zirkoniumilla.

Ferroseeni on yksi uusimmista polttotaisteluaineista. Se sisältää 80-90 % n-butyyliferroseenia, 5-10 % aktiivihiiltä, 2-2,5 % ammoniumperklooraattia, 2,5-5 % alumiinijauhetta sekä seosaineina piitä ja kalsiumfosfaattia. Alumiini ja ammoniumperklooraatti luovuttavat palamisessa tarvittavan energian, aktiivihiili antaa suuren pinta-alansa ansiosta riittävästi happea ja ferroseeni toimii katalyyttinä. Yhdiste on monin verroin tehokkaampi kuin esimerkiksi napalm. Tietoja itsestään sytyyvistä polttotaisteluaineista on kuvassa 82.

Aine	Lisäaineet	Käyttö	Väri ja ulkonäkö	Palamislämpötila °C	Huom
Valkoinen fosfori (P ₄)		Napalmin tai pyrogeelin sytytysaineena	Vaalean keltainen, valkosipulin hajuisen, vahamainen aine	800 - 1 200	Myrkyllinen, ei liukene veteen
Plastisoitu valkoinen fosfori	Luonnon/synteettinen kumi	Kuten yllä	Kellertävä	1 200	Tarttuva
Trietyyli-alumiini (TEA)		Napalmin, pyrogeelin tai metallisten polttotaisteluaineiden lisäaineena	Väritön, juokseva neste	2 300	Palaa vedessä räjähdysnomaisesti, myrkyllinen
Sakeutettu TEA	Polyisobutyleeni ym elastiset yhdisteet	Kuten yllä	Kellertävä, siirappimainen hyttelö	2 000 - 2 300	Kuten yllä
Zirkonium (Zr)		Räjähävien ammusten lisäaineena	Hopeanharmaa jauhe	Sp 1 852 Kp 3 578	Hienojakoinen, syttyy iskusta
Uraani (U)		Kuten yllä	Hopean valkoinen, erittäin kova metalli	Sp 1 132 Kp 3 818	Muodostaa ilman kanssa räjähtäviä seoksia, myrkyllinen, radioaktiivinen
Ferroseeni	Aktiivihili, ammoniumperkloraaatti, alumiini, pii	Palopommeissa	Keltainen pulveri	Sp 172 Kp 249	Lämmitettäessä syntyy myrkyllisiä hajoamistuotteita. Ei liukene veteen

KUVA 82 Tietoja itsestään syttyvistä polttotaisteluaineista

4.2.4 Itsestään palavat (pyrotekniset) polttotaisteluaineet

Pyrotekniset polttotaisteluaineet ovat palavia seoksia, jotka sisältävät polttoaineen ja hapen. Koska ne sisältävät reaktioon tarvittavan hapen, voi palaminen tapahtua myös hapettomissa olosuhteissa ja tiloissa.

Tunnetuin perusseos on nimeltään **termiitti**. Laajasti käsitettynä sillä tarkoitetaan jauhe- tai raemuodossa oleva metallin ja jonkin toisen metallin oksidien muodostamaa seosta. Esimerkiksi rauta-alumiinitermiitti sisältää 21-29 % alumiinia ja 71-79 % rautaoksidia.

Sotilaskäyttöön tarkoitettu tavallisesti pulverimaisena tai rakeisena oleva termiitti puristetaan kiinteäksi kappaleeksi, jolloin se kestää paremmin iskuja, painetta ja muita mekaanisia vaikutuksia eikä syty niin herkästi kuin pulverimainen termiitti.

Termiitin syttymislämpötila on 1150-1250 °C. Se palaa rajusti, mutta useimmiten kuitenkin ilman liekkiä, koska palamisen yhteydessä ei synny palavia kaasuja. Termiitin palamislämpötila vaihtelee koostumuksesta riippuen 2000-3000 °C. Palamisen aikana sulava rauta sytyttää myös huonosti syttyviä materiaaleja, kuten määrän puun, ja voi läpäistä esimerkiksi teräslevyn. Tästä johtuen usein puhutaankin termiitin läpipolttavuudesta.

Termiitin palo-ominaisuuksia on parannettu lisäämällä siihen hartsia, kiinteää hiilihappoa, tärpätin tislaustuotetta eli kolofonia, rikkiä, bariumnitraattia ja alumiinia. Tällaisista seoksista käytetään yleisnimitystä **termaatti**. Perustermaatti sisältää 60 % termiittiä ja 40 % valumassaa, jossa puolestaan on 25 % bariumnitraattia, 5 % alumiinilastuja sekä edellämainittuja sideaineita.

Uutuutena mainittakoon seos, joka sisältää termiittiä, bariumnitraattia, ferroseeniä ja magnesiumia tai sinkkiä, kutakin noin 25 %, sekä lämpöä tuottavana lisäaineena hiilipitoisia sideaineita. Seos syttyy helposti, palaa täydellisesti ja sopii erinomaisesti huonommin syttyvien polttotaisteluaaineiden sytyttämiseen.

Palavaa termiitti- tai termaattiseosta ei voi sammuttaa, mutta sen polttovaikutusta voidaan pienentää peittämällä se esimerkiksi hiekalla. Vedellä sammuttaminen ei ole mahdollista, koska vesi ja palava rauta muodostavat vetyä, joka räjähtää joutuessaan kosketuksiin ilmassa olevan hapen kanssa.

Naftaleeni ja teflon ovat uusimpia polttotaisteluaaineiden tehoaineita. Naftaleeniseos sisältää 75 % naftaleenia ja 25 % rakeiksi puristettua magnesiumin ja teflonin seosta. Palaessaan magnesiumin ja teflonin seos höyrystää ja sytyttää naftaleenin. Syntyvät liekit voidaan ohjata ammuksen kuoreissa olevista pienistä rei'istä, jolloin ne sytyttävät palavan materiaalin jopa puolen metrin etäisyydeltä.

Teflonseoksessa on 45-65 % teflonia, 22-28 % magnesium- tai alumiinijauhetta, 1-3 % nitroselluloosaa sekä lasijauhetta jopa 8 %. Palamisen yhteydessä sulava lasi kiinnittää palavan seoksen tiukasti kaikenlaisille pinnoille. Teflonin aiheuttamat palovammat ovat erittäin pahoja ja vaikeasti parantuvia. Tietoja itsestään palavista polttotaisteluaaineista on kuvassa 83.

Aine	Koostumus	Käyttö	Väri ja ulkonäkö	Palamislämpötila °C	Huom
Termiitti	21-29 % Al 71-79 % Fe ₂ O ₃	Palopommit, kasetti- pommit	Harmaan- musta	2000- 3000	
Termaatti	60 % termiitti, 25 % bariumnit- raatti, 5 % Al ja 10 % side- aineita	Kuten yllä	Tumman- harmaa	2500- 3000	
Naftaleeni	75 % naftaleeni, 25 % magne- siumin ja teflo- nin seos	Palopom- mien lisä- aineena		sp. 80,5 kp. 218	Haitallinen hengittäes- sä, ei liuke- ne veteen
Teflon	45-65 % teflon, 22-28 % Mg/Al ja 1-3 % nitro- selluloosa ja lasijauhe	Kuten yllä	Vaalean harmaa	sp. 335-345	

KUVA 83 Tietoja itsestään palavista polttotaisteluaaineista

4.3 POLTTOTAISTELUAINEEN LEVITTÄMIS- MENETELMÄT

Polttoaseen otollisimpia maaleja ovat linnoittautuneet tai liikkeellä olevat joukot, panssari- ja muut ajoneuvomuodostelmat, tuliasemat, huoltolaitokset ja varikot, lentotukikohdat sekä maanteiden ja rautateiden risteysalueet. Kohteessa pyritään aikaansaamaan laajalla alueella samanaikaisesti syttyvä tulipalo, jonka sammuttamista vaikeutetaan sirpalevaikutteisilla ammuksilla.

Polttotaisteluaineiden laajamittaiseen levittämiseen käytetään ensisijaisesti **pommi- ja rynnäkkökoneita** sekä **taisteluhelikoptereita**. Niiden aseistuksena voi olla palopommeja, polttotaisteluainetta sisältäviä säiliöitä, kasettipommeja, jotka sisältävät polttotaisteluaineella täytettyjä tytäripommeja, sekä polttoraketteja.

Palopommit painavat muutamasta sadasta grammasta satoihin kiloihin. Pieniä, sadoista grammoista muutamaa kiloon painavia, pommeja käytetään kasettipommeissa. Kasetin ja tytärammusten koosta riippuen yhdessä kasetissa voi olla yli 600 tytärammusta. Pienimmät sisältävät tavallisimmin itsestään palavaa metallista polttotaisteluainetta, kuten elektron-metallia, zirkoniumia tai termiittiä, yli 90 % kokonaispainosta. Tytärammukset palavat puolesta minuutista muutamaa minuuttiin. Jokainen pommi aiheuttaa tulipalon, jonka säde on 5-10 m.

Muutaman kilon painoisissa tytäripommeissa voi täytteenä olla termiittiä, termaattia, napalmia, pyrogeeliä tai plastisoitua valkoista fosforia 20-40 % pommin painosta. Paloaika on 5-10 minuuttia ja paloalueen säde 25-50 m. Kasettipommit pudotetaan muutamien kymmenien metrien korkeudesta.

Suuria, kymmenistä kiloista yli kaksi sataa kiloa painavia pommeja käytetään yksittäin tai usean pommin kimppuina. Polttotaisteluaineena on useimmiten napalm tai pyrogeeli, jota on 40-60 % pommin kokonaispainosta. Tällaisia pommeja käytetään pistemaaleihin ja paikallisten tulipalojen syyttämiseen. Paloalueen koko riippuu pommin stabiilisuudesta, polttotaisteluaineesta ja sen määrästä, maaston peitteisyydestä, lentokulmasta pommin pudotushetkellä ja tuulen nopeudesta. Pommin paloaika on noin 10 minuuttia ja pudotuskorkeus 30-70 metriä.

Sikarinmuotoisissa teräs- tai alumiinirakenteisissa **säiliöissä** voi olla napalmia tai pyrogeeliä 200-400 litraa. Määrä riittää noin 2500 m² :n kokoisen alueen syyttämiseen. Säiliöt pudotetaan tavallisesti pareittain 50-200 metrin korkeudelta. Säiliön iskeytyessä maahan leviää polttotaisteluaine pisaroina ja roiskeina ellipsin muotoiselle alueelle, joka hulmahtaa noin minuutin ajan kiivasti palavaksi usean metrin korkuiseksi tulimereksi. Polttotaisteluaineen palaminen saattaa kestää jopa 10 minuuttia. Kuvassa 84 on kuvattu napalm-pommituksen aiheuttama tulipalo.

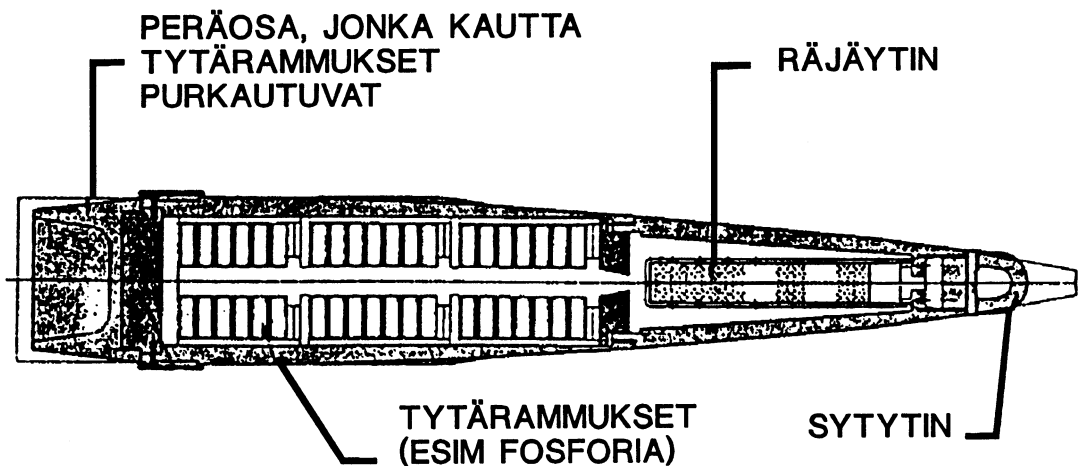


KUVA 84 *Napalm-hyökkäys*

Rynnäkkökoneiden ja taisteluhelikoptereiden aseistuksena voi lisäksi olla trietyylialumiinilla, naftaleenilla, teflonilla tai muilla polttotaisteluaeineilla ladattuja raketteja.

Maavoimien polttoaseita ovat tykistön ja heittimistön sekä raketinheittimistön polttotaisteluainetta sisältävät **kranaatit** ja **raketit**, **liekinheittimet**, **polttokäsikranaatit**, polttotaisteluainetta sisältävät **miinat** sekä lähinnä erikoisjoukkojen käyttöön tarkoitetut **poltto- ja sytytysvälineet**.

Kranaatit ja raketit sisältävät yleensä termiittiä, termaattia tai valkoista fosforia. Ampumaetäisyys on sama kuin käytettäessä tavanomaisia ammuksia. Räjähdyksen seurauksena polttotaisteluaineen palavat sirpaleet leviävät kymmenien metrien etäisyydelle iskemäkohdasta tai räjähdyspaikasta ja sytyttävät maaston ja materiaalin tuleen. Esimerkiksi 155 mm kuorma-ammuksen tytärpommit sytyttävät tulipaloja alueella, jonka koko voi olla 3-4 hehtaaria. Kranaatinheittimistö käyttää myös napalmilla tai pyrogeelillä ladattuja kranaatteja. Kuvassa 85 on halkileikkaus polttotaisteluainetta sisältävästä tykistön kuorma-ammuksesta.



KUVA 85 Halkileikkaus tykistön kuorma-ammuksesta

Liekinheittimet ovat kannettavia, raskaita tai panssarivaunuasenteisia laitteita, joilla ruiskutetaan sitkostettua polttotaisteluainetta, tai kannettavia singon tyyppisiä laitteita, joilla ammutaan polttotaisteluainetta sisältäviä kapseleita. Niiden käyttöä rajoittavat lyhyt vaikutusetäisyys ja kova tuuli. Ensin mainituilla ulotutaan koosta riippuen 50 metristä 250 metriin, jälkimmäisillä jopa 800 metriin. Kapseleita ampuvien laitteiden tarkkuus on parempi kuin perinteisten liekinheittimien. Niitä voidaan käyttää myös helikoptereista. Tietoja liekinheittimistä on kuvassa 86.

Ominaisuus	Kv liekinheitin	Rs liekinheitin	Psv liekinheitin	Kannettava lh (kaps)	Kannettava lh (kaps)
Kokonaispaino	n 20 kg	n 170 kg	-	n 13 kg	n 11 kg
Napalm-säiliöitä	3 kpl	3 kpl	1 kpl	-	-
Napalm-määrä	3x3-4 l	3x21 l	460 l	4l/kaps	2l/kaps
Tulinopeus	3 ruiskausta/täyttö	3 ruiskausta/täyttö	7 ruiskausta/min	1 ls/min	-
Napalm/ruiskaus	3-4 l	21 l	35 l	-	-
Liekin nopeus	-	100 m/s	100 m/s	-	-
Ulottuvuus max	90 m	180 m	200 m	400 m	800 m
Ulottuvuus käyt	40-70 m	-	-	200 m	400 m
Vaikutus-alue	-	-	-	90-160 m ²	-

KUVA 86 Tietoja liekinheittimistä

Polttotaisteluväinettä sisältävä miina voi olla sähköllä laukaistava tähysmiina tai veto-/painosytyttimellä varustettu miina. Sytytin räjäyttää panoksen, joka heittää polttotaisteluväinettä 10-25 metrin säteelle miinasta ja sytyttää sen samalla tuleen. Polttotaisteluväinettä, tavallisimmin napalmia tai pyrogeeliä, on noin 15 kg.

Erikoisvälineinä mainittakoon käsiaseiden sytytyspatruunat, polttotaisteluväineellä ladatut käsi- ja kiväärirakettit, polttopullot ja muut sytytysvälineet sekä tuliesteet.

Sytytyspatruunoissa oleva sytytysmassa sytyttää kohteen tuleen ja aiheuttaa usein myös voimakkaan savun.

Käsi- ja kivääriraketeissa käytetään tavallisimmin napalmia, pyrogeeliä, termiittiä tai valkoista fosforia. Käsirakettien ulottuvuus on noin 50 metriä ja kiväärirakettien noin 200 metriä.

Polttopullot ovat yksinkertaisia, useimmiten vetosytyttimellä varustettuja sitkostettua polttotaisteluväinettä tai tavallista polttoainetta sisältäviä pulloja, joita käytetään kohteen sytyttämiseen.

Puolustusryhmityksen suojaksi sulutteiden ja epäsuoran tulen maalien tapaan voidaan valmistella tuliesteitä. Ne muodostuvat putkistosta, joka on täytetty polttoaineella tai vesistöistä, joiden pinnalle on laskettu suuria määriä öljyä, napalmia tai muuta vettä kevyempää polttoainetta, joka halutulla hetkellä sytyte-

tään tuleen. Tällainen este palaa noin 1000 °C kuumuudella, polttaa hapen lähi-alueelta ja nostaa hiilimonoksidin määrän niin suureksi, ettei aluetta voida ylittää. Paloaika voi olla jopa 30 minuuttia.

4.4 TULIPALOT JA NIIDEN SAMMUTTAMINEN

4.4.1 *Palaminen*

Palaminen on kemiallinen reaktio, jossa aine yhtyy happeen niin nopeasti, että syntyy korkea lämpötila ja valoilmio. Ruostumisessa, lahoamisessa tai muussa vastaavassa reaktiossa aineen yhtyminen happeen eli **hapettuminen** tapahtuu hitaasti.

Palamisen perusedellytykset ovat **happi, lämpötila, syttyvä aine** ja häiriintymätön **ketjureaktio**. Jos yksikin näistä puuttuu tai poistetaan, ei palamista synny tai se loppuu. Sammutusmenetelmää valittaessa tuleekin aina arvioida, mikä edellämainituista palamisen edellytyksistä on helpointa ja tehokkainta poistaa. Palamisen edellytysten perusteella voidaan useimmiten määrittää myös palon sytymissyy.

Sammutustekniseltä kannalta tarkasteltuna palaminen voi tapahtua liekehtimällä, kytemällä, liekehtimällä ja kytemällä tai metallipalona.

Palamiseen tarvittavan **hapen** määrä on ainekohtainen. Jos palamisilman happipitoisuus laskee alle 15 %, palaminen yleensä loppuu tai hidastuu huomattavasti. Puun tms kuituisen aineen kytevässä palossa happipitoisuuden tulee laskea kuitenkin alle 7%, jotta palaminen loppuisi. Ilmassa olevan hapen määrällä ei juurikaan ole merkitystä sellaisten aineiden palamiselle, jotka sisältävät happea tai synnyttävät sitä palamisreaktion yhteydessä. Näitä ns hapettavia aineita ovat esimerkiksi peroksidit, kloraatit ja nitraatit, dynamiitti ja useimmat räjähteissä käytetyt aineet.

Lämpötilan on oltava riittävän korkea, jotta aineesta muodostuisi syttyviä kaasuja. Tämä ns **pyrolysoitumislämpötila** vaihtelee eri aineilla. Puun pyrolysoituminen alkaa noin 140 °C:n lämpötilassa, muoveilla vastaava arvo noin 200 °C. Nesteillä pyrolyysiä vastaa höyrystyminen.

Syttymislämpötila on alin lämpötila, jossa aine syttyy palamaan ilman ulkopuolista syttymislähdettä. Esimerkiksi puun syttymislämpötila on 280-340 ja bensinin 400-530 °C.

Nesteitä kuumennettaessa niistä erottuva kaasu ja ilma muodostavat seoksen, joka syttyy ulkopuolisen syttymislähteen vaikutuksesta. Tätä lämpötilaa kutsutaan **leimahduslämpötilaksi** tai -pisteeksi. Esimerkiksi bensiinin leimahduslämpötila on alle 40, kevyen polttoöljyn 60-80 ja voiteluöljyn 260- 280 °C.

Palamislämpötila on se lämpötila, jonka aine kehittää palaessaan. Myös se on ainekohtainen, jonka vuoksi palokohteen eri osissa voi olla erilainen lämpötila. Huoneistopalon palamislämpötila on yleensä 800-1000, savukkeen 500, bensiinin 950, puun 1000 ja muovien 1500-3000 °C.

Jatkuvan palamisen ja palon leviämisen edellytykset ovat olemassa vasta syttymislämpötilassa ja sen yläpuolella. Aineen palaessa sen palamislämpötila lämmittää ainetta, josta edelleen muodostuu uusia syttyviä kaasuja.

Sammutusmenetelmästä, joka perustuu hapen poistamiseen, käytetään nimitystä **tukahduttaminen**. Se soveltuu parhaiten liekehtimällä palavien aineiden, kuten nesteiden ja kaasujen sammuttamiseen. Huonosti se sitävastoin sopii happea sisältävien tai sitä palamisen yhteydessä tuottavien aineiden sammuttamiseen.

Silloin, kun palo sammutetaan poistamalla lämpöä, käytetään sammutusmenetelmänä **jäähdytystä**. Tavallisimmin jäähdyttämiseen eli lämmön sitomiseen käytetään vettä. Palavien nesteiden sammuttamiseen vesi ei kuitenkaan sovellu, koska neste on palaessaan yleensä niin kuumaa, että vesi kiehuu siinä välittömästi ja aiheuttaa samalla palavan nesteen roiskumisen laajemalle alueelle. Nestepalon sammuttamisessa pyritään estämään lämmön siirtyminen liekeistä nesteen pinnalle, jolloin neste ei höyrysty eikä uusia syttyviä kaasuja muodostu. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi sammutusvaahdolla, jolla on myös tukahduttava vaikutus.

Palamisen edellytyksenä olevan syttyvän aineen poistamista sanotaan **sammutusraivaukseksi**. Sitä käytetään usein samanaikaisesti muiden sammutusmenetelmien kanssa. Syttyvän aineen poistosta on kysymys myös silloin, kun sulkemalla venttiili tai vuotokohta estetään palavan nesteen tai kaasun purkautuminen. Nestepalo voidaan sammuttaa myös siten, että säiliöstä pumpataan alakautta nestettä pois niin paljon kuin on turvallista, ja annetaan jäljelle jäävän nesteen palaa loppuun.

Yhtenä palamisen edellytyksenä on katkeamaton kemiallinen ketjureaktio. Tämän ketjureaktion katkaisemisesta käytetään nimitystä **inhibitio**. Sammutteena oleva aine toimii antikatalyyttinä, joka estää happimolekyylien osallistumisen palamisreaktioon. Tämäkään menetelmä ei sovellu kovin hyvin sellaisten aineiden sammuttamiseen, jotka sisältävät happea.

4.4.2 Sammutteet

Vesi (H_2O) on vanhin ja edelleenkin yleisin sammute. Sen vaikutus on pelkästään jäädyttävä, koska se höyrystyessään sitoo lämpöä. Veden etuina ovat taloudellisuus, hyvä saatavuus ja myrkyttömyys. Haittoja ovat hyvä sähkönjohtokyky, jäätymisvaara sekä haitallinen reagointi eräiden aineiden kanssa. Sammutettaessa vedellä esimerkiksi natriumia, kaliumia, kalsiumia, nesiumia, alumiinia, sinkkiä tai rautaa muodostuu vetyä, joka syttyy erittäin herkästi ja palaa räjähdyksenomaisesti. Myös useat kemikaalit reagoivat haitallisesti veden kanssa huoneen lämpötilassa ja erityisesti kuumentuessaan tulipalossa. Esimerkiksi palavan PVC-muovin ja veden reaktion seurauksena syntyy suolahappoa, joka on syövyttävää ja aiheuttaa korroosiota.

Hiilidioksidi (CO_2) on ilmaa raskaampi, väritön ja palamaton kaasu. Se syrjäyttää palokohteesta hapen ja tällä tavalla tukahduttaa palon. Hiilidioksidin etuina ovat siisteys ja huono sähkönjohtokyky. Näin ollen se soveltuu hyvin sähkölaite- ja nestepalojen sammuttamiseen. Heikkoutena on hiilidioksidin kaasumaisuus, mistä johtuen se on tehokas vain rajatuissa tiloissa. Ulkona se kulkeutuu ilmavirran mukana pois, jolloin sammutusvaikutus vähenee oleellisesti. Hiilidioksidia käytetään sekä käsisammuttimissa että kiinteissä sammutuslaitteistoissa. Koska hiilidioksidi syrjäyttää hapen, on sillä sammutettaessa huomioitava sammuttajien ja muiden ihmisten turvallisuus. Käsisammuttimia käytettäessä vaaraa ei yleensä ole tai se on hyvin pieni. Kiinteillä sammutuslaitteistoilla suojatuissa kohteissa hapen syrjäytyminen on huomioitu sammutusviiveellä.

Sammutusjauheita on kehitetty mitä erilaisimpiin palotyyppeihin. Yleisimpiä näistä ovat ns BC-jauheet, jotka sopivat neste-, kaasu- ja kemikaalipalojen sekä sellaisten kohteiden sammuttamiseen, joissa sammutuksen jälkeen ei esiinny hehkua eikä uudelleensyttymistä. ABC-jauheet soveltuvat myös hehkuvien materiaalien, kuten puun ja tekstiilien sammuttamiseen. Metallipalojauheita käytetään esimerkiksi magnesiumin, natriumin, kalsiumin, alumiinin ja litiumin palojen sammutukseen. Jauheilla katkaistaan palamisen ketjureaktio, useimmat niistä muodostavat palavalle pinnalle myös happea läpäisemättömän kerroksen ja näin tukahduttavat palon. Sammutusjauheet soveltuvat myös jännitteisten kohteiden sammutukseen (1000 V), mutta tahrivat sähkölaitteita. Sammutusjauheita käytetään yleensä käsisammuttimissa, mutta myös erikoiskohteiden kiinteissä sammutuslaitteistoissa. Sammutusjauheet eivät oikein käytettyinä ole myrkyllisiä.

Varsinaisten sammutusjauheiden puuttuessa tukahduttamiseen voidaan käyttää kuumuutta kestäviä hienojakoisia aineita, kuten hiekkaa, sementtiä, multaa tai muita vastaavia aineita.

Sammutusvaahtoja käytetään yleensä nestepalojen sammutuksessa. Yleisimmin sammutusvaahto tehdään vaahdonkehittimillä, joissa veden ja vaahdotteen seoksesta muodostuu ilmakehitystä, vaahtoa. Eräät vaahdotteet muodostavat veden

kanssa niin pieniä kuplia, että vaahto on itseasiassa kirkas kalvo nesteen pinnalla. Vaahdon sammutusvaikutus on sekä tukahduttava että jäähdyttävä. Sen hyvänä puolena on vähäinen vesimäärä, jolloin vesivahingot jäävät vähäisiksi. Heikkoutena on erityislaitteistojen ja kemikaalien tarve sekä eräät käyttöolosuhteiden rajoitukset, kuten pakkasrajat ja tuuliolosuhteet.

Halogeenihiilivedyt eli **halonit** ovat tehokkaita sammutteita, jotka kuitenkin tuhoavat ilmakehän otsonikerrosta. Eräitä puolustusvoimien kohteita ja mm. palokuntien käsissammuttimia lukuunottamatta niiden valmistus ja käyttö on kielletty. Myös halonien sammutusvaikutus perustuu palamisreaktion katkaisemiseen. Se ei poista happea sammuttavasta tilasta. Hiilidioksidien tavoin halonit ovat kaasuja, jotka ovat tehokkaita vain rajatuissa tiloissa. On kuitenkin huomattava, että käytettäessä halonisammutinta suljettuun tilaan muodostuu myrkyllisiä kaasuja.

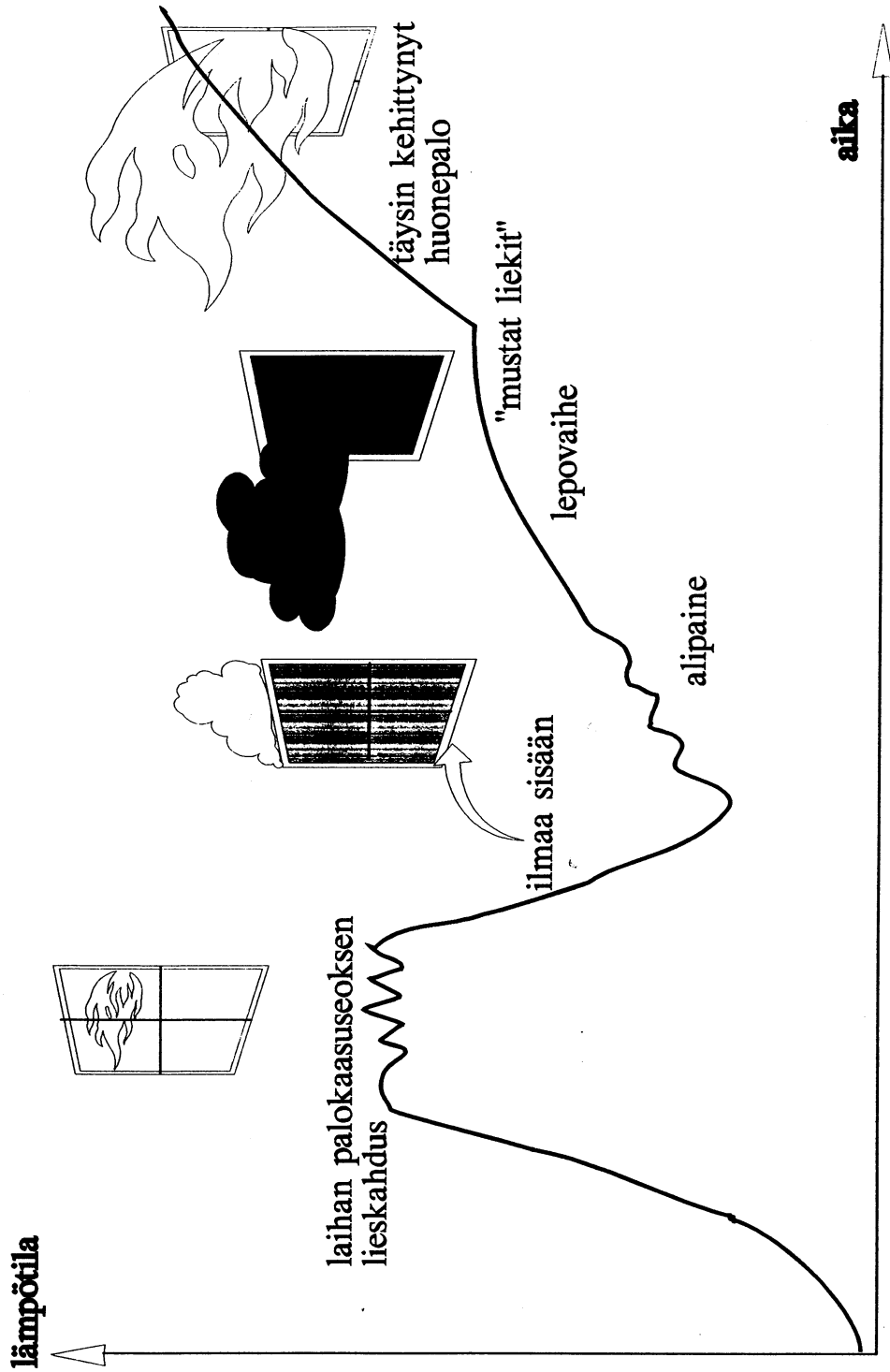
4.4.3 Huoneisto- ja metsäpalot

Palo kehittyy suljetussa tilassa hapen puutteesta johtuen kytemällä. Tällöin esimerkiksi **huoneistoon** muodostuu palamattomia kaasuja. Palon alkuvaiheessa, jolloin huoneessa vielä on happea, syntyy laihaan savukaasun lieskahduksia kaasujen saavuttaessa alemman räjähdysrajan. Tästä ei aiheudu merkittävää painevaikutusta, kaasut kuitenkin levittävät paloa tehokkaasti. Hapen loppuessa palamattomista kaasuista kehittyy ylemmän räjähdysrajan yläpuolella oleva kaasulataus eli rikas kaasuseos. Mikäli tässä vaiheessa ovi avataan tai ikkuna rikkoutuu, pääsee huoneeseen happea ja kaasuseos saavuttaa optimiseoksen. Sen seurauksena syntyy rikkaan savukaasuseoksen **lieskahdus**, joka aiheuttaa pistoliekin avoimesta aukosta, painevaikutuksen ja palon laajan syttymisen.

Huoneistopalo on voinut kehittyä lieskahdusta edeltävään vaiheeseen, jos

- ovet ja ikkunat ovat pääosin ehjiä ja huoneisto on muutenkin tiivis
- ulos purkautuva savu on mustaa, jolloin palo on epätäydellistä
- luukuista ja venttiileistä purkautuu välillä tummaa savua, välillä taas paine vetää raitista ilmaa sisään eli palo ikäänkuin ”hengittää”
- palo on kytenyt jo pidemmän aikaa, jolloin seinäpinnat ja katto ovat kuumia.

Lieskahdus voi vaikuttaa räjähdyksen tavoin, mikä on otettava huomioon sammuttajien työturvallisuudessa sekä sammutustaktiikassa ja -tekniikassa. Kuvassa 87 on esitetty huoneistopalon kehittyminen.



KUVA 87 Huoneistopalon kehittyminen

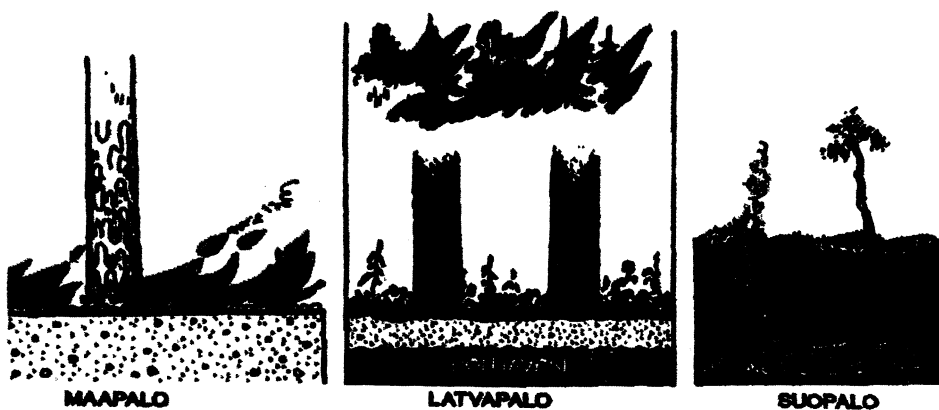
Metsäpalo voi edetä maapalona, suopalona ja latvapalona. Palo voi kehittyä hyvinkin laajaksi ja pitkäaikaista sammuttamista vaativaksi.

Suopalo etenee maan pinnan alla kytellä turvekerroksen onkaloissa, joista se nousee sopivissa kohdissa maan pinnalle ja alkaa edetä maastopalona. Suopalon eteneminen on hidasta. Se saattaa kytellä turvekerroksessa yli talven ja maan kuivussa keväällä sytyttää varsinaisen metsäpalon. Suopalon sammuttaminen on hankalaa ja työlästä.

Maapalo etenee lähtöpisteestä levenevässä kiilassa myötätuuleen. Sen etenemisnopeus on tuulen voimakkuudesta riippuen noin 300 - 600 metriä tunnissa. Maaston muoto ja aluskasvillisuus vaikuttavat palon etenemisnopeuteen. Kuiva heinikko ja kuiva hakkuujäte sekä nouseva maasto kiihdyttävät palon etenemisnopeutta. Sammalikko ja tuore lehtipuutaimikko sekä alaspäin viettävä maasto hidastavat maastopalon etenemistä.

Sammutustyössä on otettava huomioon palon kärkikaaren edessä tapahtuva savun muodostuminen. Savu sisältää mm häkää ja estää näkyvyyden, joten suoraan tuulen alapuolella ei sammutustyö ole turvallista eikä tehokasta.

Metsäpalo voi nousta esimerkiksi tiheässä kuusikossa **latvapaloksi**. Latvapalon etenemisnopeus on tuulesta ja maastosta riippuen jopa 1 - 2 kilometriä tunnissa. Palo etenee kapeana kärkenä puiden latvoissa, laskeutuu myöhemmin alas ja polttaa lopulta kokonaan sekä puuston että aluskasvillisuuden. Latvapalon pysäyttäminen vaatii raskasta kalustoa palokujien ja -katujen tekemiseen ja runsaasti sammutusjoukkoja lopullista sammutustyötä varten. Jälkisammutus ja vartiointi vaativat yleensä paljon aikaa. Kuvassa 88 on esimerkkejä maastopalon leviämistavoista.



KUVA 88 *Maastopalon etenemistavat*

4.5 POLTTOTAISTELUNEIDEN VAIKUTUKSET JA SUOJAUTUMINEN NIILTÄ

Ihmiselle polttotaisteluaineet ja tulipalot aiheuttavat palovammoja joko suoraan tai vaatteiden syttymisen välityksellä. Palovammojen laatu ja vakavuus riippuvat polttotaisteluaineen koostumuksesta, henkilön etäisyydestä palokohteeseen sekä ajasta, jonka henkilö palon vaikutusalueella on. Suojatilojen ylikuumeneminen, hapen puute, hiilimonoksidi, hiilidioksidi, myrkylliset kaasut ja savu saattavat aiheuttaa lisävammoja.

Polttotaisteluaineet ja tulipalot vahingoittavat materiaalia lämpösäteilyllä, kuumilla palokaasuilla, polttotaisteluaineessa olevan metallin sulaessa tai sytyttämällä materiaalin tuleen. Kaikkein alttiimpia palovaikutuksille ovat ajoneuvot, lentokoneet, alukset, polttoainesäiliöt, suojaamattomat ammukset ja elektroniset laitteet. Viime mainitut ovat erityisen alttiita kuumuudelle ja ruostumista aiheuttaville palokaasuille.

Varusteiden, ajoneuvojen ja linnoitteiden antamaa suojaa on käsitelty luvussa V.

Jokainen joukko valmistautuu sammuttamaan itse pienet tulipalot. Sammutusosastoja käytetään yleensä suurten, joukkoyksikön tai yhtymän toiminnan vaarantavien palojen sammuttamiseen. Laajat palot voivat pakottaa ryhmittämään joukkoja uudelleen.

V LUKU

SUOJAUTUMINEN ABC- JA POLTTOASEEN VAIKUTUKSILTA

5.1 YLEISTÄ

ABC-suojauksen tavoitteena on suojata taistelijaa ydinaseiden sekä biologisten ja kemiallisten taisteluaineiden vaikutuksilta. Yleensä tähän liittyy suojaus myös polttoasetta vastaan. Uhkatekijät ovat monimutkaisia ja poikkeavat huomattavasti tavanomaisten aseiden aiheuttamasta uhkasta. Taisteluaineet ovat useimmiten näkymättömiä ja äärimmäisen myrkyllisiä. Ne eivät myöskään noudata ballistisia lentoratoja, vaan voivat liikkua ilmassojen mukana hyvinkin pitkiä matkoja. Suojautumisen kannalta on tärkeää, että ilmaisuus saadaan ennen kuin altistuminen ehtii tapahtua.

Taistelijan suojarusteiden, joista tyypillisimpiä ovat kypärä ja suojaliivit, historia ulottuu tuhansien vuosien taakse. ABC-suojaukseen on kuitenkin alettu kiinnittää huomiota vasta 1900-luvulla. Suojarusteet ovat tällä hetkellä voimakkaan kehitystyön kohteina. Tavoitteena on parantaa suojaustehoa ja samalla alentaa suojauksen aiheuttamia kuormitustekijöitä.

Suojaus voidaan toteuttaa periaatteessa kolmella eri tasolla. Näitä ovat kiinteät linnoitteet ja niihin liittyvät suojajärjestelmät, ajoneuvojen, laivojen ja muiden liikkuvien laitteiden antama suoja sekä henkilökohtainen suojaus. Linnoitteissa ja liikkuvissa laitteissa ballistinen ja ABC-suoja voidaan yhdistää.

Ydinaseiden välittömät vaikutukset eli paine, lämpösäteily ja radioaktiivinen alkusäteily ulottuvat voimakkaina useiden kilometrien etäisyydelle. Niitä vastaan parhaan suojan antaa maanalainen suojatila tai linnoite. Henkilökohtaiset suojarusteet suojaavat lähinnä radioaktiiviselta laskeumalta.

Altistuminen biologisille ja kemiallisille taisteluaineille voi tapahtua hengityksen, ihokontaktin sekä saastuneen juomaveden tai ravinnon välityksellä. Yksilön suojarusteilla pyritään estämään hengityksen ja ihon kautta tapahtuva altistuminen. Valvomalla elintarvikkeiden ja juomaveden laatua sekä ruuan valmistukseen ja jakeluun käytettävien astioiden puhtautta pienennetään huonosta hygieniasta johtuvia sairastumisriskejä.

Suojautuminen polttoaseelta edellyttää varusteilta hyvää liekin, lämpösäteilyn ja palavien roiskeiden kestokykyä.

5.2 YKSILÖN SUOJAUS

5.2.1 Suojauksen periaatteet

Yleinen käsitys on, että ABC-suojasuoritukset alentavat suorituskykyä merkittävästi. Tutkimusten mukaan nykyaikaisilla suojavälineillä varustettu ja niiden käyttöön harjaantunut joukko kykenee suoriutumaan tehtävistään kuitenkin noin 80 %:n teholla verrattuna siihen, että se toimisi ilman suojavarustusta.

Taistelijan ABC- suojaus voidaan toteuttaa joko **eristämällä** henkilö ympäristöstä tai **suodattamalla** epäpuhtaudet käytettävästä ilmasta. Tyypillisiä eristämiseen perustuvia suojavarusteita ovat paineilmalaitteet sekä niiden kanssa käytettävät paksut ja tiiviit kumiset suojapuvut. Esimerkkeinä suodatukseen perustuvista varusteista ovat suodatinnaamarit ja aktiivihiiliasut.

Kummallakin menetelmällä on omat etunsa ja haittansa. Eristämisessä käytettävät varusteet ovat yleensä raskaita ja niiden käyttöaika on rajoitettu. Niiden etuna on riippumattomuus ympäristöstä. Suodatusmenetelmässä varusteet ovat yleensä kevyitä ja niiden pitkäaikainen yhtäjaksoinen käyttö on mahdollista. Menetelmää ei voida kuitenkaan käyttää, jos ilman happipitoisuus on merkittävästi alentunut, ilmassa on hiilimonoksidia tai vaarallisen aineen pitoisuus on hyvin korkea.

5.2.2 Henkilökohtaisten varusteiden antama suojaus

Henkilökohtaisilla varusteilla tarkoitetaan maastopukua, sadeviittaa ja kumisaappaita sekä suojanaamaria, jonka ominaisuudet esitellään varsinaisen ABC-suojavarustuksen yhteydessä.

Maastopuvun kangas on käsitelty palonsuoja-aineella sekä vettä ja öljymäisiä aineita hylkivillä yhdisteillä. Maastopuku kestää lyhyen ajan liekin vaikutusta syttymättä, palavan aineen roiskeet sitävastoin polttavat siihen helposti reikiä. Kasteleminen vedellä parantaa huomattavasti maastopuvun palonsuojaominaisuuksia.

Nestemäiset aineet eivät imeydy maastopuvun kankaaseen, vaan jäävät pieninä pisaroina sen pinnalle. Radioaktiivinen pöly ja biologiset taisteluaineet jäävät maastopuvun pintaan. Puku suojaaa ihoa kiinteiltä ja nestemäisiltä taisteluaineilta lyhyen ajan. Höyrystyneet kemikaalit sitävastoin läpäisevät maastopuvun kankaan melko helposti. Kulutuksen ja pesujen vaikutuksesta puvun hylkimis- ja palonsuojaominaisuudet huononevat.

Sadeviitan ja sadeasun käyttö maastopuvun kanssa parantaa jonkin verran taistelijan ABC-suojauksia. Niiden materiaali antaa lyhytaikaisen suojan myös nestemäi-

siä taisteluaeineita vastaan. Sinappikaasu läpäisee tavalliset sadeasumateriaalit muutamassa tunnissa. Lämmin sää nopeuttaa läpäisyä.

Tavalliset kumisaappaat on valmistettu luonnonkumista. Materiaalin paksuus vaihtelee eri kohdissa huomattavasti. Paksuimmillaan se on saappaiden pohjissa. Kumisaappaat antavat hyvän, mutta lyhytaikaisen suojan liekkejä, lämpösäteilyä ja palavia roiskeita vastaan. Kemiaalisia taisteluaeineita vastaan ne suojaavat useiden tuntien ajan. Jalkineiden suojat, jotka estävät pisaroiden pääsyn saappaiden tai muiden jalkineiden pinnalle, parantavat suojausta jonkin verran. Suojina voidaan käyttää esimerkiksi muovipusseja tai muovikalvoa.

5.2.3 Varsinaiset suojarahusteet

Taistelijan varsinaisia ABC-suojarahusteita ovat suodattimella varustettu suojanaamari, ABC-suoja-asut, suojakäsineet sekä jalkineet tai erilliset jalkinesuojat. Suojarahusteissa on sellaisia materiaalikerroksia, joita ei tavallisissa varusteissa yleensä käytetä.

Suojaanamari

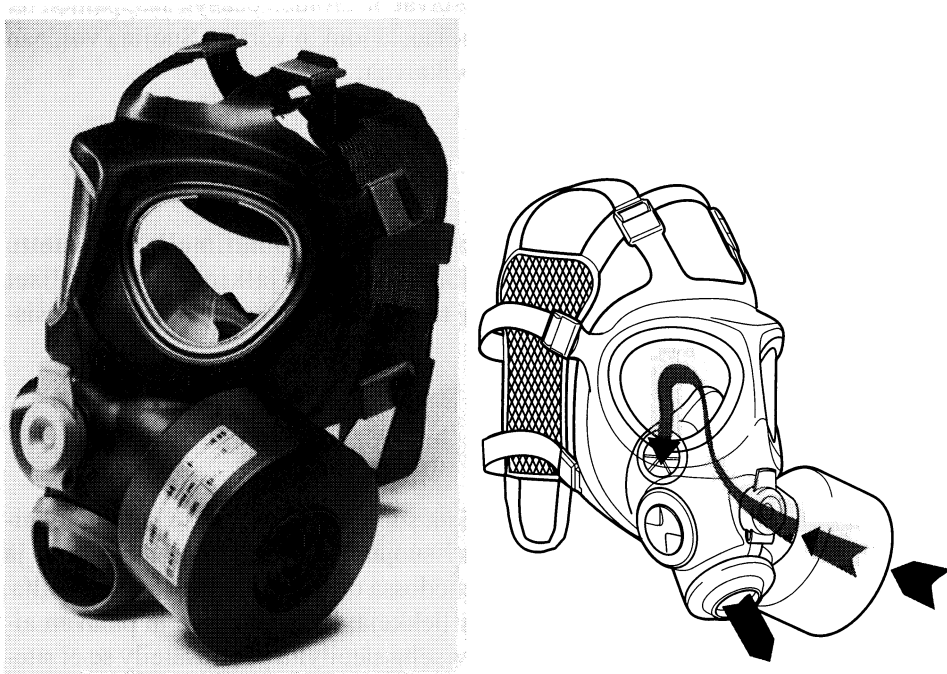
Suojaanamari on tärkein henkilökohtaisista suojarahusteista ja se kuuluu jokaisen taistelijan perusvarustukseen. Naamari suojaa käyttäjänsä kasvot, silmät ja hengityselimet neste-, kaasu- tai aerosolimuodossa olevilta ilman epäpuhtauksilta. Naamari antaa lyhytaikaisen suojan myös liekkejä, lämpösäteilyä ja palavan aineen roiskeita vastaan. Suoralta radioaktiiviselta säteilyltä pl alfasäteily se ei suojaa. Varsinaista ballistista suojarahusta se ei myöskään anna, vaikka suojarahakin silmiä matalaenergisiltä iskuvaikutuksilta.

Vanhat suojanaamarit on tavallisimmin valmistettu luonnonkumista. Uusissa suojanaamareissa käytetään synteettisiä butyyli-pohjaisia kumilaatuja, joiden etuja ovat hyvä tiiveys, hyvä kemikaalien ja lämmön kesto sekä pitkä käyttöikä. Butyylikumista valmistettu naamari kestää esimerkiksi nestemäistä sinappikaasua useiden vuorokausien ajan. Hyvin suosittu materiaali nykyisin on bromibutyyl-kumi, josta mm suomalainen sotilassuojaanamari M-95 valmistetaan.

Suojaanamarin lasit valmistetaan tavallisesti polykarbonaatista tai polyamidista, joilla saadaan hyvät optiset ominaisuudet ja kohtalainen iskunkestävyys. Heikkoutena on alttius naarmuuntumiselle kovien hiukkasten, kuten hiekan vaikutuksesta. Suojaanamarin muilta muoviosilta vaaditaan laajaa käyttölämpötila-aluetta, hyviä mekaanisia ominaisuuksia sekä syttymättömyyttä lyhytaikaisen liekin vaikutuksesta.

Käyttäjän kannalta on oleellista, että naamari on ehjä, toimintakuntoinen ja tiivistyy kasvoille hyvin. Oikean kokoisen naamarin reunatiivisteiden ja kasvojen ihon

väläinen vuoto on hyvin pieni ja käytännössä merkityksetön. Suodattimen lävitse sisään tuleva hengitysilma ohjataan lasien kautta sisänaamariin, jolloin lasit pysyvät kirkkaina myös pakkasolosuhteissa. Sisänaamari ohjaa hengitysilman kulkua myös siten, että naamarin sisällä oleva hiilidioksidipitoisuus säilyy alhaisena. Kosteaa uloshengitysilma poistuu naamarista uloshengitysenttiilin kautta. Kuvassa 89 on esitetty kotimainen suojanaamari M-95 ja ilman kulku siinä.



KUVA 89 Suojanaamari M-95 ja hengitysilman kulku suojanaamarissa

Suojanaamarin käyttöjakson pituus voi tehtävästä ja tilanteesta riippuen vaihdella alle tunnista jopa vuorokauteen. Pitkäaikaseen käyttöön tarkoitettulta suojanaamarilta edellytetään hyvää pitomukavuutta ja alhaista kuormittavuutta sekä mahdollisuutta juoman nauttimiseen. Kaikissa uuden sukupolven suojanaamareissa on juomalaite, jonka avulla voidaan nauttia nestemäistä ravintoa. Juoma ei kuitenkaan saa sisältää kiinteitä aineksia, jotka voivat tukkia juomaletkun ja pahimmas- sa tapauksessa estää liittimen sulkeutumisen ja näin aiheuttaa vuodon.

Suodatin aiheuttaa sisäänhengitysvaiheessa tuntuvan ja havaittavan hengitysvastuksen, jonka suuruus riippuu ensisijaisesti suodattimen rakenteesta. Läppäventtiilin aiheuttama uloshengitysvastus sitävastoin voidaan saada alhaiseksi. Uusimpien suojanaamareiden hengitysvastukset ovat kuitenkin vain noin puolet vanhempien naamarien vastuksista. Terve hengityselimistö tottuu hengitysvastukseen melko nopeasti, joten naamaria voidaan pitää kasvoilla pitkiä aikoja. Naamari ei estä fyysisesti raskaan työn tekemistä.

Käyttäjän suorituskykyyn vaikuttaa myös uloshengitysilman sisältämä hiilidioksidi, sillä osa uloshengitysilmastä jää sisänaamariin ja joutuu uudelleen sisäänhengitykseen. Hengitysilman hiilidioksidipitoisuus käytettäessä suojanaamaria on yleensä 0,6-1,0 tilavuusprosenttia. Tähänkin elimistö mukautuu nopeasti.

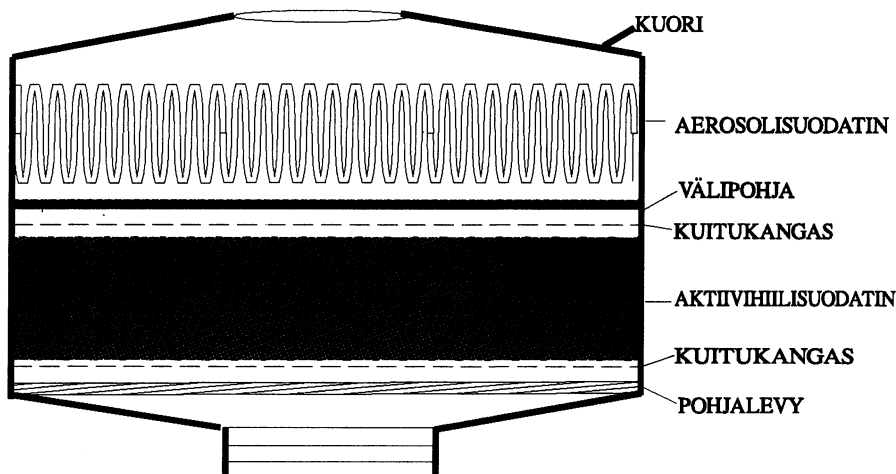
Kokonaisuudessaan suojanaamarin fyysistä suorituskykyä alentava vaikutus on melko vähäinen, mutta on kuitenkin havaittava.

Puheen kuuluvuuden ja selkeyden parantamiseksi suojanaamareissa käytetään puhekalvoa, joka valmistetaan tavallisimmin teräksestä tai muovista. Kalvo voidaan sijoittaa joko uloshengitysenttiin yhteyteen tai omaan läpivientiinsä. Naamareissa, joissa on kaksi paikkaa suodattimelle, voidaan puhekalvo sijoittaa toiseen suodattimen istukkaan. Tästä on etua erityisesti viestivälineitä käytettäessä. Myös uloshengityskanavan geometria vaikuttaa puheen kuuluvuuteen ja selvyyteen.

Suodatin

Hengitysilman puhdistaminen radioaktiivista hiukkasista sekä biologisista ja kemiallisista taisteluaaineista tapahtuu ABC-suodattimen avulla. Suodatin ei pidätä hääli eli hiilimonoksidia, vaan siihen tarvitaan erikoissuodatin. ABC-suodatin pidättää huonosti myös ammoniakkia ja rikkidioksidia.

Suodattimen tärkeimmät osat ovat aerosolisuodatin, aktiivihiilisuodatin ja runko. Siviilikäytössä voi olla suodattimia, joissa on vain joko aerosolisuodatin tai aktiivihiilikerros. Tällaisia suodattimia ei saa käyttää ABC-suojaanamarissa. Koulutus- ja käyttöön tarkoitettujen suodattimien merkitty keltaisella tarranauhalla. Suodattimen rakenne ilmenee kuvasta 90.



KUVA 90 ABC-suodattimen rakenne

Radioaktiivinen pöly, biologinen materiaali sekä aerosoleina olevat kemialliset taisteluaineet jäävät **aerosolisuodattimeen**. Höyrystyneet kemialliset taisteluaineet kulkeutuvat aktiivihiilikerrokseen saakka. Kaikista hiukkasista 99,995 % jää aerosolisuodattimeen, huonoiten se pidättää 0,1-0,2 mikrometrin kokoisia hiukkasia.

Aerosolisuodatin valmistetaan yleensä mikrolasikuidusta. Yksittäisen kuidun halkaisija on mikrometrin suuruusluokkaa. Paksummilla selluloosakuiduilla, joita myös käytetään, ei saavuteta yhtä hyvää suodatustehoa. Suuren pinta-alan saavuttamiseksi aerosolisuodatin on laskostettu. Kun virtaus jakautuu koko pinta-alalle, suodatusteho paranee ja hengitysvastus pienee. Virtausnopeuden kasvu alentaa suodatustehokkuutta.

Aerosolisuodattimen materiaali on vettä hylkivää, paperimaista ja helposti repeytyvää. Se suojataankin tavallisesti reikälevyllä tai ritilällä, jottei ilma-aukos- ta sisään tunkeutuva risu tms. vahingoittaisi sitä. Jos aerosolisuodatin vahingoittuu, on koko suodatin vaihdettava välittömästi. Aerosolisuodatin, vaikka sen osuus koko suodattimen painosta onkin hyvin pieni, aiheuttaa lähes puolet hengitysvastuksesta. Kuvassa 91 on elektronimikroskooppikuva aerosolisuodattimen rakenteesta.



KUVA 91 *Aerosolisuodattimen rakenne*

Suodattimissa käytettävä korkealuokkainen **aktiivihiili** valmistetaan tavallisimmin kivihiilestä tai kookospähkinän kuoresta. Aktivoinnin avulla hiilen

ominaispinta-ala nostetaan noin 1000 m²/g, jolloin suodattimessa olevan hiilen kokonaispinta-ala on yhteensä 10-15 hehtaaria. Suuren ominaispinta-alansa ansiosta aktiivihiihi pystyy sitomaan pinnalleen eli adsorboimaan vieraita aineita.

Suodattimen aktiivihiihi on verrattain pienirakeista. Hiilikerroksen paksuus on yleensä noin 20 mm. Paksu kerros ja pienirakeinen hiili parantavat suodattimen pidätyskykyä, mutta lisäävät hengitysvastusta. Suodattimen geometria puolestaan vaikuttaa siihen, kuinka tehokkaasti aktiivihiihen pidätyskapasiteetti voidaan hyödyntää.

Aktiivihiiheen lisättävillä kupari-, kromi- ja hopeayhdisteillä saadaan aikaan kemiallinen pidätyskyky pienimolekyylisille myrkyllisille aineille, kuten syaanivedylle ja kloorisyaanille, joita käsittelemätön aktiivihiihi sitoo heikosti. Kuparin ja kromin osuus hiiliseoksesta on muutamia prosentteja, hopeaa on vain muutamia prosentin kymmenesosia. Uutena lisäaineena on alettu käyttää trietyleenidiamiinia (TEDA), joka parantaa kuudenarvoisen kromin stabiilisuutta. TEDA:a ei kuitenkaan käytetä kaikissa suodatinhiihissä.

Suodattimen pidätyskapasiteetti vaihtelee taisteluaineesta riippuen muutamista grammoista kymmeneen grammiin. Samaa suodatinta voidaan kuitenkin käyttää useiden tuntien jopa vuorokauden ajan, sillä maastokaasusta höyrystyvän taisteluaineen pitoisuus jää melko alhaiseksi ja ilmakaasujen pitoisuudet alenevat nopeasti kaasun levitessä laajalle alueelle. Korkeita pitoisuuksia voi kuitenkin esiintyä suljetuissa tiloissa ja poteroissa, joihin kaasut ilmaa raskaampina jäävät. Jo yhden prosentin pitoisuus ilmassa on hyvin korkea ja kuormittaa suodatinta voimakkaasti.

Suodattimen **runko** ja tukilevyt valmistetaan tavallisesti alumiinista tai polyamidista. Suodatin kiinnitetään naamariin kierrelitoksella, jonka tiiveys varmistetaan pohjatiivisteellä. Uuden sukupolven suojanaamareissa on 40 mm:n standardikierre.

Jos suodatin joudutaan vaihtamaan saastuneella alueella, on hengitystä pidätettävä, kunnes uusi suodatin on tiukasti paikallaan. Käytetyt suodattimet hävitetään kaivamalla ne maahan. Saastunutta suodatinta ei voida puhdistaa uudelleen käyttöön otettavaksi.

Suojanaamarin käyttö ja huolto

Naamaria säilytetään taisteluvyön tai kantolaitteen taskussa tai omassa laukussaan. Samassa tilassa pidetään suodatin, henkilökohtaiset puhdistusvälineet, suojakäsineet sekä hermokaasujen vastalääkkeenantolaite.

Käyttäjän velvollisuutena on tarkastaa suojanaamarin kunto ja puhtaus sekä tehdä pienet huoltotoimet. Erikoistyökaluja vaativat huoltotoimet, kuten lasien vaihto,

kuuluu suojeluhuoltohenkilöstölle. Erityistä huomiota tulee kiinnittää uloshengitysventtiin läpän kiinnitykseen sekä sen ja vastapinnan puhtauteen, sillä pienikin roska, hius tai partakarva aiheuttavat vuotoa naamarissa.

Suojanaamarin tiivistyminen kasvoille voidaan kokeilla sulkemalla suodattimen ilma-aukko kämmenellä ja vetämällä ilmaa sisään voimakkaasti. Jos naamari painautuu sisäänpäin ja alipaine pysyy naamarissa, on tiiveys hyvä. Naamarin toimintakunto ja tiiveys voidaan varmistaa myös kyynelkaasukokeessa. Jos naamari vuotaa, on se vaihdettava välittömästi.

Suojanaamarin lasit, erityisesti niiden reuna-alueet, pyyhitään huurtumisen välttämiseksi sisäpuolelta lasivoidetilkulla. Uuden sukupolven naamareissa ei lasien voitelu ole tarpeen.

Naamari puhdistetaan vedellä ja saippualla jokaisen käyttökerran jälkeen. Pesun jälkeen naamari kuivataan huolellisesti kangasrätillä. Suodatinta ei saa koskaan kastella. Taisteluaineista naamari puhdistetaan kemikaalien avulla.

Suodatin tarkastetaan silmämääräisesti. Siinä ei saa olla painuma- eikä iskujälkiä. Aerosolisuodattimen näkyvän osan täytyy olla ehjä. Hiilikerroksen tiiveyden toteutukseksi suodatinta ravistetaan kevyesti. Jos ravistettaessa kuuluu rapinaa, on hiilikerros löystynyt, eikä suodatinta saa käyttää. Viallinen suodatin on vaihdettava uuteen.

ABC-suojavaatetus

Suojavaatetuksen tarkoituksena on suojata ihoa ABC- ja polttoaseiden vaikutuksilta. Käytettävissä on useita erilaisia asukokonaisuuksia riippuen siitä, mitä suojausominaisuutta halutaan korostaa. Hyvässä ABC-suojavaatteessa eri suojausominaisuudet ovat keskenään tasapainossa, minkä lisäksi vaateen aiheuttama fyysinen kuormitus on kohtuullinen. Asun tulee estää neste-, kaasui- tai aerosolimuodossa olevien aineiden pääsy iholle eikä se saa syttyä helposti lyhytaikaisen liekin tai kuumuuden vaikutuksesta. Suodatusperiaatteella toimivissa asuis- sa tarvitaan vähintään kaksi materiaalikerrosta, eristysperiaatteella toteutetussa asussa selvitään yleensä yhdellä kerroksella.

Fyysinen rasitus synnyttää elimistössä lämpöä, joka pyrkii nostamaan kehon lämpötilaa. Elimistö poistaa ylimääräisen lämmön haihduttamalla vesihöyryä eli hikoilemalla. Mikäli suojavaatetus läpäisee vesihöyryä, toimii elimistön luonnollinen lämmönsäätelyjärjestelmä. Jos vaatetus ei läpäise vesihöyryä, ei lämpö poistu kunnolla elimistöstä, mikä pahimmassa tapauksessa voi johtaa lämpöhalvaukseen. Vesihöyryä läpäisemätöntä suojavaatetusta voidaan näin ollen käyttää lämpimissä oloissa vain lyhyitä jaksoja kerrallaan. Hikoilun synnyttämä kosteus kastelee aina suojaavun alla olevan vaatetuksen. Kylmissä olosuhteissa seurauk-

sena voi olla ääreisosien jäähtyminen, pahimmassa tapauksessa sormien ja varpaiden paleltuminen.

Aktiivihiiheen perustuvat suoja-asut

Aktiivihiihliasuissa on pintakangas, aktiivihiihlä sisältävä adsoptiokerros sekä vuorikangas. Polvissa, kyynärpäissä ja takamuksissa voi olla tiiviistä ja läpäisemättömästä materiaalista tehdyt vahvistukset. Muuten asut luokitellaan hengittäviksi, eli ne päästävät lävitseen iholta haihtuvan vesihöyryn.

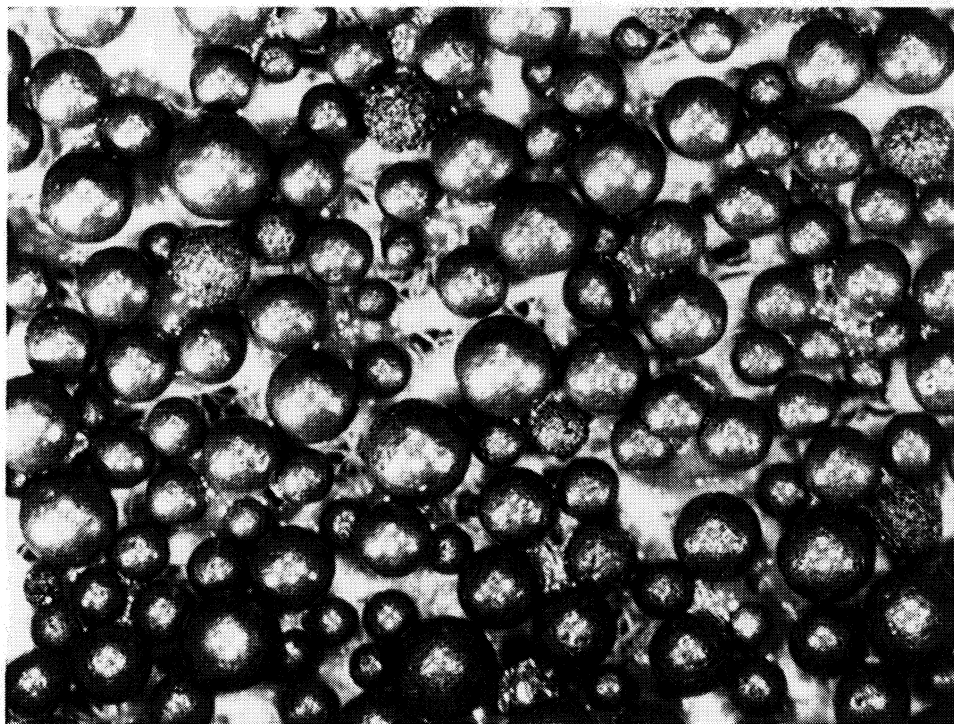
Pintakangas voidaan käsitellä vettä ja öljymäisiä aineita hylkivillä sekä syttymistä estävillä aineilla. Hyvä pintakangas on myös helppo puhdistaa säteilypölystä ja taisteluainepisaroista. Materiaalina voi olla puuvilla, synteettinen kuitu tai näiden seos. Hyvä, mutta kallis pintakangas on Gore Tex, jossa kankaan sisäpintaan on laminoitu hyvin ohut rei'itetty teflonkalvo. Reikiä on tiheässä ja ne ovat niin pieniä, että vain höyrystyneet aineet pääsevät kalvon läpi, nestemäiset aineet eivät läpäise kangasta. Koska höyrystyneet taisteluaineet pääsevät Gore Tex-kankaasta läpi, on sen kanssa käytettävä aktiivihiihlikangasta.

Aktiivihiihen käyttö kangasmateriaaleissa on kiinnostanut suojavarusteiden kehittäjiä jo pitkään. Ensimmäisissä kankaissa pienirakeinen aktiivihiihi sidottiin polyuretaaniin tai johonkin muuhun sopivaan sideaineeseen. Aktiivihiihen pinnasta suuri osa joutui umpinaiseen tilaan, mikä heikensi hiihen kykyä sitoa taisteluaaineita. Kankaat olivat lisäksi paksuja, jäykkiä ja hiostavia. Uretaanivaahtoon perustuvia aktiivihiihlikuja on kuitenkin valmistettu suuria määriä.

Uusimmissa aktiivihiihlikankaissa käytetään kuitu- tai pallomuodossa olevaa aktiivihiihlä. Kankaiden adsorptiokyky, mekaaninen lujuus, pesunkestävyys ja hengittävyys ovat erittäin hyvät. Kankaissa olevan aktiivihiihen määrä vaihtelee, keskimääräisenä arvona voidaan pitää 120-180 g/m², joten koko asussa on noin 200-350 g aktiivihiihlä eli 2-3 kertaa enemmän kuin naamarisuodattimessa. Määrää tärkeämpää on kuitenkin adsorptiokerroksen tasaisuus ja yhtenäisyys sekä hiihen adsorptio- ominaisuudet. Vertailututkimuksissa on eri aktiivihiihlikankaiden adsorptiokyvyssä havaittu suuria eroja.

Pallo- ja kuituhiilikankaat ovat korkealuokkaisia aktiivihiihliasujen materiaaleja. Pallohiilikankaassa tukikankaan päälle on liimaamalla kiinnitetty tasainen kerros kooltaan 0,3-0,5 mm hiilipalloja. Pallot eivät rikkoudu tavallisen käytön aiheuttamien puristusvoimien vaikutuksesta. Kuuluisin pallohiilikangas tunnetaan kauppanimellä Saratoga.

Kuvassa 92 on mikroskooppikuva pallohiilikankaasta, jossa voidaan nähdä hiilipallojen muodostama tasainen peittävä kerros.



KUVA 92 *Pallohiilikankaan rakenne*

Kuituhiilikangas valmistetaan hiilytys- ja aktiointiprosessien avulla esikäsitellystä kangasmateriaalista. Näin tehty hiilikangas on tasalaatuinen, mutta hauras ja helposti repeytyvä. Lopullinen lujuus saadaan aikaan tukikankaan avulla kuten pallohiilikankaassakin. Esimerkinä kuituhiilikankaista mainittakoon englantilainen Charcoal Cloth.

Aktiivihiihliasut on kehitetty pitkäaikaista, erityisesti lämpimissä sääoloissa tapahtuvaa käyttöä silmällä pitäen. Asu aiheuttaa suunnilleen saman suuruisen lämpökuormituksen kuin tavallinen maastopuku.

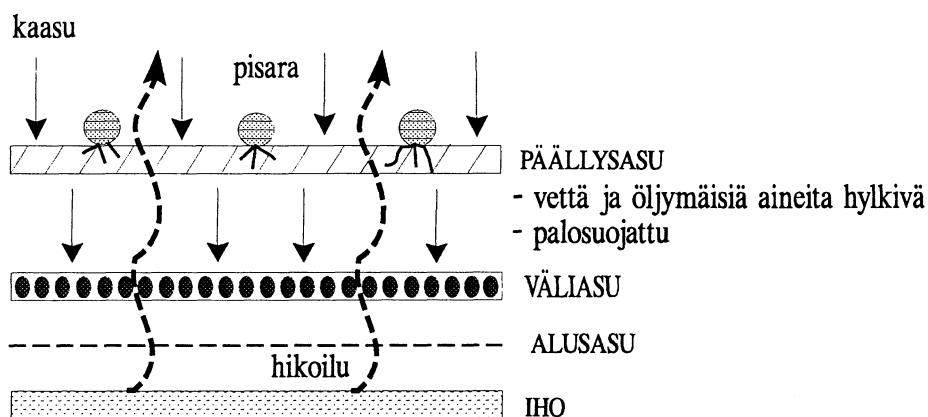
Aktiivihiihliiväliasuissa käytetään samantyyppisiä materiaaleja kuin varsinaisissa aktiivihiihlipuvuissa eli uretaanivaahtoon sidottua rakeista aktiivihiihtä, pallohiiltä tai kuituhiiltä. Jälkimmäiset vaihtoehdot edellyttää tukikankaan käyttöä. Kankaassa on aktiivihiihtä noin 120 g/m^2 . Useimmat kangasmateriaalit ovat jonkin verran joustavia, mikä parantaa asujen käyttömukavuutta.

Aktiivihiihliiväliasu on suojaruste, jota käytetään vain uhkatilanteissa. Jatkuva käyttö ei ole suotavaa, koska kuluminen, hikoilu ja pesukerrat heikentävät puvun suojausominaisuuksia. Aktiivihiihlikankaasta valmistetun väliasun päällä käytetään maastopukua, sadeasua, pakkaspukua tai mitä tahansa erikoisasua, jolloin aktiivihiihliiväliasu suojaa ihoa päällyysvaatetuksen läpi tunkeutuvilta taisteluaineilta. Väliasu on helppo kuljettaa mukana, se on kevyt ja mahtuu pieneen tilaan. Väliasut

pakataan vakuumpakkauksiin, joissa niiden suojausominaisuudet säilyvät parhaiten. Käytössä olleet asut voidaan pestä koneellisesti tavanomaisesta liasta.

Väliasut, kuten varsinaiset aktiivihiihasutkin, antavat hyvän suojan höyrystyneitä taisteluaineita vastaan. Ne sallivat liikkumisen ja toiminnan maastokaasun saastuttamalla alueella. Koska niiden aiheuttama lämpökuorma on pieni, ne soveltuvat hyvin myös pitkäaikaiseen käyttöön.

Aktiivihiihiväliasun toimintaa yhdessä muun vaatetuksen kanssa on havainnollistettu kuvassa 93.



KUVA 93 Ihon ABC-suojaus aktiivihiihiväliasun avulla

Eristävät suoja-asut

Butyylikummi on synteettinen kumilaatu, joka on hyvin tiivis ja antaa siten pitkäaikaisen suojan nestemäisiä taisteluaineita vastaan. Butyylikumista valmistettu, yksiosainen, tiivissaumainen suojapuku eristää käyttäjänsä lähes täydellisesti ulkoilmasta. Suojapuku voidaan varustaa aktiivihiihikankaalla peitetyllä aukolla, jonka kautta vähäinen ilman vaihtuminen puvun sisätilan ja ympäristön välillä on mahdollista. Butyylikumisen suojapuvun alla käytetään ulkolämpötilan mukaan muuta vaatetusta. Kesälläkin puvun ja ihon välissä tulee olla ainakin yksi vaatekerta.

Butyylikumisen ABC-suojapuku soveltuu sellaisiin tehtäviin ja käyttötilanteisiin, joissa joudutaan alttiiksi runsaalle saasteelle. Näistä esimerkkeinä ovat kaluston puhdistus sekä tiedustelu pahasti saastuneessa maastossa. Butyylikummi kestää lyhytaikaisesti liekin ja lämpösäteilyn vaikutusta. Palavat, kiinni tarttuvat roiskeet polttavat siihen pieniä reikiä, itse kumimateriaali ei kuitenkaan syty palamaan.

Butyylikuminen suoja-puku ei läpäise iholta haihtuvaa vesihöyryä, mistä johtuen lämpökuormitus voi pitkäkestoisessa käytössä nousta suureksi. Ulkoilman lämpötilalla on kuitenkin erittäin suuri merkitys sekä puvun aiheuttamaan lämpökuormitukseen että puvun pitomukavuuteen.

Käyttäjän liike aiheuttaa pumppausefektin. Puvun sisään muodostuva alipaine pyrkii tasoittumaan vetämällä ilmaa sisälle, jolloin vuotoa esiintyy tavallisimmin suoja-puvun ja muun varustuksen välisissä liittymäkohdissa. Suoja-puvun selkään asennettu aktiivihiilikankainen tuuletusaukko vähentää tämänkaltaista vuotoa.

Kertakäyttöiset suoja-asut

Myös kertakäyttöiset suoja-asut toimivat eristämisperiaatteella. Ne ovat kuitenkin paljon kevyempiä ja halvempia kuin butyylikumista valmistetut puvut. Asut on tavallisimmin valmistettu kerroslaminaattimateriaaleista, kerroksia voi olla 2 - 4. Materiaalit eivät läpäise ilmaa eivätkä vettä ja voivat suojata käyttäjänsä nestemäisiltä taisteluaineilta jopa yli vuorokauden ajan. Uusien kerroslaminaattien mekaaninen lujuus on hyvä, joten niistä valmistetut puvut kestävät kovaakin käyttöä.

Useimmat kertakäyttöpuvut ovat yksiosaisia, hupullisia haalareita. Joissakin malleissa on kiinteät käsineet ja jalkinesuojat. Kertakäyttöpuku korvaa butyylikumista valmistetun asun monissa tilanteissa, vaikka täydellistä kaasutiiveyttä sillä ei saavutetakaan. Puvun kemikaalisuojaa voidaan parantaa käyttämällä sen alla aktiivihiilikankaista väliasua. Saastuneet kertakäyttöasut hävitetään käytön jälkeen.

Kertakäyttöisten pukujen etuja ovat keveys, pieni tilantarve ja halpuus. Kaupallisista materiaaleista esimerkkeinä mainittakoon Tyvek ja Rolamit.

Käsien ja jalkojen suojaus

Jalkojen ja käsien suojaaminen taisteluaineilta on yhtä tärkeää kuin ihon suojaaminen. Kumisaappaat, kuten jo aiemmin on todettu, antavat melko hyvän suojan myös taisteluaineita vastaan. Nahkakintaat suojaavat käsiä polttovaikutukselta, mutta ne eivät anna riittävää ABC-suojasta.

Taisteluaineiden aiheuttama saastuttaminen on pahinta maassa ja maan lähellä olevassa kasvillisuudessa. Nahkasaappaat tai varsikengät eivät suoja jalkoja riittävästi nestemäisiltä taisteluaineilta. Butyylikumista valmistetut saappaat sitävastoin antavat suojaa ainakin 24 tunnin ajaksi. Kalossin tyyppiset butyylikumiset jalkinesuojat antavat lähes yhtä hyvän suojan kuin varsinaiset butyylikumisaappaat. Jalkineiden sisäpuolella voidaan käyttää aktiivihiilikankaasta valmistettuja sukia.

Sormikasmalliset käsineet on todettu käyttökelpoisimmiksi. Yleisimmät käsinemateriaalit ovat butyylikumi ja kerroslaminaatit, joilla voidaan saavuttaa pitkäaikainen sinappikaasun pidätys. Butyylikumista saadaan hyvin käteen sopivia ja taipuisia sormikkaita, mutta ne ovat huomattavasti kalliimpia kuin jäykemmät laminaattikäsineet. Käsineet voidaan valmistaa myös aktiivihilikankaasta.

5.2.4 Varsinaiset paloasut

Paloasua käytetään sammutus- ja pelastustehtävissä sekä savusukelluksessa. Ne antavat hyvän suojan liekkejä, lämpösäteilyä ja palavia aineita vastaan. Asujen materiaalien pintakerrokset on käsitelty siten, että ne eivät syty palamaan. Asut ovat hyvin lämpöä eristäviä, joten niitä voidaan käyttää myös korkeissa lämpötiloissa. Sammutus- ja pelastustehtävissä, joihin liittyy kemikaalivaara, paloasun päällä käytetään kumista valmistettua kemikaalipukua. Tilanteissa, joissa lämpösäteily on hyvin voimakasta, voidaan käyttää heijastavaa, alumiinipintaista tulensuoja-asua. Puvun lisäksi paloasuun kuuluu palokypärä, palosaappaat ja -käsineet sekä tarvittaessa paineilmahengityslaitteet.

Paloasut ovat tavallisimmin kaksiosaisia. Aiemmin materiaalina käytetty palo-suoja-aineilla käsitelty villa on nykyisin korvattu keinokuitumateriaaleilla mm. Nomexilla. Asut ovat hengittäviä, mutta hyvän lämmöneristävyytensä vuoksi ne aiheuttavat lämpökuormitusta.

5.2.5 Paineilmahengityslaitteet

Paineilmahengityslaitteella varustettu henkilö on täysin riippumaton ympäröivän ilman laadusta ja hapen pitoisuudesta. Paineilmalaitteita käytetään yleensä savusukellus- ja pelastustehtävissä tiloissa, joissa happipitoisuus on alentunut ja hiilimonoksidin pitoisuus on korkea sekä kemikaalionnettomuuksissa, joissa on myrkytysvaara. Tavalliset paineilmalaitteet soveltuvat myös vesisukellukseen.

Paineilmalaitteisiin kuuluu **naamari**, **paineenalennusjärjestelmä** ja **ilmasäiliöt**, joita on tavallisesti yksi tai kaksi. Paineilmaa on yleensä käytettävissä 6 tai 8 litraa ja se on puristettu 200 tai 300 baarin paineeseen, joten normaalipaineista ilmaa on käytettävissä 1600-1800 litraa. Raskasta tai keskiraskasta työtä vastaavalla kulutuksella tämä ilma riittää 30-40 minuutin yhtäjaksoiseen käyttöön käyttäjän koosta ja kuormituksen tasosta riippuen. Ilma ei lopu yllättäen, vaan järjestelmä ilmoittaa käyttäjälle, milloin paine on alentunut säädettyyn arvoon. Kuvassa 94 on esitetty tavallinen paineilmahengityslaitteisto.



KUVA 94 *Paineilmahengityslaitteisto*

Paineilmalaitteiden käyttöön ei liity suodatinlaitteille ominaista hengitysvastusta eikä mahdollista kasvo-osan vuotoa. Paineenalennusjärjestelmän ansiosta kasvo-osassa on jatkuvasti kevyt ylipaineistus, jolloin vuoto voi tapahtua ainoastaan ulospäin. Paineilmalaitteisiin liittyvä fysiologinen kuormitus aiheutuu laitteiden painosta, joka on yleensä 15-16 kg. Uusimmissa laitteissa pullojen materiaalina käytetty teräs on korvattu kevyemmällä hiilikuituvahvisteisellä komposiitilla. Myös pullojen kokoa on pienennetty ja täyttöpainetta nostettu.

Paineilmahengityslaitteiden käyttö vaatii koulutuksen. Paineilmalaitteet huolletaan ja tarkastetaan jokaisen käytön jälkeen ja määräajoin. Ilmapullot täytetään aina täyteen paineeseen. Pullot tarkastetaan määräajoin mm. koeponnistuksella.

Tavallisten paineilmahengityslaitteiden käyttöaika on rajoitettu. Pitemmän yhtäjaksoisen käyttöajan saavuttamiseksi on kehitetty nk. happilaitteita. Niissä hengitysilmaa kierrätetään poistamalla hiilidioksidi kemiallisesti ja lisäämällä happea kulutusta vastaava määrä. Yhtäjaksoinen käyttöaika voi olla moninkertainen paineilmalaitteisiin verrattuna. Ne ovat kuitenkin teknisesti monimutkaisia eikä niitä käytetä tavallisissa sammutus- tai pelastustehtävissä.

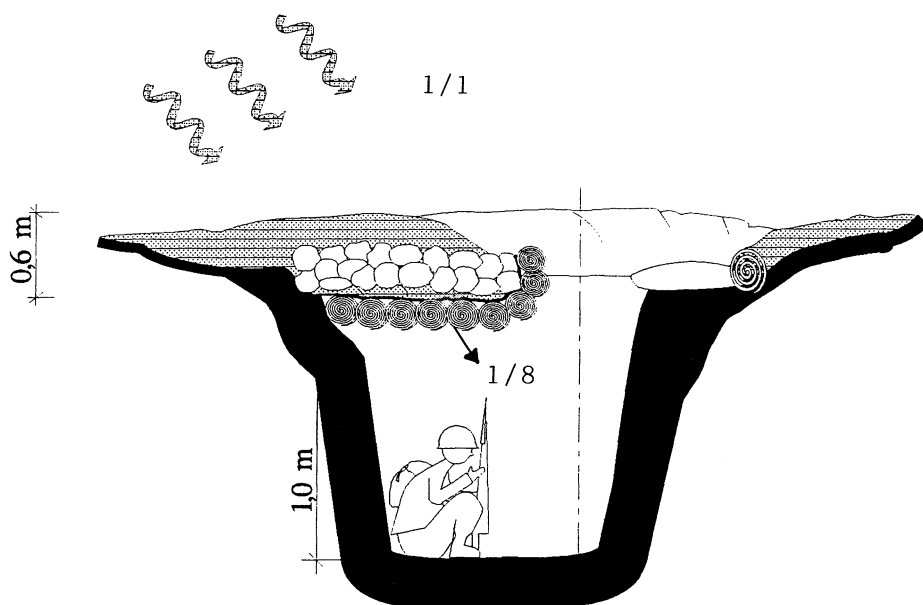
5.3 JOUKKOJEN SUOJAAMINEN

Paras suojausteho ABC- ja polttoaseita vastaan saavutetaan rakenteellisella suojauksella. ABC-suojiin, joita ovat mm. kantalinnoitteet, suojarakennukset ja väestönsuojat, otetaan ilma suodatinjärjestelmän kautta ja niissä vallitsee ylipaine. Myös tavalliset rakennukset, kontit, teltat, ajoneuvot ja laivat voidaan varustaa rakenteellisella suojauksella. Niissä voidaan toimia ilman suojavarustusta, joten suojavarustuksen käyttö ei alenna henkilöstön suorituskykyä.

Myös pika- ja kenttälinnoitteet suojaavat ABC-aseiden vaikutuksilta. Niiden suojausteho riippuu kuitenkin linnoittamisen asteesta ja siitä, mitä aineita vastaan suojaudutaan. Katetut poterot, tiiviit ajoneuvot ja rakennukset suojaavat nestepisaroilta, aerosolihiukkasilta ja säteilypölyltä sekä jossain määrin myös kaasuilta.

5.3.1 Pika- ja kenttälinnoitteet

Pika- ja kenttälinnoitteet suojaavat kohtalaisesti ydinräjähteiden välittömiltä vaikutuksilta, jos ne ovat täyden tuhon alueen ulkopuolella. Varsinkin korsut antavat hyvän suojan sokaisua, poltto- ja painevaikutusta sekä alkusäteilyä vastaan.

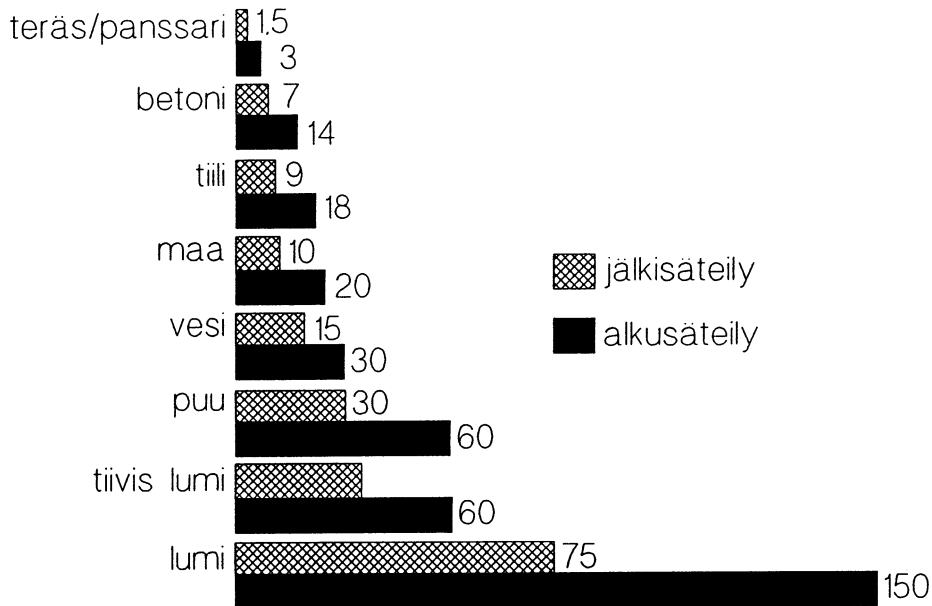


KUVA 95 Poteron antama suoja alkusäteilyä vastaan

Alkusäteily sisältää alfa-, beeta-, gamma-, röntgen- ja neutronisäteilyä. Näistä vain gamma- ja neutronisäteily ulottuvat täyden tuhon alueen ulkopuolelle. Gamma-säteilyltä suojaa väliainemateriaali. Mitä raskaampaa väliaine on sitä paremmin se vaimentaa gammasäteilyä. Vesi puolestaan on hyvä neutronien absorboija.

Esimerkiksi alkusäteilynä saatavan gammasäteilyn määrä puoliintuu jokaisessa 20 cm:n paksuisessa maakerroksessa. Poteron suojakolon päällä oleva 60 cm:n maakerros pienentää alkusäteilyn määrän 1/8:aan alkuperäisestä arvosta. Suojaa voidaan parantaa panemalla poteron aukon päälle irtokate. Kuvassa 95 on havainnollistettu poteron antamaa suoja alkusäteilyä vastaan.

Ydinräjähdysen välittömät vaikutukset ulottuvat muutamien kilometrien-kymmenien kilometrien säteelle ja koskettavat vain rajattua määrää ihmisiä. **Radioaktiivisen laskeuman** vaikutusalue sen sijaan on kymmeniä jopa satoja neliökilometrejä. Laskeumassa on alfa-, beeta- ja gammasäteilyä, mutta ei röntgen- eikä neutronisäteilyä. Linnoitteen antama suoja laskeumassa olevaa gammasäteilyä vastaan riippuu linnoitteen rakenteesta ja päällä olevan maakerroksen paksuudesta. Mitä raskaampaa väliaine on, sitä paremmin se suojaa myös laskeumassa olevalta gammasäteilyltä. Suojausteho ilmoitetaan puoliintumispaksuutena eli ainevahvuutena, jonka lävitse kulkiessaan säteily vaimenee puoleen alkuperäisestä. Säteilyn vaimeneminen voidaan ilmaista myös suojauskertoimella (vrt. kuva 31), joka on säteilyn vaimenemisen eli vaimennuskertoimen käänteisluku. Kuvassa 96 on esitetty tavallisimpien aineiden puoliintumispaksuudet gammasäteilylle.



KUVA 96 Gammasäteilyn puoliintumispaksuudet alku- ja jälkisäteilylle

Alkusäteily on noin kaksi kertaa läpitunkevampaa kuin jälki- eli laskeumasäteily, joten myös puoliintumispaksuudet ovat kaksinkertaiset.

Gammasäteilyn vaimeneminen voidaan karkeasti arvioida kaavasta

$$\text{Säteilysuoja} = (1/2)^{\text{puoliintumispaksuuksien lkm}}$$

Esimerkiksi puulaattakorsu, jossa puukatton paksuus on 20 cm ja jonka päällä on maata 130 cm, vaimentaa jälkisäteilyn

$$(1/2)^{14} = 1/16384 \sim 1/16000 \text{ osaan alkuperäisestä}$$

Betonilaattakorsu, joka on rakennettu 15 cm:n paksuisesta teräsbetonista antaa kaksi kertaa paremman suojan eli

$$(1/2)^{15} = 1/32768 \sim 1/33000$$

Kuvassa 95 esitetty potero, jonka vaimennuskerroin alkusäteilylle oli 1/8, vaimentaa jälkisäteilyä $(1/2)^6$ eli 1/64.

Laskeuman pääsy poteroon voidaan estää sadeviitalla, muovilla tai muulla katteella. Muovi pidättää alfa- ja beetasäteilyä, mutta päästää lävitseen gammasäteilyä. Tämän vuoksi kate tulee aika-ajoin poistaa poteron päältä ja kuoria säteilypölyn saastuttamaa maata poteron edestä. Kun säteilypöly siirretään pois poteron välittömästä läheisyydestä, säteilyn annosnopeus pienenee etäisyyden käänteisluvun toiseen potenssiin.

$$\text{Säteilyn annosnopeus (Sv/h)} = 1/(\text{etäisyys})^2$$

Jos säteilevää maata siirretään yhden metrin päästä kolmen metrin päähän, säteily pienenee $1/3^2$ eli 1/9:teen osaan.

Kemialliset taisteluaaineet ovat ilmaa raskaampia, joten niiden pitoisuus painanteissa, poteroissa ja taisteluhaidoissa on yleensä suurempi kuin avoimella paikalla. Näin ollen suojautuminen B- ja C-taisteluaineilta edellyttää aina henkilökohtaisten suojavälineiden käyttöä. Kemiallisen taisteluaineen pitoisuus kasvaa poterossa viiveellä ja toisaalta sitä on painanteissa vielä silloin, kun se on jo ympäristöstä haihtunut. Biologisten ja kemiallisten taisteluaineiden pääsyä korsuun voidaan vähentää tiivistämällä ja sulkemalla ilmanvaihtokanavat sekä oviaukot. Oviaukkojen tiivistäminen esimerkiksi teippaamalla vaikeuttaa kuitenkin liikkumista.

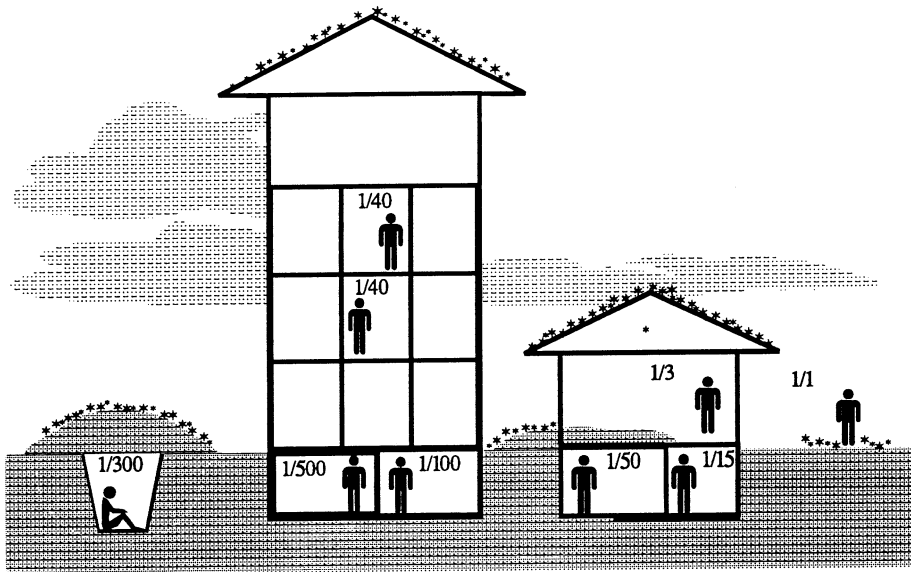
Ydinräjähdysten, polttoaseiden ja tavanomaisten aseiden aiheuttamat tulipalot saattavat kuluttaa hapen poteroista ja taisteluhaudasta, nostaa häkäpitoisuuden tappavan suureksi ja aiheuttaa sietämättömän kuumuuden. Kunnollinen korsu saattaa olla ainoa paikka, jossa hengissäpysyminen näissä tilanteissa on mahdollista.

5.3.2 Rakennukset

Rakennukset vaimentavat ydinräjähdysten aiheuttamaa säteilyä. Tiivistämällä ikkunoiden ja ovien raot sekä sulkemalla koneellinen ilmanvaihto ja ilmanvaihtoa-

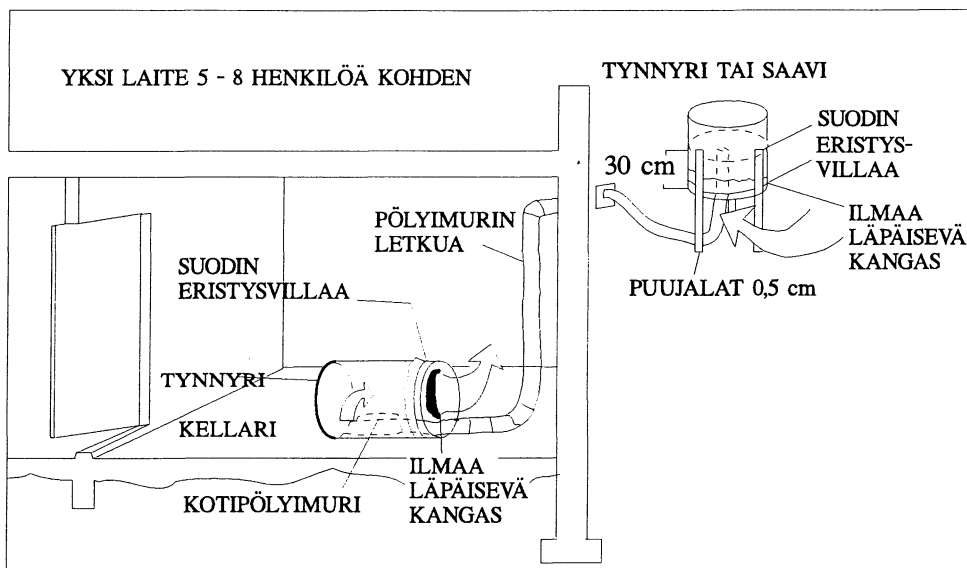
ukot vähennetään säteilypölyn sekä kemiallisten ja biologisten taisteluaineiden pääsyä sisätiloihin.

Ydinräjähdysten välittömien vaikutusten alueella rakennuksiin kohdistuva paineisku voi aiheuttaa niille huomattavia vaurioita, mikä osaltaan vähentää säteilynsuojauskykyä. Suojaustehoa voidaan parantaa peittämällä ikkuna- ja oviaukot esimerkiksi hiekkasäkeillä tai muulla raskaalla materiaalilla. Ne suojaavat sirpaleilta ja paineelta sekä vaimentavat alku- ja jälkisäteilyä. Kellarit antavat melko hyvän suojan säteilyä vastaan. Kuvassa 97 on esitetty omakoti- ja kerrostalojen antama suoja laskeumatilanteessa.



KUVA 97 Rakennusten vaimennuskertoimet laskeumatilanteessa

Taloihin voidaan rakentaa myös omatekoinen suodatusjärjestelmä. Sen periaate on esitetty kuvassa 98.



KUVA 98 Jokamiehen pölynsuodatin

5.3.3 Väestönsuojat

Taajamien väestö suojataan väestönsuojoihin. Ne suojaavat lähes kaikilta asevaikutuksilta. Varsinkin kalliosuojat kestävät suuria räjähdys- ja painevaikutuksia.

Väestönsuojat jaetaan eri luokkiin niiden koon mukaan. Pientalojen suojat ovat teräsbetonisia K-luokan suojia, jotka mitoitetaan suojelukohdekunnissa 35:lle hengelle ja valvonta-alueen kunnissa 300:lle hengelle. S1-luokan betoniset suojat mitoitetaan 150:lle tai 700:lle hengelle ja kalliosuojat 1500:lle tai 3000:lle hengelle. S3-luokan suojat ovat suojelukohdekuntien suojia 750:lle hengelle tai kalliosuojina 3000:lle hengelle. S6-luokan kalliosuojaan mahtuu 6000 henkilöä.

Sisään imettävä ilma suodatetaan samalla periaatteella kuin suojanaamareissa. Suojan ylipaine säädetään ylipaineventtiilin avulla 50 - 250 Pa (5 - 25 mmH₂O).

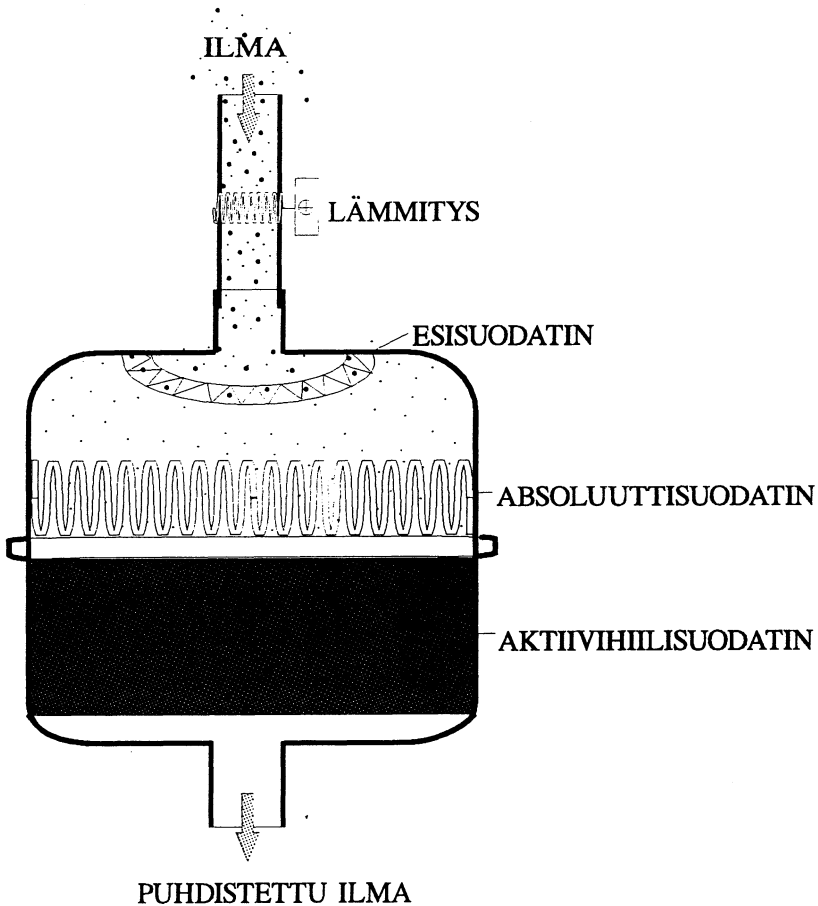
Lämpötila rajoittaa oleskelua väestönsuojassa. Mitä enemmän henkilöitä suojassa on, sitä nopeammin lämpötila nousee. Osa lämmöstä poistuu johtumalla seinien, katon ja lattian tai tuuletuksen kautta. Ilmanvaihtojärjestelmien avulla suojatiloihin saadaan siedettävät olosuhteet kaikkina vuodenaikoina, jos kuormitus on normaali.

Väestönsuojien ilmanvaihtoa voidaan käyttää joko **suodatus-** tai **ohituskäytössä**. Väestönsuoja voi olla myös **sulkutilassa**, jolloin ilmavaihto ulkoilmaan on eristetty ja ilmaa kierrätetään vain suojan sisällä.

Suodatuskäytössä raitista ilmaa otetaan suojaan vähintään 2 m³/h henkilöä kohden ja ohituskäytössä 6 m³/h. Jos kyseessä on toiminnallinen suoja, esimerkiksi johtokeskus, ilmamäärien tulee olla kolminkertaiset.

Koska hiilidioksidi aiheuttaa väsymistä, sen pitoisuus ei saa nousta yli 2 tilavuusprosentin. Samansuuruinen pitoisuus sallitaan esimerkiksi sukellusveneissä. Tapava hiilidioksidipitoisuus on 6-8 %. Mainittakoon esimerkkinä, että suojanaamarissa pitoisuus on yleensä 0,6-1,0 tilavuusprosenttia.

Suojan happipitoisuuden tulee olla yli 18 tilavuusprosenttia. Jos se laskee alle 15 %, on seurauksena tajuttomuus ja kuolema. Hapenkulutus henkilöä kohden on noin 25 l/h ja hiilidioksidin tuotto noin 20 l/h. Täysi suoja voi olla sulkutilassa näin ollen korkeintaan 6-8 tuntia.

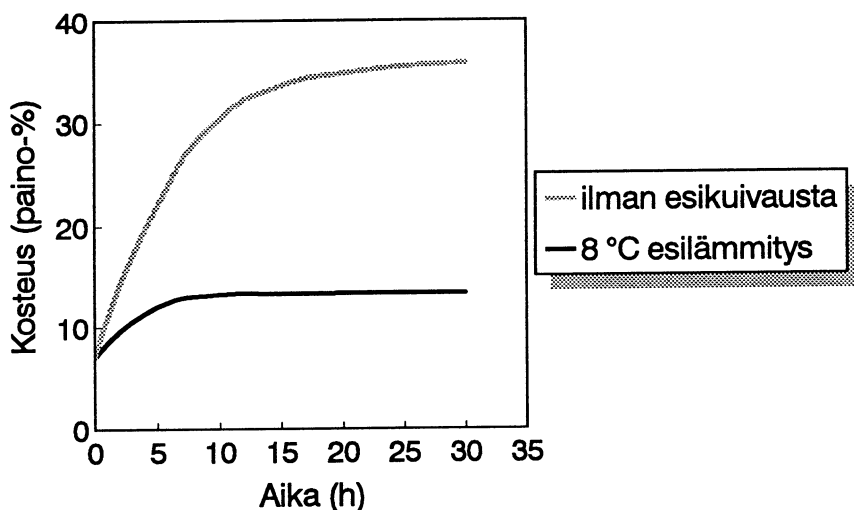


KUVA 99 VSS-suodatin

Suodatinjärjestelmän edessä on verkko tai ritilä, joka estää esineiden ja karkean maa-aineksen pääsyn suodatinjärjestelmään. Paineiskuventtiili ottaa vastaan paineiskun, sulkee järjestelmän ja estää suodattimien rikkoutumisen. S1-luokan väestönsuojan paineiskuventtiilin tulee kestää kolme vähintään 300 kPa:n (3 barin) paineiskua. Muiden VSS-suojien paineiskuventtiilit kestävät vieläkin suurempia paineiskuja.

Paineiskuventtilin jälkeen on ns. karkean erotuskyvyn hiukkassuodatin eli esisuodatin. Se on yleensä huokoista lasikuitupaperia, jonka erotuskyky on 98 %. Esisuodattimen jälkeen on varsinainen absoluuttisuodatin, joka pidättää 99,995 % hiukkasista. Absoluuttisuodattimen jäljessä on aktiivihiilisuodatin, joka pidättää kaasumaiset aineet. Suodattimen rakenne on esitetty kuvassa 99.

Hiilen kostuessa suodattimen kaasunpidätyskyky pienenee. Tämän vuoksi suodattimelle tuleva ilma kuivataan ja esilämmitetään. Jos ilman suhteellinen kosteus on esimerkiksi 70 % ja lämpötila 21 °C, suodattimen pidätyskyky alenee merkittävästi ilmavirtauksella 150 m³/h jo viiden tunnin kuluessa. Tutkimuksissa on todettu, ettei suodattimen kaasunpidätyskyky olennaisesti alene, jos kosteus ei ylitä 15 prosenttia hiilen painosta. Kostumisen ja kuivaamisen välistä suhdetta on kuvattu kuvassa 100.



KUVA 100 Suodatinhiilen kostuminen

Aktiivihiilisuodattimen tulee pidättää klooripikriiniä 33 % (fysikaalinen adsorptiokyky) ja kloorisyaania 8 % (kemiallinen adsorptiokyky) kuivan aktiivihiilen painosta. Esimerkiksi väestönsuojan erikoissuodatin ES-150 (mitoitettu ilmamäärälle 150 m³/h) sisältää aktiivihiiltä 15 kg ja pidättää klooripikriiniä vähintään 5 kg ja kloorisyaania 1,2 kg. Kaasun adsorboitumiseen vaikuttaa aika, jonka se viipyy hiilessä. Kaasun viipymäajan aktiivihiilipatsaassa tulee olla vähintään 0,75 sekuntia.

Suojautuminen aloitetaan yleensä sulkukäytöllä, jota voi kestää 1,5-3 tuntia. Sen jälkeen siirrytään suodatuskäyttöön, jossa ollaan niin kauan, kunnes uhka on poistunut. Lopuksi siirrytään ohituskäyttöön, jota voi kestää vuorokausia.

5.3.4 Kantalinnoitteet ja suojarakennukset

Kantalinnoitteet ja suojarakennukset ovat kallioon **louhittuja** tai **teräsbetonista** maakerroksen pintakerrokseen rakennettuja suoja, jotka kestävät ABC- ja polttoaseiden sekä tavanomaisten aseiden vaikutuksia. Rakenteet antavat suojan henkilöstölle, aseille sekä ase - ja johtamisjärjestelmille paineaaltoa, tärinää, tunkeumaa, aerosolipommia, polttotaisteluaaineita, kemiallisia ja biologisia taisteluaineita, radioaktiivista säteilyä, lämpösäteilyä sekä elektromagneettista pulssia ja mikroaaltopulssia vastaan.

Katon ja seinän paksuudesta sekä luolaston profiilista riippuu, kuinka hyvän suojan kantalinnoite tai suojarakennus antaa räjähdysvaikutusta ja tärinää vastaan. Ydinräjähdysten aiheuttama tärinä riippuu väliaineesta sekä kalliossa olevista halkeamista. Suurimmillaan tärinän amplitudit voivat olla useita senttimetrejä ja värähtelyn jaksoluku jopa yli 10 Hz, joten se voi rikkoa suojaamattomat viesti-, lämmitys-, vesijohto- ja ilmastointilaitteet. Tärinälle arat laitteet tai rakennuksen osat suojataan tärinäjousilla, joiden kiinnityksen tulee kestää vähintään 10-kertaisesti suojattavan laitteen paino.

Ydinräjähdyksestä syntyvän paineaallon suuruus voidaan laskea melko tarkasti räjähteen koon ja etäisyyden perusteella. Paineaallon vaikutuksia on tarkasteltu luvussa 1.6.6. Kantalinnoitteiden ja suojarakennusten paineovet ja ilmanvaihtokanavien paineiskuventtiilit ovat samanlaisia kuin väestönsuojien vastaavat laitteet.

5.3.5 Panssaroidut ajoneuvot

Panssaroitujen ajoneuvojen ABC-suojaus voidaan toteuttaa kolmella eri periaatteella.

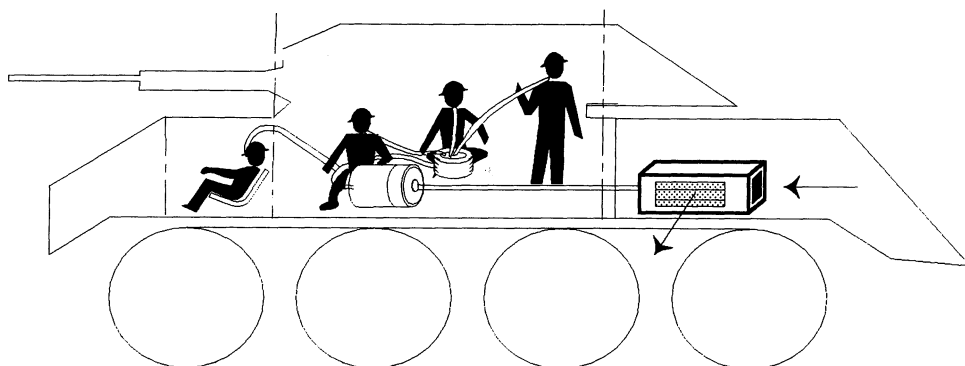
Yleisin tapa on tiivistää eli hermetisoida vaunu siten, että imettäessä ilmaa suodatimen lävitse muodostuu vaunun sisälle ylipaine, joka estää vaarallisten aineiden pääsyn sisätiloihin. Järjestelmä mahdollistaa pitkäaikaisen suojautumisen. Hyötynä on myös se, että suojanaamaria ei tarvitse käyttää, mikä helpottaa esimerkiksi optisten laitteiden ja viestivälineiden käyttöä.

Toinen tapa on johtaa suodatettua ilmaa ylipaineella jokaisen taistelijan suojanaamariin joko suoraan tai naamarisuodattimen kautta. Hengitysvastus jää molemmissa tapauksissa paljon pienemmäksi kuin käytettäessä suojanaamaria

normaalilla tavalla. Liikkuminen vaunun sisällä on kuitenkin rajoitettua, sillä taistelijan suojanaamari on letkulla kiinni ilmastointijärjestelmässä. Siirryttäessä ulos irrotetaan letku naamarista tai suodattimesta. Ensinmainitussa vaihtoehdossa letkun tilalle asennetaan henkilökohtainen naamarisuodatin. Palattaessa vaunuun voidaan jälleen liittyä vaunun kollektiiviseen suojajärjestelmään.

Suojausjärjestelmä voi olla myös edellisten yhdistelmä. Vaunussa voidaan toimia ilman naamaria niin kauan, kun vaunussa on ylipaine. Jos jokin luukku avataan, on vaunun miehistön puettava suojanaamari ja liitettävä se vaunun ilmastointijärjestelmään tai kiinnitettävä siihen henkilökohtainen suodatin. Kuvassa 101 on esitetty eräs panssarivaunun suojelujärjestelmä.

Jos ajoneuvoa ei voida ylipaineistaa, miehistön on käytettävä ABC-aseiden vaikutuspiirissä henkilökohtaista suojaruustusta.



KUVA 101 *Esimerkki taistelupanssarivaunun suojelujärjestelmästä*

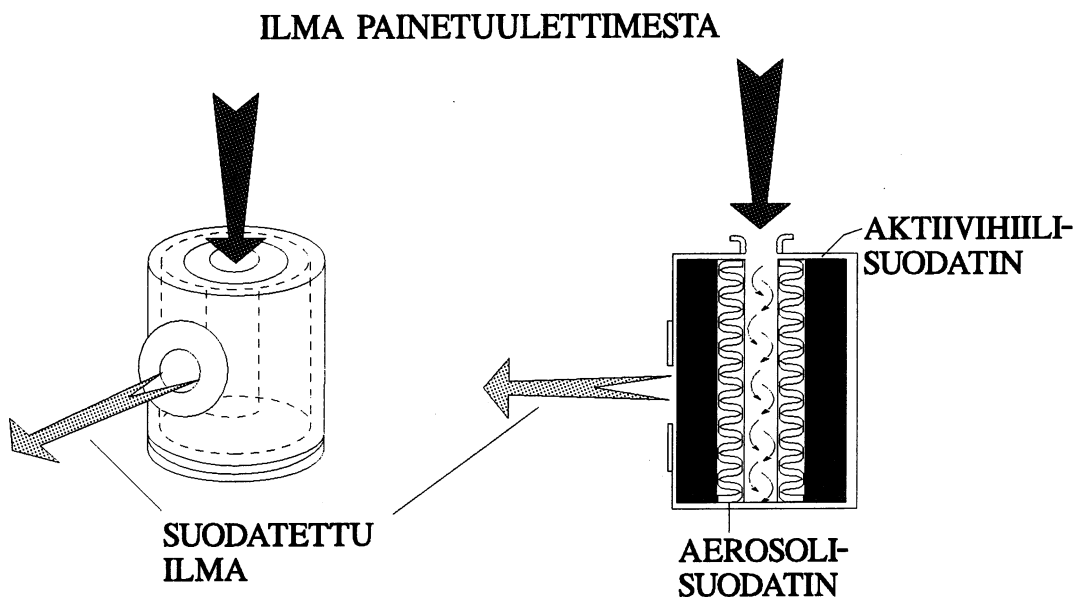
Vaunun panssarointi suojaa **gammäsäteilyltä**, mutta ei neutronisäteilyltä. Neutronisäteily aktivoi metalleja eli saa aikaan nk. jälkisäteilyn. Aktivoituvia metalleja ovat mm. rauta, nikkeli, kromi ja molybdeeni. Välttämällä helposti aktivoituvia alkuaineita voidaan jälkisäteilyn mahdollisuutta vähentää. Panssarivaunun rakennemateriaalin määräävät kuitenkin muut tekijät kuin metallin mahdollinen aktivoituminen.

Panssarivaunun ABC-suodatinjärjestelmä koostuu **keskipakopainetuulettimesta** sekä **aerosoli-** ja **aktiivihiihisuodattimesta**. Tuulettimeen kuuluva sykloni poistaa suuret hiukkaset vaunun sisään tulevästä ilmasta. Ilmanottoaukko on varustettu karkealta ainekselta suojaavalla verkolla.

Ilma voidaan johtaa tuulettimesta joko suoraan tai suodattimen kautta vaunun sisätiloihin, jolloin hermeettisesti suljetussa vaunussa syntyy 350 Pa:n eli 35 mmH₂O:n ylipaine. Sama tuuletin tuulettää myös sisätilat ammuttaessa vaunun tykillä, vaunukonekiväärillä tai rynnäkkökiväärillä. Jos ABC-uhkaa ei ole, ilma

johdetaan ABC-suodattimen ohitse. Tällä saavutetaan parempi tuuletus ja pidentetään suodattimen käyttöikää.

ABC-suodattimia on kahta tyyppiä. Toisissa suodatinratkaisussa aerosolisuodatinosa ja aktiivihiiliosa ovat erillään, toisissa ne ovat samassa suodattimessa. Jälkimmäiset suodattimet ovat lieriömäisiä radiaalisuodattimia, joissa sisempi lieriö on aerosolisuodatin ja ulompi aktiivihiilisuodatin. Ilma tulee keskipakopaine-tuulettimesta suodattimen keskelle, josta se radiaalisesti etenee aktiivihiilisuodattimen kautta vaunun sisätiloihin tai naamareihin johtaviin ilmaputkiin. Koska erilliseen aktiivihiilisuodattimeen on mahdollista panna enemmän hiiltä, saavutetaan kaksiosaisella suodatinratkaisulla parempi kaasunpidätyskykykapasiteetti. Kuvassa 102 on esitetty ABC-radialisuodattimen rakenne.

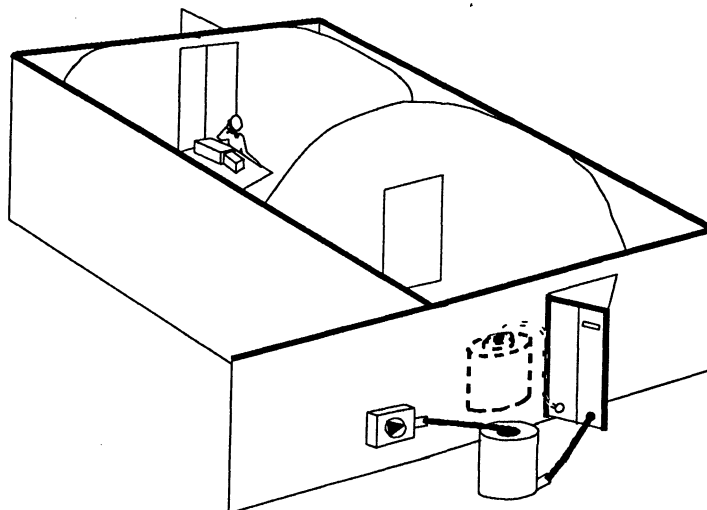


KUVA 102 ABC-radialisuodatin

Vaunun palosuojauksessa käytetään yleensä **halonisuojausta**, joka soveltuu sekä moottoripalojen että miehistötilassa tapahtuvien tulipalojen sammuttamiseen. Sammutusjärjestelmä laukeaa lämpötilan kohotessa asetetun rajan, yleensä 100 °C, yläpuolelle ja sammuttaa palon muutamassa sekunnissa. Sammuttamisen yhteydessä vaunun sisälle vapautuu kuitenkin niin paljon halonia ja myrkyllisiä kaasuja, kuten vetybromidia, vetyfluoridia tai vetykloridia, karbonylibromidia tai fosgeenia, että niistä aiheutuu terveydellinen riski, jos vaunun sisällä joudutaan olemaan pitemmän aikaa. Panssarituihin ajoneuvoihin tultaneenkin kehittämään korvaavia sammutusjärjestelmiä.

5.3.6 Muut kollektiivisuojat

Huoneesta on mahdollista rakentaa ABC-suoja tiivistämällä se esimerkiksi polyeteenimuovilla ja puhaltamalla sinne ylipaine. Muovi pidättää nesteitä ja höyryjä. Kuvassa 103 on esimerkki huonetilan muuttamisesta ABC-suojaksi.



KUVA 103 ABC-suojattu huonetila

Saastuneet varustusteet ja suojavälineet riisutaan eteistilassa. Ennenkuin henkilö voi siirtyä ABC-suojaan, hänen täytyy olla eteisessä 2-3 minuuttia, jona aikana eteisen ilma ehtii vaihtua ja samalla puhdistua.

Tyypillisen ABC-suojateltan lattiapinta-ala on noin 30 m² ja tilavuus 75 m³. Suodattimen ja puhaltimen koko mitoitetaan tilaa käyttävän henkilömäärän mukaan. Jos tilassa toimii 10 henkilöä, on ilmaa tuotettava 60 m³/h. Jos samaa ABC-suojatua tilaa käytetään pelkästään lepotilana, siihen voidaan majoittaa noin 30 henkilöä. Teltan materiaalina on PVC-muovi, joka peitetään Saranex-pressulla. Teltta antaa hyvän suojan kemiallisia ja biologisia taisteluaineita sekä säteilypölyä vastaan.

ABC-suojatuissa konteissa voi työskennellä 4-5 ihmistä. Tällaiseen tilaan riittää 25 m³/h ilmaa tuottava suodatin. Kontin tulee olla tiivis, jotta sen sisälle saadaan ylipaine. Suoja- ja käyttöominaisuuksia voidaan parantaa varustamalla kontti ABC-eteisellä tai sulkuteltalla ja peittämällä se Saranex-pressulla.

VI LUKU PUHDISTAMINEN

6.1 PUHDISTAMISEN PERUSTEET

Puhdistamisella tarkoitetaan henkilöstön, kaluston ja maaston puhdistamista säteilypölystä tai biologisista ja kemiallisista taisteluaineista. Sen päämääränä on saastuneen henkilöstön toimintakyvyn sekä välineiden, materiaalin ja tärkeimpien kohteiden käytettävyyden palauttaminen. Aika ajoin toteutettava puhdistaminen on välttämätöntä toimittaessa taisteluaineiden saastuttamassa ympäristössä.

Puhdistus on välttämätön, mutta samalla raskain ja hankalin taisteluainesuojelun osa-alue. Tämä on todettavissa varsinkin silloin, jos joudutaan puhdistamaan raskasta kalustoa, asuinrakennuksia tai maastoa. Ilman riittävää osaamista, tehokkaita puhdistusaineita ja -kalustoa sekä toimintavarmoja puhdistusmenetelmiä parhaimmatkin suojarusteet menettävät merkitystään.

Jouduttaessa taisteluainehyökkäyksen kohteeksi tai niiden vaikutusten piiriin on ensimmäinen toimenpide nopea hengityksen ja ihon suojaaminen. Iholle ja varusteisiin sekä toiminnassa tarvittavien välineiden pinnalle tulleet taisteluaineroiskeet tai pisarat sekä säteilypöly on poistettava välittömästi. Myös ilmakaasu kannattaa puhdistaa iholta ja taisteluvälineistä, vaikka puhdistamisen tarve onkin vähäisempi kuin edelläkuvatussa tilanteessa. Raskaan kaluston, rakennusten ja maaston puhdistamisen laajuus sekä tarve on harkittava tapauskohtaisesti.

6.1.1 Puhdistaminen säteilypölystä

Puhdistamisen tavoitteena on henkilökohtaisin toimenpitein pienentää kehon saamaa säteilyannosta ja siten vähentää säteilyn haitallisia vaikutuksia. Vaatteille, iholle tai kalustoon tarttunut säteilypöly **poistetaan** tavallisimmin harjaamalla, pyyhkimällä, ravistelemalla, imuroimalla tai pesemällä kohde rasvaa irrottavilla puhdistusaineilla. Pesuaineen lisäaineena voidaan käyttää metalleja kompleksoivia reagensseja kuten EDTA:n dinatriumsuolaa. Myös vaahtopesut soveltuvat säteilypölyn poistamiseen.

Säteilevän pölyn partikkelikoko on suurempi lähilaskeuma- kuin kaukolaskeuma-alueella. Tästä johtuen lähilaskeuman alueella voidaan em. varsin yksinkertaisilla puhdistustoimenpiteillä pienentää keholle aiheutuvaa säteilyrasitusta 80-90 %, kaukolaskeuma-alueella vastaavin toimenpitein aikaansaatava vähenemä on 60-80 %.

Säteilyä aiheuttavat atomit ovat pääasiassa kondensoituneet pölypartikkelien pinnalle, eivätkä ne hajoa. Puhdistuksessa pölypartikkelit siirretään **fysikaalisesti** paikasta toiseen, joten säteilyn kokonaismäärä ei vähene. Saastuneen maan siirtäminen esimerkiksi poteron ympäristöstä vähentää kuitenkin taistelijan saamaa säteilyannosta huomattavasti. Laajoja laskeuma-alueita ei voida käyttää täysipainoisesti, ennenkuin säteilyn kokonaismäärä alueella on laskenut hyväksyttäviin rajoihin.

6.1.2 Puhdistaminen biologisista taisteluaineista

Biologiset taisteluaineet ovat yleensä eläviä organismeja, joiden torjuntaan soveltuvat normaalit desinfiointi- ja puhdistusmenetelmät.

Puhdistuksen yhteydessä käytetään käsitteitä **sterilisointi, desinfiointi ja dekontaminaatio**. Sterilisoinnissa tuhoetaan kaikki mikro-organismit. Desinfiomalla tuhoetaan haitalliset mikro-organismit siten, ettei niistä aiheudu tartuntavaaraa. Dekontaminaatiossa (puhdistuksessa) haitalliset mikro-organismit poistetaan, joskus samalla myös tuhoetaan ja näin vähennetään tartuntavaaraa.

Puhdistusmenetelmät voidaan jakaa **mekaanisiin, fysikaalisiin ja kemiallisiin** menetelmiin. Puhdistusmenetelmä valitaan taudinaiheuttajan perusteella. Itiömuodossa olevat sienet ja bakteerit edellyttävät huomattavasti tehokkaampia puhdistusmenetelmiä kuin tavanomaiset bakteerit tai virukset.

Mekaanisissa puhdistusmenetelmissä taudinaiheuttaja siirretään sitä tuhoamatta sellaiseen paikkaan, jossa se ei aiheuta tartuntavaaraa. Esimerkiksi juomaveden suodattaminen on mekaanista puhdistamista. Hyvä henkilökohtainen hygienia ja yleinen puhtaus vähentävät mikrobikantaa ja pienentävät sairastumisriskiä.

Lämpökäsittely ja säteilyttäminen ovat tavallisimmat fysikaaliset puhdistusmenetelmät. Mikäli mikrobit halutaan tuhota täydellisesti, vaaditaan kuivissa oloissa kahden tunnin käsittely 160 °C:n lämpötilassa. Vähintään 120 °C:een lämpötilaan kuumennetulla höyryllä päästään samaan tehoon 20 minuutissa. Mikro-organismit itiöitä lukuunottamatta sekä useimmat virukset tuhoutuvat kiehuvässä vedessä jo 15 minuutissa.

Useimmat mikrobit tuhoutuvat auringosta maahan ulottuvan ultraviolettisäteilyn sekä kuivattavan tuulen ja lämmön yhteisvaikutuksesta. Kuvassa 104 on yhteenveto eräiden fysikaalisten puhdistusmenetelmien vaikutuksesta mikrobien torjunnassa.

Menetelmä	Itiöt	Veg bak.	Virukset	Riketsiat
Vesihöyry 120 °C, 20 min	+	+	+	+
Vesihöyry 100 °C, 15 min	-	+	(+)	+
Kuivalämpö 160 °C, 2 h	+	+	+	+
Kuivalämpö 120 °C, 30 min	-	+	+	+
UV-säteily	-	+	+	+

Selite + soveltuu
- ei sovellu

KUVA 104 Eräiden fysikaalisten puhdistusmenetelmien vaikutus mikrobeihin

Kemiallisissa menetelmissä mikro-organismit tuhoetaan nestemäisillä, kaasumaisilla tai aerosolimudossa olevilla kemikaaleilla. Puhdistusmenetelmän tehokkuuteen vaikuttavat kemikaalin ominaisuuksien ohella myös ulkoiset tekijät kuten puhdistettava kohde, lämpötila ja kemikaalin vaikutusaika.

Puhdistusaine	Pitoisuus		Torjuttava mikrobi			
	kaasu/ aerosoli g/m ³	neste %	itiöt	veg. bakteerit	virukset	riketsiat
Fenoli	-	0,5 - 3,0	-	+	±	+
Alkoholi	-	70	-	+	±	+
Kvartieeriset ammoniumyhdisteet	-	0,1 - 1,0	-	+	±	+
Klooriheksiidi	-	0,05-0,5	-	+	-	+
Kloori	-	0,1 - 5	(+)	+	+	+
Jodi	-	0,01 - 2	(+)	+	+	+
Formaldehydi	3 - 10	3 - 8	+	+	+	+
Glutaraldehydi	3 - 5	1 - 2	+	+	+	+
Eteenioksidi	400-1000	-	+	+	+	+
Beetapropionlaktoni	2 - 10	-	+	+	+	+

Selite + tehovaikutus hyvä
(+) tehovaikutus kohtalainen
± tehovaikutus vaihtelee virustyypeittäin
- tehovaikutus huono

KUVA 105 Eräiden puhdistuskemikaalien tehokkuus mikrobien torjunnassa

Itiöitä muodostamattomat mikro-organismit voidaan tuhota suhteellisen lyhyessä ajassa. Itiöiden torjunta sitävästoin vaatii tehokkaita kemikaaleja ja pitkän vaikutusajan. On huomattava, että useat mikro-organismien torjuntakemikaalit ovat haital-

lisiä ihmisille, eläimille ja joskus myös materiaaleille. Esimerkiksi vapaata klooria tuottavat kemikaalit ovat tehokkaita ja helposti saatavia desinfiointiaineita. Ne kuitenkin ruostuttavat metalleja, ärsyttävät silmiä ja saattavat aiheuttaa iho-oireita. Haittavaikutuksista huolimatta ne edelleenkin ovat yleisimpiä mikrobien torjuntakemikaaleja. Kuvasta 105 ilmenee eräiden tavallisimpien puhdistusaineiden teho mikrobien torjunnassa.

Taulukossa esitetyt tehovaikutukset perustuvat suositeltaviin vaikutusaikoihin, jotka ovat itiöille 2-4 tuntia, viruksille 5-60 minuuttia sekä vegeeratiivisille bakteereille ja riketsioille 2-10 minuuttia.

6.1.3 Puhdistaminen kemiallisista taisteluaineista

Myös kemiallisten taisteluaineiden puhdistamismenetelmät voidaan jakaa **fysikaalisiin** ja **kemiallisiin** menetelmiin. Tarkkaa jakoa näiden välillä ei voida kuitenkaan tehdä, sillä esimerkiksi fysikaalisessa puhdistuksessa tapahtuu aina myös taisteluaineiden kemiallista hajoamista. Kemialliset taisteluaineet voidaan hajottaa myös biokemiallisin menetelmin. Luonnossa kemialliset taisteluaineet hajoavat aina ennemmin tai myöhemmin. Hajoamista voidaan nopeuttaa mm. kiihdyttämällä mikrobitoimintaa.

Fysikaalisia menetelmiä ovat esimerkiksi taisteluaineiden imeyttäminen eli adsorbointi, liuottaminen, pesu, saastuneen kohdan poistaminen, haihduttaminen ja peittäminen.

Imeyttämisessä taisteluaineepisararat imeytetään huokoiseen materiaaliin. Puhdistustulos riippuu adsorboivan materiaalin kapasiteetista sitoa taisteluaineita fysikaalisin ja/tai kemiallisin voimin. Taisteluaineet kiinnittyvät adsorbenttiin yleensä heikoin fysikaalisin voimin (mm. van der Waalsin voimat). Joissain olosuhteissa, esimerkiksi lämmön vaikutuksesta, saattaa tapahtua myös osittaista taisteluaineiden irtoamista imeytysaineen pinnalta eli desorptoitumista. Mikäli adsorptio perustuu kemialliseen sitoutumiseen, taisteluaineet kiinnittyvät lähes palautumattomasti adsorbenttiin. Imeytysaineina voidaan käyttää mm.

- Fullerin maata
- bentoniittia
- silikageelia (kieselgur)
- talkkia
- titaanidioksidia
- magnesiumoksidia
- kalsiumoksidia
- TCAH:ta (tetrakalsiumalumiinihydraatti)
- vehnä jauhoa
- aktiivihiiltä sekä
- useita eri hartseja (polymeerit).

Ainetta, joka imeyttäisi kaikki taisteluaaineet tehokkaasti ja palautumattomasti ei ole olemassa. Parhaaseen tulokseen päästään erilaisilla sekoituksilla ja muuntelemalla tunnettujen imeytysaineiden kemiallista rakennetta. Esimerkiksi hopeaioneilla käsitelty Fullerin maa olisi erinomainen adsorbentti sariinille, tabuunille ja sinappikaasulle, sen massamainen valmistaminen ei kuitenkin ole taloudellisesti kannattavaa.

Sariinia ja VX-kaasua lukuunottamatta kemialliset taisteluaaineet eivät juurikaan liukene veteen. Useimpiin orgaanisiin liuottimiin ne sitävästoin liukenevat hyvin tai kohtalaisesti. Kuvasta 106 ilmenee taisteluaaineiden liukoisuus yleisimpiin liuottimiin.

Taistelua- aine	Liuotin				
	Halogeeni- hiilivedyt (mm freoni)	Hiilivedyt (mm valo- petrooli)	Alkoholit	Amiinit ammoni- akki ml.	Vesi
Typpisi- nappikaasu	+++	++	++	+	-
Rikkisi- nappikaasu	+++	++	+++	+	-
Somaani	+++	+++	++	+	-
VX	+++	+++	++	++	+
Sariini	+++	++	+++	+++	+++

Selite +++ Erinomainen liukenevuus, ++ Hyvä liukenevuus
+ Kohtalainen liukenevuus, - Huono liukenevuus

KUVA 106 *Taisteluaaineiden liukenevuus eri liuottimiin*

Kuten taulukosta on luettavissa, ovat halogeenihiilivedyt ja hiilivedyt parhaita liuottimia.

Taisteluaaineiden poistamiseen käytetään yleensä vettä, johon lisätään veden pinta-aktiivisuutta alentavia ja taisteluaaineen liukenevuutta parantavia aineita eli tensidejä. Tensidit ovat rakenteeltaan pitkäketjuisia hiilivetyjä. Niiden toinen pää on rasvaliukoinen ja toinen pää vesiliukoinen eli ne ovat ns. dipolaarisia. Taisteluaaineet tarttuvat tensidien rasvaliukoiseen osaan, jolloin ne sekoittuvat veden joukkoon. Tensidi voi olla kationiaktiivinen, anioniaktiivinen tai ioniton.

Kun veteen sekoitetaan sopivassa suhteessa liuotinta, tensidia ja tehoaineita, saadaan aikaan emulsio tai mikroemulsio. Ensimmäinen ABC-puhdistukseen tarkoitettu emulsio kehitettiin 1980-luvun alkupuolella. Siinä oli

- vettä 76 %
- tetrakloorieteeniä 15 %
- Marlowett-tensidiä 1% ja
- kalsiumhypokloriittia 8%.

Ympäristölle haitallinen tetrakloorietyleeni on nykyisin korvattu ksyleenilla. Koostumusta on muutettu siten, että se soveltuu entistä paremmin eri materiaaleille ja käytettäväksi myös talviolosuhteissa.

Emulsiopuhdistuksella on ominaisuuksia, jotka tekevät siitä ylivertaisen perinteisiin liuotin- tai vesipesuihin nähden. Emulsiossa orgaaninen liuotin on sekoittunut pinta-aktiivisen aineen välityksellä veteen hyvin pieninä pisaroina, jolloin orgaanisen liuottimen vaikuttava pinta-ala muodostuu hyvin suureksi. Taisteluaineiden liuetessa orgaaniseen liuottimeen ne tavallaan liukenevat samalla veteen. Tällöin vedessä oleva vaikuttava aine, tavallisimmin vapaa kloori, pääsee reagoimaan taisteluaineen kanssa kemiallisesti. Emulsioiden viskositeetti pidetään riittävän korkeana, jolloin ne eivät haihdu eivätkä valu maahan heti levittämisen jälkeen, vaan pysyvät kauan puhdistettavalla pinnalla. Suositeltava vaikutusaika on 20-30 minuuttia, jona aikana emulsio liuottaa ja tuhoaa yli 95 % myös sitkostetuista taisteluaineista. Viskositeetista johtuen puhdistettavan kaluston pinnalle muodostuu suojakalvo, joka estää taisteluaineiden haihtumisen. Emulsio on yleensä hellävarainen eri materiaaleille. Jos tehoaineena käytetään vapaata klooria, puhdistettavat metallipinnat saattavat kuitenkin ruostua jonkin verran.

Saastuneiden maa-alueiden puhdistaminen on hyvin työlästä ja aikaavieppää. Siihen kannattaa ryhtyä ainoastaan niissä kohteissa, jotka ovat välttämättömiä toiminnan jatkamisen kannalta. Aikaamyöten taisteluaineet joka tapauksessa hajoavat kosteuden, lämpötilan, UV-säteilyn ja mikrobitoiminnan vaikutuksesta. Saastuneen maan peittäminen tulee kyseeseen esimerkiksi teillä, mikäli puhdasta hiekkaa tai muuta maa-ainesta on helposti saatavissa.

Koska useimpien taisteluaineiden kiehumispiste on korkea (yli 150°C), on niiden haihtuvuus normaalioloissa vähäistä. Poikkeuksena on sariini, joka haihtuu nopeasti maastosta jo -10 °C ... +20 °C:n lämpötilassa.

Puhdistaminen kuumalla ilmalla tai vesihöyryllä perustuu taisteluaineiden haihduttamiseen sekä kuuman vesihöyryn liuottavaan vaikutukseen. Vesihöyryn pintajännitys ja viskositeetti ovat huomattavasti alhaisempia kuin lämpimän veden. Koska kuuman ilman tai vesihöyryn tuottaminen vaatii paljon energiaa, menetelmän käyttö on perusteltua vain lämpimissä olosuhteissa.

Alle +10 °C:ssa suurin osa puhdistuksessa käytetystä lämpöenergiasta kuluu pintojen lämmittämiseen. Tällöin varsinkin sitkostettujen taisteluaineiden puhdistustulos jää heikoksi.

Mikäli taisteluaine halutaan muuttaa vaarattomaksi yhdisteeksi, käytetään **kemiallisia puhdistusmenetelmiä**. Näitä ovat vedellä hajottaminen eli hydrolyysi sekä hapettaminen.

Puhdistamisessa ei ole suotavaa käyttää voimakkaita emäksiä (pH>12) eikä happamia liuoksia (pH<4). Happamat liukset ovat haitallisempia materiaaleille kuin emäksiset, koska ne edistävät korroosiota.

Hermo- ja sinappikaasut hajoavat puhtaassa vesiliuoksessa hyvin hitaasti. Rikkisinappikaasun teoreettinen hydrolysoitumisen puoliintumisaika vedessä on 4,5 minuuttia. Käytännössä hydrolyysi tapahtuu paljon hitaammin, koska sinappikaasu liukenee huonosti veteen. Tensidien avulla liukenevuutta saadaan parannettua, mutta tällöin sinappikaasulla esiintyy ns kapseloitumisilmiö, joka hidastaa kaasun hajoamista. Sinappikaasun hydrolyysi vesiliuoksessa on pH:sta (happamuudesta) riippumaton ensimmäisen kertaluvun substituutioreaktio. Reaktion tärkein lopputuote bis-(2-hydroksietyyli)-tioetteri on myrkytön, useat sen melko pysyvistä sivutuotteista ovat kuitenkin myrkyllisiä.

G-hermokaasujen hajoamisnopeus vedessä riippuu pH:sta. Sariinin puoliintumisaika pH 7:ssa (neutraali) on 4400 minuuttia ja pH:ssa 9,5 (lievästi emäksinen) 26 minuuttia. Happamissa liuoksissa hajoaminen nopeutuu myös, mutta huomattavasti vähemmän kuin emäksisissä liuoksissa.

VX hajoaa erittäin hitaasti pelkässä vesiliuoksessa. Puoliintumisaika pH 7:ssa on 350 vuorokautta ja pH:ssa 9,5 2 vuorokautta. On kuitenkin huomattava, että VX:n hajoamistuote on lähes yhtä myrkyllinen kuin VX itse.

Taisteluaineiden hapettaminen on nopea ja varma tapa hajottaa taisteluaineet vaarattomaan muotoon. Hapetus- ja hydrolyysireaktiot tapahtuvat usein samanaikaisesti siten, että hapettavat aineet katalysoivat hydrolyysireaktiota hajottamalla myös hydrolyysireaktion väli- ja lopputuotteita. Hapettavista reagensseista soveltuvimpia ovat vapaata klooria sisältävät aineet. Puhdistukseen soveltuvat kemikaalit sekä niiden ominaisuudet on esitetty kuvassa 107.

Puhdistusaine	Tehovaikutus	Ominaisuudet	Käyttökohteet
Natriumhydroksidi, 2-10 natriumhydroksidiliuos	pH 14, hydrolysoi taisteluaaineet	Voimakas emäs, syövyttävä, korrodoiva	Rajoitetusti kaluston puhdistukseen
Karbonaatit, 5-10 %:sina vesiliuoksina	pH 8-10, hydrolysoi taisteluaaineet	Lievästi emäksinen, ei sovellu VX:lle, hajoamistuote yhtä myrkyllinen kuin VX	Kaluston ja ihon sekä henkilökohtaisten varusteiden puhdistamiseen
Alkoholaatit, tavallisimmin 30 % NaOH ja 70 % alkoholia	Hydrolysoi taisteluaaineet	Voimakkaita, emäksiä, syövyttävät	Kaluston puhdistukseen
DS-2/NATO, sis 2 % NaOH 20 % metoksetanoli, 78 % dietyylitriiamiini	pH > 14 hydrolysoi taisteluaaineet, vaikutusaika 30 min	Muodostaa superemäksen, syövyttävä ja myrkyllinen	Kaluston puhdistukseen
Natriumfenolaatti tai -kresolaatti laimeana liuoksena	Hydrolysoivat sariinin ja somaenin, mutta ei sinappikaasua	Lievästi emäksisiä	Ihon puhdistukseen
Natrium- ja kalsiumhypokloriitti tai -kloriitti, kloorikalkki	Hapettavat taisteluaaineita emäksisissä olosuhteissa	Syövyttävät ja korrodoivat materiaaleja	Kaluston puhdistukseen. Kloorikalkki myös ihon puhdistukseen imeytysaineiden kanssa
Kloramiinit - monokloramiinit B ja T - dikloramiinit B ja T - Na-N,N-dikloori-isosyanoureaatti (Fisclor) Käyttö laimeina vesiliuoksina	Hapettavat taisteluaaineita emäksisissä olosuhteissa, Fisclor myös neutraalissa tai lievästi happamassa liuoksessa	Sisältää korrodoivaa vapaata klooria	Ihonpuhdistukseen soveltuvia
Otsoni, käyttö kaasumaisena	Hapettaa taisteluaaineet	Suurina pitoisuuksina myrkyllinen	Soveltu erityiskohteisiin, veden ja maan puhdistamiseen rajoitetusti
Natriumperboraatti pulverina tai vesiliuoksena	Hapetin, katalysoi taisteluaaineiden hydrolyysia	Heikko happo	Soveltuu ihon puhdistukseen
Permanganaatti	Voimakas hapetin		Soveltuu ihon puhdistukseen
Otsoni kiinteänä KHSO ₅	Voimakas hapetin happamissa liuoksissa	Soveltuu sinappikaasun ja VX:n hapettamiseen	Kaluston ja ihon puhdistukseen
RD-2, maaöljypohjainen sis kalimhydroksidia (venäl)	pH n 13, hydrolysoi taisteluaaineet	Emäksinen, syövyttävä, sisältää haitallisia liuottimia	Kaluston puhdistukseen
SF-2U (venäl)	Likaa irrottava saippualliuos	Lievästi emäksinen	Säteilypölyn poistamiseen kaluston pinnoilta
Puhdistusliuos (venäl), kesäliuos sisältää 10 % NaOH, 25 % monoetanoliamiinia (MEA) ja 65 % vettä. Talviliuos 2 % NaOH, 5 % MEA, 93 % ammoniakki + vesi	pH 14, hydrolysoi G-kaasut, tehoa heikommin sinappikaasuun sekä V-kaasuihin	Voimakas emäs, syövyttävä, amoniakin määrä talviliuoksessa riippuu pakkasesta	Kaluston puhdistamiseen

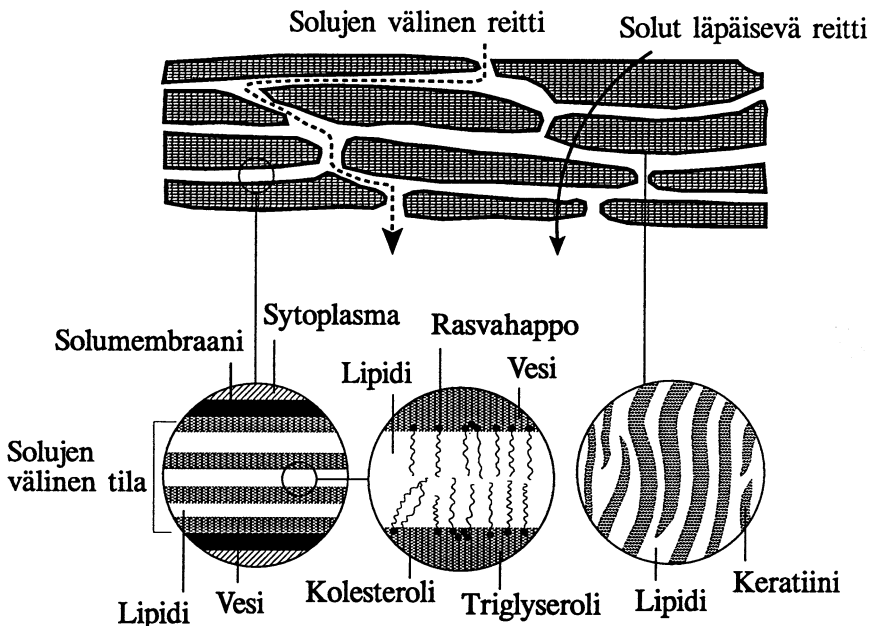
KUVA 107 Kemiälliseen puhdistukseen soveltuvia kemikaaleja ja niiden ominaisuuksia

Ensimmäiset havainnot organofosforiestereiden yhdisteiden biohajoamisesta tehtiin jo vuonna 1946. Useilla bakteereilla, mm. *Pseudomonas diminuta* ja *flavobacterium sp.*, on luontainen kyky hajottaa hermokaasuja. Näistä bakteereista on eristetty organofosforiyhdisteitä hajottava entsyymi. Entsyymiä tuottava geeni on kloonattu *Escherichia coli* bakteeriin, jolloin entsyymien tuottoa on saatu lisättyä moninkertaiseksi. Entsyymien heikkoutena on niiden huono kestävyys luonnossa, koska lämpötila- ja kosteusmuutokset sekä ympäristökemikaalit inhiboivat niitä.

6.2 HENKILÖPUHDISTAMINEN

Henkilöiden puhdistaminen on aina kaikkein tärkeintä. Mikäli iholle, vaatteille tai kosketuspinnolle on joutunut taisteluaainepisaroihin, ne on välittömästi käsiteltävä puhdistuspulverilla tai pyyhittävä pois. Mitä nopeammin pisarat saadaan pois ihon pinnalta, sitä lyhyemmäksi jää altistumisaika ja sitä pienemmiksi jäävät myrkytysoireet. Häätätilanteissa puhdistamiseen voidaan käyttää mitä tahansa nopeasti saatavilla olevia aineita kuten talkkia, vehnä jauhoja, saippuaa ja vettä.

Ihmisen iho koostuu kolmesta kerroksesta, jotka ovat orvaskesi, verinahka sekä ihonalainen kudos. Ihon pintaa peittää talirauhasten erittämä rasvakerros, joka koostuu pääasiassa vahoista ja kolesterolista.



KUVA 108 Mikroreitit taisteluaineiden imeytymiselle sarveiskerroksen läpi kohti verenkiertoa

Orvaskesi rakentuu viidestä solukerroksesta, joista uloin on sarveiskerros eli marraskesi. Sarveiskerros muodostaa suurimman esteen taisteluaineiden imeytymiselle ihon läpi ja toisaalta veden liialliselle haihtumiselle. Kuvasta 108 nähdään, miten molekyylit ja ionit kulkeutuvat sarveiskerroksen läpi. Poolittomat eli vesipakoiset molekyylit kulkeutuvat solujen välistä kohti verenkiertoa, kun taas pooliset eli vesihakuiset yhdisteet kulkeutuvat solujen läpi. Täten poolittomat yhdisteet, joita useimmat taisteluaineet ovat, pääsevät nopeasti imeytymään verenkiertoon.

Esipuhdistuksen tavoitteena on taisteluaineiden vaikutusten kohteeksi joutuneiden henkilöiden toimintakyvyn säilyttäminen siihen asti, kunnes on mahdollista järjestää täydentävä puhdistus.

Sotilaiden henkilökohtaiseen suojarustukseen kuuluu esipuhdistuspakkaus, jonka sisältämällä puhdistusaineilla ja -välineillä voidaan vähentää ihon pinnalle ja varusteisiin joutuneiden biologisten tai kemiallisten taisteluaineiden vaikutusta. Tunnetuimmat esipuhdistukseen soveltuvat pulverit, niiden koostumukset ja vaikutusmekanismit on esitetty kuvassa 109.

Puhdistuspulveri	Koostumus	Käyttö ja vaikutus
Dutch Powder	Kloorikalkki 65 % Magnesiumoksidi 28 % Molekyyliseula 6 % Aerosil 1 %	Soveltuu BC-taisteluaineille, imeyttää ja hajottaa. Käytetään sirottamalla pulveria kohteeseen, riittävyys 60 g/4-6 m
M 291 (USA)	Grafitoitu hartsi, johon on imeytetty happo- ja emäsryhmiä	Soveltuu C-taisteluaineille, imeyttää ja hajottaa. Käyttö puhdistustyynynä, riittävyys 2 tyynyä/1 puhdistuskerta (henkilö + varusteet)
Silikaattipohjaiset - Bentoniitti - Fullerin maa - Piimaa (erilaisia)	Savipohjaisia monikerrosmineraaleja, silikaattien sekoituksia. Ominaisuuksia on tehostettu kemiallisella käsittelyllä.	Soveltuvat C-taisteluaineiden imeyttämiseen. Pulveri ei hajota taisteluaineita, joten käytetty pulveri on ongelmajätettä.
S-67 (Suomi)	Pesuainepohjainen, sisältää pinta-aktiivisia ja likaa irrottavia aineita yli 80 %.	Käyttö yhdessä veden kanssa. Irrottaa BC-taisteluaineet pinnalta veden avulla. Hajottaa jonkin verran C-taisteluaineita.

KUVA 109 *Ihonpuhdistukseen soveltuvat puhdistuspulverit ja niiden ominaisuudet*

Nestemäiset fenolaattien ja kresolaattien alkoholiliuokset puhdistavat tehokkaasti hermokaasuja. Sinappikaasujen puhdistamiseen soveltuvat parhaiten kloramiinien alkoholiliuokset. Sellaista puhdistusliuosta ei kuitenkaan ole, joka tehoaisi kaikille taisteluaineille. Tästä ja osittain myös huonosta säilyvyydestä ja käyttö-

ominaisuuksista aiheutuvista ongelmista johtuen henkilökohtaisessa esipuhdistuksessa ei nestemäisiä puhdistusliuoksia enää juurikaan käytetä.

Polyetyleeniglykolipohjaiset voiteet, joissa reaktiivisena komponenttina on kalium 2,3-butadienimono-oksimaatti, antavat ennalta käytettyinä suojaa kemiallisia taisteluaaineita vastaan. Niitä voidaan käyttää myös lääkinnässä tehostamaan taisteluaaineiden hajottamista ihon syvemmissä kerroksissa. Voiteet ovat tehokas lisä puhdistusjärjestelmään, mutta ainoaksi esipuhdistusmenetelmäksi ne eivät sovelu. Kehitteillä on tehokkaita, selektiivisesti toimivia ihon puhdistuspulvereita, jotka hajottavat taisteluaaineita entsyymaattisesti.

Maastokaasuista ja biologisista taisteluaaineista saastuneille joukoille on mahdollisimman nopeasti järjestettävä täydentävä puhdistus. Täydentävä puhdistus suoritetaan aina puhtaalla alueella ja sen järjestämisestä vastaa tavallisimmin suojelekomppania. Puhdistukseen kuuluu peseytyminen suihkussa sekä varusteiden puhdistus tai niiden vaihtaminen. Peseytymisen yhteydessä käytetään tarvittaessa ihonpuhdistuspulvereita. Mikäli joukon saama säteilyannos nousee lähelle käskettyä arvoa, on joukko siirrettävä pois laskeuma-alueelta ja järjestettävä sille täydentävä puhdistus.

6.3 VARUSTEIDEN JA KALUSTON PUHDISTAMINEN

Joukkojen mahdollisuudet varusteiden, välineiden, aseiden ja ajoneuvojen **esipuhdistamiseen** ovat rajoitetut. Tavoitteena on, että saastuneella alueella toimiva joukko pystyy puhdistamaan välineensä siten, että niitä voidaan käyttää suojaruustuksessa. Henkilökohtainen ase, työväline, viestiväline tms. puhdistetaan suojanaamarilaukussa (vast) olevilla puhdistusvälineillä. Raskaat aseet ja ajoneuvot puhdistetaan ase- ja ajoneuvokohtaisilla puhdistusvälineillä ja samoilla puhdistusaineilla, joita käytetään täydentävässä puhdistuksessa.

Varusteiden täydentävä puhdistus voidaan tehdä joko keittämällä niitä 80-90 °C:ssa vedessä, johon on lisätty BC- taisteluaaineita hajottavia esim. vapaata klooria sisältäviä puhdistusaineita, tai käsittelemällä niitä kuumalla ilmalla tai vesihöyryllä.

Puhdistamiseen voidaan käyttää myös nk. puhdistuskontteja. Yhteen konttiin voidaan sijoittaa lähes sadan sotilaan vaatteet, kypärät, suojaasut, suojanaamarit, saappaat ja muut varusteet. Kontin oma voimalähde kehittää puhdistuksessa tarvittavan lämmön, joka riippuu siitä, miten pahasti ja mistä aineesta varusteet ovat saastuneet. Tavallisimmin riittää noin 110°C:n lämpötila, jota ylläpidetään viiden tunnin ajan.

Elektronisten ja optisten laitteiden puhdistamiseen soveltuu parhaiten käsittely freonilla. On kuitenkin huomattava, että freonit vahingoittavat ympäristöä.

Säteilypöly ja biologiset taisteluaineet tarttuvat **kaluston** pinnoille lähinnä pölyn tai lian välityksellä. Kemiaalliset taisteluaineet, varsinkin sitkostatetut ja seosmuodossa olevat, tarttuvat huokoisille pinnoille erittäin lujasti ja tunkeutuvat jossain määrin myös materiaalin sisälle. Mikäli taisteluaine on ehtinyt imeytyä maalipinnan alle, tarvitaan tehokkaita puhdistusaineita ja -menetelmiä, joilla imeytynyt taisteluaine voidaan tehdä vaarattomaksi. Muussa tapauksessa kalustoa joudutaan käyttämään suojavarustuksessa niin kauan, kunnes todetaan, ettei taisteluainetta enää haihdu kohteesta.

Raskaan kaluston täydentävä puhdistaminen tapahtuu niinikään suojelukomppanian perustamalla puhdistuspaikoilla. Nykyaikaiset puhdistuskalustot ovat nopeasti toimintakuntoon saatettavia, ajoneuvoasenteisia ja vähän työvoimaa vaativia.

Puhdistettaessa maastokaasuista tai biologisista taisteluaineista saastuneita ajoneuvoja tulee erityistä huomiota kiinnittää ovien kahvoihin ja reunuksiin, astinlautoihin sekä niihin kohtiin, joiden kanssa henkilöstö joutuu tekemisiin. Alustan tai pyöräkoteloiden puhdistus ei aina ole tarpeellista, koska ne puhdistuvat jonkin verran jo siirtymisen aikana. Alustassa olevat taisteluainemäärät ovat yleensä myös melko pieniä ja pölyn ja lian peitossa, jolloin niiden haihtuminen on vähäistä. Säteilypölystä saastuneen ajoneuvon sisätilat on puhdistettava huolellisesti.



KUVA 110 *Liutinaineen levittäminen*

Perinteisessä puhdistusmenetelmässä ajoneuvo huuhdellaan liasta pelkällä vedellä. Sen jälkeen levitetään liuotainaine, esimerkiksi valopetrooli, jonka annetaan vaikuttaa 5-15 minuuttia. Seuraavaksi poistetaan liuotainaine pesuaineen avulla, jonka jälkeen seuraa vesihuuhtelu ja ajoneuvon tarkastus. Edellä kuvattu menetelmä soveltuu myös säteilypölyn poistamiseen. Tällöin ei liuotainainetta välttämättä tarvita. Mikäli pesun yhteydessä käytetään vähintään 125 °C:sta vesihöyryä tai pesuveden joukkoon lisätään hypokloriittia, menetelmä soveltuu myös B-taistelua-aineista puhdistamiseen. Kuvassa 110 levitetään liuotinta.

Uusissa pesumenetelmissä käytetään korkeapainetta, emulsioaineita ja lämpöä. Kärcherin menetelmässä ajoneuvo huuhdellaan ensin korkeapaineella kylmällä vedellä. Sen jälkeen levitetään emulsio, jonka annetaan vaikuttaa 15-20 minuuttia. Lopuksi ajoneuvo huuhdellaan korkeapaineella kuumalla vedellä. Paras tulos saavutetaan, jos emulsio voidaan levittää heti saastumisen jälkeen. Tällöin taistelua-aineet jäävät emulsion muodostaman kalvon alle, jolloin niiden haihtuminen on vähäistä ja siitä aiheutuva myrkytysvaara pienempi. Kuvassa 111 on puhdistusajoneuvo, joka soveltuu sekä emulsion levittämiseen että huuhteluun.



KUVA 111 *Puhdistusajoneuvo*

6.4 MAASTON JA ERITYISKOHTEIDEN PUHDISTAMINEN

Taisteluaineiden käytön seurauksena myös maasto saastuu laajasti. Laskeuma-alue voi olla jopa satoja neliökilometrejä, jolloin koko alueen puhdistaminen on mahdotonta. Resurssit tuleekin keskittää sellaisten maastonkohtien puhdistamiseen, jotka ovat välttämättömiä omalle toiminnalle. Näitä ovat esimerkiksi lentotukikohdat, tärkeät risteysalueet sekä johto- ja huoltokeskukset.

Maastokaasusta saastuneen tien puhdistamiseen voidaan käyttää nokkapumpulla varustettua säiliöautoa, jolla tien pinnalle levitetään kloorikalkki- tai laimeaa hypokloriittiliuosta. Säteilypölyn poistamiseen riittää pelkkä vesi ja pesuaine. Pesuaine irrottaa säteilypölyä keränneet rasva- ja nokihiukkaset tien pinnasta ja vesi kuljettaa ne ojiin tai viemäriin.

Maastokaasusta saastunut alue voidaan peittää ensin kloorikalkkilietteellä ja sen jälkeen puhtaalla täytehiekalla tai muulla maa-aineksella.

Kiitoradan tai tukikohdan puhdistamiseen soveltuu emulsio tai kloorikalkkiliete. Lentokone, laivan kansi ja muu suurehko kohde voidaan puhdistaa emulsiopuhdistusaineella. Säteilypöly puhdistetaan vedellä ja puhdistusaineilla.

Puhdistusjärjestelmä voidaan rakentaa ajoneuvoihin ja aluksiin jo ennakolta. Uusimpien alusten omasuojajärjestelmä suojaa laivaa laskeumilta ja taisteluaineilta sekä puhdistaa kannen taisteluaaineroiskeista. Järjestelmään kuuluvat vesisuihkut muodostavat suojaverhon laivan päälle, mikä estää taisteluaineen pääsyn laivan kannelle. Suihkuista tuleva vesi huuhtelee kantta, mikä vähentää täydentävän puhdistamisen tarvetta. Kuvassa 112 on esitetty suojasuihkujen toiminta.

Taisteluaineita hajottavien entsyymien ja mikrobin käyttö saattaa lähivuosina tulla varteenotettavaksi puhdistusmenetelmäksi maaston ja suurten kohteiden puhdistuksessa.



KUVA 112 *Suojasuihkut toiminnassa*

VII LUKU

SUOJELULÄÄKINTÄ

ABC- ja polttoaseiden aiheuttamiin vammoihin ja sairauksiin annettavasta ensiavusta ja sairauksien hoidosta käytetään nimitystä **suojelulääkintä**. Ensiavun tarkoituksena on lievittää potilaan kipuja ja luoda edellytykset jatkohoidolle ja potilaan selviytymiselle. Varsinaiset hoitotoimenpiteet ovat usein samoja, joita käytetään tavanomaisten tautitilojen hoidossa. Tärkeintä on mahdollisimman nopeasti kyetä määrittämään vamman tai taudin aiheuttaja oikean hoidon antamiseksi sekä hoitohenkilöstön turvallisuuden varmistamiseksi. Viimemainittu edellyttää lähes aina potilaan puhdistamista ennen hoidon aloittamista sekä joissakin tapauksissa lääkintähenkilöstön työskentelyä suojaruustuksessa.

7.1 SÄTEILYSAIRAUKSIEN ENSIAPU JA HOITO

Ensiavulla ei ole vaikutusta ulkoisen säteilyaltistuksen aiheuttaman säteily-sairauden kehittymiseen. Ensimmäiset toimenpiteet tähtäävätkin altistuksen nopeaan lopettamiseen, säteilyyn liittymättömien vammojen ensihoitoon sekä saadun annoksen suuruuden määrittämiseen. Karkea annosarvio tehdään oireiden ja onnettomuustilanteen perusteella, tarkka arvio saadaan seuraamalla veren kuvan kehittymistä. Saadun annoksen suuruudella on olennainen merkitys potilaan jatkohoidon ja selviytymisen kannalta.

1-2 Gy:n kokonaisannoksilla säteily sairaus jäänee lieväksi ja toipuminen tapahtuu ajan kuluessa ilman hoitoakin. Annosvälillä 2-6 Gy voidaan korkeatasoisella **hoidolla** vaikuttaa potilaan selviytymiseen. Potilas on eristettävä mahdollisimman puhtaaseen ympäristöön. Samalla on huolehdittava nestetasapainosta sekä annettava verensiirtoja, lähinnä trombosyyttejä, ja antibioottilääkitystä. Ensimmäiset 6 viikkoa ovat kriittisintä aikaa. Tänä aikana suoliston limakalvo ehtii toipua ja luuydin alkaa tuottaa uusia soluja. Valkosolujen ja verihiutaleiden määrä palautuu normaalitasolle parissa kuukaudessa. Punasolut palautuvat hitaammin, joten anemia saattaa kestää puolikin vuotta.

Jos lyhyessä ajassa saatu kokonaisannos on yli 6 Gy:n ja luuydin on täysin tuhoutunut, ovat potilaan selviytymismahdollisuudet lähinnä teoreettiset. Kyseeseen tulee **luuytimen** siirto, josta saadut kokemukset eivät ole olleet kovinkaan rohkaisevia. Mikäli pienikin osa potilaan omaa luuydintä on säilynyt vahingoittumattomana, saattaa se vähitellen korvata tuhoutuneen luuytimen ja potilas voi selviytyä, vaikka keskimääräinen annos olisikin ollut yli 6 Gy:ta.

Säteilevän aineen saastuttama **iho** on puhdistettava mahdollisimman nopeasti ja pestävä runsaalla lämpimällä vedellä ja saippualla. Useimmissa tapauksissa edellämainittu puhdistus on riittävä. Kovien harjojen käyttöä on vältettävä, jotta säteilevät hiukkaset eivät pääsisi syntyvien ihovaurioiden kautta aiheuttamaan sisäistä kontaminaatiota. Mikäli iho vaatii perusteellisempaa puhdistusta, se tehdään sairaalahoitossa.

Leukemian ja muiden myöhemmin ilmenevien syöpäsairauksien hoitoon käytetään lääkkeitä, joista esimerkkinä mainittakoon sytostaatit, sekä leikkaus- ja sädehoitoa.

7.2 B-ASEIDEN AIHEUTTAMIEN SAIRAUKSIEN ENSI- APU JA HOITO

Biologisen aseiden aiheuttamia sairauksia hoidetaan kuten luonnollisesti esiintyviä infektioitauteja. Hoidossa käytetään taudin aiheuttajaan vaikuttavia ja potilaan yleis-tilaa kohentavia lääkkeitä. Yleishoito riippuu taudin oireista. Jos potilaalla on korkea kuume, hänelle voidaan antaa kuumelääkettä.

Pitkä oireeton aika ja yleensä lievät alkuoireet vähentävät etulinjassa annettavan ensiavun tarvetta. Potilaat ehditään, mikäli taistelutilanne sallii, evakuoida joukkosidontapaikalle tai kenttäsaaraalaan. Ensiapu- ja ensihoitotoimina kyseeseen tulevat potilaan puhdistaminen, lepo, ripulitapauksissa korvaavan nesteen antaminen joko suun kautta tai suoneen sekä lääkehoidon mahdollisimman nopea aloittaminen.

Taudinaiheuttajan tuhoamiseen käytetään **antibiootteja** ja kemiallisesti valmistettuja lääkeaineita eli **antimikrobilääkkeitä**, joita on erityisesti bakteeritauteja vastaan. Alkueläin- ja sienitautien hoitoon soveltuvien lääkkeiden valikoima on suppeampi. Vain harvat lääkkeet tehoavat virusten aiheuttamiin sairauksiin. Niiden hoidossa voidaan kuitenkin rajoitetusti käyttää hyväksi ihmisen tai eläimen verestä saatavaa **immunoglobuliinia**. Paras teho saavutetaan, jos immunoglobuliini on sellaisen henkilön verestä, joka on sairastanut kyseisen taudin äskettäin. Samaa hoitoa voidaan käyttää myös eräissä toksiinimyrkytyksissä, joissa se voi olla ainoa spesifinen hoitomenetelmä. Kuvassa 113 on esitetty eräitä B-agenssien aiheuttamien tautien hoidossa käytettyjä lääkkeitä.

Lääke	Tauti
Penisilliini	Mm. pernarutto
Tetrasykliinit	Mm. rutto, tularemia, riketsiat
Streptomysiini Gentamysiini	Rutto, tularemia
Fluorokinolonit	Lavantauti, pernarutto ym.

KUVA 113 Tärkeimmät B-asetorjunnassa käytettävät lääkkeet

7.3 KEMIALLISTEN TAISTELUAINEIDEN AIHEUTTA- MIEN VAMMOJEN ENSIAPU JA HOITO

Hengityselimien ja paljaiden ihonkohtien nopea suojaaminen sekä yhden - kahden minuutin kuluessa suoritettava esipuhdistaminen vähentävät oleellisesti kemiallisten taisteluaaineiden aiheuttamia vammoja.

Ensiapu ja lääkehoito riippuvat siitä, minkä taisteluaineen kohteeksi potilas on joutunut, mitä kautta altistuminen on tapahtunut ja kuinka suuri taisteluainepitoisuus on ollut. Varsinaisen hoidon aloittamiseen tarvitaan ammattitaitoista lääkintähenkilöstöä, joten se on mahdollista vasta joukkosidontapaikalla.

Taistelukaasuista saastuneet potilaat tulee puhdistaa ennen varsinaisen hoidon aloittamista. Tämä edellyttää puhdistuspaikan perustamista hoitopaikan yhteyteen sekä suojelu- ja lääkintäjoukkojen yhteistoimintaa.

7.3.1 Hermokaasumyrkytys

Jos **hermokaasua** on saatu hengitysteiden kautta, ilmenevät myrkytysoireet ensimmäisten minuuttien aikana. Ihon kautta saadun myrkytyksen oireet ilmenevät muutamien kymmenien minuuttien kuluessa. Hermokaasumyrkytyksen kliininen kuva voidaan jakaa kuvassa 114 esitetyllä tavalla kolmeen asteeseen.

Alkuoireina ovat pupillien supistuminen, runsas syljen muodostuminen, kyynelvuoto, näköhäiriöt, lihasten värinä ja nykiminen sekä yskiminen, joka johtuu limanerityksen lisääntymisestä keuhkoputkissa. Jos entsyymitaso laskee noin 10 %:iin normaalista, kyseessä on hengenvaarallinen myrkytystila, joka ilmenee hengityksen vaikeutumisenä tai pysähtymisenä sekä lihaskouristuksina. Kaikki oireet eivät välttämättä esiinny samalla potilaalla.

Aste	Annos	Latenssi-aika	Kesto	Oireet
I Lievä myrkytys	1/10 tappavasta annoksesta	10 - 15 minuuttia	1-5 vuorokautta	Pupillien supistuminen, vuoto nenästä, voimakas syljen erittyminen, päänsärky, hengitysvaikeudet, puristava tunne rinnassa, ruokahaluttomuus, ahdistuneisuuden ja tuskaisuuden tunne, hikoilu, unettomuus, keskittymiskyvyn puute
II Keskin- kertainen myrkytys	1/5 tappavasta annoksesta	5 minuuttia	1 - 2 viikkoa	Yllämainitut oireet voimakkaampina, lisäksi oksentaminen, sitkeän vaahtomaisen liman yskiminen, lihaskouristukset, epäsäännöllinen hengitys
III Vaikea myrkytys	1/3 - 1/2 tappavasta annoksesta	Ei lainkaan tai aivan lyhyt	1 - 12 tuntia	Oireet kuten yllä, mutta ilmenevät nopeammin, pupillit eivät reagoi, paineen tuntu silmissä, voimakkaat kouristukset, halvaantuminen, kuolema

KUVA 114 *Hermokaasumyrkytyksen kliininen kuva*

Ensiapuna hermokaasumyrkytyksessä käytetään jokaisen taistelijan varustukseen kuuluvaa vastalääkkeenantolaitetta. Lääke, joka sisältää 2 mg atropiinia ja 175 mg obidoksiimia, annetaan syvälle reisilihakseen. Laite ja sen käyttö on esitetty kuvassa 115.



KUVA 115 *Vastalääkkeenantolaite painetaan voimakkaasti reittä vasten, laukaitaan ja pidetään paikallaan 10 sekunttia*

Autoinjektorilla annetun ensiavun jälkeen lääkintähenkilöstö jatkaa hoitoa samoilla lääkkeillä. Atropiinia voidaan joutua antamaan jopa 15 minuutin välein. Obidoksiimia annetaan yleensä vain 1-2 kertaa 2-4 tunnin välein. Lihaskouristuksien ehkäisyyn käytetään diatsepaamia pistoksina. Hengitysvaikeuksia helpotetaan antamalla tekohengitystä esimerkiksi puhalluspalloilla. Suojälääkkeenä hermokaasumyrkytystä vastaan voidaan käyttää pyridostigmiini-tabletteja, jotka nautitaan etukäteen.

Vakavassa myrkytystilassa potilaan hengitys vaikeutuu tai pysähtyy kokonaan. Tekohengitys on tällöin tärkein potilasta auttava toimenpide. Koska auttajan tulee varoa omaa saastumistaan, on puhalluspallo- tai Holger-Nielsenin menetelmä ainoa tapa antaa tekohengitystä saastuneella alueella. Saastuneella alueella oltaessa ei omaa suojanaamaria saa riisua.

7.3.2 *Sinappikaasumyrkytys*

Sinappikaasumyrkytystä vastaan ei ole tehokasta ensiapu- eikä hoitomuotoa. Näin ollen sinappikaasun pääsyn estäminen iholle, hengitys- ja ruuansulatuselimiin sekä sinappikaasupisaroiden nopea poistaminen paljaalta iholta ja silmistä ovat parhaita keinoja lievittää myrkytystä. Sinappikaasuhyökkäyksen kohteeksi joutuneille on aina järjestettävä täydentävä puhdistus.

Sinappikaasumyrkytyksen oireet ilmenevät vasta tuntien jopa vuorokausien kuluessa. Lievissä myrkytystapauksissa potilaalla on ihon punotusta ja kirvelyä, yskää, nuhaa ja voimakasta kyynelvuotoa, jos myrkyä on mennyt silmiin. Lievät vammat eivät vaadi jatkohoitoa.

Vakavan sinappikaasumyrkytyksen oireita ovat silmien tulehtuminen, näkökyvyn menetys, iholle muodostuvat rakkulat, pahoinvointi sekä hengitysvaikeudet. Haavat ja rakkulat voivat tulehtua ja märkiä, joten niiden hoito on vaikeaa ja vie jopa kuukausia. Pahimmillaan myrkytys voi johtaa kuolemaan. Vielä vuosia altistumisen jälkeen voi ilmetä häiriöitä hermostossa, silmissä ja ruuansulatuselimissä.

Myrkytyksen yleisoireita voidaan lieventää mahdollisimman nopeasti, mieluiten tunnin kuluessa altistumisesta, annettavalla natriumtiosulfaatilla tai asetyylikysteiinillä. Potilaan myöhempi hoito muistuttaa palovammojen hoitoa. Tulehduksia vastaan käytetään antibiootteja.

7.3.3 *Syaanivety*

Syaanivetymyrkytyksen oireet alkavat hyvin nopeasti altistumisesta. Lievän myrkytyksen oireita ovat huimaus, päänsärky, rauhattomuus ja väsymys. Mikäli oireet menevät ohi 5-10 minuutissa, ei potilas yleensä tarvitse hoitoa.

Jos syaanivetyypitoisuus on ollut korkea, potilaan hengitys aluksi voimistuu, jonka jälkeen heikkenee ja lopulta lakkaa 1-2 minuutin kuluessa altistumisesta. Samalla ilmenee lihaskouristuksia. Ongelmana on nopea ensiavun ja hoidon tarve. Tehokasta hoitoa kykenee antamaan ainoastaan lääkintähenkilöstö, koska lääkkeet annetaan laskimoon.

Ensiapulääkkeenä voidaan käyttää amyylinitriittiä esimerkiksi siten, että kämmenelle tai harsotaitokseen rikotaan 1-2 ampullia ja potilas hengittää sitä. Mikäli mahdollista annetaan potilaalle lisäksi 50 % happea.

Syaanivetymyrkytyksen lääkehoitona käytetään 4-dimetyyliaminofenolia (4-DMAP) ja natriumtiosulfaattia. Amyylinitriitti ja 4-dimetyyliaminofenoli aiheuttavat ns. methemoglobiinimuodostuksen, joka puolestaan sitoo syanidi-ionin ja estää myrkyvaikutuksen. 4-DMAP:n vaikutus on nopea, mutta ei pysyvä, minkä vuoksi lääkitystä on jatkettava antamalla natriumtiosulfaattia laskimoon noin tunnin kuluessa.

7.3.4 Fosgeenimyrkytys

Fosgeeni samoin kuin **kloori** vaurioittaa keuhkoja. Keuhkoissa muodostuu nestettä, joka vaikeuttaa potilaan hengitystä ja saattaa johtaa tukehtumiseen. Tämä nk. keuhkopöhö kehittyy verraten hitaasti, tunnin-kahden vuorokauden kuluessa altistumisesta. Ensioireet saattavat olla hyvin lieviä, joten hoidon tarpeen arviointi on vaikeaa.

Ensiapuna fosgeenimyrkytyksissä käytetään lepoa. Potilas tulee saattaa nopeasti lääkehoitoon, jotta keuhkopöhön syntyminen voidaan estää. Lääkehoitona annetaan keuhkopöhön ehkäisemiseksi inhaloitavaa kortikosteroidia. Käytännössä hoito voidaan aloittaa joukkosidontapaikalla.

7.3.5 Kyynelkaasut

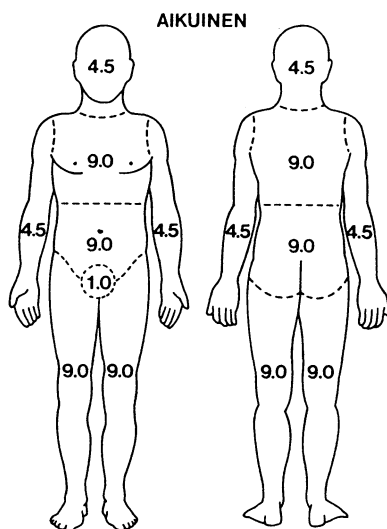
Kyynelkaasut, kuten CS, CN ja CR, aiheuttavat ärsytystä silmissä ja ylähengitysteissä. Suurten pitoisuuksien hengittäminen saattaa johtaa keuhkopöhöön.

Ensiaputoimena tavallisesti riittää siirtyminen kyynelkaasun vaikutusalueelta raittiiseen ilmaan ja kasvojen kääntäminen tuulta vasten. Silmät huuhdotaan vedellä. Mikäli potilaalla on voimakasta ihon ärsytystä, myös iho tulee pestä.

Lääkehoito ei yleensä ole tarpeen. Jos altistuminen on ollut paha, jonka oireena on esimerkiksi useita tunteja jatkunut yskä, on potilas syytä siirtää lääkintähenkilöstön tarkkailtavaksi.

7.4 PALOVAMMOJEN ENSIAPU JA HOITO

Palovammat jaetaan I, II ja III asteen vammoihin. Hoidon kannalta on tärkeää, kuinka laajalta alueelta iho on palanut ja, onko kysymyksessä pinnallinen vai syvä palovamma. Vamman syvyys voidaan määrittää varmuudella vasta 2-3 vuorokauden kuluttua vammautumisesta. Alueen laajuus voidaan arvioida kuvan 116 perusteella.



KUVA 116 Palovammojen laajuuden arviointi ns. yhdeksän prosenttien sääntöä käyttäen

I asteen palovamma ilmenee ohimenevänä punotuksena iholla eikä se aiheuta merkittävää hoidon tarvetta. II asteen palovamma ulottuu syvemmälle ihoon, mutta ei ihon alaisiin kerroksiin. Ihon pinta kohoaa rakkuloille ja palaneet alueet turpoavat huomattavasti. III asteen palovamma ulottuu kaikkien ihokerrosten läpi ja joskus syvälle kudoksiin. Iho vaikuttaa kovalta ja kuivalta. Vamma paranee hitaasti ja vaatii lähes aina ihonsiirtoleikkauksia.

Jos vähintään II asteen palovamman laajuus on yli 20 % ihon pinnasta, tarvitsee potilas nestehoitoa. Mikäli vammautunut alue on yli 50 %, tarvitaan erityishoitoa, johon poikkeusoloissa ei aina ole mahdollisuutta. Ihon palovammojen hoitoa voivat vaikeuttaa erityisesti suljetuissa tiloissa, kuten panssarivaunuissa, syntyvät hengitysteiden palovammat sekä mahdollinen häikämyrkytys.

Ensimmäinen toimenpide on sammuttaa tuli tukahduttamalla se esimerkiksi peitteellä, kierittämällä potilasta maassa tai vedellä. Sammuttamisen jälkeen vamma-alueita tulisi vaillella viileällä vedellä. Kenttäoloissa uhrilta ei poisteta vaatteita, vaan hänet on käärittävä lämpimiin peitteisiin hoitoon kuljettamista varten.

Mikäli palovamman on aiheuttanut valkoinen fosfori, on se kaivettava haavasta tai iholta puukolla tai muulla teräaseella. Ellei tämä ole mahdollista, on haava peitettävä kostealla kankaalla, joka on pidettävä fosforin uudelleen syttymisen estämiseksi kosteana niin kauan, kun potilas saadaan lääkintähenkilöstön hoitoon. Hoitoa tarvitseva potilas tulisi kuljettaa joukkosidontapaikalle 2 tunnin kuluessa vammautumisesta.

Joukkosidontapaikalla voidaan vammat arvioida tarkemmin sekä puhdistaa ja peittää ne palovammasiteillä. Jos ihosta on palanut yli 20 %, aloitetaan nestehoito ns. Ringerin liuksella. Hoitoa kontrolloidaan seuraamalla virtsan eritystä.

Jos on syytä epäillä hengitysteiden palovammoja, tulee hengitysteiden aukipitämiseen kiinnittää huomiota. Tarvittaessa tehdään ns. intubaatio tai hätälaryngotomia. Hengitystiepalovammoissa nestehoito aloitetaan aina, vaikka ihon palovammojen laajuus ei sitä edellyttäisikään.

Kipulääkitys kuuluu lähes aina palovammoja saaneen ensihoitoon. Häikämyrkytyksen saaneen potilaan annetaan hengittää 100 % happea. Iholla oleva valkoinen fosfori inaktivoidaan suojelulääkintävarustukseen kuuluvalla kuparisulfaattiliuksella ja poistetaan iholta sekä kudoksista esimerkiksi leikkausveitsellä. Joukkosidontapaikalla palovammapotilaille tehtävät toimenpiteet on esitetty kuvassa 117.

1. Varmistetaan hengitysteiden aukipysyminen.
2. Varmistetaan nestesiirtomahdollisuus asettamalla laskimokanyyli.
3. Annetaan kipulääkkeenä morfiinia tai ketamiinia.
4. Riisutaan vaatteet tai leikataan ne pois palovamma-alueelta.
5. Arvioidaan vamma-alueen laajuus.
6. Lajitellaan potilaat neljään kiireellisyysluokkaan.
7. Puhdistetaan vamma-alue.
8. Kiedotaan vamman päälle kuiva palovammasidos.
9. Aloitetaan nestehoito, jos yli 20 % ihosta palanut.
10. Asetetaan tarvittaessa kestopatetri.
11. Aloitetaan antibioottiprofylaksi pensilliinillä, jos yli 20 % ihosta on palanut. Varmistetaan tetanussuoja.

KUVA 117 Hoitotoimenpiteet joukkosidontapaikalla

Kun neste- ja muut ensihoitotoimet on käynnistetty ja potilaan tila saatu tasapainoon, siirretään potilas tavallisimmin kenttäsaaraan ohi suoraan lopulliseen hoitopaikkaan. Nestehoitoa jatketaan siirron aikana. Hengitystiepotilaat evakuoidaan puoli-istuvassa asennossa. Heille on kuljetuksen aikana syytä varautua antamaan myös happea. Potilas tulisi saada lopulliseen hoitopaikkaan viimeistään 2 vuorokauden kuluessa vammautumisesta. Erityishoidon takaamiseksi laajoja palovammoja saaneet potilaat evakuoidaan erikseen määrättyihin hoitopaikkoihin.

RADIOAKTIIVISUUDEN JA DOSIMETRIAN SUUREET

1. RADIOAKTIIVISUUDEN SUUREET

Aktiivisuus

Tietyllä energiatilalla olevan radionuklidimäärän aktiivisuus A hetkellä t on tältä energiatilalta tapahtuvien spontaanien ydinmuutosten lukumäärän odotusarvo dN jaettuna aikavälillä dt :

$$A = \frac{dN}{dt}.$$

Yksikkö: **becquerel** (Bq). $1 \text{ Bq} = 1/\text{s}$.

Esimerkiksi strontium-90 (^{90}Sr) lähteen aktiivisuus A on 55 MBq.

Vanha, SI-järjestelmään kuulumaton yksikkö on curie (Ci). $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$.

Aktiivisuuskate

Aktiivisuuskate A_s on pinnalla olevan radioaktiivisen aineen aktiivisuus A jaettuna pinta-alalla S :

$$A_s = \frac{A}{S}.$$

Yksikkö: **Bq/m²**.

Esimerkiksi cesium-137 (^{137}Cs) laskeuman aiheuttama aktiivisuuskate A_s maanpinnalle on 370 kBq/m².

Aktiivisuuskonsentraatio

Aktiivisuuskonsentraatio c_A on nesteen tai tietyssä paineessa ja lämpötilassa olevan kaasun aktiivisuus jaettuna kyseisen nesteen tai kaasun tilavuudella V :

$$c_A = \frac{A}{V}.$$

Yksikkö: **Bq/m³**.

Esimerkiksi maidon jodi- 131 (^{131}I)- aktiivisuuskonsentraatio C_A on 2000 kBq/m^3 .

Puoliintumisaika

Radionuklidin (fysikaalinen) puoliintumisaika $T_{1/2}$ on keskimääräinen aikaväli, jonka kuluessa nuklidimäärän aktiivisuus laskee puoleen.

Yksikkö: s.

2. DOSIMETRISET SUUREET

Säteilyn vuorovaikutukset väliaineessa riippuvat säteilykentästä sekä säteilyn ja väliaineen vuorovaikutuksista. Dosimetriset suureet, jotka kuvaavat säteilyn vaikutuksia aineessa, ovatkin itse asiassa kenttäsuureiden ja vuorovaikutuskertoimien tuloja. Koska dosimetriset suureet usein mitataan suoraan, ei niitä kuitenkaan määritetä em. suureiden tulona.

Absorboitunut annos

Absorboitunut annos D on ionisoivasta säteilystä aineen massa-alkioon siirtynyt keskimääräinen energia jaettuna tämän alkion massalla dm :

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm}.$$

Yksikkö: **gray** (Gy). $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$. Vanha, SI-järjestelmään kuulumaton yksikkö on rad. $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$.

Absorbtiannonopeus

Absorbtiannonopeus D on aikavälin dt kuluessa absorboitunut annos dD jaettuna tällä aikavälillä:

$$D = \frac{dD}{dt}$$

Yksikkö: **Gy/s**.

Säteilytys

Säteilytys X on fotonien ilma-alkiossa tuottamien samanmerkkisten varauksien summa dQ jaettuna ilma-alkion massalla dm :

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Nämä varaukset syntyvät, kun fotonin tässä ilma-alkiossa tuottamat elektronit ja positronit pysähtyvät täydellisesti ilmassa.

Yksikkö: coulombi kilogrammaa kohti (C/kg). Vanha, SI-järjestelmään kuulumaton yksikkö on röntgen (R). $1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$.

Säteilytysnopeus

Säteilytysnopeus X on aikavälin dt kuluessa tapahtunut säteilytyksen muutos dX jaettuna tällä aikavälillä:

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}$$

Yksikkö: C/kg/s = A/kg.

Annosekvivalentti

Annosekvivalentti H on tulo

$$H = QD,$$

jossa D on kudokseen absorboitunut annos ja Q on ns. **laatukerroin**, jolla pyritään ottamaan huomioon eri säteilylajien erilainen kyky aiheuttaa terveydellisiä haittavaikutuksia, erityisesti stokastisia myöhäisvaikutuksia.

Yksikkö: **sievert** (Sv) $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$.

Vanha, SI-järjestelmään kuulumaton yksikkö on rem. $1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$.

SÄTEILYNLASKULEVYN KÄYTTÖOHJE

1. KÄYTTÖTARKOITUS JA PERUSTEET

Säteilynaskulevyä käytetään ydinräjähdysen radioaktiivisen laskeuman vaikutuksien arviointiin.

Laskeumassa olevien säteilyaineiden lähettämän gammasäteilyn keskimääräinen voimakkuus noudattaa yhtälöä

$$R_t = R_1 \times t^{-1,2}$$

jossa

R_t = säteilyn voimakkuus ajan hetkellä t

R_1 = säteilyn voimakkuus 1 tunti räjähdysen jälkeen eli vertailuvoimakkuus ja

t = aika tunteina räjähdyksestä

Säteilynaskulevyn antamat arvot perustuvat ns. 7 - 10 sääntöön eli ajan seitsenkertaistessa säteilyn voimakkuus heikkenee kymmenenteen osaansa. Sääntö pitää paikkansa 25 % tarkkuudella muutaman kuukauden ajan räjähdys hetkestä edellyttäen, että **mittaus** on tehty laskeuma-alueella sen jälkeen, kun **säteilynvoimakkuus huippuarvonsa saavutettuaan alkaa laskea**.

Kun laskeuma-alueella tehtyjen mittausten perusteella tunnetaan säteilyn voimakkuus (annosnopeus) tietyllä hetkellä räjähdysen jälkeen, säteilynaskulevyllä voidaan laskea allamainitut säteilyn heikkenemiseen ja säteilyannoksiin liittyvä arviot:

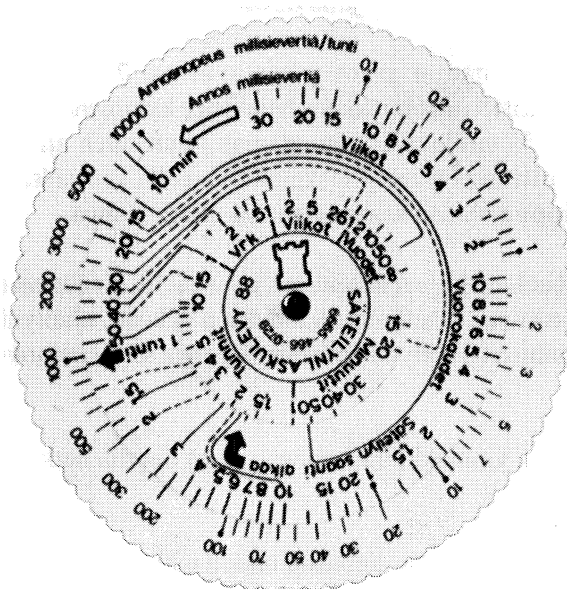
1. Säteilyn voimakkuus (annosnopeus) tietyllä hetkellä räjähdyksestä lukien
2. Ajankohta räjähdys hetkestä lukien määrätyle säteilyn voimakkuudelle
3. Määrätyle aikavälillä saatava annos ja
4. Aika tai ajankohta, jolloin määrätyn suuruinen annos saavutetaan.

2. SÄTEILYNLASKULEVYN RAKENNE JA KÄYTTÖ

Säteilynaskulevy koostuu kolmesta levystä. **Ulkolevyn** asteikolta voidaan lukea säteilyn voimakkuus l. **annosnopeus** millisieverteinä tunnissa tai kertynyt **annos** millisieverteinä. Asteikolla on lukuarvot 0,1 - 10000.

Keskilevyn asteikolla on mittaushetken ajankohta räjähdyshetkestä luettuna 10 minuutista 30 viikkoon. Keskilevyn asteikon lukema = **mittaushetken ajankoh- ta** räjähdyshetkestä luettuna asetetaan kohdakkain ulkolevyn asteikon mittausarvoa (annosnopeutta) vastaavaan lukemaan. Keskilevyn asteikolla siirrytään haluttuun ajankohtaan ja luetaan tulos ulkolevyn asteikolta.

Sisälevyn asteikkoa käytetään **tietyinä aikana** saatavan **säteilyannoksen** määrittämiseen, kun tunnetaan säteilyn voimakkuus tietyllä hetkellä räjähdysten jälkeen. Mittausajankohta ja mitattu annosnopeus asetetaan kohdakkain keski- ja ulkolevyn asteikoilla. Sisälevyn asteikkoa kierretään niin, että säteilyannoksen saamisen alkamisajankohta räjähdyshetkestä lukien asettuu keskilevyn nuolen ”säteilyn saanti alkaa” kohdalle. Halutun ajankohdan kohdalta sisälevyn asteikolta siirrytään keskilevyn apuviivoja käyttäen ulkolevyn asteikolle ja luetaan tulos eli saatava annos millisieverteinä. Säteilynaskulevyn rakenne on esitetty kuvassa L 1.



KUVA L 1 Säteilynaskulevy 88

3. LASKUESIMERKKEJÄ

3.1 Säteilyn voimakkuuden määrittäminen

Tehtävä: Säteilyn voimakkuus tienhaarassa B on 2,5 tuntia räjähdyksestä (R+21/2h) 300 milliSv/h. Mikä on ollut voimakkuus hetkellä R+1h?

Ratkaisu: Keskilevyn asteikolta 2,5 tunnin kohta ulkolevyn asteikon 300 mSv/h kohdalle. Luetaan keskilevyn nuolen ”1 tunti” kohdalta ulkolevyn asteikon lukema. Vastaus: **900** milliSv/h.

3.2 Tiettyä säteilyn voimakkuutta vastaava ajankohta

Tehtävä: Ydinräjähdys tapahtui klo 06.30. Klo 09.00 säteilyn voimakkuus (annosnopeus) pisteessä B oli 200 milliSv/h. Milloin annosnopeus on 50 milliSv/h?

Ratkaisu: Räjähdyshetkestä on kulunut mittaushetkeen 2,5 tuntia. Keskilevyn lukema 2,5 tuntia asetetaan ulkolevyn lukeman 200 milliSv/h kohdalle. Siirrytään ulkolevyn asteikolla arvon 50 milliSv/h kohdalle ja luetaan keskilevyn asteikolta tulos 8 tuntia. Lisätään 8 tuntia räjähdyshetken kellonaikaan. Vastaus: **klo 14.30**.

3.3 Määräaikana saatu annos

Tehtävä: Hetkellä R + 2h mitattiin komppanian tulevalla ryhmitysalueella säteilyn voimakkuudeksi (annosnopeus) 300 milliSv/h. Jos komppania saapuu alueelle R + 3 h, kuinka suuren annoksen se saa oltuaan alueella a) 4 tuntia b) äärettömän kauan.

Ratkaisu: Asetetaan keskilevyn asteikon arvo 2 tuntia ulkolevyn asteikon arvon 300 milliSv/h kohdalle. Sisälevyn asteikon arvo 3 tuntia asetetaan keskilevyn nuolen ”säteilyn saanti alkaa”-kohdalle. a) Sisälevyn asteikon 7 tunnin kohdalta eli 4 tunnin kuluttua säteilyn saannin alkamisesta siirrytään keskilevyn punaisia apuviivoja seuraten ulkolevyn asteikolle, josta luetaan vastaus: **n. 400 milliSv**. b) Sisälevyn asteikon äärettömyysmerkin kohdalta siirrytään keskilevyn punaisia apuviivoja seuraten ulkolevyn asteikolle ja luetaan vastaus: **n. 2700 milliSv = 2,7 Sv**.

Tehtävä: Milloin komppanian on jätettävä em. puolustuskeskus, jos komppanian saama säteilyannos saa olla korkeintaan 500 milliSv?

Ratkaisu: Kun säteilylaskulevyn asteikot ovat samassa asennossa kuin edellisessä esimerkissä, etsitään ulkolevyn asteikolta kohta 500 mSv ja seurataan keskilevyn punaisia apuviivoja sisälevyn asteikolle, josta luetaan poistumisajankohdaksi 8 tuntia räjähdyshetkestä eli **n. 5 tuntia** saapumisesta.

3.4 Määräpituinen oleskeluaika ja määrätyn suuruinen säteilyannos

Tehtävä: Säteilyn voimakkuus sulutettavalla alueella hetkellä $R+1$ h on 500 milliSv/h. Sulute, jonka rakentamiseen kuluu noin 6 tuntia, on saatava valmiiksi mahdollisimman nopeasti. Pioneerijoukkueen saama annos ei kuitenkaan saa olla yli 300 milliSv. Milloin työ aikaisintaan voidaan aloittaa?

Ratkaisu: Keskilevyn asteikon 1 tunti ja ulkolevyn asteikon 500 milliSv/h asetetaan kohdakkain. Ulkolevyn asteikon 300 milliSv:n kohdalta siirrytään keskilevyn apuviivoja pitkin sisälevyn reunalle. Tämän pisteen ja nuolen ”**säteilyn saanti alkaa**” väliin sijoitetaan sisälevyä kiertämällä kuuden tunnin ajanjakso (=tunnit 4-10). Näin säteilyn saamisen alkamisajankohdaksi määräytyy $R + 4$ tuntia ja poistumisajankohdaksi $R + 10$ tuntia. Vastaus: Työ on voidaan aloittaa aikaisintaan **$R + 4$ h**.

SANASTO

A-ase (ydinase). Ydinräjähdeiden ja niiden maaliinsaattamisvälineiden muodostama kokonaisuus.

ABC-aseet. Tavanomaisiin aseisiin verrattuna laaja-alaista tuhoa aiheuttavia aseita. Näitä ovat ydinaseet (A), biologiset aseet (B) ja kemialliset aseet (C). Monissa maissa käytetään NBC-lyhennettä.

Absorboitunut annos. Väliaineeseen siirtynyt keskimääräinen energia jaettuna väliaineen massalla. Yksikkö gray (Gy).

Absorptio. Imeytyminen. Energia-absorptio tarkoittaa energian siirtymistä väliaineeseen. Aineabsorptio tarkoittaa aineen imeytymistä toisen aineen sisään.

Absorboida. Imeä itseensä (sisäänsä).

Absorptioannosnopeus. Tiettynä aikavälinä absorboitunut annos jaettuna tällä aikavälillä (Gy/s).

Adsorboida. Imeä itseensä (pinnalle).

Adsorptio. Ilmiö, missä aine kiinnittyy aineen pinnalle ilman kemiallista sitoutumista.

Aerosoli. Kaasun (ilman) ja siinä leijuvien kiinteiden hiukkasten tai nestepisaroiden muodostama järjestelmä. Tavallisesti aerosoleihin luetaan hiukkaset, jotka ovat halkaisijaltaan nanometristä satoihin mikrometreihin. Ydinräjähdyksessä tai ydinturmassa syntyy radioaktiivisia aerosoleja. Hiukkasten koko ja aktiivisuus vaihtelevat hyvin suuresti.

Aktiivihili. Hiili, jolla on erityisen aktivointiprosessin avulla saatu suuri huokoisuus.

Aktiivisuus. Ydinmuutosten määrä tiettynä aikavälinä jaettuna tällä aikavälillä. Yksikkö becquerel (Bq).

Aktiivisuuskate. Aktiivisuus jaettuna tarkasteltavalla pinta-alalla (Bq/m²).

Aktiivisuuskonsentraatio. Konsentraatio. Aktiivisuus jaettuna tarkasteltavalla tilavuudella (Bq/m³).

Aktiivisuuspitoisuus. Pitoisuus. Aktiivisuus jaettuna tarkasteltavalla massalla (Bq/kg). Vrt. ominaisaktiivisuus.

Aktinidit. Alkuaineet, joiden järjestysluvut ovat 89:n ja 103:n välillä. Kaikki aktinidit ovat radioaktiivisia. Uraanin lisäksi tärkeimpiä ovat torium, neptunium, plutonium, amerikium ja curium.

Aktivoituminen. Radioaktiivisten aineiden syntyminen säteilyn vaikutuksesta. Erityisesti ydintekniikassa aktivoitumistuotteilla tarkoitetaan neutronikaappauksen tuloksena syntyneitä radionuklideja tai niiden tytärnuklideja.

Alfahajoaminen. Nuklidin hajoaminen siten, että se lähettää alfahiukkasen.

Alfahiukkanen. Koostuu kahdesta protonista ja kahdesta neutronista. Helium-atomin ydin.

Alikriittinen. Ks. kriittinen. Neutronien hävikki ylittää niiden tuoton.

Alkeishiukkaset. Hiukkasia, joista mm. atomi koostuu. Tärkeimpiä ovat protoni, neutroni ja elektroni. Alkeishiukkasten oletetaan koostuvan aineen perusrakenne-osasista, kvarkeista.

Alkeisvaraus. Pienin sähkövaraus. Elektronin sähkövaraus on yksi negatiivinen alkeisvaraus.

Alkusäteily. Ydinräjähdyksessä välittömästi syntyvä säteily. Koostuu pääasiassa neutroni- ja gammasäteilystä.

Annilaatio. vrt parinmuodostus

Annos. Sama kuin absorboitunut annos. Annos voi myös tarkoittaa annos-ekvivalenttia tai efektiivistä annos-ekvivalenttia.

Annos-ekvivalentti. Annossuure, joka saadaan kertomalla absorboitunut annos laatu-kerroimella. Yksikkö sievert (Sv).

Annoskertymä. Radioaktiivisen aineen sisäisestä kerta-altistuksesta aiheutuva annos-ekvivalentti 50 vuoden aikana tai saastuneessa ympäristössä elimistöön ajan funktiona kohdistunut myrkkyyvaikutus. Kemiallisen taisteluaineen tai muun haitallisen aineen pitoisuuden ja vaikutusajan tulo. Yksikkö $\text{mg} \cdot \text{min} / \text{m}^3$.

Annosmittari. Säteilyannosta mittaava laite.

Annosnopeus. Säteilyannos tietyssä aikavälillä jaettuna tällä aikavälillä (Gy/s).

Annosnopeusmittari. Annosnopeuden eli säteilyn voimakkuuden mittaamiseen tarkoitettu laite.

Annosraja. Hallinnollinen raja-arvo säteilysuojelun tavoitteiden saavuttamiseksi. Efektiivinen annosekvivalentti on tietyn elimen annosekvivalentti, jota ei saa ylittää tietyssä ajassa.

Atomi. Alkuaineen pienin kemiallisesti jakautumaton osa.

Atomipommi (fissio). Ydinräjähdde, jonka teho perustuu raskaiden atomiytimien halkeamisesta vapautuvaan energiaan.

Auksiini. Eräs kasveissa tavattava kasvuhormoni.

Avolähde. Säteilylähde, jonka radioaktiivinen aine ei ole vaipan suojaama.

Ballistinen suojaus. Suojaus lentävien sirpaleiden tms. iskuvaikutuksilta.

B-ase (biologinen ase). Biologisten taisteluaineiden ja maaliinsaattamisvälineiden muodostama kokonaisuus.

Becquerel (Bq). Aktiivisuuden yksikkö. 1 Bq = yksi ydinmuutos yhdessä sekunnissa.

Beetahajoaminen. Nuklidin muuttuminen naapuri-isobaarikseen siten, että ydin lähettää beetahiukkasen tai sieppaa elektronin (ks. elektronikaappaus).

Binääriammus/-pommi. Taistelukaasujen levittämiseen tarkoitettu ammus/pommi, jossa kaasun komponentit ovat ammuskuoren sisällä väliseinien erottamissa säiliöissä. Väliseinät hajoavat lähtösäyksestä tai kiertoliikkeen vuoksi, jolloin komponentit sekoittuvat ja muodostavat taistelukaasun.

Biologinen puoliintumisaika. Aika, jossa aineen tai yhdisteen määrä jossakin elimessä tai elimistössä vähenee puoleen. Biologiset prosessit eivät suinkaan aina ole eksponentiaalisia, joten biologinen puoliintumisaika ja siten myös efektiivinen puoliintumisaika ovat vahvasti yksinkertaistettuja suureita monimutkaisemmista ilmiöistä.

Biologiset taisteluaineet. Eriasteisia helposti leviäviä ihmis-, eläin- ja kasvitautien aiheuttajia, joiden vaikutukset pohjautuvat lisääntymiseen kohdeorganismeissa. Biologiset taisteluaineet voivat olla viruksia, bakteereita, riketsioita, sieniä tai alkueläimiä sekä niiden tuottamia tai niiden kaltaisia teollisesti valmistettuja myrkyjä.

Biosensori. Johonkin biologiseen reaktioon, yleensä entsyymireaktioon, perustuva tunnistusmenetelmä.

Biosynteesi. Tapahtuma soluissa, jolla muodostuu elävien organismien rakenneosina olevia molekyyilejä.

Butyylikumi. Synteettinen öljypohjaisesta raaka-aineesta valmistettu rakenteeltaan tiivis kumilaatu.

Bromibutyylikumi. Butyylikumi, jonka perusrakenne sisältää bromia.

C-ase (kemiallinen ase). Kemiallisten taisteluaineiden ja niiden maaliinsaattamisvälineiden muodostama kokonaisuus.

Comptonin ilmiö. Fotonin elastinen sironna vapaasta elektronista. Osa fotonin energiasta siirtyy elektronille.

Curie (Ci). Aktiivisuuden käytöstä poistuva yksikkö. $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$.

Dekontaminointi. Radioaktiivisen, biologisen tai kemiallisen saasteen poistaminen.

Depositio. Pinnalle, esimerkiksi hengitysteihin, kiinnittynyt aine. Depositio voi tarkoittaa myös kiinnittymistapahtumaa.

Derivaatta. Johdos

Desorptio. Aineen irtoaminen imeytysaineen sisältä, esim haihtumalla.

Deuterium. Vedyn isotooppi, jonka ydin koostuu yhdestä protonista ja neutronista. Ydintä sanotaan deuteroniksi.

Diffuusio. Hiukkasten lämpöliikkeestä johtuvaa aineiden itsestään tapahtuvaa sekoittumista. Diffuusio johtaa väliaineessa vallitsevien konsentraatioerojen tasoittumiseen.

Dosimetri. Säteilyannosmittari.

Dosimetria. Oppi annoksen ja annosnopeuden mittaamisesta.

EDTA. Etyleenidiaminotetraetikkahapon dinatriumsuola.

Efektiivinen puoliintumisaika. Fysikaalisen puoliintumisajan ja biologisen puoliintumisajan yhteisvaikutus.

Elastinen sironta. Kimmoinen sironta. Sironta, jossa liike-energia säilyy.

Elektroni. Negatroni. Pieni alkeishiukkanen, jolla on negatiivinen varaus (1.60219×10^{-19} C, massa 9.1091×10^{-31} kg).

Elektronikaappaus. Elektronisieppaus. Tapahtuma, jossa ydin kaappaa elektronin atomin elektroniverhosta. Tämän seurauksena ydin muuttuu isobaarisen nuklidin ytimeksi. Ytimen kaappaama elektroni on todennäköisemmin peräisin K-kuorelta (K-kaappaus, K-sieppaus).

Elektronivoltti. Säteilyfysiikassa käytetty energian yksikkö. Energia, jonka elektroni saa kulkiessaan yhden voltin potentiaalieron yli. $1 \text{ eV} = 1.6021892 \times 10^{-19}$ joulea.

Emissio. Tapahtuma, jossa aine lähettää hiukkasen tai fotonin.

Emittoida. Lähettää säteilyä.

EMP. Sähkömagneettinen pulssi.

Energiansiirtokyky. Ionisoivan hiukkasen väliaineeseen luovuttama energia tietyllä välimatkalla jaettuna tällä välimatkalla. Yksikkö keV/m.

Epäelastinen sironta. Kimmoton sironta. Sironta, jossa osa liike-energiasta kuluu sirottavan ytimen siirtämiseen viritystilaan.

Esipuhdistus. Jokaisessa joukossa välittömästi saastumisen tapahduttua tai sitä epäiltäessä aloitettavaa henkilöstön ja materiaalin puhdistustoimintaa, joka saastealueella toimittaessa on usein pakko toistaa.

Fertiili nuklidi. Ydin, joka voidaan muuttaa fissiiliksi ytimeksi neutronikaappauksen avulla. Luonnossa on kaksi tällaista ainetta, uraani-238 ja torium-232.

Fissiili ydin. Halkeava ydin.

Fissio. Tapahtuma, jossa raskas ydin halkeaa kahdeksi tai useammaksi keskiraskaaksi ytimeksi. Samalla vapautuu energiaa.

Fissioituva ydin. Fissiokelpoinen ydin. Halkeamiskelpoinen ydin. Ydin, joka voidaan halkaista neutroneilla.

Fissiotuote. Fissiossa tai sitä seuraavassa hajoamisessa syntynyt nuklidi.

Fotoni. Sähkömagneettisen säteilyn ”alkio”, kvantti.

Fotosynteesi. Tapahtuma, jossa vihreiden kasvien lehtivihreässä syntyy auringonvalon vaikutuksesta hiilidioksidista ja vedestä hiilihydraatteja, esim sokereita, seluloosaa jne.

Fotosähköilmiö. Valosähköinen ilmiö. Ilmiö, jossa lyhytaikainen valo (fotoni) absorboituu täydellisesti atomiin. Tämän seurauksena atomi lähettää elektronin.

Fuusio. Tapahtuma, jossa kaksi kevyttä ydintä yhtyy. Samalla vapautuu energiaa.

Fysikaalinen puhdistaminen. Saasteen mekaanista puhdistamista erilaisista kohteista, esim pesu ja pyyhkiminen.

Gammasäteily. Ydinmuutoksissa syntyvää sähkömagneettista säteilyä, johon ei liity massaa eikä varausta. Gammasäteily on peräisin ytimien energiatilojen muutoksista.

Geigerputki. Kaasutäytteinen ilmaisin, jossa sähkökentän avulla kustakin ionisaatiotapahtumasta kerätään yhtä suuri varaus anodille.

Gray (Gy). Absorboituneen annoksen, kerman ja ominaisenergian yksikkö. $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$.

Hajasäteily. Sironnut säteily, vuotosäteily, loissäteily yms.

Hajoaminen (radioaktiivinen). Spontaani ydinmuutos, jossa syntyy hiukkas- tai gammasäteilyä (useimmiten molempia). Röntgensäteilyä syntyy elektronikaappauksessa. Ydin voi myös hajota spontaanin fission kautta.

Hajoamisvakio. Radionuklidin hajoamista kuvaava vakio. Ks. puoliintumisaika.

Herbisidit. Kasvintuhoaineet.

Hermokaasut. Erittäin myrkyllisiä ja nopeasti vaikuttavia taistelukaasuina käytettäviä organofosforiyhdisteitä. Niiden teho perustuu elimistön hermojärjestelmien vaikeaan häiriintymiseen ja lamaantumiseen sekä lopulta toimintojen lakkaamiseen.

Hidastin (ydinfysiikassa). Materiaali, joka vähentää neutronien energiaa sironnan avulla.

Hiukkassäteily. Koostuu alfa- tai beetahiukkasista, neutroneista, elektroneista tai muista ydinhiukkasista.

Hydrolyysi. Kemikaalin hajottaminen veden avulla.

Ilmaisoin. Säteilyä, biologisia tai kemiallisia aineita ilmaiseva laite (detektori) tai aine.

Ilmakaasut. Ilmaan levitetystä ilmapvirtausten mukana kulkeutuvista taistelukaasuista käytetty nimitys. Myös maastokaasuista haihtuvat höyryt käyttäytyvät ilmakaasujen tavoin. Ilmakaasupilven kaasupitoisuus eli myrkkypitoisuus ilmaistaan tilavuusprosenttina tai milligrammoina ilmakehän kuutiometriä kohti (mg/m^3).

Ilmakehän turbulenssi. Tuulen suunnan ja nopeuden lyhytaikaisia (1 sek - 1 min) vaihteluita. Suorien mittausten puuttuessa arvioidaan ilmakehän tasapainotilan avulla.

Ilmaräjähdy. Sellaisessa korkeudessa tapahtuva ydinräjähdys, jossa tulipallo ei kosketa maan tai veden pintaa.

Immunologinen tutkimusmenetelmä. Mikrobin tai toksiinin tunnistaminen vasta-aineen avulla.

Intensiteetti. Voimakkuus.

Ioni. Sähköisesti varautunut atomi tai molekyyli.

Ionisaatio. Tapahtuma, jossa neutraali atomi tai molekyyli varautuu saadessaan tai menettäessään elektroneja.

Ionisaatiokammio. Kaasutäytteinen ilmaisoin, jolla mitataan säteilyn tuottamien ionien määrää.

Ionisoiva säteily. Sähkömagneettinen säteily ja hiukkassäteily, jotka aiheuttavat väliaineessa ioneja suoraan tai välillisesti.

Isobaari. Eri alkuaineen isotooppi, jolla on sama massaluku kuin tarkasteltavalla nuklidilla.

Isotooppi. Saman alkuaineen nuklidi, jolla on eri määrä neutroneja. Esimerkiksi jodilla on 27 tunnettua isotooppia. Kemiassa isotoopit ovat saman alkuaineen atomeja, joilla on eri suuruiset massaluvut.

Jarrutussäteily. Varauksisten hiukkasten hidastuessa (tai kiihtyessä) syntyvää ionisoivaa sähkömagneettista säteilyä.

Joditabletti. Kaliumjodidia sisältävä tabletti (Suomessa 200 mg). Käytetään suojaamaan kilpirauhasta radioaktiiviselta jodilta.

Jälkisäteily (laskeumasäteily). Ydinräjähdysen fissiotuotteista sekä räjähdysen indusoimista muista aineksista lähtevää radioaktiivista, pääosin gamma- ja beetasäteilyä.

Jälleenkäsittely. Hyödyllisten nuklidien talteenotto reaktorissa käytetystä ydinpolttoaineesta.

Järjestysluku. Ytimen sisältämien protonien määrä. Kullekin alkuaineelle ominainen kokonaisluku, joka ilmoittaa alkuaineen paikan jaksollisessa järjestelmässä.

Kaasuannos. Ilmaisee elimistöön pääsystä taistelukaasun määrää. Annos ilmaistaan milligrammoina ihmisen painokiloa kohti (mg/kg). Kaikille tappavaa annosta merkitään LD_{100} , ja joka toisen tappavaa annosta LD_{50} . Mitä pienempi nämä luvut ovat sitä myrkyllisemmästä aineesta on kyse. LD_0 ei ole hengenvaarallinen kenellekään. Taistelukyvyttömyyden aiheuttava annos merkitään puolestaan ID, joka liitetään edellä esitetyn tapaan numerot 100 tai 50 osoittamaan taistelukyvyttömiä osuutta joukosta.

Kaasupitoisuus. Kaasupitoisuus (C) on kaasun määrä ilmassa milligrammoina kuutiometriä kohti (mg/m^3), maastossa grammoina neliometriä kohti (g/m^2) ja iholla milligrammoina neliösenttimetriä kohti (mg/cm^2).

Kantama. Varauksisen hiukkasen kulkema (suoraviivainen) matka aineessa ennen kuin se menettää kykynsä tuottaa ioneja.

Karakteristinen röntgensäteily. Ominaisäteily. Atomin elektronien viritystilojen purkautuessa syntyvää ionisoivaa sähkömagneettista säteilyä.

Kemiallinen ase. Katso C-ase.

Kemiallinen puhdistaminen. Toiminta, joissa kemiallisten taisteluaineiden muuttaminen vaarattomiksi tai vähemmän vaarallisiksi yhdisteiksi perustuu kemiallisiin reaktioihin. Puhdistamisessa käytetään puhdistuskemikaaleja, -seoksia ja -liuoksia.

Kemialliset taisteluaineet. Kiinteitä, nestemäisiä tai kaasumaisia ja myös aerosolimuodossa esiintyviä myrkyllisiä yhdisteitä, joita käytetään sotatoimissa aiheuttamaan kuolemaa, vammoja tai ohimeneviä häiriöitä ihmisten, eläinten tai kasvien elintoiminnoissa.

Kerma. Ionisoivan säteilyn välillisesti tuottamien varauksisten hiukkasten alkuperäisten liike-energioiden summa jaettuna tarkasteltavan kohteen massalla. Yksikkö gray (Gy).

Kermanopeus. Kerma tiettyinä aikavälinä jaettuna tällä aikavälillä (Gy/s).

Kerkeä neutroni. Fissiassa viivästymättä syntyvä neutroni.

Kerkeästi kriittinen. Kriittinen pelkästään kerkeiden neutronien takia.

Ketjureaktio. Fissioreaktioiden ketju, jossa ytimien halkeamisen aiheuttavat edellisen neutronisukupolven neutronit.

Kilotonni (kt). Ydinräjähdyksessä vapautuvan energian kuvaamiseen käytettävä mittayksikkö, joka tarkoittaa 1000 TNT-tonnin vastaavaa räjähdysvoimaa.

Koinsidenssi. Samanaikainen tapahtuma, esimerkiksi pulssien rekisteröinti kahdessa tai useammassa ilmaisimessa yhtä aikaa tai tietyllä lyhyellä aikavälillä.

Kokonaisabsorptiopiikki. Piikki. Huippu. Ilmaisimeen täydellisesti absorboituneen hiukkasen tai fotonin energijakauma. Tietty osa spektristä.

Kollektiivinen annosekvivalentti. Säteilylle altistuneen väestön yhteisannos. Yksikkö sievert (Sv), jota usein tässä yhteydessä sanotaan mansievertiksi (manSv).

Kompleksoiva reagenssi. Kemiallinen yhdiste, joka sitoo metalli-ioneja vesiliuoksesta.

Kontaminaatio. Pinnalla tai tilavuudessa oleva radioaktiivinen, biologinen tai kemiallinen saaste.

Kriittinen. Täyttää ehdon, että ketjureaktion efektiivinen kasvutekijä, neutronien monistuskertoimen, on yksi. Neutronien tuotto ja hävikki ovat yhtä suuret. Säteilysuojelussa sana kriittinen voi viitata myös aivan toisaalle, esimerkiksi tiettyyn ihmisryhmään, elimeen tai polkuun.

Kriittinen massa. Ketjureaktion ylläpitämiseen tarvittava määrä halkeamiskelpoista ainetta.

Kuivalaskeuma. Hiukkasten laskeutuminen ja kiinnittyminen pinnoille, kun mekanismi on muu kuin sade, esimerkiksi diffuusio, painovoima tai törmääminen (impaktio).

Kvantti. Ks. fotoni.

Kynnys. Raja, jonka alapuolella jotakin tiettyä ilmiötä ei esiinny.

Kynnysarvo. Milligrammoina ilmakeuutiometriä kohti ilmaistu taistelukaasupitoisuus (mg/m^3), joka minuutin kuluessa juuri ja juuri pystyy aiheuttamaan myrkytysoireita.

Kyynelkaasut (CN, CS, CR). Silmiä, hengitysteitä ja ihoa ärsyttäviä ja siten tilapäistä toimintakyvyttömyyttä aiheuttavia kemiallisia, usein taistelukaasuiksi luokiteltuja yhdisteitä.

Laatukerroin. Laatutekijä. Kullekin säteilylajille sovittu painotuskerroin, jolla pyritään ottamaan huomioon eri säteilylajien erilainen stokastinen myöhäisvaikutusten riski. Tavallisesti laatukertoimella on arvo yksi, mutta esimerkiksi alfasäteilyllä se on 20.

Labiili. Epästabiili, epävaka, ilmanvirtauksissa voimakas turbulenssi.

Laskeuma. Maahan (ja veteen) laskeutuneet (radioaktiiviset) aineet. Laskeuma voi myös tarkoittaa laskeutumistapahtumaa.

Lisäyskerroin. Suojauslaskuissa käytettävä kerroin, jolla otetaan huomioon sironneen säteilyn osuus suojuksen läpi pääsevän säteilyn annosnopeudesta.

Luonnonsäteily. Luonnon radioaktiivisista aineista peräisin oleva säteily ja kosminen säteily.

Lähdetermi. Vakavassa reaktorionnettomuudessa ydinvoimalaitoksen suojarakennukseen tai sen ympäristöön vapautuvat radioaktiiviset aineet.

Maanollapiste. Ydinräjähdyspiste projisioituna kohtisuoraan maan pinnalle.

Maastokontaminaatio. Maastosaaste, muodostuu maanpinnalle ja maaston peitteisiin laskeutuneesta taisteluaineesta.

Maastokaasut. Maastoon levitettyjä yleensä tavallisina tai sitkostettuina nesteinä esiintyviä taistelukaasuja, joiden pysyvyys vaihtelee tunneista viikkoihin, jopa muutamaa kuukausiin lähinnä sääsuhteista riippuen. Saastumisaste ilmaistaan grammoina kaasuinetta neliometriä kohti (g/m^2) tai kilogrammoina hehtaaria kohti (kg/ha). Iholla vaikuttava taistelukaasun määrä ilmaistaan milligrammoina neliösenttimetriä kohti (mg/cm^2).

Megatonni (Mt). Ydinräjähdyksessä vapautuvan energian kuvaamiseen käytettävä mittayksikkö, joka tarkoittaa 1 000 000 TNT-tonnin vastaavaa räjähdysvoimaa.

Metallipolttoaineluaineet. Polttoaaineluaineet, jotka sisältävät esim. magnesiumia, alumiinia tai alkali- ja maa-alkalimetalleja.

Molekyylili. Aineen pienin osa, joka voi esiintyä vapaana ja säilyttää aineen ominaisuudet. Koostuu kahdesta tai useammasta kemiallisesti toisiinsa sitoutuneesta atomista.

Monikanava-analysaattori. Amplitudijakauman analysaattori. Laite, jolla rekisteröidään ilmaisimelta tulevan jonkin suureen, esimerkiksi pulssien amplitudien, jakauma. Näin saadaan selville mm. säteilyn spektri.

Myöhäisvaikutukset. Säteilyn stokastiset terveyshaitat, jotka ilmenevät vuosia altistuksen jälkeen.

Märkälaskeuma. Hiukkasten kiinnittyminen pinnoille sadesidonnan tai sadehuuhtelun vaikutuksesta.

Napalm. Yleisnimitys kaikille maaöljyyn pohjautuville polttotaisteluaikaineille. Alunperin käytettiin bensiinin sakeuttamiseksi polttotaisteluaikaineeksi muun muassa nafteeni- ja palmitiinihappojen alumiinisuoloja. Myöhemmin on otettu käyttöön myös muita sakeuttamisaineita.

Negatroni. Negatiivisvarauksisesta elektronista käytetty nimitys positonin vastakohtana.

Neutraali. Ilmanvirtauksissa normaali turbulenssi. Liuoskemiassa liuos, joka ei ole hapan eikä emäksinen. Varaukseton hiukkanen.

Neutriino. Varaukseton ja massaton tai hyvin pienimassainen alkeishiukkanen. Syntyy mm. beetahajoamisessa ja vie mukanaan suuren osan hajoamisen liittyvästä kokonaisenergiasta. Vuorovaikutukset aineen kanssa vähäisiä.

Neutroni. Varaukseton alkeishiukkanen. Massa $1,67495 \times 10^{-27}$ kg.

Neutronipommi. Ydinräjähdde, jossa paine- ja polttovaikutus on supistettu mahdollisimman pieneksi ja täten saatu kasvatettua neutronisäteilyn määrää.

Nopea neutroni. Neutroni, jonka liike-energia ylittää tietyn rajan, reaktorifysiikassa tavallisesti n. 0,1 MeV.

Nukleinihapporakenteen tunnistus. Mikrobin tunnistus perinnöllisen aineksen rakenteen perusteella.

Nukleoni. Ydinihiukkanen. Protonien ja neutronien yhteisnimitys.

Nuklidi. Atomi, jota luonnehtivat ytimen koostumus ja energiatila.

Ominaisaktiivisuus. Nuklidin tai sen yhdisteen aktiivisuus jaettuna tarkasteltavalla massalla (Bq/kg).

Parinmuodostus. Tapahtuma, jossa sähkömagneettisesta säteilystä syntyy materiaa, negatroni ja positroni. Annihilaation vastakohta.

pH. Liuoksen happamuutta tai emäksisyyttä kuvaava luku (0-14), $\text{pH} < 7 =$ hapan, $\text{pH} > 7 =$ emäksinen.

Pintaräjähdyks. Maan tai veden pinnassa tahi lähellä niitä tapahtuva ydinräjähdys.

Polttoase. Asejärjestelmä, jonka muodostavat polttotaisteluaine, sen levittämiseen ja sytyttämiseen kohdealueella tarvittavat ampumatarvikkeet (vast) sekä maaliintoimittamisjärjestelmä.

Polttotaisteluaaineet. Helposti syttyviä, yleensä korkean palamislämpötilan omaavia aineita, joita käytetään elävän voiman tuhoamiseen, materiaalin ja rakenteiden vaurioittamiseen sekä maaston sytyttämiseen. Polttotaisteluaaineita voidaan käyttää myös taistelukentän valaisuun.

Polyamidi/polykarbonaatti. Synteettisesti valmistettuja muovilaatuja.

Poolinen yhdiste. Molekyyli, jossa on löydettävissä sähkövarauksen jakaantumista eli polarisaatiota. Kemiallinen yhdiste, jossa molekyyli on dipoli. Pooliset yhdisteet ovat vesi vesihakuisia.

Pooliton yhdiste. Kemiallinen yhdiste, jonka molekyyllillä ei ole dipoliluonnetta. Poolittomat yhdisteet ovat öljyhakuisia.

Primääripilvi. Muodostuu ammuksen räjähdyksessä ilmaan jäävästä kaasuaerosoliseoksesta ("ensipilvi").

Primäärisäteily. Välittömästi säteilylähteestä tuleva ionisoiva säteily.

Protoni. Alkeishiukkanen, jolla on positiivinen varaus. Vetyatomien ydin. Varaus $1.60219 \times 10^{-19} \text{ C}$, massa $1.67265 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

Psykoakaasut (BZ, LSD). Hermoston toimintoihin häiritsevästi vaikuttavia ja tilapäistä toimintakyvyttömyyttä aiheuttavia kemiallisia yhdisteitä, joita käytetään taistelukaasuina.

Puhdistustoiminta. Toiminta, jonka päämääränä on säilyttää tai palauttaa saastuneen henkilöstön toimintakyky sekä kaluston ja materiaalin käyttökelpoisuus.

Puoliarvoveveys. Kokonaisabsorptiopiikin jakaumakäyrässä niiden kahden pisteen välinen etäisyys, joiden ordinaatat ovat puolet huipun ordinaatasta. Ilmoitetaan usein energian yksiköissä (keV).

Puoliintumisaika. Aika, jossa radionuklidin aktiivisuus laskee puoleen.

Puoliintumispaksuus. Väliainekerros, joka säteilykeilassa pienentää tietyn säteilyyn liittyvän suureen, esimerkiksi annosnopeuden, arvon puoleen.

Puolijohdeilmaisin. Puolijohdekide, jossa syntyy varauksenkantajia säteilyn vaikutuksesta. Varausparin muodostamiseen tarvitaan energiaa vain kymmenesosa kaasussa tarvittavasta energiasta. Energian erotuskyky on erinomainen (germanium- ja pii-ilmaisimet).

Pyroforiset polttotaisteluaineet. Ilman, hapen tai veden kanssa kosketukseen joutuessaan syttyviä aineita.

Pyrogeelit. Pääasiassa palopommeissa käytettyjä öljy-metallipohjaisia polttotaisteluaineita.

Pyrotekniset polttotaisteluaineet. Itsestään palavia hapettimen sisältäviä aineita.

Päästö. Radioaktiivisen aineen päästäminen tai karkaaminen ympäristöön. Myös vapautuneen aineen aktiivisuus.

Rad. Absorboituneen annoksen yksikkö (käytöstä poistuva yksikkö). $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$.

Radioaktiivinen aine. Aine, jossa ilmenee radioaktiivisuus (esimerkiksi säteily ei voi olla radioaktiivista).

Radioaktiivinen pilvi. Ydinräjähdysten muodostama räjähdyspilvi, joka sisältää radioaktiivisia räjähdystuotteita sekä pilveen imeytyneitä maaperän aineksia. Pilvi voi kohota kilometrien korkuiseksi.

Radioaktiivisuus. Eräiden nuklidien ominaisuus lähettää ionisoivaa säteilyä ulkoisista vaikutuksista riippumatta.

Radionuklidi. Epästabiili nuklidi, joka lähettää ionisoivaa säteilyä.

Reaktiivisuus. Muuttuja, joka ilmoittaa ketjureaktion poikkeaman kriittisyydestä. Positiivinen reaktiivisuus merkitsee ylikriittistä tilaa ja negatiivinen reaktiivisuus alikriittistä tilaa.

Rekyylienergia. Energia, jonka hiukkanen saa toiselta hiukkaselta törmäyksessä. Tytärytimen osaksi tuleva liike-energia ydinmuutoksessa.

Resoluutio. Erotuskyky. Energiaerotuskyky ilmoitetaan yleensä puoliarvovevyytenä (keV) tai puoliarvovevyyden suhteena piikin energiaan (%). Ajan erotuskyky on lyhyin kahden perättäisen signaalin väliaika, joka on riittävä signaalien rekisteröimiseksi erikseen.

Resonanssienergia. Energia, jolla törmäävä hiukkanen suurella todennäköisyydellä virittää ytimen tiettyyn energiatilaan. Vuorovaikutuksen vaikutusala on hyvin suuri tällä energialla.

Retentio. Radioaktiivisen aineen pidättyminen kehossa. Retentioon vaikuttavat aineen kemialliset ja aineenvaihdunnalliset ominaisuudet.

Riski. Kuoleman, haitan tai vaurion todennäköisyys. Toisinaan riski kuvataan tietyn haitan ja sen todennäköisyyden tulona.

Röntgen (R). Säteilytyksen käytöstä poistuva yksikkö. $1 R = 2,58 \times 10^{-4} C/kg$.

Röntgensäteily. Gammasäteilyn kaltaista sähkömagneettista energiaa. Röntgensäteily voidaan jakaa syntytapansa perusteella jarrutussäteilyyn ja karakteristiseen röntgensäteilyyn.

Saaste. Radioaktiivisen laskeuman sekä kemiallisten tai biologisten taisteluaineiden maastoon ja vesistöön aiheuttama vaarallinen alue. Radioaktiivisten aineiden ja em taisteluaineiden esiintyessä erilaisissa kohteissa kuten iholla ja vaatteissa sekä varusteissa ja kalustossa on kyseessä myös saaste (aine).

Sadehuuhtelu. Hiukkasten kiinnittyminen liikkuviin vesipisaroihin.

Sadesidonta. Hiukkasten sitoutuminen vesipisaroihin niiden muodostumisvaiheessa.

Sekundääripilvi. Syntyy maastoon laskeutuneen aineen, maastokontaminaatio, höyrystyessä.

Sekundäärisäteily. Primäärisäteilyn ja aineen vuorovaikutuksissa syntyvä ionisoiva säteily.

Sidosenergia. Nettoenergia, joka tarvitaan poistamaan hiukkanen jostakin järjestelmästä, esimerkiksi elektroni atomista tai neutroni ytimestä. (Kokonais)sidosenergia on energia, joka tarvitaan hajottamaan hiukkasjärjestelmä. Kemiallisen sidoksen hajottamiseen tarvittava energia.

Sievert (Sv). Annosekvivalentin yksikkö.

Sironta. Tapahtuma, jossa hiukkasen suunta ja energia muuttuvat sen törmätessä toiseen hiukkaseen.

Sisäinen konversio. Tapahtuma, jossa ytimen hajotessa syntyvä gammakvantti luovuttaa energiaa elektroniverhon jollekin elektronille siten, että elektroni irtautuu atomista.

Sisäinen säteily. Kehossa olevien radioaktiivisten aineiden lähettämä säteily.

Spektri. Aineen lähettämän tai itseensä imemän sähkömagneettisen säteilyn intensiteetti aallon pituuden tai taajuuden funktiona.

Spektrometria. Spektrin hyväksikäyttöön perustuva mittaus.

Spontaani fissio. Fissio, joka tapahtuu itsestään ilman ulkoisten hiukkasten (tai fotonien) vaikutusta.

Stabiili. Vakaa, ilmanvirtauksissa heikko turbulenssi.

Stabiilius/stabiiliusluokka. Ilmakehän tasapainotila, turbulentsuus.

Suojauskerroin. Ilmaisee erilaisten suojapaikkojen, linnoitteiden tai -laitteiden suojauskyvyn säteilyä vastaan. Se on ulkona tasaisella laajalla kentällä 1 m:n korkeudella maanpinnalta mitatun säteilyvoimakkuuden suhde suojatilassa vallitsevaan säteilynvoimakkuuteen. Esimerkiksi suojauskerroin 100 tarkoittaa sitä, että suojapaikassa vallitseva säteilynvoimakkuus on 1/100 ulkona mitatusta arvosta.

Suure. Ilmiön, esineen tai aineen fysikaalisesti mitattavissa oleva ominaisuus.

Syvyysräjähdys. Maan tai veden pinnan alla syvällä tapahtuva ydinräjähdys.

Syövyttävät kaasut. Tunkeutumiskykyisiä ja elävää kudosta syövyttäviä, rakkuloita ja vaikeasti paranevia haavoja aiheuttavia kemiallisia yhdisteitä. Johtavat toimintakyvyttömyyteen ja suurina annoksina hengenvaaralliseen yleismyrkytykseen.

Sähkömagneettinen säteily. Aaltoliikettä, joka muodostuu ajan mukana muuttuvista sähkö- ja magneettikentistä. Sähkömagneettinen säteily etenee tyhjiössä valon nopeudella c ja väliaineessa nopeudella $v = c/n$, jossa n on väliaineen taitekerroin. Sähkömagneettinen säteily voi olla ionisoivaa tai ionisoimatonta säteilyä. Ks. fotonit.

Säteilyaltistus. Kehon tai sen osan alttiina olo tai alttiiksi joutuminen säteilylle.

Säteilyannos. Sama kuin annos.

Säteilyenergia. Säteilynä emittoitunut, siirtynyt tai vastaanotettu energia.

Säteilylähde. Lähde. Radioaktiivinen aine tai ionisoivaa säteilyä synnyttävä laite.

Säteilylääke. Suuren säteilyannoksen (yli 1 Gy) aiheuttama sairaus, johon voi liittyä kuolemanvaara. Oireet ja taudin ennuste riippuvat annoksen suuruudesta.

Säteilysuoja. Säteilysuojus. Materiaali tai rakenne, jota käytetään säteilyannoksen pienentämiseksi.

Säteilysuojaus. Toimet säteilyn heikentämiseksi säteilysuojan avulla.

Säteilysuojelu. Toimet säteilyn haittavaikutusten poistamiseksi tai minimoimiseksi.

Säteilyturvallisuus. Säteilysuojelun tavoite.

Säteilytyts. Fotonien välillisesti tuottama varaus ilmassa jaettuna tarkasteltavan ilma-alkion massalla (C/kg).

Säteilytysnopeus. Säteilytys tiettyä aikavälinä jaettuna tällä aikavälillä (A/kg).

Säteilyvalvonta. Toimet mahdollisen säteilyvaaran toteamiseksi.

Taustasäteily. Muu säteily kuin se, jota on tarkoitus havainnoida. Ks. luonnon-säteily.

Tehokkuus. Havaitsemistehokkuus. Laskentatehokkuus. Ilmaisimen havaitsemisen hiukkasten ja säteilylähteen samana aikavälinä emittoimien hiukkasten lukumäärien suhde.

Tensidi. Veden pinta-aktiivisuutta alentava orgaaninen kemikaali.

Terminen fissio. Termisten neutronien aiheuttama fissio.

Terminen neutroni. Hidas neutroni, jonka energia noudattaa väliaineen lämpöliikkeen energijakaumaa.

Toimenpideraja. Kynnysarvo, jonka ylittyminen aiheuttaa säteilysuojelutoimenpiteitä.

Toksiinit. Pieneliöiden tai kasvien ja eläimien tuottamia myrkkyjä. Niihin kuuluvat kaikkein myrkyllisimmät luonnosta löydetyt aineet. Niitä käytetään pääasiallisesti tuholaismyrkkyyinä.

Transitio. Siirtymä. Viritetyn energiatilan laukeaminen alempaan energiatilaan.

Transuraanit. Alkuaineet, joiden järjestysluku on suurempi kuin uraanin järjestysluku 92. Transuraanit kuuluvat aktinideihin.

Tritium. Vedyn isotooppi, jonka ydin koostuu protonista ja kahdesta neutronista. Ydintä sanotaan tritoniksi.

Tuikelaskenta. Mittausmenetelmä, jossa käytetään hyväksi ilmaisinaisen kykyä muuttaa ionisoivan säteilyn energia valoksi. Tavallisin ilmaisim on talliumilla aktivoitu natriumjodidikide NaI(Tl). Tuikeaine voi myös olla orgaaninen yhdiste, joka on läpinäkyvässä muovissa tai orgaanisessa liuoksessa.

Tulipallo. Ydinräjähdyksessä syntyvä pallomainen, hehkuvan ilman ja aseennjäänösten muodostama massa, jolla on räjähdysvoimakkuudesta riippuva maksimikokonsa.

Turbulenssi. Pyörteisyys, tuulen suunnan ja nopeuden lyhytaikaiset vaihtelut.

Turvallisuuslupa (ydnfysiikka). Lupa, joka oikeuttaa valmistamaan, käyttämään, kuljettamaan, tuomaan, viemään, pitämään hallussa ja varastoimaan radioaktiivisia aineita sekä käymään niillä kauppa, tai käyttämään säteilyä aiheuttavia laitteita.

Tytärnuklidi. Radionuklidin hajoamisen tuloksena syntyvä uusi ydin.

Ulkoisen säteily. Kehoon sen ulkopuolelta kohdistuva säteily.

Umpilähde. Säteilylähde, joka on suljettu sellaiseen suojavaippaan, että radioaktiivinen aine ei voi levitä ympäristöön.

Vaikutusala. Suure, jolla kuvataan säteilyn ja aineen vuorovaikutusten todennäköisyyttä. Tietyn prosessin reaktionopeus yhtä kohteena olevaa hiukkasta kohti jaettuna hiukkaskertymänopeudella (mikrovaikutusala). Erityisyksikkö 1 barn = 10^{-28} m². Makrovaikutusala (vaikutustiheys) viittaa yhden kohtiohiukkasen sijasta ryhmään, esimerkiksi tietyssä tilavuudessa oleviin hiukkasiin. Keskimääräisen törmäysvälin käänteisarvo. Yksikkö 1/m.

Vaimennuskerroin (ydnfysiikka). Suojaavan aineen pinnalle saapuvan ja sen läpi päässeenn säteilyn voimakkuuden suhde.

Vapaa radikaali. Kemiallisesta yhdisteestä irronnut atomiryhmä, jolla on vapaa (pariutumaton) elektroni. Kemiallisesti hyvin reaktiivinen.

Varauksinen hiukkanen. Varattu hiukkanen. Hiukkanen, jolla on sähkövaraus.

Varaukseton hiukkanen. Fotoni tai muu hiukkanen, jolla ei ole sähkövarausta.

Varhaislaskeuma. Maanpinnassa tai sen tuntumassa tapahtuneesta ydinräjähdyksestä aiheutuva laskeuma. Siinä ilmakehään nousseet ja aktivoituneet hiukkaset putoavat maanollapisteestä alkaen tuulen alapuolelle välittömästi räjähdyksestä alkaen ensimmäisen vuorokauden aikana.

Varhaisvaikutukset. Säteilyn terveyshaita, jotka ilmenevät pian, enintään kuu-kausien kuluttua, altistuksen jälkeen. Ks. säteily sairaus.

Varsinainen puhdistus. Puhtaalla alueella tapahtuvaa henkilöstön ja materiaalin perusteellinen puhdistaminen.

Vasta-aine. Elimistössä mikrobitaudin tai rokotuksen vaikutuksesta syntyvä aine, joka kiinnittyy kyseiseen mikrobiin ja yleensä tuhoaa sen.

Verrannollisuuslaskuri. Kaasutäytteen ilmaisim, jossa sähkökentän avulla kerättävä varaus on verrannollinen alkuperäisten ionisaatiotapahtumien määrään.

Viivästynyt neutroni. Fission ja sitä seuraavan beetahajoamisen tuloksena syntyvän virittyneen ytimen lähettämä neutroni. Neutroniemissio on kerkeä tapahtuma. Viive aiheutuu beetahajoamisesta.

Viritys. Tapahtuma, jossa energiaa siirtyy atomiin tai molekyyliin aiheuttamatta ionisaatiota.

Vuorovaikutus (ydinfysiikka). Säteilyn ja aineen välinen (yksittäinen) tapahtuma.

Väkeväinti. Fysiikassa prosessi, jossa kasvatetaan alkuaineen jonkin isotoopin osuutta aineessa. Kemiassa jonkin aineen pitoisuuden kasvattamista liuoksessa tai seoksessa.

Välivarastointi. Ydinjätteiden varastointi valvotussa tilassa ennen myöhempää käsittelyä tai loppusijoitusta.

Ydin. Atomin ”sydän”, joka koostuu protoneista ja neutroneista.

Ydinaine. Ydinenergian aikaansaamiseen soveltuva erityinen halkeamiskelpoinen aine ja lähtöaine, kuten uraani, plutonium ja torium.

Ydinjätteet. Ydinlaitoksesta peräisin olevat radioaktiiviset jätteet sekä käytöstä poistetut radioaktiivisiksi tulleet ja saastuneet laitteet ja rakenteet. Jätteet luokitellaan aktiivisuuden mukaan kolmeen ryhmään: runsas-, keski- ja vähäaktiivinen jäte.

Ydinlaitos. Ydinvoimalaitos, tutkimus- tai koereaktori tai niiden polttoaine- tai ydinhuoltoon tarkoitettu radioaktiivisia aineita käsittelevä laitos.

Ydinmateriaali. Ydinaineet ja niihin liittyvät aineet, laitteet, laitteistot, tietoaineistot ja sopimukset.

Ydinmuutos. Ytimen muuttuminen toiseksi ytimeksi. Ks. hajoaminen.

Ydinreaktori. Laitteisto, jossa tapahtuu hallittu ketjureaktio.

Ydinturvallisuus. Ydinlaitosten säteilyturvallisuus.

Ydinvoimalaitos. Ydinvoimala. Sähkö- tai lämpöenergian tuotantoon tarkoitettu ydinreaktori (tai useampia samalla paikalla) mukaan luettuna energiantuotannon ja käyttöturvallisuuden edellyttämät rakenteet ja järjestelmät.

Yksilönsuoja. Säteilysuojeluperiaate, jonka mukaan yksilön vuotuinen säteilyannos ei saa ylittää annosrajaa. Yksilön riskin rajoittaminen.

Yleismyrkylliset kaasut. Solujen toimintoja vaurioittavia ja vaikeissa myrkytystapauksissa nopeaan kuolemaan johtavia kemiallisia yhdisteitä, joita voidaan käyttää taistelukaasuina.

Ylikriittinen. Neutronien tuotto ylittää niiden hävikin.

Ärsyttävät kaasut. Kyynelkaasut. Hengityselimiä, silmiä ja limakalvoja ärsyttäviä, tilapäistä taistelukyvyttömyyttä aiheuttavia kemiallisia yhdisteitä, joita voidaan käyttää taistelukaasuina.

KIRJALLISUUSLUETTELO

1. SÄTEILY JA YDINASEET

Ydinaseet.

Jorma Virtamo. Maanpuolustuksen tieteellinen neuvottelukunta. Raporttisarja 1/B/75.

Ydinräjähdysten vaikutukset.

Jorma Virtamo. Maanpuolustuksen tieteellinen neuvottelukunta. Raporttisarja 1/A/76.

The Effects of Nuclear Weapons.

Samuel Glasstone and Philip J Dolan.

U.S. Department of Defence and Energy Research and Development Administration 1977.

Nuclear Weapons. Principles, Effects and Survivability.

Charles S Grace.

Brassey's volume 10. Brassey's, London 1994.

Säteily ja turvallisuus.

Harri Toivonen, Tapio Rytömaa ja Antti Vuorinen.

Valtion Painatuskeskus ja Säteilyturvakeskus 1988.

Toiminta ydinräjähdystilanteessa.

Sisäasiainministeriön ohje A:48.

Suojelun Käsikirja.

Länsi-Savo Oy. Mikkeli 1980.

Suojeluopas.

Gummerus Kirjapaino. Jyväskylä 1990

2. BIOLOGISET TAISTELUAINEET JA SUOJELU- LÄÄKINTÄ

Biological Warfare Agents.

B Rybeck and B Gripstad.

Liber Allmänna Förlaget. Trosa 1986.

BC-suojelulääkintä, vuosien 1987-1990 tilannekatsaus.
Pääesikunnan lääkintäosasto 1991.

Mjältbrand i biologisk krigföring.
Henrik Markkula.
Ekenäs Tryckeri Ab. Ekenäs 1991.

Kenttälääkintä, Ensihoidon perusteet.
Toimittanut Kimmo Koskenvuo.
Karisto. Hämeenlinna 1993.

Kriisiturvallisuuden käsikirja.
Art House. Jyväskylä 1995.

3. BIOLOGISET JA KEMIALLISET TAISTELUAINHEET

Lehrbuch der Militärchemie: Band 1: Entwicklung der chemischen Kampfstoffe.
Franke, Siegfried et.al.
Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik.
Berlin 1977.

Lehrbuch der Militärchemie: Band 2: Sabotage- und Phytogifte, Entgiftung und
Entgiftungsmittel, Analytik chemischer Kampfstoffe und Giftstoffe, Anhang.

Franke, Siegfried et.al.
Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik.
Berlin 1977.

FOA orienterar om C-stridsmedel, nummer 13.
Birger Gripstad et.al.
Försvarets Forskningsanstalt. Stockholm 1981.

America the vulnerable: the threat of chemical and biological warfare.
Joseph D. Douglass, Neil C. Livingstone.
Lexington Books. Lexington 1987.

Military chemical and biological agents: Chemical and toxicological properties.
James A.F. Compton. The Telford Press. Caldwell 1987.

Kemiska stridsmedel.
Tore Wingstedt et.al.
Statens räddningsverk. Karlstadt 1988.

Skyddsreglemente för försvarsmakten Stab.
M7747-710031
Libergraf. Växjö 1991.

Chemical Warfare Agents
Satu M. Somani
Academic Press. San Diego 1992.

A FOA Briefing Book on Chemical Weapons, Threat, Effects and Protection.
U. Ivarsson, H. Nilsson and J. Santesson.
Sundbyberg 1992.

4. POLTTOASEET JA -TAISTELUAINHEET

Brandwaffen.
Ministerrat der Deutschen Demokratischen Republik.
Ministerium für Nationale Verteidigung.
A 053/1/003. 1988.

Flame Field Expedients.
Headquarters, Department of the Army Washington D.C. 1990

ABC- ja polttoase tänään. Suojelun kuusi vuosikymmentä.
Suojelukoulun Perinneyhdistys ry.
Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä 1993.

5. TAISTELUAINEIDEN LEVIÄMINEN

Handbook on Atmospheric Diffusion.
S.R. Hanna, G.A. Briggs, R.P. Hosker Jr.
Technical Information Centre, U.S. Department of Energy.
Washington 1982.

Atmospheric Diffusion.
F. Pasquill and F. B. Smith.
Ellis Horwood Limited Publishers- Chichester, John Wiley & Sons.
New York, Chichester, Brisbane, Ontario 1982.

6. YKSILÖN SUOJA

Worldwide NBC Mask Handbook Comp. by Nasncy Rundi Brletich, Mary Frances Tracy and Thomas R. Dashiell.
CBIAC Edgewood, MD 1992

Jane's NBC Protection Equipment 7. edition 1994-95.
Ed. by Terry J. Gander.
Janes information Group Limited. London 1994.



00286/1 Kirjasto
PVKK
Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus
Suojelun käsikirja
Puolustusvoimien kehittämiskeskus



1996