

Radioaktiivisten aineiden sotilaallisesta merkityksestä.

Kirjoittanut Fil. maisteri K. J. Malmberg.

I. Yleistä radioaktiivisuudessa.

Radioaktiiviset aineet.

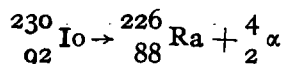
Radioaktiivisille aineille on ominaista, ettei niiden atomirakenne ole tasapainossa. Kuten nykyään tiedetään ovat atomiytimet muodostetut protoneista eli vety-ytimistä ja neutroneista. Jotta atomi olisi tasapainossa on välttämätöntä, että atomiin kuuluvien neutronien lukumäärä on määrätynlainen funktio atomiin kuuluvien protonien lukumäärästä. Jos näin ei ole asianlaita, atomi on epästabiili ja pyrkii tavalla tai toisella muuttumaan stabiiliksi. Mitä enemmän alkuperäisen atomin tasapainotila on häiriintynyt, sitä suurempi on todennäköisyys, että tällainen atomi määritteyssä ajassa muuttuu uudeksi atomiksi. Tämä muuttuminen voi tapahtua monella eri tavalla, joista seuraavassa esitetään ainoastaan ne, jotka esiintyvät itsestään luonnossa tai jotka tosin ovat vain keinotekoisesti aikaansaataavissa, mutta joilla siitakin huolimatta voi olla merkitystä myös laboratorion ulkopuolella. Nämä muuttumistavat ovat:

— jokin atomin neutroneista muuttuu protoniksi ja elektroniksi ${}^I_n \rightarrow {}^I_p + e^-$. Syntyvä elektroni poistuu ytimestä niin sanottuna β -säteilynä. Tämä reaktioryyppi on luonnossa melko tavallinen (luonnolliset radioaktiiviset β -säteilijät),

— jokin atomin protoneista muuttuu neutroniksi ja positroniksi

${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + e^+$. Tätä reaktiotyyppiä ei ole ainakaan toistaiseksi tavattu luonnossa. Sen sijaan on keinotekoisesti valmistettu montakin tällaista ainetta (Curie-Joliot'n positronisäteilijät),

— atomista erkaneee yksi α -hiukkanen (α -hiukkanen = heliumydin ${}^4_2\alpha = {}^4_2\text{He}^{++}$). Esimerkkinä tällaisesta luonnossakin melko tavallisesta reaktiotyypistä mainittakoon radiumin synty ioniumista



— alkuperäinen atomi halkeaa kahteen tai kolmeen suureen osaan ja muutama neutroniin. Tämä reaktiotyyppi on luonnossa hyvin harvinainen, mutta on viime aikoina keinotekoisesti aikaansaattuna atomipommissa saavuttanut suuren merkityksen.

Edelleen on huomattava, että kun atomi jollakin edellä mainitulla tavalla muuttuu uudeksi atomiksi, uusi vastasyntynyt atomi usein omaa liian suuren energian, joka säteilee pois atomista γ -kvantin muodossa (γ -säteily on luonteeltaan samanlainen kuin valo, mutta γ -säteilyssä esiintyvät aaltopituudet ovat paljon pienempiä kuin ne, jotka esiintyvät näkyvässä valossa).

Edellisen perusteella on selvä, että laboratorion ulkopuolella esiintyvä radioaktiivinen säteily on:

- α -säteilyä tai
- β -säteilyä tai
- positronisäteily (ainoastaan keinotekoisia radioaktiivisia aineitä käytettäessä) tai
- neutronisäteilyä (omaa käytännöllistä merkitystä vain atomipommiräjähdyksen yhteydessä) tai
- γ -säteilyä.

Radioaktiivisen aineen määrän ja radioaktiivisen säteilyvoimakkuuden riippuvaisuus ajasta.

Radioaktiiviset aineet noudattavat Rutherford-Soddyn hajoamislakia, jonka mukaan puhtaasta radioaktiivisesta aineesta aika-

yksikössä hajoava määrä on verrannollinen radioaktiivisen aineen hetkelliseen kokonaismäärään. Olettakaamme, että käytettävissämme hetkellä t on $N(t)$ grammaa puhdasta radioaktiivista ainetta. Aikayksikössä hajoava määrä on siis, jos merkitään hajoamisvakio $= \lambda$

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad \text{— merkki, koska radioaktiivisen aineen määrä hajoamisen takia pienenee.}$$

Tästä differentiaaliyhtälöstä saadaan integroimalla

$$\ln N(t) = -\lambda t + \ln C \quad (C = \text{integroimisvakio}),$$

josta, jos radioaktiivinen ainemäärä hetkellä $T = 0$ merkitään N_0 , seuraa

$$(1) \quad \underline{N(t) = N_0 e^{-\lambda t}}$$

Aika T , jonka jälkeen puolet alkuperäisestä radioaktiivisesta ainemäärästä on muuttunut uudeksi aineeksi, saadaan siis yhtälön

$$\frac{1}{2} N_0 = N_0 e^{-\lambda T}$$

avulla. Tästä yhtälöstä seuraa

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

Yhtälö (1) voidaan siis kirjoittaa muotoon

$$(2) \quad N(t) = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$$

T :tä sanotaan kyseessä olevan radioaktiivisen aineen puoli-ajaksi. T :n arvo samalla radioaktiivisella aineella on vakio. Eri radioaktiivisten aineiden puoliajat vaihtelevat mikrosekunnin murto-osista miljooniin vuosiin.

Radioaktiivisen säteilyn voimakkuus $E(t)$, eli aikayksikössä säteilevä energiamäärä, on ilmeisesti verrannollinen kyseessä olevan radioaktiivisen aineen hajoamisnopeuteen. Derivoimalla saadaan siis yhtälöstä (2)

$$(3) \quad E(t) = \frac{KN_0}{T} e^{-\frac{\ln 2}{T} t} = \frac{KN(t)}{T}$$

jossa K on radioaktiivisen aineen laadusta riippuva kerroin Yhtälö (3) voidaan sanoin tulkita seuraavasti:

Radioaktiivisen säteilyn voimakkuus on, jos on kysymyksessä ainoastaan yksi radioaktiivinen aine, suoraan verrannollinen radioaktiiviseen ainemäärään ja kääntäen verrannollinen radioaktiivisen aineen puoliaikaan.

Edellä on käsitelty ainoastaan se tapaus, jolloin kysymyksessä on yksi ainoa radioaktiivinen aine. Tavallista kuitenkin on, että myös syntyvä aine on radioaktiivinen, niinkuin usein vielä tästäkin syntyvä aine jne. Näiden tapausten matemaattinen käsittely ei tuota minkäänlaisia vaikeuksia, mutta jätetään tässä sikseen.

2. Sotilaalliseen käyttöön kysymykseen tulevat radioaktiiviset aineet.

Kysymykseen tuleville ainelle asetettavat vaatimukset.

Sotilaalliseen käyttöön soveltuvalle radioaktiiviselle ainelle on asetettava seuraavat vaatimukset:

- riittävän suuri tuotanto (joko luonnosta tai keinotekoisesti valmistamalla),
- riittävän hyvät varastoimismahdollisuudet ja
- riittävän suuri teho.

Tuotanto.

Käsitellään ensiksi luonnollisten radioaktiivisten aineiden tuotantomahdollisuuksia. Sotilaalliseen tarkoitukseen eivät missään tapauksessa voi tulla kysymykseen ne radioaktiiviset aineet, joiden puoliaika on suurempi kuin radiumin, koska tarvittavat ainemäärät olisivat hitaan hajoamisen takia liian suuret ja aikaansaatu saastutus liian pitkäaikainen. Viimeksi mainitun seikan takia lienee yleensä vaadittava, että puoliajat ovat pienempiä kuin 2 vuotta.

Sodan aikana tuotettiin Yhdysvalloissa noin 250 kg puhdasta uraania vuorokaudessa. Tuotanto lienee nyt n. 1 000 kg vuorokaudessa, joka määrä on mieluummin liian suuri kuin pieni. 1 g

U sisältää aina $3,3 \cdot 10^{-7}$ grammaa radiumia, joten radiumin tuotanto lienee suuruusluokkaa 0,3 grammaa vuorokaudessa. Tämä määrä on tietenkin liian pieni voidakseen tulla kysymykseen sotilaallisiin tarkoituksiin. Jos tutkitaan vielä lyhytaikaisempien luonnollisten radioaktiivisten aineiden päivittäisiä tuotantomahdollisuuksia, huomataan että nämä ovat vielä paljon pienemmät kuin mahdollinen radiumin päivittäinen maksimituotanto.

Luonnolliset radioaktiiviset aineet eivät näin ollen voi tulla kysymykseen sotilaallisiin tarkoituksiin.

Aivan toinen on tilanne, kun tutkitaan keinotekoisien radioaktiivisten aineiden valmistamismahdollisuuksia. Atomipommitettaissa syntyy plutoniumin valmistuksen yhteydessä hyvin paljon erilaisia radioaktiivisia sivutuotteita. Näiden yhteenlasketun määrän voitaneen karkeasti arvioida olevan yhtä suuri kuin valmistettu plutoniummäärä. Plutoniumin tuotanto lienee sodan loppupuolella ollut noin 2 kg päivässä, ja on nyt todennäköisesti 5—10 kg päivässä. Voitaneen siis summittaisesti laskea, että päivittäin saadaan sivutuotteina 5—10 kg radioaktiivisia aineita. Näistä kaikki eivät tosin ole sopivia sotilaallisiin tarkoituksiin liian pienten puoliaikojensa takia. Amerikkalaisten tietojen mukaan huomattava osa näistä aineista kuitenkin omaa puoliaikoja, jotka ovat välissä $2 \text{ viikkoa} < T < 2 \text{ vuotta}$. Nämä aineet ovat siis varastoitamismahdollisuuksien takia juuri sopivimmat. Pitemmät puoliajat eivät näet ole toivottavia, koska saastutettu alue tällöin pysyisi liian kauan vaarallisena. Varovasti arvioiden näiden aineiden tuotantomahdollisuudet lienevät noin kilogramman suuruusluokkaa päivässä. Kun otetaan huomioon, että niiden radioaktiivisuus on huomattavasti suurempi kuin radiumin, tullaan, kuten seuraavassa osoitetaan, siihen johtopäätökseen, että tämä tuotanto on riittävän suuri.

Keinotekoiset radioaktiiviset aineet tarjoavat siis mahdollisuuksia sotilaalliseen käyttöön.

Varastoitamismahdollisuudet.

Varastoitamismahdollisuudet riippuvat jossakin määrin aineen fysikaalisesta esiintymismuodosta eli aggregaatiotilasta, mutta ennen kaikkea sen puoliajasta. Puoliajasta riippuen radioaktiivi-

set aineet voidaan sotilaalliselta kannalta katsoen jakaa kolmeen pääryhmään:

— aineet, joiden puoliaika on niin suuri, että niiden varastoinen voi tulla kysymykseen rauhanaikana, jolloin poliittisia myrskyvaroituksia ei ole havaittavissa,

— aineet, joiden varastoinen voi tulla kysymykseen vasta kun välitön sodanuhka on olemassa sekä

— aineet, jotka sodan aikana voidaan käyttää välittömästi niiden valmistamisen jälkeen.

Kysymys siitä, mihinkä ryhmään jokin aine on laskettava, on laadultaan taloudellinen. Ensimmäiseen ryhmään olisi ehkä sijoitettava ne aineet, joiden $T > \frac{1}{2}$ vuotta; toiseen ryhmään ne aineet, joilla $\frac{1}{2}$ kuukautta $< T < \frac{1}{2}$ vuotta, ja kolmanteen ryhmään aineet, joiden puoliaika on vähintään 1 vuorokausi mutta pienempi kuin $\frac{1}{2}$ kuukautta. Tämä on kuitenkin vain eräs ehdotus. Lopullinen ratkaisu riippuu taloudellisista ja taktillisista seikoista. Primääriseen aineen puoliaika ei ole ryhmäjaottelussa määräävä, vaan se radioaktiivisen hajoamisen kautta syntynyt radioaktiivinen aine, jolla on suurin puoliaika, edellytettynä kuitenkin ettei tämä puoliaika ole niin suuri, että aineella ei enää ole sotilaallista merkitystä.

On huomattava, että varastoimismahdollisuudet eivät ole rajattomia, sillä puoliaika asettaa käytännössä maksimirajan varastoisajalle. Tässä suhteessa nämä aineet eroavat atómipomista, jonka varastois aika käytännössä voi olla miten pitkä tahansa, koska siinä käytetyn plutoniumisotoopin puoliaika on noin 24 000 vuotta.

Radioaktiivisen aineen puoliajasta johtuen ei ole mahdollista luoda mielivaltaisen suuria varastoja. Kun säteilyteho on pienentynyt määrätyn rajan alapuolelle, ei ko. ainetta enää kannata säilyttää.

Jonkin radioaktiivisen aineen käytettävissä oleva maksimimäärä on taloudellisten seikkojen, päivittäisen tuotannon ja aineen puoliajan funktio.

Teho.

Radioaktiivisen säteilyn biologiset vaikutukset johtuvat siitä, että kehon kudokset absorboivat säteilyenergiaa. On todettu, että vaikutus yleensä riippuu pääasiallisesti vain kudosten grammaa kohti absorboimasta energiamäärästä. Säteilyannokset määrätään röntgenyksikköinä (1 r). 1 r vastaa suurin piirtein grammaa kohti absorboitua energiamäärää = 83 ergiä.

Biologiset vaikutukset voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- vaikutus ihoon,
- yleisvaikutukset ja
- vaikutus sukupuolielimiin.

Säteilyvaikutusta tutkittaessa tulee kysymykseen:

- niin sanottu puoliletaaliannos ja
- toleranssiannos (kun kysymyksessä on röntgensäteily, sanotaan toleranssiannosta usein Mutscheller-annokseksi).

Puoliletaaliannos on annos, joka yhdellä kertaa koko kehoon kohdistettuna aiheuttaa 50 % kuolevaisuuden. Tämän annoksen suuruus ihmisiin nähden ei ole tarkkaan tiedossa, mutta lienee noin 400—700 r-yksikköä, kun on kysymyksessä γ -säteily, ja noin 4 000—7 000 r-yksikköä, kun on kysymys β -säteilystä. Tämä eroavaisuus johtuu siitä, että β -säteily pienen läpikäytävyyden johdosta pystyy vaikuttamaan etupäässä vain ihoon, kun sen sijaan γ -säteily pystyy vaikuttamaan sisäelimiin, aiheuttaen muun muassa pahoja verisairauksia. Ihovaikutukset muistuttavat jossain määrin liian pitkien aurinkokylpyjen vaikutuksia. Muodostuneet »palohaavat» paranevat erittäin vaikeasti.

Tärkeämpi kuin puoliletaaliannos lienee sotilaalliselta näkökannalta toleranssiannos. Tämä on suurin annos, jonka alaisena ihminen voi jatkuvasti olla ilman haitallisia seurauksia. Sen suuruus on jossakin määrässä riippuvainen yksilöllisistä ominaisuuksista, mutta lienee keskimäärin 0,01—0,02 r-yksikköä vuorokaudessa, kun kysymyksessä on γ -säteily. Kun on kysymyksessä vain ihoon vaikuttava säteily, se on noin 0,2 r-yksikköä vuorokaudessa.

Vaikutukset sukupuolielimiin ilmenevät joko steriliteetin muodossa tai siinä, että tapahtuu mutaatioita, toisin sanottuna perinnöllisyysominaisuudet muuttuvat. Välttyäkseen tällaisilta seurauksilta pitää päivittäisen säteilyannoksen olla pienempi kuin 0,02 r.

Huomattava on, että elimistöön joutuneen radioaktiivisen aineen vaikutus on valtavasti suurempi kuin elimistön ulkopuolella olevan. Esim. 1 mikrogramma radiumia on elimistöön joutuneena hengenvaarallinen, mutta elimistön ulkopuolella täysin vaaraton.

Jos radioaktiivisia aineita käytetään sotilaallisiin tarkoituksiin, on oletettava että niitä levitetään melko tasaisesti suurelle pinta-alalle. Olettakaamme että kysymyksessä on γ -säteily ja että neliometrille levitetty radioaktiivinen ainemäärä on a milligrammaa. Pisteessä, jonka korkeus saastutetun pinnan yläpuolella on h metriä, on säteilyintensiteetti verrannollinen suureeseen

$$(4) \quad S = 2 \pi a \int_0^{\infty} \frac{r \, dr}{(r^2 + h^2)^2 \frac{\sqrt{r^2 + h^2}}{L}}$$

jossa L on se ilmväli, joka absorboi puolet kyseessä olevasta γ -säteilystä.

Suoritetaan sijoitus $r^2 + h^2 = R^2$, josta seuraa: $r \, dr = R \, dR$, ja saadaan

$$(5) \quad S = 2 \pi a \int_h^{\infty} \frac{dR}{R \cdot 2 \frac{R}{L}}$$

Tämä on S :n yksinkertaisin muoto, josta helposti nähdään, että kysymyksessä on korkeampi transkendenttifunktio, joten integrointi on suoritettava numeerisesti. Tähän tarkoitukseen käytetään Simpsonin sääntöä sovellettuna yhtälöön (4), joka kirjoitetaan muotoon

$$S = 2 \pi a \left[\int_0^{100} \frac{r \, dr}{(r^2 + h^2)^2 \frac{\sqrt{r^2 + h^2}}{L}} + \int_{100}^{\infty} \frac{r \, dr}{(r^2 + h^2)^2 \frac{\sqrt{r^2 + h^2}}{L}} \right]$$

Käytännössä kysymykseen tulevat h :n arvot ovat yleensä < 10 m. Niin kauan kuin $0 < h \leq 10$, voidaan riittävällä tarkkuudella käyttää arvoa

$$(6) \quad S \approx 2 \pi a \left[\int_0^{100} \frac{r \, dr}{(r^2 + h^2)^2 \frac{\sqrt{r^2 + h^2}}{L}} + 0,046 \right]$$

Kun tässä esiintyvässä integraalissa ensiksi jaetaan integroimisväli (0, 100) kahteen osaväliin (0, 10) ja (10, 100), saadaan Simpsonin säännön avulla eräitä termejä yhdistellen

$$\left(\begin{aligned} & \frac{475}{3} \cdot \frac{2 - \frac{10^2 + h^2}{2L}}{10^2 + h^2} + \frac{25}{3} \left[\frac{2 - \frac{2,5^2 + h^2}{2L}}{2,5^2 + h^2} + \frac{2 - \frac{5^2 + h^2}{2L}}{5^2 + h^2} + \frac{3 \cdot 2 - \frac{7,5^2 + h^2}{2L}}{7,5^2 + h^2} \right] \\ & + 150 \left[\frac{22 \cdot 2 - \frac{35^2 + h^2}{2L}}{55^2 + h^2} + \frac{10 \cdot 2 - \frac{100^2 + h^2}{2L}}{100^2 + h^2} \right] + 0,046 \end{aligned} \right) (7) \quad S \approx 2 \pi a$$

$$= 2 \pi a \cdot A(h, L)$$

50 mg:n suuruisen metrin etäisyyteen sijoitetun radiumpreparaatin säteilyintensiteetti on verrannollinen suureeseen

$$\frac{50}{1^2 2 \frac{1}{L}}$$

joten levittämällä a mg/m² suurelle alueelle saadaan sama säteilyintensiteetti korkeudella h , jos

$$(8) \quad a \approx \frac{50}{2^{1 + \frac{1}{L}} \pi A(h, L)}$$

Edellytyksellä että $L = 20$ m, mikä vastaa suhteellisen pitkäaaltoista γ -säteilyä, saadaan eri h :n arvoille seuraava taulukko:

h	1 m	2 m	5 m	10 m
$A(h, L)$	2,973	2,498	1,651	0,892
$2 \pi A(h, L)$	18,68	15,69	10,37	5,60
a	2,7	3,2	4,8	8,9

Ihmisen säteilyn vaikutukselle arkojen elinten keskimääräisenä korkeutena maanpinnasta voitaneen pitää $h = 1,0 - 1,2$ m. Seuraavassa käytetään aina $h = 1$ m.

Nyt tiedetään, että metrin etäisyydellä sijaitsevan radiumpreparaatin, jonka suuruus on 50 mg, vuorokaudessa lähettämä säteilyannos on noin 1 r eli 50—100 kertaa suurempi kuin mikä toleranssiannoksen perusteella on sallittu. Tällainen säteilyteho lienee kuitenkin pienin, joka voi tulla kyseeseen sotilaallisessa mielessä, koska muuten kestää liian kauan ennen kuin säteilyn vaikutus on riittävän suuri. Siinä julkaistussa kirjoituksessa, josta tieto edellä mainitun radiumpreparaatin lähettämästä säteilyannoksesta on saatu, ei ole mainittu mikä radiumpreparaatti on kysymyksessä. Seuraavassa on oletettu, että kysymyksessä on ollut puhdas radium. Jos kuitenkin (niinkuin on todennäköistä) on ollut kysymyksessä RaBr/, on kaikki seuraavassa mainitut pinta-alat suurennettava 70 %.

Käyttämällä 1 kg radiumia voitaisiin edellisen perusteella saastuttaa $0,37 \text{ km}^2$ niin että säteilyannos olisi 1 r vuorokaudessa.

Keinotekoisesti valmistetut sotilaalliseen käyttöön soveltuvat radioaktiiviset aineet ovat paljon tehokkaampia kuin radium. Tarkkoja tietoja näiden aineiden säteilytehosta ei tosin ole julkaistu, mutta monien seikkojen, muun muassa puoliaikojen perusteella on todennäköistä, että niiden teho radiumiin verrattuna on 800—250 000 kertaa suurempi.

Voimakkaimmat aineet omaavat pienen puoliajan ja voivat tulla kysymykseen silloin kun voimakkaalla säteilyintensiteetillä pyritään tuhoamiseen. Esimerkiksi radioaktiivinen Xenon-kaasu, jonka puoliaika on 5 vuorokautta ja jota saadaan runsaasti plutoniumin valmistuksen sivutuotteena, on noin 50 000 kertaa voimakkaampi kuin radium.¹ Olettakaamme, että sitä käytettäisiin saastuttamaan jokin alue niin, että säteilyintensiteetti alussa olisi 100 r-yksikköä päivässä. Silloin 1 kg tätä kaasua riittäisi saastuttamaan noin 185 km^2 . Tällaisen saastutuksen esimerkiksi 10 vuorokaudessa lähettämä säteilyannos on

¹ On mahdollista että radioaktiivinen Xe on vielä paljon vaarallisempaa, sillä kaasuna se pystyy helposti keuhkojen kautta tunkeutumaan elimistöön. Koska Xe on jalokaasu, se läpäisee esteettä kaikki nykyään käytössä olevat kaasunaamarisuodattimet.

$$\begin{aligned}
 100 \int_0^{10} e^{-\frac{\ln 2}{5} t} dt &= -\frac{500}{\ln 2} \int_0^{10} e^{-\frac{\ln 2}{5} t} dt = -\frac{500}{\ln 2} \left(e^{-2 \cdot \ln 2} - 1 \right) \\
 &= \frac{500}{\ln 2} \left(1 - \frac{1}{4} \right) = \frac{1500}{4 \ln 2} \approx 540 \text{ r-yksikköä,}
 \end{aligned}$$

mikä koko kehoon säteilyn muodossa kohdistettuna on hengen-vaarallista.

Jos taas käytetään jotakin pitempiaikaisempaa ainetta, joka on esimerkiksi 10 000 kertaa voimakkaampi kuin radium (T ehkä noin 1 kuukausi) aiheuttamaan saastutuksen, jonka alkuvoimakkuus on 10 r-yksikköä vuorokaudessa, riittää yksi kg saastuttamaan noin 370 km². 1 r:n saastutus saataisiin samalla ainemäärällä noin 3 700 km²:n suuruiselle alueelle.

Keinotekoiset radioaktiiviset aineet ovat siis riittävän voimakkaita omatakseen hyvinkin suuren sotilaallisen merkityksen, tämä siitäkkin huolimatta, että niiden tuotanto on pieni, todennäköisesti vain muutamia kg päivässä.

3. Yleiset saastuttamisperiaatteet.

Saastutuksen tarkoitus ja siihen käytettävät aineet.

Saastutuksen tarkoituksena voi olla:

- vihollisen tuhoaminen tai
- vihollisen liikenteen ja elinkeinoelämän saattaminen sekasorttoon.

Saastutusainetta valikoitaessa tulee myös ottaa huomioon strategiset ja taktilliset näkökohdat. Jos esimerkiksi on tarkoitus myöhemmin ennakoitua määrättyä ajankohtana vallata alue, jonka saastuttamista suunnitellaan, on saastutusaine ja saastuttamisvoimakkuus valittava siten, että saavutetaan riittävä teho, mutta samalla että alue suunniteltuna valtauspäivänä taas on vaaraton. Myös on saastuttaminen suunniteltava siten, että alue ei tule liian aikaisin vaarattomaksi, jolloin viholliselle jää aikaa sen puoistuksen uudelleen järjestämiseen.

Jos saastuttamisella pyritään vihollisen tuhoamiseen, on käy-

tettävä voimakasta saastutusta, esim. 100—1 000 r:ään vuorokaudess. Jos sen sijaan tarkoituksena on vain liikenteen ja elinkeinolämän häiritseminen, on taas käytettävä heikkoa saastutusta, ehkä 1—10 r:ään vuorokaudessa. Jos vihollinen halutaan pakottaa evakuoimaan esimerkiksi jokin tärkeä teollisuusalueensa, käytetään heikkoa mutta pitkäaikaista saastutusta. Rintamalinjojen läheisyydessä tulevat ensi sijassa kysymykseen hyvin voimakkaat mutta lyhytaikaiset saastutukset.

Liikennettä häiritäessä on edullista saastuttaa tärkeimmät liikennesolmukohdat heikosti mutta pitkäaikaisesti. Jos tarkoituksena on liikenteen estäminen esim. jollakin rautatien osalla, on taas käytettävä voimakasta saastutusta, jonka kesto-aika jää riippuvaksi vallitsevasta sotatilasta ja taloudellisista seikoista.

Näin ollen tullaan siihen, että alue, joka voidaan saastuttaa yhdellä kg:lla radioaktiivista mutta ei kaasumaista ainetta, on yleensä 100—4 000 km²/kg. Erikoistapauksissa voivat tulla kysymykseen niinkin pienet alueet kuin 20 km²/kg (rintamalinjojen välittömässä läheisyydessä) ja toiselta puolen taas niinkin suuret kuin 10 000 km²/kg (kysymyksessä heikko häirintävaikutus valtavalla alueella). Kaasumaisia radioaktiivisia aineita käytettäessä (Xe ja Kr) edellä mainitut pinta-alat suurenevat huomattavasti.

Levittämistekniikka.

Tasaista levittämistä varten radioaktiiviset aineet on sekoitettava muihin aineisiin, koska muuten lienee mahdotonta levittää näitä kalliita aineita taloudellisesti. Sopiva sekoitusaine on esimerkiksi hitaasti haihtuva öljy, joka tarjoaa sen edun, että levitetty aine tarttuu maanpintaan niin ettei tuuli pääse viemään sitä saastutetuksi tarkoitetun alueen ulkopuolelle.

Sekoitusaineksi voidaan valita myös esim. sinappikaasu, jolloin radioaktiivinen aine tämän vaikutuksesta helposti voi päästä tunkeutumaan myös elimistöön, jolloin sen teho moninkertaistuu.

Varsinaiseen levittämistekniikkaan ei tässä ole syytä syventyä. Viitataan vain kaasujen levittämistapoihin yleensä.

4. Suojatoimenpiteet.

Suojatoimenpiteet jakaantuvat:

- säteilyntiedusteluun ja
- varsinaisiin suojatoimenpiteisiin.

Säteilyntiedustelu.

Koska radioaktiivisen säteilyn biologiset vaikutukset eivät ilmaannu heti, huomaa ihminen, joka on saanut tappavan säteilyannoksen, ensimmäiset oireet ehkä vasta muutamien päivien kuluttua. Tämän vuoksi on tärkeimpiin kohteisiin sijoitettava herkäät laitteet, jotka jatkuvasti rekisteröivät radioaktiivisen säteilyn intensiteettiä. Paras tällainen laite on Geiger-Müller laskija. Tällaisia kojeita voidaan rakentaa kotimaassa (Yliopiston fyysialinen laitos on niitä rakentanut) eikä niiden hintakaan ole yletömän suuri. Kun liian voimakasta radioaktiviteettia on todettu, tarvitaan vielä yksinkertaiset laitteet saastutuksen laajuuden ja voimakkuuden tutkimiseen. Tällaiset ionisaatiokammioihin perustuvat laitteet mittaavat säteilyintensiteetin suoraan r-yksikköinä.

Tarpeellinen valvontaverkko voitaisiin ainakin rauhan aikana edullisesti liittää sääpalveluverkkoon.

Radioaktiivinen sota on kammottava mahdollisuus. Sen takia on viipymättä luotava valvontaverkko. Muunlainen menettely on rikos kansakuntaa vastaan.

Varsinaiset suojatoimenpiteet.

Varsinaiset suojatoimenpiteet voidaan tässä kuitata lyhyesti seuraavasti:

- desentralisointi,
- tärkeimpien laitosten sijoittaminen radioaktiivisesti eristettyihin maanalaisiin luoliin,
- evakuoimissuunnitelmien laatiminen niin, että saastutettu kohde nopeasti voidaan tyhjentää. On luultavaa, että aina jää ainakin muutamia tunteja, joissakin tapauksissa ehkä päiviäkin, ennen kuin säteilyvammat käyvät vaarallisiksi,

— evakuoitujen ihon puhdistaminen heti kun he ovat päässeet vaarallisen alueen ulkopuolelle, sekä vaatteiden vaihtaminen, mikäli niihin on tarttunut radioaktiivisuutta.

Tärkeätä on joka tapauksessa, että lääketieteelliset ja sotilaalliset asiantuntijat yhteisvoimin ja lähitulevaisuudessa laativat suunnitelman tarpeellisista suojatoimenpiteistä.

Kirjallisuus:

Tekijä on käyttänyt seuraavia julkaisuja, joissa on täydellisempi kirjallisuusluettelo:

Tallqvist, Hj.: Om kärnfysiken och dess utveckling.

Kurs i kärnfysik; utgiven av Teknisk Tidskrifts förlag.