

# I Bioloogiline oht

Andres Talvari

Tallinn 2010

Õppevahend ilmub Lawrence Livermore National Laboratory For the U.S. Department of Energy (LLNL/NNSA) finantstoel.

International Nonproliferation Export Control Program.

Contract Funding No.B575195 to the Estonian Public Service Academy.

Projektijuht: **Ramon Loik**

ISBN 978-9985-67-175-7

© Sisekaitseakadeemia 2009

Sisekaitseakadeemia  
Kase 61, 12012, Tallinn  
detsember 2009

## Sisukord

<b>1.1</b>	Sissejuhatus : Taust Euroopa Liidus.Hädaolukorraks valmisoleku taust	4
<b>1.2</b>	Valmisoleku mõiste	6
<b>1.3</b>	Kaasatavad poliitikavaldkonnad	7
<b>1.4</b>	Bioloogiliseks hädaolukorraks valmisoleku peamised põhimõtted	9
<b>1.4.1</b>	Ärahoidmine ja kaitse	10
<b>1.5</b>	Bioloogiliste teadusuuringutega seonduva analüüsi ja turvatingimuste tõhustamine	11
<b>1.6</b>	Järelvalve tõhustamine	13
<b>1.7</b>	Õnnetustele reageerimine ja esialgse olukorra taastamine	14
<b>2.</b>	Bioloogilised toimeained	16
<b>2.1</b>	Bakteriaalsed toimeained	17
<b>2.2</b>	Viiruslikud ründeained	20
<b>2.3</b>	Bioloogilised toksiinid	22
<b>3.</b>	Bioloogiliste relvade ajalugu	25
<b>4.</b>	Bioloogilise relva kasutamise eelised ja puudused	27
<b>5.</b>	USA, Venemaa ja Hiina bioloogiliste relvade programmid	28
<b>6.</b>	1925.a. Genfi protokoll	31
<b>7.</b>	1972.a. biorelvade konventsioon	31
<b>8.</b>	Biorelvade kasutamine tulevikusõjas	32
<b>9.</b>	Biorelva kasutamine terrorismis	33
<b>10.</b>	Biorelvade põhjustatud haigused ja meditsiiniline abi	34
<b>11.</b>	Biorelva kohaletoimetamise süsteemid	36
<b>12.</b>	Biorelva detekteerimine. Kaitse ja saastumisest puhastamine (dekontaminatsioon)	41

# Sissejuhatus

## 1.1 Taust Euroopa Liidus. Hädaolukorraks valmisoleku taust (2007)

Üldise valmisoleku tagamise eesmärgil bioloogilise hädaolukorra tekkel on Euroopa Ühenduse Komisjon algatatud konsultatsiooniprotsess Euroopa tasandil selle üle, kuidas vähendada bioloogilisi riske ning tõhustada nendeks valmisolekut ja neile reageerimist (edaspidi "bioloogiliseks ohuks valmisolek"). Konsulteerimine võib viia ühenduse ja Euroopa Liidu pädevusse kuuluvate konkreetsete bioloogiliseks ohuks valmisoleku meetmeteni 2008. aastal. Kohaldatavate otsustamismenetluste ja vajadusel mõjuhinnangu järel võib olla vajalik esitada ja töötada välja konkreetsete meetmed eraldi konkreetsete töövaldkondade jaoks.

Selleks et parandada ELi võimet hoida ära bioloogilisi õnnetusi ja tahtlikku kriminaalset tegevust, neile reageerida ja taastada esialgne olukord, tuleb erinevates poliitikavaldkondades võetavate meetmete ühtsuse tagamiseks konsulteerida liikmesriikide ja ELi tasandi kõigi asjaomaste sidusrühmadega, näiteks ohtude ärahoidmise ja neile reageerimise eest vastutavate liikmesriikide ametiasutuste, rahvatervise (st inimeste, loomade ja taimetervise) eest vastutavate asutuste, tolliasutuste, kodanikukaitse organisatsioonide, õiguskaitseasutuste, sõjaväe, biotööstuse, epidemioloogia- ja tervishoiuringkondade, akadeemiliste asutuste ja bioloogiliste teadusuuringute instituutidega.

Sidusrühmadelt tagasiside saamine on äärmiselt oluline, et ta saaks hinnata olemasolevaid mehhanisme ja raamistikke ja nende rakendamist, tuvastada võimalikud puudused ning teha seejärel vajaduse korral ettepanekud konkreetsete meetmete võtmiseks kooskõlas EÜ asutamislepingu artiklis 5 sätestatud subsidiaarsuse põhimõttega. Sidusrühmad peaksid ka kaaluma, kus nad näevad praegu puudusi ja mida tuleks täiendavalt parandada.

Eurooplased peavad terrorismi üheks peamiseks probleemiks, millega Euroopa Liit täna silmitsi seisab.<sup>1</sup> Rünnakud Madridis, Londonis, New Yorgis ja mujal maailmas näitasid selgelt, et terrorism kujutab endast ohtu kõigi riikide ja rahvaste jaoks. Terroristid on võtnud sihikule meie julgeoleku, meie demokraatliku ühiskonna väärtused ning meie kodanike põhiõigused ja -vabadused. Terroristid võivad kasutusele võtta sellised mittekonvent-

sionaalsed vahendid nagu bioloogilised relvad või materjalid. Mõned neist materjalidest suudavad nakatada tuhandeid inimesi, reostada pinnast, ehitisi ja transpordi infrastruktuure, mõjuda hävitavalt põllumajandusele, nakatada loomapopulatsioone ning lõpuks kahjustada toiduaineid ja sööta toiduainete tarneahela mis tahes etapis. Statistiliselt on "bioterroristide" rünnaku risk olnud madal,<sup>2</sup> kuid selle tagajärjed võivad olla laastavad. Kui Euroopa Liidus levitatakse tahtlikult surmavaid patogeene või puhkeks loomulikult teel leviv haigus või kui see toodaks sisse kolmandast riigist, siis on võimalik, et see kahjustab samaaegselt mitmeid liikmesriike või levib üle piiride ning et sellel on märkimisväärne majanduslik ja sotsiaalne mõju.

Kuigi on selge, et teaduse arengust saadav kasu võib mõnes valdkonnas kaaluda üles võimalikud turvakaalutlused, võivad seoses bioteaduste ja -tehnoloogia ülemaailmse arenguga mõned kahesuguse kasutusega ekspertteadmised ja tehnoloogia muutuda kättesaadavaks kriminaalsetele poliitilistele ühendustele ja terroristidele ja anda neile võimaluse bioloogiliste rünnakute korraldamiseks. Samal ajal kujutavad ka loomulikult teel levivad haigused, laboriõnnetused või muud haigustekitajate ja patogeenide ootamatud keskkonda sattumised endast ohtu, mis võib samuti häirida meie ühiskonda ja kahjustada majandust.

Paljudes asjaomastes sektorites (näiteks toiduainetööstus, tööhutus jne) on piisava ohutustaseme tagamiseks kehtestatud laiapõhjaline õigusraamistik. Ometi võib ohutusmeetmete ebatäiuslik rakendamine ja puudused turvalisuses kujutada endast mõnedes valdkondades jätkuvalt ohtu. Euroopa ei saa oodata, kuni hakkavad juhtuma tõsiste tagajärgedega õnnetused või kuni terroristid hakkavad neid puudusi ära kasutama.

<sup>1</sup>Vt näiteks Eurobaromeetri uuring ELi avaliku arvamuse kohta: [http://ec.europa.eu/public\\_opinion/archives/eb/eb64/eb64\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/eb/eb64/eb64_en.pdf)

<sup>2</sup>11. septembri 2001. aasta terrorirünnakute järel tehti Ameerika Ühendriikides kindlaks esimesed kümme kinnitust leidnud Siberi katku kopsuvormi juhtu, mis olid põhjustatud *Bacillus anthracis*'e tahtlikust levitamisest. Samal ajal teatati ka Euroopas mitmest Siberi katku juhtumist, mis osutusid siiski valehäireteks.

## 1.2 Valmisoleku mõiste

Eespool nimetatud põhjustel tuleb vähendada ohtlike bioloogiliste materjalide ja patogeenidega seonduvaid riske ja tõhustada valmisolekut lähenemisviisiga, mis hõlmab Euroopas kõiki bioloogilisi ohte – üldine valmisolek kogu kriisiohje suutlikkuse raames. Täpsemalt on sellise lähenemisviisi eesmärk võtta arvesse kõiki võimalikke riske, mis tulenevad terrorirünnakust, muust tahtlikust levitamisest, õnnetusest või loomulikult teel levivatest haigustest, et olla valmis toime tulema kõigi kriisiolukordadega, mis seonduvad toiduainete tarneahela kaitsega. Kõiki bioloogilisi ohte käsitleva lähenemisviisi võtmise põhjuseks on see, et asjakohast turvapraktikat ei saa üles ehitada ilma tugeva ohutuskultuurita. Lisaks sellele on juhtumi varajases etapis haiguse põhjusi ja allikat väga sageli raske kindlaks teha. Tahtliku levitamise korral täidavad olulist rolli õiguskaitseasutused.

Mõistet "valmisolek" kasutatakse üldises tähenduses, mis hõlmab kõiki aspekte, nagu ärahoidmine, kaitse, esmane reageerimisvõime, kurjategijate/terroristide kohtu alla andmine, järelevalve, teadusuuringute potentsiaal, reageerimine ja algse olukorra taastamine. See mõiste hõlmab ka samme, mis võetakse toiduainete tarneahela tahtliku bioloogiliste mõjuritega<sup>3</sup> saastamise ohu minimeerimiseks ja kaitseks bioloogiliste relvade<sup>4</sup> eest.

See erineb toiduohutusest, mille puhul keskendutakse toiduohutuse, heade tootmistavade ja põllumajandustoodete kvaliteedikontrolliga seonduvate standardite kehtestamisele kõigi töötlemisahela etappide jaoks. See erineb ka toiduainetega kindlustamisest, mille Maailma Terviseorganisatsioon on määranud juurdepääsuna piisavale hulgale ohututele ja kvaliteetsetele toiduainetele. Sellele vaatamata hõlmab bioloogiliseks ohuks valmisolek laia rahvatervise kaitsega seonduvat tegevusskaalat. Mõnes muus (näiteks laboratoorsete keskkondade, teadusringkondade, tervishoiu, tootmisrajatiste, väliuuringute ja transpordi) kontekstis võidakse bioloogilist ohutust ja bioloogilist turvalisust ka teisti mõista.<sup>5</sup> Bioloogiliseks ohuks valmisoleku eesmärk ei ole dubleerida toidu- ja tooteohutuse tagamiseks kehtestatud õigusraamistikku, sealhulgas õnnetuste või konkreetse toote ohutuse kohta uue teabe saamise korral võetavaid kiireloomulisi meetmeid, vaid seda raamistikku täiendada, et parandada turvalisust, tahtliku kuritegevuse ja õnnetuste ärahoidmist ning reageerimist loomuliul teel levivatele haiguspuhangutele.

2006. aastal korraldas komisjon kaks Euroopa bioloogiliseks ohuks valmisoleku ja ühe biomaterjalide transpordi ja jälgitavuse teemalise seminari. Nimetatud arutelude tulemusi ja seal väljapakutud soovitusi on käesoleva materjali koostamisel arvesse võetud. Eeskätt tõstatati järgmised probleemid: teadlikkus kehtivast õigusraamistikust, minimaalsete turvastandardite olemasolu ja kohaldamine, puudused Euroopa analüütilises suutlikkuses bioloogiliste riskide vähendamiseks, teadusuuringute võimalik väärkasutus, haiguste avastamiseks vajaliku suutlikkuse puudumine, vajadus mitmeid asutusi ja sektoreid hõlmava koostöö järele jne.

<sup>3</sup> Sealhulgas elusloomad ja zoonootilisi haigusi põhjustavad bioloogilised mõjurid.

<sup>4</sup> Bioloogilisi relvi võib määratleda kui elusorganismidest saadud mikroorganismide või toksiinide tahtlikku kasutamist inimeste, loomade või taimede surma või haigestumise põhjustamiseks.

<sup>5</sup> Mõistete "bioloogiline ohutus" ja "bioloogiline turvalisus" täpsed määratlused on esitatud WHO laboratoorse bio-ohutuse suunistes, mis on kättesaadavad aadressil: [http://www.who.int/csr/resources/publications/biosafety/WHO\\_CDS\\_EPR\\_2006\\_6.pdf](http://www.who.int/csr/resources/publications/biosafety/WHO_CDS_EPR_2006_6.pdf) Lisateave on kättesaadav aadressil: <http://www.who.int/csr/resources/publications/biosafety/Biosafety7.pdf> ja <http://www.who.int/csr/labepidemiology/projects/biosafety/en/index.html>

## 1.3 Kaasatavad EL poliitikavaldkonnad

Bioloogiliste riskidega võitlemine tugineb mitut valdkonda hõlmavatele kohustustele – koostöö leviku tõkestamise ja desarmeerimise valdkonnas ning abi. Seda silmas pidades pakuks terviklik bioloogiliste riskide vähendamise lähenemisviis, mis hõlmaks endas 1972. aasta bioloogiliste ja toksiliste relvade konventsiooni, leviku tõkestamise tarnijate gruppi, Austraalia gruppi ja rahvatervise valdkonnas antava abi vahendeid, unikaalset võimalust, mis ühendaks endas julgeoleku ja arengu. ELi välispoliitilistel meetmetel on selles kontekstis selge lisaväärtus. Mitmepoolsel ja piirkondlikul tasandil on ELi eesmärk tõhustada ühist reageerimisvõimet bioloogilistele juhtumitele, sealhulgas bioterroriaktidele.

Asjakohane on praktiliselt igasugune erinevatel tasanditel toimuv tegevus, mille eesmärk on ennetada võimalikku kaitset bioloogiliste riskide ja bioterrorismi vastu. Sel eesmärgil võiks üldiselt tõhustada mitmete poliitika-valdkondade meetmetega, nagu haiguste seire-<sup>6</sup> ja avastamise mehhanismide parandamine, piiriülese koostöö ja teabevahetuse tõhustamine, rahvusvahelise laborite vahelise koostöö lihtsustamine ning mehhanismide väljatöötamine meditsiiniliste vastumeetmete rahvusvaheliseks vahetamiseks. Selliseid meetmeid on juba võetud ja neid võiks veelgi tõhustada, et neist oleks loomulikult teel leviva haiguspuhangu või bioloogilise terrorirünnaku korral kasu kogu ELil.

**Piiriülene koostöö** on keskse tähtsusega mis tahes tõhusa valmisolekustrateegia ja reageerimise juures. Seetõttu on vajalik ja asjakohane toimida Euroopa tasandil ja koordineerida meetmeid, et vähendada bioloogilisi riske ja suurendada valmisolekut.

Seda tuleks ka teha laiema rahvusvahelise koostöö vaimus. EL ja selle liikmesriigid peaksid jätkama bioloogiliseks ohuks valmisoleku nimel tehtavat tööd ja veelgi tugevdama oma koostööd selles valdkonnas erinevate rahvusvaheliste foorumite raames nagu ÜRO struktuurid, bioloogiliste ja toksiliste relvade konventsioon, Austraalia grupp, G8, NATO jne.

Rahvusvahelises kontekstis tuleks erilist rõhku panna ka sellele, et tõhustada haiguste varajast tuvastamist ja avastamist kogu maailmas ning paremini edendada Euroopa bioloogilisi ohte käsitlevaid lähenemisviise.

Bioloogilise ohutuse ja kodanikukaitse tagamiseks on nii ELi kui ka liikmesriikide tasandil võetud palju konkreetseid meetmeid, kuid tahtlike rünnakutega toimetulekuks on neid vaja kohandada. Seetõttu võib igasugused uued meetmed võimaliku tahtliku levitamise käsitlemiseks välja töötada olemasolevate meetmete pinnalt.

**Kodanikukaitse valdkonnas** antavat abi käsitleva ühenduse mehhanismi (nõukogu otsus 2001/792/EÜ, Euratom) raames korraldati terrorismiks valmisolekuks ja sellele reageerimiseke üleeuroopalisi õppusi, koolitusi ja ekspertide vahetust. 2007. aastal ajakohastati mehhanismi õiguslikku alust ja loodi kodanikukaitse rahastamisvahend (nõukogu otsus 2007/162/EÜ, Euratom). Selline areng pakub selget õiguslikku ja finantsraamistikku praeguste meetmete jätkamiseks ja tugevdamiseks. Oluline on ka meelde tuletada kehtivaid kriisiohje ja Euroopa solidaarsusmehhanisme.<sup>7</sup>

Toiduainete tarneahela ja agrotööstuse peamine probleem on patogeeni või saasteaine viimine loomade või toiduainete tarneahelasse. Leevendusmeetmed on samad, mis loomulikult teel leviva haiguspuhangu korral, nt varajane avastamine, usaldusväärsed jälgitavuse süsteemid, kiired kontrolli- ja algse olukorra taastamise meetmed, situatsioonplaanid ja üldine koordineerimine. Sellele vaatamata võiks välja töötada ELi töövahendid, mis aitaksid toime tulla bioloogiliste terrorirünnakutega, mille käigus levitatakse patogeene samaaegselt mitmes erinevas ko-

<sup>6</sup> Praktiline näide sellest on Euroopa Parlamendi ja nõukogu 24. septembri 1998. aasta otsusega nr 2119/98/EÜ moodustatud ühenduse epidemio- loogilise seire ja nakkushaiguste tõrje võrgustik.

<sup>7</sup> Vt solidaarsusfondi määrus (EÜ) 2012/2002. Kui nimetatud määruses piirduakse suurte loodus- õnnetuste käsitlemisega, siis 2005. aastal tegi komisjon ettepaneku laiendada selle kohaldamis- ala selliselt, et see hõlmaks ka hädaolukordi tervis- hoiuvaldkonnas ja terroriakte (vt KOM (2005) 108 (lõplik)).

has ELis, ning samaaegselt esinevate erinevate haiguste puhangutega, mis võivad olemasolevale reageerimisvõimele üle jõu käia ja seega kahjustada rahva tervist ning avaldada liikmesriikide ja kogu Euroopa Liidu kaubandusele ja majandusele olulist negatiivset mõju.

Toiduainetes sisalduvate saasteainetega seoses on EL juba võtnud meetmed riskide minimeerimiseks. Toiduainetes sisalduvaid keemilisi saasteaineid käsitlevate ELi õigusaktide peamised põhimõtted on sätestatud nõukogu määruses (EMÜ) nr 315/93. Asjakohased võivad olla ka muud toiduohutuse valdkonnas vastuvõetud õigusaktid. Eelkõige on jälgitavus tagatud määrusega (EÜ) nr 178/2002, millega kohustatakse toidukäitlejaid olema võimeline tegema kindlaks iga isiku, kellelt nad toiduaineid/toorainet saavad. Toidukäitlejad peavad olema ka võimelised kindlaks tegema ettevõtjad, kellele nad tooteid tarnivad. Samu nõudeid kohaldatakse ka importööride suhtes ja nad peavad arvestama selle kahetahulise lähenemisviisiga. Määruses (EÜ) nr 178/2002 nähakse ette ka kiireloomulised meetmed ja kriisiohje.

On ka meetmed, mis ei moodusta osa kuritegevuse ega terrorismivastastest leevendusmeetmetest, kuid mis aitavad kaasa loomahaiguste ohjeldamisele, kontrollile ja algse olukorra taastamisele. Näiteks identifitseeritakse loomad kas ühekaupa kõrvamärkide abil või elektroonilise identifitseerimise abil või rühmadena. Lisaks sellele on enamik loomakasvatuseettevõtteid registreeritud ja loomade liikumist registreeritakse nii liikmesriikides kui ka nende vahel. Nimetatud tava kindlustab kõrge jälgitavuse taseme (nt kaubanduse kontrolli- ja ekspertsüsteem TRACES).

Loomade ja loomsete saaduste võimaliku ebaseadusliku impordiga järelevalve põhineb kontrollikorra keskuste ja õigusraamistikus sätestatud nõuetel, mille kohaselt kolmandate riikide ja nende ettevõtete heakskiitmise aluseks ametlike impordisertifikaatide olemasolu ja kohustuslik kontroll piiripunktides. Kehtestatud on ka mitteloomseid saadusi käsitlevad sätted, millega nähakse ette ettevõtete ja päritoluriigi märkimine ning partiide kaupa jälgitavus. Tolli ja pettusevastased jõupingutused on tervise ja ohutuse kaitseks samavõrra olulised, seda eriti nende rolli tõttu salakaubanduse ja võltsimise vastases võitluses.

**Rahvatervise valdkonnas** on juba võetud mitmeid meetmeid, näiteks liikmesriikide ja komisjoni kõrgetasemelistest esindajatest koosneva terviseohutuse komitee loomine 2002. aastal, kõigi liikmesriikide rahvatervise laborite koostööd võimaldav foorum, liikmesriikide ja komisjon vahelise teabevahetuse süsteem rüügetega seonduva hädaolukorra lahendamise plaanide kohta ning nimekirja ekspertidest, kelle poole võib pöörduda nõuande saamiseks või uurimise läbiviimiseks ohtlike mõjurite või patogeenide tahtliku levitamise juhtude korral. Lisaks sellele peetakse nimekirjasid võimalikest bioloogilistest ja keemilistest mõjuritest ja patogeenidest, mida terroristid kasutada võivad (rõuged, Siberi katk, botulismitoksiin jne), ning Euroopa Raviamet (EMA) on koostanud juhenddokumendi patogeenidega kokkupuutunud patsientide raviks.

Selles kontekstis on oluline mainida ka direktiivi (EÜ) nr 2000/54 töötajate kaitse kohta bioloogiliste mõjuritega kokkupuutest tulenevate ohtude eest tööl. Kõnealuses direktiivis käsitletakse pigem bioloogilisi mõjureid kui mikroorganisme ja sellega on hõlmatud ka geneetiliselt muundatud bioloogilised mõjurid,<sup>8</sup> rakukultuurid ja inimese endoparasiidid, mis võivad põhjustada nakkust, allergiat või mürgistusnähte. Kuigi bioloogiliste mõjuritega määratluses on nimetatud toksilisust ja allergeensust, põhinevad neli riskirühma nakatumisohu tasemel.

<sup>8</sup> Asjakohane on ka järgmine geneetiliselt muundatud organisme käsitlev õigusakt – direktiiv (EMÜ) nr 90/219, mida on muudetud direktiiviga 98/81 geneetiliselt muundatud mikroorganismide isoleeritud kasutamise kohta ning millega nähakse ette eeskirjad rajatiste liigitamiseks ja situatsiooniplaanid, millel on piiriülene mõõde.

<sup>9</sup> KOM (2006) 787 (lõplik).

Seoses turvalisuse suurendamisega tuleks mainida ka komisjoni ettepanekut nõukogu direktiivi kohta, mis käsitleb Euroopa esmatähtsate infrastruktuuride identifitseerimist ja määramist ning nende kaitse parandamise vajaduse hindamist.<sup>9</sup> Ettepanekus loetakse tervishoiusektorit üheks esmatähtsate infrastruktuuride sektoriks. Teiselt poolt on käesolevas dokumendis käsitletavat teemat laiemad ja küsimuste asetus erinev võrreldes Euroopa esmatähtsate infrastruktuuride ettepanekuga. Sellele vaatamata võib esineda kokkupuutepunkte nagu biolaborite ja bioloogiliste mõjuritega kaitse. Seetõttu hakatakse nende kahe algatusega seonduvaid asjaomaseid meetmeid omavahel asjakohaselt koordineerima.



Kõike eespool nimetatut täiendavad Euroopa Komisjoni tervishoiu ja tarbijakaitse peadirektoraadi alluvusse kuuluva Toidu- ja Veterinaarameti tehtavad inspeksioonid, TRACESi süsteem ning ööpäevaringselt 7 päeva nädalas töötavad 11 kiirhoiatussüsteemi (RAS), näiteks toidu- ja sööda kiirhoiatussüsteem (RASFF), bioloogilise ja keemiaterrorismi hoiatussüsteem (RAS-BICHAT), ühenduse kodanikukaitse mehhanismi seire- ja teabekeskus ning turvaline üldine kiirhoiatussüsteem (ARGUS).

Rõhutada tuleks ka koostööd erasektoriga ja erasektori sees. Samuti õhutatakse parima tava vahetust farmaatsia- ja toiduainetööstuste ning suurte tootlustusettevõtete seas, aga ka toiduainete tarneahelas osalevate suurettevõtete ja VKEde vahel. Nimetatud organisatsioonid peaksid suutma tugineda tõhusatele reageerimis- ja leevendussüsteemidele ka siis, kui luure ja vastumeetmed ei ole piisavad.

## 1.4 Bioloogiliseks hädaolukorraks valmisoleku peamised põhimõtted

Esmajärjekorras tuleks pigem kasutada sellised vahendeid nagu vastastikune hindamine, teadlikkuse tõstmise kampaaniad ja toetavad rahastamisprogrammid, kui uusi õigusakte, pidades silmas, et suur ja laiapõhjaline õigusraamistik on paljudel juhtudel kas ELi või liikmesriigi tasandil juba kehtestatud. Rakendamiseks tuleks kasutada olemasolevaid struktuure ja eksperdirühmi. Meetmed peaksid olema proportsionaalsed, mõistliku hinnaga, jätkusuutlikud ja usaldusväärsed, pidades silmas ohtu, mida nendega soovitakse minimeerida ja millele reageerida. Tuleb arvesse võtta ka mõju põllumajandustoodete impordile arengumaadest ja eelkõige vähim arenenud riikidest. Sellesse protsessi tuleks intensiivse avaliku ja erasektori vahelise julgeolekudialogi kaudu kaasata erasektor ja teadusinstituudid. Teadusuuringute puhul on see dialoog praegu loomisel Euroopa turvalisusuuringute ja innovatsioonifoorumi (ESRIF) raames. See hõlmab turvalisusuuringute ja innovatsiooniga seonduvaid küsimusi. Euroopa biotehnoloogiaühendus ja bioloogiliste teadusuuringute ringkonnad peavad saama osaks Euroopa lahendusest bioloogiliste ohtudega seonduvatele probleemidele.<sup>10</sup> On arusaadav, et bioteaduste ja -tehnoloogia valdkonnas võetavad meetmed on oma ulatuselt äärmiselt erinevad<sup>11</sup> ja mitte kõik rakendused ei kujuta endast bioloogiliseks ohuks valmisoleku kontekstis ohtu. Näiteks biotehnoloogiliste meetodite kasutamisega biolaguneva plastiku tootmiseks ei kaasne sellised riskid nagu tööga patogeenidega. Komisjon on võtnud endale kohustuseks toetada bioteaduste ja -tehnoloogia arengut, millel on ELi jaoks suur potentsiaal.

Liikmesriikide riigi tasandi ametiasutused peaksid juhtima ja koordineerima ühtse lähenemisviisi väljatöötamist ja rakendamist oma jurisdiktsioonis, mis toob kasu kogu ELi bioloogiliseks ohuks valmisolekule.

Konsultatsioonide tulemusi ja nendest tulenevate soovitude rakendamist võiks tõhustada Euroopa biovõrgustikuga (EBN).

EBN oleks nõuandev struktuur, kuhu kogutakse bioloogiliseks ohuks valmisolekuga seonduvaid Euroopa ekspertteadmisi erinevatest sektoritest – teadusringkondadest, erasektorist ja avalikust sektorist (sealhulgas julgeoleku- ja luuringkonnad, kodanikukaitse organisatsioonid ja esmased reageerijad). Selle roll võiks olla soovitada teadlastele võimalikke suuniseid ja tegevusjuhendeid seoses hariduses kasutatavate materjalide ja vahenditega, mis käsitlevad tõhusaid ja turvalisi biostandardeid ja parimat tava.<sup>12</sup> Võrgustik edendaks ja toetaks biostandardite väljatöötamist ELi tasandil.

<sup>10</sup>Avaliku ja erasektori vahelise julgeoleku-alase dialoogi nägi komisjon ette oma teatisega terrorirünnakute ärahoidmise, nendeks valmisoleku ja neile reageerimise kohta (KOM (2004) 698). Töös võetakse arvesse ka kavandatava turvalisusuuringute ja innovatsiooniga seonduvaid küsimusi käsitleva avaliku ja erasektori vahelise dialoogi raamistikku.

<sup>11</sup>Teatis bioteaduste ja biotehnoloogia strateegiat käsitleva vahekokkuvõtte kohta (KOM (2007) 175, 10.4.2007).

<sup>12</sup>Sellistes tegevusjuhendites tuleks vajaduse korral arvesse võtta ka õiguslikku olukorda ELis ja kolmandates riikides, sealhulgas kahesuguse kasutusega tehnoloogia ekspordikontrolli eeskirjasid bioteaduste ja -tehnoloogia valdkonnas.

Euroopa Ühendus on juba seadnud sisse vahendid ja mehhanismid, mis töötati algselt välja toiduohutuse ja pettusevastase võitluse jaoks. Neid võiks edasi arendada ja kasutada selleks, et bioloogilisi riske, sealhulgas bioterrorismi riski, veelgi vähendada. Selleks, et olla bioterrorismi ja loomulikult teel levivate haiguspuhangute ärahoidmiseks valmis, tuleks lisaks olemasolevatele vahenditele kaaluda vajadusel uusi lähenemisviise.

## 1.4.1 Ärahoidmine ja kaitse

### Teadlikkus

Piiratud vahenditega teadusinstituutidel, teadlastel ja väikestel piiratud vahenditega bioettevõtetel võib olla raske järgida uusi kohandusi eeskirjades ja piirangutes, mis on kohaldatavad bioteaduste valdkonna teatava tegevuse suhtes (nt kaheksa kasutusega kaupade ekspordieeskirjad, bioloogiliste mõjurite transport ning ohutusnõuded).<sup>13</sup> Selle tagajärjel võib nende eeskirjade täitmise tase liikmesriigiti ja sidusrühmade vahel erineda. Seetõttu võiksid liikmesriigid komisjoni toetusel kaaluda selliste riiklike teadlikkuse tõstmise kampaaniate kavandamist, mis põhineksid erinevate liikmesriikide kindlakstehtud parimal taval.

### Miinimumstandardid ja menetlused

Füüsilist turvalisust võiks tõhustada ja parandada sellistes rajatistes, kus hoitakse mittesõjalise otstarbega patogeene kogusid. Ohtlike patogeenidega tegelevate teadusuuringute, tööstuse ja riiklike biolaborite kasutatavate biostandardite rakendamise taseme ja nendega seonduva tava hindamiseks võiks kasutada kõiki liikmesriike hõlmavat vastastikuse hindamise meetodit. See võiks hõlmata biolaborite ja farmaatsiatööstuse kohustuslike minimaalsete turvastandardite hindamist ja kindlakstegemist. Rahvusvaheliselt tunnustatud biostandardeid võiks tõhustada laborite akrediteerimise ja sertifitseerimise kavade väljatöötamisega. Samal ajal ei tohiks jällegi dubleerida tööd valdkondades, kus sellised kavad on olemas ja toimivad hästi. Sel eesmärgil võiks kasutada OECD bioloogilise ressursi keskustega seonduva töö asjaomaseid osi. Praeguseks juba tehtu põhjal<sup>14</sup> võiksid kõnealused standardid hõlmata järgnevat:



- ▶ Euroopa suunised rahvatervist ja riigi julgeolekut ohustada võivate (sealhulgas laboratoorselt sünteesitud) ohtlike patogeenide ja kultuuride kogude füüsilise kaitse, nende juurdepääsu kontrolli ja raamatupidamisarvestuse kohta;
- ▶ kokkulepitud ELi "kindlakstehtud bioloogiliste mõjurite" nimekiri, milles eriti keskendutakse võimalikule terroristide poolsele väärkasutusele;<sup>15</sup>
- ▶ Euroopa eeskirjad rajatiste riikliku sertifitseerimise ja registreerimise kohta seoses nende vastavusega biostandarditele ning seoses teadlastelt nõutavate diplomite ja pädevusega;
- ▶ süsteemid, mille raames sidusrühmad annavad riigisisest aru bioteaduste alal tehtava töö liikidest, mille juures kasutatakse ohtlike bioloogilisi mõjureid, mida saab kasutada terroristlikel eesmärkidel;

<sup>13</sup> Näiteks mainisid 26. jaanuaril 2007 toimunud kaheksa kasutusega kaupade ELi ekspordi korra reformi käsitleval konverentsil ka eksporditörid ise teadlikkuse puudumist kaheksa kasutusega kaupade ja tehnoloogia ekspordi kontrolli käsitlevast ELi õigusraamistikust.

<sup>14</sup> Vt näiteks komisjoni ettepanek ELi õigusraamistiku muutmise kohta seoses kaheksa kasutusega kaupade ekspordi kontrolliga (KOM (2006) 829), eriti selle artikkel nr 23.

<sup>15</sup> Olemas on mitu nimekirja. Ometi on need sageli liiga üldised, ei vasta tingimata Euroopa kontekstile ega ole terrorismi puhul asjakohased.

- ▶ liikmesriikide turvakontrolli menetlused teadlastele ja tehnikutele, kes soovivad töötada või juba töötavad ELi nimekirjas kindlakstehtud ohtlike bioloogiliste mõjuritega. Julgeolekukontrolli taset ja inimeste arvu, kelle puhul on nõutav selle läbimine, tuleks hinnata, et mitte takistada teadusuuringuid ja juurdepääsu asjaomastele ekspertteadmistele, mida Euroopa teadusasutused saavad väljastpoolt ELi;
- ▶ Euroopa ja hiljem võib-olla rahvusvaheline süsteem, mille abil sertifitseeritakse usaldusväärseid rajatisi ja teadlasi ning võimaldatakse proovide ja tundlike teadusuuringute tulemuste turvalist ja ohutust vahetamist. Selline süsteem saaks aidata vältida takistusi, mis looksid kriitilisi pudelikaelu teadustulemuste vahetamisel ja arendamisel. Nõutavad on ühised miinimumstandardid ja sertifitseerimismeetodid.<sup>16</sup> Selle protsessi esimeses etapis võiks vastu võtta ELi parima tava, määratledes, mis on "üldkasutatav" ja mis on "fundamentaalteaduslikud uuringud", milleks komisjon tegi üleskutse EÜ kahesuguse kasutusega kaupade ja tehnoloogia ekspordi kontrollimise korra läbivaatamisel;<sup>17</sup>
- ▶ Rahvusvahelisel teadlaste vahetusel ning ekspertide ja üliõpilaste sissevoolul ELi kolmandatest riikidest on positiivne mõju bioteaduste arengule ja Euroopa konkurentsivõimele. Kolmandate riikide kodanikelt tuleks nõuda vastavust Euroopa bioloogilise turvalisuse korrale ja kui seda vajalikuks peetakse, siis turvalisuse sätetele. Turvamenetlused peaksid olema proportsionaalsed, et mitte takistada teaduse arengut.

## 1.5 Bioloogiliste teadusuuringutega seonduva analüüsi ja turvatingimuste tõhustamine

### Euroopa analüütilise suutlikkuse arendamine bioloogiliste riskide vähendamiseks<sup>18</sup>

Komisjon võiks rahastada uusi ELi tasandi ekspertteadmisi, töötades välja Euroopa analüütilise ja modelleerimisalase suutlikkuse, sealhulgas riskianalüüsi ja riskide liigituse, mis aitab kaasa tulevastest bioloogilistest ohtudest tulenevate bioloogiliste riskide vähendamisele. Vajadusel võiks kaaluda miinimumstandardite kasutuselevõttu. Uued teadmised ja pädevus võiksid aidata kaasa uute vastumeetmete parandamisele ja väljatöötamisele ning toiduainete tarneahela kaitsesele. Suureneks ka tehniliste ekspertide arv. See viiks asjakohaste ja tõhusate reageerimismehhanismideni, mille raames teevad koostööd erinevad sektorid, nt toiduainete, sõjaväe, õiguskaitse, tolli, tervishoiu, keskkonnakaitse ja põllumajanduse valdkonna ametiasutused. ELi rahastamist võiks pakkuda ühiskoolitusele ja teadlikkuse tõstmisele.

<sup>16</sup> Nimekirja kuuluvate kahesuguse kasutusega tehnoloogiatega (EÜ määruses 1334/2000, muudetud määrusega 394/2006) ja mõnel juhul nimekirja mittekuuluvate kahesuguse kasutusega tehnoloogiatega seonduvate teadusuuringute tulemuste vahetamiseks teiste teadlaste/tööstusega kolmandates riikides võiks olla nõutav liikmesriigi luba.

<sup>17</sup> Vt KOM (2006) 829.

<sup>18</sup> Euroopa tasandil on kuuenda teadusuuringute raamprogrammi, julgeoleku-uuringuid ettevalmistava meetme ja praeguse seitsmenda teadusuuringute raamprogrammi konkursikutse raames välja töötatud arvukalt asjaomaseid teadusuuringuid käsitlevaid meetmeid.

Mõned ohtlike bioloogiliste mõjurite ja patogeenide nimekirjad on juba välja töötatud, seda näiteks 1972. aasta bioloogiliste ja toksiliste relvade konventsioonile lisatud kontrolliprotopokollile üle peetud läbirääkimiste raames. Mõned on liigitatud nakkusohu järgi, teised aga põhinevad nende kahesuguse kasutuse laadil ja sellel, kas neid on võimalik kasutada relvade tootmiseks. Asjakohaste poliitika väljatöötamist käsitlevate arutelude pidamiseks ja piisava toetuse kindlustamiseks liikmesriikides oleks vajalik pidada liikmesriikide ekspertide vahelisi kinniseid arutelusid, et teha kindlaks organismide nimekiri ja selles kokku leppida. Seepärast tuleks kindlaks teha ja nimekirja kanda bioloogilised mõjurid ja patogeenid, mis on julgeoleku perspektiivist mureallikaks ja mis võivad kujutada endast eriti suurt probleemi Euroopa Liidu ja liikmesriikide reageerimis- ja taastusvõimele.

## Bioloogiliste teadusuuringutega seonduvad turvatingimused

Teaduse arengu eelduseks on, et teadusuuringute tulemusi on võimalik vabalt vahetada ja kontrollida. Volitatud ja õigustatud isikute poolsed teadusuuringud ja nende juurdepääs bioloogilisele materjalile nt. laborites ja teadusringkondades on väga väärtuslik ja vajalik ning sellele ei tohiks seada takistusi. Praegu on bioloogilisele materjalile juurdepääs ja selle vahetamine reguleeritud peamiselt riigisisest eeskirjadega. Ühendusesisene üleviimine ja riikidevaheline vahetus on nende eeskirjadega üksnes osaliselt kaetud. Eesmärk muuta ohtlike patogeenide levitamine ja kasutamine turvaliseks ei tohiks takistada teadusuuringuid. Täiendavalt võiks uurida meetodeid, mille abil saaks bioloogiliste teadusuuringute ja teaduslikul otstarbel kasutatavate patogeenide levitamise üle teostada paremat ja tõhusamat järelevalvet ilma kodaniku eraelu puutumatus kahjustamata. Turvakaalutlused ei tohiks kahjustada teadusringkondade ega biotööstuse konkurentsivõimet. Tihe koostöö tuleb luua Euroopa turvalisusuuringute ja innovatsioonifoorumiga (ESRIF), mis koostab turvalisusuuringute ja innovatsiooni strateegilise tegevuskava.

Välja võiks töötada bioloogilist ohutust ja bioloogilist turvalisust käsitlevad suunised,<sup>19</sup> millega tagada avaliku sektori rahastatavate teadusuuringute vastavus ühistele turvastandarditele. Kõnealuste suuniste kindlakstegemisele võiks kaasa aidata Euroopa biovõrgustik (EBN). ELi rahastatavate teadusprojektide puhul on juba kehtestatud selged menetlused eetilise seisukohast läbivaatamiseks, mis põhinevad teadusuuringute raamprogrammides sätestatud põhimõtetel. Bioloogilist ohutust ja bioloogilist turvalisust käsitlevad erisuunised tugevdaksid, mitte ei asendaks kõnealuseid läbivaatamismenetlusi.<sup>20</sup>

Olulist osa võiksid täita sellised organisatsioonid nagu mittetulundusühingud, fondid ja investeerimisfondid, kes rahastavad bioloogilisi teadusuuringuid. Teadusgrantide andmine peaks olenema mitte ainult ettepaneku kvaliteedist, vaid ka asjaomase taotleja suutlikkusest täita biostandardeid ning võimalikke tulevasi turvasuuniseid. Teaduslikke töid avaldavate teadusajakirjade teadlikkust võiks tõsta kõnealuste teadusuuringute tulemuste väärkasutamise seonduvatest võimalikest julgeolekuriskidest.

Kinni tuleb pidada kehtivatest liikmesriikide ja komisjoni turvalisuse eeskirjadest, milles on sätestatud nii avalik-õigusliku kui ka erasektori valdkonna asjaomastele osapooltele salastatud teabe edastamise ja säilitamise ning nendega kinniste koosolekute pidamise menetlus. Liikmesriigid ja komisjon võiksid koos teadusringkondadega kohaldada erimenetlust juhtudel, mil tundlikud kahesuguse kasutusega teadusuuringute tulemused võiks avaldada kahes erinevas versioonis: 1) avalikkusele mõeldud versioon, mille avaldamisele puuduvad piirangud

(ilma tundliku sisuta), ja

2) piiratud versioon, mis sisaldab tundlikke osi, mis avaldatakse viisil, mis võimaldab juurdepääsu ainult asjaomastele ja turvalistele biovaldkonna sidusrühmadele. Kõnealuste meetmete väljatöötamist võiks toetada näiteks Euroopa biovõrgustik.

<sup>19</sup>"Bioloogilise ohutuse" ja "bioloogilise turvalisuse" mõistete määratluse kohta vt allmärkus 5.

<sup>20</sup>Eetilise seisukohast läbivaatamise menetluse üksikasjalik kirjeldus on esitatud aadressil: <http://ec.europa.eu/research/science-society/index.cfm?fuseaction=public.topic&id=73>

Kavandatavate meetmete eesmärk ei ole bioloogia kui teaduse tsenseerimine. Vaba teaduslik mõtlemine ja teadusuuringud on aluspõhimõte, millest tuleb kinni pidada; pealegi on teadusuuringutel tohutu potentsiaal bioloogiliseks ohuks valmisoleku eesmärkide saavutamisele kaasa aitamiseks.

## Kutsealane tegevusjuhend

Eesmärk on luua tugev teadlikkuse ja biostandardite täitmise kultuur juba esimese ja teise aasta bioteaduste ja -tehnoloogia üliõpilaste seas ülikoolides. Bioteaduste kohustuslikud akadeemilised kursused võiksid keskenduda bioloogiliste teadusuuringute eetikale ja nende kahesuguse kasutuse tagajärgedele. Kursused võiksid käsitleda selliseid küsimusi nagu bioterrorismiga ja bioloogiliste relvadega seonduvad teadustulemuste väärkasutamise riskid ning ametialane vastutustunne ja vastutus.

Selles kontekstis on oluline mainida, et bioloogiliste ja toksiliste relvade konventsiooni eksperdirühmad soovitasid, et tegevusjuhendid peaksid hõlmama kõiki bioloogiaga seonduvate küsimustega tegelevaid osapooli ning olema piisavalt laiad, et katta tehnoloogia arengu ja uute olukordadega seonduvaid mis tahes ettenägematuid teadusuuringuid ja nende tulemusi. Praegu ei ole bioteaduste valdkonna teadlastel kutsealast tegevusjuhendit. Tundlikesse bioloogilistesse teadusuuringutesse kaasatud magistrantidelt võiks nõuda kutsealase tegevusjuhendi allakirjutamist.

Euroopa biovõrgustik võiks aidata välja töötada kutsealase tegevusjuhendi ELi tasandil. Need elemendid peaksid moodustama osa kõigist ELi rahastatavatest ohu vähendamise programmidest, mis hõlmavad endiste relvateadlaste ümbersuunamist, näiteks rahvusvaheline teadus- ja tehnoloogiakeskus (ISCT).

## 1.6 Järelevalve tõhustamine

Ühtsel turul saavad kapital, kaubad ja inimesed suhteliselt vabalt liikuda. Mitmel turva- ja tervishoiukaalutlusel on keskse tähtsusega see, et oleksid kehtestatud asjakohased mehhanismid ja kord, mille abil:



- ▶ tagada julgeolekuohtude ja terrorirünnakute korral neist kiiresti teavitamine ja teabe vahetamine;
- ▶ lihtsustada ELi või liikmesriigi tasandil tekkekohas võetavaid meetmeid, et takistada nakkushaiguste ja keskkonnareostuse võimalikku levikut;
- ▶ tagada liikmesriikide ja Euroopa Liidu institutsioonide vastastikune abi diagnoosimiseks ja bioloogiliste õnnetuste haldamiseks;
- ▶ lihtsustada vajalikke laboratoorseid ja epidemioloogilisi uuringuid;
- ▶ tagada paindlik ja tõhus reageerimine rahvatervise ja kodanikukaitse valdkonnas.

Rahvatervise ja loomade tervise järelevalvet võiks veelgi tõhustada, et tagada inimeste ja loomade haiguste erakorraliste puhangute tõhus seire ning töötada välja praktilised meetodid Euroopa ja rahvusvahelise reageerimise koordineerimiseks oluliste juhtumite korral, kuhu võivad olla kaasatud bioloogilised relvad.

Seoses järelevalve ja avastamisega võiksid liikmesriigid ja komisjon veelgi parandada oma seire-, varajase hoiatamise ja avastamise suutlikkust, näiteks järgneva abil:



- ▶ kompleksed avastamise süsteemid, et tõkestada patogeenide levikut inimestele, kariloomadele või põllukultuurides;
- ▶ laboratoorsete analüüside kiirendamine;
- ▶ paremad vahendid vastutuse määramisel uusimate bioloogilise kohtumediitsiini meetodite abil, eelkõige koostöös kolmandate riikidega (Ameerika Ühendriikide haigustõrje- ja haiguste ennetuskeskused, Venemaa, Hiina jne) ja rahvusvaheliste organisatsioonidega (WHO, FAO, OIE).

Liikmesriigid võiksid komisjoni ning Haiguste Ennetamise ja Tõrje Euroopa Keskuse toetusel teha Euroopa analüüsi liikmesriikide laboratoorse suutlikkuse kohta kriisiolukordadega toimetulekul, keskendudes eelkõige Euroopa tugilaboritele, mis on kriisiolukordades patogeeni ja haiguste kindlakstegemisel keskse tähtsusega. Kooskõlas Austraalia grupi normide ja EÜ kahesuguse kasutusega kaupade määrusega 1334/2000 võivad varajaseks sekkumiseks ja kindlakstegemiseks kõikjal Euroopa Liidus ja rahvusvaheliselt olla vajalikud mobiilsed bio-laborid ja kohapealsed analüüsid, mida toetavad kvalifitseeritud ekspertteadmised. Mobiilsus, mitmekülgus ja pandlikkus on olulised tegurid bioloogist laadi suurõnnetuste ärahoidmisel. Selles kontekstis peaks EL määratlema lähenemisviisi, milles on ühendatud leviku tõkestamine ning rahvusvaheline koostöö ja abi.

Uute prioriteetide hulka võiksid kuuluda tehniline abi ja ekspertteadmised, nt patogeeni vahetamine, kultuuride kogude jaoks vajalikud töövahendid ja selliste kogude turvalisus, või laboratoorse suutlikkuse suurendamine haiguste kindlakstegemisel ja haiguste järelevalvesüsteemide tõhustamisel.

Avastamine ja selleks vajalikud töövahendid on äärmiselt olulised varajase hoiatamise jaoks ohtliku patogeeni kindlakstegemiseks. Need on eriti vajalikud esmastele reageerijatele. Liikmesriikidel puuduvad praegu piisavad avastamiseks vajalikud töövahendid, millega saaks elusaid ohtlikke bioloogilisi aineid ja patogeene analüüsida. EL võiks kaaluda täiendavat toetust selliste avastamiseks vajalike töövahendite ja suutlikkuse arendamisele, et tugevdada oma valmisolekut, kuid ka bioloogilist konkurentsivõimet. Avastamise ja järelevalve kontekstis võiks täiendavalt uurida ka uute teabe- ja sidetehnoloogiate võimalusi.

2007. aasta jaanuaris viis komisjon lõpule avaliku konsulteerimise rohelise raamatu üle, mis käsitleb õiguskaitse-, tolli- ja muude julgeolekuasutuste töös kasutatavaid ohu avastamise tehnoloogiasid.<sup>21</sup> Edaspidised selle valdkonna meetmed võivad olla asjakohased Euroopa bioloogiliseks ohuks valmisoleku edasiseks tugevdamiseks.

## 1.7 Õnnetusele reageerimine ja endise olukorra taastamine

Rahvatervise, kodanikukaitse ja õiguskaitseasutuste vahelist ning liikmesriikide ja ELi tasandi koostööd tuleks veelgi tugevdada. Liikmesriikide riiklike tervishoiuteenuste, õiguskaitseasutuste, päästeteenistuste ja sõjaväe vahelise hea koordineerimise ja teabevahetuse tagamiseks on vajalike bioloogilises ohuks valmisoleku ja situatsiooniplaanide koostamiseks vaja meditsiini- ja õiguskaitse meetmeid. Liikmesriigid võiksid oma situatsiooniplaanidesse veelgi enam integreerida epidemioloogilise ja õiguskaitsealase koostöö. Komisjon võiks sellises koostöös aktiivselt osaleda ja seda toetada.

Piiriüleste ELi tasandi ja liikmesriikide vaheliste koolituste ja seminaride korraldamist võiks muuta intensiivsemaks. Kõnealused seminarid ja koolitustegevus võiks hõlmata õiguskaitse organisatsioonide ja epidemioloogide vahelist koostööd seoses ohtude ühise algse hindamise, kahtlaste kaupade ja patogeenidega, mille päritolu ei ole teada ning juhtumitega, mille põhjused ei ole teada. EL ja komisjon võiksid neil koolitustel ja seminaridel osaleda.

Välja võiks töötada liikmesriikide ja komisjoni korraldatavad regulaarsed mitut riiki ja sektorit hõlmavad koolitused, mis käsitlevad bioterrorismi ja/või loomulikult teel levivate haiguspuhangute ärahoidmist, ohjeldamist, nendeks valmisolekut ja neile reageerimist.

<sup>21</sup> Täpsem teave on esitatud aadressil:

[http://ec.europa.eu/justice\\_home/news/consulting\\_public/news\\_consulting\\_public\\_en.htm](http://ec.europa.eu/justice_home/news/consulting_public/news_consulting_public_en.htm)

Nii ELi tasandil kui ka liikmesriikides võiks veelgi edasi arendada regulaarsemat tegevust olemasolevate meetmete piisavuse ja asjakohasuse hindamiseks, nagu seda juba tehakse loomatervise situatsiooniplaanide puhul. See võimaldab kindlaks tehtud nõrku külgi tugevdada. Eesmärgid on järgmised:



- 1) tugevdada riikide ja rahvusvahelist suutlikkust teha kindlaks ja kiiresti avastada epidemioloogilisi haiguspuhanguid, mis võivad olla märgiks bioloogilisest terrorirünnakust. Eesmärk on jagada seda teavet kiiresti asjaomaste liikmesriikide ja ELi organisatsioonidega. Kui see on vajalik või asjakohane, võiks kasutada ÜRO peasekretäri uurimismehhanismi, mida rakendatakse bioloogiliste relvade väidetava kasutamise või kahtlaste haiguspuhangute korral;
- 2) parandada erinevate sektorite koostalitlusvõimet toiduainete, kodanikukaitse, sõjaväe, õiguskaitse, tervishoiu, loomatervise, keskkonnakaitse ja põllumajanduse valdkonna ametiasutuste vahel, et olla valmis bioloogiliseks terroriohuks ja selle vastu võidelda ning saavutada kaubanduslikul eesmärgil varasem haigusvaba olukord;
- 3) suurendada koostööd vastumeetmete ning tõhusate riigisiseste ja rahvusvaheliste vastumeetmete väljatöötamisel, et ohjeldada tahtlikult levitatud patogeeni levikut;
- 4) töötada välja tõhusad riskidest teavitamise strateegiad ja neid testida;
- 5) olenevalt bioloogilise rünnaku ulatusest, suurusest ja ajalisest piirangust, määratleda kohustused ja standardsed toimimismenetlused vastavalt stsenaariumi analüüsile.

## **Euroopa bioloogilistele riskidele ja ohtudele reageerimisvõime säilitamine ja arendamine**

Uue vaktsiini väljatöötamine ja katsetamine on väga kallis ja aeganõudev protsess. Seda laadi suutlikkust ei saa välja arendada nädalate või isegi kuudega. Lisaks sellele ei olene suutlikkuse arendamine ja ravimite ametlik heakskiitmine ainult ühest liikmesriigist. Erasektor täidab bioloogiliste teadusuuringute juures kesket rolli. Kui vaktsiini jaoks puudub turg, siis ei hakka erasektor seda välja töötama ega pea üleval rajatise üksnes võimalikku bioloogilist kriisiolukorda silmas pidades. Seetõttu võiks rõhku panna antigeeni- ja vaktsiini-pankade ja/või viirusevastaste varude loomisele teadaolevate väga nakkavate ja ohtlike patogeeni kontrolliks. Näiteks võib tuua ELi suu- ja sõrataudi antigeenipanga või klassikalise sigade katku ja lammaste katarraalse palaviku vaktsiinipanga.

Praegune bioloogiliste ohtude probleem nõuab etteplaneerimist ja pikaajalist poliitilist lähenemisviisi. Seetõttu lisaks jõupingutustele, mida liikmesriigid juba teevad (sealhulgas militaarsektoris), võiksid liikmesriigid ja komisjon vastumeetmete puhul, millele ei ole Euroopas loomulikku turgu, toetada avaliku ja erasektori koostöö ärimudelit. Kaaluda võiks teiste riikide lähenemisviiside sobivust.

Praegu on pooleli arutelud vaktsiinivarude loomise üle. On tehtud ettepanek täielike solidaarsusvarude subsideerimiseks. Ometi võiks kaaluda piiratud ja minimaalsete ELi tasandi solidaarsusvarude moodustamist. Liikmesriigid ja komisjon võiksid anda rahalist toetust selliste varude ostu- ja ladustamiskulude katteks. Nii juba toimitakse loomatervise korral nõukogu määruse 90/424/EMÜ alusel. Nii ei oleks vaja luua uut ladustamisvõimsust ja kodanike kaitstuse tase tõuseks. Solidaarsusvarud võetaks kasutusse kriisiolukorras ja transporditaks ajalisi piiranguid arvestades asjaomasesse liikmesriiki või liikmesriikidesse.

# 2. Bioloogilised toimeained

## Ülevaade

Mõte nakatumisest surmavasse haigusesse või mürgitamisest bioloogilise mürkainega on tõeliselt hirmutav. See hirm stimuleeribki terroristi valima bioloogilist relva. Kahjuks pole bioloogilisi toimeaineid raske valmistada; neid on üllatavalt lihtne valmistada isegi vägagi piiratud mikrobioloogiaalaste teadmistega inimestel. Kuigi oht seda tüüpi rünnakuks näib olevat väike, on see täpselt see, mis viib rahvusvahelise tähelepanu radikaalsele organisatsioonile.

Bioloogilise relva organiseeritud uurimine sai hoo sisse Teise Maailmasõja ajal. Enne seda kasutati bioloogilisi toimeaineid küll inimestele kahju tekitamiseks, kuid neid enamasti ei valmistatud suuremate kogustena sõjas kasutamise eesmärgil. Näiteks, neljateiskümnendal sajandil visati katkuhaigete laibad üle kindlusevalli ning 1754. aasta Prantsuse Indiaanisõjas anti indiaanlastele rõugehaigete tekke. Bioloogiliste sõjapidamisvahendite tegeliku uurimiseni jäi aga veel palju aega.

Bioloogilisi ründeaineid tehakse mitmesugustest mikroorganismidest ja bioloogilistest toksiinidest. Bioloogilised toksiinid on keemilised ühendid, mis on toodetud taimedest, loomadest või mikroobidest ning mis on inimesele mürgised. Mikroorganismideks on tavaliselt elusad viirused või bakterid, millel on võime oma ohvreid surmavalt nakatada. Kuigi paljud sellised organismid on tuntud sõjalist-tüüpi relvadena, võib paljusid teisi valmistada ja viia ümbritsevasse keskkonda kavatsusega tekitada kahju valikulistele elanikkonnapopulatsioonidele.

## Bakterid

Bakterid on taimelaadse struktuuriga ainuraksed mikroorganismid. Nad varieeruvad suuruselt poolest mikronist kümnete mikroniteni. Nad võivad olla kerajad (kokid) või kepikujulised (batsillid). Bakteriaalsete ründeainete hulka kuuluvad *Bacillus anthracis*´e (antraksi), koolera, *Yersinia pestis*´e (katku), *Francisella tularensis*´e (tuala-reemiatekitaja), Q palaviku ja salmonella elusad rakud. Neid mikroorganisme saab kasvatada kunstlikus keskkonnas; paljudel neil on omadus spoore moodustada (muutuda seemnetaoliseks) ja elada pikki ajaperioode ilma kokkupuuteta infitseeritava koega.

## Viirused

Viirused on väiksemad kui enamik baktereid ja nad elavad omaette või koos teiste rakkudega, kasutades metabolismiks peremees-rakke. Viirusinfektsioon on peremees-rakkude lagunemise tulemus viiruse rakusisesel parasitise tegevuse tulemusel. Viirusi ei saa kasvatada kunstlikus keskkonnas, vaid ainult keskkonnas, mis sisaldab elavaid peremees-rakke. Iga viirus vajab konkreetset tüüpi peremees-rakke, mis muudab viiruste tootmise sõja- või terrorismieesmärgil kasutamiseks keeruliseks ja kulukaks. Sel põhjusel pole eriti tõenäoline, et vaesemad organisatsioonid või üksikisikud kasutaksid viirusi elanikkonnale kahjutekitamiseks.

Paljude riikide sõjajõud on eksperimenteerinud viiruste kasutamisega relvadena. See peatükk annab ülevaate viirustest, mida peetakse kõige ohtlikemateks, kaasa arvatud variolaviirus (rõugeviirus), Venetsueela hobuentsefaliit (VEE) ja viiruseline hemorraagiline palavik (VHF).



## Biooloogilised toksiinid

Biooloogilised toksiinid on mürgised ained, mid pärinevad loomadest, taimedest või mikroobidest ning on mürgisemad kui enamik kemikaale, mida toodetakse või kasutatakse tööstuses. Kuna need toksiinid pole lenduvad, pole nad üldiselt kasutatavad lahinguväljal. Neid kasutatakse seevastu toidu- ja veevarude ning konkreetsete isikute mürgitamisel. Toksiinide hulka, mida ei kasutata sõjaliselt, kuuluvad botulinumi toksiinid (botulismitekitajad), stafülokokiline enterotoksiin B (SEB), ritsiin ja trikoltetseen mükotoksiinid (T2s).

## 2.1 Bakteriaalsed toimeained

### Antraks (*Bacillus anthracis*)

Antraksi (siberi katk, põrnatõbi, villasorteerijatõbi, pahaloomulised villid) on juba kaua aega kasutatud ühena bioloogilistest relvadest. Bioloogilise relvana valmistati teda esmakordselt Ameerika Ühendriikides 1950-ndatel aastatel ja ta tootmist jätkati bioloogilise relva programmi lõpetamiseni. Antraksi on lihtne kasvatada ja teda võib õigetes tingimustes hoida spoorivormis (uinuvas olekus) peaaegu lõpmata kaua. Kuigi Ameerika Ühendriigid ei kasvata antraksi relvavalmistamise eesmärgil, on kahtlusi, et paljudel teistel riikidel on olemas bioloogiline relv antraksi vormis. On mõistlik oletada, et terroriorganisatsioonid kas arendavad seda tüüpi relva või siis on see neil juba olemas.

Antraksi saab toimetada sihtkohta tolmununa, mida sisse hingatakse. Pealegi võib ta saastada keskkonna ja joogivee, põhjustades haigestumist päevade või nädalate jooksul pärast levitamist,

Kui antraksibaktereid sisse hingata või alla neelata, inkubeeruvad nad ohvris ühe kuni kuue päeva jooksul. Antraksimürgituse sümptomeiks on valu rinnus, köha, väsimus ja palavik. Kui infektsioon süveneb, lisanduvad tõsisemad sümptomid nagu hingamisraskused, higistamine ja õhupuudus (tsüanoos), mis viiva šoki ja surmani.

Raviks kasutatakse antibiootikumide kõrgeid doose ning ravi saab olla edukas vaid juhul, kui infektsioon avastatakse varases staadiumis. Ka muud toetavad ravivõtted, nagu intubeerimine ja ventileerimine, võivad vajalikud olla. Kui kahtlustakse nakatumist antraksi, tuleb rakendada ettevaatusabinõusid – HEPA-tüüpi maske ja vere ning kehavedelike kaitset.

#### K o k k u v õ t e



#### **Anthrax** (*bacillus anthracis*)

**Sümptomite teke:** Sümptomid ilmnevad ühe kuni kuue päeva jooksul.

**Sümptomite tüübid:** Valu rinnus, köha, väsimus ja palavik, mis jätkuvad hingamise puudulikkuse, higistamise, tsüanoosi ja surmaga.

**Levitamise viisid:** Levitatakse tolmununa, see saastab keskkonna ja joogivee.

**Isiklik kaitse ja mürgist puhastamine:** HEPA-maskid, vere ja kehavedelike kaitse on vajalik. Mürgist puhastamiseks tuleks kasutada hüpokloriiti lahust

### Koolera (*Vibrio cholerae*)

Bakterid, mis põhjustavad nakatumist koolerasse sattuvad organismi saastatud toidu ja vee kaudu. See on haigus, mis levib kiiresti, kui puudub õige heitvee töötlemine. Neil põhjustel on koolerabakterit uuritud kui sõjaaja bioloogilist ründaainet. Kui lahingulaagris, kus puudub korralik heitmete töötlemine, esineb kooleranakkus, haarab see suurt hulka vägesid. Riikides, kus heitmeid hoolikalt ei seirata, on koolera nakatanud ja tapnud tuhandeid inimesi.

Koolerabakter kinnistub peensooles, põhjustades vedeliku üleproduktiooni. See omakorda surub alla jämesoole vedeliku absorbeerise võime ja viib kõhulahtisuse ja raske hüповoleemiani (dehüdratiseerumine).

Kooleratunnused tekivad kaheteistkümne kuni seitsmekümne kahe tunni jooksul pärast ekspositsiooni ning need on oksendamine seedekulgla krambid ja peavalu. Ööpäevane vedelikukadu on 5 kuni 10 liitrit. Kui ei raken- data efektiivset ravi, põhjustab vedelikukadu šoki ja surma.

Ravi seisneb vedeliku asendamises elektrolüütteraapiaga. Antibiootikumid lühendavad infektsioon kestust ja tapavad nakkuslikke mikroorganisme. Raske on nakatuda otsese kontakti kaudu nakatunud inimesega, kuid tuleb ettevaatusmeetmeid rakendada kokkupuute vältimiseks kehavedelikega.

### K o k k u v õ t e



**Cholera** (*vibrio cholerae*)

**Sümptomite teke:** Sümptomid ilmnevad 12 – 72 tunni jooksul.

**Sümptomite tüübid:** Oksendamine, seedekulgla krambid, peavalu ja raske kõhulahtisus.

**Levitamise viisid:** Levib saastatud joogivee kaudu.

**Isiklik kaitse ja mürgist puhastamine:** kaitse vere ja kehavedelike eest on vajalik.

Ülekanne inimeselt inimesele esineb harva, kuid saastatud alade puhastamiseks tuleks kasutada hypokloriti lahust.

## Kopsu/muhkkatk (buboonkatk) (*Yersinia pestis*)

Nii kopsu- kui muhkkatku põhjustab sama bakter, kuid nende sümptomid on erinevad. Tavalised levitajad on närilised või kirbud, neid ei saa sõja ajal viia ümbritsevasse keskkonda aerosooli kujul. Jaapanis on levitamismeetodina uuritud nakatatud kirpude kasutamist.

Buboonkatkule on iseloomulikud paistetunud lümfisõlmed (buboonid) ja palavik. Kõige sagedamini asetsevad need kubemes, kuna nakatatud kirbud hammustavad sageli jalapiirkonda. Buboonkatku inkubatsiooniperiood on kaks kuni kümme päeva.

Kopsukatku ilmumine on tavaliselt kiirem ja ta tekib tavaliselt pärast 2-3-päevast inkubatsiooniperioodi. Infektsioon tekib respiratoorsest kokkupuutest *Yersinia pestis*´ega levikul inimeselt inimesele köhimisel või aevastamisel. Kopsukatku sümptomiteks on palavik, külmavärinad, kõha, verine röga, seedehäired (dyspnea) ja tsüanoos. Ravimata jätmise korral võivad nii muhkkatk kui kopsukatku areneda tõsisemaks toksiliseks vormiks, mis atakeerib kesknärvisüsteemi ja teisi organeid.

Katuravi sisaldab varajast diagnoosi ja antibiootikumide manustamist. Juhul, kui esinevad hingamiskahjustused või on kaasa haaratud teised organsüsteemid, võib vajalik olla teiste toetavate meetmete rakendamine. Nende haigete ravil on vajalik isiklikud kaitsevahendid, sest buboonkatku korral on kehavedelike sekreedid nakkavad. Kui on tegemist kopsukatkuga, on koos hingamiseldundite kindla kaitsega vajalik kaitseriituse kasutamine sekundaarse infektsiooni ärahoidmiseks. Kõik töövahendid tuleb puhastada hypokloriti lahusega.

### K o k k u v õ t e



**Kopsu/Buboonkatk** (*Yersinia pestis*)

**Sümptomite teke:** Sümptomid ilmnevad 2 – 10 päeva jooksul, nakkusel hingamisteede kaudu varem.

**Sümptomite tüübid:** Nakatumise puhul kirpude kaudu esinevad paistetunud lümfisõlmed kubemes ja jalgadel. Nakkus hingamisteede kaudu põhjustab kõha, nohu, palavikku, külmavärinaid, verise röga teket, tsüanoosi, üldnähte, veremürgitust.

## Tulareemia (*Francisella tularensis*)

Tulareemiat valmistati relvana Ameerika Ühendriikides 1950-ndail aastail, kuid selle tootmine lõpetati seoses bioloogilise relva programmi lõpetamisega. On mõistlik oletada, et teised riigid viljelevad tulareemiat seni relvana.

Tulareemiat tuntakse ka jänesepalaviku või põdrakärbsepalaviku nime all. Haigus kandub üle nakatatud inimese vere ja kehavedelike kaudu, nakatatud põdrakärbse, puugi või moskiito hammustuse teel. Bakterite aerosooli sissehingamine tekitab tüfoidse tulareemia nakkuse hingamisteede nähtudega, mis ilmnevad kahe kuni kümne päeva jooksul. Tulareemia on nädalaid püsiv vees, pinnases või loomanahas. (HIDE) Kuna bakter on kül-

makindel, säilib ta külmutatud küülkülilhas aastaid.

Tulareemianähtudeks on lokaalsed haavandid, paistes lümfisõlmed, palavik, külmavärinad ja peavalu. Isegi ravi puudumise korral on suremus sellesse umbes 5%.

Suurepäraseid tulemusi on saadud antibiootikumiraviga. Sekundaarne nakatumine on ebatavaline, seetõttu pole range isolatsioon vajalik. Vaid rutiinne isiklik kaitse sekreetide ja haavandite korral on vajalik.

### K o k k u v ö t e



#### **Tularemia** (*Francisella tularensis*)

**Sümptomite teke:** Sissehingamise korral ilmnevad sümptomid 2 – 10 päeva jooksul.

**Sümptomite tüübid:** Lokaalsed haavandid, lümfisõlmede paistetus, palavik, külmavärinad ja peavalu.

**Levitamise viisid:** Dispergeerituna kuiva või märja aerosoolina .

**Isiklik kaitse ja mürgist puhastamine:** Kaitse vere ja vigastuste eest on vajalik, isoleerimine mitte. Puhastamiseks tuleks kasutada hüpokloriti lahust.

## Q palavik (*Coxiella burnietii rickettsia*)

Q palavik (kahtlane palavik) on samuti relv, mis oli kunagi Ameerika Ühendriikide arsenalis. Looduslikult esineb ta lammaste, kariloomade ja kitsede nakkusena ja sellena on ta vastavas tööstuses tööalane ohutegur. Q palavik on rickettsia ründaaine, mis levib nakkust kandva aerosoolse materjali sissehingamise teel, ühe uurimuse järgi isegi siis, kui seda on vaid üks organism. Selle organismi tootmise kergus ja nakkusomadused on asjaolud, mille tõttu terroristid seda võivad efektiivselt kasutada.

Sümptomite teke algab 10 –20 päeval ja on tavaliselt autulimiteeriv. Q palavik muudab inimese teovõimetuks ja võib põhjustada paanikat, kuid mitte surma. Ta kestvus on tavaliselt kaks päeva kuni kaks nädalat ja teda iseloomustab palavik, peavalu, väsimus ja mõningail juhtudel kopsupõletik ja valud rindkeres.

Raviks on antibiootikumid ja toetav hooldamine. Ravi puudumise korral on inimene teovõimetu, kuid tavaliselt ei sure. Üksikutel juhtudel võib infektsioon põhjustada endokardiiti, mis ravi puudumise korral on surmav. Hooldustöötajad peavad end kaitsma vaid saastatud keskkonna eest. Puhastamine viiakse läbi vee ja seebi või nõrga hüpokloriti lahusega.

### K o k k u v ö t e



#### **Q palavik** (*Coxiella burnietii rickettsia*)

**Sümptomite teke:** Sümptomid ilmnevad 10 – 20 päeva jooksul.

**Sümptomite tüübid:** Q palavik kestab 2 päeva kuni 2 nädalat ja sellega kaasnevad palavik, peavalu, väsimus, kopsupõletik ja valud rindkeres. Harva põhjustab endokardiiti ja surma.

**Leviku viisid:** Aerosoolsete materjalide sissehingamine.

**Isiklik kaitse ja puhastamine:** Patsiendid ei kujuta riski meditsiinipersonalile ning saastatud keskkond ja seadmed puhastatakse seebi ja veega.

## Salmonella (*Salmonella typhimurium*)

Salmonella põhjustab üht kõige tavalisematest toidumürgitustest. Kuigi seda bakterit pole kasutatud sõjalise bioloogilise relvana, on teda kasutatud siseriiklikuks terrorismis. (teda on näiteks kasutatud inimgrupi puhul, kes sõid kiirtoidu salatibaaris.) Looduslikul esinevad salmonelloosiinfektsioonid on põhjustatud selle bakteri satumisest organismi koos toiduga, mis on saastatud nakatunud fekaalidega.

Terroristide jaoks on salmonella kasutamine mingi inimgrupi kahjustamiseks lihtne. Kui on kindlaks tehtud, et toiduaine on saastatud, on teda lihtne segada puhta toiduga ja toimetada ohvriteni. Kuna bakter on peamiselt lihas ja linnuliha toodetes, on liha toodete kasutamine selle kultiveerimiseks kõige otstarbekam viis mikroobide saamiseks küllaldaselt hulgal, et kahjustada suurt hulka inimesi. Bakterite levitamine toiduga, mida ei keedeta, on üks viis selle kindlustamiseks, et bakter ei häviks enne sissesöömist.

Sümptomid ilmnevad 8 – 48 tunni jooksul pärast saastatud toidu söömist. Ohvril on palavik, peavalu, kõhuvalu ja vesine kõhulahtisus, mis võib sisaldada verd ja lima. Kui nakkus lokaliseerub, võib tekkida endokardiit, meningiit, perikardiit, kopsupõletik või abstsess.

Nakatatud isikud võivad põhjustada sekundaarset infektsiooni juhul, kui haige hooldajad ei kaitse end kehavedelike eest. Bakterid hävivad kuumuse või hüpokloriti lahuse toimele.

### K o k k u v õ t e



**Salmonella** (*Salmonella typhimurium*)

**Sümptomite ilmumine:** Sümptomid ilmnevad 8 – 48 tunni jooksul

**Sümptomite tüübid:** Sümptomiteks on palavik, peavalu, kõhuvalu ja vesine kõhulahtisus, mis võib sisaldada verd ja lima. Kui nakkus lokaliseerub, võib tekkida endokardiit, meningiit, perikardiit, kopsupõletik või abstsess

**Levitamise tüübid:** Baktereid saab levitada toortoidu ja joogivee saastamisega.

**Isiklik kaitse ja puhastamine:** Nakatatud patsiendid võivad teisi nakatada. Kasutage kaitseid kehavedelike vastu ja puhastage saastatud objektid hüpokloriti lahusega

## 2.2 Viiruslikud ründaained

### Rõuged (*Variola virus*)

Rõuged olid 1980. aastaks peaaegu täielikult likvideeritud, tegelikult elimineeritud tänu vaktsineerimisele ja rangele karantiinile. Sellest ajast peale pole terves maailmas rõugepuhanguid registreeritud. On siiski kaks teadaolevat variolaviiruse deposiiti, üks Haiguste Järelevalvekeskuses Atlantas, Georgia osariigis ja teine Vektoris, Novosibirskis Venemaal. Maailma Tervishoiuorganisatsioon on soovitanud olemasolevate viiruste hävitamist 1999. aastaks.

See, et haigus on likvideeritud, ei tähenda seda, et ta edaspidi ei kujutaks endast ohtu Ameerika Ühendriikides ja mujal. Teised riigid on katsetanud viiruste kasutamist bioloogilise relvana, ning pole selge, kas teised valitsused ja organisatsioonid ei oma viirust kultiveerimiseks. Viimane Ameerika Ühendriikide elanikkonnale tehtud üldvaktsineerimine viidi läbi 1980. aastal; need vaktsineerimised pole enam efektiivsed. Kui mingi osa Ameerika elanikkonnast eksponeeritaks sellele viirusele, oleks see hävitav.

Kergus, millega saab viirust toota ja erakordne aerosoolne virulentsus (toksilisus) teevad selle ideaalseks relvaks. Terroristid, suutes muretseda kasvõi väikese koguse viirust, saavad lühikese ajaga kultiveerida teda kogustes, millega saab nakatada tuhandeid inimesi. Sedalaadi rünnak viiks rivist välja tervishoiusüsteemi ja tekitaks üleriigilist, kui mitte ülemaailmset paanikat.

Kui inimene puutub kokku rõugeviirusega, tekib tal nahalööve, seejärel punased kublad, mis muutuvad lõpuks mädavillideks. Mädavillid on tavaliselt jäsemel ja näol, vastupidi tuulerõugetele, mis kontsentreeruvad rinnal ja kõhul. Patsient jääb äärmiselt nakkavaks kuni neljateistkümneks päevaks alates sümptomite tekkest ja ta tuleb isoleerida seniks kuni kärnad on ära tulnud. Hooldajail peab olema täielik kaitse vere ning kehavedelike vastu ja hingamielundite kaitse.

### Venetsueela hobuentsefaliit (VEE)

VEE põhjustab hobuste, muulade, burrode (väike eesel) ja eeslite haigestumist. Tüüpiliselt esineb see Lõuna- ja Kesk-Ameerikas, Mehhikos, Trinidadis ja Floridas ja tekib moskiitohammustuse tulemusel, kes kannab nakatatud looma verd.

Kui haigus esineb looduslikult, siis inimese nakatumisele eelneb alati puhang kabjaliste (hobused, eeslid jne.) hulgas. Kui viirus on kunstlikult levitatud, on selle tunnuseks see, et puhangut kabjaliste hulgas ei eelne. Teiseks tunnuseks, mis kinnitab, et tegemist on kunstliku levikuga, on asjaolu, kui haigus esineb väljaspool selle geograafilist leviala.

VEEd valmistati relvana USAs 1950ndatel, kuid hävitati hiljem, kui lõpetati bioloogilise relva programm. Teised maad võivad olla eksperimenteerinud VEEga; kuivõrd edukad on need maad olnud, on teadmata. On mõistlik oletada, et kuivõrd viirust on lihtne saada, kujutab kultiveerimine terroristide poolt ohtu.

Kui ohver on nakatunud, järgneb ühe kuni viiepäevane inkubatsiooniperiood, millele järgneb äkiline sümptomite teke. Üldiselt VEE nakatab ajukelmeid ja aju ennast nii, et selle sümptomid on sarnased vastavate põletike sümptomitega. Esialgeteks sümptomiteks on üldine nõrkus ja jalgade tuimus, valgusekartus ja tõsine peavalu. Kui nakkus progresseerub, arenevad iiveldus, oksendamine ja kõhulahtisus. Lastel võib esineda tõsisemaid kesknärvisüsteemi sümptomeid nagu kooma, krampid ja halvatused, mis viivad 20% juhtudest surmani. Sündimata looteid ähvardab entsefaliit, platsentakajustused, iseeneslik abort või kaasasündinud anomaaliad.

Pole olemas spetsiifilist ravi, välja arvatud toetav hooldus valuvaigistavate ravimitega. Kui infektsioon põhjustab krampe, võib vaja minna krambivastaseid ravimeid. Nakkuse kõige tõsisem faas kestab kahekümne neljast tunnist seitsmekümne kahe tunnini, millele võib järgneda pikaleveniv või alaline halvatus või letargia. Nakatunud isikute eest hoolitsemisel tuleb jälgida ettevaatusabinõusid kokkupuuteks vere ja kehavedelikega. Seadmed tuleb puhastada hüpokloriti lahusega või hävitada viirus kuumutamisel (80° C 30 minuti jooksul).

### K o k k u v õ t e



#### **Venetsueela hobuentsefaliit (VEE)**

**Sümptomite teke:** Sümptomid ilmnevad 1 – 5 päeva jooksul.

**Sümptomite tüübid:** Sümptomiteks on üldine nõrkus ja jalgade tuimus, valgusekartus ja tõsine peavalu. Kõige tõsisem faas kestab 24 – 72 tundi.

**Levitamise viisid:** Viirust levitatakse õhu kaudu aerosoolina.

**Isiklik kaitse ja puhastamine:** Tuleb jälgida ettevaatusabinõusid kokkupuuteks vere ja kehavedelikega. Puhastamine tuleb teostada hüpokloriti lahusega.

## Viiruselised hemorraagilised palavikud (VHF-s)

VHF-id on viiruste rühm, mis kontrollib sisemisi ja välimisi verejookse. Kuna ebolat on korduvalt uudistes näidatud, tekitavad seda tüüpi nakkused paanikat. Terroristid tõenäoliselt ei kasuta seda, vaid üritavad ähvardustega hüsteeriat tekitada. Kuid alati on olemas võimalus nende viiruste saamiseks ja kasutamiseks.

VHF-id on mitmesugustesse perekondadesse kuuluvate ribonukleiinhappe viiruste tekitatud haigused, sealhulgas Ebola ja Marburgi viirus (Filoviridae perekond), Lassa palavik, Argentiina ja Boliivia palavik (Arenaviridae), Hantaviiruse perekond, Kongo-Krimmi hemorraagilise palaviku viirus (Bunyaviridae perekond) ning kollapalaviku ja dengue hemorraagilise palaviku viirus (Flaviviridae perekond).

Need viirused põhjustavad üldiselt läbilaskvust ja soontesisese vedeliku kaotust soonkondadest. Infektsiooni varasteks tunnusteks on palavik, valu ja silma sidekesta nahaalused verejooksud. Kui nakkus progresserub, lihaskesta membraanides tekivad verejooksud, haaratakse kaasa hingamisteed ja järgneb šokk.

Sõltuvalt infektsiooni ulatusest ja tekitava viiruse liigist võib suremus ületada 90%-ni.

Viiruste ülekandeks kasutatakse mitmesuguseid teid, millest kõige suuremat ohtu kujutab aerosoolagent. Nende viiruste kasutamine sõjas on mõeldav, kuid nende saamise ja kultiveerimise keerukus muudab nende kasutamise relvana terroriorganisatsioonide poolt ebatõenäoliseks.

### K o k k u v õ t e



#### **Viiruselised hemorraagilised palavikud (VHF-s)**

**Sümptomite teke:** Sõltub viiruse liigist.

**Sümptomite tüübid:** Sümptomiteks on palavik, peavalu, kalduvus verejooksude tekkeks, vererõhu alanemine ja šokk.

**Levitamise viisid:** Viirusi kantakse edasi saastatud toidu ja aerosoolidena.

**Isiklik kaitse ja puhastamine:** On vajalik täielik keha isoleerimine. Puhastamist teostatakse fenooli või hüpokloriti lahusega.

## 2.3 Bioloogilised toksiidid

### Botulismi toksiin

Botulim on tõsine ja mõnikord surmav haigus, mida põhjustab anaeroobse bakteri *Clostridium botulinum* toksiin. Bakterit võib leida halvasti töödeldud toidust ja ta on põhjuseks paljudele toidumürgistuse (botulismi) juhtudele Ameerika Ühendriikides. Seda toksiooni on lihtne toota ja levitada aerosooliosakestena. Sissehingamise ja sissesöömise puhul on sümptomid sarnased, välja arvatud see, et esimesel juhul tekivad sümptomid aeglasemalt.

Arvatakse, et botulismitoksiin on kõige mürgisem senituntud ainetest. Katsed on näidanud, et 50% katseloomade surmamiseks on seda müriki vaja vähem kui 0,001  $\mu\text{g}$ /kehakaalu kg kohta. Selle võib ümber arvutada letaalseks doosiks 22-naelase mehe puhuks – 0,1  $\mu\text{g}$ . Valgele hiirele on surmavaks 950 toksiooni molekuli. Kui seda ühendit võrrelda teiste keemiarelvadega, alles siis saab ettekujutuse ta toksilisusest. Näiteks, botulismitoksiin on 15 000 korda mürgisem kui VX, kõige mürgisem tuntud närvimürkidest.

Botuliin kahjustab keha, sidudes närvilõpmed sünaptiliste ühenduste juures. See takistab närvimpulsside edasikandeks vajaliku atsetüülkoliini eraldumist närvilõpmetelt. Tekkiv mõju on pöördvastupidine organofosfaatsetele närvimürkidele. Viimasel juhul on sünaptiline ühendus täidetud atsetüülkoliiniga, sest organofosfaadid, mis on seotud ensüümi atsetüülkoliinesteraasiga, põhjustavad närviimpulsside pidevat ülekannet.

Närviimpulsside ülekandumise võimatus skeletilihastele ja parasümpaatlisele süsteemile põhjustab üldist nõrkust, limaskestade kuivust ja lõpuks hingamishäireid. Kui mürgi kontsentratsioon on küllalt suur selle allaneelamise või kontsentreeritud aerosooli sissehingamise puhul, tekivad sümptomid juba kaheksa kuni kolmekümne kuue tunni jooksul. Madalamate dooside korral võivad sümptomid tekkida päevade möödudes ekspositsioonist.

Tunnusteks ja sümptomiteks on suu kuivus, millele kaasnevad rääkimise ja neelamise raskused, rasketel juhtudel suuavamise refleksi lõppemine. Nägemine võib olla hägune ning kaasneda topeltnägemine, valgusekartus ja laienenud pupillid. Kui mürgitumine jätkub, muutuvad lihased lõdvaks ja tekib halvatus, mis viib hingamise lakkamise ja surmani. 1940 – 50-ndatel aastatel oli botulismi haigestumise korral suremus kuni 60%, praegu on suremus alla 20%.

Esmaabi puhul kindlustatakse haigele hea õhu juurdepääs või, vajaduse korral, trahhea intubatsioon ning positiivne hingamisrõhk. Või esineda ka alanenud vererõhku, seetõttu on oluline pöörata tähelepanu vererõhu säilitamisele. Praegusel ajal on vastumürk kättesaadav, kuid ta kasutamine on riskiga seotud anafülaksia võimaliku tekkimise tõttu manustamisel. Praegu töötatakse välja ravimeetodit teise vastumürgiga, mis on peagi kättesaadav. Teatud osa hooldusest on toetav ravi, mis võib kesta nädalaid või kuid sõltuvalt patsiendist ja ekspositsioonitasemest.

#### K o k k u v õ t e

**Botulism (*Botulinum toxin*)**

**Sümptomite teke:** Sümptomid tekivad 8 – 36 tunni jooksul.

**Sümptomite tüübid:** Sümptomiteks on suu kuivus, rääkimise ja neelamise raskused, nägemise hägusus, laienenud pupillid, lihaste lõtvus, halvatus ja hingamisraskused.

**Leviku tüübid:** Botulism võib levida aerosoldispersioonina.

**Isiklik kaitse ja puhastamine:** Tuleb kaitsta end vere ja kehavedelike eest, samuti on vajalik hingamisteede kaitse.

## Stafülokiline enterotoksiin B (SEB)

SEB kujutab endast üht veremürgituse vormi, mis muudab ohvrid teovõimetuks, kuid põhjustab harva surma. Kliinilisi mõjusid põhjustab toksiin, mida toodab bakter *Staphylococcus aureus*. SEBi poolt põhjustatud haigus on palju sagedasem kui botulism. Looduslikud puhangud on tavaliselt omavahel seotud ja põhjustatud ühe ja sama nakkusallika poolt, nagu restoran või piknik. Tema kasulikkus lahingutegevuses on seotud ta võimega muuta kuni 80% ohvritest teovõimetuks. Terroristid võivad pidada SEB tootmist lihtsaks ning kergesti kasutatavaks toidu- ja veeallikate saastamiseks. Selle ekspositsioon võib mõjutada sadu või tuhandeid inimesi, koormata üle tervishoiuvõimsused ja tekitada loodetud avalikku tähelepanu. Ekspositsiooni mõju võib kesta nädalaid, põhjustades tervishoiu infrastruktuuri pikemaajast kurnatust.

Sõltuvalt ekspositsiooni viisist on SEBi mõjud erinevad.

Sissehingatud SEB põhjustab kogu organismi süsteemset kahjustust ning võib viia septilise šokini. SEBi allaneelamine on aeglasema toimega, vähem dramaatiline ja mitte nii tõsine. Mürgi toimemehhanism on keeruline ning kasutab organismi enda antikehade vastusreaktsiooni organismile kahju tekitamiseks.

Sümptomite teke inhaleerimisel algab kolme kuni kaheistkümnepäevase jooksul ning nendeks on palavik, peavalu, lihasvalu, hingamise pinnalisus ning vahel valud rinnus. Seedetrakti ekspositsioonil võivad lisanduda iiveldus, oksendamine ja kõhulahtisus.

Ravi on loomult toetav ravi. Esmaabitoetajad peavad kindlustama soodsad hingamistingimused, kasutades hapnikku. Tõsistel juhtudel võivad tekkida hingamisraskused või hingamisseisak, niisiis soovituslik on kasutada trahhea intubatsiooni ning rakendada ventileerimisel positiivset rõhku.

Eksponeeritud seadmete puhastamine toimub hüpokloriti lahusega. On vajalik hoolikas kätepesemine ning tuleb hoiduda toksiiniga võimalikult saastatud toidu söömisest.

### K o k k u v ö t e



#### Stafülokiline enterotoksiin B (SEB)

**Sümptomite teke:** Sümptomid ilmnevad 3 – 12 tunni jooksul.

**Sümptomite tüübid:** Sümptomiteks on palavik, peavalu, lihasvalu, hingamise pinnalisus ning vahel valud rinnus.

**Leviku tüübid:** SEB võib saastada toidu ja vee.

**Isiklik kaitse ja puhastamine:** Soovitatav on hoolikas kätepesu. Puhastamine toimub hüpokloritiga.

## Ritsiin

Ritsiin on bioloogiline mürk, mis tekib riitsinustaime seemnetes (*Ricinus communis*). Riitsinus-aimed kasvavad kogu maailmas ning nende kasvatamine pole seadusega reguleeritud nii, et on oluline anda sellest ülevaade. Riitsinusube kasutatakse kastoorõli valmistamiseks, mida toodetakse ubade külmpressimisel. Kastoorõli pole mürgine ning teda kasutatakse lahtistina; kuid ülejäänud puder sisaldab ritsiini toksilisi tasemeid. Kahe kuni nelja oa allaneelamine täiskasvanu ja ühe kuni kolme oa allaneelamine lapse korral põhjustab mürgituse ja surma. Terroristide poolt sõjaliseks kasutamiseks toodetakse ritsiin tahke aineks ning suure hulga ohvrite mürgitamiseks levitatakse aerosoolina. Ritsiini sattudes organismi globulaarne glükoproteiin kinnitub rakuseintele ning lõpuks siseneb rakkude. Seejärel ritsiin blokeerib valgu sünteesi ja rakk sureb.

Sissehingatuna põhjustab ritsiin hingamissüsteemi rakkude kahjustuse, mis viib kudede nekroosini, põhjustab bronhiiti, kopsupõletikku ja hingamisteede turset. Haiguse puhkemine toimub kiiresti, sümptomid võivad ilmuda juba kolme tunni pärast, sagedamini küll 8 – 24 tunni pärast. Sissesööduna ilmnevad seedesüsteemi sümptomid seedekulgla verejooksude näol. Neile järgnevad südame-veresoonekonna sümptomid ja kogu organismi kahjustus: soonkondade kollaps, maksakahjustus, neerunekroos ja surm.

Meditiiniline esmaabi seisneb toetavas ravi ning seisneb kopsude ventilatsiooni kindlustamises ja kehavedelike asendamises. Ritsiinimürgistusel puudub antidoot. Kui kahtlustatakse ekpositsiooni toksiinile, tuleb päästjal kasutusele võtta õiged kaitsemeetmed nii naha kui hingamisteede kaitse näol. Puhastamiseks kasutatakse hüpokloriti lahust.

### Kokkuvõtte



#### Ricin (*Ricinus communis*)

**Sümptomite teke:** Sümptomid ilmnevad 3 – 24 tunni jooksul.

**Sümptomite tüübid:** Sissehingamine põhjustab kudede nekroosi, bronhiiti, kopsupõletikku ja hingamisteede turset. Sissesöömine põhjustab seedekulga nekroosi ja verejookse, millele järgnevad südame-veresoonkonna ja üldsümptomid – soonkondade kollaps, maksakahjustused, neerunekroos ja surm.

**Leviku tüübid:** Ritsiin võib levida saastatud toidu ja vee kaudu.

**Isiklik kaitse ja puhastamine:** Sekundaarne ekpositsioon pole probleemiks. Saastatud pindade puhastamine toimub hüpokloriti nõrga lahusega.

## Trikoltetseeni mükotoksiinid (T2)

T2 on keemiliselt keerukad toksiinid, mida looduslikult toodavad seened. On üle 40 sellise mükotoksiini, mis takistavad valgusünteesi ja lõhuvad rakumembraane. Toksiinide sihtmärgiks on kõige kiiremini taas-tuvad rakud, seega on kõige suuremas ohus nahk, limaskestad ja luuüdi.

T2 võib organismi siseneda kõiki teid pidi, põhjustades kahjustusi sisenemisteedel. Sümptomid ilmnevad minutite jooksul ning nendeks on põletustunne, sügelus, naha punetus, põletus ninas ja kõris, aevastamine, silmade punetus ning konjunktiviit. Põletustunne ja punetus arenevad edasi kiiresti mustaks nekrotiseerunud koeks. Seedekulga sümptomiteks on iiveldus, oksendamine, kõhulahtisus ja kõhuvalu.

Päästjad peavad kandma keemilise kaitse riietust. Kõik riided, mis ohvril seljas olid, tuleb eemaldada selleks, et vähendada ekpositsiooni ja vältida sekundaarset ekpositsiooni. Toksiin on eriti vastupidav, nõudes lagundamiseks 500°F 30 minuti jooksul. Kõige efektiivsem agent puhastamiseks on naatrium hüpoklorit, mis elimineerib T2 toksilise aktiivsuse. Jääkide eemaldamiseks tuleb patsienti seejärel pesta seebi ja veega. T2 on vees lahustumatu – puhastamise täielikkuse saavutamiseks tuleb pesta erilise hoolega.

T2 mürgistusel ei ole spetsiifilist antidooti ning hooldava ravi efekt on piiratud. T2 allaneelamise korral tuleb manustada aktiivsütt.

### Kokkuvõtte



#### Trikoltetseeni mükotoksiin (T2)

**Sümptomite teke:** Sümptomid ilmnevad minutite või tundide jooksul.

**Sümptomite tüübid:** Sümptomiteks on põletustunne, sügelus, naha punetus, põletus ninas ja kõris, aevastamine, silmade punetus ning konjunktiviit. Põletustunne ja punetus arenevad edasi kiiresti mustaks nekrotiseerunud koeks. Seedekulga sümptomiteks on iiveldus, oksendamine, kõhulahtisus ja kõhuvalu.

**Isiklik kaitse ja puhastamine:** Vajalik on täielik naha ja hingamisteede kaitse. Patsiendi isoleerimine pole vajalik. Saastunud seadmed tuleb pesta hüpokloriti lahusega.

## Kokkuvõtte

Juhul, kui terrorist otsustab kasutada bioloogilist toimeainet kahju tekitamiseks elanikkonnale, pole päästetöötajad mitte üksi suures ohus kasutatud agendi tõttu, vaid ka suurtes raskustes kasutatud toksiooni määramise ja identifitseerimisega. Lõpliku eesmärgi saavutamiseks hirmu külvamisel elanikkonnas võtab ta kõige tõenäolisemalt vastutuse rünnaku eest ja teeb teatavaks, et elanikkond on eksponeeritud mürgile. Kogu



muu informatsioon tuleb paljudelt patsientidelt, kes kaebavad sarnaste sümptomite üle. Sel juhul võib päästetöötajate eri toksiinidele vastavate sümptomite tundmine juhtida neid õigete ravi- ja hooldusvõtte kasutamisele.

Mõningaid fakte viimasel ajal teostatud rünnakutest bioloogiliste mürkidega:



► Septembris 1984 mürgitas usulahk Loode-Oregonis salatibaari ümbruse salmonellaga. Nende eesmärgiks oli võimalikult paljude inimeste haigestumine, et häälteuskampaania selle grupi vastu ei õnnestuks.

► 1992.aastal Minnesotas kohalik *militia* (kodanikevägi) valmistas ritsiini selle kasutamiseks kohaliku omavalitsuse ning selle seaduste kehtestamise takistamiseks.

► Mais 1995 Aumi Lõplik Tõde kavatses rünnata bioloogiliste mürkidega New-York City` t kasutades levitamiseks pilvelõhkujaid. On andmeid, et sama grupp uurib ebolaviirust kasutamiseks biorelvana.

Tõenäosus, et biorelva kasutatakse Ameerika Ühendriikide elanikkonna vastu, on reaalne, sest need ained on kergesti kättesaadavad. Näiteks antraks, mida paljud peavad terroristide *Saturday Night Specialiks* (kõige enam kasutatav, käepärane), on väga stabiilne, kergesti kättesaadav ja toodetav. Kui teda levitatakse, tekivad inimestel gripi-sarnase sümptomid. Kui antibiootikume ei manustata, tunnevad patsiendid umbes kolme päeva pärast end paremini. Neljandal päeval hakkab neil halb ja nad surevad.

Hinnanguliselt on kolmanda maailma ja endise Nõukogude bloki valduses umbes sada bioloogilist ainet, mida saab relvana kasutada. Täpne nimekiri on teadmata; on siiski olnud palju juttu bioloogilistest tüvedest geneetiliselt muudetud bioloogilistest ainetest. On teadmata ka võimalus bakterite liitmisest peremees-viirusega, nagu ebolaviirus antraksibakteri sees. Praeguseks hetkeks me veel ei tea, kas seda tüüpi "musta bioloogiat" on teostatud.

## Bioloogiliste relvade ajalugu

Esimeses Maailmasõjas püüdsid Saksa agendid hävitada liitlasriikide toiduvarud nakatades tahtlikult lambaid, kariloomi, hobuseid muulasid ja põhjapõtru hobuste tatitõve ja antraksiga, millised haigused teadaolevalt laastasid kariloomade populatsioone looduslike epideemiatena. Nende sihtmärgiks olid kariloomad – hobused, muulad lambad ja kariloomad, mida toodi liitlasmaadele sisse neutraalsetest riikidest. Nakatades vaid mõningaid loomi süstimisega või kallates bakterikultuure nende toidu sisse, kavandasid Saksa salaagendid hävitavaid epideemiaid maades, mis aitasid liitlasriike. Salaagendid korraldasid selle kampaania Rumeenias ja USAs aastatel 1915 – 1916, Argentiinas umbes 1916 – 1918 ning Hispaanias ja Norras, täpne aeg pole teada. Kuigi osa loomi suri, polnud sel ilmselt tegelikult mõju sõjategevusele ning haiguse ülekannet loomadelt ei täheldatud.

Aastate vahemikus 1932 – 1945 tappis Jaapan Hiinas umbes 260 000 inimest bioloogiliste relvadega, kuri kuulus Jaapani Imperaatorlik Armeeüksus 731 uuris selliste haiguste mõjusid nagu antraks, tüüfus, koolera ja

katk ligikaudu 10 000 vangil Hiinas. Sageli lõigati elusaid vange katki valuvaigistusega. Olles üsna palju teada saanud nende haiguste kohta, liikusid nad edasi, tappes sõjas Hiinaga veel 250 000 inimest. Aktiivses lahingutegevuses langes ohvriks mitusada tuhat inimest, peamiselt Hiina tsiviilkodanikud. 1940. aastal viskasid jaapanlased Zhejiangi provintsi Ningbo ja Quzhou linnade kohal alla paberkotid katkuga nakatatud kirpudega. Kasutati ka kaevude mürgitamist ja mürgitatud toidu laialijagamist. Jaapani armeel ei õnnestunud kunagi valmistada sellist arenenud biorelva nagu on patogeensete bakteritega pomm. Sõja lõpul garanteeris USA 731 üksusele amnestia vastutasuks nende andmete saamise eest.

On huvitav see, et Jaapani liitlasel Saksamaal, kes viis läbi hulganisti jõledusi kohutavas "meditsiiniuurimistöös", polnud Teises Maailmasõjas ilmselt nii laialdast biorelva programmi, kui Jaapanil. Võimalik, et Saksamaa väejuhatus mõistis, et kasutades seda suhteliselt väikesel pinnal, kus toimus lahingutegevus, seavad nad ohtu oma väed. Jaapanlased kasutasid seda hoolikalt vaid Hiina ja Mandžuuria kaugetel aladel. Saksamaal toimus küll uurimistöö, kuid teadaolevalt ei kasutanud nad bioloogilist relva.

Biorelva küll sõjas mitte kasutanud, katsetab Briti sõjavägi antraksisporidega biorelva 1942. aastal Guinardi saarel Šotimaal ning ei kasuta seda järgneva 42 aasta jooksul. Antraksisporide keskkonda sattumine 1979. aastal NSVL-s Sverdlovskis tappis 68 inimest. Õnnetuse korral biorelvi valmistavas tehases levis antraksisporide pilv üle linna ja ümbritsevate maakohtade. Lisaks inimestele, kes hukkusid, suri hulk kariloomi antraksi sissehingamise tõttu, mis on kõige nakkavam antraksi vorm.

1970ndate aastate lõpupoole hakkasid Afganistanist Kampucheast ja Laosest tulema teated, et inimesed, peamiselt miaod ja hmongid surid kohutavasse haigusesse varsti pärast seda, kui sõjalennukid sealt üle olid lennanud. Räägiti lugusid inimestest, kelle silmad, suu ja nahk jooksid verd peale seda, kui nende peale oli langenud kollane pulber. Nad nimetasid seda ainet "kollaseks vihmaks". Vietnami, laose, Nõukogude Liidu ja Hiina kommunistlikud juhid eitasid toksiini kasutamist. Viidi läbi massiivne desinformatsioonikampaania, et näidata, et need, kes arvavad et "kollase vihma" näol on tegemist sõjalise rünnakuga, on segased. Aastaid hiljem USA armee avastas, et see materjal oli seente toksiin, mis oli relvaks muudetud levitamiseks väikeste pommidena või aerosoldispersioonina. Seda nimetatakse trikotseenideks ja ta on kõrge toksilisusega ning ekspositsiooni korral järgneb kiire ja valuline surm verejooksude tagajärjel. Näib, et Venemaal on esinenud looduslikku esinemist seente näol, mis kasvavad nisul või rukkil ning toodavad toksiini, mis on loomult sarnane tungalterale teistelt seentelt. Nõukogude Liidu teadlased suutsid kontsentreerida selle toksiini bioloogiliseks relvaks. USA armees on välja töötatud testmeetod nende toksiinide olemasolu määramiseks.

Koos rōugete maakeral likvideeritaks tunnistamisega, sai rōugetest potentsiaalne biorelv, sest inimesi ei vakt-sineeritud enam. Mõned riigid on teadaolevalt töötanud geeniliitmiste kallal, s.o. istutanud geenidesse teatud DNA fragmente, et valmistada nakkavamaid rōugete vorme, mis oleksid vakt-sineerimiste suhtes resistentsemad. USA ja Ühendatud Kuningriigid kaaluvad tagasipöördumist rutiinse rōuge vakt-sineerimise juurde, vähemalt sõjaväe jaoks. See tegu võib suurendada biorelva kasutamise võimalust terrorismiks, sest sõjavägi oleks suures osa kaitstud, tsiviilelanikkond aga vastuvõtlik.

# 4. Bioloogilise relva kasutamise eelised ja puudused

Bioloogiliste relvade ideaalsed omadused on halb nähtavus, kõrge potentsiaal, kättesaadavus ja levitamise lihtsus. Haigused, mida kõige tõenäolisemalt kasutatakse bioloogilises relvas on sellised, mille puhul on efektiivse levitamise korral letaalsus kõrge ning mis on üldiselt vastupidavad nii, et neid oleks soodne levitada aerosoolina. Põhiline raskus bioloogilise relva kasutamisel pole mitte bioloogilise toimeaine tootmine, vaid pigem selle levitamine niisugusel kujul, mis nakataks suurt arvu inimesi. Antraksi rünnak nõuab, näiteks, täpse suurusega aerosooli osakeste tekitamist. Kui osakesed on liiga suured, siis hingamissüsteemi ninaosa filtreerib nad välja. Kui osakesed on liiga väikesed, hingatakse aerosool sisse ja seejärel kiiresti välja. Aerosooli levitamine sellisel viisil, et ilmastik ei hävitaks ega nõrgendaks seda, ning antraksi pakkimine nii, et ta säilitaks aktiivsuse, on sellise bioloogilise rünnaku ülesehitamise kaks põhilist tehnoloogilist raskust.

Bioloogilisi relvi saab üsna lihtsalt ja suhteliselt lühikese aja jooksul valmistada, kui on olemas õiged tingimused ja keskkond. Keskmise haridusega minimaalseid vahendeid ja ruumi omav bioloog saab valmistada neid väikeses ruumis. Põhilised bioloogilise relva eelised on informatsiooni kättesaadavus, piiratud hulk ressursse, mis on vajalikud projekti läbiviimiseks ning võimalus toimeainet enne kasutamist testida. Haigused, mis tulevad kasutamiseks kõne alla on antraks, ebola, kopsukatk, koolera, tulareemia, brutselloos, Q palavik, Venetsueela hobuentsefaliit (VEE), stafülokokiline enterotoksiin B (SEB) ja rõuged. Looduslikult esinevad toksiidid, mida võiks relvades kasutada, oleks ritsiin, botulismitoksiin ja mükotoksiinid.

Üldiselt bioloogilise relva kasutamise raskused seisnevad pakkimises ja toimeaine kohaletoimetamises. Organism või toksiin ei tohi kokku puutuda kõrgete temperatuuridega nagu see on tüüpiline pommide ja suurtükimürskude juures, sest nad võivad hävida või kaotada toime. Enamus, kuigi mitte kõik, biorelvad vajavad inhaleerimist; osakesed peavad olema teatud suuruse vahemikus, tavaliselt umbes 1-mikronilise diameetriga. Et saada vedelik või tahke aine õhufaasi sissehingamiseks, on vajalik aerosooli moodustamine. Aerosooli moodustumine sõltub ilmastikutingimustest ning osakeste loomusest. Enamik suuremaid või väiksemaid pomme ning mürske ei moodusta suurtel aladel häid aerosooli. Palju lihtsam on aerosooli moodustada pihustusseadmetega nagu seda tehakse putukate hävitamisel aerosooluduga või teraviljade pritsimisel. Kuid sõja ajal nõuab see seadmete paigutamist rindejoone taha.

Bioloogiliste relvade kasutamisel sõjas on veel teine suur puudus: relva kasutava poole sõdurid peavad olema kaitstud haiguse eest. Ühegi vaktsiini efektiivsus pole 100% ning mõningate toimeainete puhul puudub antidoot või ravi. Bioloogilise relva kasutamisel võib saastuda maa, mida pealetungiv armee soovib hiljem okupeerida. Biorelva kasutava riigi jaoks on ka poliitilised riskid. Ning lõpuks, teise poole sõdurid võivad olla vaktsineeritud kasutatava agendi vastu. Nagu keemiarelvade puhulgi, on kõige tõenäolisem bioloogilise relva kasutamise stsenaarium selle kasutamine tsiviilelanike vastu või loomade ja toiduvarude puhul.

Kõige tõenäolisemalt teostab bioloogilise relva rünnakut terroristlik grupp koos võimaliku riigipoolse abiga. Selle hind on madal, tehnoloogia lihtne ja hästi tuntud, mõjud hirmutavad ning kindlakstegemise võimalus väike. Levitamise kõige tõenäolisem meetod on aerosooligeneraatori kasutamine nagu on pestitsiidide pihustamise

seade teraviljade pritsimisel lennukist.

Bioloogiliste relvade kasutamisel on suur tähtsus ilmastikul. Aerosoolipilve dispergeerimine sõltub valitsevatest tuultest, loodetavasti on suund eemale kasutatavast poolest. Tuulesuund võib aga kiiresti muutuda. Alati on võimalus iseennast mürgitavateks juhtudeks tuule suuna või tugevuse muutuse korral. Kui tuulekiirus väheneb, jääb mõjutatav ala kavandatust väiksemaks. Üldiselt võib kogu mõjutatud ala olla pikaksveninud ovaali taoline, mille tipp on aerosooli levitamise punktis ning pikitelg on tuulesuunaline. Ka temperatuur on oluline nakkust levitavatele organismidele: enamik neist võib paljuneda vaid kitsas temperatuurivahemikus. Biorelva kasutamine väga külma ilma korral on piiratud. Vihm ja kõrge niiskuseaste võivad toksiline mõjustada, vähendades nende kontsentratsiooni ja seega efektiivsust.

Nagu igasuguse relvasüsteemi puhul, olgu need soomusväeosad, lennuvägi, kahurvägi, laevad või satelliidid, on olemas optimaalsed ajad, kohad ja situatsioonid bioloogilise relva kasutamiseks, kui riik või mingi gupp neid kasutada otsustab. Bioloogiliste relvade eeliseks on: nad on odavad, neid on lihtne toota väikestes laborites; kaitsetu elanikkonna puhul on letaalsus kõrge; neil on sageli hilissümptomid; nad on hirmutavad; ja nad suudavad mõjutada suurt ohvrite arvu. Bioloogiliste relvade mõningad puudused on: neid on keeruline pakkida ja laiali levitada; neid mõjutab sageli ilm ja kliima; nad mõjutavad ka teisi inimesi peale sihtgrupi: ja nende kasutamine pole seaduslik ning seda peetakse ebahumaanseks.

# USA, Venemaa ja Hiina bioloogiliste relvade programmid

## USA bioloogiliste relvade programm

Ameerika Ühendriikide biorelvade programm algas Teise Maailmasõja ajal, ning valitsus töötas välja ja tootis terve hulga bioloogilisi relvi. USAI oli laialdane biorelva ründeprogramm, mida viidi läbi reas kohtades nagu Fort Detrick Marylandis, Dugway katsepolügoon Utahs ja Pine Bluffi arsenal Arkansases. USA töötas välja standardina tulareemia, mis oli valmis kasutamiseks surmarelvana vägede poolt ja Venetsueela hobuentsefaliidi (VEE) standardiseeritud mittetapva relvana. USA töötas ka välja brutselloosrelva ning saake hävitava seenrelva. Programm kulmineerus suurte õnnestunud aerosoolkatsete seeriatena, kasutades ahve ja närilisi katseloomadena Vaiksel Ookeanil 1969. aastal. USA uuris mitmeid organisme biorelvaks kasutamise eesmärgil: antraksi, rõugeid, botulismi, seeni jne. Hoone Fort Detrickis, Marylandis, saastus atraksisporidega. See puhastati ning arvati, et see on täiesti ohutu, kuid kedagi ei lubatud sinna sisse ega lähedalegi. See uurimus peatati 1969. aasta lõpul, kui president Nixon lõpetas selle programmi. Pärast kõikide võimaluste läbiuurimist otsustas president Nixon mitte üksi lõpetada bioloogiliste relvade programmi, vaid loobus võimalusest, et USAI oleks mingigi bioloogilise ründerelva programm. Sel ajal edestas USA biorelva programm NSVL programmi. Seejärel võttis Ameerika liidripositsiooni bioloogiliste relvade keelustamislepingu läbisurumisel, et kuulutada need relvad sea-dusevastaseks.

1972.aastal USA, kirjutades alla bioloogiliste relvade konventsiooni, nõustus püsivalt jätkama seda keeldu, mis oli olnud jõus alates 1969.aastast. USA on arvatavalt lõpetanud kogu ründealase uuringu, kuid jätkab uuringuid piiratud ulatuses kaitseesmärkidel. Vahepeel enne seda oli hulk lambaid surnud Dugway katsepolügooni lähedal Utahs. Uuringutes kasutatud antraksisporid olid valla pääsenud. Farmeritele maksti kompensatsiooni ja keelati sellest rääkida.

Tänapäeval jätkab USA kaitseprogrammi vaktsiinide ja ravi osas biorelvade vastu. Selle tegemine nõuab aga tõeliste toimeainete olemasolu, et tekitada mõjusid, mida takistada või ravida. Ülejäänud kaitsetööd viib läbi peamiselt USA Armees Nakkushaiguste Meditsiiniuuringute Instituut (USAM-RIID) Fort Detrickis, Marylandis, mis uurib ka looduslikke haigusi ja nende ravi.

## Nõukogude Liidu (Venemaa) bioloogiliste relvade programm

Külma sõja perioodil oli NSV Liidul kuni 60000 töötajat umbes 50 asukohas, kes osalesid bioloogilise relva programmis. Enamik laboreid oli Venemaal või Kasahstanis, teiste liiduvabariikide osas puudus usaldus. Kuigi on väidetud, et uurimisvõimsused on suletud ning varud hävitatud on teave, mida teadlased omavad, alles.

1992. aastal avaldas NSV Liit deklaratsiooni, mida nõudis Bioloogiliste Relvade Konventsioon, kus ta kirjeldab oma programmi ajalugu. 1969. aastal nõukogude teadlased said aru, et USA on biorelvade alal neist kaugel ees. Nad otsustasid, et peavad olema suutelised valmistama biorelva niipea, kui Moskva seda nõuaks. Nad ehitasid suured tootmisvõimsused biorelva jaoks. Teadlaste jutu kohaselt olid nad valmisoleku seisundis, olles Bioloogiliste Relvade Konventsiooni lõa otsa. Konventsioon keelab bioloogilise relva arendamist, tootmist ning varude säilitamist, kuid ta ei keela võimsuste ehitamist relva tootmiseks. See jäeti konventsioonist välja ning seda nad tegid. Tegelikult mõnedes neist tootmisüksustest toodeti ja säilitati bioloogilist relva.

On teada, et Nõukogude teadlased muutsid relvaks antraksi, rõuged, botulismi ja katku. NSV Liidu bioloogiliste relvade programm, mida jätkati vaatamata allkirjale Bioloogiliste Relvade Konventsioonil, uuris arvatavalt ka antraksi DNA liitmist *Escherichia coli* bakterile. See bakter on kohanenud elamiseks inimese seedetraktis; tegelikult suur osa roojamassist koosneb bakterist. Muudetud organism suudab elada soolestikus ning põhjustada antraksit rünnates seestpoolt, mitte sissehingamisel. Teiste haigustena, mida nõukogude teadlased uurisid, võiks nimetada tulareemiat, koolerat ning loomade haigusi, millega rünnata kariloomi.

1978. aastal mõrvati Bulgaaria salapolitsei poolt Bulgaaria dissident Georgi Markov vihmavarjuotsa torkega, mis oli modifitseeritud platinakapslikesega, mis sisaldas ritsiini. Ta suri teadmata põhjusel 1970ndatel aastatel. Lahangul ei leitud midagi erilist peale väikese torkekooha sääre alaosas. Haava seest leiti väike platinakapslike, milles oli ritsiin. Ritsiini leidub kemikaalina riitsinusoas. Ta on väga mürgine, põhjustab surma mõne päeva jooksul ning mõju tekib juba 12 – 24 tunni pärast. Sümptomiteks on iiveldus, oksendamine, palavik, verine kõhulahtisus, krambid, hingamisraskused, neerupuudulikkus ja vereringe kollaps. Ritsiini kasutamise biorelvana arendas välja NSV Liit. 2003. aastal avastati ritsiini ühes Londoni korterist, kus elasid inimesed Lähis-Idast.

Varsti pärast Teist Maailmasõda tappis leib, mis oli tehtud juhuslikult *Fusarium*iga nakatunud nisust, tuhandeid Vene tsiviilelanikke. See fookusseeris tähelepanu mükotoksiinidele nimega trikotseenid. Kui Nõukogude teadlased avastasid need mükotoksiinid, töötasid nad välja programmi nende kasutamiseks bioloogilise relvana. 1970ndate aastate lõpul kasutati neid mükotoksiine, peamiselt T-2 toksiooni Afganistanis, Kambodžas ja Laoses Vene vägede poolt keemiarelvana. Välimuse tõttu nimetasid kohalikud seda "kollaseks vihmaks".

1970ndate aastate lõpul ja 1980ndale algul algas uute biorelvade arendamine, milleks olid marburg, ebola ja Boliivia hemorraagiline palavik. NSV Liidul oli osakond (*directorate*), mis vastutas bioloogilise relva arendamise

eest, kuid kõiki relvi hoiti Kaitseministeeriumi sõjavõimsuste juures. Kirovi rajatised vastutasid 20 tonni katku säilitamise eest. Zagorski rajatis (nüüdse nimega Sergijev Posad) vastutas 20 tonni rõugete biorelva säilitamise eest. Sverdlovski (praegu Jekaterinburgi) rajatised vastutasid sadade tonnide antraksi biorelva pideva valmistamise eest. Teated nõukogude biorelva programmi tohutust suurusest hakkasid Läände jõudma 1989. aastal, kui bioloog Vladimir Pasechenik põgenes Suurbritanniasse. Lood, mida ta jutustas geneetiliselt muudetud "superkatkust", antibiootikumidele resistentsest antraksist ja pikamaamürkudest nende haiguste levitamiseks leidsid hiljem kinnitust teiste põgenike poolt pärast NSV Liidu langemist.

Enim tuntud inhaleeritava antraksi vormi, kood nimega Antraks 836, valmistati NSV Liidus mitmetes kohtades nagu Sverdlovsk, Sergijev Posad, Zagorsk ja Stepnogorsk Kasahstanis alates 1987. aastast. Spoorid olid väga peen, hallikas-pruun siiditaoline pulber, mida õhuvoolud suutsid kanda mitmeid kilomeetreid. Ta oli nii peen, et polnud nähtav palja silmaga. Neid kasvatati tohututes fermentatsioonitankides, mis olid sarnased alkoholsete jookide, õlle ja viski valmistamise tankidele. Ühendi 19 juhuslik leke põhjustas Sverdlovskis 68 inimese surma 1979. aastal. Nõukogude võimud eitasid isegi ohvrite peredele, et see oli biorelva õnnetus. Hiljem, kui info lekkis välja, väitsid nad, et see oli looduslik puhang, mida esineb maapiirkondades.

On ka teada, et nõukogude teadlased olid väga edukad rõugeviiruse DNA geneetilisel liitmisel, et muuta see vastuvõtmatuks Läänes kasutusel olevatele vaktsiinidele. Töötati välja vaktsiin, mis tõrjuks seda rõugete muundatud vormi.

Kui Venemaa tahaks alustada bioloogilise relva tootmist, ei võtaks see rohkem aega, kui kaks või kolm kuud, sest on olemas vähemalt neli rajatist, kus saab seda teha. Lisaks neile tehastele jätkavad tööd mitmed Bio-preparaadi tehased, mida saab kasutada mobilisatsioonivõimsustena. On vägagi tõenäoline, et Venemaal ja teistel riikidel, nagu Iisrael, on laialdased bioloogilise relva kaitseprogrammid.

## **Hiina bioloogiliste relvade programm**

On laialdaselt teada, et Hiinal on aktiivne bioloogiliste relvade arendamisprogramm, kuigi selle programmi üksikasjad pole ilmunud avalikus kirjanduses. 1939. aastal rajas Jaapani Keiserlik Armeed oma üksuse 731 bakteriaalse relvastuse uurimiskeskuse Harbiinis, Hiinas, kus Jaapani meditsiiniekspertid tegid katseid, Hiina, Nõukogude, Korea, Briti jt. sõjavangide peal. On võimalik, et hiinlased kasutasid neid rajatise bioloogiliste relvade uuringute lähtepunktina.

Hiina omab arenenud biotehnoloogia infrastruktuuri ning vajalikku relvatööstust, et arendada, toota ja muuta relvadeks bioloogilisi toimeaineid. Kuigi Hiina on pidevalt väitnud, et ta pole kunagi uurinud ega tootnud bioloogilist relva, arvatakse siiski, et ta on säilitanud bioloogilise relva võimsused, millele ta oli aluse pannud enne Bioloogiliste Relvade Konventsiooniga ühinemist. Arvatakse, et Hiinal on praegu aktiivne bioloogiliste relvade programm, kus finantseeritakse pühendunud uurimis- ja arendamistööd ning mida toetab valitsus. Loomulikult ei ole olemas avalikku infot Hiina bioloogiliste relvade alase tegevuse kohta ning paljud seaduslikud uurimisprogrammid kasutavad sarnast, kui mitte identset sisseseadet ning rajatise.

# Genfi (Genua) 1925. aasta protokoll

Pärast tuhandete hirmu, kes olid gaasirünnakus Esimese Maailmasõjas, kohtusid paljud maailma-  
maad Genfis Šveitsis, et määratleda piirid relvade kasutamiseks sõjas. Tulemusena tekkinud protokoll keelustas  
lisaks keemiarelvadele igasugust liiki bioloogiliste relvade kasutamise.

Protokoll Lämmatavate, Mürgiste ja Teiste Gaaside ning Bioloogiliste Relvade Kasutamise Keelustamise kohta  
sõjas, mis tavaliselt kannab nime Genfi Protokoll, kirjutati alla Genfis 17. juunil 1925. aastal ning registreeriti  
7. septembril 1929. aastal. See keelas bioloogiliste relvade kasutamise, kuid ei öelnud midagi tootmise, säilita-  
mise ega transpordi kohta. Protokoll keelas kõigil allakirjutanud riikidel kasutada bioloogilisi relvi, kuigi kõik  
suuremad riigid, kaasa arvatud Saksamaa, Suurbritannia, Ameerika Ühendriigid ja Nõukogude Liit ignoreerisid  
selle tingimusi. Tegelikult kulus aega 50 aastat, enne kui USA Senat selle ratifitseeris, kuigi USA oli selle alla kir-  
jutanud. Jaapan keeldus üldse alla kirjutamisest.

# 1972. aasta biorelvade konventsioon

Genfi Protokollide üldine ebaõnnestumine viis palju riike kartuseni, et tulevikusõdades kasutatakse  
bioloogilisi relvi. 1972. aastal toimus ÜRO egiidi all koosolek eesmärgiga luua jõulisem keelustuslepe. Bakte-  
riaalsete ja toksinrelvade arendamise, tootmise ja säilitamise keelustamise ning nende hävitamise konventsioon  
või lihtsalt bioloogiliste relvade konventsioon (BWC) kirjutati alla 10. aprillil 1972 aastal ning see jõustus 26. mail  
1975. aastal. See toetas Genfi 1925. aasta protokoll, keelates bioloogiliste relvade kasutamise ja laiendas seda  
nende arendamise säilitamise ning transpordi keelustamisega, välja arvatud väikestes kogustes meditsiini ja  
kaitseotstarbel. Kuid selles puudusid inspeksioonitingimused. Bioloogiliste relvade konventsioon keelustas pea-  
aegu igasuguse toimeaine, kaasa arvatud toksiinid, uuringu, tootmise, säilitamise ja kasutamise. Kuid ta lubas  
uurimusi bioloogiliste relvade kaitseks ning ei märkinud spetsiaalselt ära tootmisrajatiste ehitamist.

NSV Liit, vaatamata sellele, et ta oli üks allakirjutajatest, rikkus Konventsiooni algusest peale. Pole tõendeid,  
et ükski Nõukogude uurimislabor või tootmisüksus oleks tegevuse lõpetanud või tagasi tõmbunud.

USA, teisest küljest, lõpetas kõik uuringud v.a. kaitseotstarbeliseks aastal 1969, hävitas kõik varud ja kultuurid  
ning sulges kõik biorelva tootmisvõimsused. Bioloogiliste Relvade Konventsioon keelab kõik bioloogilised ründe-  
relvad, kuid lepingu eesmärk on biorelvastuse süsteemi üldine elimineerimine; kaitsealane töö on siiski lubatud.  
1996. aasta keskepaigaks oli 137 riiki selle lepingu allkirjastanud.



# Biorelvade kasutamine tulevikusõjas

On teada, et Saddam Hussein ajal Iraak omas bioloogilisi ründerelvi, kaasa arvatud antraks ja trikotetseenid relvana; nende materjalide saatus pole teada. Teiste riikide hulka, keda kahtlustatakse kas bioloogiliste relvade arendamises või omamises, kuuluvad Venemaa, Hiina, Iraan, Liibüa, Sudaan, Iisrael, Süüria, India, Põhja-Korea ja Egiptus.

Pärsia Lahe sõja lahingutegevuse lõpetamise ajaks 1991. aastal Iraagil oli relvana antraks, botulismi toksiin ja aflatoksiin ning väljatöötamise staadiumis oli teisi toksilisi agente. ÜRO erikomisjoni (UNSCOM) kulutas frustrerivaid aastaid, otsides tõendeid selle programmi kohta, mille eksisteerimist Iraak korduvalt eitas, misjärel mõõnis agentide nimekirja, mille nad väidetavalt olid hävitanud. UNSCOMi meeskond leidis, et Iraagi varud sisaldasid Scud lõhkepäid, mis olid laetud haiguste levitamiseks. Iraak oli teadaolevalt kasutanud keemiarelva 1980ndatel aastatel nii Iraani-Iraagi sõjas kui ka mässuliste kurdide vastu Põhja-Iraagis, kuid pole mingeid tõendeid selle kohta, et Iraak oleks kunagi kasutanud oma biorelva arsenali.

Bioloogilise relva sõjaline kasutamine on piiratud patogeenidele ja toksiinidele iseloomulike omaduste tõttu. Bioloogilise relva toimeainete õhu kaudu levitamine peab olema nii korraldatud, et suhteliselt suur osa sellest elab üle eraldumise kohaletoimetamissüsteemist. Bioloogilise toimeaine transport õhus individuaalsete patogeenide mikrokoopiliste kogumitena või toksiiniltigakestena peab olema õige suurusega, et need saaksid kehasse siseneda küllaldasel hulgal ning põhjustada haigestumist. Toimeaine eraldamine kohaletoimetavast süsteemist võib toimuda väikese plahvatusena kesta purustamiseks, kuid kuumus ja põrutus võivad tappa enamiku patogeenidest või hävitada toksiini. Samuti peab aerosooli generaator olema edumeelse ehitusega, et ta moodustaks küllaldaselt õige suurusega osakesi. Sellised kaalutlused on eriti tähtsad siis, kui biorelva kasutaja on valinud mittenakkava patogeeni, mille puhul peab iga ohver olema individuaalselt eksponeeritud küllaldasele doosile.

Kuna bioloogilise relva toimeained liiguvad aerosooliosakestena, sõltuvad nad keskkonna parameetritest, nagu õhuvoolud eri kõrgustel, õhu tihedus, niiskus jne. Need muutuvad ei allu biorelva kasutaja kontrollile pärast relva vallapäästmist. Kui biorelva kasutaja valib väga nakkava toimeaine nii, et haigus kandub üle ühelt ohvrilt teisele, on olemas oht, et ta oma poole väed või tsiviilelanikud langevad samuti haiguse ohvriks, mis tähendab, et selliseid agente saab kasutada ainult kaugel vaenlase tagalas.

Enamiku patogeene, mis eralduvad kohaletoimetamissüsteemist võivad tappa ultraviolettkiirgus või atmosfäärihapnik ning niiskus võib nõrgestada toksiinide toimet nii, et bioloogilist relva saab efektiivselt kasutada vaid teatud ajal päevas ning teatud ilmastikutingimuste juures.

Haiguste väljakujunemiseks kulub aega. See aeg võib üksiku ohvri puhul olla tundides või päevades ning võib kuluda rohkemgi aega, et saavutada sihtpopulatsiooni juures sõjalise tähtsusega mõju. Kuna see viivitus raskestab biorelva kasutaja identifitseerimist ning annab talle aja detekteerimisest pääsemiseks, tähendab see, et rünnak jääb mõneks ajaks teadmata. Enamiku sõjaliste operatsioonide puhul on ajastus kriitiline ja sageli kiire.

Üheks puuduseks bioloogilise relva kasutamisel sõjas on see, et relva kasutava poole sõdureid tuleb haiguse või toksiini eest kaitsta. Vaktsiinide efektiivsus pole absoluutne ja mõnedel toimeainetel pole antidooti või ravi. Biorelva kasutamine võib saastada sama ala, mida pealetungiv armee soovib annekteerida. Vaenlase sõdurid võivad kõige tõenäolisemalt olla vatsineeritud kasutatava agendi vastu või võivad vähemalt omada mingit kaitset selle vastu. Nagu varem nimetatud, on kõige tõenäolisem stsenaarium bioloogilise relva kasutamisel selle kasutamine tsiviilelanike, toiduvarede ja kariloomade vastu.



# 9. Biorelva kasutamine terrorismis

1984. aastal India guru Bagwan Shree Rajneeshi järgijad, kes elasid laagris maal Oregoni lähedal, pritsisid laiali Salmonella´t kogu ümbritseva maakonna salatibaarides. See oli katserünnak teise suurema rünnaku jaoks. Rajneeshi` plaan oli kohalik elanikkond haigeks teha, et see ei saaks hääletada saabuvat valimistel, milles olid kandidaadid, kes kultusele ei meeldinud. Katserünnakul haigestus toidumürgitusse üle 750 inimese, millest 45 juhtu vajasis hospitaliseerimist. Haiguste Kontrolli ja Ärahoidmise Keskus (CDC) algatas uuringu, kuid tegi vale järelduse, et puhang oli looduslik. Kulus aasta ja läks vaja sõltumatut politsei uurimist, et leida rünnaku tegelik allikas.

On teada, et 1995. aastal Jaapani apokalüptiline usulahk Aum Shinrikyo vallandas seriini Tokio metroos, tappes 12 reisijat ning kahjustades tuhandeid, kuid kultus värbas ka teadlasi biorelvade arendamiseks ning biorünnakute tegemiseks. 1993. ja 1995. aasta vahemikus Aum Shinrikyo püüdis 10 korda levitada botuliinimürki ja antraksi Tokio kesklinnas, kuid edutult. Miks rünnakud ebaõnnestusid, pole teada, kuid mõned eksperdid kahtlustavad, et kultusel polnud õige osakeste suurus ja see töötas mitterakkava antraksi tüvega.

Nädal hiljem, pärast terroristide atakki 11.septembril 2001. aastal, oli Tom Brokaw`le NBC uudistes New York City´s saadetud kiri, mis sisaldas relvaks muudetud antraksispoore. Kaks ülejäänud sama käekirjaga mürgisõnumit ja surmavad spoorid saabusid New York Posti kontorisse ja senaator Tom Daschlele Washington DCs. Kokku nakatus 23 inimest sissehingatava antraksiga, viis neist surid, ning sajad miljonid olid ängistuses ja hirmus tundmatu ees. Paljud postkontorid ja kirjaderuumid, kaasa arvatud USA Kapitooliumis, tuli puhastada kloordioksiidgaasiga, et muuta spoorid inaktiivseks.

Kõige tõenäolisemalt otsene bioloogiline rünnak võib tulla terroristide grupilt võimaliku riigi abiga. Selle hind on odav, tehnoloogia hästi tuntud, mõjud hirmutavad ning kindlaks tegemise võimalus väike. Materjali levitamise tõenäolisem viis on aerosoolgeneraatori kasutamine nagu see on viljade töötlemisel lennukilt pestitsiididega.

Teine koht, mis teeb muret on vee- või toiduallikate mürgitamine terroristide grupi poolt. Vähemalt on veevarude mürgitamise võimalus USAs väga madal, sest kaasaegsed veetötluse ettevõtted kasutavad protsesse, mis inaktiveerivad või hävitavad patogeene ja toksiidid ning samuti toimub veekvaliteedi rutiinne kontroll. Ainus võimalik viis joogiveesüsteemi mõjutamiseks on pärast töötlust, kuid see piirab infektsiooni ulatuse. Samuti on USAs ja paljudes teiste maades nõue kloorijäägi kohta joogivees, mis oksüdeeriks patogeene ja paljud toksiidid. Euroopas, kus vee desinfitseerimiseks kasutatakse tavaliselt ultraviolettkiirgust, pole jääki, mis tapaks patogeene; nad on palju suuremas ohus.

Samuti tuleks toidu bioloogiline saastamine viia läbi enamiku toitude korral pärast töötlust. Haiguse levik oleks enamiku stsenaariumide korral piiratud kohaliku alaga. Õigusust leiaks see tegevus terroristide jaoks hirmufaktori tõttu. Näiteks, kui hulk inimesi sai mürgituse vähetödelatud hamburgereid restoraniketis süües, ja noor poiss suri, olid tuhanded ärahirmutatud. Neil juhtudel oli organismiks Escherichia coli (E. coli) bakter, mille serotüüpi nimetatakse E.coli 0157:H7. 1982. aastal, mis järgnes toidumürgituse juhtudele, millele kaasnes verine kõhulahtisus seostati E.coli 0157:H7 kindlalt hemorraagilise koliidiga (haavandilise jänmesoolepõletikuga). Sellise seostamise tulemusena E.coli 0157:H7 tähistati enterohemorraagilise E.coli- na ehk EHEC. Enamikud juhud olid seotud alaküpsetatud loomaliha, kuid mõned õunamahla, tooreste juurviljade jt. toitudega. Kuigi need puhangud tõid kaasa vaid mõne surma, levis ühiskonnas hirm ja paanika. Terroristide organisatsioon, soovides ühiskonda lõhestada, võiks kasutada hirmu tekitamiseks samu patogeene. Bioloogilise relva kasutamine terroristide poolt on palju tõenäolisem, kui selle kasutamine sõjas.

# Biorelvade põhjustatud haigused ja meditsiiniline ravi



On olemas palju organisme, mis haigusi põhjustavad. Enamik neist on bakterid, riketsiad, seened ja viirused. Bakterid on ainuraksed organismid, millel on rakuseinad ja rakumembraanid ja nad kuuluvad taimede perekonda ning neil on DNAs koosnevad kromosoomid. Nad paljunevad enamiku tingimuste juures rakkude jaotumise teel. Enamikku neist kirjeldatakse välimuse järgi s.o. sfäärilisi tuntakse kokkidena, kepitaolisi batsillidena, ahelaid strepto- ja klompisid stafülo-. Mõned bakterid, nagu diplokokid, esinevad paaridena.

Viirused on mikroskoobis nähtamatud nakkuslikud obliigaadid rakusisesed parasiidid ning neid ei saa kasvatada väljaspool sobivat rakku; ainus viis neid taastoota on kasutada peremeesraku süsteemi. Viirused sisaldavad kas RNA või DNA šabloonmolekule, mis on tavaliselt kaetud proteiinide või lipoproteiinide kaitsva kestaga. Viiruse nukleiinhape suudab organiseerida iseenda paljunemist ainult sobivas peremees-rakus.

Riketsiad on nakkuslikud bakterid, mis on obliigaatse rakusisesed parasiidid; ainus viis neid taastoota on kasutada peremeesraku süsteemi. Rikettsiad säilitavad üldiselt kõik bakterite rakusisesed komponendid, kaasa arvatud rakuseina, plasmamembraani ja tsütoplasma koos ribosoomidega ja DNA. Nad paljunevad raku jagunemise teel. Riketsiad kanduvad kõige sagedamini üle nakatatud puukide või kirpude hammustamise teel. Mõned teised riketsiad kanduvad üle täide kaudu, kaasa arvatud Bartonella (*Rochalimaea*) quintana ,kraavipalaviku toimeaine (*tranch fever*). See oli tõsine meditsiiniline probleem Esimese Maailmasõja ajal, ning ilmus uuesti aidsiohvrite, kodutute ja alkohoolikute hulgas.

Fungused on taimse elu primitiivne vorm. Näitena nimetagem seeni, pärmi ja hallitust. Need on taimetaolised eukarüootid st. omavad tsellulaarset tuuma koos rakuseintega. Nad võivad paljuneda nii seksuaalselt kui asekuaalselt. Mõned neist põhjustavad haigusi, s.o. mingit ebanormaalset seisundit, ainult mõnedes liikides; teised ainult taimedes või loomades. Mõned neist tegutsevad koos peremehe bioloogiliste funktsioonidega.

On olemas ka toksiidid, kemikaalid, mida looduslikult toodavad elusorganismid, mis võivad põhjustada haigusi. Proteiinid võivad põhjustada mitmeid haruldasi haigusi. Need on tuntud prioonidena .

On oluline meeles pidada , et ükskõik millise bioloogilise organismi või toksiooni kasutamine on rahvusvaheliste kokkulepete rikkumine. Ka mõrvarriigid või terroristide grupid võivad soovida riskida süüdimõistmisega bioloogiliste relvade tootmise kättesaadavuse, kerguse ja hinna tõttu. Lisaasjaolu on see, et toimeaine ei pea tingimata olema fataalne, et olla efektiivne; meditsiinitöötajale ja tervishoiusüsteemi tööga hõivamine võib terroristidele olla parem kui surmade põhjustamine. Lõpuks, toimeainet võib kasutada saakide ja farmiloomade hävitamiseks samuti kui inimeste vastu. Kõike allpoolkirjeldatud on kas kaalutletud kasutamiseks või tegelikult kasutatud biorelvana.

# Aflatoksiin

## Kirjeldus

Aflatoksiinid (ladinakeelsest nimest *Aspergillus flavus*+*toxin*) on toksilised metaboliidid, mida toodavad teatud seened toiduainetes ja loomasöötades. Kõige tõenäolisemad toiduained, kust neid leida võib, on pähklid, kaunviljad ja mõningad teraviljad. Nad on arvatavasti kõige tuntumad ja kõige enam uuritud mükotoksiinid maailmas. Aflatoksiine on seostatud mitmesuguste haigustega, nagu aflatoksikoos kariloomadel, koduloomadel ja inimestel kogu maailmas. Aflatoksiinide esinemist mõjutavad teatud keskkonnafaktorid; saastumise ulatus sõltub geograafilisest asukohast, agrotehnilisest ja agronoomilisest praktikast ning tarbekaupade vastuvõtlikkuse seente invasioonile saagikoristuse, säilitamise ja töötlemise perioodidel. Aflatoksiinid on pälvinud suurema tähelepanu kui ükskõik millised teised mükotoksiinid nende poolt ilmutatud kantserogeensete mõjude tõttu vastuvõtlikel laboriloomadel ning nende akuutse tokikoloogilise mõju tõttu inimesele. Aflatoksiinid on looduslikult esinev mükotoksiin, mida toodab peamiselt kaks hallituse liiki: *Aspergillus flavus* (*A.flavus*) on tavaline ja looduses laialt levinud ning teda on kõige sagedamini leida siis, kui teatud teraviljad kasvavad stressitingimustes nagu on põud. Hallitus esineb pinnases, taimede kõdunemisel, heinas ja teraviljas mikrobioloogilisel lagunemisel ning ta tekib igasugusel orgaanilisel substraadil kusiganes ja millal iganes on selleks olemas soodsad tingimused. Soodsateks tingimusteks on kõrge niiskusesisaldus ja kõrge temperatuur. Teised sama perekonna seened, mis toodavad aflatoksiine on *A.nominus* ja *A.niger*. Looduses toodetakse vähemalt 13 liiki erinevaid aflatoksiine, millest kõige mürgisemaks peetakse aflatoksiini B1. Kuigi *Aspergillus flavus* (*A.flavus*)e olemasolu ei näita alati aflatoksiini ohtlike tasemeid, näitab see potentsiaali aflatoksiini tekkeks. Keemiliselt on aflatoksiin B1 2,3,6a,9a-tetrahydro-4-metoksütsüklopenta[c]furo[3',2:4,5-]furo[2,3-h][1][benszopüraan-1,1]-dion. On teada, et aflatoksiin B1 põhjustab maksavähki.

Nõrgestavate sümptomite tõttu ning kerge kättesaadavuse tõttu on aflatoksiinid tõenäoliselt terroristide relvadeks. Väiksema tõenäosusega on nende kasutamine üldise relvana sõjas, sest nad lagunevad kergesti oksüdeerijate toimel.

## Tunnused, sümptomid ja prognoos

Aflatokskoos on algselt maksahaigus. Individuaalse looma vastuvõtlikkus aflatoksiinidele on suuresti varieeruv sõltudes liigist, vanusest, soost ning toitumusest. Tegelikult põhjustavad aflatoksiinid immuunsüsteemi allasurumise tõttu lisaks embrüotoksilisusele loomade puhul, kelle doosid koos sissesöödava toiduga on madalad, ka maksakahjustust, vähenenud piima- ja munatoodangut, kaasnevaid nakkusi (näit. salmonelloosi). Kuigi kõige vastuvõtlikumad on noored isendid, on mõjustatud igas eas loomad erineval määral eri liikide puhul. Loomade aflatokskoosi kliinilised tunnused on seedetegevuse häired, paljunemisvõime langus, vähenenud söödatabimine ja selle vähene efektiivsus, aneemia ja kollatõbi. Imetavaid loomi võib mõjutada aflatoksiin B1 muutumine aflatoksiin M1ks, mis eraldub piimakarja puhul piimas. Vähi tekkimist aflatoksiinide toimel on palju uuritud. On teada, et aflatoksiin B1, aflatoksiin M1 ja aflatoksiin G1 põhjustavad erinevatel loomadel erinevaid vähiliike. Kuid vaid aflatoksiin B1 peetakse Rahvusvahelise Vähiuurimise Agentuuri poolt kantserogeeniks, mille vähkitekitaav toime katseloomadel on küllaldaselt tõestatud.

Inimesed eksponeeritakse aflatoksiinidele siis, kui nad tarbivad seenproduktidega saastatud toitu, näiteks pähkleid või teraviljatooteid. Sellist ekspositsiooni on raske ära hoida, sest seente tekkimist toidus on raske ära hoida ning ära tunda. Kuigi tugevalt saastatud toitu ei lubata arenenud maades turule, jääb alles siiski mure pikaajalisest mõjust madalate dooside kauaaegsel tarbimisel. Ägedat aflatoksikoosi inimestel on täheldatud mitmetes maailma osades, peamiselt Kolmanda Maailma maades nagu Taiwan, Uganda, India jpt. Sündroomi iseloomustab oksendamine, kõhuvalu, hingamisteede turse, krampid, kooma ja surm ajuturse ning maksa neerude ja südame rasvkahjustuse tagajärjel. Tingimused, mis suurendavad akuutse aflatoksikoosi teket inimesel on toidunappus, keskkonnatingimused, mis soodustavad seente arengut teraviljal ja toiduainetel ning süsteemi puudumine aflatoksiini seireks ja kontrolliks. Kuna aflatoksiinid, eriti aflatoksiin B1, on mõnede loomade puhul

potentsiaalsed kantserogeenid, on olemas huvi nende mükotoksiinide madalate dooside pikaajalise mõju uurimiseks inimesel. 1988.aastal lülitas JARC aflatoksiin B1 inimese katserogeenide nimekirja. Seda toetas suur arv epidemioloogilisi uuringuid, mis olid tehtud Aasias ja Aafrikas ning mis näitasid positiivset seost toidus sisalduva aflatoksiini ja maksavähi vahel – *Liver Cell Cancer* (LCC). Lisaks võivad aflatoksiiniga seotud haigusnähte mõjutada sellised tegurid nagu vanus, sugu, toitumus või kaasnev ekspositsioon teistele mõjuteguritele nagu viirushepatiit või parasiitnakkused.

## Ravi

Esmaseks abinõuks on kokkupuute vältimine toiduga, mis sisaldab aflatoksiine. Kui ekspositsioon on toimunud, on tulevikus vähiehoht. Ägeda ekspositsiooni korral võib amfoteritsiin B (fungisoon) kasulik olla. Itrakonasool võib samuti aidata.

# Biorelva kohale- toimetamise süsteemid

## Biorelva kasutamisega seonduvad probleemid

Bioloogilist relva võib kasutada inimeste, kariloomade ja toiduvarude vastu. Üldiselt on bioloogilise relva rakendamine piiratud. Mõnde patogeenidele iseloomulike omadustena, mis on takistanud biorelvade siselülitamist enamike riikide põhilistesse sõjadoktriinidesse, võib nimetada levitamise raskusi, ettearvatust levitamisel ning toimeainete lagunemist või nõrgenemist keskkonnatingimuste toimele.

Bioloogilise relva õhku paiskamise tehnoloogiaid tuleb parandada nii, et suhteliselt suur osa toimeainest säiliks eraldumisel kohaletoimetamise süsteemist. Toimeaine eraldumisel kohaletoimetamise süsteemist väikeste nõrkade plahvatustena konteineri lõhkumiseks, võib tekitada küllaldaselt kuumust ja põrutuse bakterite tapmiseks või toksiinide inaktiveerimiseks. Seetõttu tuleb lõhkelaeng kavandada selliselt, et ta tekitaks küllaldase hulga õige suurusega osakesi. Samamoodi tuleb ka aerosooligeneraatori ehitust täiustada nii, et tekitada küllaldane hulk õige suurusega osakesi. Need kaalutlused on eriti olulised juhul, kui biorelva kasutaja valib mittenakkava patogeeni (näit. antraksi), mille korral peab iga ohver saama küllaldase nakkava doosi. Enamgi, bioloogilise relva osakesed liiguvad atmosfääris üksikute bakterite mikroskoopiliste kogumitena või toksiinitilgakestena, mis peavad olema õige suurusega selleks, et nad organismi tungiksid ning seal neisse kohtadesse jõuksid, kus nad haiguse puhkemist põhjustavad.

Kuna bioloogilise relva toimeained liiguvad mikroskoopiliste osakestena, on nad sõltuvad keskkonnamuutujatest, nagu õhuvoolud eri kõrgustel, õhu tihedusest, temperatuurist, niiskusest ning pilvede olemasolust või puudumisest. Pärast toimeaine vabastamist ei saa bioloogilise relva kasutaja neid muutujaid kontrollida.

Kui biorelva kasutaja valib väga nakkava toimeaine (näit. rõuged), mis kandub üle ühelt ohvrilt teisele ja levib, on olemas üsna suur oht, te oma sõjavägi või tsiviilisikud langevad samuti nakkuse ohvriks. See tähendab seda, et selliste toimeainete kasutamist võib kaaluda vaid kaugel vaenlase tagalas.

Päikese ultraviolettkiirgus ja õhuhapnik võivad tappa enamiku patogeenidest, kes elusana on pääsenud ko-haletoimetamise süsteemist nii, et bioloogilist relva saab efektiivselt kasutada vaid teatud ajal ööpäevast (näit. öösel) või teatud ilmastikutingimuste korral (näit. pilvkatte olemasolul). Ultraviolettkiirgus, hapnik ja niiskus võivad mõjutada ka toksiinide tugevust.

Enamike haiguste puhul kulub aega kahjulike mõjude (ja sümptomite) tekkimiseks. See viivitus võib kesta üksikute ohvrite puhul mõnest tunnist mõne päevani või kulub isegi rohkem aega elanikkonnas sõjalise tähtsusega mõju tekkimiseks. See annab rünnatavale poolele aega samaga vastamiseks. Kuid siiski teevad sellised viivitused keeruliseks biorelva kasutaja identifitseerimise nii, et see omadus võib tegelikult anda kasutajale strateegilise eelise või võimalused salajasteks operatsioonideks. Bioloogilise relva kandidaattoimeained tuleb seega valida kompromissi alusel patogeensuse, surmavuse ja kontrollitavuse vahel.

Sõjalisse bioloogiliste relvade programmi kuuluvad surmavad, teovõimetuks tegevad ning saake hävitavad toimeained. Biorelva saab kasutada pigem taimede ja loomade kui inimeste vastu ning seega rünnata sihtgrupi toiduvarusid. Selliseid rünnakuid võib läbi viia osana salaoperatsioonidest, kus biorelva kasutajate sõjaväe ja tsiviilelanikkonna risk on minimaalne. Biotehnoloogia suur edu loob võimaluse biorelva arendamiseks selleks, et suurendada ta nakkavust, muuta ta ravimatumaks, vähendada võimalikke lagundavaid keskkonna- ja disperseerimismõjusid või isegi muuta sihtmärgiks kindlate geneetiliste omadustega elanike sihtgrupid.

## Bioloogiliste organismide levitamine

Bioloogilisi ründeaineid toimetatakse kohale samu relvi kasutades, mis keemiliste agentide puhulgi; ainus erinevus on see, et relv pole täidetud kemikaali, vaid eraldatud bioloogilise ründeainega. Samuti juhvivad bioloogilise agendi pilve samad nähtused, mis keemiliste agentide disperseerimisel. Looduslikud tegurid, ülekanne inimeselt inimesele on lisateed bioloogiliste toimeainete levitamisel.

## Osakeste suurus

Osakeste suuruse mõju on võtmeküsimus bioloogilise relva rünnakul. Suurtel osakestel on mitmeid puudusi, mis teevad nad üldiselt haiguste edasikandmisel vähem efektiivseks. Sellised osakesed kipuvad õhus suhteliselt kiiresti välja sadenema, piirates aega, mil nad on efektiivsed. Sisse hingatuna mõjuvad nad kõige tõenäolisemalt kõri ja ninaõõne limaskestadele. Nad on seal küll võimelised tekitama nakkust, kuid selle tõenäosus väheneb dramaatiliselt. Väikesed osakesed jäävad õhufaasi suhteliselt pikaks ajaks, kuid pärast sissehingamist hingatakse nad kiiresti välja. Väikesed osakesed ei jää kopsudesse, et põhjustada infektsiooni. Nakatumist põhjustavad kõige tõenäolisemalt keskmise suurusega osakesed. Nad jäävad õhufaasi, settides suhteliselt aeglaselt, kuid kord sissehingatuna jõuavad nad kopsu alveoolidesse ja jäävad sinna, põhjustades suure tõenäosusega nakatumist. Üheks takistuseks bioloogilise relva kasutamisel on asjaolu, et ideaalse osakeste suurusega aerosol jääb õhufaasi suhteliselt pikaks ajaks. Tuulesuuna muutuste korral võib see tagasi ründaja juurde sattuda ning sademed võivad selle atmosfäärist välja pesta.

## Looduslikud nakkusesiidajad

Kuigi suurem osa bioloogilistest relvadest on mõeldud töötama inhalatsiooni kaudu, võivad bioloogilised toimeained organismi siseneda ka füüsilise kontakti või allaneelamise teel. Lisaks võivad toimeaineid levitada looduslikud nakkusesiidajad (vectors – on olemas selline tähendus) kas kontaktidest nakatatud loomadega või saastatud toidu ja veega.

Mõned looduslikest nakkuseiirdajad on lüljalgsed, mis on kõvakeсталised selgrootud segmenteeritud jäsemetega ning sinna kuuluvad:



- ▶ putukad, kaasa arvatud kirbud, puugid ja moskiitod
- ▶ koorikloomad, sealhulgas krabid merivähid, krevetid ja nuivähid
- ▶ ämblikulaadsed, muuhulgas ämblikud
- ▶ hulkjalgsed, sealhulgas sajajalgsed

Paljud toimeained põhjustavad nende nakkuseiirdajate kaudu looduslike puhanguid. Tegelikult võib nende nakkuseiirdajate kasutamine biorelva levitamiseks terroristlikele organisatsioonidele ahvatlev olla. Sellist rünnakut oleks looduslikust puhangust raske eristada. Isegi ründe toimumist oleks raske tõestada.

## Kahurimürsud

Bioloogilised kahurimürsud või viskerelvad sisaldavad tüüpiliselt bioloogilise ründeainega täidetud reservuaari, mis ümbritseb siseteljel paiknevat lõhkelaengut, mida nimetatakse rebikuks (burster). Enamiku selliste mürskude ninal on sissekrüvitud ülestõstetav eend. Et mürsk välja tulistada, asendatakse see eend sütikuga; mõningatel juhtudel on sütik püsivalt kinnitatud mürsu ninale. Kui mürsk välja tulistatakse, siis sütik viiakse lahinguvalmidusse. Kui mürsk jõuab sihtpunkti, sütik süütab lõhkelaengu. Lõhkelaeng peab olema selline, et ei tekiks nii palju kuumust, et toimeaine hävineb. Rebik lõhkab mürsu kesta ning põhjustab bioloogilise ründeaine dispergeerimise aerosoolina. Minevikus kasutas USA mitmesugust laskemoona, millel oli samasugune ehitus ning kasutas sarnaseid mürsukehasid, rebikuid ja sütikuid kui bioloogilisel relval, kuid need sisaldasid erinevaid leeke või suitsu tekitavaid kemikaale.

Põhiprobleem bioloogilise relva kasutamisel kahurimürskudes on selle hoidmine mõjusana säilitamise, transpordi ja tulistamise ajal. Tegelikult võib kahurimürskudes leida vaid kuumus- ja põrutuskindlaid vahendeid nagu antraksisporiid.

## Maamiinid

Bioloogilise toimeainega maamiinide esinemine pole väga tõenäoline, sest nad jäävad kasutamiseni maa alla ning nad kasutavad suure lõhkevõimega rebikuid. Erandiks oleks spooride või toksiini levitamine. Matmistingimused muudaksid paljud bioloogilised agendid ebaefektiivseks. Mõned agendid, nagu antraksisporiidid võivad selle üle elada; sellisel juhul, samuti kui kahurimürsu puhulgi, miin sisaldaks antraksisporiididega täidetud reservuaari, mis ümbritseks lõhkelaengut. Maamiini tipus on rõhuplaad; kui rõhuplaadilt rõhk eemaldada, paneb sütik lõhkelaengu või vediku plahvatama. Vedik raputab miinikesta, eemaldab miini katva pinnase ning põhjustab bioloogilise ründeaine dispergeerumise aerosoolina. Arvatakse siiski, et USA, nii nagu ka ükski teine riik, pole kunagi paigaldanud bioloogilist maamiini. See on nii tõenäoliselt maamiinide kasutamise viisi tõttu – nad jäävad maa alla sageli pikaks ajaks, mis piirab elujõuliste organismide arvu.

## Raketid

Tüüpiline bioloogilise toimeainega raket tagantpoolt ettepoole vaadates koosneb vedrustatud juhtkiiludest, raketikütusest, bioloogilise toimeainega täidetud reservuaarist, mis ümbritseb teljesuunalist lõhke-laengut ja sütikust. Enamik süsteeme kasutab raketi väljasaatmiseks tulistustoru. Kui raket välja tulistatakse, süttib kütus ning paiskeb raketi torust välja. Juhtkiilud laienevad ja raket lendab sihtmärgi poole, kuna sütik muutub lahinguvalmiks lennu ajal. Kui raket jõuab sihtmärgini, sütik paneb vediku teljesuunalise lõhkeaine plahvatama. Vedik raputab raketi kesta ja põhjustab bioloogilise toimeaine pihustumise aerosooliks. Nagu suurtükimürs-

kude puhulgi, suudab ainult väga tugev toimeaine vastu pidada kohaletoimetamisele, plahvatusele ja hajutamisele; see tähendab, et spoore moodustav aine, nagu antraks või rõugeviirus või siis toksiin nagu T2 on tõenäoliselt raketis kasutatavad agendid.

Arvatakse, et Iraak on välja tulistanud vedikuteta raketid, nagu seda on Scud-mürsk, mis sisaldasid bioloogilist toimeainet. Sel juhul, kui ballistiline mürsk on lihtsalt aine kandja, on võimalik mitmete toimeainete kasutamine, antraks jääb neist siiski kõige tõenäolisemaks.

## Pommid

Bioloogilise ründeainega pommid sisaldavad agendiga täidetud reservuaari, mis ümbritseb sise- mist teljesuunalist laengut. Bioloogilisi pomme säilitatakse tavaliselt ilma sabakiiludeta ja detonaatorsütikuta. Need lisatakse vahetult enne pommide lennukisse laadimist. Pärast pommi viskamist, sütik on lahinguvalmis. Kui pomm jõuab sihtmärgini, sütik paneb teljesuunalise laengu või vediku plahvatama. Vedik raputab pommikes- ta ja põhjustab bioloogilise toimeaine disperseerumise aerosooliks. Jällegi, ainult kõige tugevamad bioloogilised toimeained (nagu antraksisporid ja mõned toksiinid) elavad plahvatuse üle.

## Bioloogiliste toimeainete disperseerimine

Kui bioloogiline relv plahvatab või bioloogiline agent vabaneb aerosoolina, moodustab see vedela või tahke aerosooli pilve. Seejärel sadeneb see pilv maapinnale, olles sõltuvuses aerosooli omadustest ja ilmas- tikutingimustest, maabudes lõpuks inimestel, taimedel, esemetel ja maapinnal. Maapinna saastumisel on lõplik eluiga, kuid see võib inimesi kahjustada sekundaarsel kontaktil, kui agent läheb uuesti atmosfääri inimeste või liiklusvahendite toimetel. Lõpuks, kui õhk, ultraviolettkiirgus või ilmastikutingimused on lagundanud agendi, saaste kaob. Faktorid, mis mõjutavad primaarse pilve põhjustatud ohtu, on seotud ilmastikutingimustega. Teguritena, mis vähendavad primaarse pilve põhjustatud ohtu, võib nimetada muutliku suunaga tuult, mis pilve liikumistee muutuse tõttu lahjendab seda; tuulekiiruste olemasolu üle 6 meetri sekundis (13,4 miili tunnis), mis põhjustavad lahjenemist turbulentsi tõttu; ebastabiilse õhu olemasolu, mis samuti põhjustab lahjenemist turbulentsi tõttu; temperatuure alla 0°C (32°F), mis tingivad organismide väiksemat elujõudu või isegi surma; temperatuure 40°C (104°F) ümbruses, mis denatureerivad valgud, tappes seega organismid, ja sademeid, mis pesevad aerosooli- osakesed atmosfäärist välja. Tegurid, mis suurendavad primaarse pilve poolt tekitatavat ohtu, on üldiselt vastu- pidised: kindel tuule suund, tuulekiirused alla 3 meetri sekundis (10 jalga sekundis); stabiilse õhu olemasolu (at- mosfäärne inversion); temperatuurid 20°C (68°F) ja 35°C (95°F) vahel; ja sademete puudumine. Sõjaliste ope- ratsioonide puhul, kus eesmärgiks on võimalikult suure kahju tekitamine, otsitakse neid viimaseid.

Tuule kiirus ja suund muutuvad peaaegu pidevalt ning neid mõjutab pinna igasugune ebakorrapära. On palju uuritud nende liikumiste ebakorrapärasuste mõju atmosfäärist tulevate saastele ning on oluline määratleda, mida on teada saadud selles töös keemiliste ja bioloogiliste toimeainete jaotuse kohta. Nagu peatükis 1 mainitud, F.Pasquill töötas välja atmosfääri turbulentsi kuus kategooriat, mis on aktsepteeritud saaste leviku jämedaks hin- damiseks atmosfääris; teised uurijad on sellele lisanud veel mõned kategooriad spetsialiseeritud uuringute tarvis. Neist Pasquilli kategooria A on kõige turbulentsem ja haruldaselt esinev. Ta kategooria F on kõige stabiilsem at- mosfääri olek, mille puhul on võimalik teha realistlikke ennustusi. Pikaajaliste meteoroloogiliste aruannete uuri- mine on näidanud, et enamikes kohtades olekud E, F või neist suurema stabiilsusega seisundid esinevad tõe- näoliselt kesköö paiku peaaegu pooltel öödel aastas. Mida pikem on öö, seda pikem on sellise stabiilsuse ast- mega period, kesktalvel võib see kesta isegi öhtul kella kuuest hommikul kuueni. Selle raamatu eesmärkide puhul on küllaldane sellise astme stabiilsus kahe tunni jooksul, sellise astme stabiilsus esineb enamikes kohtades eri- nevatel aegadel kõikidel aastaegadel. Siiski on enamik informatsiooni saasteainete hajumisest atmosfääris eri- neva atmosfäärse stabiilsuse tingimustes tuletatud uuringutest avatud maastikul; palju vähem on teada linnade

kohta ning erinevate kõrgusega alade kohta. Tavaline on ennustada tõenäost atmosfääri stabiilsust lähtudes tuule kiirusest, taeva olekust ja kellaajast. Linnade kohal võib turbulentsi suurendada pinna eriti suur ebatasasus ning soojus, mis tuleb tööstusest, kaubandusest ja eluhoonetest. On uuritud aerosoolide vabastamist eri kõrgustel ning see on palju keerulisem. Pilve ja selle osakesi liigutab tuul ja teised õhuhoovused, moodustades jämedalt ovaalikujuulise läbilõike, kusjuures horisontaalne levik on enamasti suurem kui vertikaalne.

Kui primaarse pilve osakesed on maha settinud, siis teguriteks, mis vähendavad pinna saastumisest tulenevat ohtu on: madal maapinna temperatuur, mis põhjustab teatud agentide madalat eluvõimelisust; suur tuulekiirus, mis lahjendab agenti; ebastabiilne õhk, mis lahjendab agenti; ja rohked sademed, mis lahjendavad ja pesevad agendi pinnasesse. Tegurid, mis suurendavad pinnasaastumisest tulenevat ohtu on seotud atmosfääri stabiilsusega. Tegurid, mis iseloomustavad stabiilset õhku, on madalad tuulekiirused ja temperatuuri inversioonid.

Persistentsus (püsivus) on termin, mida kasutatakse mingi pinna toksilise saaste kestuse kirjeldamiseks. Persistentesed agendid on üldiselt need, mille puhul saaste kestab ööpäeva või kauem. Ebapüsivateks loetakse neid agente, mille korral saaste hajub minutite või tundide jooksul. Keemiliste reaktsioonide hulka, mis mõjutavad agendi püsivust keskkonnas, kuuluvad fotokeemilised reaktsioonid päikesevalguse toimele (eriti UV kiirguse) ning teised reaktsioonid keskkonnas olevate ühenditega (sageli hapnikuga).

Bioloogilise relva toimeaine täpse eluea arvutamine väliskeskkonnas võib olla väga keeruline. Selline arvutus nõuab toimeaine parameetrite teadmist, pluss konkreetse koha kliimainformatsioon, sealhulgas temperatuur, niiskus, sademed, päikese kiirgusvoog. Vaatamata sellele saab teha oletusi niiskuse, sademete, päikese kiirgusvoog keskmiste väärtuste kohta ning tulemuseks saada ligikaudse eluea, mis näitab püsivust üldistatud kliimatingimustes.

## Ekspositsioon versus doos

Enamuse bioloogiliste toimeainete mõõtmiste hulka kuulub aerosooli mõõtmine õhus. Kui selles paigas oleks inimene, tähendaks see tema ekspositsiooni mõõtmist toimeainele. Inimese poolt tegelikult saadav toimeaine hulk võib olla ekspositsioonist väiksem. Nagu eelpool käsitleti, on inimese poolt saadava võimaliku toksilise aine doosi suurus proportsionaalne selle aine kontsentratsiooniga õhus ja ekspositsiooniaja pikkusega  $C_t$  (üldiselt). Kui kontsentratsioon  $C$  on väljendatud  $\text{mg}/\text{m}^3$  ja aeg minutites, väljendub  $C_t$   $\text{mg} \cdot \text{min}/\text{m}^3$ .  $C_t$  on ekspositsiooni intensiivsuse mõõt, mitte doosi mõõt, mis tegelikult kehasse tungib. Nakkuslike agentide korral kasutatakse terminit  $ID_{50}$  (nakkav doos 50) doosi tähistamiseks, mille korral tõenäosus nakatumisele omase vastusreaktsiooni tekkimiseks on 50%, mis antud käsitluses on kas haigusnähtude tekkimine või surm.

## Toksilisus, doos ja mõjud

Mingi aine  $LD_{50}$  (surmav doos 50) on doos, mis tapab 50% inimestest, kes on selle saanud. Seda võib defineerida ka doosina, mille puhul üksikindiviidi surma tõenäosus on 50% ning seda saab kasutada bioloogiliste või keemiliste toimeainete iseloomustamiseks.

$ID_{50}$  (nakkav doos 50) on bioloogilise toimeaine doos, mille korral tõenäosus määratletud spetsiifilise nakkusefekti tekkeks on 50%. Samamoodi näitab  $ID_5$  doosi, mille puhul ekspositsiooni järel on tõenäosus nakkuse tekkeks 5% ning  $ID_{95}$  on doos, mis tõenäoliselt mõjutab 95% eksponeeritud inimestest. Ei  $LD_{50}$  ega  $ID_{50}$  anna kogu informatsiooni, mis on vaja doosi ja mõju seose mõistmiseks. Nagu eelnevalt käsitleti, annab vajaliku lisainformatsiooni tõenäosuskõvera tõus (*probit line*), mida saab arvutada andmetest, mis on vajalikud  $ID_{50}$  korralikuks määramiseks. Kõvera järskus näitab tegurit, millega  $ID_{50}$  tuleb korrutada, et saada tõenäosus nakatumisreaktsiooni tekkimiseks aine toimele. Mida järsem on kõver, seda kiiremini kasvab doosi kasvades tõenäosus nakatumiseks. Kui tõenäosuskõvera tõus on 0,5, siis  $ID_{95}$  suhe  $ID_5$ -sse on väga suur, umbes  $3,8 \times 10^6$ ; tõusu 1 korral see suhe langeb  $1,95 \times 10^3$ ni; tõusu 5 korral on see suhe 4,55; ja tõusu 20 korral vaid 1,46. Enamiku bioloogiliste toimeainete korral on väga ebatõenäoline, et tõus võiks olla väga suur; tegelikult on



enamiku bioloogiliste agentide korral tõus alla 1.

Madalate tõenäosuskõverate tõusude juures, mis bioloogiliste toimeainete juures on tavalised, muutub mõju tõenäosus seoses doosiga väga aeglaselt, isegi  $LD_{50}$  läheduses nii, et sageli on väga raske  $LD_{50}$  täpselt määrata. Sel on mõju ühendite mürgisusele. Kahe aine väikesed  $ID_{50}$  erinevused põhjustavad suuri erinevusi toksilisuses juhul, kui mõlema kõvera tõusud on suured, kuid väga suured  $ID_{50}$  erinevused võivad praktilist tähtsust mitte omada juhul, kui mõlemad tõusud on väikesed. Vahepealsete tõusude alas on bioloogiliste agentide võrdlemisel oluline silmas pidada nii tõenäosuskõvera tõusu kui  $ID_{50}$  koos.

## Kokkuvõte

Kuigi paljud bioloogilised agendid alates bakteritest viiruste ja toksiinideni on võimelised haigusi ja kahjulikke mõjusid põhjustama, on nende kohtaletoimetamine ja laialipaaskamine väga rasked. Nõuded efektiivse bioloogilise agendi jaoks on järgmised: küllaldane tugevus ja vastupidavus, selleks, et üle elada plahvatus ja mehhaaniline dispersioon, eluvõimeliseks jäämine pärast sattumist keskkonda, identifitseerimise ja puhastamise raskus, vastupidavus ravimitele ja vaktsiinidele ning võime tekitada teovõime kadumist või surma suhteliselt madalate kontsentratsioonide juures.

# Biorelva detekteeri- mine. Kaitse ja saastusest puhastamine (dekontami- natsioon)

## Organismide eluvõimelisus

Bioloogilise organismi "eluvõimelisus" viitab asjaolule, et organism on võimeline paljunema või replitseeruma. Enamik baktereid uueneb raku jagunemise teel, millest üks rakk kordab tsellulaartuuma geneetilist materjali, moodustades uue täiesti identse rakutuuma koopia. Seejärel kaks tuuma eralduvad teineteisest; nende vahele moodustub rakumembraan ning tekib kaks rakku. Kuigi see protsess toimub paljudes astmetes, millest igaühel on erinev tundlikkus kiirguse või kemikaalide suhtes, on selle raamatu eesmärgiks küllaldane, kui öelda, et enamikes tingimustes jagunevad bakterid kaheks identseks rakuks. Riketsiataolised organismid on bakterid, kuid, sarnaselt viirustele, pole nad võimelised paljunema väljaspool peremees-rakku. Viiruste arv suureneb erinevate protsesside tulemusena: viiruse DNA või RNA keerdub lahti; peremees-rakust kättesaadavast materjalist moodustub struktuuri peegelpilt ja tulemusena tekib duplikaat. See protsess on tuntud mitte kui paljunemine, vaid pigem kui replikatsioon (kordistumine).

Tavaline küsimus, mis tekib, on: kas see on elus? Elu definitsioon on keeruline, kuid üks selle omadustest on võime teisiksempolari valmistada; kusjuures bakterid on võimelised paljunema isoleeritud organismidena (eeldades, et sellised tingimused nagu niiskus, temperatuur ja toit on soodsad), riketsiad ja viirused saavad paljunedada vaid permees-organismi rakus. Laual lamav viirus paljuneda ei suuda. Mõned bakterid on võimelised muutuma viiruseetaolisse olekusse; see nähtus on tuntud spooride moodustumisena. Spooride moodustumine esineb tavaliselt sii, kui tingimused ei ole paljunemiseks soodsad, nagu näiteks kõrge temperatuur või kuivus. Spoori sees olevat geneetilist materjali võib käsitleda "puhkavana" ja ootavana paremaid tingimusi, mis võib kesta aastaid. Kui tingimused paranevad, bakterisporid pöörduvad tagasi normaalolekusse ja hakkavad uuesti paljunedama. Nende bakterite hulka, mis moodustavad vastupidavaid spore, kuuluvad antraksibakterid.

Üldiselt vajab enamik elusorganisme vett, vastuvõetavat temperatuurivahemikku ja toitu; paljud, kuid mitte kõik vajavad hapnikku (need on tuntud aeroobidena). Selleks, et paljuneda, peavad need tingimused säiluma. Nende organismide puhul, mis põhjustavad haigusi, neid nimetatakse patogeenideks, kehtivad samad tingimused.

Võimalused paljunemise takistamiseks on niiskuse ja toidu eemaldamine või ebasobivad temperatuurid. Organismi surmamiseks võib samade tegurite eemaldamist kasutada. Organismide puhul, kes vajavad hapnikku, neid nimetatakse aeroobideks, hapniku eemaldamine võib takistada paljunemist ja/või põhjustada surma. Üldiselt, baktereid saab tappa, kuid viirusi võib vaid takistada paljunemast, kuigi teatud kemikaalid ja kiirgus võivad hävitada nende RNA või DNA. Ravimeid, mis kas tapavad või takistavad bakterite paljunemist, nimetatakse antibakteriaalideks. On olemas ka mõned kemikaalid, mis takistavad viiruste paljunemist; neid nimetatakse antiviraalideks. Need, mis tapavad seeni, on antifugaalid; parasiitide tapmiseks antiparasiitikumid; ja mükobakterite tapmiseks antimükobakteriaalid. Kõiki kemikaale, mis on välja töötatud kas patogeenide tapmiseks või muutmiseks, nimetatakse antibiootikumideks.

Aineid, mis on mõeldud patogeeni muutmiseks paljunematuks ja replitseerumatuks, nimetatakse biostaatideks. Kemikaal võib patogeeni mitte tappa, kuid kui ta ei suuda paljuneda, on haigestumise võimalus väiksem. Patogeenide tapmiseks mõeldud aineid nimetatakse desinfektantideks.

Profülaktikasse kuuluvad kõik meetodid, mis on mõeldud tervise kaitseks ja haiguse takistamiseks enne, kui see on tekkinud. Sinna kuulub hulk erinevaid meetodeid alates lihtsast kätepesemisest kuni kõige moodsamate ravimiteni. Profülaktikavahendite hulka kuulub kinnaste kandmine, näomaski kandmine, pindade ja joogivee desinfitseerimine, kaitse aerosoolsuspensioonide eest pigem pindade märgpuhastuse kui broomiga, nakkuslike patsientide eraldamine teistest, joogivee kokkupuute takistamine heitmetega, toidu õige temperatuuri hoidmine, immuniseerimine jne.

Immuniseerimine on antikehade moodustumise protsess kehas patogeensete organismide antigeenide piiratud ekspositsiooni korral. Kui patogeen siseneb kehasse, annab keha immuunse vastureaktsiooni nakkuse kõrvaldamiseks. Enamikul patogeenidel on spetsiifilised keemilised struktuurid, mida nimetatakse antigeenideks, mille juurde patogeenide hävitamiseks tõmmatakse spetsiifilised ründekemikaalid, antikehad. Need antikehad võivad pärast ekspositsiooni patogeenidele või piiratumat ekspositsiooni vaktsiinile jääda organismi mitmeks aastaks. Vaktsiin võib sisaldada patogeeni nõrgestatud vormi, mida nimetatakse siis nõrgestatud vaktsiiniks; või lihtsalt portsjoni antigeeni, millele teadaolevalt moodustavad antikehad, tavaliselt teatud hulka viiruse kesta või bakteri rakumembraani. Antigeeni olemasolu saab kasutada patogeeni kindlakstegemisel nakatumisel või vaktsiini efektiivsuse tõestuseks. Viimasel juhul viiakse läbi kvantitatiivne mõõtmine, mida nimetatakse titriks, et selles kindel olla, et haigusega võitlemiseks on olemas küllaldaselt antikehi.

## Laboratoorne analüüs

Haiguse tõestamine vajab enamasti laboratoorset analüüsi. Enamikku baktereid saab kasvatada kultuuri keskkonnas, mis varustab neid toitainetega. Kasvutingimused optimeeritakse tavaliselt kõrge niiskuse ja umbes 35°C (95°F) temperatuuriga. Kahjuks kulub bakterite paljunemiseks aega. Mõnede bakterite hulk kahekordistub minutitega, teiste puhul kulub tunde, mis sõltub tavaliselt temperatuurist, toidu ja niiskuse kättesaadav-

sest ning teiste uuritavale organismile kahjulike orgaaniliste ainete juuresolust. Laboris hoitakse mõõdukat temperatuuri, kasvukeskkonnast on saadav vesi ja toitained ning nõu kaetakse kaanega, et sinna ei pääseks konkureerivad organismid. Enamikel juhtudel on vähemalt 24 tundi vajalik selleks, et bakterite kolooniad oleksid palja silmaga nähtavad. Paljusid baktereid saab kasvatada üldises kultuurikeskkonnas nagu agari tassid, teised aga nõuavad spetsiifilist toitainete keskkonda. Näiteks Legionella bakterid, aine, mis põhjustab legionelloosi, mis on kopsupõletiku üks vorm, nõuab kultuuri, mis koosneb rauast, amiinohapetest ja söest (BCUE tassid). Sageli, kultuuri keskkonnast sõltuvalt, saab spetsiifilist tüve identifitseerida; näiteks, Escherichia coli ning teised coliformi bakterite kolooniad, kui neid kasvatada õiges keskkonnas, omandavad helkiva kullakarva värvuse, kuna teised bakterid on mustad või mõnda teist värvi. Pärast kasvamist kultuuritassis võib bakterite proovi panna klaasplaadile, värvida mingi värviga ja uurida mikroskoobi all. Üks tavalistest värvidest on grammivärv. Mõned bakterid värvuvad ja neid nimetatakse gram-positiivseteks. Teised värvi ei absorbeeri ja need on gram-negatiivsed. See informatsioon pluss üksiku bakteri välimus, olgu see kepikujuline, kerakujuline, viburiline, ahelatena, paardunud või konglomeraatides, võimaldavad bakteri tüübi identifitseerimist. Kuna patogeenide identifitseerimine kolooniate kasvu järgi toimub viivitusega, on selleks välja töötatud teisi meetodeid.

Enamik analüütilisi protseduure sisaldavad kolme etappi: ekstraktsiooni, puhastamist ja määramist. Kõige olulisem hiljutine parandus on puhastamisastmes tahke-vedelikkromatograafia kasutamine. Katseekstraktid puhastatakse enne instrumentaalanalüüsi tavaliselt õhukese kihi või vedelikkromatograafiaga, et eemaldada kaastraheerunud materjali, mis sageli segab lõppmääramist.

Polümeraasahelreaktsioon (PCR) võimaldab nii bakteriaalse kui viraalse DNA kordistamist. Otsitakse spetsiaalset unikaalset geenijärjestust, et tõestada bakteri või viiruse konkreetse tüve olemasolu. See meetod on palju kiirem, võimaldades identifitseerimise mõne tunni jooksul; kuid selle puuduseks on asjaolu, et see ei tee vahet elusorganismi ja surnu vahel. Seni, kuni DNA on olemas, seda kordistatakse. Seetõttu PCR analüüsiga kaasneb tavaliselt kasvutest.

Kaudne immunofluorestsents proov (IFA), mis on tuntud ka kui *flat bed* (lamekihi: õhukese kihi kromatograafia, on väga usaldusväärne meetod terve rea patogeenide identifitseerimiseks. Selle meetodi puhul patogeen absorbeerib spetsiifilise kemikaali; see kemikaal emiteerib teatud lainepikkuse juures valgust, kui valgus sellele langeb. Kiiratud valgust, mida nimetatakse fluorestsentsiks, saab määrata väga tundliku valgustundliku diodi abil ja võimendatakse elektroonilistes vooluahelates.

Õhukese kihi kromatograafia (TLC), mida nimetatakse ka *flat bed* kromatograafiaks, on üks kõige laialdase- malt kasutatav lahutamistehnika toksiinide analüüsil. See meetod kasutab erinevate ainete, sageli proteiinide, erinevat liikumist sobivate solventide toimele. Segu kemikaalid lahutatakse individuaalseteks ühenditeks, mis näitavad algmaterjali loomust. Materjal, mida uuritakse ehk analüüt, pannakse plasmassi õhukesele lehele (statio- narsele faasile), mis on töödeldud spetsiifiliste kemikaalidega. Rakendatakse solvent (liikuv faas) ja kui komponendid lahutatakse, ilmuvad plaadile triibud. Saadava pildi järgi saab analüüdi identifitseerida. Alates 1900. aastast on sellesse suhtunud kui valikulisse meetodisse toksiinide, eriti aflatoksiinide, identifitseerimiseks ja kvantitatiivseks määramiseks sisalduste puhul, mis on kuni 1 ng/g.

Vedelikkromatograafia (LC) on mitmes suhtes sarnane õhukese kihi kromatograafiaga, sealhulgas analüüdi pealepanemine, statsionaarne faas ja liikuv faas. Vedelikkromatograafia ja TLC täiendavad teineteist. On tavaline, et analüütik kasutab vedelikkromatograafia lahutamistingimuste parandamiseks eeltööna õhukese kihi kromatograafiat. Vedelikkromatograafia meetoditeks on: normaalfaasi vedelikkromatograafia (NPLC); pööratud faasi vedelikkromatograafia (RPLC) eelkolonni või kolonnieelne derivatiseerimine (BCD), see tähendab reaktsioonide läbiviimist kemikaalidega derivaatide tekkeks; RPLC, millele järgneb kolonnijärgne derivatiseerimine (PCD); ja elektrokeemiline detekteerimine RPLC.

Õhukese kihi kromatograafia ja LC meetodid, mida laboris kasutatakse toksiinide määramiseks, on aeganõud- vad ja töömahukad. Et lahendada lahutamise ja segavate mõjude probleeme, nõuavad nad sageli kromatograafi- lise tehnikate laialdast tundmist ja kogemusi. Biotehnoloogia edasammude tõttu on nüüd kaubanduslikult kätte- saadavad väga spetsiifilised antikehadepõhised testid, millega saab identifitseerida ja mõõta toksine toidus vähem kui kümne minutiga. Need testid põhinevad monokloonsete või polükloonsete antikehade afiinsusele tok-

siinidele. On kolm tüüpi immunokeemilisi meetodeid: radioimmuunproov (RIA), mis kasutab radioaktiivset trasserit; ensüümiga seotud immuunosorbentproov (ELISA), mis kasutab spetsiifilisi ensüüme; ja immunoafiinsuse kolonniiproov (ICA), mis kasutab samuti spetsiifilisi ensüüme, kuid kolonnis, mitte õhukesel kihil. Immunokeemiliste meetoditega on võimalik tõestada paljusid baktereid ja viirusi. Näiteks, ELISA-ga saab kiiresti identifitseerida inimese immuunsuspuudulikkuse viiruse (HIV).

Spetsiifiliste patogeentüvede identifitseerimiseks saab kasutada nakatunud inimese veres olevaid spetsiifilisi antikehi, nagu immunoglobuliin A (IgA), G (IgG) ja M (IgM). Üks põhjusi, miks omandatud immuunpuudulikkuse sündroom (AIDS) nii ohtlik on, on see, et immuunsuspuudulikkuse viirus (HIV), mis on põhjustav agent, ründab immuunsüsteemi ja takistab T-abistajarakudel funktsioneerimist normaalse immunovastusreaktsiooni andmisel. Kuid enamik patogeene põhjustab antikehade teket kehas. Mitmete antikehade kombineeritud detekteerimine parandab proovide (või testide) spetsiifilisust ning võimaldab täpsemat diagnoosi. Näiteks, Q palaviku korral on abiks IgM tasemed värskel nakkuse määramisel. Ägeda Q palaviku korral on patsientidel IgG antikehad hilisfaasis ning IgM antikehad nii varases kui hilises faasis. Suurenenud IgG ja IgA antikehade hulk varases faasis võib olla sageli Q palaviku endokardiidi tunnuseks. On veel palju muid haigusi, mida saab antikehade laboratoorse analüüsiga tõestada. Tegelikult on antikehade mõõtmine üks viis tõestamiseks, et vaktsiin on veel efektiivne.

On terve hulk testmeetodeid, mida saab kasutada patogeeni või toksiini spetsiifiliseks identifitseerimiseks. Kõige tavalisemalt kahtlustatakse haigust sümptomite põhjal hilisema kinnitusega laboratoorsete meetodite abil, et olla kindel määratud ravi õigsuses. Kõik need meetodid on kasutatavad bioloogilise relva toimeainena esineva looduslike patogeeni vormide tõestamiseks.

## Kindlus

Termin "kindlus" tähendab bioloogiliste toimeainete ohutut ja õiget käsitsemist ja hoidmist. See sisaldab endas mitmeid aspekte nagu töötajate immuniseerimine; isoleeritud rajatisi, alates hoonetest kuni bioohutute kindakarpideni ja sanktsioneeritud bioohu eest kaitstud töökabinettideni; dokumenteeritud informatsioon agendi tüübi, hulga ja omaduste kohta; järelvalveahel, kusjuures iga inimene, kel on juurdepääs agenile, on identifitseeritud ja registreeritud; töötajate rutiinne meditsiiniline uurimine ja hindamine; ja kõikide võimalike ekspositsioonide registreerimine. Üheks bioloogilise agendi kindluse kõige olulisemaks aspektiks on registreerimine, kaasa arvatud tööperioodil, immuniseerimise olukord ja töötajate võimalikud ekspositsioonid.

## Bioloogiliste ründaainete laboratoorne määramine

Bioloogiliste toimeainete määramine ja identifitseerimine on samasugune, kui järelvalve tavalise haiguse puhul. Ülalpool käsitletud meetodeid, ELISAt, RIAt, TLCd, gramvärvimist, mikroskoopilist uurimist ja kultuuri kasvatamist - saab kõiki kasutada bioloogilise agendi olemasolu tõestamiseks ja identifitseerimiseks. Ikkagi, nagu paljude tavaliste haiguste puhulgi, on esimeseks astmeks tavaliselt oletuste tegemine patogeeni kohta sümptomite järgi, kuna kõik laboratoorsed meetodid nõuavad mingit aega, võimalik umbes tunnist kuni 24 tunnini. Ravi tuleb kohe alustada, siis kui veel laboratoorseid tulemusi pole. Kui oletus oli vale, tuleb kasutada teistsugust raviskeemi, kuid enamik patogeene reageerivad laia toimespektriga antibiootikumidele nii, et see oleks alustuseks hea, kui just sümptomid ei näita kindlalt seisundit, mis sellisele ravile ei allu.

Paljudel biorelva kasutamise juhtudel pole kliiniline laboratoorium kättesaadav asjakohasel viisil või üldse mitte. Seetõttu tuleb kasutada välimeetodeid. Kui inimesel pole sõjatehnikale juurdepääsu, on välitingimustes sümptomid parim meetod bioloogilise agendi identifitseerimiseks.

## Bioloogiliste toimeainete määramine lahinguväljal

Kuna inimene ei näe, haista ega tunne bioloogiliste agentide maitset, kuidas siis nende vastu võidelda? Paljudel juhtudel pole ka kliiniline laboratoorium kohe käepärast. Et meditsiiniseisundit õigesti käsitleda, on vaja teada, millise bioloogilise toimeainega on tegemist. Lisaks, meditsiinilise personali kaitsmiseks tuleb patsient enne ravi alustamist saastumisest puhastada. USA ja teised sõjajõud on rakendanud kaitse nende nähtamatute tapjate vastu siis, kui Kõrbeoperatsiooni ja Iraagi vabaduse operatsiooni ajal bioloogilise relva oht muutus reaalseks. Alates 1990.aastate algusest on USA sõjavägi lahinguväljal rakendanud uued kaitseseadmed ja detekteerimissüsteemid ning suurema arvuliselt kiirgusmõõtjaid.

Meenutagem, et bioloogilised relvad hõlmavad mitmesuguseid bakteriaalsed toimeaineid, viirusi ja toksine. Kõikide bioloogiliste relvade ühte patta panek on peaaegu sama ohtlik, kui otseselt samastada bioloogilist ja keemilist relva; nad võivad olla väga erinevad. Olenevalt olukorrast on mõned nakkavad, mõned mitte. Kui kaitsetu inimene ekponeerub neile, on ta hädas. Kuid lahkudes saastatud alalt, ei levita nad just tingimata haigust, kui just toimeainet pole jäänud riietusele ja seda ei kanta füüsiliselt üle kellelegi teisele.

Tavaliselt kujutavad bioloogilised ründaained endast aerosoolset ohtu. Seda võib ette kujutada kui vana parfüümipihustit; vedelik pannakse pudelisse ja pihustatakse välja väikeste tilgakestena. Enamik aerosooli kaitsemeetodid kasutavad kemikaalaurudena.

Surmavatel bioloogilistel agentidel on tegelikult mõned looduslikud vaenlased. Enamik bioloogilisi agente ei kannata hästi ilmastikutingimusi. On terve rida asju, mis teevad nende eksistentsi keeruliseks. Ultraviolettkiirgus hävitab enamiku agente; kuivus takistab paljunemist. On olemas teatav loomulik immuunsus paljude nende haiguste vastu; samad tegurid, mis takistavad meid külmetumise tagajärjel haigestumast, abitavad meid ka mõningal määral bioloogilise rünnaku korral.

Enamikku bioloogilisi agente saab dispergeerida ühel või kahel viisil, mis on tuntud “joonallikana” ja “punktallikana”. Kujutage ennast ette sündmuskohal. Miile eemal sõidab vaenlase paat mööda jõge või piki rannikujoont, või sõidab rong rööbastel või pihustab aerosooli veoauto suure liiklusega teel. Vaenlane on määranud, et valitsev tuule suund kannab haigusega laaditud aerosooli teie suunas. Terrorist võib olla valinud vaiksema meetodi dispergeerimiseks nagu aerosooli levitamine lennukilt. Selline “joonallikas” võib katta suure geograafilise ala.

Veelgi tavalisemalt ettekujutatav stsenaarium, eriti terrorirünnaku puhul, on “punktallikas”. See toimib juhul, kui vaenlane on lasknud välja mürsu või muu lõhkekeha, mis plahvatamisel pihustab bioloogilise agendi ohvritele. Ala, mis sel juhul kaetakse on palju väiksem, kui “joonallika” puhul. Mõlemal viisil püüab vaenlane dispergeerida organisme või toksini atmosfääri, et sihtmärgid seda sisse hingaksid. Enamiku neist agentidest johtuv oht on õhukaudne; me saame nad, nagu tavalise külmetuse puhulgi, sissehingamise teel. Kuna need agendid on väga väikesed osakesed, läbivad nad meie ninakäigud, vältides kõiki tavalisi kaitsemehhanisme, mis meil on nende väljafiltreerimiseks, ning jõuavad sügavasse kopsupiirkonda, kus nad siis haigestumise põhjustavad.

Erinevalt keemilisest rünnakust, mis võib põhjustada peaaegu silmapilkse reaktsiooni, bioloogiline rünnak tõenäoliselt ei põhjusta reaktsiooni enne, kui inkubatsiooniperioodi lõppedes. Võib kuluda kuni 24 tundi enne, kui ohver hakkab ilmutama sageli ebamääraseid gripitaolisi nähte, mis seejärel progresseeruvad mistahes sümptomiteks, mida spetsiifiline agent tavaliselt põhjustab

Kuidas end kõige paremini kaitsta rünnaku vastu, mille toimumist te ei teagi? Parim kaitse tuleb immuniseerimise kombineerimisest füüsiliste kaitsevahenditega. On olemas hulk vaktsiine kaitseks ähvardavate bioloogiliste agentide vastu. Kui bioloogilise vastuabinõuna vaktsiinid pole kättesaadavad, on lahenduseks kiire detekteerimine, hoiatamine, teavitamine ja võimaluse korral maski kasutamine. Sõjalised kaitsemaskid ning isegi paljud N95 või N100 respiraatorid on efektiivsed kõikide tuntud bioloogiliste agentide vastu, kaasa arvatud need, mille vastu

pole olemas vaktsiine. Kaitseametnikud töötavad välja ning võtavad lahinguväljal ning isegi mõnes kõrge rahvastikutihedusega paigas kasutusele väiksemaid, kergemaid ja lihtsamaid bioloogilisi detektoreid .

Integreeritud Bioloogiline Detekteerimissüsteem (BIDS) on mobiilne labor, mis on võimeline detekteerima samaaegselt nelja erinevat agendi. See on monteeritud raske sõjaliiklusvahendi nagu HUMVEE taha ning mehitatud nelja inimesega. USA armee rivistab BIDS kompaniid lahti korpustena või teatritaaliste üksustena, et kogu maa- ja lennuväe arvis teha bioloogilist detekteerimist. BIDSid on punkt-detektorid, niisiis tuleb oodata pilve saabumist BIDSi juurde. Sama tüüpi süsteemi kasutatakse Ameerika mereväes laevade pardal ning seda nimetatakse Interim Bioloogiliste Agentide detektoriks (IBAD). Sarnased süsteemid on paigutatud ka suurtesse linnadesse. Pärast seda, kui süsteem on detekteerinud mitteloodusliku agendi, annab ta kõigepealt hoiatuse, siis määrab täpselt, mis agendiga on tegemist. Bioloogilise rünnaku korral pole inimesel otsekohe vaja teada, kas tegemist on antraksi või katkuga, vaid ainult seda, et tuleb kasutada kaitsevahendeid või evakueerida see koht.

USA kaitseametnikud on välja töötanud "portaalkilbi" seadme ning rakendanud seda Pärsia Lahe Sõjas 1998 operatsioonil "Kõrbetorm". Selle suurus on umbes • kontorilauast. See on täielikult modulariseeritud ja kinnine ning võimeline detekteerima kaheksat erinevat bioloogilist agendi. See on võrgusensor, mis kasutab sõltuvalt geograafiast kuni kaheksateist sensorit, mis on reastatud sadama või lennuvälja ümber. Sensorid on omavahel ühendatud ning võimaldavad agendi olemasolu paremat tõestamist. Kasutades selliseid reastussüsteeme, on vale positiivse hinnangu võimalus peaaegu null. Bahreinis tegid USA väed "monitooringus portaalkilbi" abil, mida seal kasutati, üle kolme tuhande katse, kusjuures vale positiivne signaal esines alla poole protsendi juhtudest.

## Saastest puhastamine (dekontaminatsioon, mürkärastamine)

USA kaitseametnikud töötavad välja ka kasutaja – ja keskkonnasõbralikumaid materjale saastest puhastamiseks. Seadmed ja materjalid, mida kasutatakse saastest puhastamiseks on sarnased või samad nagu keemiliste ründaainete puhul. Need materjalid on väga korrodeerivad, eriti tundliku elektroonse aparatuuri ja inimese suhtes. Supertrooline pleegiti (STB) on leeliselisuse mõttes inimnahal peaaegu sama ohtlik kui agendid ise. Ametnikud hindavad ka seda, mida tegelikult tuleks puhastada pärast bioloogilist rünnakut. Mingis sõjalises operatsioonis, kus on suure liikuvusega manöövrid, minnakse saastest hoidumiseks lihtsalt ümber selle või nõõbitakse riided kinni ja minnakse läbi selle. Kuid kui te ei saa liikuda, sest olete lennujaamas või linnas, siis peavad ametnikud teadma, millised võtmealad vajavad saastest puhastamist.

Peaaegu kõik bioloogilised agendid pole tahkel või vedelal kujul nähtavad; ohuks on väikeste aerosooliosakeste sissehingamine nii, et detekteerimine üksikisiku järgi on ülimalt ebatõenäoline. Kui vedelik või tahke aine on nähtav, olgu see bioloogiline agent või kemikaal, siis inimeste jaoks, kel pole sõjalistele saastepuhastussüsteemidele juurdepääsu, on parimad meetodid üsna lihtsad. Seebi ja vee kasutamine käte ja muude kehahaosade pesemiseks, mis agendiga on kokku puutunud, on kiireim ja parim viis. Desinfitseerijad ja oksüdeerijad nagu isopropüülalkohol (hõõrumine), majapidamispleegitaja, kaubanduslikud pihustamisvedelikud, nagu lüsool, majapidamises kasutatav vesinikperoksiid jms. võivad olla suureks abiks esemete pindade puhastamisel, kuid mitte naha puhul võimaluse tõttu lisakahju tekitamiseks.

Kui inimene arvab, et ta on olnud eksponeeritud bioloogilisele agendile, peab ta sellest piirkonnast viivitamatult lahkuma võimaluse korral teisi saastamata, eemaldama riided seestpoolt väljapoole tegutsedes, et takistada lisaekspositsiooni, kui riietel on vedelat või tahket agendi, pesema seebi ja veega ning otsima meditsiinialast nõu. Meditsiiniliselt harimatu inimene ei tohi sisse võtta ravimeid, sest see võib muuta olukorra halvemaks või takistada arstil panemast õiget diagnoosi. Kui nahk kipitab või sügeleb, tuleb otsemaid pesta, kuid ei tohi hõõruda ega kraapida. Ärge püüdke neutraliseerida vedelikku või tahket ainet nahal; kas peske see maha võikasukatage adsorbentkangast või lehte, nahka seejuures hõõrumata ja kraapimata.







II

**Keemilised  
materjalid  
ning nende  
valmistamiseks,  
hoidmiseks ja  
kasutamiseks  
vajalikud  
seadmed**

Andres Talvari

Tallinn 2010



## Sisukord

<b>1.</b>	Keemiarelva mõiste ja ajalugu	4
<b>2.</b>	Keemiarelva liigid ja toime	9
<b>2.1</b>	Närvimürgid	9
<b>2.2</b>	Veremürgid	10
<b>2.3</b>	Lämmatavad mürgid	12
<b>2.4</b>	Villistavad mürgid	12
<b>2.5</b>	Pisargaas	14
<b>2.6</b>	Pipragaas	14
<b>3.</b>	Kaitsevahendid. Tuvastamine ja saaste ärastu	15
<b>3.1</b>	Päästjate kaitsevahendid	15
<b>3.2</b>	Erikeemia meeskonna kaitsevahendid	15
<b>3.3</b>	Lühiülevaade kemikaalide sisenemisviisidest organsmi	16
<b>3.4</b>	Tuvastamine	16
<b>3.5</b>	Saaste ärastus	18
<b>4.</b>	Lõhkeained	21
<b>4.1</b>	Lõhketööde ajaloost	21
<b>4.2</b>	Üldmõisted	24
<b>4.3</b>	Liitlõhkeained	26
<b>4.4</b>	Plahvatus	27
<b>4.5</b>	Keemilised lõhkeained	30
<b>4.6</b>	Lõhkeainete omadused ja klassifikatsioon	31
<b>4.7</b>	Tuletõrjesettetulevad keemilised lõhkeained	34
<b>4.8</b>	Keemilised lõhkeained ja USDOT-i määrused	34
<b>4.9</b>	Püssirohi	36
<b>4.10</b>	Nitroglütseriin	36
<b>4.11</b>	Dünamiit	37
<b>4.12</b>	Nitrotselluloos	39
<b>4.13</b>	Trinitrotolueen	40
<b>4.14</b>	Tsükloniit	41
<b>4.15</b>	Tetrüül	42
<b>4.16</b>	PETN	43
<b>4.17</b>	Pikriinhape	43
<b>4.18</b>	Primaarsed lõhkeained	44

# 1. Keemiarelva mõiste ja ajalugu

**Keemiarelv** on iga **keemiline aine** (ründemürk), mille mürgiseid omadusi kavatsetakse kasutada selleks, et tappa, tõsiselt vigastada või muuta teovõimetuks inimesi (või loomi).

**Ründemürk** on keemiline aine vastase elavjõu hävitamiseks, elavjõu võitlusvõimetuks muutmiseks, maa-ala taimestiku ja/või loomastiku hävitamiseks.

Kandurid on lennukid, ballistilised raketid, tiibraketid ja suurtükiväe lahingmoon.

## 1.1 Keemiline lahingumoon iidsetel aegadel

- ▶ Sparta ja Ateena vahelises sõjas (Peloponnesuse sõda) kasutasid spartalased linnade Delium (428 a e Kr) ja Plataea (424 a eKr) piiramisel ärritavate omadustega suitsu. Kasutades tuult toksilise pilve edasikandmiseks põletasid nad piiratud linnade müüride ees tumeda männi, charcoal ja väävlit segu.
- ▶ Ambracia linna piiramisel (187 a e Kr), Hispaanias kasutas Rooma kindral Quintus Sertorius barbarite vastu sarnast toksiliste mõjudega segu.
- ▶ 3. sajandil p Kr tegi oma esimese etteaste nn "Kreeka tuli". See oli ärritavat ainet eraldav segu. Segu koostis oli Bütsantsi linna kaitsjate saladus. Türklased said salakavalust kasutades kreeklastelt teada selle aine koostise ning see tegi neile võimalikuks vallutada Kreeka impeeriumi. Seda relva hinnati kõrgelt läbi kogu keskaja, kuni püssirohu leiutamiseni.
- ▶ Sellele järgnes arseeni sisaldava põleva materjali kasutamine, mis samuti eraldas mürgist suitsu.
- ▶ 15. saj. alguses hakati pommides kasutama segu, mis sisaldas arseeni ja väävlit ning millel olid ärritavad omadused. Analooigne segu, mida kasutati käsigranaatides on ära märgitud ka Berliini arsenalis raamatus (1457. a.).
- ▶ Alates renessansi ajast on militaaralastes kirjutistes ära toodud mitmeid erinevaid keemiarelva segusid, mis sisaldasid arseeni, elavhõbedat ja mürgiste juurviljade seemneid. Nende leiutamistega on olnud seotud paljud prominentsed isikud – mainimist väärivad näiteks Leonardo Da Vinci.
- ▶ 30-aastasest sõjast kasutati märkimisväärset määral ärritavate ja mürgiste gaaside granaate, pomme ja ka "haisupomme".
- ▶ 19. sajandil toimus enamus lahinguid tasastel ja tühjadel lahinguväljadel. Seega jäi keemiarelv tahaplaanile. Keemiarelva kasutamise vähenemisele aitas palju kaasa ka kiire areng tulirelvade alal, mis tegi kahurist kõige tõhusama ja efektiivseima saadaoleva relva.
- ▶ Krimmi sõja, Prantsuse-Preisi sõja ja Ameerika kodusõja ajal keelati võimude poolt ära keemiarelva kasutamine. See võis olla põhjustatud sellest, et keemiarelva kasutamist peeti ebaausaks ja reeturlikuks, tõenäolisemalt aga sellepärast, et keemiarelva tootmiseks oli vaja kalleid materjale, mida oli suurtes kogustes raske saada ja kasutada. Keemiatööstuse areng viimase 100 aasta jooksul on teinud võimalikuks agressiivsete ainete tootmise suurtes kogustes, seega tehes võimalikuks ka nende kasutamise laiahaardelisemates operatsioonides.

## 1.2. Esimene maailmasõda (1914–1918)

Vastupidiselt üldiselt levinud arvamusele ei olnud Saksamaa teinud ettevalmistusi, et kasutada sõja käigus mürgiseid gaase. Nende edu sõltus pigem palju aastaid hoolega ette planeeritud ja ettevalmistatud väk-rünnakust. Kuid peale Marne'i lahingus lüüa saamist, mil liitlaste väed varjusid kaevikutesse, mis asusid väljas-pool tavaliste rakettide laskeaugust, hakkas Saksamaa sõjaline juhtkond otsima uusi meetodeid, mis teeksid kaevikutes olemise võimatuks.

- ▶ Berliini Ülikooli professor Nernsti juhendamisel kasutati 105 mm Howitzeri mürsu paiskavas laengus diani-siidkloorsulfaati. Proovilasud rindejoonele Leusis 1914. a. ei saavutanud aga rahuldavaid tulemusi.
- ▶ Samal ajal teatas ajalehe artikkel, mille kirjutas Turpin, et peale prantslaste pommirünnakut 75 mm mürs-kudega olid toimunud mürgitusjuhtumid. Tegu oli siiski liialdusega ning tegelikult põhjustas mürgitust meli-niidi plahvatamisel vabanev süsinikmonooksiid, mitte aga salapärase aine, mida hakati kutsuma “turpiniidiks”. Saksamaa sõjaline juhtkond aga uskus, et Prantsuse väed olid kasutanud ärritavaid kemikaale ning kiirendasid suurte, 150 mm mürskude tootmist, mida kasutati olulisi tulemusi saavutamata 1915. aasta veebruaris ja märtsis. Samaaegselt arendasid prantslased suurekaliibriliste mürskude tootmist, kuid edu-tult. Selliste relvade kasutamine ei rikkunud tehniliselt Haagi lepingut, milles polnud ära mainitud ärritava-toimelisi mürske.
- ▶ Lõpuks 22. aprillil 1915. aastal kell 17.00, pihustasid järjekindlalt tõhusat gaasikasutamiskiisi otsivad sakslased 30 000 pudelit puhast kloorigaasi pikki kuue kilomeetrist rindejoont Langemarkis, Ypres regioo-nis. Selle tulemusena tekkinud pilv, mida kandsid soosivad tuuled, tegi lahinguvõimetuks 15 000 Prantsuse ja Briti jalaväelast. Rünnaku tulemusena surnud ohvrite arv ulatus üle 5000. See sündmus märkis kaas-aegse keemiarelva ajastu algust.
- ▶ Varsti peale seda lisati kloorile fosgeeni, tehes seega gaas veelgi surmavamaks. See algatas gaasikasutu-ses kiire arengu. Peaaegu koheselt alustasid ka liitlasväed oma keemiarelva arsenalid ning peagi oli Esimene maailmasõda oma olemuselt muutunud. Kuid respiraatorite kiire täienemine hoidis siiski ära ohvrite arvu märkimisväärse suurenemise.
- ▶ Sakslased hakkasid otsima tõhusamat ainet, mida kasutada kaitstud jalaväe vastu. Nad pöördusid ipriidi e. sinepigaasi poole, mille Despretz oli avastanud 1822 aastal ning mille massitoodangu tehnika oli välja arendanud Victor Meyer 1886. aastal. Märkimisväärselt mürgised ja põletavad omadused tegid sellest aimest kardetud relva. Tootmist alustati 1916. aastal, kuid kulus peaaegu aasta, et toodangukoguse tase jõuaks strateegilise 300 tonnini kuus. Seda ainet hakati kutsuma nimega “LOST”. Nimi on tuletatud kahe professori, Lommeli ja Steinkopfi, kes olid Saksamaa sõjalise juhtkonna käsul läbi viinud uurimistöö, ni-mede esitähedest. Aine iseloomuliku lõhna tõttu hakkasid inglased seda sinepigaasiks kutsuma. Prantsla-sed nimetasid seda ipriidiks, kuna esimest korda, 12. juunil 1917. aastal, kasutati seda Ypres linna lähistel.
- ▶ Peagi kasutasid mõlemad osapooled seda uut ainet kuigi jätkati laialdast mürgiste ja ärritavate kemikaalide uurimist ning katsetamist, ei leitud sinepigaasist efektiivsemat ainet.
- ▶ Peale uute keemiliste ainete ilmumist olid rünnakute järgsete ohvrite arvud väga suured, kuna ettevalmistu-si enda kaitsmiseks seda tüüpi rünnaku eest ei olnud tehtud. Sellel põhjusel olid esimestel sakslaste poolt korraldatud kloori ja kloori-fosgeeni rünnakutel 1915. ja 1916. aastal, surmaga lõppenud ohvrite arv 33-65%.
- ▶ Peale gaasimaski levimist langes ohvrite arv 2-5%-ni.
- ▶ Briti haavatud sõjaveteranide andmete analüüs näitab, et ainult 3% hukkus gaasirünnaku tagajärjel. Hiljem selgus, et gaasist kannatada saanud sõduril oli viis kuni kuus korda tõenäolisem terveneda kui neil, kes olid muust relvast haavata saanud. Tuginedes sellele asitõendile võib tõstatada hüpoteesi, et gaasirelv sellisena nagu seda kasutati aastatel 1914-1918 oli inimlikum ja vähem surmavam kui mõni teine relv.
- ▶ Esimese Maailmasõja jooksul kasutati 113 000 t erinevaid ründemürke, ohvrite arv ca 1 300 000, seal-hulgas ligi 100 000 surnutena.

## 1.3. Kahe maailmasõja vaheline periood (1919–1945)

Peale Esimese maailmasõja lõppu, 1918. aastal, tunnistasid kõik osapooled, et olid rikkunud 1899. aasta Haagi konventsiooni. Tuli langetada otsus, mis lubaks edaspidi kasutada ja täiendada keemiarelva. Esimese samm oli sõja kaotanud riigi võimudel ära keelata igasugune keemiarelva kasutamine. See kinnitati Versailles rahulepinguga, millele kirjutati alla 28. juunil 1919. aastal. Nüüd tuli võidukatel liitlastel otsustada, kuidas nad omavahel keemiarelva kasutamist reguleerivad.



- ▶ Esimene katse saavutada kokkulepe, 1921-1922. aastal, lükati tagasi Prantsusmaa poolt ning peale seda usaldati see asi lahendamiseks Rahvasteliigale. 1925. aastal, Genfi "Rahvusvahelise relva, laskemoona ja sõjatehnika kaubanduse vaatluse" konverentsil tegid USA delegaadid ettepaneku keelustada keemiarelva kasutamine sõjalisel eesmärgil. Kuid paljud väiksemate riikide esindajad mainisid ära raskuse teha vahet keemiarelva kasutamisel sõjalisel või mõnel muul eesmärgil. Pealegi nähti taoliste kemikaalide rahvusvahelise kaubanduse keelustamises suurt kahju maadele, kus vastav keemiatööstus oli puudulik. Sama probleem kehtib ka tänapäeva rahvusvahelises kommertskeskkonnas ning tekitab raskusi keemiarelva konventsioonile.
- ▶ Kuigi koostati relvakaubandust hõlmav leping, ei sisaldanud see midagi ründemürkide kohta. 17. juunil 1925. aastal lisati lepingule protokoll, mis mõistis hukka kõikide agressiivsete kemikaalide kasutamise igasuguses relvastatud konfliktis. Aastaks 1926 oli selle konventsiooni ratifitseerinud 39 riiki, nende hulgas Saksamaa ja Itaalia, kuid paljud riigid ei liitunud sellega. Viimaste hulgas olid ka USA, NSVL, Argentiina, Brasiilia, Tšehhoslovakkia ja Jaapan. Mõned riigid kirjutasid konventsioonile küll alla, kuid tingimusel, et neil on õigus kasutada keemiarelva, kui seda kasutatakse nende vastu või isegi konventsioonile mitteallkirjutanud riikide otsesel ründamisel. Sellest tulenevalt jäi konventsiooni tõhusus puudulikuks (algusest peale).
- ▶ Kahe maailmasõja vahelisel perioodil kasutati keemiarelva alljärgnevatel juhtudel:
  - Venemaal Turkestanis (kinnitamata andmetel) 1920ndatel aastatel;
  - Inglismaa Afganistani/Pakistani piiril (kinnitamata andmetel) 1920ndatel aastatel;
  - Hispaania-Maroko sõjas 1925. aastal;
  - Itaalia-Abessiinia kampaania ajal aastail 1935-1936;
  - Jaapanis ja Hiinas umbes 1000 korral ajavahemikus 1935-1942.
- ▶ Sellel perioodil kasvasid mõningatel maadel keemiarelvavarud ja leiutati palju uusi ründemürke. Neist märkimisväärseimad olid närvigaasid, mida arendati nii Inglismaal kui ka Prantsusmaal.
- ▶ Teise maailmasõja lõpuks oli Saksamaa tootnud tervelt 78 000 tonni mürkgaase. Lisaks sai ta seda veel suurtes kogustes oma liitlastelt ja teistelt vallutatud Euroopa maadelt (Itaaliast, Prantsusmaalt, Kreekast, Poolast, Ungarist ja Jugoslaaviast). See andis Saksamaale sellel alal suure ülekaalu, kuid samas on arusaamatu, miks seda ei kasutatud. Kõige tõenäolisem on, et nad kartsid Roosevelti ja Churchilli ähvardusi keemiarelva kasutamise korral Saksa rahvale kätte maksta.

## 1.4. Alates 1945.aastast kuni tänapäevani

See, et keemiarelva Teises maailmasõjas ei kasutatud, ei tähenda, et seda peeti iganenuks või ebatõhusaks. Peale seda, kui võidukad liitlased olid avastanud, et Saksamaa oli suure saladuskatte all palju uusi gaase välja töötanud, hakkas kiiresti asja uurima ja arendama enamuse industrialiseeritud riike. Viimase 60 aasta jooksul on aset leidnud suurejooneline keemiarelva tootmine ning mõned maad on endale üles ehitanud tohutud arsenalid.

Kõige märkimisväärsemad täiendused keemiarelva arsenalis sellel ajaperioodil:



- ▶ närvimürgid (nt. GA, GB, GF, VR, VW);
- ▶ hallutsinatsioone ja psüühilist halvatust põhjustavad ained (nt BŽ ja SD);
- ▶ tugevad looduslikud mürkained (nt Saxitoxin ja Ricin)
- ▶ mittemürgised halvavad gaasid
- ▶ täiendatud pihustamise vahendid.

Sellel perioodil on keemiarelva kasutamises ka paljusid riike süüdistatud:

Hiina süüdistas USA-d keemiarelva kasutamises Korea sõjas (1951-1952).

Egiptust süüdistasid keemiarelva kasutamises Jeemenis (1963-1967).

USA-d süüdistati CS gaasi ja dioksiini kasutamises Põhja-Vietnami jalaväe vastu. Hiljem leiti, et dioksiin oli kõrvalaine, mida leidis väga vähesel määral umbrohutõrje- ja taimekaitsevahendites, mida USA armee tohutus kogustes kasutas.

Nõukogude ja Afganistani jalavägesid süüdistati keemiarelva kasutamises modžaheedide vastu.

Süüdistusi on esitatud kasutamise kohta Iraani ja Iraagi vahelises konfliktis.

Ajavahemikul 1981-1984 on ÜRO ekspertide poolt kinnitatud üle 50 juhtumi, mil kasutati keemiarelva. Iraagis tapeti tuhandeid inimesi, kui riik kasutas 1987. ja 1988.aastal tabuuni ja sinepigaasi omaenda rahva vastu. Kui mitte arvestada võimalikke deklareerimata ja peidetud arsenaale, siis on Iraagi keemiarelvaarsenal maailmas suuruselt kolmas.

Külma sõja perioodil arendati keemiarelva arsenaale kõikide riikide poolt. 1960ndatel aastatel sünteesiti VX, 70ndatel binaarsed ründerügid.

## 1.5. Tulevik



- ▶ Peale 20 aastat vahelduva eduga toimunud läbirääkimisi kirjutasid 13.-14. jaanuaril 1993.aastal 127 riigi esindajad Pariisis alla "Keemiarelva arendamise, tootmise, ladustamise, kasutamise ja likvideerimise konventsioonile". 1995. aasta 1. juuniks oli nende riikide arv kasvanud 159-ni ja 46 neist riikidest on selle konventsiooni ka ratifitseerinud.
- ▶ Isegi kui see konventsioon jõustub ning kõikide maade arsenalist kõrvaldatakse keemiarelv (kaheldav väljavaade), on võimalus, et seda kasutavad edasi terroristid ning teised kurjategijad.
- ▶ Aastakümneid toodetud keemiarelva jääkidest tuleb lahti saada, sest see põhjustab endiselt suurt alalist ohtu looduskeskkonnale.
- ▶ Lähitulevikus ei kao keemiarelv kuhugi. See on kui Damoklese mõök, mis kõlgub tsiviliseeritud ühiskonna kohal. Me peame olema valmis sellele ohule vastu astuma ja end selle eest võimalikult hästi kaitsma.

Kui riigid veel kokkulepetest kinni peavad, siis mitmesugused terroristlikud grupeeringud ja üksikuritajad vahendeid ei vali. Põhjused on lihtsad: keemilisi ühendeid on suhteliselt hõlbus valmistada, nende lähteained on küllalt kättesaadavad ja odavad. Pealegi levib sel moel saadud "relv" nii õhu, vee kui ka maapinna kaudu ja sellel on tugev psühholoogiline mõju.

### Keemiarelv Venemaal

1993a kirjutas Venemaa alla keemiarelva keelustamise konventsioonile, mille ta 1997a ratsifitseeris. Sellega seoses võeti vastu keemiarelva hävitamise programm. Esiialgu oli kavas programm lõpetada 2009a, kuid käesoleval ajal on seda tähtaega pikendatud aastani 2012. Praegu on Venemaal kaheksa keemiarelva hoidlat, milliste juurde on planeeritud ka keemiarelva hävitav ettevõte.

## 1.6. Ründemürkide liigitus

Toime kestvuse järgi jaotuvad ründemürgid:

- ▶ püsivateks, toime üle 24 tunni;
- ▶ ebapüsivateks, toime alla 24 tunni.

Püsivus sõltub ilmastikutingimustest (õhutemperatuur, rõhk, tuule kiirus, niiskus, inversioon, isothermia, konvektiivsed õhuvoolud jms).

Sõjalise kasutatavuse põhjal:

- ▶ tapvad;
- ▶ ajutisi kahjustusi põhjustavad.

Ründemürkide iseloomustavad kontsentratsioonid:

LC<sub>50</sub> - kontsentratsioon (mg/m<sup>3</sup> üheminutilise toime korral), millega kaasneb isikkoosseisu 50% suremus.  
LD<sub>50</sub> - doos (mg kehakaalu kg kohta minutilise toime korral), mis põhjustab isikkoosseisu 50% suremuse.

- Ründemürgid jaotuvad:
- ▶ närvimürgid
  - ▶ sööbemürgid
  - ▶ lämmatavad mürgid
  - ▶ üldmürgid
  - ▶ psühhotroopsed mürgid
  - ▶ ärritavad mürgid



# Z. Keemiarelvade liigid ja toime

## 2.1 Närvimürgid

Närvimürgid on väga tõhusad, sest nad suudavad siseneda peaaegu igast kohast ja põhjustavad liikumatust ja surma. Sariin (GB), somaan (GD), tsükloksariin (GF), tabuun (GA), (G-gaasid) ja VX (V-gaas) on kõige tuntumad närvimürgid. G (German) gaasid (GA, GB, ja GD) on lenduvad ja aurustuvad veidi kiiremini kui vesi. See muudab need sissehingamise korral väga ohtlikuks. Terroristid võivad kasutada kuumuse allikaid koos nende kemikaalidega, et suurendada nende lenduvust, suurendades sellega ka ohtu. Mõlemad ained tabuun (GA) ja sariin (GB) on kergesti sünteesitavad. Somaan ei ole kergesti formuleeritav ja on kõige mürgisem G gaasidest. Tugev kovalentne side formeerub atsetüüli ja somaani vahel (vastupidiselt ioonilisele sidemele). Sidet loetakse „igaveseks” (tugevalt moodustunud) ja on kaks minutit pärast paljastust pöördumatu.

VX-gaasid ei ole nii lenduvad kui G-gaasid, kuid aurustuvad sama kiiresti kui mootoriõlid. See teeb VX ohtlikuks põhiliselt nahka imendumisel. Et VX muutuks respiratoorseks mürgiks peaks teda mehhaaniliselt aerosooliks tegema või kuumutama seni kuni ta muutub lenduvamaks. Tänu selle mürgi viskoossusele püsib efekt kauem ja põhjustab vigastusi ja surma päevi hiljem.

Kõikidel närvimürkidel on omapärane lõhn. G-gaasidell on puuvilja lõhn, VX on aga väävililõhnaga (tabel 1).

Tabel 1. Ülevaade närvimürkidest

	<b>Sariin (GB)</b>	<b>Somaan (GD)</b>	<b>Tabuun (GA)</b>
<b>Lõhn</b>	puuviljalõhn	Kampri lõhn	Nõrk puuviljalõhn
<b>Sisenemiskiir</b>	Põhiliselt sissehingamise teel, võib ka naha kaudu imbuda.	Põhiliselt sissehingamise teel, võib ka naha kaudu imbuda.	Põhiliselt sissehingamise teel, võib ka naha kaudu imbuda
<b>Keemistemperatuur</b>	297°F	225°F	247,5 °C
<b>Tihedus õhu suhtes (õhk=1)</b>	4,86	6,33	9,2

Kõige lendavam närvimürkide grupist on **sariin**, mis võib aurustuda sarnaselt veega. Need relvad võivad siseneda organismi erinevaid teid mööda, kuid sissehingamise korral on efekt kõige kiirem ning seetõttu on osadele närvirelvadele lisatud paksendajat, kindlustamaks mürkide jäämist pikemaks perioodiks mingile territooriumile ja ülekandumist ohvrile. Kui mürk on juba territooriumile kandunud, imendub see läbi naha või toidu kaudu.

Sariini (fosfororgaaniline närvimürk) tappev kontsentratsioon LC<sub>50</sub> on aurude sissehingamisel 35mg/m<sup>3</sup> minutis, läbi naha 1700mg/m<sup>3</sup> minutis, aurudena läbi naha 10 000mg/m<sup>3</sup> minutis.

Sariin kuulub massihävitusrelvade hulka (1991). 1995a. kasutati terrorirünnakus Tokyo metros, kus hukkus 12, kannatanuid 50 ja ligi 1000 said kergemaid kahjustusi. Haiglasse pöördus üle 5000 inimese.

**Somaan** (O-pinakolüül metüülfosfonofluoridaat) on erakordselt mürgine, lenduv, sööbiv, kollasest kuni pruuni värvusega, kamprilõhnaline vedelik.  $LCt_{50}$  on  $70 \text{ mg} \cdot \text{min}/\text{m}^3$ . Ta on püsivam ja mürgisem kui sariin ja tabuun, ent nõrgem tsüklosariinist.

**Tabuun** ( $C_5H_{11}N_2O_2P$ ) on pruunikas nõrga puuviljalõhnaga vedelik.  $LCt_{50}$  on  $400 \text{ mg} \cdot \text{min}/\text{m}^3$ .

**Tsüklosariin** ( $C_7H_{14}FO_2P$ ) on erakordselt mürgine aine, mida kasutatakse keemiarelvana. Ta kuulub G-seeria närvimürkide (gaaside) rühma. Ta on värvitu vedelik keemistemperatuuriga  $239^\circ \text{C}$ .  $LCt_{50} = 50 \text{ mg} \cdot \text{min}/\text{m}^3$

Närvimürgid kahjustavad tavaliselt kesknärvisüsteemi. Sümptomid on liigne süljeeritus, urineerimine, kõhulahtisus, liigne limaeritus, lihaskrambid ja krambid (tabel 2).

Tabel 2. Närvimürkide sümptomid

<b>Nina</b>	limavoolavus
<b>Silmad</b>	ahenenud pupillid (hägune nägemine, valu)
<b>Hingamisteed</b>	liigeritis, bronhispasmid (köha)
<b>Seedeelundid</b>	krambid, kõhulahtisus, oksendamine
<b>Kehaline</b>	nõrkus, lõtvus, krambid
<b>Kesknärvisüsteem</b>	ängistus, rahutus, kooma, hingamisstress
<b>Teised</b>	süljeeritus, higistamine

Auru vallandamisest alates võivad sümptomid muutuda kergetest, kuni tõsiseni sekundite või minutitega. Esi-tähtede lühend DUMBELS (kõhulahtisus, urineerimine, mioos (liikumatud pupillid), lõtvus, bronhispasm, oksendamine, pisaraeritus, süljeeritus) võtab kokku kõige paremini kõik sümptomid ja märgid (tabel 3). Kerged sümptomid on defineeritud lühendis DUMBELS. Tõsisemate sümptomitega on tegemist sel juhul, kui lisaks kõikidele kergetele sümptomitele esinevad teadvuse kaotus, krambid ja hingamise lakkamine.

Tabel 3. Lühendid, mida kasutatakse mürkide mõjude kirjeldamiseks organitele

<b>D</b> – kõhulahtisus	<b>S</b> – süljeeritus	<b>S</b> – süljeeritus
<b>U</b> – urineerimine	<b>L</b> – pisaraeritus	<b>L</b> – pisaraeritus
<b>M</b> – mioos (liikumatud pupillid)	<b>U</b> – urineerimine	<b>U</b> – urineerimine
<b>B</b> – bronhispasmid, hingeldamine	<b>D</b> – roojamine	<b>D</b> – roojamine
<b>E</b> – oksendamine	<b>G</b> – seedeelundite häire	
<b>L</b> – pisaraeritus	<b>E</b> – oksendamine	
<b>S</b> – süljeeritus		

Närvimürkide kaitse: gaasimask, ABK-ülirikond, kiire degaseerimine ning vastumürgi süstimine.

## 2.2 Veremürgid

Keemiliste veremürkide komponendid on kergesti kättesaadavad, neid kasutatakse kaubanduses ja toodetakse kõrvaltootena. Kõige rohkem kasutatavam vererelv on tsüaniid. Tsüaniidi kasutatakse kuumutamisel ja plaatimisel, desinfitseerimisel, ja plastiku keemilisel sünteesimisel. Seda leidub gaasina (vesiniktsüaniid AC), tahkena (tsüaniidi sool) või vedelikuna. Tsüaniid on tavaline komponent paljudes liitühendites, mis sisaldavad lämmastikku ja süsinikku. Teised tavaliselt kasutatavad mürgid selles rühmas on hüdrokeensulfiid, süsinikoksiid, ja orgaaniline lämmastik liitühenditega (nitraadid ja nitrit)

Veremürgid koosnevad kahest kemikaalst: **vesiniktsüaniidist** (AC) ja **tsüaniidkloriidist** (CK). Need on ident-sed nende tsiviilvastetele, mida kasutatakse tootmises (tabel 4).

Tabel 4. Veremürkide ülevaade

	<b>Vesiniktsüaniid (AC) vesiniktsüaniidhape</b>	<b>tsüaniidkloriid (CK)</b>
<b>Lõhn</b>	mõru mandel või virsikutuum	nõrk mõru mandel või virsikutuum
<b>Sisenemispiir</b>	põhiliselt sissehingamise teel, võib ka naha kaudu imbuda, kõik moodused on võimalikud	põhiliselt sissehingamise teel vedelikuna (<55°F), võib ka naha kaudu imbuda
<b>Keemispunkt</b>	79°F	55°F
<b>Tihedus õhu suhtes (õhk=1)</b>	0,93	2,1

AC on vedelik alla 79° F, aurustub kiiresti. Kuna tema tihedus on õhu omast väiksem, gaas tõuseb ja hajub kiiresti. Seetõttu ei jää AC-d ümberkaudsele alale. CK on vedel alla 55° F, seega kõrgemal temperatuuril muutub see gaasiks. Tema tihedus on õhu suhtes 2,1, seega on ta kaks korda õhust raskem. See omadus võimaldab hõljuda kauem maapinna lähedal, tekitades kahju pikema aja vältel.

Tsüaniidiühendid on kõige kiiremini toimiv mürk. Ta tungib sagedamini organismi hingetoru kaudu, võib olla ka süstitud või imunud läbi naha ja limaskestast membraani. See põhjustab surma alates mõnest minutitest kuni tundideni, sõltuvalt selle kontsentratsioonist, sisenemisviisist ja levimise ajast ning ohvri aktiivsusest. Gaasilise ühendi toimekiirus (tavaliselt minutitega) on teada gaasikambri surmamõistetute hukkamist jälgides. Patsiendil esinevad laialt kõik sümptomid, kuna tsüaniid toimib praktiliselt kõigis keha rakkudes. Kõige õrnem on kesknärvisüsteem, kus on hapnikupuudus tuntav esmasena. Esimesteks tunnusteks on peavalu, peapööritus, ärritus ja segadus. Hilisemad sümptomid on krampid ja kooma.

Keemilised veremürgid tekitavad kahju kahel viisil, sõltuvalt kemikaalst. Ühel juhul peatavad hemoglobiini võime kanda hapniku. See on omane süsinikmonoksiidile (CO). Teisel juhul segavad mürgid raku hapniku kasutamist. Nii tsüaniidiühendid kui vesiniksulfiid mõjuvad sel viisil.

Hemoglobiin on kompleksmolekul, mis sisaldab raua aatomeid, mille abil seotakse hapnik ja toimetatakse see rakuni. Seda molekuli leidub osaliselt vereringluses olevates punastes verelibledes. Punased verelibled voolavad läbi hapnikuga rikastatud kopsude ja koguvad suurel hulgal hapnikku, et kanda seda keharakkudeni, kus seda jagatakse vastavalt vajadusele. Kemikaalid nagu CO segavad transpordiprotsessi. Sõltuvalt sellest, kui palju hemoglobiinirakke on kahjustatud, võib tulemuseks olla nähud peavalust kuni surmani (tabel 5).

Tabel 5. Süsinikmonoksiidi mürgituse sümptomid ja märgid

<b>Kahjustatud hemoglobiini %</b>	<b>Märgid ja sümptomid</b>
1-10%	pole sümptomeid
10-20%	peavalu
20-30%	tugev peavalu, raskusi mõistmisel
30-40%	väga tugev peavalu, iiveldus/oksendamise, hägune nägemine
40-60%	kooma ja krampid
>60%	hingamise lakkamine, surm

## 2.3 Lämmatavad mürgid

Veepuhastusjaamades kasutatakse **kloori** ( $\text{Cl}_2$ ) tema gaasilise vormina, et klooritada joogivett. Kloori sisaldavaid aineid kasutatakse kodustes basseinides ning vannitubade ja tualettide puhastamisel. Pole kahtlust, et see kemikaal on kergesti kättesaadav.

**Fosgeen ehk süsinikoksiidkloriid**  $\text{COCl}_2$  (CG) on värvitu gaas ning väga mürgine. Seda kasutatakse tööstuses polüuretaani, putukamürkide ja värvaine sünteesimisel. Seetõttu on ta kergesti kättesaadav paljudele. Fosgeen on ka kõrvalprodukt freooni põletamisel, mis omakorda võib põhjustada päästjatele palju vigastusi.

CG ja  $\text{Cl}_2$  ladustatakse tavaliselt veeldatud kujul, kuid atmosfääri paisatuna muutuvad kiiresti gaasiks. Paisumisevõime lubab neid transportida väikestes konteinerites ja lahti paisatuna täidavad suure maa-ala (tabel 6).

Tabel 6. Lämmatavate mürkide ülevaade

	Fosgeen (CG)	Kloor ( $\text{Cl}_2$ )
<b>Lõhn</b>	moonhein, magus	Valgendaja
<b>Sisenemiskiir</b>	sissehingamisel	sissehingamisel põhjustab naha ärritust, kui nahk on märg
<b>Keemispunkt</b>	8,5°C	-33 °C
<b>Tihedus õhu suhtes (õhk=1)</b>	3,4	2,49

Lahti paisatuna tekitab see kontrollimatuid kõhahooge, uimasust ja survet rinnus. Tavalised on bronhispaamid, põhjustades hingamise lakkamist ja teadvusetust. Veel võib see põhjustada naha koorumist, kõriturseid, mis aitavad hingamise takistamisele kaasa. CG ei lahustu kergesti vees, põhjustades sellega tõsist koehävitust. Nende rakkude hävimine lubab vedelikul imbuda vereringesse, sealt edasi hingamisteedesse, mille tagajärjel tekib mittekardioloogiline bronhiturse, mida on väga raske ravida. Ohver sõna otseses mõttes lämbub oma enda kehavedelikesse. Kui vigastus pole surmav, jääb ohvrile elu lõpuni hävitatud kopsukude ja hingamisteede haigused kroonilisest bronhiidist kuni kroonilise kopsupõletikuni.

Isegi madala kontsentratsiooniga rahva sekka paisatud kemikaal võib tekitada paljudele inimestele ülliraskeid tervisekahjustusi ja külvata hulgaliselt paanikat.

Lämmatavkas mürgiks on ka **difosgeen**.

## 2.4 Villistavad mürgid

Paljud tööstuses kasutatavad kemikaalid võivad põhjustada naha ärritust, kuid mitte nii suurel määral nagu villistavad mürgid. Sõjaliselt kasutatakse tavaliselt kolme tüüpi rakurelvasid. Need relvad sisaldavad sinepit (H) ja erinevaid sinepivariante (HD, HN ja HT), fosgeeni (CX) ja luisiiti (L). Enamasti esinevad need ained vedelal kujul, aurustuvad aeglaselt ja on ohtlikud sissehingamisel. Silma- ja nahaärritus on tavalisevad nähud, mis tekkivad kokkupuutel vedelikuga. CX on tavaliselt tahke, võib ka aurustuda ja tekitada kahjustusi respiratoorselt (tabel 7).

**Ipriidi e. sinepigaasi** ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{Cl}_2\text{S}$ ) külmumistemperatuur on 14° C, seetõttu ta tahkub madalamal temperatuuril. Sel põhjusel pole tahke ipriit parim valik külmas kliimas. H aurustub aeglaselt, seega on ta põhiliselt ohtlikum nahaärritajana. Üle 100° F aurustub koheselt, siis muutub ta respiratoorseks ärritajaks. Segades H mõne teise kemikaaliga nagu nt L, langeb külmumistemperatuur ja seda on võimalik kasutada ka külmemas kliimas.

**Luisiit** on tumepruuni värvusega ja ärritava lõhnaga vedelik. Ta on segu kloorvinüüldikloroasiini isomeeridest ( $\text{ClCH}=\text{CHA}_5\text{Cl}_2$ ).

Nii L kui CG aurustuvad kiiremini kui H, see teeb neist rohkem respiratoorse ärritaja. Kõikide rakurelvade aurustumise tihedus on õhust suurem, mis lubab neil püsida maale lähedal ja püsida kauem. L aurustustihedus on 7,2, mistõttu püsib ta madalamatel aladel kauem.

Tabel 7. Villistavate mürkide ülevaade

	<b>Ipriit (H, HD, HT, HL, HR)</b>	<b>Fosgeen (CG)</b>	<b>Luisiit(L),</b>
<b>Lõhn</b>	Sinepi või küüslaugu	läbitungiv, ärritav lõhn	geraanium
<b>Sisenemiskiir</b>	põhiliselt imendub naha kaudu, samuti silmade ja hingamisteede kaudu	põhiliselt imendub naha kaudu, samuti silmade ja hingamisteede kaudu	põhiliselt imendub naha kaudu, samuti silmade ja hingamisteede kaudu
<b>Keemispunkt</b>	217 °C (laguneb)	264°F	190°C
<b>Tihedus õhu suhtes (õhk=1)</b>	5,4	3,9	7,2

Tugevad ärritajad põhjustavad kokkupuutel ekstreemset valu ja suuri villoid. Sissehingamisel muutub kopsukude villiliseks. Kui vill puruneb, tekib suur lahtine haav, mis põhjustab üldise infektsiooni ning see seisund viib lõpuks surmani.

Kehasse sisenedes ringleb H rakuvälises vees, vormides äärmiselt reaktiivse substantsi ning sidudes nii raku siseseid kui ka rakuväliseid ensüüme ja proteiine. Peale kokkupuudet võib järgneda periood, kus ei ilmne mingeid sümptomeid. 2-24 h hiljem ilmnevad villid nahal, hingamisteede limaskestast kärbumine, mis hõlmab ka hingamisteede lihaseid ja tekitab rasket silmaärritust, silma sarvkesta ja sellega seotud kudede paistetust, mis põhjustab jäävat armistumist.

L toimib sarnaselt H-ga, lisaks on tal süsteemsed lisamõjud. Peale villide esinevad bronhiaaltursed, iiveldus, oksendamine, nõrkus ja madal vererõhk. Vedela L kokkupuude silmadega on laastav. Kui silmi ei puhastata 1 minuti jooksul, on kahjustused jäädavad (tabel 8).

Tabel 8. Villistavate mürkide tunnused ja sümptomid

	<b>Sinep (H)</b>	<b>Luisiit (L)</b>	<b>Fosgeen (CX)</b>
<b>Nahk</b>	nahapunetus, põletus	hallikas surnud nahk, villid 12-18 h pärast	kahvatus, kublad 30 minuti pärast, päevi kestev valu
<b>Sümptomid</b>	2-24 h	kohe	kohe
<b>Hingamine</b>	neelupõletus, ninaverejooks, takistus hingamisel	äärmuslik kohene ärritus	kohene ärritus, bronhiaalturse
<b>Silmad</b>	valu, ärritus	valu, ärritus	valu, ärritus

Tuntud on ka lämmastik-ipriit HN-1, HN-2, HN-3. Ta on nõrga värske kala lõhnaga. Sarnane ipriidiga, kuid toimel on tugevam.

Fosgeeni kõrval on tuntud ka difosgeen ( $\text{C}_2\text{Cl}_4\text{O}_2$ ). Ta on värvitu ja vees lahustumatu vedelik, sulamistemperatuuriga  $-57^\circ\text{C}$

## 2.5 Pisargaas (CN ja CS)

CS-gaas ( $C_{10}H_5ClN_2$ ), nn "pisargaas" on valge kristalliline pulber, sulamistemperatuuriga  $93^{\circ}C$  ja keemistemperatuuriga  $310^{\circ}C$ . Teda kasutatakse aerosoolina (t/g). CN ja CS on enamkasutatavad, üldiselt on teada 15 erinevat pisargaasi tüüpi. CS metaboliseerumisel on inimkehas leitud tsüaani jälgi. CS kontamineerimisel kasutatakse leeliselist vett ja 5%  $NaHSO_3$  lahust.

CN mõju algab pärast 1-3 sekundit, seda iseloomustab tugev silmade ärritus, põhjustades põlemistunnet ja pisaraid. Tavaliselt esineb ka nahaärritus, kristallid tekitavad niiskele nahale kleepudes põletus- ja sügelustunnet. CN põhjustab ka ülemiste hingamisteede ärritust. See mõju kestab 10-30 minutit. CS sümptomid algavad 3-7 sekundi pärast ja kestab 10-30 minutit. Põhjustab torkimistunnet nahal, eriti niiskemates kohtades ja silmaärritust pisaratena. Põhjustab põletavat tunnet ninas ja ülemistes hingamisteedes. Mõnedel ohvritel tekitab paanikat kitsikustunne rinnus ja katkendlik hingamine, need sümptomid on 10 korda hullemad kui CN. Politsei kasutab seda rahvarahutuste ohjeldamisel.

Nii CN kui CS koosnevad submikronilistest (alla ühe mikroni) osakestest. Nad on ääretult kerged ja aurustuvad kiiresti relva levitamisel. Nende submikroniline suurus lubab neil tungida kopsu, peenbronhiolidesse ja alveoolidesse, põhjustades ka seal vigastusi.

## 2.6 Pipragaas(OC)

Pipra tolm, nimetatud OC-tolm, ka OC-gaas on pisaraid tekitav aine. Kasutatakse aerosoolina (t/v). OC on muutunud kõige ohutumaks ja populaarseimaks keemiarelvaks. Seda leidub politseis kasutatavates aerosoolides. See on vees mittelahustuv aine, mida on valmistatud *cayenne* 'i piprast. Kontaktil silmadega ilmnevad nähud koheselt. OC ei ole submikronilistest osakestest ja seetõttu on ka alumistesse hingamisteedesse levimine piiratud. Kontakt OC-ga põhjustab kohese närvilõpmete stimulatsiooni, aga mitte ärritust. Seisund kestab 10-30 min ja ei oma hilisemat efekti.

SURMAVAD AINED
VEREMÜRGID
Tsüaankloriid (CK)
Tsüaanvesinik (AC)
Villistavad mürgid
Etüüldiklorasiin (ED)
Metüüldiklorasiin (MD)
Fenüüldiklorasiin (PD)
Ljusiit (L)
Väävelsinepigaas (HD, H, HT, HL, HQ)
Lämmastiksinepigas (HN1, HN2, HN3)
NÄRVIMÜRKGAASID
G-ained
Tabun (GA), Sariin (GB), Soman (GD), Tsüklosariin (GF), (GV).
V-ained
EA-3148, VE, VG, VN, VR, VX.
LÄMMATAVAD MÜRKGAASID
Kloor
Kloorpikriin (PS)
Fosgeen (CG)
Difosgeen (DP)
TEGUVAIMETUKS MUUTVAD AINED
Aine 15 (BZ)
EA-3167
Kolokol-1
Pipratolm (OC)
CS gaas
CN gaas
CR gaas

# 3. Kaitse- vahendid, tuvastamine ja saaste- ärastus

## 3.1 Päästjate kaitsevahendid

Kui päästetöötajad puutuvad kokku tuntud sõjaliste mürkidega, siis tuleb suurt rõhku panna varustusele, et kaitsta end nende relvade eest. See nõuab kindlate protseduuride järgimist, mida kasutatakse ohtlike materjalide puhul, kandes õiget kaitseriietust. Sellisel juhul peaksid ohtlikusse tsooni sisenema kõigepealt ohtlike materjalidega tegutsema õppinud inimesed, teised abiandjad võivad neid toetada (tabel 9).

Tuletõrje kaitsevahendid ei anna kaitset kemikaalide, bioloogilise saaste või tuumaradiatsiooni korral. See pakub mingil määral kaitset nende relvade vastu, mis sisenevad naha kaudu. Kaitseriietuses on teatud avad, mis paljastavad naha keskkonnas olevatele mürkidele. Kaela ja kukla avatus võib põhjustada kohest vigastust. Kui nahk on enamasti kaetud riietega, siis peab kemikaal esinema gaasina või aerosoolina, et siseneda avatud kohtadest. Võimalik on imbumine läbi avatud kohtade kaudu kaela, randmete ja pahkluude piirkonnas või läbi lukuvade. Suurendatud viskoossusega relvad peavad olema piisavalt tugeva kontsentratsiooniga, et imbuda läbi kangaga nahani.

Vedelal kujul olev kemikaal settib enamasti kaitseriietuse peale või siis läbi riietuses olevate avauste. Mõlemal juhul kulub aega, kuni relv jõuab nahani imbuda. Tuleks meeles pidada, et nahkkindad neelavad kokkupuutel kemikaali endasse, suurendades sellega teisejärgulist saasteohtu.

## 3.2 Erikeemiameeskonna kaitsevahendid

Meeskonnal on erineva tasemega kaitsevahendeid, mis on mõeldud kasutuseks ohtlike ainete poolt saastatud alal. Keemia- või bioloogilise relva puhul kasutatakse testitud B- ja A-tasemel varustust.

### B-taseme varustus

B-taseme ülikond on valmistatud sellisel viisil, et oleks vastupidav kemikaalile, aga ei pruugiks olla täiesti isoleeritud. See ei hõlma tavaliselt saapaid või pea või kaela kaitset ja omab teisejärgulist kindasüsteemi, mida võib sulgeda teibiga. B-tase kaitseb pritsivate kemikaalide eest ja pakub ka respiratoorset kaitset. B-taseme ülikond ei pruugi pakkuda täielikku kaitset, sest jätab osa ala avatuks. Osa B-taseme kaitseülikondi on üsna sarnased A-taseme ülikondadega välja arvatud see, et neile pole tehtud survetesti (lukukohad jm avad). Kui kemikaal pole tuvastatud, pakub ülikond kaitset vaid sellisel juhul, kui käitatakse ühtse saastepuhastusmeeskonnana.

### A-taseme varustus

A-taseme varustus hõlmab täiesti isoleerivat ülikonda. Kuna ülikond on terviklik, siis survetest on tehtud kas tootja poolt või kontrollitakse seda perioodiliselt, kasutades leke avastamiseks vastavat varustust. Isoleeritud ülikond pakub perfektset kaitset keemiarelva vastu, kuid siiski võib kemikaal kas läbi tungida, degradeeruda või läbi imbuda, kui see ülikond pole tehtud vastava kemikaali suhtes kindlaks.

## 3.3 Lühiülevaade kemikaalide sisenemisviisidest

### 1. Penetratsioon (läbitungimine)

Penetratsioon on kemikaali füüsiline läbitungimine ülikonna avaustest. Lukuavad, väljahingamisavad, näomaski tihendid ja ühendused võimaldavad kemikaalil siseneda ülikonda. Marrastused, torkeaugud või pisarad võivad kemikaali läbitungimisele kaasa aidata. Tavaliselt võivad siseneda ülikonda vedelikud, peened eraldatud osakesed (aerosoolid) ja rõhu all olevad gaasid.

### 2. Degradatsioon (lagundamine)

Füüsiline ülikonna lagunemise võib põhjustada temperatuur, kemikaalisaastega kokkupuutumine, ebasobiv hoiukeskkond, kokkusobimatus vastava kemikaaliga. Lagunemise tunnused on värvitus, kobrutamine, tükid, kokkutõmbumine või muu nähtav märk lagunemisest.

### 3. Läbiimbumine

Läbiimbumine tähendab kemikaali molekulaartasemel läbiimbumist kaitsematerjalist. Kui kemikaal on koonduvad tugevdatud ülikonnale või siis pikenenud saaste vältel või kokkusobimatuse tõttu kemikaaliga – sellistel juhtudel võib kemikaal imbuda läbi ülikonna. Lõpuks murrab kemikaal läbi ülikonna (seda kutsutakse desorptsiooniks), põhjustades saastet.

Tabel 9. Isikukaitsevarustus

TASE	EELISED	PUUDUSED
Tuletõrjuja-päästja riietus	vabalt kättesaadavad, keskmine kaitsetase	võib tekkida suur imbumine
B-taseme varustus	kõrge kaitsetase, kergesti olemasoleva aparaaadi külge ühendatav	varustusel on piiratud kättesaadavus, vale kandmise puhul on ohtlikud avaused
A-taseme varustus	kõrgeim kaitsetase, täielik isolatsioon	varustusel on limiteeritud hapnikuvaru ja liikumisvabadus tekitab kiirelt kurnatuse kuumast

## 3.4 Tuvastamine

Intsidendid keemiarelvadega või terrorirünnaku tagajärjel tekkinud saastega on esmareageerijatele ülimalt ohtlik, kuna massihävitusrelvade avastamine pole lihtne. Eriti raske on avastada sõjalisi mürke või bioloogilist relva. Kemikaalide ja bioloogiliste mürkide tuvastamine ja kvalifitseerimine on raske nende looduslike variatsioonide tõttu, mis tekivad nende sattumisel keskkonda. Lisaks on raske avastada kemikaale ohtlike materjalide avastamiseks loodud aparatuuridega, mis ei võimalda avastada väga madala tasemega saastet.

Sellises olukorras peavad päästjad usaldama keskkonnas leiduvaid juhtniite ning märke ja sümptomeid, mis ilmnevad ohvril. Mõningate mürkide puhul ilmnevad sümptomid kiiremini, teiste puhul nagu näiteks sinepigaasil, jällegi aeglasemalt. Kui sümptomid tekivad hiljem, on raske kindlaks teha, millise ainega tegu oli.

Hetkel demineerimiskeskuses kasutatavad mürgi avastamiseseadmed ei pruugi aidata avastada kasutatavaid kemikaale, see-eest võivad nad anda toimunud sündmusest vihjeid. Allpool tutvustatakse seireseadmeid, mis on käesoleval ajal demineerimiskeskuses kasutusel.



## Värvust muutvad torud

Värvust muutvaid torusid seostatakse sõjaväega. Värvustoru on klaasist toru, milles on kemikaal, mis reageerib teatud õhus leiduva saasteainega. Teatud kogus õhku lastakse torusse, filtreeritakse välja osakesed ja teadaolev saasteaine reageerib kemikaaliga. See reaktsioon tekitab pleki kemikaalil.

Värvustoru piirangud:

1. kui kemikaalil ei teki plekki, ei tähenda see veel, et saastet pole, vaid seda, et selles õhuhulgas polnud saastet;
2. seadme eksimise võimalus on 50%. Toru mõõtmistäpsust võivad muuta temperatuur, niiskus, rõhk, hoiutingimused, riulis hoidmine ja segavad gaasid.

## pH-paberid

pH-paberid tuvastavad happelisuse või leelise olemasolu gaasilahuses. pH-taseme positiivseid vesinikioone mõõdetakse skaalal 0-14, 0-6,9 on happeline ja 7,1-14 leeliseline. 7 on neutraalne. Kemikaali kokkupuutumisel pH-paberiga muudab see happe või leelise tuvastamisel värvi. pH-paber ei anna kindlaid tulemusi, erinevate värvidega märgitakse vaid põhiline kontsentratsioonitase. NB! pH paber peab olema niiske (H<sub>2</sub>O).

Enamik sõjalisi kemikaale on neutraliseeritud 7-ni. See lubab paljude moonade pikemaajalist ladustamist. Salaja tehtud keemiline moon võib olla happeline.

## M-8 paber

M-8 paber on sarnane pH-paberile. See tuvastab kemikaali osakesed, aga mitte tema kontsentratsiooni taset. M-8 paberit kasutatakse vedelate saasteainete puhul ja selle abil tuvastatakse närvi- ja rakumürke ja püsivaid närvi- ja rakumürke. Paber tuleb asetada 30 sekundiks vedelikku, paber muudab värvi, tuvastades võimaliku kemikaali. Kollane tähistab mittepüsivaid G relvasid, punane rakumürke ja oliivroheline või must tuvastab V mürgi. Kui mürk sisaldab samal ajal ka putukamürki, glükooletüleeni või petrooleumi, siis näitab paber vale positiivi.

## M-9 paber

M-9 kleepriba on värvuselt kreemikasvalge. Vedelikuga kokkupuutumisel muudab kemikaal värvi, sõltuvalt olemasolevast mürgist kas punaseks, punakaspruuniks, lillaks, roosaks või pruuniks. Kleepribal on iseliimuv tugi, mis kleepub varustuse või riietuse külge. Selle kasutamisel tuleb kanda kaitseriietust, kuna indikaatori värv sisaldab kantserogeene. Kui tuvastatav mürk sisaldab samal ajal ka putukamürki, glükooletüleeni või petrooleumi, siis näitab paber vale positiivi.

## M256A1 tuvastusvahend

M256A1 süsteemil on 6 toru ja 12 tuvastuspakki, mis kõik sisaldavad vedela või gaasilise kemikaaliga reageerivaid ensüüme. Selle kasutamine nõuab, et päästja viibiks ohtlikus keskkonnas 20-30 minutit. Tuvastuspakke tuleb kaitsta päikesevalguse või kuumuse eest, kuna see võib põhjustada segu aurustumist. Süsteem tuvastab vesiniksüaniidi, tsüaniidkloriidi, väävelsinepi, lämmastiksinepi, destilleeritud sinepi, fosgeeni, ljuisiidi ning V ja G närvimürgid.

Alljärgnevalt kirjeldatakse, mida iga toru tuvastab.



1. Esimene toru (T-400).  
Kui ei teki reaktsiooni, siis ei esine raku-, vere- või närvimürke.
2. Teine toru (T-401).  
Kui järgneb reaktsioon, on võimalik, et esinevad G ja V närvimürgid.
3. Kolmas toru (T-402).  
Kui järgneb reaktsioon, on võimalik, et esineb väävelsinep.
4. Neljas toru (T-403).  
Kui järgneb reaktsioon, on võimalik, et esineb fosgeen.

5. Viies toru (T-404).

Kui järgneb reaktsioon, on võimalik, et esineb vesiniktsüaniid või tsüaniidkloriid.

Kui järgneb väga kiire reaktsioon, on nende mürkide kõrge kontsentratsioon enam kui kindel.

6. Kuues toru (T-404A).

Kui järgneb aeglane reaktsioon, on võimalik, et seal on madala kontsentratsiooniga vesiniktsüaniidi või tsüaniidkloriidi. Kui aga järgneb kiirem reaktsioon, on tuvastatud nende mürkide kõrgem kontsentratsioon.

## Detektor APD – 2000

Kasutatakse vaid õhugaaside seires. Mõõtmise aeg on 10-30 sekundit.

Avastab närvimürke, nahamürke, pipragaasi, sinepigaasi ja ohtlikke ühendeid.

## 3.5 Saasteärastus (kontaminatsioon)

Kui on tehtud kindlaks ohtlike materjalide tahtlik või tahtmata saastamine, on esimene asi, mis vähendab kaotusi, ala saastest puhastamine. Saastest puhastamine ehk saasteärastamine on protsess, mille käigus eemaldatakse inimestelt, varustuselt või keskkonnast keemilist või bioloogilist mürki. Saastest puhastamise eesmärk on teha kiiresti ja efektiivselt kahjutuks või eemaldada aineid, mis võivad põhiliselt naha kaudu mõjudes tekitada tervisehäireid. See on turvalise keskkonna süsteemne ja kaalutletud protsess. Pole tähtis, kas päästetakse üksikindiviidi või gruppi, aeg töötab päästjate vastu. Kiire ja otsustav tegutsemine on tähtsam kui meetod, mida kasutatakse saastest puhastamisel.

Saastest puhastamise meetodid võib jagada kahte erinevasse kategooriasse. Kumbki neist nõuab kaalutletud tegutsemist. Esimene kategooria hõlmab füüsilist saaste eemaldamist. Sellele võib järgneda teine, keemiline eemaldamine. Nii pritsmete, rusude kui mahavoolu puhul peaks tegevus olema ettekatsetatud ja plaanitud. Kui mahavool pole saastealalt peatatud või eemale juhitud, on potentsiaalne oht, et päästjad saavad mürgituse. Turvalise töökeskkonna loob mahavoolanud aine pidev jälgimine. Eriti mürgiste kemikaalide või sõjategevusmürkide saastest puhastamine ja jälgimine peaksid jätkuma ka peale saastest puhastamist, et olla kindel, kas protsess on olnud efektiivne ja ei teki uut saastet.

## Saastest puhastamise meetodid

Saaste tüüp määrab saastest puhastamise meetodid. Esineb keemilisest, bioloogilisest ja tuuma-saastest puhastamist. Kõigil neil juhtudel võib mürk olla vedelas, tahkes, gaasilises olekus või kombinatsioon neist vormidest. Näiteks keemilised närvimürgid, mida kutsutakse närvigaasiks (tavaliselt vedelikust aurustunud pihustamise tagajärjel). Kui vedelik aurustub, siis toimub respiratoorne saaste. Kui pihustamist ei toimu, siis on aurustumisprotsess aeglasem, vähendades soovitud toimet. Tahke mürk paisatakse laiali samal meetodil. Et ohvrid ei hingaks mürki sisse, muudetakse nad suitsuks või peeneks tolmuks.

Suurendatud viskoossusega mürgid teenivad erinevaid eesmärgi. Närvimürkide viskoossuse suurendamine vähendab aurustumist, kuid suurendab nende püsivust keskkonnas. See lubab kemikaalil aurustumata püsida mürgisena saastatud aladel ka päevi ja nädalaid. Tänu mürgi püsivusele on võimalik ristsaaste suurenemine ühelt ohvrilt teisele. Pinnasesse, seadmeisse ja riietesse imbumine takistab kemikaali hilisemat gaasistumist.

Levitussüsteem, mida kasutavad nii sõjaväelased kui ka terroristlikud organisatsioonid, võib varieeruda komplektselt kuni ülimalt lihtsani. Tänu kriminaalse mõistuse leidlikkusele peaksid päästjad endale teadvustama, et mürgi levitamine võib toimuda ükskõik mis ajal, ükskõik kus ja millisel viisil ning ükskõik kelle poolt. Keemilisi mürke võib levitada aerosoolina, vedelikuna või spreina. „Räpane” pomm on arvestatav oht kõigi nende mürkide levitamisel. Asetades lõhkeaine keemilise, bioloogilise või tuumarelva sisse, võib terrorist meelitada päästjad

plahvatuskohale, saastades neid seejärel järgmise plahvatusega. Kõiki pomme tuleks käsitleda nii nagu sisaldaksid nad lisaainet. Kohustuslik on seirata tuvastusseadmetega ala, et kaitseta päästjad võiksid seal turvaliselt teutseda.

Füüsiline saastest puhastamine hõlmab riietuse eemaldamist ja kuivpuhastust. Täielikuks füüsiliseks puhastamiseks peab ohvrilt eemaldama kõik riided. Paljudel juhtudel ei pruugi see olla reaalne. Kui on tegemist ohvrite massilise saastest puhastamisega, peavad päästjad eemaldama üleriided, jättes selga aluspesu. Kui jäetakse eemaldamata aluspesu, on saastest puhastatud 60-80%. See protsent sõltub materjali vastupidavusest ja eemaldusprotseduurist, mõlemad võivad mõjutada selga jäetud materjali. Kuivpuhastusel harjatakse mürk ohvrilt, kasutades absorbeeruvat kemikaali nagu näiteks talgipulbrit, jahu, fullermulda, soodat või kuiva seebipulbrit. Kaitsvad loputusvedelikud aitaksid puhastamisele kaasa. Sellegipoolest on siiani täielikult teadmata nende efektiivsus.

Keemilisel saastest puhastamisel kasutatakse märgi kemikaale, et eemaldada või reaktiveerida kahjulikke keemilisi mürke. Keemilise saastest puhastamise liigid on märgpuhastus, tehniline puhastus ja neutraliseerimine. Neid võib kasutada kas eraldi või kombineeritult, et saavutada efektiivsemat puhastust. Märjal puhastusel kasutatakse seepi ja vett või pehmet leelist, mida kasutatakse pesemiseks ja saaste maha nühkimiseks. Märjpuhastus võib hõlmata korduvat protsessi, mil ohver kasutab seepi ja vett, uhtudes aine maha, ning korrates seda protseduuri vajadusel mitu korda. Standardpuhastus hõlmab riiete eemaldamist ja märgi maha pesemist, harjamist või absorbeerumise teel. Füüsilisele saaste eemaldamisele peaks järgnema märgpuhastus, läbi pesemise ja puhastamise etapi, kasutades sobivat lahendust (lahenduseks võib vahel olla ka tehniline saaste eemaldamine), et saavutada saastest puhastumist. Selline kombineeritud meetod võib anda parima tulemuse keemilise märgi vähendamisel.

Tehniline puhastamine hõlmab leelise lahendust ja/või lahust, et neutraliseerida kemikaali saastet. Nende meetodite kasutamisel ohvri peal peab olema äärmiselt ettevaatlik. Ohvri peal ei tohiks kunagi kasutada potentset leelilahust või tugevat klooripulbrit, kuna see võib kahjustada rohkem kui saastest mittepuhastamine. Neid tugevaid kemikaale kasutatakse varustuse puhastamisel. Inimeste peal kasutatakse pehmeid või keskmise tugevusega keemilisi lahuseid.

Patsientide puhastamisel kasutatakse naatriumhüpokloriti 0,5% lahust, võttes üks osa valgendajat ja kümme osa vett. Seadmete puhastamisel kasutatakse 5% lahust (mitte laiatarbes kasutatavat valgendajat).

Sinepigaasi ja V seeria närvimürkide puhastamiseks kasutatakse kloramiini lahust. Seda saab valmistada võttes kolm osa kodust pesuvalgendajat, üks osa kodust ammoniaaki (25% NH<sub>3</sub> vesilahus) ja üheksa osa vett. See annab umbes 10% kloramiini lahuse. Selle lahuse aur võib olla kergestiüttiv ja mürgine. 5% lahust kasutatakse ainult varustuse puhastamisel, 0,5% lahust kasutatakse patsientide puhastamisel. Tehnilist lahust ei tohi kasutada silmade ümbruses, rinnal või haavadel.

Villistav mürk nagu sinepigaas või muu suurendatud viskoossusega mürk ei lahustu vees kergesti. Sellise märgi puhul võiks soovitada kasutada patsientide puhastamisel kloramiini ja alkoholi lahust, eriti kui sinepimürki on paksendatud. Tehnilist saastest puhastamist soovitatakse kasutada suurendatud viskoossusega mürkide puhul. Tuleb meeles pidada, et tehniline puhastamine võib põhjustada patsiendile vigastusi. Kuid selline puhastamine on vahel vajalik, et vähendada vigastusi või päästa isegi elu.

Tehniline saastest puhastamine hõlmab mitmeid pesemisi lahustega, mis hävitavad või neutraliseerivad mürki. Sellele peaks järgnema märgpuhastus, et loputada patsienti kahjutute tehniliste lahustega. Sellesse protsessi võivad olla hõlmatud mitmed puhastusprotsessid (tabel 10).

**Tabel 10. Vajalikud sammud saastest puhastamiseks**

Füüsiline puhastamine	Märg puhastamine	Tehniline puhastamine	Märg puhastamine
-----------------------	------------------	-----------------------	------------------

Füüsiline ja märg puhastus elimineerivad mürgi toime. Et saavutada kõige efektiivsem puhastus, siis olenevalt mürgi tugevusest tuleb kasutada spetsiaalseid ettevalmistatud lahuseid. Kuid eelnevalt mainitud tehnilised puhastuslahused võivad põhjustada nahakahjustusi. Seega ei tohi neid kasutada silmade ümbruses ja haavade lähedal. Patsientide saastest puhastamisel tuleks olla eriti ettevaatlik. Lahtiseid haavu tohib puhastada ainult seebiveega. Pealmist nahka saab puhastada tehnilise lahusega ainult juhul, kui haavad on kaitstud (see on eriti tähtis kõhuhaavade, rinnavigastuste, limaskestamembraani puhul, nt silmad). Haavu, mis ei hõlma kehaõõnsusi, võib pesta Na või Ca hüpokloriti lahusega. Soolad tuleb eemaldada veega või imemise teel peale 5-minutilist toimet.

Ideaalis oleks mugav, kui oleks üks universaalne saaste eemaldamise lahus, mis võiks hõlmata kogu protsessi. Enamasti seebi-vee lahus koos füüsilise saaste eemaldamisega viib töö lõpule. Kahjuks aga on paksendatud keemilisimürke, mida ainult seebiveega ei eemalda. Näiteks võidakse mürgi paksendamisel kasutada petrooleumiprodukte nagu näiteks mootoriõli. Sellisel juhul tuleks kasutada rasvaärastit (tabel 11).

Tabel 11. Lahused, mida kasutatakse saastest puhastamisel

LAHUSED	KASUTUSALA
Seep ja vesi	kasutatakse märgpuhastusel, teisejärgulisel puhastusel, on soovitatav peale tehnilist puhastust, universaalne puhastus.
Naatriumhüpoklorit	kasutatakse märgpuhastusel, teisejärgulisel puhastusel ja on soovitatav peale tehnilist puhastust, universaalne puhastus.
Kaltsiumhüpoklorit	kasutatakse peale seadmete kasutamist kinnaste puhastamiseks ja enne vahetut kokkupuudet patsiendiga.
Söögisooda ja söögisooda lahus	kasutatakse patsientide ja seadmete puhastamiseks G seeria mürkidest.
Booraksipulber	kasutatakse kuivpuhastusel nii suurendatud viskoossusega keemiliste mürkide kui ka bioloogiliste mürkide puhul.
Kloramiinilahus	kasutatakse sinepigaasi ja V seeria närvimürkidest puhastamiseks.
Lubjapiim (Ca (OV) <sub>2</sub> )	kasutatakse seguna pärast kuiv- ja märgpuhastust, kasutatakse ka saastatud keskkonna puhastamiseks.

Tegevused, mida võetakse ette esimesel minutitel, võib vähendada ohvrite hulka saastepiirkonnas. Saastest puhastamine võib vähendada meditsiinilist abi vajavate patsientide arvu. Päästeteenistuse tavavarustus võib toimida hädaabi saastepuhastusena. Seda võib kasutada kuni seatakse üles detailsemad süsteemid.

# 4. Lõhkeained

## 4.1. Lõhketööde ajaloo

Üks inimkonna ajaloo suurim leiutus keemia vallas on kahtlemata musta püssirohu leiutamine. Kes, kus ja millal esimest korda kaaliumsalpeetri, puusöe ja väävli kokku segas ning selle segu plahvatama pani, jääb ilmselt igaveseks aegade hämarusse. Hiina allikatest on teada, et püssirohtu kasutati Hiinas juba VIII-IX sajandil pärast Kristuse sündi rakettide ja noolte lennutamiseks. Algselt kasutati püssirohtu peamiselt püroteenilistel eesmärkidel (hiinlased on tänapäevani maailma kõige oskuslikumad ilutulestikumeistrid), mõnevõrra hiljem otsustati püssirohtu kasutada sõjanduses, lähtudes tema omadustest esemeid eemale paista.

Euroopas peetakse üldtunnustatult püssirohu leiutajaks Freibergi frantsiskaani kloostrimunka Berthold Schwartzi, kes 1250.a. paiku olevat püssirohu kokku seganud. Berthold Schwartzi tegelik nimi olevat olnud Constantin Ankiltzen, kes kloostrisse minnes võttis enesele nimeks Berthold ning kes oma liignime (Schwatz – „must“) olevat saanud oma sügava kiindumuse tõttu musta maagiasse. Berthold Schwartzi isikut ümbritseb pea sama paks saladusudu nagu poolmüütilist doktor Fausti, nii et väga paljud ajaloolased kahtlevad, kas selline munk üldse eksisteeris. Küll aga räägib Freibergi kui püssirohu leiutamise koha prioriteedi kasuks vähemasti see fakt, et XIV sajandil oli just Freiberg õitsval järjel suurtükide valamise ja suurtükiväelaste väljaõppe keskus. Seejuures on aga tunduvalt tõenäolisem, et püssirohtu õpiti tundma Bütsantsi ja Araabia vahendusel juba ristsõdade ajal ning Berthold Schwarz avastas (kui ta üldse olemas oli ja midagi avastas) vaid tee juba varem tuntud aine valmistamiseks (meie terminoloogias väljendatuna töötas ta välja püssirohu valmistamise tehnoloogia).

Nagu juba eelpool mainitud, kasutati püssirohtu peamiselt ainult sõjanduses, kusjuures XIV sajandi lõpul olid kõigil Euroopa riikidel arvestatavad suurtükiväed. Esmakordselt kasutasid püssirohtu objektide **purustamiseks** nende sisse või alla pandud laengutega türklased, kes 1440.a. Belgradi piiramise ajal kaevasid linnamüüride alla miinikäigu ning purustasid osa linnamüürist tänapäeva mõistes kamberlaengutega lõhkamise teel. Seega oli kamberlaengute meetod esimeseks lõhketööde meetodiks.

Mäendus algas lõhketööde ajastu 8.veebbruaril 1627.aastal, kui tiroollane Kasper Weindl lõhkas Ungaris Schemnitzis (praegu Slovakkiasse jääv Banská Štavnica) kaevanduses esmakordselt puuraukudesse paigutatud püssirohulaengutega maagimassiivi purustamiseks. Lõhketööd võeti juba 1630.-1640.aastail kasutusele Austrias, Saksamaal ja Rootsis, XVIII sajandi lõpul aga ka teistes Euroopa riikides. Ameerika mandril lõhati esimene mäenduslik laeng 1705.a. Simsbury vasekaevanduses Connecticutis. Laengute topistamist hakati esmakordselt kasutama juba 1687.a., kusjuures topiseks kasutati esialgu puupunne. XVIII sajandi alguseks arenesid puurmasinad niivõrd, et puurida saadi juba 1-1,5 m sügavusi laenguauke, mis omakorda viis laengute suurenemisele ning savitopise kasutuselevõtu. Sõekaevandustes hakati lõhketöid kasutama XIX sajandi alguses. Vähemasti esimese lõhketööde sajandi jooksul arenesid mäenduslikud lõhketööd peamiselt ja eeskätt sõjanduse vallas saadud kogemustele tuginedes.

XVIII sajandi lõpul ja XIX sajandi algul tehti väga suuri avastusi pea kõigis reaal-ja loodusteadustes, teiste hulgas ka keemias. Hilisem keemiateaduse ja –tööstuse areng tegi omakorda võimalikuks uute tugevate lõhkeainete ilmumise, mida hakati peale sõjanduse peatselt kasutama ka mäetööstuses.

1800.a. valmistas Saksa keemik Paul Hepp trotüüli, mida hakati sõjanduses kasutama kümnekonna aasta pärast, mäetööstuses aga veelgi hiljem.

1845.a.a leiutas saksa keemik Christian Friedrich Schönbein püroksüliini, mida esialgu saadi puuduliku teh-

noloogia tõttu ainult laboritingimustes, tööstuslikult hakati püroksüliini valmistama alles paarkümmend aastat hiljem – 1860 lõpul.

Itaalia keemik Ascanio Sobrero leiutas 1846.aastal nitroglütseriini. Juba nitroglütseriini leiutaja ise pidas oma loomingut tööstuslikuks ja massiliseks kasutamiseks liialt ohtlikuks, kuid sellest hoolimata hakati nitroglütseriini mäenduses (peamiselt tunnelite, kanalite ja teede ehitamisel) laialdaselt kasutama. Kuna nii mitmedki lõhkajad ei teadnud nende poolt kasutatava aine omadusi, tuli ette küllalt kurioosseid juhtumeid. Nii on ajaloost teada mitmeid juhuselisi, kus nitroglütseriini kasutati lambiõlina, ka on teada vähemalt üks juhus, kus sellega määrati vaguni telgi. Nagu arvata võib jäi vähemasti samale tegijale esimene taoline eksitus ka viimaseks (nagu ka mitmele juhuslikule möödakäijale). Kuna nitroglütseriin oli oma suure tundlikkuse tõttu äärmiselt ohtlik, siis keelati 1860.-70.aastatel selle igasugune kasutamine mitmes riigis, näiteks Suurbritannias. Samas aga oli seoses tormiliselt areneva mäetööstuse ning teedeehitusega tekkinud tungiv vajadus tugevajõuliste lõhkeainete järele.

Lõhketööde ja lõhkeainete edasine ajalugu on küllalt pika aja jooksul seotud Rootsi keemiku ja töösturi **Alfred Nobeli** nimega, tänu kellele sai alguse ohutute lõhkeainete ja lõhkamisvahendite ajalugu.

Juba 1863.a. hakkas Alfred Nobel oma Helenoborgis (Stokholmi lähistel) ja Krümmelis (Hamburgi lähedal) asuvates lõhkeainetehastes valmistama nitroglütseriini tööstuslikes kogustes. Seejuures ei olnud tema tehases kasutusel mingeid tolle aja tasemest erinevaid ohutusmeetmeid. Nitroglütseriini müüdi ja veeti klaaspudeleis ja plekkanistrites, millega seondvalt toimus hulganisti ohvriterikkaid õnnetusi. 1866.a. segas Nobel kolm osa nitroglütseriini ühe osa distomiidiga (ränimuld) ning sai tulemuseks uue, tunduvat kasutuskõlblikuma ja ohutuma lõhkeaine – **dünamiidi**. 1876.a. asendas Nobel neutraalse diatomiidi püroksüliiniga, mille tulemuseks oli eriti tugevatoimeline sültjas lõhkeaine. Kuna eelnimetatud lõhkeained olid liialt tugevatoimelised ning teatud tingimustes ka liialt ohtlikud, siis asendas Nobel 1879.a. osa kasutatavast nitroglütseriinist teiste ainetega ning sai tulemuseks ammooniumzelatiindünamiidi, mille ta ka samal aastal patenteeris.

Ammooniumsalpeetriliste lõhkeainete ajalugu algas 1867.a., mil kaks Rootsi keemikut C.Ohlssoon ja J.Norrbin leiutasid ja patenteerisid **ammoniaakpüssirohu** (rootsi.k.*ammoniakkрут*); mis sisaldas peale ammooniumnitraadi veel saepuru, pikriinhapet, sütt ja nitrobenseeni. Varem oli ammooniumnitraati mõningal määral kasutatud kaaliumsalpeetri asendajana (hapnikuasendajana) püssirohtudes. Mõned aastad hiljem omandas Nobel ammoniaakpüssirohu patendi ning muutis selle segu nitroglütseriini lisamisega tundlikumaks. Üldiselt aga hakati ammooniumsalpeetrilisi lõhkeaineid mäetööstuses laialdaselt kasutama alles XX sajandi alguses, peamiselt kahe maailmasõja vahelisel ajal.

1954.a. leiutati USA-s ammooniumnitraadist ja kütteõlist koosnev uus, ohutu ja kergesti käsitsetav lõhkeaine ANFO (inglisekeelne lühend sõnadest *Ammonia Nitrate + Fuel Oil*), mida hakati pea kogu maailma mäetööstuses laialdaselt kasutama, kuna seda lõhkeainet sai väikeste kulutustega ohututest komponentidest kohapeal kokku segada. Ka Eestis oli see lõhkeaine kasutusel juba Vene ajal, kuid kuna sel ajal pidi kõik impeeriumisisene olema Vene päritolu, siis tunti seda lõhkeainet igdaniidina (venekeelne lühend sõnadest *Institut Gornogo Dela Akademiji Nauk SSSR*). Algul kasutati ANFO-t peamiselt USA-s ja Kanada suurtes karjäärides kohapeal kokkusegatava lõhkeainena suurlaengute lõhkamiseks, hiljem hakati ANFO-t kasutama ka muudel lõhketöödel.

1959.a. leiutati Kanadas pulplõhkeained (inglise keeles slurries – kört või läga), mille põhikomponentideks on trotüül, püroksüliin, alumiiniumpulber, mitmesugused õlid ja (õli- või vesilahuses) ammooniumsalpeeter. Nende lõhkeainete peamiseks vooruseks on nende ülisuur veekindlus (vees praktiliselt lahustumatud) ning käsitlemisohutus, ka on nende lõhkeainete plahvatusgaasid tunduvalt vähem mürgised. Vesiemulsioonlõhkeainete võidukäik sai alguse peamiselt 80.aastatel, mil oluliselt täiustati nende lõhkeainete valmistamise tehnoloogiat.

Lõhkeainete ajalooga on äärmiselt tihedasti seotud ka nende süütamiseks kasutatavate lõhkamisvahendite ajalugu. Kuni XIX sajandi keskpaigani lõhati püssirohulaenguid peamiselt primitiivsete süütenõõridega, mille kasutamisel võis ainult umbkaudu öelda, milline laeng plahvatab varem või hiljem (pikem nõõr põles kauem).

1812.a.a leiutas Eestist pärit Paul Schilling von Cannstatt (1786-1837), kes oli enam tuntud nn Schillingi süsteemi elektritelegraafi leiutajana ja orientalistina (ta oli Peterburi Teaduste Akadeemia korrespondentliige Idamaa-

de kirjanduse alal), miinide elektrisütiku, kus püssirohulaeng süüdati elektrisädeme abil. See leiutus aga oli puhtsõjandusliku iseloomuga ning, nagu Venemaal alati kombeks on olnud, salastati Schillingi avastus ning ka unustati, kui sellele mõne aja jooksul sõjalist rakendust ei leitud.

Tegelik tänapäevaste initseerimisvahendite areng saab alguse 1831.aastal, mil inglane William Bickford leiutas pressitud püssirohust südamikuga ühtlaselt põleva süütenööri, mille kest põlemise ajal ei süttinud (nn Bickfordi nööri). Selle süütenööri abil oli juba küllalt talutavates piirides võimalik ajastada laengute süütamist tänapäevases mõttes.

Järgmine tähtis leiutus initseerimisvahendite vallas oli paukelavhõbeda-kapseldetonaator, mille 1864.a. leiutas Alfred Nobel. Juba kuus aastat hiljem, 1870.a. leiutas Smith hõõgsillaga elektridetonaatori. Nende leiutistega avati tee ka tänapäevaste lõhkeainete kasutamiseks ning lõhketööde tehnoloogia edasiseks arenguks.

1879.a. soovitas prantsuse insener Messiaen (nime kuju ei ole kindel, antud venekeelse tõlke järgi) laengute initseerimiseks kasutada püroksüülinist südamikuga detoneerivat nööri.

1922.a. leiutatakse viidetonaator ning 1946.a.a lühiviidetonaator. Pärast neid kaht leiutist kujunes järgneva kolme aastakümne jooksul pea kogu Euroopas tööstuslikel lõhketöödel valdavaks initseerimisviisiks laengute elektrivooluga süütamine (USA-s ja Kanadas kasutati pealmaatöödel peamiselt detoneeriva nööri ja detonatsioonireleedega süütamist). Elektrisüütamise võidukäigu tingis eelkõige lühiviidetonaatorite kasutuselevõtt, mille abil saab viitekestuse ja viiteseeriade õige paigutusega tunduvalt vähendada lõhkeaine kulu ning mitmeid lõhketöödega kaasnevaid negatiivseid nähtusi (näiteks lõhketööde seismiline efekt). Samas aga ei ole elektridetonaatorite kasutamine teatud tingimustes (äikeselised ilmad, elektromagnetlainete allikate ja kõrgepingeliinide lähedus, staatilised elketri-laengud) sugusi ohutu, sest võib tekkida elektridetonaatorite iseintsieerumine.

Mainitud elektridetonaatorite puudustest on vaba 1970.a.a Rootsis leiutatud ning 1973.a.a turule ilmunud NO-NEL-initseerimissüsteem, mis ühendab eneses detoneeriva nööri ja elekterdetonaatorite häid omadusi (ohutu käsitlemine, viidete täpsus), olles samas vaba nende mõlema puudustest.

1980.aastate alguses leiutati Inglismaal elektrooniline lühiviidetonaator, mille ülitäpne viitekestus on saavutatud sellega, et viite annab mitte põlev pürotehniline brikett (nagu tavalistel viit-või lühiviidetonaatoritel), vaid miniatuurne integraalskeem (elektronkell).

Seni uusim initseerimisvahend on 1984.a. Hiinas leiutatud primaarlaenguta teraskestaga detonaator, nn NPED-detonaator (lühend ingliskeelsest nimetusest *Non Primary Explosive Detonator*), mida võib pidada seni kasutuselolevatest detonaatoritest tunduvalt ohutumaks, kuna praktiliselt on välditud detonaatorite juhuslik plahvatus kesta mehhaanilise vigastuse puhul.

## 4.2. Üldmõisted

**Plahvatus** – aine või tema oleku ülikiire muutus, millega kaasneb suure energiahulga vabanemine, temperatuuri järsk tõus ning lööklaine. Vabaneva energia liigi järgi eristatakse füüsikalist, keemilist ja tuumaplahvatust.

**Füüsikaline** – plahvatusaine muutub ainult füüsikaliselt, näiteks aurukatla plahvatus või meteoriidi löök maale langemisel.

**Keemiline plahvatus** – soojusenergia ja gaasid eralduvad ülikiirete keemiliste reaktsioonidega. Tavaliselt on tegemist ülikiire oksüdeerumisega.

**Tuumaplahvatus** – energia vabaneb aatomituuma reaktsioonide käigus.

**Lõhkeaine** – keemiline ühend (liitlõhkeaine) või ühendite mehhaaniline segu (liitlõhkeaine), mis soojuse, löögi, surve, hõõrdumise, elektrisädeme, leegi, keemiliste reaktsioonide või mõne muu algimpulsi tõttu ilma õhuhapnikuta kiiresti laguneb ja tekitab plahvatuse.

Lõhkeained jagunevad paiskavateks ja brisantseteks.

**Paiskav lõhkeaine** – lõhkeaine, mida iseloomustab keemiliste reaktsioonide kulgemise suhteliselt väike kiirus (400-1000 m/s), (vt pahvumine), mille tagajärjel kasvab aeglaselt gaaside surve ümbrusele ning tema toime on seetõttu paiskava iseloomuga.

**Brisantne lõhkeaine** – lõhkeaine, mida iseloomustab suur detonatsioonikiirus, mille tagajärjel gaaside surve kiire kasv lõhkamispaigas mõjub purutavalt ümbrusele. Brisantsed lõhkeained jagunevad omakorda initsierivateks ja tööstuslikeks lõhkeaineteks.

**Initsieriv lõhkeaine** – **brisantne lõhkeaine**, mis plahvatab kergesti suhteliselt nõrga algimpulsi toimel, kasutatakse detonaatorite valmistamisel.

Lõhkeainete ja lõhkamisvahendite ühisnimetuseks on **lõhkematerjalid**.

Sõltuvalt molkulisest seoste tugevusest, algimpulsi võimsusest ja lõhkeaine omadustest võib lõhkeaine laguneda erineva kiirusega. Tekivad erinevad protsessid: termineline lagunemine ehk põlemine, pahvumine ehk plahvatuspõlemine või detonatsioon.

**Põlemine** – suhteliselt aeglane oksüdeerumine (põlemiskiirus ei ületa 400 m/s), toimub ainult siis kui lõhkeaine temperatuur ei ületa leekpunkti. Lõhkaine põleb, kui kvaliteet on madal, algimpulss liiga nõrk vms.

**Pahvumine** – põlemistsoon liigub soojusjuhtivuse teel edasi kiirusega 400-1000 m/s. Vabaneva energia hulk on sama suur kui detonatsioonil. Vabanev võimsus on suhteliselt väike (kümneid kordi väiksem kui detonatsioonil), kuna kiirus ei ole eriti suur. Pahvumine on omane paiskavatele lõhkeainetele, mille kasutamisel isegi suurte laengute puhul ei purune kivim väikesteks tükkideks.

**Detonatsioon** – rõhu järsust suurenemisest põhjustatud erakordselt kiire (kuni 9000 m/s) eksotermiliste protsesside levik aines, millega kaasneb lööklaine. Detonatsioon iseloomustab brisantsid lõhkeaineid, mille mõjul kivim puruneb.

**Lööklaine** – nähtus, mille puhul mingis keskkonnas tekib liikuv pind (lainefront), kus keskkonna tihedus, rõhk ja osakeste kiirus muutuvad hüppeliselt. Seejuures keskkond puruneb, surutakse kokku või hakkab võnkuma. Lööklaine koos sellele järgi liikuva keskkonnaga moodustab detonatsioonilaine. Lõhkeaine detoneerimisel vabaneb väga kiiresti suur hulk soojusenergiat (1,3-6,3 MJ/kg), tekib hulgaliselt gaase (0,3-1,0 m<sup>3</sup>/kg) ja kõrge rõhk. Rõhk võib teha mehhaanilist tööd. Lõhketööde tulemused sõltuvad lõhkeainete tihedusest. Peale tühimikudeta kompakse lõhkeaine tegeliku tiheduse kasutatakse puistetiheduse mõistet, mille määramisel arvestatakse ka tühimike mahtu. Tahke lõhkeaine puistetihedus on 30-60% väiksem tegelikust tihedusest ning see sõltub lõhkeaine osakeste kujust ja mõõtmetest.



## Õhulööklaine mõju poolt ohutu kauguse määramine

Lõhkeaine plahvatusel tekkiv õhulööklaine tekitab, olenevalt ülerõhu suuruselt, järgnevas tabelis näidatud intensiivsusega kahjustusi.

Tabel 4.1. *Õhulööklaine poolt tekitatavad kahjustused*

Ülerõhk kPa	Tekkivate kahjustuste intensiivsus
Alla 0,5	Kahjustuste täielik puudumine
1,5-2	Aknaklaaside juhuslikud kahjustused
3,5-7	Aknaklaaside täielik purunemine, aknaraamide ja uste vähese ulatusega kahjustused, krohvi ja kergete vaheseinte rikkumine
12	Aknaraamide, uste ja kergete vaheseinte purunemine, kergete kuuride ja barakkide purunemine
17	Tellishoonete vigastused, puitseinte suured kahjustused
22	Puitseinte purunemine, autode vigastused
28	Tellishoonete keskmised vigastused, kergete kivi- ja puithoonete purunemine, autode ja rongide ümberpaiskumine, õhuliinide vigastused
38	Tavaehitiste (elu- ja büroohooned jms) purunemine, tugevate raudbetoonehitiste vigastused

Maksimaalne inimesele mõjuv ülerõhk ei tohi ületada 10 kPa.

Õhulööklaine mõju poolest ohtliku ala piir inimesele välislaengute lõhkamisel arvutatakse järgmise valemi abil:

$$r = 15^3 \cdot \sqrt{Q}, \text{ m}$$

kus Q – lõhatava välislaengu mass, kg

Antud valemiga arvutatakse ohutu kaugus juhtudel, kui töötingimuste tõttu on tarvilik lõhketöö personali maksimaalne lähenemine lõhkamiskohale. Tavaolukorras tuleb arvutuslikku kaugust suurendada 2...3 korda. Kui töökohas on kindel varjend, võib arvutuslikku kaugust vähendada 1,5 korda.

Kuni 20 kg massiga välislaengu lõhkamisel võib aknaklaaside purunemise järgi ohtlikku ala raadiuse arvutada järgmise valemi abil:

$$r = 1000^3 \cdot \sqrt{Q^2}, \text{ m}$$

## 4.3. Liitlõhkeained

### 4.3.1. Ammooniumsalpeetrilised lõhkeained

Ammooniumnitraat e ammooniumsalpeeter  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  on ise valge kristalne pulber, mida valmistatakse lämmastikväetiste tehastes.

Ta on väga hügrokoopne ja vees hästi lahustuv. Tema kristallide tihedus on  $1700 \text{ kg/m}^3$ , temperatuuridel  $+16$  ja  $+32^\circ \text{C}$  toimub ammooniumnitraadi ümberkristallumine, millega kaasneb tema paakumine, mille tulemusena tekib tihede tugev mass. Ammooniumnitraat paakub ka pikaajalisel hoidmisel, eriti muutuva niiskuse puhul. Tema detonatsioonikiirus on  $1500 \dots 3000 \text{ m/s}$ . **Ta on paljude lõhkeainete (ammooniumsalpeetriliste lõhkeainete) põhikomponent.**

Ammooniumsalpeetrilised lõhkeained on ammooniumsalpeetri (ammooniumnitraadi) ja teiste lõhkeainete ning mitteplahvatavate ainete mehhaanilised segud, mille peamine komponent ja hapnikuandja on ammooniumsalpeeter (ammooniumnitraat). Teiste lõhkeainetena kasutatakse peamiselt aromaatses rea nitroderivaate (trotüüli, ksüülüüli, dinitronaftaliini). Mitteplahvatavatest ainetest kasutatakse peamiselt põlevaid aineid nagu puidujahu või diiselkütus.

Tänapäeval on maailmas levinuim ammooniumsalpeetiline lõhkeaine ANFO (meil varem igdaniidi nime all tuntud), mis kujutab enesest ammooniumsalpeetri mehhaanilist segu diiselkütusega (*Ammonia Nitrate + Fuel Oil*). ANFO-st mõnevõrra vähem kasutatakse ammoniite, mis on ammooniumsalpeetri mehhaaniline segu trotüüli, põlevate ainete (näiteks puidujahu) ning inertsete ühenditega. Gaasi- ja tolmuplahvatusohutud ammoniidid sisaldavad ka plahvatustemperatuuri alandavaid aineid nagu näiteks keedusool.

Ammooniumsalpeetrilised lõhkeained on suhteliselt odavad ja käsitlemisohutud. Nad on vähemtundlikud leegi, hõõrdumise ja löögi mõju suhtes.

Ammooniumsalpeetriliste lõhkeainete peamised puudused on nende vähene veekindlus (ammooniumsalpeeter lahustub hästi vees) ning nende kalduvus pikaajalisel hoidmisel paakuda. Ammooniumsalpeetrilised lõhkeained on ka väiksema töövoime ja brisantsusega kui dünamiidid.

### 4.3.2. Dünamiidid

Dünamiite ehk vedelaid nitroetreid sisaldavaid lõhkeaineid kasutatakse mäenduses mõnevõrra vähem kui ammooniumsalpeetrilisi lõhkeaineid. Dünamiitide üks peamisi komponente nitroglütseriini määrab oluliselt ka nende omadused. Külmakindlates dünamiitides kasutatakse nitroglütseriini ja nitroglükooli segu. Levinumad on dünamiidid, mis sisaldavad vähemalt 27% nitroglütseriini.

Dünamiidid sisaldavad peale nitroglütseriini ka teisi lõhkeaineid, põlevaid aineid, hapnikukandjaid ning inertseid täiteaineid. Lõhkeainetest kasutatakse lisaks nitroglütseriini ja nitroglükoolile (vähemalt üks neist peab koostises olema, et oleks tegemist dünamiidiga) veel kolloodiumpuuvilla ja/või ammooniumsalpeetrit. Hapnikukandjatena kasutatakse kaalium- või naatriumsalpeetrit (kaalium- või naatriumnitraati), põleva ainega peamiselt puidujahu ning inertse täiteainena peamiselt diatomiiti.

Dünamiitide positiivsed omadused on nende suur brisantsus, töövoime ja veekindlus. Plastilisuse tõttu saab dünamiidipadruneid laadimise ajal vardaga tihendada, mis võimaldab tõsta nende laadimistihedust.

Dünamiitide puuduseks on nende külmumine ja eksudeerimine, ka on dünamiidid ammooniumsalpeetrilistest lõhkeainetest tunduvalt kallimad.

Külmumisel muutuvad nitroglütseriini väljakristalliseerumise tõttu dünamiidi struktuur ja koostis. Külmunud dünamiiti on äärmiselt ohtlik käsitleda, sest plahvatuse võib põhjustada juba padrunikesta läbitorkamine või padruni murdumine. Veel ohtlikum on pooleldi külmunud või pooleldi ülessulatatud dünamiit. Hariliku dünamiidi kül-

mumistemperatuur on  $+10^{\circ}\text{C}$ , külmakindlatel dünaamiitidel aga  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Eksudeerimiseks nimetatakse vedelkomponentide (nitroglütseriin, nitroglükool) eraldumist dünaamiidist. Eksudatsioon esineb dünaamiitide kauaaegsel hoidmisel. Eksudeeruv dünaamiit on sama ohtlik kui vaba nitroglütseriin.

### 4.3.3. Eriotstarbelised tööstuslikud lõhkeained

**Must püssirohi** koosneb kaaliumnitraadist (75%), puusöest (15%) ja vävlist (10%). Must püssirohi võib olla kas peene- (graanulite läbimõõt 1,5-3 mm) või jämedateraline (graanulite läbimõõt 3-9 mm). Musta püssirohu puistetihedus on  $900-1000 \text{ kg/m}^3$ . Must püssirohi on ülitundlik leegi, sädemete ja hõõrdumise suhtes ning sellest tulenevalt käsitlemisohhtlik. Musta püssirohtu iseloomustab plahvatusgaaside rõhu suhteliselt aeglane tõus ning sellest tulenev plahvatusel paiskav toime. Musta püssirohtu kasutatakse tükikivi tootmiseks ja süütenööride valmistamiseks.

**Oksilikviidid** ehk vedelhapniku-lõhkeained on sellised lõhkeained, mis valmistatakse vahetult lõhkamiskohas mingi põleva aine (puusüsi, tahm, sammal, turvas, saepuru jne) vedela hapnikuga immutamisel. Oksilikviite kasutati laialdaselt 1920.-30.aastatel, tänapäeval kasutatakse neid väga harva.

**Kloraatsed ja perkloraaitsed lõhkeained** valmistatakse kloorhappe ja perkloorhappe sooladest ( $\text{KClO}_3$ ,  $\text{KClO}_4$ ,  $\text{NaClO}_3$ ,  $\text{NaClO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ ) lisades neile aromaatsed reaktiivsed nitroderivaate, nitroglütseriini ja puidujahu. Nende lõhkeainete vastuvõtlikkus detonatsiooni suhtes on võrdlemisi madal, kuid nad on võrdlemisi tundlikud mehhaaniliste mõjutuste suhtes. Tänapäeval kasutatakse kloraatsed ja perkloraaitsed lõhkeaineid mäetööstuses äärmiselt harva.

## 4.4. Plahvatus

Plahvatusel nimetatakse aine oleku ülikiiret muutust, millega kaasneb suure energiahulga vabanemine, temperatuuri järsk tõus ning lööklaine.

Plahvatusi eristatakse vabaneva energia liigi järgi:



- ▶ Tuumaplahvatused
- ▶ Füüsikalised plahvatused
- ▶ Keemilised plahvatused

**Lõhkeaine brisantsus** on lõhkeaine võime purustada plahvatusel ümbritsevat keskkonda laengu vahetus läheduses.

**Lõhkeaine töövõime (fugassilisus)** on omadus purustada plahvatusel keskkonda laengust eemal lööklaine ja plahvatusgaaside surve mõjul.

**Lõhkeaine tundlikkus** on lõhkeaine tundlikkus löögile, hõõrdele ja temperatuurile.

**Lõhkeainete detonatsioonikiirus** on lööklaine kiirus, mis kannab lõhkeaines detonatsiooni edasi. Lööklaine kiirus on alati kiirem heli kiirusest.

**Plahvatust iseloomustavad 4 tegurit**



- ▶ Rõhumuutus
- ▶ Lööklaine
- ▶ Temperatuur
- ▶ Killud

Tabel 4.2 Mõningate lõhkeainete arvestuslikud koefitsendid

LÕHKEAINE TÜÜP	EFEKTIIVSUS versus TNT
tritonaal 80/20	1,53
nitroglütseriin	1,50
segu C (plastlõhkeaine)	1,34/1,4 pentüül
segu B <sub>2</sub>	1,31
torpeks	1,25
tritonaal 90/10	1,23
tsiklotool	1,23
segu B <sub>1</sub>	1,10
endatool	1,05
<b>Trotüül</b>	<b>1,00</b>
pikratool	1,00
60% dünaamiit	0,83
60% zelatiindünaamiit	0,76
40% dünaamiit	0,65
must püssirohi	0,55
60% ammoonium dünaamiit	0,53
40% zelatiindünaamiit	0,42
40% ammoonium dünaamiit	0,41
ammoniit maa all	0,8
ammoniit õhus	0,6

Tabel 4.3 Improviseeritud lõhkeaadised. Ohutud distantsid.

Seadise kirjeldus	Lõhkeaine mass (kg) (TNT ekvivalent)	Evakuatsiooni ala ( m )	
		Hooned	Avatud ala (kildude oht)
Torupomm	2,3	21	259
Suitsiidivöö	4,5	27	330
Suitsiidivest	9	34	415
Kohverpomm	23	46	564
Kompakt sedaan	227	98	457
Sedaan	454	122	534
Minibuss	1 814	195	838
Väikeveok	4 536	263	1 143
Furgoonauto, paakauto	13 608	375	1 982
Treilerihaagis	27 216	475	2 134

Tabel 4.4 *Ohu distantsid kaitseta isikutele, kes seisavad avatud alal*  
*Distants plahvatuse kohast (meetrites)*

TNT (KG)	Kõrvatrummide purunemise võimalus	Võimalik kahjustus kopsudele	Surmasaamise võimalus
0,5	5	2	1,5
1	6	3	2
2,5	9	4	2,5
4,5	11	5	3
7	12	5,5	3,75
9	13	6	4
11,5	14	6,5	4,33
13,5	15	7	4,66
16	16	7,33	4,66
18	17	7,66	5
20,5	17,5	8	5,25
22,5	18	8,25	5,25

Tabel 4.5. *Ohu distantsid kaitseta isikutele, kes seisavad seina ääres*  
*Distants plahvatuse kohast (meetrites)*

TNT (KG)	Kõrvatrummide purunemise võimalus	Võimalik kahjustus kopsudele	Surmasaamise võimalus
0,5	7,33	3	1,75
1	9,5	3,75	2,5
2,5	12,5	5	3,5
4,5	15,75	6	4
7	18,33	7	4,66
9	19,75	7,66	5
11,5	21,66	8,25	5,5
13,5	23	8,75	5,75
16	24	9,5	6
18	25,33	9,75	6,5
20,5	26,25	10	6,75
22,5	27	10,5	6,75

Tabel 4.6. **Ohu distantsid isikutele, kes lamavad avatud paigas ning nende pead või jalad on plahvatuse suunas**

*Distants plahvatuse kohast (meetrites)*

TNT (KG)	Kõrvatrummide purunemise võimalus	Võimalik kahjustus kopsudele	Surmasaamise võimalus
0,5	4,5	2	1,25
1	6	2,5	1,5
2,5	7,5	3	2
4,5	10	4	2,5
7	11	4,5	2,75
9	12,25	5	3
11,5	13	5,25	3,25
13,5	14	5,5	3,5
16	14,5	5,75	3,75
18	15,25	6	3,75
20,5	16	6,5	4
22,5	16,5	6,75	4

## 4.5. Keemilised lõhkeained

Keemiline lõhkeaine on aine, mis lõhkeb spontaanselt või hõõrdumise, mehhaanilise mõju või soojuste toimetel. Tavaliselt mõistetakse seda kui ainet, mille esmaselt kavandatud eesmärgiks on läbi viia mingi akt, kui ta plahvatab, näiteks purustamine. Selles viimatises tähenduses eristatakse keemilisi lõhkeaineid teatud teistest ainetest nagu bensiin või põlevad gaasid, mis konteinerites juhul, kui neid süüdata plahvatavad samuti. Neid eristatakse ka tuumakütustest, mis plahvatavad teatud tuumanähtuste tõttu.

Keemilisi lõhkeaineid on sajandite jooksul kasutatud kahel peamisel viisi. Sõja ajal kasutatakse neid kahurväes ja teistes väeliikides laskemoonana selleks, et purustada linnu, põhja lasta laevu ja tappa vaenlasi. Rahuajal aitavad nad maakide kaevandamisel, naftapuurkaevudes, tunnelite ehitamisel läbi mägede, maa puhastamisel ja maa-aluste kaljumoodustiste vabastamisel; nad on samuti spordi- jm.laskemoona koostisosaks. Keemilised lõhkeained on ka vahendiks võitluses suurte kontrolli alt väljunud põlengute kustutamisel teatud piirkondades nagu naftaväljad, preeriad, suured metsad või suurlinnade osad. Neis olukordades on lõhkeaine vahend tuletõkkeriba tekitamisel tule edasise leviku takistamiseks.

Õnneks enamik inimesi oskab hinnata lõhkeainetega seotud ohu astet. Seega hoitakse lõhkeaineid eraldi aladel luku taga ja nende olemasoluga tuleb harva arvestada tavalises hädaolukorras, kuhu on välja kutsutud tuletõrje. Siiski, kuigi harva, võivad keemilised lõhkeained tulega seotud õnnetustel, kaasa arvatud transporditõnnetused, arvesse tulla.

Lõhkeainete eksperdid kinnitavad, et enamikku lõhkeainetega seotud õnnetusi oleks saanud vältida. Selliseid õnnetusi saab vältida siiski vaid siis, kui lõhkeainete transpordiks, ladustamiseks ja käsitsemiseks on kehtestatud ohutusreeglid. Iga kord, kui keemilisi lõhkeaineid kavatakse kasutada mingiks eesmärgiks, tuleb läbi viia vastav koolitus lõhkeainete kasutamisest.

Keemiline lõhkeaine on väga reaktsioonivõimeline aine. Kui teda ei plaanita tulevikus kasutada, tuleb ta hävitada. Lõhkeainet tuleb kasutada, säilitada ja temast vabaneda kui ohtlikust jäätmest vastavalt seaduses ette nähtud reeglitele. Oleme eelnevalt vaadelnud mitmesuguseid viise, kuidas ohtlik jääde võib ilmutada reaktiivset iseloomu. Reaktiivsus võib ilmneda omadustes, mis on seotud jäätme võimaliku plahvatava loomusega. See esineb juhul, kui vastaval jäätmepruovil on mõni alljärgnevatest omadustest:

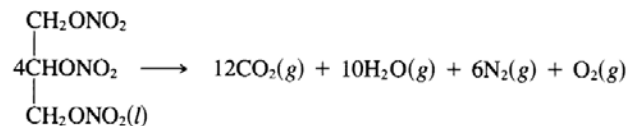


- ▶ ta on tavaliselt ebastabiilne ja teeb ilma plahvatamata läbi ägedad muutused;
- ▶ ta on võimeline plahvatuseks või plahvatuslikeks reaktsioonideks tugeva initsieeriva allika olemasolul või kuumutamisel kinnises ruumis;
- ▶ ta on võimeline plahvatuseks või plahvatuslikeks reaktsioonideks tavalisel temperatuuril ja rõhul;
- ▶ ta on keelatud lõhkeaine.

## 4.6. Lõhkeainete omadused ja klassifikatsioon

Kui lõhkeaine plahvatab, teeb ta äkki läbi väga kiire keemilise muutuse lihtsate ainete moodustumisel gaasideks ja aurudeks, millega koos vabaneb suur hulk energiat. Mõned neist lihtsatest ainetest, milleks lõhkeaine tavaliselt muundub, on süsinikmonooksiid, süsinikdioksiid, lämmastik, hapnik ja veeaur. Need ained absorbeerivad osa plahvatusel samaaegselt vabanevast energiast. See põhjustab nende kiire kuumenemise ümbritseva keskkonna temperatuurilt väga kõrgete temperatuurideni, tavaliselt 3000°C. Temperatuuritõus põhjustab nende samaaegse paisumise nii kiiresti, et nad avaldavad ümbritsevale keskkonnale ülimalt kõrget rõhku.

Vaadeldgem lõhkeainet nitroglütseriini. Kui ta plahvatab, muundub ta süsinikdioksiidiks, lämmastikuks, hapnikuks ja veeauruks. Üks gramm nitroglütseriini laguneb vähem kui ühe miljondiku sekundi jooksul. Seda nähtust kirjeldab järgmine võrrand:



Pangem tähele, et selleks plahvatuseks pole õhuhapnik vajalik. Teisest küljest, hapniku aatomid on tavaliselt enamiku keemiliste lõhkeainete koostises. Keemilise lõhkeaine detonatsioon on oksüdeerimis-redutseerumisreaktsiooni näide, milles lõhkeaine on nii oksüdeeruv kui redutseeruv agent.



### Joonis 4.1.

Keemilise lõhkeaine detonatsiooni võib tekitada mitmel viisil nagu kuumuse või mehaanilise mõjuga. Detonatsioon tekitati ka pulseerivate kõrge energiasaldusega röntgenikiirtega. Röntgenikiirte allikas asus kuplikujulises ehitises ja see on osa Dünaamilisest Testimisosakonnast Los Alamoses Riiklikus Laboratooriumis. Seadet kasutatakse plahvatuste ja lõhkeainete omaduste uurimiseks.

Plahvatusese kaasnevatel kõrgetel temperatuuridel reaktsiooniproduktid paisuvad, võttes enda alla ruumala, mis on peaaegu 10 tuhat korda suurem algruumalast. Plahvatusesega kaasnev samaaegne rõhutõus põhjustab plahvatusese füüsikalise mõju, nagu näha joonisel 4.1. See paisumine levib tavaliselt kiirusega, mis on helikiirusest suurem, tuues kaasa lööklained ja ebatavaliselt valju heli. Need lööklained on põhjuseks plahvatusese purustusjõule, mida nimetatakse **brisantsiks** (*brisance*). Brisantsus on tähtis tegur keemilise lõhkeaine valikul teatud eesmärkideks, nagu näiteks kalju purustamine raudtee ehitamisel.

Mõned kaubastatavad keemilised lõhkeained on tegelikult ainete segud, mis sisaldavad oksüdeerijat, nagu ammoniumnitraat. Need ainete segud plahvatavad mitme nähtuse kombinatsiooni tulemusena; tavaliselt oksüdeerija laguneb termiliselt, andes seega lõhkeainele liisahapnikku.

Üksikuid keemilisi lõhkeaineid võib klassifitseerida ühte kahest võimalikust grupist, mis on seotud plahvatusese kiiruse ja tundlikkusega: **brisantsed** ehk plahvatavad ja **madalad** ehk süttivad. Nende kahe grupi vahel pole selget eristusjoont ei kiiruses ega löögitundlikkuse osas: need terminid on kasutatavad vaid suhtelises tähenduses. Brisantsete lõhkeainete puhul toimub keemiline muundumine küllalt kiiresti, kuna süttivad lõhkeained transformeeruvad sadu kordi aeglasemalt ja tavaliselt ka raskemini. Detonatsioonikiirus võib brisantsete lõhkeainete puhul ulatuda 6000 m/sek, kuid süttivate lõhkeainete puhul on see vaid 270 m/sek. Teisest küljest, mõnede kõrgeks lõhkeaineks peetavate ainete detonatsiooniks on vaja lõhkepead või sarnast aktiveerivat seadet. Selline lõhkeainete klassifikatsioon brisantseteks süttivateks ei ole täiel määral rahuldav, sest mõnda ainet saab liigitada ükskõik kumba klassi sõltuvalt nende olekust. Suitsuta püssirohtu, näiteks, on tavaliselt peetud süttivaks lõhkeaineks; kuid õigete tingimuste korral sarnaneb ta detonatsioon brisantsel lõhkeaine omaga.

Keemilisi lõhkeaineid saab liigitada ka **primaarseteks** ja **sekundaarseteks** lõhkeaineteks. Primaarsed lõhkeained on ebastabiilsed ained, mis on erakordselt tundlikud soojuse, mehaanilise löögi ja hõõrdumise suhtes; tüüpilised primaarsed lõhkeained on tinaasiid ja elavhõbefulminaat. Nendega võrreldes on sekundaarsed lõhkeained ained, mis on suhteliselt vähe tundlikud soojuse, mehaanilise löögi ja hõõrdumise suhtes. Nende detonatsiooniks on tavaliselt vaja võimendit (*booster*). Tüüpilised sekundaarsed lõhkeained on tsükloniit, tetrüül ja PETN. Süttivaid lõhkeaineid ei tohi pidada väiksema ohupotentsiaaliga aineteks; samuti ei tohi sekundaarsete lõhkeainetega seostatavat madalat tundlikkust pidada stabiilsuse märgiks. Tegelikult lõhkeained süttivad sageli; st. nad põlevad intensiivselt ja püsivalt. Süttivad lõhkeained võivad siiski ka plahvatada, tekitades plahvatuskohas suuri kahjusid. Enamgi, nii primaarsed kui sekundaarsed lõhkeained omavad märkimisväärset brisantsusi.

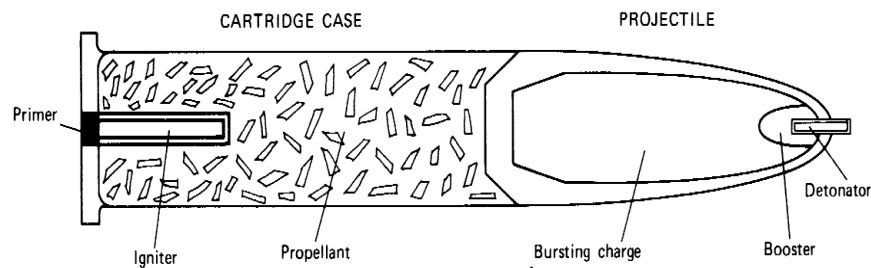
Keemilisest vaatepunktist võib lõhkeainete ebastabiilset loomust mõista, uurides selle koostises olevate aatomite oksüdatsioonipotentsiaali. Paljud lõhkeained sisaldavad oma struktuuris üht või mitut pürotehniliselt aktiivset gruppi või aatomit. Neid gruppe või aatomeid nimetatakse **eksplosofoorideks** (*explosophores*). Eksplosofoorid aine struktuuris annavad talle tõenäoliselt plahvatuspotentsiaali. Paljud orgaanilised ühendid on loomult ebastabiilsed, kui nad sisaldavad ükskõik millist eksplosofoori. Mõningatel juhtudel on kõik orgaanilised ühendid, mis sisaldavad teatud kindlat eksplosofoori, ebastabiilsed. Näiteks, orgaanilised asiidid on ühendid, mis sisaldavad asiidrühma  $-N_3$ ; kõik orgaanilised asiidid on potentsiaalsed lõhkeained.

Miks kalduvad ühed ühendid kergemini plahvatama kui teised? Lõhkeainete molekulaarse struktuuri uurimine näitab, et lõhkeainete koostises on sageli lämmastiku aatomid. Tegelikult, kõige sagedamini ettetulev eksplosofoor kaubastatavates lõhkeainetes on **nitrorühm**  $-NO_2$ . Kui ühes orgaanilise aine molekulis on mitu nitrorühma, on see aine sageli keemiliselt ebastabiilne. Seda illustreerivad sellised kaubastatavad lõhkeained nagu nitroglütseriin, nitrotselluloos, nitrotolueen, PETN ja pikriinhape.

### 4.6.1. Kahurväe laskemoon

Individaalse keemilise lõhkeaine tundlikkus võib olla kõrgelt hinnatud, kui uurida, millist funktsiooni iga koostisosa kahurilaskemoona laengus täidab. Joonis 4.2 kujutab tüüpilist kahurimürsku. Selle komponente liigitatakse kuude ossa, millest igaühel on erineva suurusjärguga unikaalne põlemis- või plahvatusfunktsioon:



Joonis 4.2 **Kahurimürsu läbilõige**

1. **Süütelaeng** (*primer*): Kahurväemürsus on süütelaeng segu oksüdeerijast, nagu kaaliumkloraat ja mõnest teisest suvalisest aimest, mis kergesti põleb. See segu on tavaliselt kapslis või torus, mille üht otsa aktiveeritakse löögiga, nagu näiteks löökurist
2. **Sütik** (*igniter*): Lõhkelaeng on peaaegu alati sütiku osas. Musta püssirohu koostisosade vahel toimuvad oksüdatsiooni-taandusreaktsioonid kutsuvad esile süütelaengu põlemisel tekkiv soojus.
3. **Paiskelaeng** (*propellant*): See on selline materjal nagu suitsuta püssirohi, mis süttib ja moodustab suhteliselt suure gaaside ja aurude ruumala. Kahurväemürsus on ta hulk taotluslikult piiratud, et takistada põhiplahvatust, kuid küllaldane selleks, et tekitada mürsu edasiviimiseks vajalik ruumala. Paiskelaengu lõhkeaine on õhukese vaheseinaga füüsikaliselt eraldatud teistest keemilistest lõhkeainetest mürsus.
4. **Detonaator** (*detonator*): See mürsu komponent plahvatab mehhanilisest löögist, mille ta saab, kui lendav mürsk puutub kokku eesmärgiga. Suurtükimürsus võib seda olla ainult piiratud koguses.
5. **Võimendi** (*booster*): See mürsu komponent plahvatab detonaatori plahvatusel tekkinud soojusest. Nagu detonaatorgi võib võimendi olla piiratud selle hulgaga, mis tekitab soovitud brisansi. Võimendi funktsioon on intensiivistada brisansi, mis tekib detonaatori plahvatusel.
6. **Lõhkelaeng** (*bursting charge*): See on tavaliselt brisantne lõhkeaine, mis plahvatab võimendi plahvatusel tekkinud löögist. See on pealaeng ja seda on kahurimürsus küllaldaselt määral brisansi tekitamiseks, mis põhjustaks kavandatud purustused.

Sündmuste ahelat süütelaengu aktiveerimisest kuni lõhkelaengu plahvatuseni nimetatakse **plahvatusrongiks** (*explosive train*). Plahvatusrongi iga komponent peab õigesti funktsioneerima selleks, et mürsk oleks efektiivne.

Kõiki teisi laskemoona liike võib vaadelda kahurimürsu modifikatsioonidena. Vintpüssikuul, näiteks, sisaldab ainult süütelaengut ja paiskelaengut või süütelaengut, sütikut ja paiskelaengut; mürsk on tavaliselt metallimass, nagu seatina- või teraskuulikesed. Tavaline pomm on samuti kahurimürsu modifikatsioon, kuid selles pole paiskelaengut, sest detonaator plahvatab jõu tõttu, mis tekib pommi langemisel suurest kõrgusest.

Kui lõhkeaineid kasutatakse mittesõjalistel lõhkamisesmärkidel, pole paiskelaeng samuti tavaliselt vajalik. Neil juhtudel on lõhkepeas ettenähtud hulk brisantset lõhkeainet, mis tavaliselt pannakse plahvatama võimendi abil. Mürsk, mis sisaldab lõhkelaengut ja võimendi, ühendatakse mitmesaja meetri pikkuse metalltraadiga ja aktiveeritakse plunger-tüüpi magnetseadme abil ohutult distantsilt.

## 4.7. Tuletõrjes ettetulevad keemilised lõhkeained

USA föderaalset, osariikide ja kohalikud reeglid ja seadused nõuavad, et keemilisi lõhkeaineid hoitaks spetsiaalselt ehitatud piirkonnas, mida nimetatakse **sõjamoonalao**ks, sellises nagu on kujutatud joonisel 4.3. OSHA määrab viisi, kuidas sõjamoonaladusid tuleb ehitada ja hoida, samuti ka viisi, kuidas lõhkeaineid neis hoida tuleb.

Üldreeglina ei tohi brisantseid lõhkeaineid hoida koos lõhkepeade, süütelaukude ja detonaatoritega ja neid võib hoida vaid minimaalsetes hulkades, mis on vajalik püstitatud eesmärkide saavutamiseks kindlaks määratud ajavahemiku jooksul. Kus iganes võimalik peavad sõjamoonalad olema sadade meetrite kaugusel lähimatest hoonetest, või mis iganes vahemaal, mis füüsiliselt võimalik on. Ladustamissoovitused peavad olema kooskõlas tervele mõistuse omaste ettevaatusabinõudega, mis soovib lõhkeainete kasutajatele võtta tarvitusele abinõud, et takistada lõhkeainetel põlenguisse sattumast. Kuigi põleng põhjustab lõhkeaine põlemise, põlengukuumus võib olla ka plahvatuse teket initsieerivaks mehhanismiks.



### Joonis 4.3

*Foto esiplaanil on müüritisest punker. Kõik selle komponendid on kuuli-, ilmastiku- ja tulekindlad. Kogu katus on liivaga kaetud, välja arvatud siseventilatsiooniks vajalikud struktuurid. Sõjamoonalao sees hoitakse lõhkeaineid siledal pinnal stabiilses konfiguratsioonis, ülemised pooled ülalpool. Sisemust ventileeritakse, et takistada niiskust ja lõhkeainete kuumenemist. Sõjamoonaladu ümbritsev maa-ala hoitakse puhas iga-sugusest põlevast materjalist kuni 10 meetri kauguseni.*

Üldreeglina põlenguid, kus võivad osaleda lõhkeained, ei tohiks tegelikult kustutada, kuigi tuleb rakendada kõik jõupingutused, et tuli laskemoonaladudeni ei jõuaks. Tegelik plahvatus tüüpilises olukorras võib purustada linnaosa suuruse maa-ala ja mõjuda kaugemalgi inimestele kahjulikult. Niisiis, et piirata võimalike õnnetuste arvu, tuleb põlengu korral pealtvaatajatest ja tuletõrjujatest vabastada ala, mis on vähemalt 800 m põlengust.

Kui transpordiga seotud õnnetuses on tegemist lõhkeainetega, ei tohi neid transpordivahendist eemaldada enne, kui lõhkeainekspert saab kontrollida seda tegevust. Kui lõhkeainete hävitamine muutub möödapääsmatuks, saavad tuletõrjeüksused üldiselt abi lõhkeainetootjatelt, seadusi täideviivatelt agentuuridelt ja inspeksioonidelt ja korrakaitseorganitelt ning lõhkeainete kasutajatelt.

## 4.8. Keemilised lõhkeained ja USOOT-i määrused

USDOT reguleerib keemiliste lõhkeainete ja neid sisaldavate toodete transporti. USDOT tunnistab ohtlike ainete klassi 1 (lõhkeainete) viit alajaotust. Need alajaotused on järgmiselt määratletud:

**Alajaotus 1.1:** Ained ja kaubaartiklid, millel on massiplahvatusoht.

**Alajaotus 1.2:** Ained ja kaubaartiklid, millel on projektsioonioht, kuid puudub massiplahvatusoht.

**Alajaotus 1.3:** Ained ja kaubaartiklid, mis on tuleohtlikud ja väikese plahvatusohuga või väikese projektsiooniohuga või mõlema ohuga, kuid millel puudub massiplahvatusoht.

**Alajaotus 1.4:** Ained ja kaubaartiklid, millel pole mingit märkimisväärset ohtu.

**Alajaotus 1.5:** Väga vähetundlikud ained, millel on massiplahvatusoht.

Transpordieesmärkidel peavad lõhkeainete vedajad hindama antud lõhkeaine või plahvatusohtliku toote ühtesobivusgrupi. On olemas 12 ühtesobivusgruppi, mida tähistatakse suurte tähtedega: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, või S. Ühtesobivusgrupi omistamine põhineb plahvatusohtliku aine või kaubaartikli loomusel vastavalt tabelis 4.7 esitatud klassifikatsioonile. Plahvatusohtliku aine või kaubaartikli transpordiks klassifitseerimisel, saavad transportijad sellega lihtsalt hakkama, kui nad vaatavad Ohtlike Materjalide Tabeli veergu 3. USDOT nõuab, et ainete ühtesobivusgrupid oleks esitatud klassi 1 lõhkeainete 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 ja 1.5 siltidel, mis on pakendile kinnitatud.

Tabel 4.7. Ühtekuuluvusgrupi määramine

Plahvatusohtlik kaubaartikkel või aine	Alajaotus	Ühtekuuluvusgrupp
Primaarne lõhkeaine	1.1	A
Artikkel, mis sisaldab primaarset lõhkeainet ja ei sisalda kaht või enam kaitseomadust	1.2, 1.2, 1.4	B
Paiskelõhkeaine või mõni muu süttiv lõhkeaine või kaubaartikkel, mis neid aineid sisaldab	1.2, 1.2, 1.3, 1.4	C
Sekundaarne lõhkeaine või must püssirohi kaubaartikkel, mis sisaldab sekundaarset lõhkeainet, mis kõikidel nimetatud juhtudel on ilma initsiaatorita ja ilma paiskelaenguta või kaubaartikkel, mis sisaldab primaarset lõhkeainet ja sisaldab kaht või enam kaitseomadust	1.2, 1.2, 1.4, 1.5	D
Kaubaartikkel, mis sisaldab sekundaarset lõhkeainet, mis on ilma initsiaatorita, paiskelaenguga (mis ei sisalda süttivat või isesüttivat vedelikku)	1.2, 1.2, 1.4	E
Kaubaartikkel, mis sisaldab sekundaarset lõhkeainet, mis on koos initsiaatoriga, paiskelaenguga (mis ei sisalda süttivat või isesüttivat vedelikku) või paiskelaenguta	1.2, 1.2, 1.3, 1.4	F
Pürotehniline aine või kaubaartikkel, mis sisaldab pürotehnilist ainet või kaubaartikkel, mis sisaldab nii lõhkeainet kui illumineerivat ainet, süütavat ainet, lakrimaatorit või suitsutekitajat ainet (välja arvatud vees aktiveeruvad ained või ained, mis sisaldavad valget fosforit, fosfiide või süttivat vedelikku või geeli)	1.2, 1.2, 1.3, 1.4	G
Kaubaartikkel, mis sisaldab nii lõhkeainet kui valget fosforit	1.2, 1.3	H
Kaubaartikkel, mis sisaldab nii lõhkeainet kui süttivat vedelikku või geeli	1.1, 1.2, 1.3	J
Kaubaartikkel, mis sisaldab nii lõhkeainet kui toksilist keemilist agent	1.1, 1.3	K
Plahvatusohtlik kaubaartikkel või aine, mis sisaldab lõhkeainet ja kujutab eririski, mis vajab ükskõik millist liiki eraldamist	1.1, 1.2, 1.3	L
Kaubaartikkel või aine, mis on nii pakendatud või disainitud, et igasugused ohtlikud toimed, mis tekivad juhuslikust tegevusest, on piiratud pakendiga välja arvatud juhul, kui pakend on põlengus kahjustatud, millisel juhul on kõik lõhke- või paiskeefektid piiratud sinnani, et nad ei takista märgatavalt tuletõrjetegevust või muud hädaabitegevust pakendi vahetus läheduses	1.2, 1.2, 1.3, 1.4	S

Teatud keemiliste lõhkeainete ja plahvatusohtlike kaubaartiklite puhul ilmub Ohtlike Materjalide Tabeli veerus 3 sõna "keelatud" (*Forbidden*). Nagu teiste ohuklasside puhulgi tähendab see, et USDOT keelab selle pakkumise ja vastuvõtmise transpordiks. Need viimatinimetatud lõhkeained, mida nimetatakse **keelatud lõhkeaineteks** (*Forbidden Explosives*) on esitatud tabelis 4.8.

Tabel 4.8 Keelatud lõhkeained

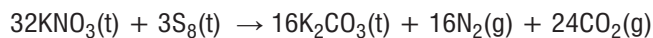
Plahvatavad ühendid, segud või seadmed, mis on isesüttivad või mis alla 75°C 48 tunni jooksul lagunevad märgatavalt.  
 Uued lõhkeained, segud või seadmed, välja arvatud kui on teisiti ette nähtud.  
 Plahvatavad segud või seadmed, mis sisaldavad mingit ammoniumsoola ja metallikloraati.  
 Plahvatavad segud või seadmed, mis sisaldavad mingit happelist metallisoola ja metallikloraati.  
 Lekkivad või kahjustatud lõhkeainete pakendid.  
 Nitroglütseriin, dietüleenglükoolidinitraat või teised vedelad lõhkeained, kui see pole teisiti määratud.  
 Laetud tulirelvad.  
 Ilutulestikud, kus on koos lõhkeaine ja detonaator või lõhkepea.  
 Ilutulestikud, kus kasutatakse koos kollast ja valget fosforit.  
 Mängutorpeedod, mille maksimaalne välismõõde on suurem kui 7/8 tolli või mängutorpeedod, mis sisaldavad kaaliumkloraaadi, musta antimoni ja väävli segusid juhul kui lõhkesegu keskmine kaal ühes torpeedos on suurem kui neli graani.

Lõpuks, neil pakendeil, mida kasutatakse keemiliste lõhkeainete ja plahvatusohtlike kaubaartiklite ekspedeerimisel on spetsiaalsed markeeringud. USDOT nõuab, et pakendile oleks märgitud netokaal ja õige ekspedeerimisnimi, millele on lisatud kirjeldav tekst materjali kaubandusliku või sõjandusliku nimega. Lisaks märgistavad ekspedeerijad pakendid, mis sisaldavad keemilisi lõhkeaineid ja plahvatusohtlike kaubaartikleid spetsiaalsete hoiatustega. Näiteks, kui transporditakse sütikuid on nende pakendid vastavalt järgmiselt märgistatud: KÄSITSE ETTEVAATLIKULT – ÄRA HOIA VÕI LAADI KOOS BRISANT-SETE LÕHKEAINETEGA (*Handle Carefully – Do Not Store or Load With Any High Explosives*). See märgistuste kombinatsioon saadab ühese sõnumi tuletõrjujatele ja kõigile, kes puutuvad kokku selliste pakenditega, vastates õnnetusjuhtumitele, mis on lõhkeainetega seotud.

## 4.9. Püssirohi (*Black Powder*)

Lõhkeaine, mida tuntakse püssirohu nime all on peenike söe, väävli ja kas kaalium- või naatriumnitraadi segu. See on süttiv lõhkeaine, mida mõnikord kasutatakse lõhkamisagendina; teda kasutatakse ka illuminatsioonisegude koostises ja teatud laskemoona kujul. Püssirohu variatsioon, nimetusega must püssirohi, on segu 15 massiosast söest, 10 massiosast väävlist ja 75 massiosast kaaliumnitraadist.

Kui segu initsieerida, öeldakse, et ta “plahvatab”. Kui must püssirohi plahvatab, siis tegelikult ta komponendid astuvad oksüdatsiooni-taandusreaktsiooni järgmise võrrandi kohaselt:



Teiste sõnadega, must püssirohi tegelikult ei plahvata: ta süttib. Sellele vaatamata on nähtus nii tormiline, et ta sarnaneb plahvatusega. Enamgi, püssirohi on nii reaktsioonivõimeline ainete segu, et teda tuleb alati hoida, transportida käsitseta ja kasutada nii, nagu oleks tegemist lõhkeainega.

USDOT seadustab püssirohu transpordi sarnaselt lõhkeainetele. Granuleeritud ja kokkupressitud püssirohu pakendeid märgistatakse LÕHKEAINE 1.1D; nende transpordi vahendid sildistatakse LÕHKEAINE 1.1D (*Explosive*).

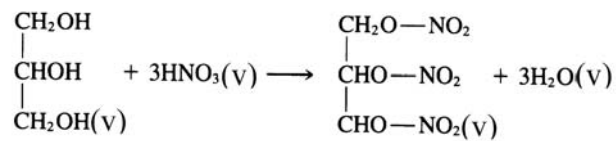
## 4.10. Nitroglütseriin (*Nitroglycerin*)



Puhas nitroglütseriin on õline vedelik, mis välimuselt sarnaneb veega. Kaubanduslik produkt on siiski kahvatukollane ja viskoosne. Mõned teised nitroglütseriini omadused on ära toodud tabelis 11.3.

Keemiliselt on nitroglütseriini õige nimi glütserüültrinitraat. See on ester, mitte nitroorgaaniline ühend. Ta saa-

dakse glütserooli, trihüdroksüalkoholi tilgutamisel lämmastik- ja väävelhappe jahutatud segusse. Süntees toimub järgmise võrrandi kohaselt, kus **väävelhape** osaleb katalüsaatorina:



Nitroglütseriin on eriti tundlik löögi suhtes. Tema põlemine võib kergelt muutuda detonatsiooniks, iseäranis suurte lõhkeainekoguste juures. Väike nitroglütseriini kogus põleb rahuliku sinise leegiga. Ta on brisantne lõhkeaine. Kui nitroglütseriin plahvatab, on tekkiv plahvatusjõud umbes kolm korda suurem kui samal hulgal püssirohul ja see toimub 25 korda kiiremini. Kerge puudutus, koputus või löök vastu kõva pinda paneb nitroglütseriini kindlasti plahvatama. Kõrge tundlikkuseastme tõttu kasutatakse teda otseselt lõhkeainena harva. Plahvatamisel laguneb nitroglütseriin süsinikdioksiidiks, veeauruks, lämmastikuks ja hapnikuks.

Kuumutades nitroglütseriini 177°C, plahvatab ta spontaanselt. –NO<sub>2</sub> eksplosofoorid reageerivad keemiliselt iga nitroglütseriini jäägi molekuliga. Isedetonatsiooni võib initsieerida teisel viisil. Ekspositsioonil õhuniiskusele kaldub nitroglütseriin hüdrolüüsumaa, moodustades glütserooli ja lämmastikhappe segu. See segu võib spontaanselt laguneda. Järelikult korduvalt õhule eksponeeritud nitroglütseriin moodustab tõenäoliselt kahtlase segu, mis võib väiksemagi ärrituse korral plahvatada.

Nitroglütseriin on ka mürgine allaneelamisel, sissehingamisel ja absorptsiooni puhul nahka. Ta kutsus esile väikeste veenide, kapillaaride ja südame veresoonte laienemise, millega kaasnevad suured peavalud, näo punetus ja vererõhu langus. Seda nitroglütseriini omadust võib aga ära kasutada meditsiinis südame ja teatud veresoonekonna haiguste ravis. Selleks eesmärgiks nitroglütseriin lahustatakse alkoholisis või atsetoonis ja teda nimetatakse nitroglütseriini piirituse (*Spirits of Nitroglycerin*). Seda nitroglütseriini piiritust kasutatakse ka nitroglütseriini tablettide valmistamiseks.

Tabel 4.9. Nitroglütseriini mõningad füüsikalised omadused.

Tihedus, g/cm <sup>3</sup>	1,59
Sulamistäpp, °C	13,2
Detonatsioonikiirus ( <i>Detonation Velocity</i> ), km/s	7,8
Tundlikkus ( <i>Sensitivity</i> )	Väga kõrge (peaaegu primaarne lõhkeaine)

Tabel 4.9 näitab, et nitroglütseriin on keelatud lõhkeaine. Kui ta tundlikkust on vähendatud, seadustab USDOT nitroglütseriini transporti nagu 1.1D klassi lõhkeainetel. Desensibiliseeritud nitroglütseriini pakendid on sildistatud "1.1D Lõhkeaine" (*Explosive*) ja nende transport on märgistatud "1.1D Lõhkeaine". USDOT reguleerib nitroglütseriini piirituse transporti, mis sisaldab 1 kuni 10 massi% nitroglütseriini alkoholisis samuti kui süttivate vedelike transporti. Nitroglütseriini piirituse konteinerid on märgistatud sildiga "Tuleohtlik vedelik" (*Flammable Liquid*) ja nende transportvahendid on sildiga "Tuleohtlik" (*Flammable*).

## 4.11. Dünamiit (*Dynamite*)

1867. aastal Rootsi insener Alfred Nobel avastas, et nitroglütseriini võib absorbeerida poorsetele materjalidele nagu ränimuld. Saadav materjal oli käsitlemisel palju ohutum kui vedel nitroglütseriin, see aine sai tuntuks dünamiidina. Nobel teenis selle avastusega ja järgneva tootmisega varanduse, mida ta osaliselt kasutas maailmakuulsale Nobeli preemia fondi asutamiseks.

Dünamiit pole üksnes ohutum käsitseda kui nitroglütseriin; tema transpordi ja kasutamisega kaasneb samuti väiksem plahvatusoht. Tegelikult on dünamiidi käsitlemine nii ohutu, et tema plahvatama panemiseks on vajalik

lõhkepea. Vaatamata sellele faktile on dünaamiit brisantne lõhkeaine ja tundlik kuumutamise, löögi ja hõõrdumise suhtes.

Kaasajal toodetakse dünaamiiti nitroglütseriini absorbeerimisel puidulaastudele, saepurule, jahule, tärklisele ja sarnastele süsinikku sisaldavatel materjalidel. Happevastase vahendina lisatakse sageli kaltsiumkarbonaati spontaansel lagunemisel tekkiva lämmastikhappe neutraliseerimiseks. Külmutusvastase agendina lisatakse tihti etüleenglükooli dinitraati ja samuti lisatakse oksüdeerijaid. See ainete segu pakitakse silindrilistesse rullidesse, mis on valmistatud vahapaberist ning mille diameeter varieerub 2-20 cm ja pikkus 10-76 cm. Tüüpiline dünaamiidivarras võib olla silinder mõõtudega umbes  $3,8 \times 20$  cm ja kaaluga umbes 230 g.

Tänapäeval on dünaamiit tavaliselt kolmes vormis: **ammooniumdünaamiit**, **puhas dünaamiit** (*Straight Dynamite*) ja **želatiindünaamiit** (*Gelatin Dynamite*). Kõik kolm vormi sisaldavad ülalkirjeldatud segu, kuid ammooniumdünaamiit ja puhas dünaamiit sisaldavad oksüdeerijana vastavalt ammooniumnitraati ja naatriumnitraati, želatiindünaamiit sisaldab umbes 1 massi% nitrotselluloosi, mida lisatakse nitroglütseriini paksendamiseks ja dünaamiidile plahvatusjõu lisamiseks plahvatusel. Želatiindünaamiit on löögile ja hõõrdumisele vähem tundlik kui ammooniumdünaamiit ja puhas dünaamiit; märkigem, et ta võib sisaldada ka nitroglütseriini üle 30% enam kui kaks ülejäänud vormi.

Tabel 4.10 **Mõnede dünaamiidivormide füüsikalised omadused**

	Puhas dünaamiit	Ammooniumdünaamiit	Želatiindünaamiit
Tihedus	1,3	0,8-1,2	1,3-1,6
Keemiline koostis	20%-60% nitroglütseriini sõltuvalt liigist naatriumnitraat, süsinikku sisaldav materjal, happevastane aine ja niiskus	20%-60% nitroglütseriini sõltuvalt liigist ammoonium-nitraat, süsinikku sisaldav materjal, väävel, happevastane aine ja niiskus	20%-60% nitroglütseriini sõltuvalt liigist, želatiniseeritud nitrotselluloosis
Detonatsioonikiirus (km/s)	4-6	0,8-1,2	0,7-1,1
Tundlikkus	Kõrge	Kõrge	Kõrge

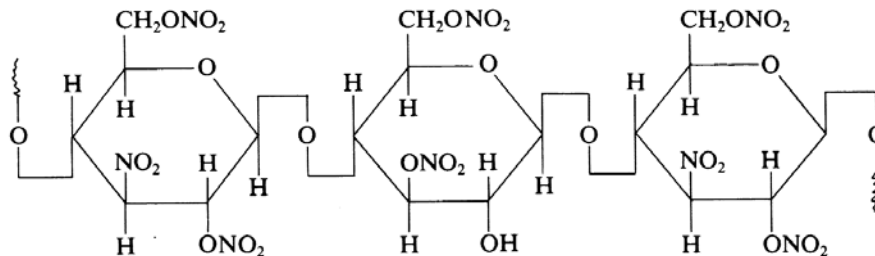
Hoolimata dünaamiidi suhtelisest ohutusest võrreldes nitroglütseriiniga, sisaldab dünaamiit siiski nitroglütseriini. Järelikult, kui ta plahvatab, tekitab ta sama suure plahvatusjõu, kui ekvivalentne hulk nitroglütseriini. Põlengutes dünaamiit vahel ainult põleb; kuid põlengu kuumus võib esile kutsuda ka dünaamiidi plahvatusel. Neil põhjustel ei tohi dünaamiidipõlenguid kustutama minna.

1920-ndate kuni 1930-ndate aastateni oli dünaamiit rahuaja eesmärkidel kõige sagedamini kasutatud lõhkeaine. Kuid sageli esines juhuslikke dünaamiidiplahvatusi, eriti vana dünaamiidi käsitsemisel. Ilmusid uued lõhkeained, mis olid kaugelt ohutumad transportida, hoida ja kasutada, võrreldes dünaamiidiga. Need uued lõhkeained asendasid laias laastus dünaamiidi; näitks olgu vee-geeli padrun.

USDOT reglementeerib dünaamiidi transpordi 1.1D lõhkeainena. Õige ekpedeerimisnimetus on "Lõhkeaine, lõhkav (blasting), tüüp A". Dünaamiidi konteinerid sildistatakse LÕHKEAINE 1.1D; nende transpordi vahendid sildistatakse LÕHKEAINED 1.1D.

## 4.12. Nitrotselluloos (*Nitrocellulose*)

Nitrotselluloos e.püroksüliin on lõhkeaine, mida toodetakse puuvilla reaktsioonil lämmastikhap-  
pega. Aine on polümeer<sup>1</sup>, mille keemiline ehitus sarnaneb järgmisega:



Väliselt on nitrotselluloos valge tahke aine, mis enne selle füüsikalist muutmist sarnaneb puuvillaga. Selleks, et teda lõhkeainena kasutada, võib teda vormida, geeliks muuta, helvesteks teha või granuleerida või pulbristada ja teda võib kasutada kuivalt või niisutatult veega või etüülalkoholiga.

Kuiva nitrotselluloosi peetakse tavaliselt süttivaks lõhkeaineks<sup>2</sup> s.o plahvatamise asemel ta süttib sageli. Ta leekpunkt on ainult 13° C. Nitroselluloosi põlemisel praktiliselt suitsu ei teki; ta põlemisproduktid on süsinikmo-  
nooksiid, veeaur ja lämmastik, mitte lämmastikdioksiid. Nitrotselluloosi ja nitroglütseriini segu nimetatakse sageli suitsuta püssirohuks, sest kõik ta põlemisproduktid on värvitud. Kuivana on nitrotselluloos väga tundlik hõõrdumise suhtes ja ta on märkimisväärselt tule- ja plahvatusohtlik. Nitrotselluloos põleb kiiremini kui praktiliselt ükski tahke aine. Põlengu puhul võivad tonnid nitrotselluloosi minutite jooksul ära põleda.

Praktikas kohtame nitrotselluloosi kõige sagedamini väikerelvade laskemoona koostisosana, kuid teda kasu-  
tatakse sageli ka paiskelõhkeainena kahurilaskemoona koostises. Nitrotselluloos muutub orgaanilistes lahusti-  
tes, nagu atsetoon ja etüülalkohol, geeliks. See on soodus omadus, sest nitrotselluloosgeeli saab vormida mit-  
mesugusekujuliseks, mis lahusti äraaurumisel muutuvad tahkeks. Sel viisil valmistatakse nitrotselluloosi sisal-  
davat laskemoona. Kui nitrotselluloosi plaaneeritakse kasutada lõhkeainena lammutustööl, kombineeritakse  
teda peaaegu alati mõne teise lõhkeainega, nagu nitroglütseriin.

Kitsamas mõttes nimetatakse **püroksüliiniks** 11 nitrogrupiga nitrotselluloosi  $C_{24}H_{29}O_9(ONO_2)_{11}$ , mis on vees  
ja lahustites praktiliselt lahustumatu. Lõhketööl kasutatakse ka **kolloomidumpuuvillaks** nimetatud 9 nitrogrupiga  
nitrotselluloosi  $C_{24}H_{31}O_{11}(ONO_2)_9$ , mis lahustub küllalt hästi paljudes orgaanilistes lahustites. Püroksüliini tih-  
dus on 1200 kg/m<sup>3</sup>, detonatsioonikiirus 4300 m/s, brisantsus 16 mm ning süttimistemperatuur 177° C

USDOT reglementeerib nitrotselluloosi transporti mitmel viisil, nagu on kokku võetud tabelis 4.11.

<sup>1</sup> Tselluloosi võib nitreerida mitmesuguse astmeni. Siinkohal esitatud struktuur on täielikult nitreeritud tselluloos, mis kõige enam sarnaneb lõhkeainele nimetusega nitrotselluloos. See nitrotselluloosi vorm, mida kavatakse plastmassides kasutada, on vähem nitreeritud.

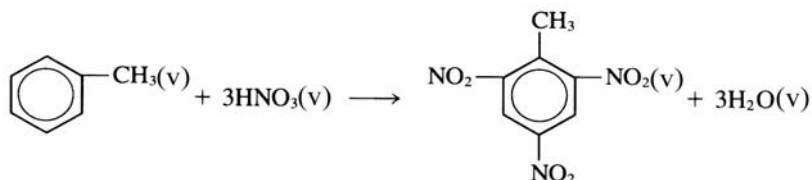
<sup>2</sup> Kuna tselluloosi võib nitreerida mitmesuguse astmeni, võivad tekkida erinevad nitrotselluloosivormid. Iga vorm toimib tegelikult madala lõhkeainena. Vaatamata sellele, ohutuse tõstmiseks USDOT reglementeerib kuiva nitrotselluloosi transpordi brisantne lõhkeainena.

Tabel 4.11. USDOTi poolt reglementeeritud nitrotselluloosivormid

Vorm	Ohuklass
Nitrotselluloos, kuiv või niiske, kus on vett või alkoholi alla 20 massi%	Alajaotus 1.1D plahvatav
Nitrotselluloos, plastiline, mis sisaldab alla 18 massi% plastifikaatorit	Alajaotus 1.3C plahvatav
Nitrotselluloosi lahus, süttiv, lämmastikku alla 12,6 massi% ja nitrotselluloosi mitte üle 55%, leekpunkt alla 23°C	Süttiv vedelik
Nitrotselluloosi lahus, süttiv, lämmastikku alla 12,6 massi% ja nitrotselluloosi mitte üle 55%, leekpunkt mitte alla 23°C, kuid mitte üle 60,5°C	Süttiv vedelik
Nitrotselluloos, modifitseerimata või plastiline, mis sisaldab alla 18 massi% plastifikaatorit	Alajaotus 1.1D plahvatav
Nitrotselluloos, mis on niisutatud mitte vähem, kui 25 massi% alkoholiga	Alajaotus 1.3C plahvatav
Nitrotselluloos alkoholiga, kus on alkoholi mitte vähem, kui 25 massi% ja lämmastikku alla 12,6 massi% kuivmassi kohta	Süttiv tahke aine
Nitrotselluloos, mis sisaldab mitte alla 18 massi% plastifikaatorit ja lämmastikku üle 12,6 massi% kuivmassi kohta	Süttiv tahke aine
Nitrotselluloos veega, vett mitte vähem, kui 25 massi%	Süttiv tahke aine

### 4.13. Trinitrotolueen (*Trinitrotoluene*) $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$

2,4,6-Trinitrotolueen, TNT, ka tool on kahvatukollane tahke aine, kaubandulikul kujul siiski kollase kuni pruuni värvusega. Ta saadakse tolueeni nitreerimisel, kasutades lämmastik- ja väävelhappe segu: viimane toimib katalüsaatorina. Trinitrotolueeni saamist märgib järgmine võrrand:



Trinitrotolueen on brisantne lõhkeaine. Lõhkeainena kasutamisel tuntakse teda rohkem TNT nime all. I ja II Maailmasõjas kasutati TNT lõhkeainena väga laialdaselt. Rahuajal on teda samuti palju kasutatud, näiteks kaevandamisel.

Trinitrotolueeni mõnigad tähtsamad füüsikalised omadused on ära toodud tabelis 4.12.

Tabel 4.12. Trinitrotolueeni mõned füüsikalised omadused

Tihedus, g/cm <sup>3</sup>	1,59 (valatud) 1,45 (pressitud) 0,8 (granuleeritud)
Detonatsioonikiirus, km/s	5,1-6,9
TLV	1,5 ppm (nahk)
Sulamistäpp, °C	81
Tundlikkus	madal
Detonatsioonitemperatuur, °C	470



TNT-l on kolm suurepärasemat omadust, mis teevad ta väärtuslikuks kaubandusliku keemilise lõhkeainena:

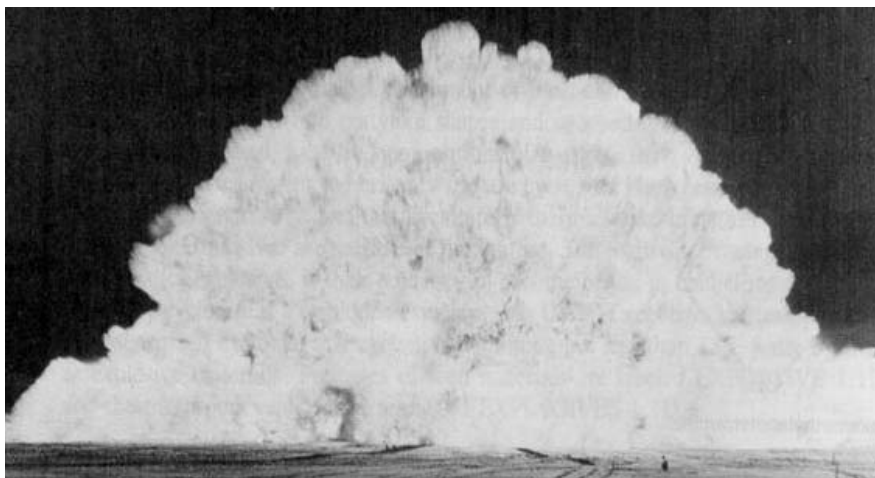


1. Brisantse lõhkeaine jaoks on ta ebatavaliselt vähetundlik soojusele, löögile ja hõõrdumisele. Tegelikult väiksemad TNT hulgad põlenguisse sattudes lihtsalt põlevad ära. TNT ei plahvata tavaliselt muidu, kui samaaegselt ei aktiveerita väga suuri hulki. Joonis 4.4 näitab 500 tonni TNT plahvatust.
2. Ta ei reageeri õhuniiskusega. Erinevalt nitroglütseriinist ta ei ole hüdrolüüsuv.
3. Tal puudub omadus spontaanselt plahvatada, isegi pärast aastatepikkust säilitamist. Seda tahket ainet võib isegi auruga sulatada, kusjuures pole vaja eriti karta plahvatuslikku lagunemist.

Viimane omadus on soodne plahvatavate segude valmistamisel, sest sula TNT võib segada teiste lõhkeainete ja oksüdeerijatega ning valada blokkidesse või mürsukestadesse. Üks selline segu koosneb 80 massiosast ammooniumnitraadist ja 20 massiosast TNT; seda nimetatakse amatooliks. Ta on leidnud laialdast kasutamist sõjandusliku ja tööstusliku lõhkeainena. Teised sellised segud on **tsükloniit** (koostis B) ja **tetrüttool**.

Trinitrotolueen on allaneelamise, sissehingamise ja absorptsiooni puhul nahasse väga mürgine. Tervistkahjustavad mõjud ekpositsiooni puhul TNT on sarnased varem kirjeldatud nitroglütseriini mõjudele.

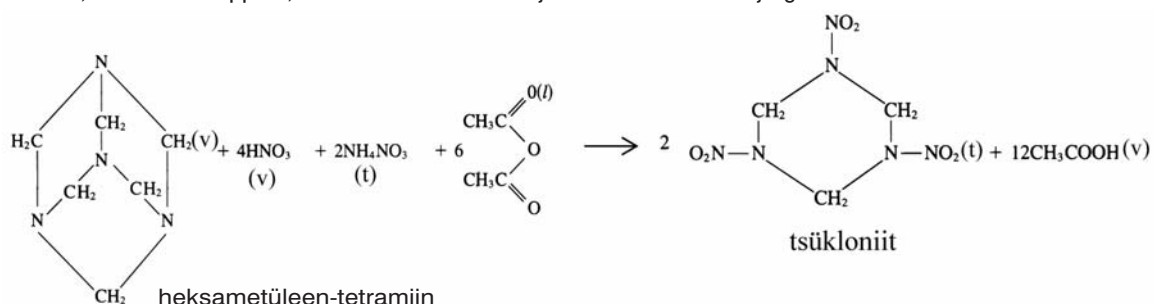
USDOT reglementeerib trinitrotolueeni transporti nagu lõhkeaine transporti. Kuiv trinitrotolueen ja trinitrotolueen, mis sisaldab vähemalt 10 massi% vett on määratletud kui lõhkeained. Pakendid, mis sisaldavad kuiva trinitrotolueeni, või trinitrotolueeni, mis sisaldab kuni 30 massi% vett sildistatakse LÕHKEAINED 1.1D; nende transpordivahendid sildistatakse LÕHKEAINED 1.1D.



**Joonis 4.4.**  
500 tonni  
trinitrotolueeni  
plahvatus.

## 4.14. Tsükloniit (Cyklonite)

Lõhkeainet, mida tuntakse nimetuste all tsükloniit, RDX või heksogeen, nimetatakse keemiliselt kas tsüklotrimetüleentrinitramiiniks või heksahüdro-1,3,5-trinitro-s-triasiiniks. Ta saadakse heksametüleeni-tetramiinist, lämmastikhappest, ammooniumnitraadist ja atsetanhüdroiidist järgmise võrrandi kohaselt:



Tsükloniit on valge tahke aine; mõned ta füüsikalised omadused on esitatud tabelis 4.13.

Tabel 4.13. **Tsükloniidi mõningad füüsikalised omadused**

Tihedus, g/cm <sup>3</sup>	1,2 (lahtine) 1,6 (pressitud)
Detonatsioonikiirus, km/s	6,8–8,0
Tundlikkus	kõrge
Sulamistäpp, °C	202
Detonatsioonitemperatuur, °C	197

Lõhkeainena on tsükloniit ligikaudu 1,5 korda võimsam kui TNT. Puhta ainana on ta väga tundlik plahvatusliku lagunemise osas. Kui aga tsükloniiti segada meevahaga, saavutab ta termilise stabiilsuse isegi juhuks, kui teda eksponeerida kõrgetele temperatuuridele. Meevaha toimib trinitrotoleenile nagu desensibilisaator.

Tsükloniiti kasutati II Maailmasõjas segatuna meevahaga erinevates proportsioonides pommide lõhkealaenguna. Kaks segudest on seni kasutusel. **Segu A** on 91 massi% tsükloniidi ja 9 massi% meevaha segu. Detonatsioonikiiruse osas on see segu esikohal kaubanduslike lõhkeainete hulgas. 1-tonnises pommis lõhkeb see laeng umbes ¼ millisekundi jooksul. See suhteliselt suur detonatsioonikiirus toob kaasa tohutu lõhkejõu. **Segu B** on 60 massi% tsükloniidi, 40 massi% trinitrotolueeni ja 1 massi% meevaha segu. Kahurimürskudes on see segu põhiliselt asendanud segu A.

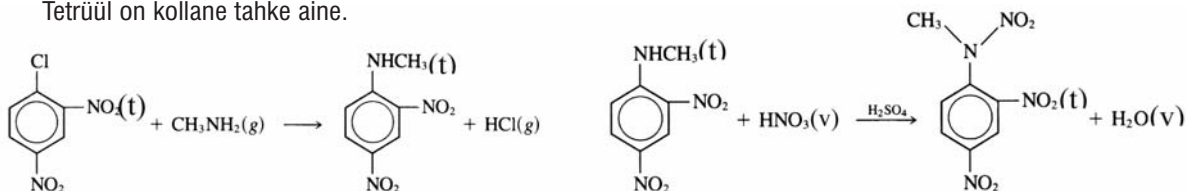
Tsükloniit on **plastiliste lõhkeainete** peakomponent. Neid lõhkeaineid on lihtne sulatada kititaoliseks ja kinnitada lammutamisele minevate hoonete külge. Samuti kui tsükloniidi segud meevahaga, säilitavad tsükloniidi plastilised lõhkeained puhta tsükloniidi purustusjõu, kuid on vähem tundlikud soojuse, löökide ja hõõrdumise suhtes. Asjaolu, et tsükloniit on termiliselt stabiilne, teeb ta võimalikult kasulikuks juhul, kui lõhkeaineid vajatakse võitluses tulega. Suurim plastiliste lõhkeainete puudus on asjaolu, et külmas kliimas muutuvad nad hapraks.

Kuiv tsükloniit on keelatud lõhkeaine; kuid USDOT reglementeerib desensibiliseeritud tsükloniidi ja mitte alla 15 massi% vett sisaldava tsükloniidi kui lõhkeained. Pakendid, mis sisaldavad kuiva trinitrotolueeni, või trinitrotolueeni, mis sisaldab kuni 30 massi% vett, sildistatakse lõhkeainena. Pakendid, mis sisaldavad neis materjale, sildistatakse LÕHKEAINED 1.1D; nende transpordivahendid sildistatakse LÕHKEAINED 1.1D.

## 4.15. Tetrüül (Tetryl)

Tetrüülina tuntud lõhkeaine keemiline nimetus on 2,4,6-trinitrofenüülmetüülnitramiin. Seda toodetakse kloro-2,4-dinitrobenseeni ja metüülamiini reaktsiooniproducti ntreerimisel järgmise võrrandi kohaselt:

Tetrüül on kollane tahke aine.



Tabel 4.14. **Mõned tetrüüli füüsikalised omadused**

Tihedus, g/cm <sup>3</sup>	1,45 (pressitud)
Detonatsioonikiirus, km/s	7,0
Tundlikkus	kõrge
Sulamistäpp, °C	130
Detonatsioonitemperatuur, °C	260

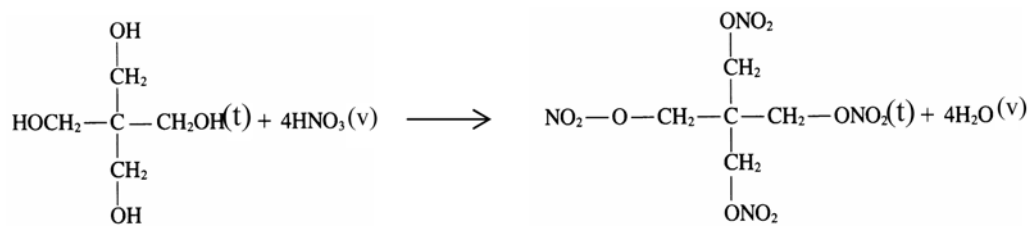
II Maailmasõjast alates on tetrüül olnud standartne keemiline lõhkeaine, mida on kasutatud Ameerika sõjaväes võimendina kahurilaskemoonas; s.o tetrüül toimib initsieeriva agendina vähem tundlike lõhkeainete juures. Tetrüül on väga tundlik soojuse, löögi ja hõõrdumise suhtes. Ta plahvatab kiirusega ligikaudu 7 500 m/s.

Tetrüüli võib segada sulatatud trinitrotolueeniga ja vähese hulga grafiidiga, kusjuures saadakse lõhkeaine nimetusega tetrüütol. Seda lõhkeainet kasutatakse aeg-ajalt lõhkelaenguna kahurvälaskemoonas.

USDOT reglementeerib tetrüüli transpordi kui lõhkeaine transpordi. Pakendid, mis sisaldavad tetrüüli, sildistatakse LÕHKEAINED 1.1D; nende transpordivahendid sildistatakse LÕHKEAINED 1.1D.

## 4.16. PETN (PETN)

Lõhkeaine, mis on kaubanduslikult tuntud kui PETN (hääldatakse "pettin"), on keemilise nimega pentaeritüütetranitraat. Seda saadakse pentaeritüüli nitreerimisel järgmise võrrandi järgi:



pentaeritüül

PETN on valge tahke aine.

Tabel 4.15. PETN-i mõned füüsikalised omadused

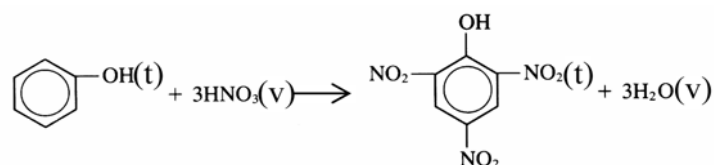
Tihedus, g/cm <sup>3</sup>	1,6 (pressitud)
Detonatsioonikiirus, km/s	7,92
Tundlikkus	kõrge
Detonatsioonitemperatuur, °C	210

Lõhkeainena on PETN peaaegu sama võimas kui tsükloniit. Nagu tetrüülgi, on ta mõnikord võimendiks (buusteriks) kahurväe laskemoonas, kuid kõige sagedamini kohtame teda **primakordi** (*primacord*) vormis, mis on süttik, mis koosneb tekstiili mässitud PETNi südamikust. Kuiv PETN on keelatud lõhkeaine; kuid USDOT reglementeerib desensibiliseeritud PETNi kui lõhkeaine. Pakendid, mis sisaldavad selliseid PETNi vorme, sildistatakse LÕHKEAINED 1.1D; nende transpordivahendid sildistatakse LÕHKEAINED 1.1D.

## 4.17. Pikriinhape (Picric Acid)



Pikriinhape on 2,4,6-trinitrofenooli triviaalne nimetus. Ta saadakse fenooli nitreerimisel järgmise võrrandi järgi:



See on toatemperatuuril kollane tahke aine. Teda nimetatakse ka miinikollaseks. Pikriinhapet kasutatakse tööstuses lõhkeainena ja kangaste värvimiseks.

Lõhkeainena on pikriinhape ainult veidi tundlikum plahvatusliku lagunemise osas kui TNT; ta on samuti peaaegu sama stabiilne kui TNT. Teisest küljest, pikriinhape reageerib teatud metalliliste ühenditega, moodustades sooli, mida nimetatakse **pikraatideks**. Raua, seatina, nikli ja tsingi pikraadid on ohtlikult tundlikud plahvatusliku lagunemise mõttes; näiteks, kuiv raud(III)pikraat on plahvatustundlikkuse suhtes sarnane PETNiga. Seega, kui pikriinhapet ennast on suhteliselt ohutu käsitseda, võib metllipikraatide juuresolek lisanditena pikriinhappes tekitada juhusliku plahvatuse.

Teine pikraat, mis on potentsiaalselt kasulik keemilise lõhkeainena, on ammooniumpikraat. See aine on sama stabiilne, kui pikriinhape, vajades plahvatuse tekkeks primaarset lõhkeainet.

Pikriinhape on väga mürgine. Allaneelamisel põhjustab ta inimesel iiveldust, oksendamist, kõhulahtisust, valusid maos, sügelust ja nahahäireid.

USDOT reglementeerib kuiva pikriinhappe ja vähem kui 30 massi% vett sisaldava pikriinhappe transporti nagu lõhkeaine transporti. Pakendid, mis sisaldavad selliseid pikriinhappe vorme, sildistatakse LÕHKEAINED 1.1D; nende transpordivahendid sildistatakse LÕHKEAINED 1.1D. USDOT reglementeerib üle 30 massi% vett sisaldava pikriinhappe transporti nagu nagu süttiva tahke aine transporti. Pakendid, mis sisaldavad selliseid pikriinhappe vorme, sildistatakse SÜTTIVAD TAHKED AINED; nende transpordivahendid sildistatakse SÜTTIVAD TAHKED AINED (*Flammable Solid*).

## 4.18. Primaarsed lõhkeained

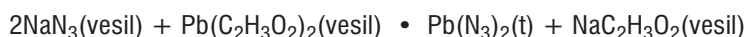
Kolme keemilist lõhkeainet kasutatakse sageli detonaatorites ja kaitsmetes detonatsioonilaine tekitamiseks, mis vallandaks võimendi või lõhkelaengu. Need on elavhõbefulminaat, seatinaasiid ja seatinastüfnaat; kõik need on kõrged lõhkeained. Nende füüsikalised omadused on ära toodud tabelis 4.10. Kõik nad on tundlikud soojuse ja löögi suhtes. Neid kasutatakse detonaatorikapslites, mürskudes, padrunites ja detonaatorites. Et need primaarsed lõhkeained on elavhõbeda- ja seatinaühendid, on nad väga mürgised ained.

Tabel 4.16. *Mõningate primaarsete lõhkeainete füüsikalisi omadusi*

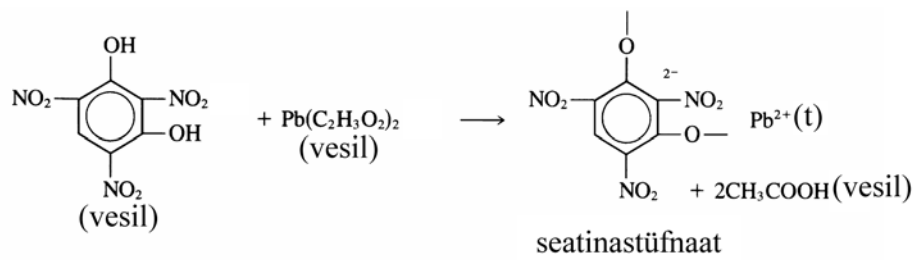
	Tihedus, g/cm <sup>3</sup>	Detonatsiooni-temperatuur, °C	Detonatsiooni-kiirus, km/s
Elavhõbefulminaat	3,6	180	4,7
Seatinaasiid	4,0	350	5,1
Seatinastüfnaat	2,5	267	4,8

**Elavhõbefulminaat** e.paukelavhõbe on elavhõbe(II)tsüanaadi tavanimi; ta keemiline valem on **Hg(CNO)<sub>2</sub>**. Teda saadakse lämmastikhappe lahuse valamisel elavhõbe(II)nitraadi lahusesse etüülalkoholis, kuid vastav keemiline reaktsioon pole täpselt teada. Elavhõbefulminaat on valge kuni halli värvusega tahke aine. Ta detoneerub süttimisel. Süttimistemperatuur on 166° C, tihedus on 1600 kg/m<sup>3</sup>. Plahvatus tekib juba kristalli kriimustamisel või murdmisel. Niiskuse toimele reageerib ta alumiiniumiga (Al), moodustades plahvatusohtliku alumiiniumfulminaa-di, mistõttu ei tohi teda paigutada alumiiniumkesta. Teda kasutatakse detonaatorite primaarlõhkeainena.

**Seatinaasiidi** keemiline valem on **Pb(N<sub>3</sub>)<sub>2</sub>**. Ta on värvitu aine ja teda valmistatakse naatriumasiidi ja seatinaatsetaadi reaktsioonil, nagu näitab järgnev võrrand:



Tema tihedus on 4600 kg/m<sup>3</sup>, detonatsioonikiirus 5300 m/s, süttimistemperatuur 330° C (NB! Süttimisega kaasneb detonatsioon). Niiskuse mõjul reageerib ta vasega (Cu), moodustades plahvatusohtliku vaskoksiidi, mistõttu ei tohi teda paigutada vaskkesta. Ka teda kasutatakse detonaatorite primaarlõhkeainena.



**Seatinastüfnaat** (*Lead Styphnate*) on seatinatrinitroresortsinaadi ametlik nimetus. Ta saadakse seatina-atsetaadi reaktsioonil trinitroresortsiiiniga (stüfhappega – *Styphic Acid*), nagu kirjeldab järgmine võrrand:

See on kollakas-oranž tahke aine.

USDOT on spetsiifiliselt määratlenud seatinaasiidi ja seatinastüfnaadi keelatud lõhkeainetena. Kui need primaarsed lõhkeained on aga niisutatud, siis USDOT reglementeerib nende transpordi samuti kui lõhkeainete transpordi. Pakendid, mis sisaldavad kas elavhõbefulminaati või seatinaasiidi ja seatinastüfnaati, mille veesisaldus on väiksem kui 20 massi% või mis on segatud vee ja alkoholiga, sildistatakse LÕHKEAINED 1.1D; nende transpordivahendid sildistatakse LÕHKEAINED 1.1D.



# III Tuumamaterjalid ja -seadmed

Andres Talvari

Tallinn 2010





## Sisukord

Sõnastik	4
<b>1.</b> Radioaktiivsed ained	8
<b>1.1</b> Aktinoidid	8
<b>1.2</b> Aatomi ehitus	12
<b>1.3</b> Isotoobid	14
<b>1.4</b> Isobaarid	15
<b>1.5</b> Isotoopide püsivus	15
<b>1.6</b> Tuumareaktsioonide võrrandid	17
<b>1.7</b> Radoon	19
<b>1.8</b> Ioniseeriv kiirgus. Inimene kiirgusväljas. Käitumine hädaolukorras	20
<b>1.9</b> Radioaktiivsuse ühikud	23
<b>1.10</b> Looduslik kiirgus	26
<b>1.11</b> Levinumad tehislikud radionukliidid	27
<b>1.12</b> Füüsikalisi andmeid	29
<b>1.13</b> Tuumakiirguse lühiiseloostus	31
<b>2.</b> Ioniseeriva kiirguse bioloogiline toime	33
<b>2.1</b> Läbiva kiirguse poolt põhjustatud äge kiirgustõbi	36
<b>3.</b> Seadusandlus	41
<b>4.</b> Tuumaenergeetika	42
<b>5.</b> Tuumaterrorism	50

# Sõnastik

**Aatom** – aineühik, mis koosneb ühest tuumast, mida omakorda ümbritsevad elektronid, millede arv on võrdne prootonite arvuga tuumas. Elemendi kõige väiksem osa, mis võib keemiliselt ühineda teiste aatomitega.

**Aatomnumber** – prootonite arv tuumas. Sümbol Z.

**Aatommass** – elemendi isotoobi massi iseloomustamiseks kasutatud aatommassiühik, mis on defineeritud kui 1/12 süsinik-12 aatomi massist (1 aatommassiühik on ligikaudu  $1.66 \times 10^{-27}$  kg).

**Aeglusti** – materjal, mida kasutatakse soojuslikes reaktorites, et vähendada lõhestumisprotsessis tekkinud kiirete neutronite kiirust ja energiahulka. Eesmärk on soojuslike neutronite saamine, mis võivad põhjustada edasisi lõhestumisi.

**Aktiivsus** – tuumasiirete toimumise kiirus radioaktiivses aines. Kasutatakse radionukliidi hulga mõõtmiseks. Ühik bekerell, sümbol Bq. 1 Bq on üks spontaanne tuumasiire sekundis.

**Aktiividid** – 15 elemendist koosnev rühm, mille moodustavad elemendid aktiiniumist kuni laurentsiumini (aatomnumber on 89 kuni 103). Kõik need elemendid on radioaktiivsed. Rühma kuuluvad ka uraan, plutoonium, ameriitsium ja kuurium.

**Alfaosake** – radionukleidi emiteeritud osake, mis koosneb kahest prootonist ja kahest neutronist (e heeliumi aatomi tuum).

**Beetaosake** – elektron või positron, mis on emiteeritud aatomi tuumast või neutronist siirde tulemusena.

**Bekerell** – vt aktiivsus

**Brahhüteraapia** – kinniste kiirgusallikate kasutamine kehas või keha pinnal teatud vähitüüpide raviks.

**Dekomisjoneerimine** – administratiivne ja tehniline tegevus rajatise vabastamiseks regulatiivse kontrolli alt. Tavalise dekomisjoneerimise käigus rajatis lammutatakse, kuid see ei ole alati nii.

**Diagnostiline radioloogia** – kiirguse ( nt röntgenkiirguse ) või radioaktiivse aine kasutamine meditsiinis eesmärgiga diagnoosida haigusi või vigastusi.

**DNA** – desoksüribonukleiinhape. Komponent, mis kontrollib rakkude ehitust ja elutegevust ning sisaldab pärilikku informatsiooni.

**Doos** – üldine termin väljendamaks objekti neeldunud kiirguse hulka. Täpsemad terminid on neeldunud doos, ekvivalentdoos, efektiivdoos, kollektiivne efektiivdoos. Sageli kasutatakse efektiivdoosi asemel lihtsalt väljendit doos.

**Efektiivdoos** – doosisuurus, mis väljendab kiirguse poolt tekitatavat kahju. Saadakse kui ekvivalentdoos igale koele või organile korrutatakse läbi vastava koefaktoriga ning summeeritakse. Ühik siivert, sümbol Sv. Koefaktorid on ära toodud peatükis 3 esitatud tabelis.

**Ekvivalentdoos** – doos koele või organile, mis väljendab koele või organile tekitatud kahju suurust. Saadakse kui neeldunud doos korrutatakse kiirgusfaktoriga, mis võimaldab arvesse võtta erinevate kiirgusliikide erinevat tervisekahjulikkust koele. Ühik siivert, sümbol Sv. Kiirgusfaktorid on toodud peatükis 3.

**Elektriline vastastikmõju** – tõukejõud samamärgiliste laengute vahel või tõmbejõud erimärgiliste laengute vahel.

**Elektromagnetkiirgus** – kiirgus, mis koosneb võnkuvatest elektri- ja magnetväljadest. Lainepikkuste ulatus on suur – hõlmates pika lainepikkusega ( ja väikese energiaga ) raadiolaineid, keskmise pikkusega nähtava

valguse ja ulatudes lühikese lainepikkusega ( ja suure energiaga ) gammakiirguseni.

**Elektron** – stabiilne elementaarosake, millel on negatiivne elektriline laeng  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ja mass  $9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ .

**Elektronvolt** – energiaühik, mida kasutatakse kiirgusfüüsikas. Võrdub energiaga, mida saab elektron läbides potentsiaalide vahe 1 volt. Sümbol eV. 1 eV on ligikaudu  $1,6 \times 10^{-19}$  džauli.

**Element** – koosneb aatomitest, millel on sama aatomnumber.

**Ergastus** – protsess, mille käigus osa kiirguse energiast antakse üle aatomile või molekulile ilma et tekiks ionisatsioon. Energia võib neelduda tuumas või elektronides, kust see võib hiljem kiirgusena vabaneda.

**Erüteem** – nahapunetus, mille põhjustab veresoonte laienemine. Võib olla põhjustatud suurtest kiirgusdoosidest.

**Footon** – elektromagnetkiirguse kvant.

**Gammakiir** – läbitungiv elektromagnetkiirgus, mis vabaneb aatomituuma radioaktiivse lagunemise protsessis. Nähtavast valgusest palju lühema lainepikkusega.

**Geenid** – kromosoomides paiknevad pärilikkuse bioloogilised ühikud.

**Geiger-Mülleri loendur** – klaasist või metallist nõu, mis on täidetud madalarõhulise gaasiga ning milles on kaks elektroodi. Ioniseeriv kiirgus põhjustab elektrilahendusi, mida registreeritakse elektriimpulssidena loenduris. Impulsside arv on seotud doosiga.

**Grei** – vt neeldunud doos.

**Inimsiivert** – vt kollektiivne efektiivdoos.

**Ioniseerimine** – protsess, milles aatom või molekul saab elektrilaengu. Ioonide tekitamine.

**Ioniseeriv kiirgus** – kiirgus, mis on võimeline tekitama kiirguskaitse seisukohalt bioloogilistes materjalides ioonpaare. Näited on alfaosakeste kiirgus, beetakiirgus, gammakiirgus, röntgenkiirgus ja neutronite kiirgus.

**Ioon-aatom** – molekul või molekuli osa, mis on saanud elektrilise laengu elektronide kaotamise või haaramisega.

**Isotoobid** – nukliidid, millel on sama arv prootoneid, kuid erinev arv neutroneid. Ei ole nukliidi sünonüüm.

**Jäätmete käitlemine** – kõik tegevused, mis on seotud jäätmete käitlemisega: käitlemine, konditsioneerimine, vedu, hoidmine ja ladustamine.

**Kiire reaktor** – tuumareaktor, milles lõhestumist põhjustavad peamiselt kiired neutronid.

**Kiired neutronid** – kõrge energiaga ( st kiiresti liikuvad ) neutronid, tekivad näiteks lõhestumise protsessis. Reaktorite füüsikas defineeritakse kiireteks neutronid, mille kineetiline energia on suurem kui 0,1 MeV, vastav kiirus on umbes  $4 \times 10^6 \text{ m/s}$ .

**Kiirgus** – energia, lainete või osakeste kujul, mis levib ruumis. Tekstis kasutatakse sageli sõna kiirgus ioniseeriva kiirguse mõistes, välja arvatud juhtudel kui on olnud vajalik vältida segiminekut mõistega mitte-ioniseeriv kiirgus.

**Kiirguskahjustus** – kahjustus, mis tekib teatud inimesel või inimrühmal ja nende järglastel pärast kiiritamist.

**Kiirguskaitse** – inimeste kaitse ioniseeriva kiirguse mõju eest king meetmed selle saavutamiseks.

**Kiiritamine** – kiirgusväljas olemine. Võib olla tahtlik, näiteks meditsiinitarvete tööstuslik steriliseerimine või siis juhuslik, näiteks kiirgusallika läheduses viibimine. Reeglina ei tekita kiiritamine radioaktiivset saastumist, tekitav kahju sõltub saadud doosist.

**Kiiritusravi** – kiirguse kasutamine haiguste raviks, tavaliselt vähiraviks.

**Kollektiivdoos** – elanikkonna poolt saadav kogudoos. Sageli kasutatud kui kollektiivne efektiivdoos.

**Kollektiivne efektiivdoos** – suurus, mis saadakse liites kokku kõigi teatud rühma liikmete poolt saadavad efektiivdoosid. Tavaliselt on see “teatud rühm” kõik inimesed, kes saavad kiiritust mingist kindlast allikast. Ühik inimsiivert, sümbol inimSv. Sageli lühendatud kollektiivdoosiks.

**Kosmiline kiirgus** – suure energiaga ioniseeriv kiirgus avakosmosest. Maapinna lähedal on keerulise koostisega.

**Kromosoomid** – kepikesekujulised kehad rakutuumas. Sisaldavad geene ehk pärilikkuse kandjaid. Inimesel on 23 paari kromosoomi.

**Lagunemine** – iseenesliku lagunemise protsess või radioaktiivse aine aktiivsuse vähenemine selle protsessi tulemusena.

**Lagunemissaadus** – nukliid või radionukliid, mis tekkis lagunemise tulemusena. Võib moodustada otsese lagunemise või siis mitme järjestikuse lagunemise tulemusena. Vahel kasutatakse ka mõistet tütar nukliid.

**Lainepikkus** – vahemaa ainet läbiva elektromagnetlainet kahe järjestikuse harja vahel.

**Lõhestumine** – raske tuuma lagunemine kaheks (harva ka enamaks) osaks, millede massid on samas suurusjärgus. Harilikult vabaneb protsessi käigus neutroneid ning gammakiirgust.

**Lõhestumissaadus** – nukliid, mis on tekkinud lõhestumisel või lõhestumise tulemusena moodustunud nukliidi radioaktiivsel lagunemisel.

**Lõppladustamine** – radioaktiivsete jäätmete paigutamine sobivasse rajatisse väljavõtmise kavatsuseta.

**Massiarv** – prootonite ja neutronite arv aatomtuumas. Sümbol A.

**Mitteioniseeriv kiirgus** – kiirgus, mis ei ole ioniseeriv. Näiteks ultraviolettkiirgus, nähtav valgus, infrapuna-kiirgus, raadiolained.

**Molekul** – aatomite rühm, mis on keemiliselt omavahel seotud. Väikseim hulk ainet, mis võib omaette eksisteerida ning säilitada aine omadused.

**Mutatsioon** – DNA keemiline muutus rakutuumas. Mutatsioonid spermas või munarakkudes võivad põhjustada pärilikke mõjusid lastel. Mutatsioonid keharakus võivad põhjustada tervisehäireid.

**Neeldunud doos** – ioniseeritud kiirguse poolt ainehulgale üle antud energia jagatud selle ainehulga massiga. Ühik grei, sümbol Gy.  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ džaul kilogrammi kohta}$ .

**Neutron** – osake, millel puudub elektrilaeng, mass  $u 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$  ja keskmine eluiga  $u 1000$  sekundit.

**Nukliid** – aatomi liik, mida iseloomustatakse prootonite ja neutronite arvuga ning tuuma energeetilise olekuga.

**Poolestusaeg** – aeg, mis kulub radionukliidi aktiivsuse vähenemiseks poole võrra. Sümbol  $t_{1/2}$ .

**Positron** – stabiilne elementaarosake, millel on positiivne laeng  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ja mass  $9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  (sarnane elektronile, kuid positiivse laenguga).

**Prooton** – stabiilne elementaarosake, millel laeng  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ja mass  $1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .

**PWR** – (pressurised water reactor) surveveereaktor.

**Pädev asutus** – organisatsioon, kellel on õigus reguleerida tuumaenergeetika, kiirguskaitse, radioaktiivsete jäätmete transpordi ohutusega seotud küsimusi.

**Radioaktiivne** – iseloomustab radioaktiivsust. Õigusaktides on mõiste radioaktiivne sageli piiritletud nende ainetega, mis oma radioaktiivsuse tõttu peavad alluma riiklikule kontrollile.

**Radioaktiivsed jäätmed** – seaduslikel ja reguleeritud eesmärkidel on need jäätmed, mille edasist kasutamist pole ette näha ning mis sisaldavad radionukliide, millede kontsentratsioonid või aktiivsused on suuremad kui õigusaktides sätestatud piirmäärad.

**Radioaktiivsus** – aatomituumade omadus iseeneslikult laguneda. Protsessiga kaasneb tavaliselt ka kiirguse emissioon.

**Radiobioloogia** – teadus, mis uurib ioniseeriva kiirguse mõju elusorganismidele.

**Radionukliid** – radioaktiivne nukliid.

**Rikastatud uraan** – uraan, milles isotoobi U-235 sisaldus on suurem kui 0,7 massiprotsenti, ehk suurem kui looduslikus uraanis.

**Risk** – tõenäosus kiiritamise tulemusena teatud tervisehäire tekkimiseks inimesel või inimeste rühmal.

**Risikfaktor** – eluea risk või kiirguskahjustus, mis eeldatavasti tekib pärast ühikulise ekvivalentdoosi või efektiivdoosi saamist. Ühik Sv-1.

**Rändidood** – räniühenditest seade, milles ioniseeriva kiirgusega kiiritamisel tekib elektrivool. Vool muundatakse elektriimpulssideks, mida loendatakse. Impulsside arv on seotud doosiga.

**Röntgenkiirgus** – läbitungiv elektromagnetkiirgus, mida aatom emiteerib kui elektronid kaotavad energiat. Lainepikkused on palju lühemad kui nähtaval valgusel (vt gammakiirgus).

**Sadenemine** – tuumakatsetuste ning tuumaõnnetuste käigus atmosfääri paiskunud radioaktiivne aine, mis on langenud tagasi maapinnale.

**Siivert** – vt efektiivdoos ja ekvivalentdoos.

**Soojuslik reaktor** – tuumareaktor, milles lõhestumist tekitavad peamiselt soojuslikud neutronid.

**Soojuslikud neutronid** – neutronid, mis on termilises tasakaalus keskkonnaga, kus nad asuvad, so neil on sama keskmine soojuslik energia, mis ümbritsevatel aatomitel või molekulidel. Keskmine neutronite energia toatemperatuuril on umbes 0,025 eV, mis vastab kiirusele  $2,2 \times 10^{-3}$  m/s.

**Tuumareaktor** – seade, milles võib tekitada kontrollitavat lõhestumise ahelreaktsiooni. Tuumasünteesi puhul on tegemist termotuumareaktoriga.

**Tuumasüntees** – kahe kerge tuuma liitumine, mille tulemuseks on vähemalt ühe algsetest tuumadest raskema tuuma tekkimine. Selles protsessis vabaneb energia.

**Tõenäosus** – matemaatiline võimalus, et teatud sündmus võib juhtuda.

**Vaba radikaal** – ilma laenguta aatom või aatomite rühm, millel on üks või enam paardumata elektroni. Üldiselt keemilises mõistes väga reageeriv.

**Vaesustatud uraan** – uraan, mis sisaldab alla 0,7 massiprotsendi isotoopi U-235, ehk siis vähem kui looduslik uraan. Uraani rikastamise kõrvalprodukt.

# Radioaktiivsed ained

## 1.1. Aktinoidid

Aktinoidid kuuluvad perioodilise süsteemi seitsmendasse perioodi. Kõik aktinoidid on radioaktiivsed (stabilised isotoobid puuduvad).

Aktinoidid kuuluvad f-elementide hulka (täitumas on 5f-alanivoo), aatomiehituslikult on nad tantanoidide analoogid. Aktinoidide aatomiehitust on detailsemalt iseloomustatud tabelis 1.1

Tabel 1.1. Aktinoidide elektronkonfiguratsioon ja oksüdatsiooniastmed.

Aatom number	Element	Sümbol	Aatomi väliskihi elektronstruktuur			Oksüdatsiooniaste*						
89	Aktiinium	Ac		6d <sup>1</sup>	7s <sup>2</sup>		III					
90	Toorium	Th		6d <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>		III	IV				
91	Protaktiinium	Pa	5f <sup>2</sup>	6d <sup>1</sup>	7s <sup>2</sup>		III	IV	V			
92	Uraan	U	5f <sup>3</sup>	6d <sup>1</sup>	7s <sup>2</sup>		III	IV	V	VI		
93	Neptuunium	Np	5f <sup>4</sup>	6d <sup>1</sup>	7s <sup>2</sup>		III	IV	V	VI	VII	
94	Plutoonium	Pu	5f <sup>6</sup>		7s <sup>2</sup>		III	IV	V	VI	VII	
95	Ameriitsium	Am	5f <sup>7</sup>		7s <sup>2</sup>	II	III	IV	V	VI		
96	Kuurium	Cm	5f <sup>7</sup>	6d <sup>1</sup>	7s <sup>2</sup>		III	IV				
97	Berkeelium	Bk	5f <sup>9</sup>		7s <sup>2</sup>		III	IV				
98	Kalifornium	Cf	5f <sup>10</sup>		7s <sup>2</sup>	II	III					
99	Einsteinium	Es	5f <sup>11</sup>		7s <sup>2</sup>	II	III					
100	Fermium	Fm	5f <sup>12</sup>		7s <sup>2</sup>	II	III					

101	Mendeleevium	Md	5f <sup>3</sup>		7s <sup>2</sup>	II	III				
102	Nobeelium	No	5f <sup>4</sup>		7s <sup>2</sup>	II	III				
103	Lavrentsium	Lr	5f <sup>4</sup>	6d <sup>1</sup>	7s <sup>2</sup>		III				
104	Rutherfordium	Rf	4f <sup>4</sup>	6d <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>						

\* Olulisemad (sagedasemad ja stabiilsemad)

Looduses leidub aktinoididest Ac, Th ja Pa ning väga vähesel määral Np ja Pu. Kuid kahte viimast elementi saadi esmalt tehnilikult ning tuvastati alles hiljem looduses. Ameriitsiumist (Z 95) alates aktinoidide looduses ei leidu ning neid saadakse sobivate aatomituumade pommitamisel kõrge energiaga, kiirendatud osakestega.

## Omadused ja kasutamine

Aktinoidid on läikiva pinnaga radioaktiivsed raskmetallid, mis tumenevad õhus, pihusas olekus on nad sageli pürofoorsed. Elementide radioaktiivlagunemise poolestusajad varieeruvad sekundi murdosadest kuni suurusjärguni 1010 aastat.

Metallid reageerivad kergesti H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, S, halogeenide jt mittemetallidega. Keemiliselt on omavahel sarnased U, Np, Pu ja Am. Enam sarnanevad lantanoididele Bk, Fm, Md, No ja Lr. Aktinoidid kalduvad (sarnaselt lantanoididele) kompleksmoodustamisele, eriti hapnikku sisaldavate ligandidega, seejuures on iseloomulikud kõrge koordinaatsiooni arvud.

Aktinoididest on suurem praktiline tähtsus elementidel U, Pu, Th ja Np.

Nukliidid <sup>235</sup>U ja <sup>239</sup>Pu on kütuseks tuumaenergeetikas ning tuumarelva energiaallikaks. <sup>238</sup>Pu ja <sup>244</sup>Cm on kosmosesüsteemide elektrivoolu allikateks. Th on perspektiivne tuumakütus uraani-tooriumireaktorites, Np kasutatakse <sup>238</sup>Pu tootmisel. Aktinoidide mõningaid nukliide kasutatakse meditsiinis, defektoskoopias ja aktivatsioonanalüüsis.

Aktinoidid ja nende ühendid on (seoses nende radioaktiivsusega) erakordselt mürgised.

## Tähtsamate aktinoidide iseloomustus

**URAA**n on keemiline element järjenumbriga 92.

### Füüsikalised omadused

Uraani aatomkaal on 238,0289 g/mol. Aatomi energiatasemetel on elektrone alates sisemisest 2, 8, 18, 32, 21, 9, 2. Välimuselt on uraan hõbevalge metall. Uraan kuulub aktinoidide rühma.

Uraani isotoobid on järgmiste massiarvudega:



- ▶ 232 poolestusaeg 68,9 aastat;
- ▶ 233 poolestusaeg 159200 aastat;
- ▶ 234 ehk uraan II, poolestusaeg 245500 aastat, 0,006%;

- ▶ 235 ehk aktinouraan, AcU, poolestusaeg 703,8 miljonit aastat, 0,72%;
- ▶ 236 poolestusaeg 23,42 miljonit aastat;
- ▶ 238 ehk uraan I, poolestusaeg 4,468 miljardit aastat, 99,275%.

Loodusliku uraani tihedus normaaltingimustel on 19050 kg/m<sup>3</sup> (19,05 g/cm<sup>3</sup>). Mitteloodusliku isotoopkoostisega uraanil on teistsugune tihedus. Uraani sulamistemperatuur on 1132 ja keemistemperatuur 1797° C.

Kõik uraani isotoobid on radioaktiivsed. Uraan-235 aatomi tuum lõhustub, kui seda tabab aeglane neutron. Sealjuures eraldub uusi neutroneid, mis võib tekitada ahelreaktsiooni. Ta on ainus looduses olulises koguses leiduv isotoop, millel on selline omadus; sellel põhineb ka tema kasutamine. Uraanist algab radioaktiivse lagunemise rida uraani rida.

Uraani avastas 1789 aastal saksa keemik Martin Heinrich Klaproth ja nimetas selle 1781 a. avastatud planeedi Uraani järgi. Planeet omakorda oli nimetatud jumalate isa Uranose järgi antiikmütoloogiast. Metallilisena eraldas uraani 1841 a. Eugen Melchior Peligot. 1896 aastal avastas Henri Becquerel uraanisoolade abil radioaktiivsuse. Kuni 1940. aastani, mil avastati neptuunium ja plutoonium, oli uraan suurima massiarvuga teadaolev element.

Kui avastati, et radioaktiivsel lagunemisel eraldub palju energiat, hakati välja töötama tuumarelva. 6.augustil 1945 heitis USA tuumapommi Hiroshimale Jaapanis. 60 kilogrammi uraan-235 plahvatusel hukkus 80 tuhat inimest kohe ja 60 tuhat sama aasta jooksul. 9.augustil Nagasakile visatud pomm sisaldas 8 kilogrammi plutooniumi. Ka seal hukkus vähemalt 100 tuhat inimest.

Tänapäeval toodetakse uraani kümnete tuhandete tonnide kaupa aastas, kõige rohkem Kanadas. Suured uraanivarud on USA-s, Kesk-Aafrikas ja Austraalias. Enamikku sellest kasutatakse tuumareaktorite kütusena.

Ka Eestis on olemas uraanivarud, seda sisaldab diktüoneemakilt. 1940ndate keskpaigaks olid Eesti uraanivarud praktiliselt ainsad Nõukogude Liidus teadaolevad, mistõttu Sillamäele ehitati suurejooneline uraanirikastamiskombinaat ( praeguse AS-i Silmet eelkäija), et toota toorainet tuumapommide jaoks. Hilisematel kümnenditel töötas Sillamäe tehas sisseveetaval toorainel.

**Uraan on looduses vähelevinud element** (sisaldus maakoos 3 ppm). Tähtsamad mineraalid on nasturaan U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, Uraniniit (U, Th)O<sub>2</sub>, uraanpigimaak (oksiidisegu UO<sub>2,0</sub> – UO<sub>2,67</sub>), karnotiit K<sub>2</sub> [(UO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> (VO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] • 3H<sub>2</sub>O jmt.

Eestis leidub uraani mikrokihilises kivimis **diktüoneemaargilliidid** (nimetatud sageli ebatäpselt ka diktüoneemakildaks), mis on madala kütteväärtusega põlevkivi. Diktüoneemaarilliit katab u 1/3 Eesti pindalast (põhjapoolse osa koos Hiiumaaga, koguarud üle 60 miljardi tonni). Uraani eraldamisvõimalusi sellest kivimist (sisaldab 50-190 ppm U) on suure põhjalikkusega uuritud (kulutatud on sajad inimtööaastad), kuid rahuldavat tulemust ei ole saavutatud. Sellest agrilliidist on eraldatud Sillamäel kokku 22,5 t U (kontsentraadi kujul aastatel 1948-52), kuid mitmesuguse päritoluga sisseveetavast maagist on Eestis kokku toodetud ca 105 t U (jällegi kontsentraadi kujul, kuni 1989 a lõpuni).25

Uraani looduslik isotoopsegu sisaldab 99,275% <sup>238</sup>U, 0,720% <sup>235</sup>U ja 0,005% <sup>234</sup>U.

Uraan on hõbavalge raskmetall (p 19,12 g/cm<sup>3</sup>, st 1135°C). Ta on väga aktiivne, reageerides enamiku lihtainetega. Õhus kattub U oksiidide musta kihiga, pulbriline metall on pürofoorne. U reageerib veega ning energiliselt HCl ja HNO<sub>3</sub> lahustega. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ja HF toimel kulgeb reaktsioon aeglaselt. Hapetega reageerimisel teivad uranüüli UO<sub>2</sub><sup>2+</sup> soolad (U<sup>3+</sup> ja U<sup>4+</sup> on vesilahustes ning O<sub>2</sub> manulusel ebapüsivad).

U kuumutamisel H<sub>2</sub> atmosfääris tekib **trihüdroiid** UH<sub>3</sub> (hall kristalline), püsiv ühend (laguneb alles üle 400°C).

**Halogeenidega** moodustab uraan lihthalogeenide UHal<sub>n</sub> (n = 3,4,5,6), oksohalogeenide UOHal<sub>n</sub> (n = 1,2,3), uranüülhalogeenide UO<sub>2</sub>Hal<sub>n</sub> (n = 1,2) jt halogeenühendid. Neist suurima praktilise tähtsusega on fluoriidid, eriti heksafluoriid UF<sub>6</sub> (kasutatakse U isotoopide lahutamiseks).

Uraani **oksiididest** on tuntud kristalsed ühendid UO<sub>2</sub> (mustjaspruun), U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> e UO<sub>2</sub> • 2UO<sub>3</sub> (rohekasmust), UO<sub>3</sub>



(helekollane kuni oranž),  $U_4O_9$  (ebapüsiv vaheühend) ning peroksiidne ühend  $UO_4 \cdot 2H_2O$ .

Uraani **sulfiide** saadakse U ja S või  $H_2S$  reageerimisel kõrgtemperatuuril, tuntud on ühendid  $U_2S_3$ ,  $U_3S_5$ ,  $US_2$ ,  $US_3$ ,  $US$ .

Põhjalikult on uuritud ka uraani karbiide ( $UC$ ,  $U_2C_3$ ,  $UC_2$ ), nitriide ( $UN$ ,  $U_2N_3$ ,  $UN_2$ ), sulfiide, siltsiide, boriide jt ühendeid.

Uraani kautatavaim ühend laborites on uraanülnitrat  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$  (joon.5.4).

## Kasutamine

U kasutatakse peamiselt dioksiidi või sulamite kujul tuumareaktorites tuumakütusena. Tuumareaktorid on stationaarsed (peamiselt tuumaelektrijaamades) või teisaldatavad (enamasti suurte laevade, sh aatomialveelaevade energiaallikad). 1 kg  $^{235}U$  tuumade jagunemisel eraldub  $\sim 2 \cdot 10^7$  kWh energiat.  $^{235}U$  on tuumarelva energiaallikas, tema kriitiline mass kompaktsel metallina on 50 kg (kriitiline raadius 9 cm). Maailma uraanitoodang on orienteeruvalt 35 tuhat tonni aastas.

Uraani avastas ( $UO_2$  kujul) M.H.Klaproth 1789 aastal, vaba metallina sai U esmakordselt E.-M. Peligot 1841.a, element on nimetatud planeet Uraani järgi.

Uraan on raku üldmärk, mis kahjustab kõiki organeid ja kudesid, mürgisus on tingitud nii keemilisest toimest kui radioaktiivsusest.

**PLUTOONIUM** (keemiline sümbol Pu) on keemiline element järjekorranumbriga 94.

Kõik plutooniumi isotoobid on radioaktiivsed. Pikima elueaga on isotoop massiarvuga 244, mille poolestusaeg on 80,0 miljonit aastat ja mida esineb väga väikestes kogustes looduses. Isotoobi massiarvuga 242 poolestusaeg on 373 000 aastat. Isotoobi massiarvuga 239 poolestusaeg on 24 100 aastat ja ka teda esineb väga väikestes kogustes looduses; see on ka praktikas kõige olulisem plutooniumi isotoop. Teised olulised isotoobid on massiarvudega 238, 240 ja 241.

Omadustelt on plutoonium aktinoid. Ta esineb mitme kristallmodifikatsioonina, mis võivad temperatuuri või rõhu muutumise tõttu üksteiseks üle minna. See asjaolu raskendab plutooniumi töötlemist. Samuti raskendavad plutooniumi töötlemist tema keemiline aktiivsus (reageerib õhuhapnikuga, kõrgemal temperatuuril süttib kergesti ja põleb õhus), tema radioaktiivsus ja seetõttu ka mürgisus ning võimalus kriitilise massi tekkeks. Plutoonium sulab temperatuuril  $639^\circ C$ .

Plutoonium on uraani kõrval üks levinuimad tuumapommide valmistamise algmaterjale. 9.augustil 1945 a Nagasakile heidetud pomm oli plutooniumipomm. Looduses plutooniumi ei leidu, küll aga tekib plutooniumit tuumaelektrijaamas uraani lõhustumisel. Seepärast võib tuumaelektrijaamu vaadelda kui plutooniumivabrikuid, mis suudavad toota toorainet tuumarelvatööstusele.

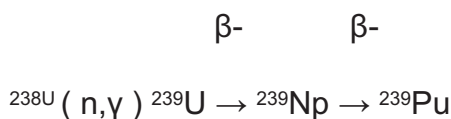
Plutooniumi 15 tuntud isotoobist on praktikas olulisim  $^{239}Pu$  ( $T_{1/2} 2,41 \cdot 10^4a$ ), mida leidub tühiste jälgedena uraanimaakides. Kõige pikemaalisem isotoop on  $^{244}Pu$  ( $T_{1/2} 8,26 \cdot 10^7a$ ). Pu omadusi ja ühendeid on väga põhjalikult uuritud.

Pu on habras hõbedane raskmetall (tihedus  $19860 \text{ kg/m}^3$ ;  $19,86 \text{ g/cm}^3$ , st  $640^\circ C$ ). Kompaktne metall oksüdeerub õhus aeglaselt, pulbri ja laastude kujul on pürofoorne. Pu reageerib aeglaselt vee ja hapetega ( $HCl$ ,  $HClO_4$ ,  $HBr$ ,  $H_3PO_4$ ) või passiveerub nende toimel (konts happed  $HNO_3$ ,  $CH_3COOH$  ja  $H_2SO_4$ ), leelistega ei reageeri. Reaktsioonil  $H_2$ -ga tekivad hüdriidid kuni trihüdriidini  $PuH_3$  (must kristalline).

Pu hapnikuühenditest esinevad oksiidid: oliivroheline rasksulav dioksiid  $PuO_2$  (st  $2390^\circ C$ ), plutoonium(III)oksiid  $Pu_2O_3$  ja peroksiidhüdriidid  $PuO_4 \cdot nH_2O$  ( $n = 2$  ja  $3$ ). Halogeenühenditest on tähtsamad fluoriidid  $PuF_6$ ,  $PuF_4$ ,  $PuF_3$  ja kloriid  $PuCl_3$ . Tuntud on ka  $PuBr_3$ ,  $PuI_3$  ja oksohalogeniidid. On uuritud Pu paljusid karbiide, nitriide, sulfiide, siltsiide jt ühendeid.

## Füüsikalised omadused

Praktikas tähtsamat isotoopi  $^{239}\text{Pu}$  saadakse tuumareaktoris uraani kestval neutronitega kiiritamisel:



23,5 min 2,33 d

( $^{239}\text{Pu}$  neutronhaarde teel tekib vähesel määral ka raskemaid Pu isotoope massiarvudega 240-242).

Metallset Pu saadakse  $\text{PuF}_4$  või  $\text{PuCl}_3$  redutseerimisel Ca või Mg-ga.

## Kasutamine

Isotoopi  $^{239}\text{Pu}$  kasutatakse (analoogselt uraaniga) tuumakütusena energiareaktories, mis töötavad soojus- ja kiiretel neutronitel, aga samuti tuumareelva valmistamisel. Metallina on  $^{239}\text{Pu}$  kriitiline mass 5,6 kg (kriitiline raadius 4,1 cm). Seda isotoopi kasutatakse ka lähteainena suurema aatomnumbriga elementide sünteesil.  $^{238}\text{Pu}$  kasutatakse väikesemõõtmelistes tuuma-elektrienergia allikates, kosmoseuuringutel, südamestimulaatorites jm. Pu maailmatoodang on mõnikümme tonni aastas (see on suurima toodanguga tehiselement). Pu on lihtaine ja ühenditena äärmiselt mürgine.

# 1.2. Atomi ehitus

Kõigi elementide aatomid koosnevad väga väikeste mõõtmetega positiivselt laetud tuumast ja kindlast arvust elektronidest, mis moodustavad aatomi elektronkatte.

Tänapäeval tuntakse palju mitmesuguseid osakesi, mis üksteist vastastikku mõjutades moodustavad aatomi tuuma, mille tähtsaimateks elementaarosakesteks on prooton ja neutron.

**Prooton** (kreeka k. *protos* – esimene) on püsiv elementaarosake. Prootoni massi võib praktiliselt lugeda võrdseks ühega. Tema lang on +1 ja raadius  $1,4 \cdot 10^{-13}$  cm. Prootonit tähistatakse tähega *p*.

**Neutron** (kreeka k. *neuter* – ei üks, ega teine) on ebapüsiv elementaarosake. Tema mass on ligikaudu võrdne prootoni massiga s.o samuti ühega. Prootonist erinevalt on neutron elektroneutraalne osake, mille laeng võrdub nulliga. Neutroni raadius on ligikaudu võrdne prootoni raadiusega. Neutronit tähistatakse tähega *n*.

Tuumaosakesi – prootoneid ja neutroneid – nimetatakse ka **nukleonideks** (ladina k. *nucleus* – tuum). Need osakesed on omavahel seotud kindlate üleminekutega. Neutroni ebapüsivus avaldub selles, et teatavates tingimustes saadab ta välja elektroni ( $e^-$ ) ja muundub seejuures prootoniks (reaktsioon  $n \cdot p + e^-$ ). Iseloomulik on, et neutron on suhteliselt püsiv ainult siis, kui ta kuulub aatomi tuuma koostisse. Vaba neutron laguneb kiiresti vastavalt ülaltoodud võrrandile.

**Elektron** ( $e^-$ ) on püsiv negatiivselt laetud elementaarosake. Tema mass on  $9,1085 \cdot 10^{-28}$ g ehk  $5,48 \cdot 10^{-4}$  aatommassi süsinikuühikut. Elektroni laeng on elementaarne s.o väikseim looduses teadaolev elektrilaeng, mille väärtuseks on  $4,8 \cdot 10^{-10}$  elektrostaatilist laenguühikut. Ühe kuloni suurune laeng vastab  $6,25 \cdot 10^{18}$  elektroni laengule.

Elektroni nagu kõikide materiaalsete osakeste mass oleneb tema liikumiskiirusest.

Elektroni laeng loetakse keemias võrdseks ühega:  $e^- = -1$ .

Prootoni puhul võime vastavalt kirjutada  $p^+ = +1$  (prootoni ja elektroni laengud on absoluutväärtuselt võrd-

sed, kuid märgilt vastupidised). Kõigi elementaarosakeste laengud on absoluutväärtuselt võrdsed elektroni laenguga ja võrduvad nulliga. Mitme laenguga elementaarosakesi pole olemas.

Kujutades elektroni tinglikult kerakujulise moodustisena, saame määrata tema raadiuse, mis on  $2,81 \cdot 10^{-13} \text{cm}$ . Järelikult kuuluvad kõigi kolme vaadeldud elementaarosakese (prootoni, neutroni ja elektroni) mõõtmed ühte ja samasse suurusjärku ( $10^{-13} \text{cm}$ ).

Elementaarosakeste masse võrreldakse tihti elektroni massiga ( $m_e$ ). Nii näiteks prootoni mass  $m_p = 1836,1 m_e$  ja neutroni mass  $m_n = 1838,6 m_e$ . Seega on neutron veidi raskem kui prooton.

Aatom on elektroneutraalne osake. See on tingitud sellest, et ühe tuumas oleva prootoni (laeng  $+1$ ) kohta tuleb alati üks tuuma ümber tiirlev elektron (laeng  $-1$ ).

Prootonite arv aatomi tuumas võrdub elemendi järjenumbriga  $Z$  perioodilisuse tabelis. Selle numbriga võrdub ka elektronide arv aatomi elektronkattes.

Aatomite raadiused kuuluvad  $10^{-8} \text{cm}$  suurusjärku. Nii näiteks on vesiniku aatomi raadius  $0,53 \cdot 10^{-8} \text{cm}$ , hapniku aatomi raadius  $0,66 \cdot 10^{-8} \text{cm}$ , väevli aatomi raadius  $1,02 \cdot 10^{-8} \text{cm}$  jne. Mistahes elemendi aatomi tuuma raadiust on võimalik arvutada. Tuuma raadiuse suurusjärguks on  $10^{-13} \text{cm}$ . Niisiis on tuum oma mõõtmetelt palju väiksem aatomist.

Tuumaine tihedus on erakordselt suur. Selle suurusjärg on  $1014 \text{g/cm}^3$ . Sellise tiheduse puhul kaaluks kirjaklamber või rõhknael miljoneid tonne.

Vaatamata sellele, et tuum võtab aatomi struktuuris enda alla suhteliselt väga väikese ruumala, on praktiliselt kogu aatomi mass koondunud tuuma. Elektronide mass siin olulist osa ei etenda. Nii näiteks moodustab elektronide mass vesiniku aatomi massist ainult ligikaudu 0,05% ja uraani aatomi massist ligikaudu 0,02%.

Aatomi tuum on väga püsiv moodustis. Nukleonidevahelise sideme kogu energia kujutab endas tööd, mida tuleks teha antud tuuma kõigi prootonite ja neutronite eemaldamiseks üksteisest, s.o tuuma täielikuks lõhkumiseks. On leitud, et nimetatud energia moodustab heeliumi aatomi puhul 28,2 MeV<sup>1</sup>, hapniku aatomi puhul 127,2 MeV, uraani aatomi puhul 1 780 MeV jne. Võrdluseks märgime, et keemilise sideme energia kuulub  $10 \text{eV}$  suurusjärku. Sellest näeme, et tuuma nukleonide sideme energia ületab miljoneid kordi tavalise keemilise sideme liht- ja liitainete molekulides.

Energia jäävuse seaduse kohaselt vabanevad eespool toodud energiahulgad aatomituumadest sünteesi korral. Nad eralduvad aatomist mitut liiki kiirgustena, millel on materiaalne iseloom. Selle tulemusel osutub tekkiva tuuma mass väiksemaks teda moodustavate nukleonide masside summast.

Tuuma sünteesi puhul kaduma minevat massi nimetatakse massidefektiks ja tähistatakse sümboliga  $\Delta m$ .

Seega

$$\Delta m = (m_{ap} + m_{bp}) - m_t,$$

kus  $m_{ap}$  - kõigi prootonite mass;

$m_{bp}$  - kõigi neutronite mass;

$m_t$  - tuuma mass.

<sup>1</sup> 1 elektronvolt (lühendatult eV) on energiahulk, mis kulub vaba elektroni ümberpaigutamiseks aeglustavas elektriväljas, mille potentsiaalide vahe on 1 V. Energia jäävuse seaduse põhjal omandab niisama suure energiahulga vaba elektron, mis liigub kiirendavas elektriväljas, mille potentsiaalide vahe on samuti 1 V. Tuumaprotsesside energeetilised efektid ulatuvad harilikult miljonitesse elektronvoltidesse. Selle pärast on otstarbekam kasutada suuremat mõõtühikut – megaelektronvolt (lühendatult MeV, 1 MeV =  $10^6 \text{eV}$ ). Kasutatakse ka kiloelektronvolti (keV, 1 keV =  $10^3 \text{eV}$ ) ja gigaelektronvolti (GeV, 1 GeV =  $10^9 \text{eV}$ ).

Albert Einstein tuletas massi ja energia vahelise seose, mille järgi

$$\Delta E = \Delta mc^2,$$

kus  $\Delta m$  – massi muutus grammides;

$c$  – valguse kiirus ( $3 \cdot 10^{10}$  cm/s);

$\Delta E$  – massi muutusele  $\Delta m$  vastava energia hulk ergides.

Toodud valemist selgub, et isegi väga väikeste masside kiirgumisel eraldub tohutul hulgal energiat. See on tingitud Einsteini valemis sisalduva teguri  $c^2$  väga suurest väärtusest ( $c^2 = 9 \cdot 10^{20}$ ).

Aatomituumade sünteesi protsess on ülimalt eksotermiline, kuid tema teostamiseks on vajalikud temperatuurid, mis ulatuvad kümnetesse ja sadadesse miljonitesse kraadidesse.

## 1.3. Isotoobid

Neutronite olemasolu mõjustab tuuma massi, aga mitte laengut. Selle pärast ei põhjusta neutronite arvu suurenemine elektronide arvu suurenemist, ega ka muudatust aatomi elektronkatte struktuuris. Järelikult võib neutronite arv aatomi tuumas muutuda, ilma et seejuures muutuks elemendi keemiline koostis. Ühe ja sama elemendi aatomid võivad ühesuguse prootonite arvu juures sisaldada erineval hulgal neutroneid. Antud juhul on tegemist **elementide isotoopia** nähtusega.

**Isotoobid** on ühe ja sama elemendi teisendid, mille aatomid erinevad üksteisest massilt, kuid omavad ühesugust tuumalaengut, elektronide arvu ja elektronkatte struktuuri.

Antud elemendi kõigi isotoopide aatomite ühesugune tuumalaeng on tingitud prootonite võrdsest arvust. See pärast on ühe ja sama elemendi isotoopidel ühesugune järjenumbrer ning nad paiknevad perioodilisuse tabelis ühes ja samas lahtris. Sellest tulenebki termin „isotoop” (kreeka k. *isos* – sama, *topos* – koht). Seega võib isotoope vaadelda antud elemendi teisenditena, millel on ühesugune järjnumber, kuid erinev aatommass. Laeng ja mass on aatomi tuuma tähtsamad omadused, mis määravad kindlaks tema individuaalsuse. Isotoobi aatomi tuuma nukleonilise koostise tähistamiseks kasutatakse järgmist kirjutusviisi:



kus  $E$  – vastava elemendi sümbol;

$A$  – isotoobi aatommassile lähim täisarv (isotoobi massiarv), mis näitab ühtlasi nukleonide arvu tuumas;

$Z$  – tuuma positiivne laeng (isotoobi laenguarv) ehk prootonite arv tuumas, mis vastab ühtlasi elemendi järjenumbrile perioodilises tabelis. Et antud elemendi kõigil isotoopidel on ühesugune järjnumber, siis näidatakse tavaliselt ära ainult massiarv (ülemine indeks isotoobi struktuuri tähises). Elemendi järjnumber on vajaduse korral kergesti leitav perioodilises tabelis. Hapniku isotoobid näiteks on  ${}^{16}\text{O}$ ,  ${}^{17}\text{O}$  ja  ${}^{18}\text{O}$ .

Järjnumber  $Z = 8$  on ühine kõigile neile isotoopidele, mille tõttu ta lihtsalt jäetakse näitamata.

Antud elemendi kõigi isotoopide keemiliste omaduste sarnasus ei tähenda seda, et neil omavahelisi erinevusi polegi. Vastupidi – igal isotoobil on suuremal või vähemal määral ainult temale iseloomulikud omadused. Iseärasusi ühe ja sama elemendi erinevate isotoopide omadustes ja käitumises nimetatakse **isotoopseks efektiks**.

Võrdleme näiteks omavahel kahte vesiniku isotoopi: prootiumi (kerget vesinikku) H ja deuteeriumi (rasket vesinikku) D. Nimetatud isotoopide kui lihtainete omadused on erinevad:

		H2	D2
Sulamistemperatuur °C	–	259,4	-254,5
Keemistemperatuur °C	–	252,8	-249,9

Vastavad oksiidid – tavaline vesi  $H_2O$  ja raske vesi  $D_2O$  – erinevad omadustelt tunduvalt. Näiteks raske vesi elektrolüüsub halvemini kui tavaline vesi. Sellel omadusel põhineb  $D_2O$  eraldamine looduslikust veest (viimane sisaldab umbes 0,02% rasket vett). Raske vesi pidurdab paljude keemiliste reaktsioonide kulgu, lammatab organismide elutegevust ja vähendab fermentide (biokatalüsaatorite) aktiivsust.  $D_2O$  on püsivam aine kui  $H_2O$  jne.

Samal ajal ühe ja sama elemendi üksikute isotoopide omadused on palju väiksemad eri elementide isotoopide omaduste erinevustest: iga isotoop säilitab antud elemendi keemilise individuaalsuse ja spetsiifilise kvalitatiivse omapära. On kindlaks tehtud, et isotoopse efekti suurus oleneb antud elemendi isotoopide aatommasside erinevusest: mida suurem on nimetatud erinevus, seda tugevam on isotoopne efekt. Vesiniku isotoopide puhul paistab see kõige rohkem silma, sest deuteeriumi aatommass on prootiumi aatommassist kaks korda suurem, tritiumi puhul aga muutub erinevus juba kolmekordseks. Näiteks isotoopide  $^{206}Pb$  ja  $^{208}Pb$  aatommassid aga erinevad teineteisest ainult ligikaudu 1% võrra, mistõttu ka isotoopne efekt on antud juhul üsna väike. Üldiselt väheneb isotoopne efekt kiiresti aatomituumade massi suurenemisel. Raskete elementide puhul on ta väärtus tühine.

Vaatamata suurele keemilisele sugulusele, esinevad ühe ja sama elemendi isotoopidel olulised erinevused aga tuumade omadustes (näiteks kiirguse iseloomus radioaktiivsel lagunemisel). Isotoobid erinevad üksteisest ka adsorbeerimisvõimelt, füsioloogiliselt toimelt jne.

Isotoopide omaduste erinevusi kasutatakse tänapäeval nende lahutamiseks.

## 1.4. Isobaarid

Esineb jutumeid, kus erinevate elementide isotoopide aatommassid ühtivad. Ühesugune aatommass (54) on näiteks kroomi isotoobil ja raua isotoobil. Selliseid elementide teisendeid nimetatakse **isobaarideks** (kreeka k. *isos* – sama, *baros* – raskus, kaal). Isobaarid erinevad üksteisest aatomituumade laengult, elektronide arvult ja elektronkatte struktuurilt.

Isotoopide ja isobaaride mõisteid saab lühidalt väljendada järgmisel viisil:

- ▶ isotoobid on elementide teisendid, mille aatomituumadel võrdsete laengute  $Z$  puhul on erinevad massiarvud  $A$ ;
- ▶ isobaarid on elementide teisendid, mille aatomituumadel on võrdsete massiarvude  $A$  puhul erinevad laengud  $Z$ .

## 1.5. Isotoopide püsivus

Isotoope liigitatakse püsivateks ja ebapüsivateks. Isotoobi püsivus oleneb suurel määral prootonite ja neutronite arvu suhtest aatomi tuumas. Püsival isotoopidel on suhe  $p/n$  teatava kindla väärtusega. Sellised isotoobid ei muundu spontaanselt (iseeneslikult) isegi küllalt pika ajavahemiku vältel. Kui aga suhe  $p/n$  ei vasta teatavatele kindlatele nõuetele, siis on isotoobi aatomi tuum ebapüsiv ja laguneb lühema või pikema aja jooksul. Ebapüsivate aatomituumadega elemente nimetatakse radioaktiivseteks (ladina k. *radius* – kiir, *activus* – tegev). Niisugune nimetus tuleneb sellest, et aatomituumade muundumisega kaasneb alati mitmesuguste osakeste ja energia kiirgumine. Kiiratavate (väljasadetavate) osakeste hulka kuuluvad elektronid ( $\beta$ -osakesed), positronid ( $\beta^+$ -osakesed), heeliumi aatomi tuumad  $He^{2+}$  ( $\alpha$ -osakesed), mitmesuguste tuumade killud jne. Aatomituumade radioaktiivsel lagunemisel täheldatavat elektromagnetilist kiirgust iseloomustab kõrge sagedus ( $10^{20} s^{-1}$  ja rohkem). Seetõttu on kiiratavatel fotonitel (nn  $\gamma$ -fotonitel) väga suur energiavaru. Seda on võimalik arvutada järgmise valemi abil:

$$E_{\gamma} = h \nu$$

kus  $E_{\gamma}$  – footoni energia ergides ( $10^{-7} J$ );

$h$  – Plancki konstant, mille väärtus on  $6,625 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}$

$\nu$  –  $\gamma$ -kiirguse sagedus.

**Näide:**

Kui  $\gamma$ -kiirguse sagedus  $\nu = 10^{20} \text{ s}^{-1}$ , siis  $E_\gamma = h\nu = 6,625 \cdot 10^{-27} \cdot 10^{20} = 6,625 \cdot 10^{-7} \text{ ergi}$ .

Kasutades käsiraamatute tabelite andmeid, leiame, et  $E_\gamma$  väärtuseks on antud juhul  $4 \cdot 10^5 \text{ eV}$  footoni kohta ehk 9 200 000 kcal Avogadro arvuga võrduva footonite hulga kohta.

Võrdluseks märgime, et tugevalt eksotermiliste keemiliste reaktsioonide energeetilised efektid ei ületa 100-200 kcal sama hulga molekulide kohta (1 mooli kohta).

$\gamma$ -kiirgus pole ainsaks energia vabanemise vormiks tuumareaktsioonides. Teistest energiavormidest võib nimetada tohutu kiirusega liikuvate reaktsiooniproduktide (elementaarosakeste, tuumakildude) kineetilist energiat, samuti „tagasilöögi energiat”, mille omandab tuum elementaarosakese väljasaatmisel. Mõnikord kaasneb tuumareaktsioonidega ka röntgenikiirgus.

Raskete tuumade puhul on olulise tähtsusega suhe  $Z^2/A$ , kus  $Z$  tähistab isotoobi laenguarvu ja  $A$  isotoobi massiarvu. Selle suhte väärtuse suurenemisel, mutub tuum ebapüsivamaks. Kui  $Z^2/A > 35$ , siis tekib tuumal kalduvus laguneda lihtsama koostisega tuumadeks.

Suhte väärtusel  $Z^2/A > 45$  on tuum täiesti ebapüsiv.

Radioaktiivseid isotoope esineb looduses ja neid saab valmistada ka kunstlikult. Püsivatest isotoopidest on võimalik saada radioaktiivseid isotoope, kui muuta nende tuumade koostist, s.o suhet  $p/n$ . Sel juhul läheb tuum püsivast (stabiilsest) olekust üle ebapüsivasse olekusse. Kunstlikult saadud ebapüsivad tuumad teevad edasi läbi spontaanse lagunemise, mille tulemusel moodustuvad püsivate isotoopide aatomite tuumad.

**Näide:**

Alumiiniumi kiiritamisel  $\alpha$ -osakesega, tekib fosfori radioaktiivne isotoop (radiofosfor):



Radiofosfor teeb läbi spontaanse  $\beta$ -lagunemise ja muundub püsivaks (mitteradioaktiivseks) räni isotoobiks:



Tänapäeval tuntakse ligikaudu 50 looduslikku radioaktiivset isotoopi. Samal ajal aga on valmistatud kõigi elementide kunstlikke radioaktiivseid isotoope, kusjuures iga elemendi kohta tuleb selliseid isotoope isegi mitu. Tuntakse näiteks 26 mitmesugust broomi isotoopi massiarvudega 75 kuni 88 (broomi püsivatel isotoopidel on massiarvud 79 ja 81). On teada 7 väevli isotoopi, millest  ${}^{32}\text{S}$ ,  ${}^{33}\text{S}$ ,  ${}^{34}\text{S}$  ja  ${}^{36}\text{S}$  on püsivad,  ${}^{31}\text{S}$ ,  ${}^{35}\text{S}$  ja  ${}^{37}\text{S}$  aga radioaktiivsed.

Mitmesuguste tuumareaktsioonide abil saadud kunstlike radioaktiivsete isotoopide üldarv ulatub tänapäeval kaugelt üle tuhande.

Kunstlike radioaktiivsete isotoopide saamine näitab, et kõiki elemente võib lugeda polüisotroopseteks. Monoisotroopseid elemente pole olemas. Püsivaid isotoope tuntakse praegu umbes 250, kusjuures mõned elemendid esinevad looduses ainult isotoobina. On põhjust arvata, et selliste elementide radioaktiivsed isotoobid on jõudnud looduslikes tingimustes maakera eksisteerimise vältel täielikult laguneda.

Loodusliku radioaktiivsuse nähtuse avastas 1896. aastal Prantsuse teadlane Henri Becquerel. Suurt uurimistööd sellel alal tegid Prantsusmaal XIX sajandi lõpul ja XX sajandi algul abikaasad Marie Sklodovska-Curie ja Pierre Curie. Nad avastasid 1989. aastal raadiumi ja polooniumi, mis on looduslikud radioaktiivsed elemendid.

Kunstliku radioaktiivsuse nähtuse avastasid samuti prantsuse teadlased – Frederic Joliot-Curie ja Irene Curie 1934. aastal.

## 1.6. Tuumareaktsioonide võrrandid

Kõige sagedamini saadakse kunstlikke radioaktiivseid isotoope mitmesuguste elementide püsivate isotoopide kiiritamisel neutronitega. Et neutronitel puudub elektrilaeng, siis tungivad nad kergesti kiiritavate aatomituumade sisemusse. Tuumareaktsioone kutsuvad esile ka prootonid –  $\alpha$ -osakesed jne. Ka küllaldase energiaruga  $\gamma$ -fotonid on suutelised tuumareaktsioone põhjustama.

Tuumareaktsioonide kirjutamiseks kasutatakse võrrandeid, mis sarnanevad tavaliste keemiliste võrranditega. Tuumavõrrandite koostamisel ja lugemisel tuleb aga arvestada järgmisi iseärasusi:



- ▶ neis võrrandis kasutatavate elementide sümbolid ei tähista aatomeid, vaid nende tuumasid (tuuma laengut ja massi teades on kerge ette kujutada ka aatomit tervikuna).
- ▶ indeksid elemendi sümboli juures tähistavad:
  - a) ülemine indeks – massiarvu, s.o antud isotoobi aatommassi, mis on ümardatud lähima täisarvuni;
  - b) alumine indeks – tuuma positiivset laengut, mis arvuliselt võrdub elemendi järjenumbriga perioodilisuse süsteemi tabelis (laenguarv).

### Näited tuumareaktsioonide kohta:



Esimene võrrand näitab, et berülliumi isotoopi Be kiiritatakse deuteeriumi aatomite tuumadega (deutronega D). Tekib boori isotoop B. Reaktsiooni käigus eralduvad neutronid (n).

Teine võrrand näitab, et kaaliumi isotoop K laguneb spontaanselt (ründav osake puudub) ja tekib kaltsiumi isotoop Ca. Reaktsiooni käigus eralduvad elektronid ( $\beta^-$ -osakesed).

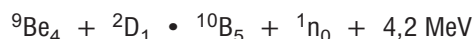
Tuumavõrrandid peavad rahuldama järgmisi tingimusi:



- ▶ massiarvude (ülemiste indeksite) summad peavad võrrandi vasakus ja paremas pooles olema võrdsed. Elektronide ja  $\beta^-$ -fotonite masse seejuures ei arvestata.
- ▶ osakeste laengute (alumiste indeksite) summad peavad võrrandi mõlemas pooles samuti võrdsed olema. Elektroni laengut arvestatakse miinusemärgiga, prootoni laengut pluss märgiga. Neutronil ja  $\beta^-$ -fotonil laeng puudub.

Tuumaprotsesside energeetilist efekti väljendatakse harilikult megaelektronvoltides (MeV) ühe muunduva aatomituuma kohta.

### Näide:



Võrrand äitab, et iga berülliumi aatomi tuumamuundumisel boori aatomi tuumaks eraldub 4,2 MeV energiat.

Radioaktiivsete isotoopide puhul vaadeldakse antud isotoobi püsivust, radioaktiivse lagunemise protsessi intensiivsust, kiirguse liike ja energiat.

Isotoobi püsivust väljendatakse harilikult poolestusaja abil, see on aeg, mille jooksul laguneb pool antud elemendi kogusest. Poolestusaeg iseloomustab ebapüsiva isotoobi radioaktiivse lagunemise kiirust ja on antud isotoobi jaoks kindel suurus. Poolestusajad erinevad üksteisest väga suurel määral. Elemendi poolestusaja väärtus on peamiselt tema aatomi tuuma ehitusest.

**Radioaktiivse lagunemise protsessi intensiivsust** saab väljendada ajaühiku jooksul lagunevate aatomituumade hulgaga. **Intensiivsuse põhiühikuks on kürri (cu)**, see on selline kiirgusallika aktiivsus, millele vastab  $3,7 \cdot 10^{10}$  (37 mljardit) lagunevat aatomituumat sekundis. Kasutusel on ühikuteks milli- ja pikokürriid.

Iga isotoobi aatomituuma radioaktiivset muundumist iseloomustab teatav kindel kiirguse koostis ja energia. **Alfa lagunemine** on iseloomulik suure järjekorranumbriga looduslikele radioaktiivsetele elementidele ( $Z > 60$ ). Kunstlikele radioaktiivsetele elementidele, eriti aga väikese järjenumbriga isotoopidele on **tüüpilisem beeta-lagunemine**. Aatomituumade radioaktiivse lagunemisega kaasneb tavaliselt mitmesuguse **energiaga gammakiirgus**. Tuumakiirguse toimet kaotavad õhu koostisse kuuluvate gaaside molekulid oma elektrilise neutraalsuse: tekivad positiivseid ja negatiivseid laenguid kandvad osakesed – ioonid. Seda protsessi nimetatakse gaasi ioniseerumiseks. Ioniseeritud õhul on suur elektrijuhtivus. Analoogiliselt õhuga võivad tuumakiirguse toimet ioniseeruda ka teised gaasid. **Seetõttu nimetatakse tuumakiirgust ka ioniseerivaks kiirguseks**.

Ioniseeriv kiirgus on kahjutu ainult väga väikeses annuses. Suuremad kiirguseannused on ohtlikud nii inimestele kui ka loomadele. Kiirgus kutsub kiiritatavates süsteemides esile ulatuslikke keemilisi muundumisi.

Kiirgusel ja kiiritamisel saadavate dooside mõõtmiseks kasutatakse erinevaid mõõtühikuid.

Kiirgusenergia hulka, mis on neeldunud kiiritatud keha (organi, koe) massühikus, nimetatakse **neeldunud doosiks** ja mõõtühikuks on SI süsteemis Grey, algselt oli kasutusel rad. Kuid neeldunud doos ei arvesta seda, et erinevad kiirguse liigid omavad organismis erinevat ohtlikkuse taset. Peamine kiirgust iseloomustav näitaja on **ekvivalentdoos**. Tema mõõtühikuks on SI süsteemis Sievert, algselt oli kasutusel "rem" (venekeelses kirjanduses BER – *biologitšeskij ekvivalent rengena*).

Erinevate kiirguste erinevatest ainetest läbitungimisvõime oleneb energiast, samuti osakese laengust, sest elektriliselt laetud osakesed pidurdavad aines kiiresti vastastikuste elektriliste jõudude toimet. Näiteks radioaktiivsest fosforist pärinevad beeta-osakesed tungivad kudedesse kuni 1 mm sügavusele, radoonist pärinevate alfa-osakeste läbitungimisvõime on aga ca 200 korda väiksem. X- ja gamma-kiired, samuti laenguta neutronid tungivad sügavale kudedesse, mistõttu organismi välise kiirituse korral on ohtlikud just need. Alfa- ja beeta-osakesed on tõsiseks ohuks juhul, kui nad satuvad organismi toiduga, joogiga või sissehingatava õhuga. Suured kiirgusdoosid on organismile surmavad, väiksemad doosid põhjustavad mitmesuguseid raskeid, ka surmaga lõppevaid, haigusi. Küllalt väikesed doosid võivad põhjustada muudatusi sugurakkudes, mis võivad põhjustada väärandite ilmumist järgnevatel sugupõlvetes.

Meid ümbritsevas keskkonnas on looduslik kiirgus tavapärane. Kiirgusfoonile on omane mõningane kõikumine. Maa erinevates piirkondades on looduslik foon väga erinev. **Eesti kuulub piirkonda, kus looduslik foon on väga madal. Eestis ei ole ühtegi tuumareaktorit ega tuumaelektrijaama**. Lähemad asuvad Loviisas (Soome), Sosnovõi Boris (Venemaa, Peterburgi oblast), Ignalinas (Leedu).

Eluruumides on peamiseks kiirgusallikaks radoon, mis difundeerub maapinnast keldritesse ja esimese korruse ruumidesse ning veest eraldub radoon vannitubades, duššikabiinis ja köökides. Paljudes arenenud maades on väljatöötatud normatiivid radooni sisalduse kohta elu- ja tööruumides. Tehakse vahet olemasolevate (vanade) ja uusehituste vahel. Näiteks Kanadas kehtivad võrdsed nõudmised nii uus- kui ka olemasolevate ehituste kohta ja see on  $800 \text{ Bq/m}^3$ , Teine äärmus on Ameerika Ühendriigid, kus sama nõue on  $150 \text{ Bq/m}^3$ . Enamus riikides (Norra, Rootsi, Soome, Tsehhi jt) on normatiiv olemasolevate hoonete kohta  $400 \text{ Bq/m}^3$  ja uusehituste kohta  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Eesti Kiirguskeskuse /J.Kalam/ arvates võiks kehtestamisel lähtuda vahemikust  $200\text{--}400 \text{ Bq/m}^3$ . Soomes tehtud mõõtmised on näidanud /Eesti Kiirguskeskus, J. Kalam/, et kui vannitubades on keskmine õhu radoonisaldus ca  $150 \text{ Bq/m}^3$ , siis pärast dussi avamist tõuseb see 7-8 minuti jooksul ca  $3500 \text{ Bq/m}^3$ -ni ja jõuab suletud ukse korral kuni  $8500 \text{ Bq/m}^3$ -ni. Vee kasutamise tõttu kraanides, nõudepesu- ja pesupesemismasinates võib radooni sisaldus köökides ulatuda kuni  $3000 \text{ Bq/m}^3$ -ni. Elutubades on tavaliselt kuni  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Käesoleval ajal ollakse arvamusel, et tõsist ohtu tervisele põhjustab radooni sisaldus alates  $10\,000 \text{ Bq/m}^3$ . Kaevanduskäikudes võib halva ventilatsiooni korral radooni sisaldus ulatuda kuni  $700\,000 \text{ Bq/m}^3$ .



## 1.7. Radoon

Radoon on looduslik radioaktiivne gaas, mis tekib raadiumi lagunemisel. Radoon võib lahustuda vees, veres ja koevedelikes. Vastavalt Eesti standardile peab elu-, puhke- ja tööruumide radoonisisaldus jääma alla 200 Bq (bekrelli) kuupmeetri kohta aastas. See radioaktiivne gaas võib pikaajalise sissehingamise korral põhjustada hingamisteedes ja kopsudes vähki.

### Kuidas radoon majja saab?

Põhiliseks radooni allikaks on pinnas hoone all, kusjuures mitte ainult looduslikud pinnasekihid, vaid ka tootmis- ja kaevandamisjäätmetest täitepinnased. Pinnasest satub radoon tuppa koos vantileeritava õhuga. Kuna kütteperioodil on ukсед-aknad tihedalt suletud, siis ruumide ventileerimisel ja ka näiteks ahjude kütmisel tõmmatakse ruumidesse rohkem majaanlust õhku, mis on pinnasega kontaktis. Maa all pinnas ei külmu ja sinna satub radooni ka külmunud pinnaseõhust maja ümbruses. Seepärast ongi radoonisisaldused hoonetes kõige suuremad just talvekuudel. Eesti põhjaosa on täis maju, mis on ehitatud enne radooniohu avalikustamist.

Mida suurem ja pikaajalisem on kiirgusdoos, seda suurem on ka haigestumise võimalus. Kiirguskeskuse uuringud näitavad, et elamutes olev radoon põhjustab igal aastal Eestis ligikaudu 100 uut haigusjuhtu. Radooni tõttu kõrgemat kopsuvähki haigestumise riski tõstab järsult ka suitsetamine.

Kõige radooniohtlikum on Põhja-Eesti, sest siin asub radioaktiivne diktüoneemakilt maapinnale väga lähedal või lausa maapinnal. Tabasalu pankrannikul võivad kõik seda oma silmaga vaadata ja käega katsuda. Sellest radioaktiivsest kildast radoon õhku pääsebki. Lühiajaline viibimine näiteks pankranniku paljandite kohal pole tervisele ohtlik. Iseasi on selle peal elamine, kui maja vundamendi ehitamisel radooniohutust arvestatud pole.

Eesti Kiirguskeskuse osakonnajuhataja Raivo Rajasalu sõnul ei pea inimesed nendest kohtadest nüüd kohe ära kolima: „Kui ehitamisel on kõiki meetmeid õigesti rakendatud, arvestatud ehitusfüüsikat, gaaside liikumist jne, siis võib lausa diktüoneemakilda peale ka maja ehitada ja ikka on ohutu”. Tema sõnul on maja turvaliseks muutmiseks kaks võimalikku teed. Esimene, maja alla, vundamendi ümber tehakse plastmasstorudest drenaazisüsteem, mille otsad ulatuvad majast eemal maapinnale. Otstesse ühendatakse aga ventilaatorid. See tähendab, et drenaazisüsteemi kaudu tõmmatakse maja alt õhk ja ka radoon välja. Õhk ei liigu seega läbi põrandapragude mitte tuppa vaid vastupidi. Maakeeli hakatakse majaanlust tuulutama. Teise variandina kasutatakse maja aluse vooderdamist spetsiaalse kangaga, mis toimib nii hüdro- kui ka gaasisolaatorina.

Ehitajale on eelnev jutt ilmselt täiesti arusaadav. Mida tuleb aga ülejäänutel peale hakata? Eesti Kiirguskeskuse osakonnajuhataja soovib maja ostes uurida maja projekti ja lasta endale näidata, kus on kirjas, et vundament on ehitatud arvestades Eesti Vabariigi standardit number 840 aastast 2003. Selles standardis on ära toodud kõik kriteeriumid, skeemid ja juhised vundamendi ning maja kaitsmiseks radooni eest. Standardil pole siiski seaduse jõudu, seega pole radooniohutu maja ehitamine kohustuslik. Küll saab kohalik omavalitsus standardi järgimist nõuda ehitusmäärusega. Mitmes vallas, näiteks Harkus, Jõelähtmes on radooniohu vältimine sisse kirjutatud ka ehitusmäärusesse. Seega ei saa ehitusluba ükski hooneprojekt, kus vundamenti radooni eest ei kaitsta. Põhja-Eesti vallad võiksid Harkust ja Jõelähtmest eeskujuga võtta. Kiirguskeskuses on ettevalmistamisel standardi täiendamise nii, et ohustatud vallad oleksid kohustatud radooniuuringuid tegema ja andma siis juba väga konkreetsed lähteülesanded majade projekteerimisele.

Tundub, et maja ehitama hakates saab radooniohtu ja sellest põhjustatud haigusi vältida juba eos – õigesti ehitades. Samas on Eesti põhjaosa täis maju, mis ehitatud ammu enne radooniohu avalikustamist. „See on probleem”, tõdeb kiirgusspetsialist ja ütleb, et näiteks Pirita-Kosel, Toilas ja Aseris on elumajad ehitatud praktiliselt kildale ja lõhedele. Siiski pole kõik vanad majad veel ohtlikud, isegi kui need on paepangale ehitatud. Kõik oleneb pinnase radoonisisaldusest. Kui see on mõõdukas, siis on kasu isegi ruumi sundventilatsioonist. Toas on vaja tekitada väike ülerõhk. See tähendab sissepuhumist, mitte väljapuhumist nagu tavaliselt. Jälgida tasub ka, et tube ning keldreid piisavalt tihti tuulutatakse. Sellestki on abi, kuigi talvisel ajal on tubade tuulutamine probleemne.

Asja vastu huvi tundvad majaomanikud saavad põhjalikumat teavet radooni kohta otse Kiirguskeskusest. Spetsialistid annavad suurima heameelega inimestele nõu. Radooniuuringut saab ka tellida, kuid see on tasuline. Ka selle asjus saab täpsemat teavet Kiirguskeskusest.

## 1.8. Ioniseeriv kiirgus. Inimene kiirgusväljas. Käitumine kiirgushäda olukorras

Nii inime kui teda ümbritsev aine koosneb aatomitest. Kõik aatomid on sarnase ehitusega, nad koosnevad tuumast ja selle ümber tiirlevatest elektronidest. Aatomituumad koosnevad prootonitest ja neutronitest ning on tavaliselt väga püsivad. Kuid mõnedel aatomituumadele on omane iseeneslikult laguneda. Selle lagunemise käigus tekiavad uued tuumad ning vabanevad suure energiaga osakesed ja elektromagnetiline kiirgus (gammakvandid). Aatomituumade võimet iseeneslikult laguneda nimetatakse radioaktiivsuseks ja selliseid aatomituumi radionukliidideks.

Vabanenud osakesed ja gammakvandid on võimelised ioniseerima ümbritsevat ainet. Seepärast nimetatakse vabanenud osakeste ja gammakvantide voogu **ioniseerivaks kiirguseks**. Radioaktiivsel lagunemisel tekib põhiliselt kolme liiki ioniseerivat kiirgust alfa-, beeta- ja gammakiirgus.

**Alfakiirgus** on kahest prootonist ja kahest neutronist koosnevate nn alfaosakeste voog. Alfaosakesed omavad suurt energiat, on suhteliselt rasked ning neelduvad aines kiiresti. Näiteks paberileht on nende jaoks läbimatu.

**Beetakiirgus** on suure energiaga elektronide voog. Beetakiirgus on palju suurema läbimisvõimega. Elektronide neelamiseks on vaja mitme millimeetri paksust plastmassilehte.

**Gammakiirgus** on gammakvantide voog. Gammakvandid on väga suure läbimisvõimega ja neid suudab peatada alles 5 sentimeetri paksune seatinakiht või poolemeetrine betoonkiht.

Igal radionukliidil on oma keskmine eluiga, mida väljendatakse poolestusaja kaudu. Poolestusaeg on ajavahemik, mille kestel jõuab laguneda pool esialgsest radionukliidide arvust. Radionukliidide poolestusajad on väga erinevad, alates sekundi tuhandikest kuni miljardite aastateni.

Radionukliidid võivad esineda puhtal kujul või mõne aine koostises. Kui aines on radionukliide suurel hulgal, nimetatakse seda ainet **radioaktiivseks aineks**. Olenevalt aines sisalduvate radionukliidide hulgast ja nende poolestusaja kestusest toimub aines iga ajaühiku jooksul kindel arv tuumalagunemisi. Ainele omast tuumade lagunemiskiirust nimetatakse selle aine **aktiivsuseks** ja aktiivsuse mõõtühik on **bekerell**, mis vastab ühele tuumalagunemisele sekundis.

Aines neeldumisel annab ioniseeriv kiirgus ära teatud koguse energiat. Kiirguse toimet ainele mõõdetakse **kiirgusdoosiga** ehk lühidalt väljendudes doosiga. Inimese kogu keha kiiritust väljendava doosi ehk **efektiivdoosi** mõõtühik on **siivert** (Sv). Praktikas kasutatakse tihti siiverti tuhandikku (mSv).

Nii meis endis kui ümbritsevas keskkonnas leidub alati vähesel määral radionukliide ja seega ka ioniseerivat kiirgust, mis annab inimese nn loodusliku kiiritusdoosi. Näiteks annab kosmiline kiirgus aastas 0,3 mSv suuruse doosi, inimkehas sisalduvad radionukliidid umbes 0,2 mSv ning maapinnast ja ehitistest lähtuv kiirgus 0,5 mSv suuruse doosi. Nende doosikomponentidega peab Eestimaal arvestama iga inimene. Kuid lisaks võib mõnes piirkonnas pinnasest, ehitusmaterjalidest ja kraaniveest eluruumidesse tungiv radoon põhjustada aastas 10 mSv või suuremgi kiiritusdoosi.

Eestis on radoonist põhjustatud aastane doos siiski keskmiselt vaid 1 mSv. Looduslikule doosile võib lisanduda meditsiiniprotseduuridel aastas saadav 0,5 mSv suurune doos. Tehisradionukliididest põhjustatud keskmine

doos on meil tühiselt väike. Seega on Eesti elanike keskmine kiirguskoormus umbes 2,5 mSv aastas.

## Inimene kiirgusväljas

KIIRGUSLIIK	KIIRITUSDOOS
Kosmiline kiirgus	0,3 mSv
Maapinnast ja ehitistest lähtuv kiirgus	0,5 mSv
Radoon	1 mSv
Meditšiiniprotseduurid	0,5 mSv
Radionukliidid inimkehas	0,2 mSv

Ioniseeriv kiirgus kahjustab elusaid rakke. Mida rohkem kiiritust inimkeha saab, seda enam kahjustuvad ta rakud. Ühekordse suure (500 mSv ja enam) kiiritusdoosi korral tekivad mõne päeva jooksul tervisekahjustused, mille tunnuseks on näiteks naha punetus, iiveldus, oksendamine. 3000 mSv suurune doos võib põhjustada pooltel inimestel surma mõne nädala jooksul. Väikesed doosid ei pruugi kohe kahjustusi tekitada, kuid need suurendavad kasvajate ja pärilike haiguste tekkimise tõenäosust. Näiteks, kui kaks tuhat noort inimest saavad 10 mSv suuruse kiiritusdoosi, siis areneb tõenäoliselt ühel neist edasise elu jooksul kiiritusest tingitud pahaloomuline kasvaja.

Tervisekahjustuse raskus ei sõltu otseselt kiiritusdoosi suurusest, mõnikord võib ka väike doos kutsuda esile väga raskeid tagajärgi. Kuid kiirituskahjustuste tekkimise tõenäosus on võrdeline doosi suurusega. Seetõttu tuleb põhjendamatut kiirituse saamist vältida ja püüda hoida kiiritusdoosid nii väikesed, kui see olemasolevate vahenditega võimalik on.

Inimliku vea, tehniliste põhjuste või loodusjõudude tõttu võivad tuumaseadmetega või kiirgusallikaid sisaldavate seadmetega juhtuda avariid, mille tagajärjel satub keskkonda suur hulk radionukliide. Radionukliidid võivad põhjustada elanikel suuri kiiritusdoose. Selliseid olukordi nimetatakse kiirgushädaolukordadeks.

Eestis võib kiirgushädaolukorra põhjustada **avarii**:



- ▶ naaberriigi tuumaelektrijaamas (Loviisa Soomes, Sosnovõi Bor Venemaal, Ignalina Leedus);
- ▶ radioaktiivsete jäätmete käitlemisel;
- ▶ liikluses radioaktiivseid aineid vedava veokiga;
- ▶ kiirgusallikaga töötamisel ohutusnõuete eiramise tõttu.

**Kiirgushädaolukorra võib põhjustada ka:**

- ▶ varastatud radioaktiivse aine sattumine keskkonda;
- ▶ „räpase pommi” lõhkamine;
- ▶ tuumakütusel töötava satelliidi kukkumine Eesti territooriumile või selle lähedusse;
- ▶ tuumalaengu tahtlik või tahtmatu lõhkamine.

Keskkonna radioaktiivse saastumise korral võib inimene saada väliskiiritust õhus sisalduvatest või maapinnale sadenenud radionukliididest või sisekiiritust nendest radionukliididest, mis on sattunud kehasse hingamisel või saastunud toiduainete või vee kasutamisel.

Informatsiooni võimaliku kiirgushädaolukorra tekkimise kohta valdavad Päästeamet ja Kiirgusikeskus. Eestis toimuvatest kiirgusavariidest teavitab elanikkonda Päästeamet, kes on ka juhtiv asutus elanike kaitse organiseerimisel.

Teistes riikides toimunud kiirgusavariide kohta saab hoiatavat informatsiooni eelkõige Kriisikeskus. Samuti jälgib Kiirguskeskus ööpäevaringselt atmosfääri radioaktiivsuse taset üle kogu Eesti ja vajadusel alarmeerib Päästeametit võimalike saastepilvede liikumisest meie piiridele. Atmosfääri kiirgusseire andmeid on kõigil võimalik jälgida Kiirguskeskuse kodulehel [www.envir.ee/kiirgus](http://www.envir.ee/kiirgus).

Kiirgusseirevõrgu jaamad on Tallinnas, Kundas, Narva-Jõesuus, Mustvees, Tartus, Võrus, Valgas, Pärnus, Türil, Kärdlas ja Sõrve poolsaarel.

**Kiirgushädaolukorra tekkimisel antakse elanikele kõiki ametlikke sidekanaleid kasutades teada, kus avariitõime toimus, milline on oht, kui kaugemale see ulatub ja mida tuleb kiirituse vältimiseks teha.**

Kui ametivõimud teatavad tõsisest õhu saastumisest, varju lähimasse ruumi: koju, töökohta või tuttavate juurde. Sule tihedalt aknad, ukSED ja muud välisõhu sissepääsud. Lülita välja ventilatsioonisüsteem.

Võimaluse korral varu plast- või klaastarasse pakendatud toitu ja jooki.

Täida täpselt politsei- ja päästetöötajate juhiseid. Ära lahku elupaigast omal algatusel, tee seda ainult ametivõimude soovitusel.

Objektiivse teabe saamiseks kuula pidevalt kohaliku raadio või Eesti Raadio saateid või vaata Eesti Televisiooni saateid. Need allikad edastavad kõige täpsemad juhtnõured.

Püüa vältida või vähendada saadavat kiiritusdoosi.

Kaitstes end väliskiirituse eest, **arvesta järgmisi põhimõtteid:**



- ▶ mida lühem on kiiritamise aeg, seda väiksem on doos;
- ▶ mida kaugemal kiirgusallikast asud, seda väiksem on doos;
- ▶ saadavat doosi vähendab igasugune varjestus.

**Sisekiirituse ärahoidmiseks** tuleb vältida radionukliidide sattumist organismi. Selleks:

- ▶ viibi radioaktiivselt saastunud aladel nii vähe kui võimalik, seal viibides kaitse hingamisteid ja nahka;
- ▶ ära söö, joo ega suitseta saastunud alal;
- ▶ pärast saastatud alalt väljumist kontrolli võimaluse korral riiete ja naha saastatust;
- ▶ ära korja saastunud alal marju ega seeni.

Kui märkad märki „Kiirgusohu” või leiad sellise märgistusega eseme, hoiu sellest eemale, mine sellest vähemalt 10 meetri kaugusele.

Teata oma leiust kindlasti hädaabi numbril 112 või Keskkonnainspektsiooni valvetelefonil 1313. Helista isegi siis, kui ese on märgistamata, kuid tekib kahtlus, et tegemist võib olla kiirgusallikaga. Jäta meelde leiu asukoht, et oskaksid päästemeeskonda sinna juhatada.

## 1.9. Radioaktiivsuse ühikud

**Aktiivsus** (lagunemise kiirus) on avaldatav järgmiselt:

$$A = \lambda N = \ln 2 N / T_{1/2} \text{ [Bq, lagunemist/s]},$$

kus  $N$  – radionukliidi tuumade arv,

$\lambda$  – lagunemiskonstant [ 1/s ],

$\ln 2$  – 0,693.

**Poleestusaeg**  $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$  [s] on aeg, mille jooksul pooled tuumad on ära lagunenud.

Anname veel aktiivsuse radionukliidi massi kaudu:

$$A = bm / MT_{1/2} \text{ [Bq]},$$

kus  $b = 4,17 \cdot 10^{23}$  (kui  $T_{1/2}$  on sekundites),

$b = 1,32 \cdot 10^{16}$  (kui  $T_{1/2}$  on aastates),

$m$  – radionukliidi mass [g],

$M$  – aatomi (või molekuli) massiarv.

Varjatult on siin sees Avogadro arv –  $N_A = 6,024 \cdot 10^{23}$  gramm-ekvivalendi (või mooli) kohta.

Kiirguse (osakese ja ka footoni) energiaühikuks SI-süsteemis on **pJ** (pikodžaul).

$$1 \text{ pJ} = 10^{-12} \text{ J (Joule)}.$$

Traditsiooniliselt aga kasutatakse megaelektronvolti  $\text{MeV} = 10^6 \text{ eV}$ .

$$1 \text{ pJ} = 6,25 \text{ MeV}$$

See on energia, mida elektriväljaga vaakumis kiirendatav elektron saab vastava potentsiaalide vahe läbimisel.

**Näiteks värviteleri kineskoobis 25 kV annab 25 keV, röntgeniaparadis 100 kV annab 100 keV = 0,1 MeV.**

Tabel 1.2. Radioaktiivsuse ühikud

Suurus	Tähis	SI-süsteem			Traditsiooniline süsteem			Suhe
		Ühik	Nimetus	Definitsioon	Ühik	Nimetus	Definitsioon	
Aktiivsus	A (I)	Bq	bekkerell (Bequerel)	lagun./s	Cu*	kürii (Curie)	$3,7 \cdot 10^{10}$ lagun./s	1 Cu = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq
Eriaktiivsus <sup>1</sup> (Radionukliidi kontsentrats.)	Q	Bq/kg Bq/l		lagun./s·l	Cu/kg Cu/l		$3,7 \cdot 10^{10}$ lagun./s·l	
Pinna- aktiivsus		Bq/m <sup>2</sup>				lag./min · cm <sup>2</sup> Cu/km <sup>2</sup>		1 lag. / min·cm <sup>2</sup> = 167Bq/m <sup>2</sup> = $3,7 \cdot 10^4$ Bq/m <sup>2</sup>
Neeldunud doos <sup>2</sup>	D	Gy	grei (Gray)	J/kg (džauli/kg)	rad		100 erg/g	1 Gy = 100 rad
Eksposit- sioonidoos <sup>3</sup>	D <sub>eks</sub> (X)	C/kg		kulonit/kg	R	röntgen		1 C/kg = 3900 R
Ekvivalentne doos <sup>4</sup>	D <sub>ekv</sub> (H)	Sv	siivert (Sievert)		rem	Röntgen equivalent man	röntgeni bioloogi- line ekvivalent	1 Sv = 100 rem
Efektiivne doos <sup>5</sup>	D <sub>eff</sub> (E)							
Neeldunud doosi intensiivsus	P	Gy/s			rad/s			
Eksposit- sioonidoosi intensiivsus	P <sub>eks</sub>	A/kg		C/kg·s=A/kg (amprit/kg)	R/s (R/h)			
Ekvivalentse doosi intensiivsus	P <sub>ekv</sub>	Sv/s (Sv/h)			rem/s			1 Sv/s = 100 rem/s

\* Endise Nõukogude Liidu aladel kasutati tähistust Cu, kuid rahvusvaheliselt Ci.

### Märkused tabeli 1.2 juurde

1. Tahked ained – kg. Vedelad ja gaasilised – liitrid.
2. Neeldunud doos – mistahes liiki ioniseeriva kiirguse poolt mistahes aines neeldunud (eri)energia: džauli 1 kg-s aines (või 100 ergi grammis).
3. Ekspositsioonidoos –  $\gamma$ -kiirguse poolt kuivas õhus tekitatud mõlemat märki ionide (eri)laeng: Kulonit 1 kg õhus (või 1 CGSE laenguühikut 1 cm<sup>3</sup> õhus). Soovitatakse kasutada  $\bullet$ -kiirguse jaoks (kuni 3 MeV).

Kui ioniseeritav keskkond on õhk, siis ekspositsioonidoosile vastab kindel neeldunud doos:  
 1 R = 0 877 rad; 1 C/kg = 34 Gy.

4. Ekvivalentne doos – mistahes liiki ioniseeriva kiirguse poolt bioloogilises koes tekitatud bioloogiline efekt, mis on võrdne seal  $\bullet$ -kiirguse neeldunud doosi poolt tekitatuga.

Suhe neeldunud ja ekvivalentse doosi vahel:

$$D_{ekv} = W_R \cdot D,$$

kus  $W_R$  – kiirguse kaalutegur.

5. Efekttiivne doos – arvestab eri kudede (elundite) tundlikkuse erinevust (et täita veel oma funktsiooni) ja kudede suhtelist massi kaaluteguri  $W_T$  abil.

$D_{eff} = \sum W_T \cdot D_{ekv,T}$ , kus  $D_{ekv,T}$  on vastava koe poolt saadud ekvivalentne doos.

$$1 \text{ Gy} = W_R \cdot 1 \text{ Sv} \quad (1 \text{ rad} = W_R \cdot 1 \text{ rem}).$$

$W_R$  iseloomustab energeetilise ja bioloogilise efekti suhet, mis oleneb kiirguse liigist ja energiast. Keskmiselt on  $W_R$  lähedane 1'le.

$\bullet$ -kiirgus:  $W_R = 10\text{-}20$ ,  $\bullet\bullet$ - ja  $\bullet$ -kiirgus  $W_R = 1$ , seega siin  $D_{ekv} = D$ .

Seega varem levinud kiiritusdoosi väljendamine röntgenites (R) ei ole rangelt võetuna võrreldav doosiga röntgeni bioloogilises ekvivalendis (rem, või SI-süst. Sv), kuigi hinnanguliselt R on lähedane rem'le (keskmiselt).

Fooniline 10  $\mu\text{R/h}$  on lähedane väärtusele 0,1  $\mu\text{Sv/h}$ .

Mõnevõrra tinglikum on keemilise elemendi liikumist organismis iseloomustav suurus: see on bioloogiline "poolestusaeg"  $T_{b1/2}$

See tähendab aega, mille jooksul on pool organismi sattunud keemilist elemendi sealt eritunud ( $T_{b1/2}$  on sama teatud elemendi kõikidele isotoopidele, olgu nad stabiilsed või mitte). Kiiresti liikuvad on leelismetallid ja halogeenid (Na, K, Cs, Cl, I); keskmised -Ca, Sr, C, P, Fe, Mn, Mo, Te; väheliikuvad – raskemetallid Ba, Hg, Pb, Cd, Ra, U, Pu. Kõige liikuvam on muidugi vesi, (3H).

Organismi sattunud radionukliidi toimet iseloomustab kogunenud efektiivne doos  $D_{eff}$  sissesattunud nukliidi aktiivsuse ühiku kohta [Sv /Bq]. Selle kohta on rahvusvahelised organisatsioonid (IAEA jt.) koostanud ulatuslikud tabelid sõltuvalt sisseneelamisest või -hingamisest ja inimese east (3 kuust täiskasvanuni), mis sisaldavad andmeid 584 (!) radionukliidi kohta. Kogunenud doos muutub suure ulatuses: 3H jaoks 0,02  $\mu\text{Sv/kBq}$  kuni 239Pu jaoks 0,07 Sv/kBq (erinevus 3 miljonit korda!).

## 1.10. Looduslik kiirgus

Esimene komponent: kosmiline kiirgus saab alguse üldisest kosmilisest kiirgusest ja päikeselt pärit avakosmoses kiirendatud prootonitest (päikesetuul). Nendest ülikõrge energiaga osakestest tekib  $\alpha$ -kiirgus, mida mõõtjad registreerivad. Keskmine foon sellest on 0,035-0,040  $\mu\text{Sv/h}$  (4  $\mu\text{R/h}$ ).

Teine komponent: looduslikud pika poolestusperioodiga isotoobid.

Tabel 1.3. Looduslike isotoopide (radionukliidide) kiirgus

Element	Isotoop	Sisaldus	Poolestusaeg $T_{1/2}$	Kiirguse liik	Energia MeV
Kaalium	$^{40}\text{K}$	0,012%	$1,28 \cdot 10^9$ a	$\beta$ - 89%	1,3
				$\gamma$ - 11%	1,5
Radoon	$^{222}\text{Rn}$	<sup>1)</sup>	3,8 p	$\alpha$	5,5
Radium	$^{226}\text{Ra}$	100%	1620 a	$\alpha$ - 94%	4,8
Toorium <sup>2</sup>	$^{232}\text{Th}$	100%	$1,4 \cdot 10^{10}$ a	$\gamma$ - 6%	4,6
				$\alpha; \gamma$	4,0; 4,0
Uraan <sup>2</sup>	$^{235}\text{U}$	0,72%	$7,1 \cdot 10^8$ a	$\alpha; \gamma$	4,6; 4,4
	$^{238}\text{U}$	99,27%	$4,5 \cdot 10^9$ a	$\alpha; \gamma$	4,2; -

### Märkused tabeli 1.3 juurde

1. Tekib  $^{226}\text{Ra}$  st, mida lühikese poolestusaja tõttu looduses eraldi ei esine.
2. Th ja U vallandavad terve lagunemise ahela, andes rea lühiaegseid isotoope (T<sub>1/2</sub> on sekundi osadest mõne päevani) elementide reas Pa, Th, Ac, Ra, Fr, Rn, Po, Bi, Ph, lõppedes stabiilsete plii isotoopidega  $^{207}\text{Pb}$  ja  $^{208}\text{Pb}$ .

Nendest radionukliididest tingitud looduslik foon oleneb paikkonnast, alates nullilähedasest merel või järvel kuni 0,12  $\mu\text{Sv/h}$  mulla-liiva-savi pinnasega aladel ja tavalises tehiskeskkonnas. (Kaljustel aladel ja Eesti diktüoneemakilda aladel on suurem). Soome normi järgi mõõdetakse 1 m kõrgusel maapinnast. Seega kogufoon on 0,04-0,20  $\mu\text{Sv/h}$ .



## 1.11. Levinumad tehislised radionukliidid

Tabel 1.4. Tekkeallika järgi klassifitseeritud levinumad isotoobid

Saasteallikas	Nukliid	Poolestusaeg $T_{1/2}$	Aktiivsus Bk/Mt <sup>1</sup>	Märkused	
Tuuma- ja termotuumarelv; lokaalne saaste	<sup>131</sup> I	8 p	$4 \cdot 10^{18}$	Laguproduktid atmosfääris	
	<sup>89</sup> Sr	50 p	$6 \cdot 10^{17}$		
	<sup>137</sup> Cs	30 p	$6 \cdot 10^{15}$		
	<sup>90</sup> Sr	28 p	$4 \cdot 10^{15}$		
	<sup>238</sup> Pu	90 a	$1,3 \cdot 10^{14}$		
	<sup>132</sup> Te	2,8 p	-		
	<sup>99</sup> Mo	3,1 p	-		
	<sup>140</sup> Ba	12,8 p	-		
	<sup>14</sup> C	5600 a	$1,2 \cdot 10^{14}$	Aktivatsioon atmosfääris	
	<sup>39</sup> Ar	260 a	$6 \cdot 10^{11}$		
	<sup>3</sup> H	12 a	$4 \cdot 10^{10}$		
		<sup>56</sup> Mn	2,6 a	$1,2 \cdot 10^{22}$	Aktivatsioon pinnases
		<sup>24</sup> Na	15 a	$1 \cdot 10^{22}$	
<sup>42</sup> K		12 a	$1,1 \cdot 10^{20}$		
<sup>32</sup> P		14 p	$7 \cdot 10^{18}$		
<sup>45</sup> Ca		152 p	$2 \cdot 10^{18}$		
<sup>55</sup> Fe		2,9 a	$6 \cdot 10^{17}$		
<sup>59</sup> Fe		46 p	$8 \cdot 10^{16}$		
Sama: globaalselt stratosfääri kaudu	<sup>90</sup> Sr	28 a	-	Sademetega, eriti äikesevihmaga	
	<sup>137</sup> Cs	30 a	-		
	<sup>239</sup> Pu	24 000 a	-		
Kosmoseparaatide energiaallikate allakukkumisel	<sup>90</sup> Sr	28 a	$8 \cdot 10^{15}$	Ühe allika kohta	
	<sup>238</sup> Pu	24 000 a	$6 \cdot 10^{14}$		
Tuumareaktorid <sup>2</sup>	<sup>90</sup> Y	2,5 p	-	Normaalne töö (ventilatsioon)	
	<sup>41</sup> Ar	2 h	-		
	<sup>131</sup> I	8 p	-		
	<sup>131</sup> I	8 p	-	„Kerge“ avarii	
	<sup>137</sup> Cs	30 a	-		
Radiokeemiline tööstus <sup>3</sup>	var.	-	-	Vette, atmosfääri	
	<sup>131</sup> I	8 p	-		

**Märkused tabeli 1.4 juurde**

a - aastat, p - päeva, h – tundi.

1. Bq plahvatusvõimsuse 1. megatonni trotüülekvalendi kohta.
2. 1000 MW tuumareaktoris lõhustub aastas 1 kg raskeid aatomeid ja moodustub radioaktiivseid elemente koguaaktiivsusega  $6 \cdot 10^{18}$  Bq, millest  $13^{11} - 7 \cdot 10^{17}$  Bq, inertgaase  $^{22}\text{Ne}$ ,  $^{41}\text{Ar}$ ,  $^{221}\text{Rn}$ ,  $^{222}\text{Rn} - 4 \cdot 10^{17}$  Bq ja  $^{90}\text{Sr} - 7 \cdot 10^{15}$  Bq.
3. kütuseelementide ümbertöötamine reaktorite ja tuumarelva jaoks.

Tabel 1.5. **Olulisemate tehisradionukliidide iseloomustus**

Element	Isotoop	Poolestusaeg $T_{1/2}$	Kiirguse liik	Energia MeV <sup>1</sup>
Triitium	$^3\text{H}$	12 a	$\beta$	0,02
Süsinik	$^{14}\text{C}$	5600 a	$\beta$	0,156
Naatrium	$^{24}\text{Na}$	15 h	$\beta, \gamma$	3,7; 2,7
Fosfor	$^{32}\text{P}$	14 p	$\beta$	1,7
Argoon	$^{39}\text{Ar}$	260 p	$\beta$	0,56
- " -	$^{41}\text{Ar}$	2 h	$\beta, \gamma$	1,25; -
Kaltsium	$^{45}\text{Ca}$	163 p	$\beta$	0,26
Raud	$^{55}\text{Fe}$	2,6 a	-	-
Mangaan	$^{56}\text{Mn}$	2,6 h	$\beta, \gamma$	2,9; 0,7
Raud	$^{59}\text{Fe}$	45 p	$\beta, \gamma$	0,46; 0,26
Koobalt	$^{60}\text{Co}$	5,2 a	$\beta, \gamma$	0,31; 1,3
Strontsium	$^{89}\text{Sr}$	60 p	$\beta$	1,5
- " -	$^{90}\text{Sr}$	28 a	$\beta$	0,54
Üttrium	$^{90}\text{Y}$	2,5 p	$\beta$	2,3
Molübdeen	$^{99}\text{Mo}$	2,8 p	$\beta, \gamma$	1,23; 0,5
Jood	$^{131}\text{I}$	8 p	$\beta, \gamma$	0,6; -
Telluur	$^{132}\text{Te}$	3,2 p	$\beta, \gamma$	0,22; -
Tseesium	$^{137}\text{Cs}$	30 a	$\beta, \gamma$	0,52; 0,66
Baarium	$^{140}\text{Ba}$	12,8 p	$\beta, \gamma$	1,02; 0,48
Poloonium	$^{210}\text{Po}$	138 p	$\alpha$	5,3
Plutoonium	$^{238}\text{Pu}$	90 a	$\alpha$	5,5
- " -	$^{239}\text{Pu}$	24 000 a	$\alpha, \gamma$	5,1

**Märkused tabeli 1.5 juurde**

<sup>1</sup>  $\beta$ -spektri ülemine piir (vt tabel 5.5 märkust)

## 1.12. Füüsikalisi andmeid

Tabel 1.6. Kiirguste läbitungimisvõime

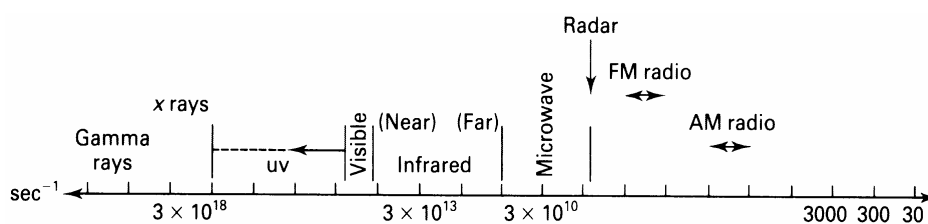
Element	Isotoop	Poolestusaeg $T_{1/2}$	Kiirguse liik	Energia MeV <sup>1</sup>
Triitium	<sup>3</sup> H	12 a	$\beta$	0,02
Süsinik	<sup>14</sup> C	5600 a	$\beta$	0,156
Naatrium	<sup>24</sup> Na	15 h	$\beta, \gamma$	3,7; 2,7
Fosfor	<sup>32</sup> P	14 p	$\beta$	1,7
Argoon	<sup>39</sup> Ar	260 p	$\beta$	0,56
- " -	<sup>41</sup> Ar	2 h	$\beta, \gamma$	1,25; -
Kaltsium	<sup>45</sup> Ca	163 p	$\beta$	0,26
Raud	<sup>55</sup> Fe	2,6 a	-	-
Mangaan	<sup>56</sup> Mn	2,6 h	$\beta, \gamma$	2,9; 0,7
Raud	<sup>59</sup> Fe	45 p	$\beta, \gamma$	0,46; 0,26
Koobalt	<sup>60</sup> Co	5,2 a	$\beta, \gamma$	0,31; 1,3
Strontsium	<sup>89</sup> Sr	60 p	$\beta$	1,5
- " -	<sup>90</sup> Sr	28 a	$\beta$	0,54
Üttrium	<sup>90</sup> Y	2,5 p	$\beta$	2,3
Molübdeen	<sup>99</sup> Mo	2,8 p	$\beta, \gamma$	1,23; 0,5
Jood	<sup>131</sup> I	8 p	$\beta, \gamma$	0,6; -
Telluur	<sup>132</sup> Te	3,2 p	$\beta, \gamma$	0,22; -
Tseesium	<sup>137</sup> Cs	30 a	$\beta, \gamma$	0,52; 0,66
Baarium	<sup>140</sup> Ba	12,8 p	$\beta, \gamma$	1,02; 0,48
Poloonium	<sup>210</sup> Po	138 p	$\alpha$	5,3
Plutoonium	<sup>238</sup> Pu	90 a	$\alpha$	5,5
- " -	<sup>239</sup> Pu	24 000 a	$\alpha, \gamma$	5,1

### Märkus tabeli 1.6 juurde

\* Keskmise lennutee  $l$  suhtub 2- ja 10-kordse nõrgenemise kihipaksustesse:

$$d_{1/2} = l / \ln 2 \cdot I = 0,693 l; \quad d_{1/10} = 2,3 l.$$

### Joonis 1.1. Elektromagnetkiirguse spekter kui funktsioon sagedusest



Radionukliidide poolt kiiratud  $\beta$ -osakesed on teatud energia jaotusega, tabelites 1.2 ja 1.4 on toodud energia maksimaalväärtus. Seetõttu nende keskmine lennutee on mõnevõrra teistsugune, veidi varieeruv tabel 1.5 andmete suhtes.

Tabel 1.7.  $\beta$ -kiirguse nõrgenemine alumiiniumis 2 korda (antud nii massina pinnakihi kohta kui ka paksusena)

Isotoop	mg/cm <sup>2</sup>	mm	Isotoop	mg/cm <sup>2</sup>	mm
<sup>3</sup> H	ca 0,2	ca	<sup>56</sup> Mn	144	0,53
<sup>14</sup> C	ca 3,5	0,001	<sup>59</sup> Fe	16	0,06
<sup>24</sup> Na	87	ca	<sup>89</sup> Sr	80	0,30
<sup>32</sup> P	130	0,013	<sup>90</sup> Y	15	0,55
<sup>40</sup> K	75	0,32	<sup>131</sup> I	ca 35	ca 0,13
<sup>45</sup> Ca	5,5	0,48	<sup>137</sup> Cs	ca 32	ca 0,12
		0,27			
		0,02			

Rahvusvaheline hinnang vabaõhu kiirgustasemele (tegevusega ärahoitav doos):

- ▶ tuleb varjuda 3 mSv/6 tundi (500  $\mu$ Sv/h);
- ▶ evakueerimine 10 mSv/päevas (400  $\mu$ Sv/h);
- ▶ ajutine ümberasumine 30 mSv/kuus (40  $\mu$ Sv/h);
- ▶ tagasitulek 10 mSv/kuus (13  $\mu$ Sv/h);
- ▶ alaline ümberasumine 1 Sv eluajal – olenevalt aktiivsuse vähenemise kiirusest.

Tshernobõli avari saastepilv läkski üle Kesk-Rootsi. Kui Lõuna- ja Põhja-Rootsis oli pinnaaktiivsus alla 3 kBq/m<sup>2</sup>, siis Kesk-Rootsis lausalana 10-40 ja väikestel aladel üle 70 kBq/m<sup>2</sup>. Eestis oli suurem <sup>137</sup>Cs-saaste Kirde-Eestis, 11-18 kBq/m<sup>2</sup>, mujal aga kohati isegi fooni piires. Keskmiselt sai Rootsi 9,5 kBq/m<sup>2</sup>.

Soome 10,7 ja Eesti <5, mis andis Soomes lisadoosi <2 mSv. On ka teada, et Põhja-Soomes oli Tshernobõli avariist saadud Cs kogus inimeste organismis 5 korda väiksem, kui 1963 aastal Novaja Zemlja termotuuma-katsetustes.

**Näited** saasteallikate "võimsusest" (võrdle tabel 1.3):

**Sillamäe** radioaktiivsete jääkide mudatiik sisaldab aktiivsust  $2,6 \cdot 10^{14}$  Bq, millega saaks keskmiselt (ca 100 kBq/m<sup>2</sup>) ära saastada 50x50 km suuruse pinna.

Avariil **Kõshtõmi** tuumakompleksis Lõuna-Uuralis plahvatas 1957 aastal mahuti  $7,5 \cdot 10^{17}$  Bq aktiivainega, saastades 7x10 km >150 kBq/m<sup>2</sup> (teistel andmetel >75 kBq/m<sup>2</sup>).

**Tshernobõli** reaktor paiskas atmosfääri rahvusvaheliste organisatsioonide hinnangu 1  $2,4 \cdot 10^{18}$  Bq ("Greenpeace" hinnang on  $6 \cdot 10^{18}$  Bq). Näitlikult on öeldud, et pääses lahti 2 kuni 200 (eri andmetel) Hirošimale heidetud pommi aktiivsus. Tabel 5.3 järgi on see arv siiski 5-12, kui mitte arvestada neutronaktivatsiooni pinnases. Kui aga arvestada, on tegemist vaid ca 0,01 osaga pommi tekitatud aktiivsusest. 3-5 miljonit ("Greenpeace" järgi 9 miljonit) inimest sai arvestatavalt kiiritada, 200 000 evakueeriti. Puhastustöödel sai "Greenpeace" järgi 46 tuhat inimest 600 000 osavõtnust (Eestist võttis osa 4 900) kiiritust 25-50 rem (norm oli 25 rem). 6 000 ("Greenpeace" järgi 15 000) inimest on surnud. Enim tuvastatud haigestumine on laste kilpnäärme vähk (<sup>131</sup>I toimel),

järgnevad teised endokriinsed haigused ja psüühilised häired, eriti enesetapuga lõppevad.

2003. a detsembris teatas Soome Radiatsiooniturvakeskus, et Soome marjades, seentes ja põdralihas on endiselt palju Tshernobõli tuumaõnnetusest pärit radioaktiivset tseesiumi. Uuriti pohli, mustikaid ja riisikaid. Enam sisaldasid tseesiumit riisikad. Tseesiumi sisaldust ei vähendanud ka seente kupatamine. Smuti ületas tseesiumi-sisaldus oluliselt Euroopa Liidu lubatud taset. Marjade ja põdraliha tseesiumisisaldus euronormidest kõrgemale ei ulatanud. Nende kõikide loodusandide kasutamine pole küll otseselt eluohtlik, kuid nende tarbimist on kasulik mõnevõrra piirata.

## 1.13. Tuumakiirguse lühiseloomustus

Tuumakiirguse energia neeldumist organismi kudedes iseloomustab kiirgusedoos ning selle bioloogiline ekvivalent. Röntgeni- ja gammakiirguse doosi mõõtühikuks on röntgen. Röntgen on röntgeni- või gammakiirte doos, mille toimetel 1 cm<sup>3</sup>-s õhus normaaltingimustel (atmosfäärirõhul 101 325 Pa ja temperatuuril 0°C), moodustub 2,08 x 10<sup>9</sup> paari ioone. 1 röntgen (R) = 2,58 x 10<sup>-4</sup> C/kg.

Radioaktiivse kiirguse bioloogilist toimet iseloomustab röntgeni bioloogiline ekvivalent ehk rem. Rem on tuumakiirguse doos, mis tekitab organismis samasuguse bioloogilise mõju nagu röntgeni- või gammakiirguse doos tugevusega üks röntgen.

Kiirguse neeldumisdoosiühikuks on grei (Gy), mille puhul ühes kilogrammis aines neeldub üks džaul (J).

1 Gy = 1 J/kg, st grei kujutab endast kaudse ionisatsiooni teel tekkinud osakeste esialgse energia ja aine massi jagatist.

Raad (rad) on tuumakiirguseenergia neeldumisdoosi mõõtühik, mille puhul ühes kilogrammis kiiritatavas aines neeldub 0,01 džauli kiirguseenergiat. 1 raad (rad) = 0,01 Gy.

Radioaktiivsus on aatomituumas kulgevate protsesside tulemus. Radioaktiivse kiirguse kolm põhiliiki on **alfa-, beeta- ja gammakiirgus**.

**Alfa-kiired** kujutavad endast osakeste voogu, mis koosneb kahest prootonist, kahest neutronist ja heeliumi tuumast. Õhus läbivad need kiired 3-7 cm, organismi kudedes 0,02-0,06 mm, nad neelduvad juba paberilehes või tavalises riides. Alfa-kiired omavad suurt ioniseerivat võimet, mis ületab gamma-kiirte analoogse võime tuhandekordselt. Alfa-kiirgus on ohtlik siseelunditesse sattumisel.

**Beeta-kiired** kujutavad endast kiirete elektronide või positronide voogu. Õhus läbivad nad 15 m, vees ja organismi kudedes 0,2-0,5 mm. Nad kahjustavad organismi nii välispidisel toimimisel kui organismi sattumisel. Talveriietus, isoleeriva aluskihiga kaitseriietus ja kaitseprillid (3-4 mm) kaitsevad välise beeta-kiirguse eest.

**Gamma-kiired** on fotonite voog, mis levib valguse kiirusega. Neil on väga suur läbistav võime (vees ja kudedes kuni üks meeter) ning organismi kahjustav toime.

Tuumaplahvatuse ajal vabaneb suur hulk neutroneid. Õhus läbivad nad mitu tuhat meetrit ning neil on suur läbistav võime. Neutronid võivad esile kutsuda indutseeritud ehk kunstlikku radioaktiivsust kokkupuutel paljude elementide (Na, K, P, Co jt) aatomituumadega.

Tuumaplahvatuse momendil avaldavad inimesele suurimat kahjustavat toimet gamma-kiired ja neutronite voog.

Neutronpommi plahvatuse energiast läheb 80% kiirete neutronite ja gamma-kiirguse arvele ning 20% energiast teiste kahjustavate tegurite arvele. Ühe kilotonnise võimsusega neutronpommi plahvatamisel kujunevad

järgmised kahjustused:

- ▶ raadiuses kuni 128 m purunevad ehitised täielikult, inimestele toimivad hävitava 1t lööklaine ja valguskiirgus;
- ▶ raadiuses kuni 822 m tekib inimestel neutronite voo toimele letaalne ehk surmaga lõppev kiiritustõbi;
- ▶ raadiuses kuni 1600 m tekib inimestel kiiritustõbi, mis mõnel juhul lõpeb ka letaalselt;
- ▶ raadiuses kuni 2000 m kujuneb inimestel peamiselt kerge kiiritustõbi.

Kuna loomuliku radioaktiivsusega elemendid on looduses ulatuslikult levinud, satuvad nad elusorga-nismidesse, sealhulgas ka inimese organismi. Elukeskkonnas allub inimene pidevalt radioaktiivse kiirguse toimale: kosmiline kiirgus merepinna tasemel annab doosi 50 milliremi aastas, radioaktiivsed mikroelemendid inimese kehas – 20 milliremi, radioaktiivsed gaasid betoonhoonetes – 450 milliremi, röntgendiagnostilised uuringud haiglas – 140 milliremi. Inimesele toimiva ioniseeriva kiirguse loomulik foon on 140-200 milliremi aastas.



Joonis 1.2

Aatomipomm „Väike poiss”, (Little Boy, pühendati USA presidendile Franklin Delano Rooseveltile), mis õhiti 6. augustil 1945. a Jaapanis Hiroshima linna kohal. Ta sisaldas 60 kg rikastatud maaki uraan 235 isotoobi suhtes, pomm diameeter oli 28 ja pikkus 120 tolli ning kaalus ca 9 000 naela (3600 kg). Rünnak oli vastutasuks Jaapani ootamatule rünnakule 1941.a. USA mereväebaasile Pearl Harbouris. Esialgsest plaaniti rünnata küll Kyotot, ent Hiroshima oli sobivam teda ümbritsevate mägede tõttu.

Pommi viskas USA pommitaja B-29 „Enola Gay”, pomm õhiti kell 8.15 600 m kõrgusel. Linnas oli 255 000 inimest, 4 km raadiuses hävis kõik 10 sekundi jooksul. Plahvatuse tagajärjel hukkus enam kui 90 000 inimest. 145000 inimest suri paari kuu jooksul.



Joonis 1.3

Aatomipomm „Paks mees”, (Fat Man, pühendati Suurbritannia peaminister Winston Churchillile), mis õhiti 9. augustil 1945. aastal 500m kõrgusel Jaapanis Nagasaki linna kohal. Ta sisaldas 6,2 kg plutoonium 239 isotoopi, pomm diameeter oli 60 ja pikkus 128 tolli ning kaalus ca 10 000 naela.

Plaanis oli rünnata Kokura linna, kuid selle kohal oli suur vihmapiiv.

Nagasaki elas 250 000 elanikku, plahvatuse tagajärjel hukkus 75 000 inimest (40 000 inimest hukkus kohe, aasta lõpuks oli surnud kiirituse tagajärjel 75 000 inimest).

1950 aastal tuvastati 280 000 inimest, kes olid üle elanud tuumaplahvatuse.

# 2. Ioniseeriva kiirguse bioloogiline toime

Ioniseeriva kiirguse bioloogiliseks toimeks nimetatakse organismis neeldunud kiirgusenergia poolt esilekutsutud nähtuste kompleksi. Kiirituse momendist kuni haigusnähtude avaldumiseni kuluvat aega nimetatakse bioloogilise toime peite- ehk latentsperioodiks.

Tuumakiirguse kahjustav toime organismile põhineb kiirguse võimel ioniseerida kudede ja rakkude koostises olevate elementide aatomeid (siit ka nimetus – ioniseeriv kiirgus).

Ionisatsiooniks nimetatakse elektriliselt laetud osakeste ehk ionide moodustumise protsessi neutraalsetest osakestest. Selle protsessi olemus seisneb selles, et alfa-, beeta- ja gammaosakeste toimel eemalduvad elektronid oma tavaliselt orbiidilt ning elektrone kaotanud aatomid muutuvad positiivselt laetud ionideks. Vabanenud elektron ühineb teise neutraalse aatomiga, andes sellele täiendava negatiivse laengu, mille tõttu aatom muutub negatiivse laenguga ioniks. Nii tekib ionide paar. Ionide eksisteerimise periood on väga lühike (umbes 105 sekundit), kuid nad muundavad aine molekulid keemiliselt väga aktiivseteks, mille tõttu need molekulid lakkavad organismis täitmast oma tavalist füsioloogilist funktsiooni ning muutuvad organismile kahjulikuks. Raku talitluse muutmiseks piisab 1-10% tema molekulide ioniseerimisest.

Samal ajal ionisatsiooniga kulgeb organismis veel teine protsess – aatomite ergastumine st täiendava energia andmine elektronile või aatomi tuumale, millega võib kaasneda elektroni üleminek kõrgemale orbiidile. Ergastunud aatom püüab vabaneda lisaenergiast ning edastab seda molekulidele, mille koosseisu nad kuuluvad. Ka sel teel muutuvad organismi molekulid keemiliselt väga aktiivseks. Raku molekuli keemilise struktuuri muutmiseks piisab ühe aatomi ioniseerimisest.

Ioniseeriva kiirguse vahetut toimimist nimetatakse kiirguse otseseks toimeks. Sõltuvalt neeldunud kiirgusenergia doosist, võib kulgeda kolloidstruktuuride depolümeerisatsioon või polümeerisatsioon. Mõlemal juhul moodustuvad organismile võõrad toksilised ehk mürgised ühendid.

Ioniseeriva kiirguse kaudne toime seisneb vee radiolüüsi produktide kahjustavas mõjus rakkudele ja kudedele. Organismi veesisaldus on suur – ligemale kaks kolmandikku keha massist. Eriti palju vett leidub aktiivselt funktsioneerivates elundites (aju hallaines 84%, neerudes 81%, südames 78%, maksas ja skeletilihastes 75%, veres tervikuna 80%). Seetõttu on kiiritamisel veemolekulide ioniseerimise tõenäosus väga suur. Vee radiolüüsil moodustuvad peroksiidühendid on tugevad oksüdeerijad ning toksiliste omadustega. Ühinedes organismis aatomite ionisatsiooni või ergastumise tulemusena tekkinud kõrge keemilise aktiivsusega molekulidega, põhjustavad nad valkude ja teiste orgaaniliste ühendite denatureerumist ja toksiliste histamiinolaoliste ainete moodustumist. Toksilised ühendid kahjustavad eriti kergesti organismi tiolrühmi (-SH) sisaldavaid ensüüme, mille tagajärjeks on rakkude kasvu ja paljunemise pärssimine.

Ioniseeriva kiirguse suurte dooside mõjul võib rakkude ainevahetus muutuda sedavõrd oluliselt, et see kutsub

<sup>2</sup> **Onkootne rõhk:** Vee ja temas lahustunud ainete filtratsioon läbi erinevate seinte, toimub kapillaarides valitseva vere hüdrostaatilise rõhu tõttu. Mida kõrgem on rõhk, seda intensiivsem on filtratsioon. Filtratsiooniprotsessid on seotud osmoosiga. Osmootne rõhk sõltub nende ainete kontsentratsioonide erinevusest, mis pole võimelised läbima poolläbilaskvat membraani (valgud jt). Kuna valkude kontsentratsioon on veres kõrgem, kui koevedelikes, on ka osmootne rõhk veres kõrgem. Valkude ja teiste kolloidide osmootne rõhk, mida nimetatakse **onkootseks rõhuks**, säilitab vee vere koostises.

esile perifeersete retseptorite ülitugeva ärrituse, mis kesknärvisüsteemi saabudes kutsub esile šokiseisundi.

Kiirguse mõjul vallanduvad radiokeemilised protsessid põhjustavad rakumembraanide läbilaskvuse tõusu. Näiteks suureneb selle tagajärjel veresoonte seinte läbilaskvus ning tekivad verejooksud ja verevalumid. Raku valgumolekulide hüdroloüüsumine põhjustab onkootse rõhu 2 tõusu, DNA ja raku teiste struktuuride lõhustumist ning rakkude hävimist.

Radiobioloogiline efekt ehk organismi kahjustuste aste sõltub kiirguse ülddoosist, selle toimeajast, kudedes neeldunud energiahulgast ja organismi individuaalsetest iseärasustest. Mida suurem on ühekordne kiirgus, seda kiiremini kujuneb välja kahjustus. Kiirgusdoos 150 Gy ja üle selle põhjustab kohest või mõne tunni möödumisel saabuvat surma, kusjuures domineerib kesknärvisüsteemi kahjustus. Doosi 50-100 Gy puhul, saabub surm umbes kahe päeva möödumisel, ülekaalus on jällegi kesknärvisüsteemi kahjustus. Doosi 12-50 Gy toimel järgneb surm umbes seitsme päeva möödumisel, kusjuures ülekaalus on mao-sooletrakti kahjustus. Doosi 1-10 Gy toimel kujuneb välja kiiritustõbi. Organismi vastusreaktsioon korduvale (pikas ajavahemikus) väikeses doosis kiiritamisele, erineb reaktsioonist ühekordsele suures doosis kiiritamisele. Näiteks inimese pikemaajalisel kiiritamisel gamma-kiirguse doosidega, mis moodustab 0,05-0,25 Gy kuus, kujuneb 1,5-3 aasta jooksul välja krooniline kiiritustõbi. Kutsetöös on maksimaalselt lubatud kiiritusdoosiks kvartalis 3 remi ja aastas 5 remi. Geneetilisi muutusi mitteesilekutsuvaks kiirgusdoosiks loetakse 12 remi 30 aasta jooksul. Lubatud kiiritusdoosid on tunduvalt madalamad nende doosidega võrreldes, mida inimene tegelikult suudab taluda töövõimet kaotamata. Näiteks ei põhjusta lühiajaline maksimaalne kiirgusdoos 2 Gy inimesel raskeid tagajärgi. Radioaktiivse kiirguse kumulatsiooni ehk kuhjumist organismis ei toimu. Küll aga süvenevad organismi korduval kiiritamisel erinevate elundkondade morfoloogilised ja talituslikud kahjustused.

Inimese organismis kujunevatest kiirguskahjustustest on pöördumatuid umbes 10%, kusjuures taastumisprotsesside kulgemise kiirus ehk pooltaastumise periood on 28 päeva. Radioprotektorite kasutamisega on võimalik seda perioodi tunduvalt lühendada.

Küllalt erinev on inimese organismi individuaalne tundlikkus radioaktiivse kiirguse suhtes: kõige tundlikumad on noored ning intensiivselt talitlevad ja paljunevad rakud ning koed. Sama kehtib ka organismi erinevate kudede ja elundite vastupanuvõime kohta ioniseeriva kiirguse suhtes. Vastavalt tundlikkuse vähenemisele radioaktiivse kiirguse suhtes, paiknevad organismi rakud sellises järjestuses:



- ▶ kõrget tundlikkust omavad – luuüdi vereloome rakud, lümfotsüüdid, müelotsüüdid, erütroblastid, sugu- ja looterakud, peensoole krüpteepiteeli rakud, karvanääpsude rakud (hävitav doos on 3,5-8 Gy);
- ▶ keskmist tundlikkust omavad – naha ja limaskestade kasvukihi rakud, rasunäärmete ja higinäärmete rakud, silma läätse epiteeli rakud, kõhrkoe rakud, osteoblastid, veresoonte endoteeli rakud (hävitav doos on 10-30 Gy);
- ▶ madala tundlikkusega on – maksa rakud, näärmeepiteel, neerukanalikeste epiteel, kesknärvisüsteemi gliirakud, närvirakud, alveoolide epiteelirakud, lihaskoe rakud, retikulaarsed rakud, side- ja luukoe rakud (hävitav doos on 50 Gy).

Sellele vaatamata, et närvikoe rakud on morfoloogiliste kahjustuste suhtes väikese tundlikkusega, on nende talitlus väga tundlik radioaktiivse kiirguse suhtes. Seetõttu esinevad juba üldise kiirituse algstaadiumis erutusepidurduse protsesside tasakaalu häired, häiritud saab tingitud reflekside kujunemine ja ajukoore bioelektriline aktiivsus.

Kudede ja rakkude hapnikuvaegus nõrgendab ja hapnikusalduse tõus suurendab radioaktiivse kiirguse kahjustavat toimet organismile. Organismi hapnikuvaeguse kaitsev toime ei sõltu selle esilekutsumise viisist ning see saavutatakse hapniku partsiaal- ehk osarõhu langusega atmosfääriõhus, veresoonte kinnisurumisega kiiritatavas kehaosas, hingamiskeskuse talitluse pärssimisega ravimitega, koehingamise pärssimisega või blokeerimisega tsüaniidide ja teiste keemiliste ühenditega, hemoglobiini blokeerimisega met- ja karboksühemoglobiini teke teel või gaasigude (lämmastiku, heeliumi, argooni, vesiniku) kasutamisega. Eelnimetatutest on ainukeseks füsioloogiliseks meetodiks hapniku partsiaarõhu langetamine atmosfääriõhus (kõrgmäestikust või barokamb-



ris), kuna teised meetodid toimivad organismi füsioloogilisi protsesse kahjustavalt (hemoglobiini ja koehingamise ensüümide blokeerimine, 10% hapniku ja 90% lämmastiku segu pikaajaline sissehingamine jne). Parim kaitseefekt saavutatakse juhul, kui organism viibib mõõduka hapnikuvaeguse tingimustes kiiritamise ajal ning üks kuu enne ja pärast seda. Organismi vastupanuvõime suurenemine kiiritusele hapnikuvaeguse ehk hüpoksia seisundis, on tingitud vereloome intensiivistumisest, ainevahetuses anaeroobsete protsesside aktiveerumisest, energeetiliste kulutuste vähenemisest, sest rakutalitlus kulgeb madalamal tasemel ning raku mitokondrite suurenenud võimest kasutada hapnikku.

Ioniseeriv kiirgus kahjustab tugevasti organismi vastupanuvõimet ehk immuunsust haigustekitavate mikroorganismide suhtes. See on tingitud kolmest põhjegurist:



- 1) suureneb kõikide bioloogiliste barjääride (naha limaskestast, sooleepiteeli, veresoonte endoteeli jne) läbilaskvus mikroorganismide suhtes;
- 2) pärstakse organismi mittespetsiifilised kaitsemehhanismid (langeb makrofaagide arv ja fagotsütoosi-võime, naha ja limaskestade bakteritsiidsus ehk mikroobe hävitav võime, interferooni tootmine, väheneb lüsoosüümi ja komplemendi hulk jne);
- 3) pidurdub antikehade süntees. Immuunsuse kiirguskahjustuse tagajärjel muutub normaalne mikrofloora organismile ohtlikuks ning võib haigusi esile kutsuda (kuju- neb nn autoinfektsioon ehk enesekahjustus). Kiiritatud organismis on nakkushaiguste tunnused väärastunud, kehatemperatuuri tõus võib puududa, lühiajaline leukotsütoos asendub kiiresti leukopeeniaga, tüüpilised haigustunnused võivad puududa, organism muutub ülitundlikuks ravimite ja vaktsiinide suhtes, antikehi ei teki.

Ioniseeriva kiirguse bioloogilise toime üheks iseärasuseks on kaugtagajärgede kujunemine. Need võivad tekkida nii üldisel kui osalisel kiiritamisel väga erineva aja möödumisel. Näiteks kiiritustõve põdemise järgselt võivad leukoosid ja kasvaja areneda 5-8 aasta möödumisel. Ioniseeriva kiirguse toime kaugtagajäreks on ka üldine kurnatus, ainevahetuse (valgu, süsivesikute, rasva, vitamiinide, vee ja mineraalainete) häired, silmakoe tekkimine, juuste hallikminek, täielik või ajutine viljatuse, enneaegne vananemine ja eluea lühenemine. Järeltulevatel põlvkondadel võivad ilmuda geneetilised kiirgus-kahjustused – mittetäisväärtuslike pärilike omaduste edasikandmise tagajärjel tekivad mitmesuguste elundkondade kaasasündinud haigused, väärarengud ja surnult sündivus. Nimetatud kaugtagajärgede esinemine on kinnitust leidnud Hiroshima ja Nagasaki tuumaplahvatused ja Tšernobõli tuumaavarii üle elanud inimeste meditsiinilise jälgimise tulemusena.



- ▶ neutronid, erinevalt teistest kiirguse liikidest, ise ei ioniseeri rakke ja kudesid, sest neil puudub elektriline laeng. Neutronid annavad kudedes 95% oma energiast prootonitele, mis kutsuvad esile molekulide ionisatsiooni; bioloogiliselt on eriti aktiivsed suure energiaga kiired neutronid;
- ▶ neutronite toimimisel organismile praktiliselt puudub hapniku efekt, keemiliste radioprotektorite toime on nõrk või puudub üldse;
- ▶ neutronikiirguse bioloogilise toime iseärasuseks on selgelt väljendunud mutageenne efekt ning kiirete neutronite väikeste dooside poolt esile kutsutav kantserogeenne ehk vähkitekitav efekt.

Neutronikiirgus erineb bioloogilise toime poolest teistest kiirguseliikidest. Neutronikiirguse bioloogiline toime inimese organismile seisneb järgmises: Neutronikiirguse toimimisel organismile kahjustub koehingamine ning hapniku omastamine kudede poolt, häiritud saab vereloome ning osa hemoglobiinist muutub methemoglobiiniks, varakult kahjustuvad vere valgelibled. Oluliselt muutub raku bioenergeetika, häirub eeskätt valkude, lipiidide ja süsivesikute ainevahetus. Tugevat kahjustavat toimet avaldavad kiired neutronid nukleiidide ainevahetusele, mille tõttu kahjustub DNA ja pidurdub selle süntees. Nõrgeneb organismi immuunsus. Kõik need muutused loovad koosmõjus soodsa fooni kasvaja tekkeks.

## 2.1. Läbiva kiirguse poolt põhjustatud äge kiiritustõbi

### 2.1.1. Ägeda kiiritustõve perioodid ja tunnused

Kiiritusdooside 1-10 Gy poolt põhjustatud ägeda kiiritustõve kulus eristatakse nelja perioodi:

- 1) esmasreaktsiooni periood;
- 2) peiteperiood ehk näilise heaolu periood;
- 3) väljakujunenud haiguse periood;
- 4) paranemisperiood.

Esmasreaktsiooni perioodi kujunemise kiirus, haigusnähtude raskus ja kestvus sõltuvad saadud kiirgusdooside suurusest, summaarse kiirgusdoosi toimeajast, organismi kiirgustundlikkusest ja seisundist kiirituse momendil ning vanusest (vt tabel 2.1 ja 2.2).

Tabel 2.1. *Esmasreaktsiooni kujunemise kiirus, kestvus ja haigusnähtude ilmumise sagedus*

Kiirgusdoos (Gy)	Reaktsiooni ilmumise kiirus (t)	Reaktsiooni kestvus (t)	Nähtude ilmumise sagedus (%)
1,0	3-4	10-11	1-5
1,5	2-3	14-16	30-60
2,0	1-2	20	75-80
3,0 ja enam	1-2	23	100

Tabel 2.2. *Haigusnähtude esinemine esmasreaktsiooni perioodis sõltuvalt saadud kiirgusdoosi suurusest*

Saadud doos (Gy)	Kiiritustõve raskusaste			
	I	II	III	IV
	1-2	2-4	4-6	6 ja rohkem
Oksendamine (algus)	2 t ja hiljem	1-2 t pärast korduv	0,5-1 t pärast korduv	5-20 min pärast pidev
Kõhulahtisus	Pole	Pole	Pole	Võib esineda
Peavalu	Lühiajaline	Esineb	Esineb	Tugev
Teadvus	Selge	Selge	Selge	Häiritud
Keha temperatuur	Normaalne	37,5°C	37,5-38°C	38-39°C
Naha muutused	Normaalne	Mööduv punetus	Möödukas punetus	Tugev punetus
Perioodi kestvus	Mõni tund	Kuni 1 päev	Kuni 2 päeva	Üle 2-3 päeva

Kiirituse esmasreaktsiooni algnähud ilmnevad kesknärvisüsteemi kahjustumise tulemusena: tekivad peavalud, pearinglemine, unisus või kõrge erutuvus, kehatemperatuur tõuseb, tekib higistamine, näo punetus ja üldine nõrkus. Raskematel juhtudel lisandub iiveldus, oksendamine ja kõhulahtisus. Südame-veresoonkonna kahjustuse tagajärjel südameatalitus kiireneb, see muutub ebaühtlaseks ning vererõhk langeb (võib tekkida kollaps). Neerutalitluse häirumise tõttu erituv uriini hulk suureneb ning uriini ilmub valk, suhkur ja keto kehad. Nahakahjustuse nähtudest esineb tugev naha punetus, põletus- ja torkimistunne ning sügelemine. Veres väheneb lümfotsüütide hulk (tekib lümfopenia).

Peiteperiood võib kesta mõnest päevast 4-5 nädalani, sõltudes saadud kiirgusdoosi suuruselt. Mida suurem on saadud kiirgusdoos, seda lühem on peiteperiood. Suurte dooside saamisel võib peiteperiood puududa ning esimene periood läheb kohe üle kolmandasse perioodi (vt tabel 2.3).

Tabel 2.3. **Haigusnähtude esinemine peiteperioodis**

Saadud doos (Gy)	Kiiritustõve raskusaste			
	I	II	III	IV
	1-2	2-4	4-6	6 ja rohkem
Perioodi kestvus (päevad)	30	15-25	8-17	Pole või alla ühe nädala
Juuste väljalangemine	Pole	Algab 12. kuni 20. päeval	Algab 10. kuni 20. päeval	Algab 7. kuni 10. päeval
Kõhulahtisus	Pole	Pole	Pole	Esineb
Lümfotsüütide arv veres 3. kuni 6. päeval	1000-600 1 mm <sup>3</sup>	500-300 1 mm <sup>3</sup>	200-100 1 mm <sup>3</sup>	Alla 100 1 mm <sup>3</sup>
Valgeliblede arv veres 7. kuni 9. päeval	4000-3000 1 mm <sup>3</sup>	2900-2000 1 mm <sup>3</sup>	1900-500 1 mm <sup>3</sup>	Alla 500 1 mm <sup>3</sup>

Peiteperioodile on iseloomulik esmasreaktsiooni ajal esinenud haigusnähtude nõrgenemine ja enesetunde paranemine, mille tõttu seda haigusjärku nimetatakse ka näilise heaolu perioodiks. Näilise heaolu foonil süveneb luuüdi, vere, sooleepiteeli ja spermatogeneesi kahjustumine ning arenevad naha limaskestade ja karvkatte kahjustused.

Verepildis kujuneb 3.-4. haiguspäevaks leukopeenia, süveneb lümfopenia ning 8.-20. haiguspäeval tekib trombotsütopeenia ehk vereliistakute arvu oluline vähenemine.

10.-17. haiguspäeval algab nendel nahapindadel, millele sattunud kiirgusdoos oli 5,5 Gy ja rohkem, epilatsioon ehk karvkatte (juuste) väljalangemine.

Kiiritatud nahal taastekib 8.-15. päeval tugev punetus, valulikkus ja turse. Kiirgusdoosi puhul kuni 6 Gy püsivad need nähud ühe nädala, seejärel kaovad, jättes järele naha pigmentatsiooni ja ketenduse. Doosi 8 Gy ja rohkem puhul tekivad nahal villid ning raskesti paranevad haavandid. Seega, teise haigusperioodi raskusele viitab epilatsioon, trombotsütopeenia ja nahakahjustuste varajane väljakujunemine.

Väljakujunenud haiguse periood kestab üks kuni kolm nädalat ning kujuneb välja ägedale kiiritustõvele iseloomulik haiguspilt.

Taastuvad tugevad peavalud, pearinglemine, unetus ja tugev nõrkus. Arenevad raskekujulised seedekulgla talitluse häired: isutus, iiveldus, oksendamine ja kõhulahtisus, kahjustub organismi ainevahetus ning kujuneb välja tugev kõhnumine.

Suureneb veresoonte läbilaskvus, langeb vere hüübivus, mille tõttu tekivad verevalumid nahal ja limaskestadel ning verejooksud ajus, kopsudes, maos, sooltes, ninas, naistel emakas ja teistes elundites.

Seedekulgla limaskestal arenevad haavandilis-nekrootilised protsessid -kärbuslik angiin kurgus, haavandiline stomatiit ehk suupõletik, gingiviit ehk igemepõletik, ösofagiit ehk söögitorupõletik ja gastroenteriit ehk mao-peedsoole põletik. Söömine on valulik ja piinarikas.

Kopsudes tekivad verejooksude ja kärbuslega kaasnevad kopsupõletikud umbes 50% haigetest.

Jätkub peiteperioodis alanud epilatsioon – karvkate langeb välja ulatuslikul nahapinnal.

Kuna kõikide elundite kaitsefunktsioon on tunduvalt langenud, omandab haigusttekitava võime organismi alaline mittehaiguslik mikrofloora. Lisanduva välisnakkuse osavõtul kujuneb välja sepsis ehk veremürgitus, millele viitab kehatemperatuuri tõus 40°C-ni. Areneb kehveresus.

Rasketel kiiritustõve juhtudel järgneb surm verejooksudele elutähtsatesse organitesse, vereloome pärssimisele ja nakkusliku päritoluga tüsistuste lisandumisele.

Hea prognostilise tähendusega on vereloome taastumine organismis. Paranemisperiood kestab mõnest nädalast kolme kuni kuue kuuni ja kauem olenevalt organismi kiirguskahjustuse raskusest. See periood algab kehatemperatuuri normaliseerumise ja haige enesetunde paranemisega. Vähenevad peavalud, lakkab oksendamine ja kõhulahtisus, taastub mao-sooletrakti talitlus, hakkavad paranema haavandid nahal ja limaskestadel, kaovad verevalumid, aeglaselt taastub vereloome. Järk-järgult taanduvad ka teised haigusnähud. Väga kauaks, vahel kogu eluks, säilivad mõned kesknärvisüsteemi talitluse häired (erutus-pidurdusprotsesside liikuvus ehk labiilsus, kiire kurnatuse kujunemine jne), südame-veresoonkonna kahjustuse nähud (kalduvus vererõhu langusele jne), vereloome ja sisenõrenäärmete talitluse häired.

Juhul, kui läbiva kiirguse doosist moodustab neutronite voog kolmandiku või enam, kujuneb välja kiiritustõbi, mille haiguskulg omab rida iseärasusi. Nende tekke põhjuseks on neutronite energia ebaühtlane jaotumine organismi elundites ja kudedes. Nimetatud iseärasused kiiritustõve kulgemisel on järgmised:



- ▶ esmasreaktsioon on tugevalt välja kujunenud – esimese 3-5 tunni jooksul esineb sage oksendamine, seedimine pidurdub, esineb adünaamia;
- ▶ 2.-5. haiguspäeval kujunevad välja intensiivselt väljendunud seedetrakti talitluse häired – oksendamine, kõhulahtisus (sageli verelisandiga) ja üldseisundi halvenemine. Eeskätt kahjustub peensool. Suurte kiirgusdooside saamisel peiteperiood praktiliselt puudub;
- ▶ ulatuslikult kahjustuvad limaskestad, varakult tekivad verejooksud ning eeskätt suu limaskestal kujunevad haavandilis-kärbuslikud protsessid raskete nakkuslike tüsistustega;
- ▶ varakult kujuneb veres välja leukopeenia ehk valgeliblevähesus;
- ▶ kehakaalu vähenemine ja kõhnumine on suurem ning kestvam;
- ▶ paranemine on aeglasem; kaasnevad paljud tüsistused.

## 2.1.2. Ägeda kiiritustõve jaotus kahjustuse raskusastme alusel

Äge kiiritustõbi jaotatakse sõltuvalt organismile toimunud kiirgusdoosi suurusest nelja astmesse:



I-astme kiiritustõbi ehk kiiritustõve kerge vorm kujuneb kiirgusdoosi **1,0-2,5 Gy** toimel;

II-astme kiiritustõbi ehk keskmise raskusastmega kiiritustõbi tekib kiirgusdoosi **2,5-4,0 Gy** toimel;

III-astme kiiritustõbi ehk kiiritustõve raske vorm tekib kiirgusdoosi **4,0-6,0 Gy** toimel;

IV-astme kiiritustõbi ehk kiiritustõve üliraske vorm tekib kiirgusdoosi **6,0-10,0 Gy** ja suuremate dooside toimel.

Kiirgusdooside 1,0-10,0 Gy toimel kujunenud ägeda kiiritustõve kulg jaguneb nelja perioodi:

- 1) esmasreaktsiooni;
- 2) peiteperiood;
- 3) väljakujunenud haiguse periood;
- 4) paranemisperiood.

Kiirgusdooside 10,0-50,0 Gy toimimise järgselt kujunevad haigusnähud välja kiiresti, kusjuures ülekaalus on mao-sooletrakti kahjustusnähud. Haigus lõpeb surmaga kahe nädala jooksul.

Kiirgusdooside 50,0-100,0 Gy toimel arenevad väga kiiresti sügavad ainevahetuse ja kesknärvisüsteemi talitluse häired, mis lõpevad surmaga 4-8 päeva jooksul. Kiirgusdooside puhul, mis ületavad 100,0 Gy saabub surm 1-3 päeva jooksul.

### I-astme kiiritustõbi

Esmasreaktsioon kujuneb välja mõne tunni jooksul pärast kiiritamist, haigusnähud on nõrgalt välja kujunenud ja mittedelgepiirilised ning kaovad 2-4 tunni möödumisel või puuduvad üldse. 25%-l kannatanutest tekib iiveldus ja oksendamine. Veres esineb lühiajaline lümfopenia (10-20%).

Peiteperiood kestab 3-4 kuni 5 nädalat. Harva säilivad sellised nähud nagu kiire väsimine, suurenenud higistamine, isu kadumine, perioodiline südamekloppimine. Veres langeb valgeliblede arv, võib esineda mõõdukas lümfopenia ja trombotsütopeenia. Väljakujunenud haiguse periood kestab üks-kaks nädalat. Lühiajaliselt tõuseb kehatemperatuur, tekib kiire väsimine ja nõrkus, peavalud, isutus, iiveldus. Muutusi seedetraktis ja nahal ei esine. Veres esineb leukopeenia, mõõdukas lümfopenia ja trombotsütopeenia.

Paranemisperioodis normaliseerub kõikide elundite talitus kahe-kolme kuu jooksul. Tüsistusi esineb harva. Surmajuhte ei esine.

### II-astme kiiritustõbi

Esmasreaktsioon tekib kõikidel kiiritatutel ja see kestab mõnest tunnist kahe päevani. Haigusnähtudest esineb kiire väsimine, isutus, iiveldus, oksendamine, harva ka kõhulahtisus. Veres esineb liimfopenia (10%).

Peiteperiood kestab kaks-kolm nädalat: sel ajal esineb emotsionaalne labiilsus, suurenenud erutuvus, pearinglemine, kiire väsimine, perioodilised valud südame piirkonnas, kalduvus kõhulahtisusele. Harvem esineb juuste väljalangemist, spermatogeneesi ja naistel menstruaaltsükli häireid. Veres esineb leukopeenia, lümfopenia ja trombotsütopeenia.

Väljakujunenud haiguse periood kestab õigeaegsel ravi alustamisel kaks-kolm nädalat. Algul tõuseb kehatem-

peratuur 38-38,5°C-ni, esineb asteenia ehk jõuetus, depressioon ehk masendus, isutus, kõhuvalud, kõhulahtisus, verevalumid ja verejooksud, pulss on kiire, vererõhk langenud, jätkub juuste väljalangemine, harvem esineb haavandilis-kärbuslik angiin. Veres esineb leukopeenia, lümfoopeenia, trombotsütoopeenia, mõõdukas punaliblede arvu vähenemine.

Paranemisperioodi kestvus on ravi puhul viis-kuus kuud. Selles perioodis taastub isu ja kehakaal – järk-järgult kaovad haigusnähud. Kaugtagajärjeks võib olla silmaläätse epiteeli kiirguskahjustuse tagajärjel kae tekkimine. Puuduliku ravi puhul on suremus 20%.

### III-astme kiiritustõbi

Esmasreaktsioon kujuneb 10-60 minuti pärast ning kestab kaks-kolm päeva. Sel ajal esineb tugev nõrkus, isutus; iiveldus, oksendamine, janutunne, kõhuvalud ja kõhulahtisus. Lisaks võivad esineda peavalud, pearinglemine, naha- ja limaskestade punetus, suurenenud higistamine, une- ja südame-talitluse häired.

Peiteperiood kestab 10-16 päeva, kuid suuremate kiirgusdooside saamisel lüheneb tunduvalt (3-10 päevani) või kaob üldse. Haigusnähtudest esineb sel ajal üldist nõrkust, isutust, kuivust suus, oksendamise lakkamist, vahelduvat pulssi, vererõhu langust ja nahakahjustusi, harva ka kõhulahtisust või kõhukinnisust, hingeldamist, nüstagmi, liigutuste koordineerimishäireid. Veremuutusi iseloomustab süvenev leukopeenia, süveneb ka lümfoopeenia, trombotsütoopeenia ja erütrotsütoopeenia.

Väljakujunenud haiguse perioodi kestvuseks on kuni kolm nädalat. Sellele on iseloomulik kehatemperatuuri tõus 40° C-ni, nõrkus, üldine pidurdatud seisund, isutus, janutunne, kõhulahtisus koos veris-limase väljaheite ja valuliku soolepakitsusega, verevalumid nahal ja limaskestadel, verejooksud elutähtsates elundites ning kusiveresus. Lisaks võib kujuneda haavandiline suupõletik, kärbuslik angiin, bronhiit, kopsupõletik, südame-talitluse häired, sepsis ning teised nakkuslikud tüsistused.

Veres esineb leukopeenia, süveneb lümfoopeenia ja trombotsütoopeenia, punaste vereliblede arv langeb ühe miljonini 1 mm<sup>3</sup>-s. Paranemisperiood vältab 6-8 kuust kuni ühe-kahe aastani, paranemine pole täielik, sest säilivad vere loome, sisenõrenäärmete ja närvisüsteemi talitluse häired ning morfoloogilised kahjustused. III astme kiiritustõve puuduliku ravi puhul on suremus 50% ning kümne aasta jooksul kuni 75%.

### IV-astme kiiritustõbi

Esmasreaktsioon kujuneb koheselt ning kestab kuni neli päeva. Haigusnähtudest esineb pidev oksendamine, südame-talitluse ja teadvuse häired, kõhukinnisus, krambid, võib kujuneda kusiveresus. Peiteperiood praktiliselt puudub. IV astme kahjustused lõpevad 5-12 päeva jooksul surmaga.

Kiiritustõve soolevormi puhul kujuneb esmasreaktsioon välja koheselt ning kestab kuni neli päeva. Haigusnähtudest esineb pidev oksendamine, südame-talitluse ja teadvuse häired, kõhukinnisus, krambid, kusiveresus. Kehatemperatuur võib tõusta 39-40°C-ni ja esineb tugev naha punetus. Peiteperiood puudub ning järgneva ühe-kahe päeva jooksul muutub haige seisund väga raskeks: palavik on 40°C piires, esinevad kõhuvalud ja tugev kõhulahtisus, kujuneb välja mürgistusseisund ning tüsistusena sepsis.

Kiiritustõve ajuvorm kujuneb välja tavaliselt kolju kiiritamise tagajärjel suurte kiirgusdoosidega. Varsti pärast kiiritamist tekib väga raske seisund: esineb pidev oksendamine, krambid, nüstagmid, kollaps ja komatoosne seisund. Peiteperiood puudub. Aju ja ajukelme kahjustuse tagajärjel ilmuvad meningeaalsed ärritusnähud ja ajukahjustuse tunnused (ebatavalised refleksid, teadvusekadu jne). Surm saabub ühe kuni viie päeva jooksul.

### Radioaktiivsete ainetega saastunud maa-alal kujuneva kiiritustõve kulu iseärasused.

Radioaktiivsete ainetega saastunud maa-alal võib inimesi kahjustada radioaktiivse kiirguse kolm liiki:

- 1) väline gamma-kiirgus, mis põhjustab kiiritustõbe sõltuvalt saadud doosi suuruselt;

- 2) pindmine beeta-kiirgus ja nõrk gamma-kiirgus, mis kutsuvad esile naha kiirguskahjustuse;
- 3) seespidine kiirguskahjustus, mida põhjustavad koos joogiveega, toiduainetega, õhuga ning haavade ja põletushaavade kaudu organismi sattunud radioaktiivsed ained. Seespidise kiirguse doos moodustab 5-10% välispidisest gamma- ja beeta-kiirgusest.

Kiiritustõve kulgemisel, mis kujuneb inimese kestval viibimisel radioaktiivsete ainetega saastunud maa-alal, esinevad järgmised iseärasused:



- ▶ esmasreaktsioon kujuneb välja aeglasemalt ning on kergema kuluga;
- ▶ seedetrakti varajaste kahjustusnähtude (isutus, iiveldus, kõhulahtisus, kõhuvalud) ja naha ning limaskestade kahjustusnähtude (naha sügelemine, pisara- ja süljeeritus, laugude punetus, valu silmades, kuiv kõha jne) intensiivsem väljakujunemine ja pikaajalisem püsimine (kuni üks nädal);
- ▶ verekahjustuse aeglasem taastumine tingituna organismi sattunud radioaktiivsete ainete pikaajalisest toimest maksale, luudile ja lümfisõlmedele. Radioaktiivsete ainete kogunemisel maksa, luudesse, kilpnäärmesse ja teistesse elunditesse avalduvad ka kiiritustõve haiguspildis nende elundite kahjustusnähud.

## **3.** Seadusandlus

Kiirgusseadused (vastu võetud 23. 04. 1997 ja jõustunud 26. 05 1997, RT I 1997, 37/38, 569; vt muutmisi RT I 1998, 97, 1520; RT I 1999, 88, 804; RT I 2000, 102, 670; RT I 2001, 56, 337; RT I 2002, 9, 46; RT I 2002, 61, 375; RT I 2002, 63, 387)

Seadus käsitleb:

- 1) gammakiirgust, röntgenikiirgust, korpuskulaarkiirgust ja teisi koes ioone tekitavaid kiirgusi (**ioniseerivad kiirgused**).
- 2) ultraviolettkiirgust, nähtavat valgust, infrapunast valgust, raadiosageduslikku kiirgust ja madalsageduslikke ning staatilisi elektri- ja magnetvälju (**mitteioniseerivad kiirgused**) niivõrd, kui see ei ole reguleeritud teiste seadustega.
- 3) iseeneslikult lagunevate aatomituumadega ja lagunemise käigus ioniseerivat kiirgust kiirgavaid aineid, sealhulgas tuumamaterjale U-233, U-235 ja Pu-239 sisaldavaid aineid (**radioaktiivsed ained**).

Seadus reguleerib:

- 1) Inimest ioniseeriva kiirgusega ohustavat kiirgusallikaga seotud mistahes tegevust (**kiirgustegevus**).
- 2) Inimese ohtlikku kiiritamist looduskiirgusega põhjustavaid või põhjustada võivaid tingimusi.
- 3) Kiirgusohutuse erimeetmete rakendamist radioaktiivsete ainetega ohtlikult saastunud keskkonnas (**sekkumistegevus**).

Kiirgusohutuse tagamiseks vajalike rakendamist korraldatakse kiirgutegevuskavaga (Kiirgusseadus § 4).

Seadus käsitleb kiirituse liike (§-id 10 – 22), eristades kutsekiiritust, looduskiiritust, elanikukiiritust, meditsiinkiiritust ja avariikiiritust. Seaduse § 27 sätestab radioaktiivsete ainete, radioaktiivseid aineid sisaldavate, kiirgusseadmete ja radioaktiivsete jäätmete veo- ja ohumärkidega varustamise. Radioaktiivseid jäätmeid käsitleb seaduse 5. peatükk.

Kiirgusseaduse § 32 lg 1 ja § 32 lg 2 sätestatud väärtegade kohtuväline menetleja on keskkonnainspeksioon ja politseiprefektuur. Riiklikku järelevalvet teostavad keskkonnajärelevalveametnikud ja kiirgus-keskus.

Vabariigi Valitsuse määrus nr. 162 21. 07. 1998 reguleerib korra kiirgusallika pakendamisel, märgistamisel ja kaitsevahenditega varustamisel ning kehtestab lisatavale kiirgusohutuslasele dokumentatsioonile kiirgusallika vedamisel esitatavad nõuded. See määrus sätestab ka ohumärgistuse ja radionukleiidide A1 ja A2 aktiivsuste väärtused, samuti radioaktiivsete jäätmete ekspordiks loa väljaandmise korra.

Tuumaohutusega tegelevad järgmised rahvusvahelised organisatsioonid:



- ▶ *Joint Secretariat for the Basic Safety Standards* – asub Viinis IAEA juures ja koostab rahvusvahelisi ohutusstandardeid ioniseeriva kiirguse vastu kaitsmiseks ja radiatsiooniallikate ohutuse kohta, koondades järgnevalt loetletud organisatsioonide andmeid
- ▶ IAEA – *International Atomic Energy Agency* (Rahvusvaheline Aatomienergia Agentuur)
- ▶ FAO – *Food and Agriculture Organisation of the United Nation* (ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsioon)
- ▶ ILO – *International Labour Organisation* (Rahvusvaheline Tööorganisatsioon)
- ▶ OECD/NEA – *Nuclear Energy Agency of the Organisation for Economic Cooperation and Development* (Majanduskoostöö- ja arengu Organisatsiooni Tuumaenergia Agentuur)
- ▶ PAHO – *Pan American Health Organisation* (Üleameerikaline Terviseorganisatsioon)
- ▶ WHO – *World Health Organisation* (Ülemaailmne Tervishoiuorganisatsioon).

## 4 Tuuma-energeetika

Tuumaenergeetika on üks süsinikuvaba energeetika liike, sest tema tootmisel ei toimu süsinikku sisaldava kütuse põletamist ning õhku satub väga vähe globaalset soojenemist põhjustavaid süsinikuühendeid. Samas ei ole tuumaenergia taastuvenergia, sest teda saadakse tänapäeval fossiilselt kütusest – uraanist - mille varud on lõplikud ja ammenduvad lähema saja aasta jooksul.

Tuumareaktsioonid. Komposiitmodeli keeles on lihtne kirja panna tuumareaktsioone. Kasutatakse sama tüüpi sümboolikat, nagu keemiliste reaktsioonide korral. Tuuma tähistatakse temale vastava keemilise elemendi süm-



Joonis 3.1. **Radioaktiivse ohu märgistused**

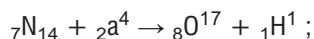


boliga; selle juurde märgitakse indeksitena mass (asub sümbolist ülal paremal, mõnikord ka vasakul) ning laeng (alumine indeks). Nii kirjutame

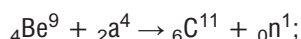
- \* Vesinik      1H1
- \* Heelium      2He4 või 2a4 (on ka alfaosakese tähis)
- \* Raud          28Fe56
- \* Üldvalem

[tuuma laeng Z] [Elemendi sümbol] [aatommass A]

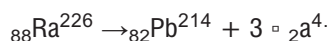
Kasutades neid sümboleid, saame Rutherfordi reaktsiooni:



Chadwick'i reaktsioon:



ja radiumi lagunemine



Tuumareaktsioonide valemites peab kehtima massi ja laengu (arvude) jäävuse seadus.

Nagu keemilistel reaktsioonidel, peab ka siin olema võrrand tasakaalus – nii alumiste kui ülemiste indeksite summad peavad olema võrdsed mõlemal pool “noolt” või võrdusmärki.

Samal kombel võivad tuumareaktsioonid olla **eksotermilised** (soojuse eraldumisega) või **endotermilised** (soojus neeldub).

Et aga tuumareaktsioonidel on energiahulgad võrratult suuremad, ei räägita siin tavaliselt mitte soojuse, vaid energia vabanemisest/neeldumisest kas siis kiirete osakeste või kiirguskvantide kujul.

Viimase erijuhuks on ka uraani  $\alpha$ -kiirgus. (Käesoleval ajal loetakse gammakiirteks ükskõik millise tekkega elektromagnetlaineid lainepikkusega alla 0.01 nm.).

**Nihkereeglid** sõnastati enne tuumareaktsioonide kirjapaneku reeglite loomist ja nad kirjeldavad elemendi “liikumist” Mendelejevi tabelis radioaktiivse lagunemise käigus:

- ▶ kui tuum kiirgab alfaosakese, nihkub ta Mendelejevi tabelis kaks kohta vasakule;
- ▶ kui tuum kiirgab beetaosakese, nihkub ta ühe koha võrra paremale;

- ▶ kui tuum kiirgab prootoni või positroni, nihkub ta ühe koha võrra vasakule;
- ▶ kui tuum kiirgab neutroni või gammakvandi, jääb ta tabelis paigale.

## Radioaktiivne süsinik

Teiseks loodusliku radioaktiivsuse allikaks on **kosmiline kiirgus**. Maale kosmosest tulevad osakesed omavad piisavalt energiat, et kutsuda Maa atmosfääris esile tuumareaktsioone.

Kõige sagedasemad neist on radioaktiivse süsiniku teke lämmastikust:



Viimane on beetaaktiivne, pooleaega 5600 aastat. Et süsinik on elusaine tähtsaim koostisosa ja et taimed omastavad teda atmosfäärist, sisaldavad kõik elusorganismid kindla protsendi radioaktiivset süsinikku. Selle sisaldus väheneb aja jooksul ning sobiv pooliga (see määrab ajaskaala!) võimaldab kasutada radioaktiivse süsiniku meetodit orgaanilise aine vanuse kindlakstegemisel. Meetod on levinud eriti arheoloogias kirjakunsti teelsete kultuuride dateerimisel.

Maa looduslik radioaktiivsus põhineb uraanireal.

Radioaktiivne süsinik tekib atmosfääris kosmiliste kiirte toimel.

Radioaktiivse ja tavalise süsiniku vahetamise järgi saab hinnata orgaanilise aine vanust.

Suur hulk looduses olevast radioaktiivsest aineist on tehnogeense päritoluga (tekkinud inimtegevuse tagajärjel).

## Tehnogeenne radioaktiivsus

Käesoleval ajal on lisaks uraanirea elementide loodusesse sattunud küllaltki suurel hulgal ebastabiilsete tuumadega isotoope, mis pärinevad inimtegevusest. Et nende mõju elusloodusele on kahjulik, on seda nähtust hakatud nimetama ka **radioaktiivseks e.kiirgussaasteks**.

Enamus nimetatud isotoopidst pärineb **tuumatehnoloogia** kasutamisest (tuumarelv, tuumaenergeetika ning nende jaoks vajalike materjalide tootmine), mistõttu probleem kuulub keskkonnakaitse valdkonda.

**Radioaktiivsuse kahjulik mõju** elusorganismidele seisneb tuumakiirguse ioniseerivas toimes. Aatomite ning molekulide ionisatsioonenergia (energia, mis on vajalik valentselektroni eemaldamiseks või keemilise sideme lõhkumiseks) on vahemikus mõnest mõnekümne elektronvoltini; seevastu on radioaktiivsel lagunemisel tekkinud osakeste (või kvantide) energia **mega**elektronvolti suurusjärgus.

Niisiis põhjustab tuumakiirguse hajumine või neeldumine aines suure hulga ionide tekke, mis omakorda võivad ioniseerida naabruses asuvaid molekule. Kui see juhtub tasakaalulises keskkonnas (eluta loodus), taastub esialgne tasakaal kiiresti. Mittetasakaalulises struktuuris (eluskude) tekivad aga pöördumatud muutused, mis parimal juhul toovad kaasa raku hukkamise.

Tuumakiirgus põhjustab eluskoe keemilise muutusi, mis võivad viia organismi hukkamise või rikutud pärlilikkusega olendi – mutandi – tekkele.

Väljend “parimal juhul” polnud siin trükiviga. Rakke on koes miljoneid, ja hävinud raku asemele tekivad tavaliselt uued. “Halvim juht” leiab aset siis, kui kiirguse tagajärjel tekib muutus **pärlilikkuse kandjas – genoomis**, rakk aga säilitab eluvõime. Selline **mutatsioon** tähendab reeglina vähkkasvaja teket; kui ta aga leiab aset sugurakkudes, siis geneetilise väärvormi – **mutandi** sünni.

Et mõõdukas looduslik kiirgusfohn on ümbritsenud Maa elanikke kogu nende olemasolu vältel, on see oma moodi kasulik: ühelt poolt on ta efektiivne surmamehhanism (mutatsioonid kuhjuvad aastate jooksul, kuni üks neist saab saatuslikuks), teiselt poolt garanteerib mutantide regulaarne sünni bioloogiliste liikide evolutsiooniks vajaliku muutlikkuse.

Tehnogeenne foon, mis võib loodusliku ületada miljoneid kordi, on äärmiselt ohtlik. Sõjajärgsetel aastatel, kui viidi läbi arvukalt lahtisi tuumaplahvatusi, kasvas keskmine kiirgusfohn Maa atmosfääris sadu kordi. See globaalne saastatus mõjustab meie põlvkonda veel aastakümnete vältel.

Veelgi hullemad on lokaalsed (kohalikud) saastekolded, nagu omal ajal Tšernobõli aatomielektrijaama avarii korral. Inimese meeelundid ei taju kiirguse olemasolu, seda saab kindlaks teha üksnes vastava radiomeetrilise aparatuuri abil.

Tehnogeense reostuse komponendid võib jagada kolme gruppi:

- a. Tuumakütuse lõhustumisproduktid tekivad  $^{92}\text{U}235$  või  $^{94}\text{Pu}242$  lagunemisel ahelreaktsiooni käigus.

Tähtsaimad:

$^{38}\text{Sr}^{90}$  (pool-iga 27.7 aastat),

$^{55}\text{Cs}^{137}$  (pool-iga 26.6 aastat),

$^{53}\text{J}^{131}$  (pool-iga 8 päeva).

Kõik on  $\beta$ -aktiivsed; esimesed kaks annavad pikaajalise saastatuse, jood aga omab kalduvust ladestuda organismis (tekib seesmine kiiritus e. radioaktiivne mõrgistus).

- b. Tuumakütuse jääkproduktid tekivad kütuse tootmisel, aga ka kasutamisel nn. Looduslikul uraanil põhinevates reaktorites. Need on Mendelejevi tabeli lõpuosa elemendid ( radoon, poloonium, toorium jt.), peamiselt  $\alpha$ -aktiivsed, küllalt pika elueaga. Lagunemiste väike sagedus muudab nad raskesti avastatavateks – tavaline radiomeeter, mis näitab vaid lagunemiste arvu, alahindab kiirguse ohtlikkust ( alfakiirte ionisatsioonivõime on kümme korda suurem beetakiirte omast, neeldumine aines õnneks suur). On sekundaarse radioaktiivsuse allikaks
- c. sekundaarne radioaktiivsus tekib kahe esimese , aga ka näiteks atmosfääris või maapinnas olevate elementide muundumisel tuumaplahvatuse toimele. Kerged ( massiarv alla 30) lühiealised ( pooliga mõnest sekundist mõne päevani)  $\alpha$ -aktiivsed elemendid, ohtlikud vaid tuumaplahvatusele järgnevatel päevadel.

Kiirguse mõõtmine (dosimeetria) toimub nagu iga teinegi mõõtmisprotsess, mõõteriistade ja varem kokku lepitud ühikute kaudu. Suurusteks , mida mõõdetakse, on:

1. aktiivsus
2. kiirgusdoos
3. neeldumisdoos
4. bioloogiline efektiivdoos

Aktiivsus on kindla suurusega allika poolt ruumi kiiratava kiirguse mõõt. SI süsteemis on aktiivsuse ühikuks bekrell (Bq), mis vastab ühele lagunemisaktile sekundis. See on väga väike ühik; varasemalt kasutatud kürii ( $1 \text{ Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ , võrdub ühe grammi raadiumi aktiivsusega) oli märksa mugavam.

Tuumakiirgust ja selle mõju iseloomustavateks suurusteks on:

- ▶ aktiivsus (SI –ühik bekrell: Bq )
- ▶ kiirgusdoos (bekrellsekund: Bqs)
- ▶ neeldumisdoos (grei: Gy = J/kg)
- ▶ bioloogiline efektiivdoos (rem 0.01 Gy korrutatud kahjuteguriga)

Kiirgusdoosi saame kui korrutame aktiivsuse kiirguse toimeajaga.

Neeldumisdoos näitab mingis keskkonnas neeldunud kiirgusele vastavat energiahulka. Pole tähtis, kas kiirituse mõjul tekib vähem või rohkem ioone; oluline on neeldunud energia hulk.

Ühikuks on grei (Gy), mis vastab ühe džauli suuruse energiahulga neeldumisele ühes kilogrammis aines.

Kasutusel on ka vähendatud ühik raad ( $1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$ ) ja ionisatsiooniastmest tuletatud ühik röntgen  $= 1.6 \cdot 10^{12}$  ioonipaari ühes grammis kuivas õhus normaaltingimustes ( $= 0.878 \cdot 10^{-2} \text{ Gy}$ , samuti õhu korral).

Bioloogiline efektiivdoos näitab kulguse kahjustavat toimet inimesele; tema ühik rem ongi lühend inglisekeelsest väljendist rad equivalent man (raadi inimekvivalent). Tavaliselt saadakse efektiivdoosi väärtus, kui korrutatakse füüsikaline doos (rad) kahjuteguriga, mille väärtus ulatub ühest kahekümneni, sõltuvalt osakeste tüübist ning energiast.

Kõige ohtumad on gamma-kvandid ja elektronid (tegur 1), ohtlikumateks loetakse  $\alpha$ -osakesi ja raskeid ioone. Viimaste ohtlikkus seisneb just sekundaarse radioaktiivsuse tekitamises organismis olevate normaalsete stabiilsete elementide muundamise teel radioaktiivseteks isotoopideks.

Mõõteriistadeks on radiomeetrid (mõõdavad kiirguse intensiivsust) ja dosimeetrid (mõõdavad neeldumiskoosi). Radiomeetri abil määratakse keskkonna kiirgustase – see näitab, kas antud kohas viibimine on ohutu, lubatav või ohtlik.

Et tuumaseadmetega töötamisel kaasneb paratamatult ka kiirgusoht, peavad sealsed inimesed olema pideva järelvalve all. Järelvalvet ongi kõige parem teha kaasaskantavate dosimeetrite abil, mille näitu regulaarselt võrreldakse kehtivate kiiritusnormidega.

Kiirguse intensiivsust mõõdetakse radiomeetriga, neeldumiskoosi ja bioloogilist efektiivdoosi dosimeetriga. Mõlemad riistad põhinevad ühu elektrijuhtivusel.

Loodusliku kiirgusfooni keskmine intensiivsus vastab umbes 0.13 rem/aastas; piirkonniti on see erinev. Eesti asub suhteliselt kõrge aktiivsuse piirkonnas; Skandinaavia, eriti Soome, on üks radioaktiivsemaid piirkondi kogu maakeral. Normaalseks loetakse taset 0.5 rem/aastas.

Töödel radioaktiivsete ainetega ning tuumajõuseadmete hooldamisel on maksimaalne aastados kuni 5 rem; sõjalaolukorras ja päästetöödel tuleb kõne alla ühekordne doos kuni 50 rem (pärast seda tuleb kiiritust saanud isik viia ohutusse piirkonda, kus ta jääb mitmeks aastaks arstliku kontrolli alla).

Surmavaks loetakse üle 400 rem lühiajalist doosi (suremus 50%), 1000 rem doos on surmav 90% juhtudest. Raske kiiritushaiguse võib põhjustada ka tunduvalt väiksem doos. Mõned loomaliigid, näiteks kilpkonnad, on kiirguse suhtes üsna tundetud.

## Kiirguskatse

Radioaktiivse kiirguse eest kaitsmiseks on kolm võimalust:



1. Kiirguse ekraneerimine. inimene eraldatakse kiirgusallikast kiirgust tugevasti neelava kaitsekihiga. Jämedas joones võib öelda, et kiirgust nõrgendav toime on võrdeline kaitsekihi kogutihedusega: kergemat ainet tuleb võtta paksem kiht, kui raskema aine korral. Heaks kaitsekihiks on rasketest metallidest (tavaliselt pliiist) ekrandid; läbipaistvad aknad tehakse kuni 50% pliioksiide sisaldavast flintklaasist.

2. Kaitse radioaktiivsete ainete organismi tungimise eest. Sel otstarbel kasutatakse kaitseülilindi, gaasimaske, vee- ja õhufiltreid. Kiirguskahtluse korral tuleb läbi viia vee ja toiduainete radioaktiivsuse kontroll.

3. Ravimid. Kui kiirgusoht on reaalne või on tekkinud kahtlus ohtliku doosi saamise võimaluse suhtes, tuleb tarvitada kiiritustõve arengut pärssivaid medikamente. Levinuimaks kiiritusravimiks on joodi sisaldavad tabletid; nende toime seisneb organismi koguneva radioaktiivse joodi väljaviimises tavalise ainevahetuse teel. Kui joodi on ülehulga, algab selle eritumine, mille käigus radioaktiivne jood asendub tablettidest saadava ohutu isotoobiga.

Üldiselt tuleb meeles pidada, et inimese meelelundi ja organismi kaitsesüsteem on tundetu – seega ka kaitsetu radioaktiivse kiirguse suhtes. Et tänapäeva tehnoloogilise progressiga kaasneb ka kiirgusoht, tuleb kõikjal

jälgida ekraniseerivas kaitsekihis keskkonna radioaktiivse fooni taset ning olla valmis tegutsema reaalse ohu olukorras. Õnneks on kiirgust registreeriv aparatuur suhteliselt lihtne ja odav; seda enam tuleb asjaga tegeleda ning vastavaid teadmisi levitada.

Ohtlikus olukorras ei tohi lubada vähimatki viivitust: kiirguse suhtes on kõige ohtlikumad just avariile järgnevad esimesed tunnid ja päevad.

#### Kiirguskaitse põhigraafikud

- a. kiirguse kahanemine (istu keldris ja ole kuss!);
  - b. kiirguse nõrgenemine (mida sügavamal, seda parem!)
- Mõlemal juhul on tegu eksponent-funktsiooniga.

## Tuumaeenergeetika

### Tuumaseosenergia

Kujutame ette, et tahame teineteisest lahutada kaht tuumajõududega seotud protonit-neutronit. Selleks tuleb ületada Yukawa potsentsiaal, st. teha sellele vastav hulk tööd (või kulutada sellele vastav hulk energiat). Nimetame seda seosenergiaks.

Seosenergia on töö, mida on vaja teha tuuma lõhkumisel algosakesteks. Täpselt sama suur energiahulk vabaneb algosakeste tuumaks liitumisel.

Kuidas mõõta seosenergiat? Pole ju võimalik laboris aatomituumasid lõhkuda ja selleks kulutatud tööd mõõta. Võimaluse annab juba mainitud Einsteini energoiavalem. Et energia on seotud massiga, peab proton-neutron-paar olema kergem, kui selle komponendid eraldi võetuna.

#### Massidefekt.

Miks? Aga sellepärast, et paari lõhkumiseks tehtud töö salvestub energiana nendes osakestes, mida me lahutame. Et energial on mass, kaaluvadki lahutatud osakesed rohkem. Kui nad uuesti liituvad, see energia vabaneb ja osakesed kaotavad vastava osa oma kaalust. Sellist kaalutud energiat nim. ka massidefektiks. Massi mõõtmine pole probleem: kaalume teatud koguse ainet ja määrame termodünaamiliselt sellele vastava ainehulgaga. Jagades selle Avogadro arvuga, saame ühe aatomi massi. Et leida tuuma massi, tuleb veel lahutada elektronide kogumass. Kui katsed on piisavalt täpsed, saame erinevuse kätte.

#### Massidefekti sõltuvus massiarvust.

Aatommasside täpne määramine tõi välja huvitava fakti: kõige suurem on massdefekt tuumadel massiarvudega 50-60. Nii raskematel kui kergematel tuumadel on see väiksem.

Seoseenergiale ekvivalentset massi (tavaliselt seisumassi!), mille võrra on tuum kergem tema koostisosade masside summast, nimetatakse **massidefektiks**.

#### Massidefekti sõltuvus tuuma massiarvust.

Kõige stabiilsemad (massidefektiga) on tuumad aatommassiga 50-60 ühikut. Pöörake tähelepanu heeliumi-tuumade stabiilsusele: tema seose energia on suurem kui raskemal liitiumil.

Seletus on kui mitte lihtne, siis lainefüüsika mõistetes vähemalt loogiline: tuumajõudude mõjuvälja ei mahu ükskõik kui palju osakesi, kuna need võtavad ruumi, vähemalt oma lainepikkuse jagu. Seega vastab kindlale tuumajõudude raadiusele ka optimaalne hulk osakesi, mille jaoks on seosejõud kõige tugevam. Kui osakesi on vähem, väheneb jõud jõuallika (aga selleks on osakesed ise!) nõrgenemise tõttu, kui aga rohkem, siis välimiste osakeste väljajäämise tõttu naaberosakeste jõuallikast. Kui kõik kõikumised välja jätta, kasvab seoseenergia graafik väikeste masside osas tõepoolest võrdeliselt aatommassiga (osakeste arvuga), teiselpool maksimumi aga langeb märksa aeglasemalt (võrdeliselt kuupjuurega osakeste arvust).

Sellele küüruga kõver viib patusele mõttele tuumaeenergia tootmise võimalusest. Kui õnnetuks käima panna reaktsioon, mille käigus saadakse „keskmised“ suure seoseenergiaga tuumad (ükskõik, kas siis kergemate liitmise või raskemate lõhkumise teel), vabaneb energia ülejääk soojusena. Üsna lihtne arvutus näitab, et

Tuumaeenergiat võib saada kergete tuumade liitmisel või raskete tuumade lagunemisel.

sellise „kütuse“ energiatootlikkus (massiühiku kohta) ületaks miljardeid kordi tavaliste kütuste oma.

### **Tuumarelv.**

30-datel aastatel arvati, et see võimalus ongi rohkem teoreetiliselt laadi. Tehislikke tuumareaktsioone osati küll läbi viia, aga need nõudsid spetsaparatuuri ning üksikute liitumiste-lõhustumiste energiatoodang polnud ligilähedanegi kiirendites kulutatud energiale.

Appi tuli juhus: kiiritades neutronitega uraani (eesmärk oli kunstlikult tekitada uraanist raskemaid elemente) märkas E.Fermi, et tekkinud tuumad lagunevad iseenesest, kiirates välja uusi neutroneid. See andis idee: kui uraanitükk on küllalt suur (et neutron leiaks enne uraanist väljumist mõne teise tuuma), võis tekkida ahelreaktsioon. Asja asuti uurima, kuid vahele tuli jällegi sõda.

Teisest Maailmasõjast oleme kõik palju lugenud. Teame, et Hitleril oli pärast Stalingradi kaotust kombeks aegajalt kuulutada uue imerelva loomisest. Kuna üks aatomiuurijatest, Otto Hahn, oli jäänud Saksamaale, tekkis füüsikutes kahtlus, et Hitler mõtleb aatomipommist. Soov maailma päästa viis vastupidisele tulemusele: kogu maailma füüsikute surve all asus USA looma tuumapommi, mida 1945.a. ka Jaapani vastu kasutati.

### **Ahelreaktsioon.**

Uraanituuma lagunemisel vabanevad neutronid, mis võivad põhjustada uute tuumade lõhustumise.

Pärast seda algas kogu maailmas võidurelvastumise periood. Sõjas võidu saavutanud liitlased USA, Suurbritannia ja Nõukogude Liit arendasid intensiivselt tuumatehnoloogiat, suunates selleks kolossaalseid rahalisi ja majanduslikke vahendeid. Vähem kui 20 aastaga loodi lisaks olemasolevale aatomipommile (võimsus 20-100 kilotonni troüülekvivalendis) nii vesinikupomm (1-10 megatonni) kui kolmekihiline termotuumapomm (kuni gigatonni ulatuva võimsusega). Tuumarelva tootmiseks vajaliku plutooniumi valmistamiseks loodi hulganisti nn.paljundavaid reaktoreid, kus lisaks uraan-235 lagunemisele toimub uraan-238 muundumine plutooniumiks. Et viimaste jahutamisel vabaneb energia, on need enamikus arvel „elektrijaamadena“.

Tuumatehnoloogia kujutab endast ulatuslikku kompleksi alates maagi kaevandamisest ja rikastamisest (Sillamäe!) kuni jäätmete utiliseerimiseni. Praegu kasutatakse tuumakütust ka puhtenergeetilistel eesmärkidel (tuumallaevad,- jää-lõhkujad, elektrijaamad tugeva reostuskoormusega tööstus-rajoonides).

Põhimõtteliselt on tuumajaam täiesti puhas, tema töötamisel ei eraldu mingeid jäätmeid ja tema kütusega varustamine on tunduvalt lihtsam kui näiteks soojusjaamades. Keskkonnaohhtlikkus on seotud põhiliselt avariiohuga, mida tavaliselt alahinnatakse. Kui täpselt jälgida eksploatatsiooninõudeid, on tuumajaam (mitte aga plutooniumivabrik!) suhteliselt ohutu ja keskkonnasõbralik ettevõtte.

### **Termotuumaprobleem.**

Kuna uraan on maakoos üks haruldasemaid elemente, termotuumakütusena kasutatav vesinik aga üks odavamaid, on juba 50 aastat füüsikute ees ülesanne käivitada energiaallikana ka juhitud termotuumareaktsioon.

Probleem osutus oodatust keerukamaks: kümne miljoni kraadini kuumutatud plasmad ei õnnestu kuidagi „koos hoida“. Kui see lahendatakse, on inimkonna energiaprobleemid ilmselt igaveseks lahendatud.

Mitte aga kasutatud energiast vabanemise probleem – vaata termodünaamika II seadus.

Nimetus „termotuumareaktsioon“ viitab soojuse tähtsusele reaktsiooni läbiviimisel. Kas oskate leida kahe prootoni (vesiniktuuma) liitumiseks vajalikku temperatuuri eeldusel, et tuumade kokkuviiamiseks tehtav töö teha soojusliikumise arvel.

**Tuumareaktoreid** on kasutatud energia tootmiseks alates 1950.aastatest. 2003.aasta alguses oli 30 riigis kokku 441 töötavat tuumareaktorit planeeritud koguvõimsusega 359 GW.

Tuumareaktorite töö aluseks on kasutatava kütuse neutronite ja aatomituumade omavaheline reaktsioon. Ena-

muse reaktorite kütuseks olev uraan koosneb eelkõige kahest isotoobist – uraan – 235 ja uraan – 238. Looduslikus uraanis, mida kasutatakse vanemates reaktorites on nende isotoopide vahekord 0,7 ja 99,3 kaaluprotsenti. Rikastatud uraan, mida valdavalt kasutatakse kaasaegsetes reaktorites, sisaldab umbes 2,5% uraan-235. Kui uraan-235 tuum neelab neutroni ja lõhustub, mis tähendab, et ta laguneb kaheks suureks energeetiliseks fragmendiks ehk lõhustusmissaaduseks.

Saaduseks, vabaneb energia. Protsessiga kaasneb mitme suure energiaga kiire neutroni vabanemine ja mõningane gammakiirgus. Neutroneid aeglustatakse reaktoris selleks, et nad kutsuksid esile uraan-235 lõhustumist. Selliseid neutroneid nimetatakse sageli soojuslikeks neutroniteks ja reaktoreid, kus kasutatakse neutronite aeglustamist termoreaktoriteks soojuslikeks reaktoriteks. Juhul kui uraan-238 tuum neelab hoopis kiire neutroni, muutub ta uraan-239, mille lõplik lagunemissaadus on plutoonium-239. Ka plutoonium lõhustub või seob neutroneid, moodustades täiendavalt aktiniidide isotoope nagu ameriitsium või kүүrium. Mõnedes reaktorites üritatakse kasutada kütusena oksiidkütusese, mis sisaldab rikastatud uraani, kuhu on segatud kasutatud kütuse töötlemisel saadud plutoonium. Seda käsitatakse kütuse tasakasutusena ja tuumarelvade valmistamiseks sobiva plutooniumi varude kontrolli all hoidmiseni. Kütus on tuumareaktoris kogutud seadmesse, mida nimetatakse südamikuks, kus on ka aeglusti ( enamasti vesi või grafit jt), mis aeglustab neutroneid. Jahuti , tavaliselt vesi või gaas, juhhib tekkinud soojuse kütusevarrastest eemale ja tekkinud aur suunatakse soojusvahetajasse. Auru abil pannakse tööle elektrit tootvad turbiinid. Kütus on suletud metallkonteineritesse ja reaktori südamik paikneb surveanumas ( mõne tehnilise lahenduse puhul on kütuseelemendid paigutatud eraldi surveanumatesse). Massiivne betoonvarjestus aitab kaitsta reaktori südamikust lähtuva intensiivse kiirguse eest. Suuremale osale reaktoritest on ehitatud täiendav kaitsekest (sarkofaag), mis ümbritseb reaktoreid ja tavaliselt ka soojusvahetajaid.

Värske kütuse aktiivsus on väga madal ja seda võib käidelda ilma varjestuseta. Kui aga kütus jõuab reaktorisse, siis kasutamise käigus tema aktiivsus tõuseb. Selle põhjuseks on eelkõige kütuses tekkivad lõhustumissaadused. Sellest tulenevalt võib reaktoriga toimuva avari korral keskkonda vabaneda märkimisväärsel hulgal radioaktiivset materjali. Pärast reaktorist eemaldamist on kasutatud kütus kõrge temperatuuriga ning sulamise vältimiseks on vaja teda jahutada ja varjestada, et vähendada kokkupuudet kiirgusega. Ehkki ohutus on kõikide tuumaelektrijaamade puhul keskne teema, on pärast Tšernobõli avariid ja NSV Liidu lagunemist erilist tähelepanu pööranud WWER ja RBMK reaktorite ohutusele. Tänu Ida-Euroopa ja endise NSV Liidu spetsialistide pingutustele, mida on toetatud paljude rahvusvaheliste koostööprojektide kaudu, on nende reaktorite ohutuse kaasajastamisel tehtud väga suuri edusamme.

## Tuumareaktori skeem

Levinumad reaktoritüübid on:

Survevee reaktorid (PWR), kuumaveereaktorid (BWR) ja WWER reaktorid (nõukogude reaktor, mille ehitus sarnaneb PWR-ga), kõik kasutavad kontroll- ja jahutuselemendina vett.

Raske vee reaktorid nagu Kanadas välja töötatud CANDU reaktorid, mis kasutavad kontroll – ja jahutuselemendina rasket vett (vesi, mille vesiniku aatom on asendatud deuteeriumiga – vesiniku isotoobiga).

Gaasijahutusega reaktorid, mis kasutavad gaasilist süsinikdioksiidi jahutajana ja grafiiti kontrollelemendina.

Vesijahutusega grafiidist kontrollelemendiga RBMK reaktorid, mis algselt töötati välja NSV Liidus.

# S. Tuumateriorism

## Ülevaade

Enamik uurimusi näitavad, et terroristide termotuumapommi ähvardus on ülimalt ebatõenäoline; tegelikult on teised tuumateriorismi vormid palju kergemini läbiviidavad. Termotuumapommi ähvarduse mitteläbiviimiseks on mitmeid põhjusi nagu selle ülikõrge hind, logistilised raskused ja tohutu hulk tehnoloogiat, mis on vajalik selle tootmiseks ja levitamiseks.

Tõeline oht tuleneb aga "mustast pommist" ehk plahvatavast dispergeerivast seadmest, mis on tavaline lõh-keseadeldis, mis on mässitud radioaktiivsesse materjali või immutatud sellega selleks, et saastada plahvatusel mingit ala või selle elanikkonda. Muudest tuumateriorismi aktidest nimetagem laovõimsuste, tuumatehaste või radioaktiivse materjali transpordivahendite pommitamist. Nende takistuste tõttu, mis ületada tuleks, ei ole tuumateriorism elujõuline hirmutamisevahend. Teisest küljest, ameeriklased kardavad radiatsiooni, ning sellise mu-rereaktsiooni tõttu võib terrorismiakt olla edukas. Kas kõik raskused tasuvad end ära, et olla nn.terrorist. Vaid aeg võib sellele küsimusele vastuse anda..

## Termotuumaseadmed

Seoses hiljutise kommunistliku valitsuse kukumisega Venemaal näib tõenäoline, et mõnel väike sel grupil õn-nestub saada oma käsutusse tuumaseade. Peale raskuste sellise seadme kasutamisel pole küllaldest tõestust, et terroristid oleks tõsiselt üritanud seda omandada. Mis ei tähenda, et aja jooksul poleks võimalik ületada selle omandamisega seotud raskusi. Uurimused näitavad, et see oht muutub iga päevaga reaalsemaks. On juba avas-tatud väikestes kogustes musta turu uraani ja plutooniumi ning tulevikus muutuvad nad veelgi kättesaadavama-teks. Termotuumaseadmete valmistamise tehnoloogiat on samuti kergem saada ja kasutada. Üha rohkem eks-perte nõustub sellega, et on vaid aja küsimus, millal mingi meeletu grupp saab oma käsutusse või ehitab ise tuumaseadme, mis kahjustab suurt hulka inimesi.

## Mustad pommid

Radioaktiivset materjali kasutatakse mitmel viisil ühiskonna kasuks, alustades meditsiiniravist kuni laborikat-seteni tööstusliku pinnase tiheduse määramiseks. See on igapäevane asi, et selle transport ja säilitamine toimub kõikjal Ameerika Ühendriikides. Radioaktiivse materjali kasutamine, säilitamine ja hävitamine on palju rangemini reguleeritud kui ohtlike materjalide puhul. See on nii kartuse tõttu: ioniseeriv kiirgus on ohtlik. See võib hävitada elusrakke ja muuta DNA struktuuri, kahjustades seega tulevase põlvi. Hirm radioaktiivse saastumise ees on suur.

Kuna seda materjali esineb ühiskonnas nii paljudes kohtades, on teda kerge saada ja levitada asustatud geo-graafilistel aladel. Meditsiinis kasutataval radioaktiivsel materjalil on tavaliselt lühike poolestusaeg (aeg, mille jooksul radioaktiivsus väheneb poole võrra) ning see ei kujutata pikemaaegset ohtu. Tööstuses kasutatav ra-dioaktiivne materjal seevastu on väga mõjus ning ta poolestusaeg ulatub sadade või tuhandete aastateni. Sellise materjali kombineerimine levitamiseseadmega võib tekitada alad, mis ei kõlba inimasustuseks mitmete põlvkon-dade jooksul. Sellist tüüpi terrorism tõmbaks ülemaailmse tähelepanu sellele terrorismijuhule.



## Ladude ja transpordivahendite pommitamine

Terroristi jaoks on kergem ja ohutum on tuumamaterjalide lao, jõujaama või tuumamaterjali vedava transpordivahendi õhkimine. Enamikul tuumajaamadel on olemas valvesüsteem pommiõhtude vastu. Sellele vaatamata on olemas võimalus rünnakuks, mis põhjustab radioaktiivse aine lekke keskkonda. Enamiku spetsialistide arvates on see oht väike ja isegi sellise ründe toimumise puhul see kõige tõenäolisemalt ebaõnnestuks.

Suurimat ohtu kujutavad endast pommitamised, sealhulgas ladude ja transpordivahendite pommitamised. Kõrge radioaktiivsusega materjali hoitakse tavaliselt hästi kaitstud ja varjatud aladel, kuid transpordi puhul sinna ja sealt välja on see materjal kättesaadav rünnakutele. 1998.aastal on kavas alustada radioaktiivse kütuse jääkide eemaldamist tuumajaamadest üle kogu maa. Kasutatud kütus transporditakse tuumajaamadest matmiskohata Ameerika Ühendriikide lääneosas. Transportimise jooksul reisib kütus läbi paljude osariikide ja asustatud punktide, mis loob kõrgendatud riski nii õnnetuste kui terroriaktide toimumiseks. Radioaktiivse materjali liikumine läbi maa kujutab endast suurimat tuumaterroriohtu.

## Ekspositsioonil tekkida võivad kahjustused

Ekspositsiooni ohvritel ei teki kiirituse korral silmapilkselt mingeid sümptomeid. Päästetöötajad peavad tegevuskoha hindama ning otsima ükskõik millist tõendit kiirituse ekspositsioonist. Kiirituskahjustusi põhjustavad väline kiiritus, saastumine organismi sattumine või kõigi kolme variandi kombinatsioon.

Väline kiiritus on kahjustus, mis esineb, kui kiirgus ( $\alpha$ - või  $x$ -kiired) välisest allikast läbib keha. Kuna ekspositsioon on kehaväline, ei muutu ohver radioaktiivseks ning päästjad võivad teda käsitleda kartmata saada radioaktiivset kahjustust.

Kui patsient on kas osaliselt või täielikult kaetud radioaktiivse materjaliga, käsitletakse seda kui saastekahjustust. Saaste võib olla tahkel, vedelal või gaasilisel kujul ning see võib olla kas väline või siseneda organismi naha, kopsude, lahtiste haavade või seedetrakti kaudu. Päästjad, kes käsitlevad saastatud patsienti, võivad ka ise saastuda ning nad peavad meeles pidama aja-, kauguse ja kaitsereegleid, mida selgitatakse järgmises osas. Kui esineb välispidine saaste, tuleb patsient puhastada enne hospitaliseerimist.

Inkorporeerimine on radioaktiivse materjali omastamine kudede, rakkude ja organite poolt. Keemiliste omaduste põhjal liitub materjal organismi osadega, kuhu ta kõige kergemini inkorporeerub; näiteks, raadium inkorporeerub valikuliselt luudes, jood otsib üles kilpnäärme. See põhimõte võimaldab meditsiinilist radioaktiivsust kasutada nimetatud piirkondade diagnoosimiseks ja raviks. Näiteks radioaktiivse joodi ekspositsiooni antidoot, kaaliumjodiid, blokeerib radioaktiivse joodi akumulatsiooni kilpnäärmes, vähendades seeläbi kilpnäärme haigestumist, mida on põhjustanud tuumakatastroof. Inkorporatsiooni ei toimu, kuigi saastumine on toimunud.

Osaline või terve keha  $\gamma$ -kiiritus ei nõua tavaliselt vältimatu abi andmist. Kahjustused ilmnevad tavaliselt päevade, nädalate või kuude möödudes.

Kiirguse tüüp, see, kui suur osa kehast oli eksponeeritud ning doos määravad selle, kui raske kiiritushaigus ohvril tekib. Radiatsiooni mõju varieerub sõltuvalt doosist. Nahk võib paistetada, läikida, punaseks minna, kestendada või sügeleda. Hingamine võib häiritud olla alveoolide paistetuse tõttu. Peale nimetatud kahjustuste esineb ajutine või alaline steriilsus, menstruatsiooni lakkamine, spermarakkude arvukuse vähenemine, veresoonte kahjustused, vähk ning geneetilised muutused.

Radiatsiooni suurtest doosidest paranemine võib kesta kuid või aastaid. Krooniliste probleemide kordumine, nagu kromosoomide kahjustus ja raskused järglaste saamisel võivad kesta eluaja ning mõjutada järgmisi põlvkondi.

## Isiklik kaitse

Põhireegleid nii päästetöötajate kui ohvrite kaitsest on lihtne mõista, kuid mõnikord raske ellu viia. Need on aja, vahemaa ja kaitse reegel. Neist reegleist kinnipidamine vähendab oluliselt ekspositsiooni.

### Aeg

Ajategur on lihtne: *Vähenda oma ekspositsiooniaega*. Mida pikem on ekspositsioon kiirgusallikale, seda suurem on kehakudede kahjustus. Kui päästmine või vabastamine nõuab pikemat viibimisaega radiatsioonialas, peab personal selles alas roteerima, vähendades sel viisil individuaalset ekspositsiooni.

### Vahemaa

Vahemaareegel, teine kaitseregel on samuti lihtne: *Jää nii kaugemale, kui võimalik*. Vähendades kaugust kiirgusallikast kaks korda, väheneb ekspositsioon neli korda. Näiteks, ekspositsioon 16 milliröntgenit tunnis 3 jala kaugusel väheneb nelja milliröntgenini tunnis vahemaa korral 6 jalga. Kuid ka vastupidine on õige: ekspositsioon kaheksa milliröntgenit tunnis 4-jalase vahemaa juures suureneb 32 milliröntgenini tunnis, kui vahemaa on 2 jaga. Seetõttu on oluline mõista, et allikast eemaldudes ekspositsioon alati väheneb.

### Kaitse

Kaitse on neljas kaitseregel. Ürita hoida midagi enda ja kiirgusallika vahel. Kaitse põhineb asjaolule, et mida tihedam on materjal, seda rohkem kiirgust ta blokeerib. Oma suure tiheduse tõttu on seatina kõige tavalisem kaitsematerjal röntgenaparaadi ümbruses. Radiatsioonionnetuse puhul võib kasutada autot või mullahunnikut. Paks riietus hoiab kinni kõik •-osakesed ja osa •-osakesi. Seatinakaitse, mis pole küll praktiline päästetegevuses, hoiab kinni •- ja röntgenkiired.

### Seire

Kui terrorirünnaku puhul kahtlustatakse radioaktiivse materjali kasutamist, peab esialgse uuringu osaks olema seire. Radioaktiivsusel pole lõhna ega maitset ning ta pole nähtav, seetõttu päästja tavaliselt ei tea, millal oht olemas on. Ainult juhul, kui ta läheneb tegevuspaigale suure kahtluse ja sobivate seireseadmetega, saab ta olla valmis varjatud ohuks. Enamikul meeskondadest, kes tegelevad ohtlike materjalidega, kannavad kaasas aparate ohtlike ainete detekteerimiseks. Kui ei ole võimalik mõne sellise meeskonna kutsumine, siis võib nimetada haiglate radioloogiaosakondi ja laboreid, mis kasutavad oma katsetes radioaktiivseid isotoope teiste instantsidena, kellel on vastav aparatuur.

## Kokkuvõte

Kuigi tuumaterroorsus näib reaalse ohuna, on fakt see, et selleks, et selline rünnak õnnestuks, tuleb ületada tohutuid tehnoloogilisi barjääre. Alati on võimalik terroristide tuumarünnaku ähvardus; selle toimumise tõenäosus on siiski väike. Mõõndavasti ei karda terroristid kasutada äärmuslikke vägivaldaakte. Koht, kus me oleme tõeliselt haavatavad, on meie tuumareaktorid ja meie meditsiini- ja tööstuslaborid. Terrorigrupid pole siiski kunagi teinud tuumapommiähvardust. Kui mõtleme Lahesõjast kui massihävitusrelvade ajaloo piiritulbast, näeme, et kuna Iraagil oli olemas mõned vajalikud tehnoloogiad, olid nende seadmed sarnased Teise Maailmasõja ajal katsetatutega. See oli relvabaas, mis vajab reaktsiooni tekitamiseks rohkem radioaktiivset materjali ja tohtu hulga energiat. Ükski terroristlik grupp pole seni siiski teinud tuumapommiähvardust. Juhul, kui mõtleme Lahesõjast kui vershapostist massihävitusrelvade ajaloos, näeme, et kuigi Iraagil on olemas mõned vajalikest tehnoloogiatest, on nende seadmed sarnased Teises Maailmasõjas testitud - see on relvastus, mis nõuab reaktsiooni tekitamiseks rohkem radioaktiivset materjali ja tohtud hulga energiat. Momendi arvamus terroristlike tuumarelvade võimalikkusest põhineb faktile, et need seadmed nõuavad küllaldaselt hulgal suurepärase kvaliteediga uraan 235; see materjal on kättesaadav mustalt turult. Lisaks materjalile, mis on vajalik sellises ettevõtmises, on takistuseks mitmed teadmised, mis on vajalikud tuumarelvade tootmiseks.

Reaalselt oleks terroristide valikuks tavalised radioaktiivsed isotoobid, mida leiab tööstuses ja meditsiinis. Isegi sellisel juhul on nende ainete osas kehtestatud karmid piirangud ning tavaliselt pole nad kättesaadavad. See ei tähenda seda, et sellist ähvardust poleks kunagi karta; mustad pommid, kus radioaktiivsete isotoopide laiali-

paiskamiseks kasutatakse tavalist lõhkeainet, on reaalne võimalus. Ühe näitena võib tuua selle, mis juhtus Houstonis Texas 26. veebruaril 1996.aastal: varastati kaks koobalt-60 kaamerat ja iriidium-192 kaamera. Ir-192 kaameras oli iriidium lagunenu minimaalsete radioaktiivsustasemeteni, kuna Co-60 kaamera tasemed ulatusid 35,6 – 8,6 küriini. Seadmed avastati lõpuks, kuid mitte enne, kui ühiskond oli saanud suure emotsionaalse löögi osaliseks – nii tuletõrje, seda nii politsei kui ka teised ühiskonna toetusorganisatsioonid. Kuigi radioaktiivne aine ei varastatud terrorismieesmärgil, näitab see, kuidas võib potentsiaalselt radioaktiivset materjali saada terrorismiks. Antud juhul avastati materjal ilma, et kahju oleks sündinud.

Ameerika Ühendriigid on välja õpetanud eriuksused tuumaõnnetuste käsitlemiseks. Energeetikaministeriumi tuumaabi otsingurühmad – the Nuclear Emergency Search Teams – (NEST) on moodustatud radioaktiivsete allikate identifitseerimiseks ja mõõtmiseks. Nende ülesandeks koos FBI ja FEMAga on, peale muu, radioaktiivsete allikate otsimine, tuumarelvade kahjutuks tegemine, ohvrite ja nende omandi puhastamine radioaktiivsest saastast ja kaasneva kahju parandamine. Tuumarünnaku ähvarduse korral on need eksperdid hindamatuks abivahendiks.