



Puolustusvoimien tutkimuslaitos
Julkaisuja 2

Disruptiiviset teknologiat puolustus- ja turvallisuuskontekstissa

Energeettiset ja CBRN-teknologiat

Markku Mesilaakso | Tuuli Haataja | Eeva-Maija Turpeinen



Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen julkaisuja 2

DISRUPTIIVISET TEKNOLOGIAT
PUOLUSTUS- JA TURVALLISUUSKONTEKSTISSA

ENERGEETTISET JA CBRN-TEKNOLOGIAT

Markku Mesilaakso, Tuuli Haataja, Eeva-Maija Turpeinen



PUOLUSTUSVOIMIEN TUTKIMUSLAITOS
FINNISH DEFENCE RESEARCH AGENCY
YLÖJÄRVI 2015

Kannen kuva: Markku Mesilaakso

Kannen kuvassa on 6. sukupolven autonominen robotti АВТОБОТ-П6

Lavetti: Titaani-T1001:n ja nanomateriaali-X003:n seos.

Toiminta: Yksin (autonomia) tai laumassa (sovitettu autonomia).

Olosuhteet: Kaikki sääolosuhteet, -60 - + 75 °C. Vedessä < 6 h.

Omatehtäväkestävyys: Atomivoima 24 kk (takuu), arvio 15+ vuotta.

Pääaseet: Hyper-TBX- ja supraneutroniohjukset, kemiallinen polttoase. Etä- ja lähitaistelulaserit. Äänenpaine. Kuumennus. X-EMP.

Muita aseita: Inkapasitoiva kemiallinen ja biologinen; alueen käytön estäminen: kemiallinen, biologinen ja säteily.

Omasuoja: Nykyaikaiset soihdut ja savut, suoja vastustajan elektronista vaikuttamista vastaan, ballistinen, sähkö- ja magneettikenttä, ympäristöön sulautuminen (camo).

Nopeus ja liikkuvuus: 100–140 km/h maastosta riippuen. Kiihtyvyys 0–100 km/h 3 sekunnissa. Hyp-pykorkeus 6 m.

Paino: Ilman aseistusta ja suojaa 130 kg. Kuvan mukaisessa aseistuksessa 270 kg.

Mitat (aseistuksen kanssa): 2100 mm (k), 1900 mm (l), 3050 (p).

Muunneltavuus: kuorma, raivaus, datatuki, pelastus.

Ohjaus: Opetetaan autonomiseksi kahden viikon peruskursilla ja erikoistehtäväautonomia sille voidaan opettaa jatkokursilla yhdestä kahteen viikossa. Ei voida ottaa valtaan.

Muuta: Autonominen itsetuho. Saatavana kahdeksalla eri väri vaihtoehdolla.

Messukuvitusta Russian Arms Expossa 2015. Yllä esitetyt fiktiiviset tiedot ovat kuvaajan mielikuvitusta.

ISBN 978-951-25-2688-8 (painettu)

ISBN 978-951-25-2689-5 (PDF)

ISSN 2342-3129 (painettu)

ISSN 2342-3137 (PDF)

Puolustusvoimien tutkimuslaitos
Finnish Defence Research Agency

Juvenes Print
Tampere 2015

Esipuhe

Puolustusvoimien tutkimuslaitoksen (PVTUTKL) räjähd- ja suojelutekniikkaosasto järjesti elokuussa 2014 Taistelukoululla Tuusulassa kaksi disruptiivisia teknologioita ja innovaatioita käsittelevää puolustus- ja turvallisuusaiheista työpajaa. Energeettisiä teknologioita käsittelevä paja järjestettiin 14.–15.8. ja CBRN-teknologioita käsittelevä paja 21.–22.8. Työpajoihin oli kutsuttu asiantuntijoita puolustusvoimista, viranomaistahoilta, tutkimuslaitoksista, korkeakouluista ja teollisuudesta. Kumpaankin pajaan osallistui noin 20 asiantuntijaa. Puheenjohtajana pajoissa toimi professori Markku Mesilaakso.

Pajoissa oli tavoitteena tunnistaa teemaan liittyviä disruptiivisia teknologioita ja innovaatioita puolustus- ja turvallisuuskontekstissa (defence & security), antaa yleiskäsitys disruptiivisista teknologioista ja innovaatioista, laajentaa omaa asiantuntemusta sekä tarjota tilaisuus keskusteluun ja ajatustenvaihtoon monitieteellisessä ympäristössä sekä tuottaa raportti osallistujien ja puolustusvoimien käyttöön. Pajoissa pohdittiin, mikä on mahdollista, mikä on käänteen tekevää ja milloin se olisi todellisuutta?

Työpajoihin osallistuneille jaettiin etukäteen luettavaksi teknologista tulevaisuutta käsittelevää ulkomaista kirjallisuutta. Kukin kirja referoitiin työpajassa ja kirjasta käytiin keskustelu. Lopuksi kummassakin työpajassa muodostettiin neljä työryhmää, joiden tehtävänä oli pohtia puolustus- ja turvallisuuskontekstissa alan tulevaisuuden teknologioita.

Työpajoista tuotettiin käsillä oleva raportti. Raportista pyrittiin toteuttamaan sujuva ja yleistajuinen tieteellistä kirjoittamista välttäen. Raporttia ei tule pitää alojen täydellisenä kuvauksena, joten lukuisissa esitetyissä asioissa olisi mahdollista päästä syvällisempään, laajempaan ja tarkempaan käsittelyyn.

Työpajojen keskusteluissa ja tätä kirjoitettaessa tuli selväksi, että ei voida kokonaan keskittyä energeettisiin ja CBRN-teknologioihin vaan tulee keskustella myös ajan ilmiöistä ja muista tärkeistä aiheista kuten esimerkiksi energia ja internetin leviäminen kaikkialle. Näitä yleisempiä ja yhteisiä asioita on koottu raportin alkuun ja niitä sivutaan myöhemmin.

Energeettisillä teknologioilla tarkoitetaan tässä yhteydessä pääasiassa räjähteitä, räjähdysaineita, pyroteknisiä aineita ja ruuteja sekä niitä hyödyntäviä välineitä. Lisäksi mainitaan lyhyesti myös muunlaista energiaa hyödyntäviä teknologioita, kuten esimerkiksi laser, raidetykki ja elektromagneettinen pulssi. CBRN-teknologioilla tarkoitetaan tässä yhteydessä joukkotuhoaseiden ja -aineiden kehittämiseen, valmistamiseen ja käyttöön tarvittavia teknologioita. Käsittely kat-

taa myös kemiallisia, biologisia ja säteilyn uhkia, joita ei ole edes alun perin suunniteltu asekäyttöön, vaan ne ovat läsnä vaaroina tai myrkkyyinä toimintaympäristössä muista syistä.

Energeettisten teknologioiden alan pajaan osallistuivat: Björn Granqvist, Oy Forcit Ab; Martti Hagfors, Puolustusvoimien tutkimuslaitos; Ilkka Heikkilä, Nammo Vihtavuori Oy; Markus Heiskanen, Helsingin poliisi; Kyösti Huhtala, Maavoimien materiaalilaitoksen esikunta; Hannu Hytti, Oy Forcit Ab; Matti Hämäläinen, Nammo Vihtavuori Oy; Markku Jenu, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy; Marja-Leena Karisaari, Puolustusvoimien tutkimuslaitos; Olli Klemola, Puolustusvoimien tutkimuslaitos; Jyri Kosola, Pääesikunnan suunnitteluosasto; Matti Lindroos, Tampereen teknillinen yliopisto; Pekka Lintula, Nammo Lapua Oy; Terhi Meriläinen, Puolustusvoimien tutkimuslaitos; Markku Mesilaakso, Puolustusvoimien tutkimuslaitos; Pasi Niinikoski, Patria Oyj; Mikko Ojala, Turvallisuus- ja kemikaalivirasto; Karri Palovuori, Tampereen teknillinen yliopisto; Jari Pukkila, Keskusrikospoliisi; Mari-Ella Sairiala, Puolustusvoimien tutkimuslaitos; ja Eeva-Maija Turpeinen, Puolustusvoimien tutkimuslaitos.

CBRN-teknologioiden alan pajaan osallistuivat: Osmo Anttalainen, Environics Oy; Mikko Elo, Maavoimaesikunta; Tuuli Haataja, Puolustusvoimien tutkimuslaitos; Markus Heiskanen, Helsingin poliisi; Tarmo Humppi, Puolustusvoimien tutkimuslaitos; Anna Katz, Sotilaslääketieteen keskus; Markku Kettunen, Puolustusvoimien tutkimuslaitos; Olli Klemola, Puolustusvoimien tutkimuslaitos; Ilpo Kulmala, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy; Paula Maatela, Puolustusvoimien tutkimuslaitos; Markku Mesilaakso, Puolustusvoimien tutkimuslaitos; Jyrki Mäkelä, Tampereen teknillinen yliopisto; Markos Mölsä, Sotilaslääketieteen keskus; Jussi Paatero, Ilmatieteen laitos; Jari Pukkila, Keskusrikospoliisi; Heikki Seulanto, Puolustusvoimien tutkimuslaitos; Martin Söderström, Kemiallisen aseiden kieltosopimuksen instituutti; Timo-Jaakko Toivanen, Puolustusvoimien tutkimuslaitos; Harri Toivonen, Säteilyturvakeskus; Paula Vanninen, Kemiallisen aseiden kieltosopimuksen instituutti; ja Kirsi Vähäkangas, Itä-Suomen yliopisto.

Kiitän pajoihin osallistuneita vilkkaasta ja mielenkiintoisesta keskustelusta kirjojen referoinnin, illallisen, työpajojen ja työryhmien tulosten purun aikana sekä osallistumisesta tämän raportin laatimiseen. Erityiset kiitokset kuuluvat lisäksi seuraaville heidän panoksestaan työryhmien tulosten kirjoittamisessa, tekstin toimittamisessa, tekstin oikolukemisessa, korjausehdotuksissa, pajojen järjestyksessä ja kirjojen tilaamisessa: Mari-Ella Sairiala, Tarmo Humppi, Liisa Korpi, Kristiina Nevanpää ja Sirpa Korpela.

Elokuussa 2013 järjestettiin Hauholla ”Disruptiiviset teknologiat puolustuskontekstissa”-työpaja, josta on julkaistu samanniminen raportti.

Ylöjärvellä 13.8.2015

Markku Mesilaakso

Käytetyt lyhenteet

BAMO	bisatsidometyylioksetaanin kopolymeeri
BTATZ	3,6-bis(3-atsido-1,2,4-triatsoli-1-yyli)-1,2,4,5-tetratsiini
CBRN	kemiallinen, biologinen, säteily (radiologinen), ydinase; chemical, biological, radiological, nuclear
CFD	vuorovaikutteinen virtauslaskenta; computational fluid dynamics
DAAT	6-amino-1,2,4,5-tetratsiini
DNA	deoksiribonukleinihappo
Drone	miehittämätön taistelu- tai tiedustelulennokki
EMP	sähkömagneettinen pulssi; electromagnetic pulse
GAP	glysidyyliatsidipolymeeri
GAP/AN/Al	glysidyyliatsidipolymeeri, jossa on ammoniumnitraattia ja alumiinia
GAP/TMETN/BTTN/RDX	glysidyyliatsidipolymeeri, jossa on trimetyylioletaanitri- nitraattia, 1,2,4-butaanitriolitritritraattia ja heksogeenia
Hazmat	vaaralliset aineet; hazardous materials
HMX	oktogeeni
HTPB	hydroksyyliipäätteinen polybutadieeni
HTPB/AP/Al	hydroksyyliipäätteinen polybutadieeni, jossa on ammoni- umperkloraaattia ja alumiinia
ICT	tieto- ja viestintäteknikka; information and communica- tion technology
IED	improvisoitu räjähdde; improvised explosive device
IM	epäherkkä räjähdde; insensitive munition
IMS	ioniliikkuvuusspektrometria; ion mobility spectrometry
IMX-101	Yhdysvaltojen kehittämä räjähdysaine, joka korvaa trinit- rotolueenin
IND	improvisoitu ydinräjähdde; improvised nuclear device
Iron Dome	rautakupoli, israelilainen rakettien ja pienten ohjusten torjuntaan tarkoitettu ohjusjärjestelmä
IS	Islamic State – Islamilainen valtio -terroristijärjestö
MACH	kappaleen lentonopeuden suhde äänen nopeuteen lento- korkeudella
Maldi-TOF	matriisiavusteinen laser desorptio/ionisaatio - lentoaika massaspektrometria
MEMS	mikrosysteemi; micro electro mechanical system
MOF	metalli-orgaaninen rakenne; metal-organic framework
MRSA	metisilliinille vastustuskykyinen Staphylococcus aureus, nk. sairaalabakteeri
ONC	oktanitrokubaani

PCR	polymeraasiketjureaktio; polymerase chain reaction
PDA	kämmentietokone; personal digital assistant
RBC	tukeutumiskeskus; reach back center
RSDL	henkilön puhdistusaine; reactive skin decontamination lotion
RDX	heksogeeni
RPV	kauko-ohjattu alus; remotely piloted vehicle
QWERTY	yleisin konekirjoitustyyppisen näppäimistön näppäinten asettelu
Scramjet	yläänipatoputkimoottori; supersonic air combustion ram-jet
STL	stereolitografia; stereo lithography
TAGAT	triaminoguanidiniumatsotetratsolaatti
TBX	termobaarinen räjähdde; thermobaric explosive
T&K	tutkimus ja kehittäminen
TIC	myrkyllinen teollisuuskemikaali; toxic industrial chemical
TIM	myrkyllinen teollisuusmateriaali; toxic industrial material
TNT	trinitrotolueeni
S&T	tiede ja tutkimus; science and technology
UAV	miehittämätön ilma-alus; unmanned aerial vehicle
UMV	miehittämätön alus; unmanned vehicle
UV	ultravioletti(valo); ultra violet
VHP	vetyperoksidihöyry; vaporized hydrogen peroxide
VHS	videotallennusjärjestelmä; video home system
Vod	detonaationopeus; velocity of detonation
WMD	joukkotuhoase, massatuhoase, suurtuhoase; weapon of mass destruction
X-51	Boeingin valmistama hypersoninen ohjustyyppi

Sisällys

Esipuhe	4
Käytetyt lyhenteet	7
1 Teknologisesta todellisuudesta ja tulevaisuudesta	10
Mikä on disruptiivista?	10
Teknologian ja sodan muutos	12
Valvonta ja tiedon hallinta	13
Teknologian kehitys on väistämätöntä	15
2 Energeettiset teknologiat	18
Taistelukenttä	18
Räjähdyksineet	22
Sotilas	25
3 CBRN-teknologiat	26
Muuttuva CBRN-ympäristö	26
Ennakointi ja varautuminen	30
Ilmaisu ja tunnistaminen	32
Yksilön ja väestön suojaaminen	38
Pelastaminen ja vaikutusten rajaaminen	40
Terveys ja hoitaminen	41
Puhdistaminen ja palauttaminen	41
4 Kirjallisuutta	44

1 Teknologisesta todellisuudesta ja tulevaisuudesta

Mikä on disruptiivista?

Mitä käsitteellä disruptiivinen teknologia tarkoitetaan? Disruptiivinen teknologia valloittaa nopealla aikavälillä alueensa ja korvaa aikaisemmin hallinneen teknologian. Vastakohtana disruptiiviselle teknologialle on sustaining technology, joka tuo vain vähittäisiä muutoksia tai parannuksia.

Kuvaava esimerkki on VHS-kasettien korvautuminen CD/DVD-levyillä ja -formaattilla. VHS-kasettien ja -nauhurien valmistajien liiketoiminta ajautui nopean teknologiamuutoksen seurauksena häiriötilaan (engl. disruption), koska uusi, suorituskykyisempi ja helppokäyttöisempi teknologia oli tullut tilalle. Valmistajien oli siitä selvitäkseen kehitettävä uusi, CD/DVD-formaattiin perustuva liiketoiminta.

Disruptiivinen teknologia tai innovaatio ei aina tarkoita jotakin uutta ja radikaalia: myös vanhasta teknologiasta voi innovaation avulla kehittyä disruptiivinen. Tästä esimerkkinä on nykyisten älypuhelimien kosketusnäyttö, joka on vanha keksintö 1970-luvulta. Vasta iPhone'n julkistaminen vuonna 2007 teki kosketusnäyttöteknologiasta disruptiivisen ja teknolo-

gia syrjäyttikin nopeasti puhelimissa käytetyn mekaanisen QWERTY -näppäimistön.



Kuva 1.1: Ylempi puhelin on 2000-luvun alun Nokia 6820a, jonka mekaaninen QWERTY-näppäimistö saatiin kääntämällä esiin ja alempi 2010-luvun kosketusnäytöllä varustettu Apple iPhone 6. (Kuva: PVTUTKL/Markku Mesilaakso)

Toinen disruptiivisuutta karakterisoiva piirre on sen mahdollistama täysin uudenlainen tuote/palvelu, tai sotilasteknologiassa suorituskyky. Esimerkkinä jälkimmäisestä on toisen maailmansodan aikana kehitetty tutka, jolla oli huomattavan suuri vaikutus sodankäyntiin.

Sotilasteknologiassa disruptiivisuus ymmärretään myös siten, että se tarjoaa käyttäjälleen ylivoimaista etua ja pakottaa vastapuolen muuttaman taktiikkaa tai ottamaan käyttöön uutta aseistusta. Toisessa maailmansodassa saksalaisten käyttämä salamasotataktiikka (Blitzkrieg) on yksi esimerkki disruptiivisista innovaatioista.

Disruptiivisia teknologioita ei pidä sekoittaa kahteen muuhun teknologia-alueeseen: vallankumoukselliset teknologiat (revolutionary technologies) ja kehittyvät teknologiat (emerging tai evolving technologies). Vallankumoukselliset teknologiat muokkaavat nimensä mukaisesti maailmankuvaa ja voimatasapainoa täysin ja niillä on valtavan suuri merkitys ihmiskunnan kehitykselle ja tulevaisuudelle.

Esimerkkinä vallankumouksellisesta teknologiasta on ydinase. Yksi pommi ja 30 minuuttia riitti tuhoamaan Hiroshiman kaupungissa arviolta 70000–100000 asukasta. Vastaavasti Dresdenin keskustan pommittamiseen helmikuussa 1945 käytettiin yli 3900 tonnia pommeja ja palopommeja ja toista tuhatta pommikonetta. Ihmisiä arvellaan kuolleen noin 25000. Edellä esitetyn määrittelyn mukaan ydinase edustaa myös disruptiivista teknologiaa.

Biotieteissä geenimonistusta (PCR-tekniikka) voidaan pitää vallankumouksellisena teknologiana, joka on avannut täysin uusia mahdollisuuksia mm. ihmisten sairauksien hoitoon ja elintarvikkeiden tuotantoon. Vastavaa teknologista läpimurtoa odotettiin 1990-luvulla kombinatorisesta kemiasta. Kombinatorinen kemia tarkoittaa eräänlaista evoluutiota koeputkessa. Periaatteessa tällä menetelmällä pystyttäisiin luomaan uusia molekyyliä ja niille haluttuja ominaisuuksia

jäljittelemällä luonnon evolutionääriä prosesseja.



Kuva 1.2: PicoReal on pienikokoinen kenttäkäyttöön soveltuva geenimonistuslaite. (Kuva: www.thermoscientific.com)

Kehittyvät teknologiat (emerging technologies) mahdollistavat sen mitä konventionaalista teknologiaa hyödyntämällä ei saavuteta ja avaavat täysin uusia mahdollisuuksia. Materiaalitieteiden alalta voidaan esimerkkeinä mainita metamateriaalit, ohjelmoitavat materiaalit ja grafeenit. Sotatekniikan alalta löytyy useita esimerkkejä kehittyvistä teknologioista: laseraset, suunnatun energian aset, häiveteknologia, plasma-aset ja elektromagneettiset aset. Saavutettuaan riittävän kypsyyssasteen kehittyvä teknologia voi muuttua disruptiiviseksi.

Disruptiiviset teknologiat nousevat tavallisesti sieltä, missä panostetaan reilusti voimavaroja tieteen ja tekno-

logian kehittämiseen. Suomessa tehdään energettisten teknologioiden ja CBRN-teknologioiden aloilla tutkimus- ja kehitystyötä. Monilla alueilla olemme teknologioiden potentiaalinen ostaja ja loppukäyttäjä. Maanpuolustuksen ja yhteiskunnan tarpeita varten meidän on vähintään tunnettava kehityssuunnat ja teknologian mahdollisuudet. Paljon on kiinni käytävissämme olevista resursseista.

Teknologian ja sodan muutos

Teknologia, mikä meille on disruptiivista, ei ole välttämättä sitä sen tuottajalle tai valtiolle, jossa teknologiaa tuotetaan. Oman teollisuutemme voidaan katsoa olevan teknologisesti edistynyttä niillä aloilla, joilla se toimii. Vähättelemättä teollisuutemme ponnisteluja, sen ei ehkä odoteta tuottavan disruptiivisia teknologioita energettisten tai CBRN-teknologioiden alueelta. Yksi alue kuitenkin nousee selvästi esille: epäherkät sotilasräjähteet.

Epäherkät sotilasräjähteet (insensitive munitions, IM) ovat laajamittaisesti käytössä USA:ssa. Suomen puolustusvoimilla on käytössä suomalaisen Oy Forcit Ab:n epäherkkään räjähdysaineeseen perustuvia tuotteita kuten herätemiina ja viuhkapanos. Sotilasräjähteiden epäherkkyydellä on disruptiivinen vaikutus räjähteiden operatiiviseen käyttöön ja logistiikkaan. Epäherkkiä räjähteitä voidaan

varastoida tiiviimmin ja niitä on turvallista kuljettaa ja säilyttää esimerkiksi asutuksen läheisyydessä. Suomessa IM:n tuleminen koetaan seuraavan parinkymmenen vuoden kuluessa.



Kuva 1.3: Suomalainen herätemiina. (Kuva: Puolustusvoimat)

USA:n ja Irakin välinen sota 1990-luvun alussa oli ensimmäinen ns. televisiosota. Ohjuksen ampuneen hävittäjän tai helikopterin kuvaamalta videolta näimme panssarivaunujen ja muiden kohteiden tuhoutuvan ohjuksen vaikutuksesta. USA:lla oli käytössään täsmäaseita, joiden avulla kohde pystyttiin tuhoamaan, mahdollisesti aiheuttamatta vahinkoa kohteen ympärillä. Vastustaja oli käytännössä voimaton.

Tulevaisuudessa osumatarkkuus tulee edelleen paranemaan niin, että kohteen tuhoavan tai toimintakyvyttömäksi tekevän räjähteen määrä on mahdollista optimoida. Ohjuksissa voidaan myös käyttää uusia ja tehokkaampia räjähdysaineita, jotka pieni-

nä määrinä tuottavat halutun vaikutuksen.

Valtioiden välisen sodankäynnin tilalle ovat tulleet valtioiden sisäiset, valtion ja ei-valtiollisten toimijoiden väliset konfliktit. Sodan kuva on muuttunut asymmetriseksi. Asymmetriaa esiintyy aina kun konfliktin toinen osapuoli on teknologisesti ylivoimainen. Sotaa ei enää välttämättä käydä perinteisillä ruumiinvammoja tai aineellisia tuhoja aiheuttavilla aseilla, vaan haluttu vaikutus, ainakin konfliktia edeltävinä aikoina, voidaan tuottaa myös taloudellisesti, informaationsodankäynnin avulla, onnettomuuksilla, mahdollisesti taudinaiheuttajilla, jne.

Autopommit, tienvarsipommit ja itsemurhapommit ovat monilla konfliktialueilla lähes jokapäiväisiä. Helposti saatavia ja halpoja räjähteitä tai räjähteeksi sopivia aineita ja materiaaleja on käytössä. Suomessakin on joitakin yksittäistapauksia esiintynyt. Esimerkiksi Israel on kehittänyt Gazasta ammuttujen ohjauskyvyttömiin rakettien torjumiseksi huipputeknologiaa hyödyntävän Iron Dome -järjestelmän. Uutisten mukaan Islamilainen valtio (IS) -terroristijärjestö on ottanut haltuunsa kehittyntä sotamateriaalia, kuten taistelukoneita. Lisäksi sen julkistamat väkivallanteot ja teloitukset ovat jotain ennen näkemätöntä. Pommiin ja joukkotuhoaseiden käyttö tai niiden käytöllä uhkaaminen ja silmitön väkivalta takaavat laajan kansainvälisen huomion.

Valvonta ja tiedon hallinta

Valtion, median ja kansalaisten välinen suhde on muuttunut tiedon ja sosiaalisen kanssakäymisen siirryttyä verkkoon. Sosiaalisen median tultua keskeiseksi mielipidevaikuttajaksi ja väestön tiedonlähteeksi, virallinen taho ei enää ole korkein auktoriteetti ja luotettavan tiedon lähde. Ihmiset verkostoituvat samat arvot jakavien yksilöiden kanssa riippumatta maantieteellisestä etäisyydestä ja kansallisuudesta, ja hankkivat ja vastaanottavat tietoa omista kanavistaan. Yksittäisten ihmisten mielipiteitä on yhä vaikeampaa erottaa tutkitusta ja luotettavasta tiedosta.

Sosiaalinen media tarjoaa erinomaisen tietolähteen sotilas- ja siviilitiedustelulle. Valvonta- ja seuranta-tekniikat tulevat varmasti hyödyn-tämään tietoverkkojen valtavan datan ja tulevaisuudessa tarjoavat ehkä tehokkaimmat työkalut kansainvälisen terrorismin ja rikollisuuden torjuntaan.



Kuva 1.4: Tänä päivänä on tarjolla paljon erilaisia sähköisen viestinnän ja palvelujen käytön mahdollisuuksia. (Kuva: PVTUTKL/Tuuli Haataja)

Nopeutuva reaaliaikainen tiedonvälitys vaikuttaa myös CBRN- ja improvisoitujen räjähteiden (IED) uhkakuviin monin tavoin. Tieto taisteluai- neista ja räjähteistä, niiden hankki- mis- ja valmistustavoista ja vaikutuk- sista leviää verkoissa ja verkostoissa. Joukkotuhoaseiden ja räjähteiden käytön saama julkisuus ja sitä seu- raavat psykososiaaliset vaikutukset ovat olleet laajoja silloinkin kun itse teko on aiheuttanut rajatusti sairastu- neita ja kuolleita. Tämä lisää nk. huonojen ideoiden kopioimisen to- dennäköisyyttä. Toisaalta johonkin uhkatekijään liittyvässä poikkeusti- lanteessa sosiaalinen media ja reaali- aikainen tiedonvälitys ovat paitsi haitta, myös mahdollisuus, jolloin vi- ranomaisten tiedotuskyky ja tiedotus- valmius korostuvat.



Kuva 1.5: Tiedolla ja koetoiminnalla voidaan kehittää palvelusturvalli- suutta. (Kuva: PVTUTKL/Seppo Härkönen)

Improvisoitujen räjähteiden ja CBRN -uhkakuvan tarkastelukulmana voi olla mm. yksinäinen toimija, terroristi- ryhmä tai valtioiden välinen aggres-

sio. Suuret, koko yhteiskuntaa kos- kettavat muutokset, kuten yhteiskun- nan muuttuminen heterogeenisem- maksi sekä kouluttautumisen ja työn- saannin vaikeus vaikuttavat uhkaku- vaan. Keskeisenä nousevana CBRN- aineisiin ja räjähteisiin liittyvänä uh- katekijänä voidaan nähdä yksittäisen toimijan tai tiettyä asiaa ajavan tahon kasvavat toimintamahdollisuudet so- veltuvien materiaalien hankkimises- sa, muokkaamisessa, tuottamisessa ja synteettisessä valmistuksessa. Tärkeä yhteiskunnallinen kysymys on, miten terroristiryhmät ja aseita havittelevat tahot voitaisiin tunnistaa. Yksinäistä, mieleltään näennäisesti tervettä toi- mijaa ei voida helposti tunnistaa ja tällaisen toteuttamaan toimintaan va- rautuminen on vaikeaa. Syrjäytynyt tai epätasapainoinen yksilö voidaan mahdollisesti tunnistaa ja syrjäyty- mistä voidaan erilaisilla toimilla eh- käistä.

Tiedon, tavaroiden ja ihmisten vapaa liikkuvuus ovat osaltaan lisänneet myrkyllisiin ja vaarallisiin aineisiin liittyviä riskejä. Aineita ja materiaale- ja voidaan tilata internetistä, josta löytyy myös valmistusohjeita. Lain- säädäntö vaikutuksineen laahaa pe- rässä ja saattaa olla puutteellista. Li- säksi on todettava, että lainsäädäntö vaikuttaa tavallisen ihmisen elämään, mutta ei estä rikollista toimintaa.

Kuljetusten valvontajärjestelmät ke- hittyvät vauhdilla. Älykäs kuorma kertoo tiedot sisällöstään välittäjälle tai vastaanottajalle. Tulevaisuudessa

kaikkialla läsnä oleva internet tietää kuorman kulkureitit ja kuljetus avaa portit siellä, missä on tarkoituskin. Järjestelmä ei salli ennalta suunnitelmattomia pysähdyksiä, reiteiltä poikkeamisia tai lastitilan aukaisuja. Kaikista epänormaaleista toiminnoista välittyy signaali valvomoon, joka hälyttää tarvittaessa paikallisen viranomaisen tarkastamaan kuljetuksen tilanteen.



Kuva 1.6: Bussien paikkatietojen reaaliaikainen seuranta sähköisellä kartalla on mahdollista Lissu Liikenteenseurannan avulla (lissu.tampere.fi). (Kuva: PVTUTKL/Markku Mesilaakso)

Teknologian kehitys on väistämätöntä

Teknologian tunkeutuminen kaikkialle tekee yhteiskunnasta ja ihmisistä teknologiariippuvaisia. Teknologian automatisoitumisen myötä kynnys käyttää monimutkaista tekniikkaa on madaltunut. Diginatiivi sukupolvi on vallassa yhteiskunnassa ja liike-elämässä 10–20 vuoden kuluttua. Monimutkaisten, kriittisiä solmukohtia sisältävien järjestelmien haavoittuminen, esimerkkinä tietoliikenneverkot ja energiantuotanto, voi johtaa vakaviin seurauksiin, kun ihmiset ovat menettäneet kyvyn ja tuntuman perinteisiin selviytymisen toimintamalleihin.

Tulevaisuuden taistelukenttä tukeutuu väistämättä kauko-ohjattaviin tai autonomisiin robotteihin. Tällä muun muassa pyritään estämään tai vähentämään omien joukkojen ihmistappioita. Robottien taistelukyky säilyy optimaalisena päivästä toiseen eikä roboteilta puuttuva tunneäly vaikeuta tehtävien suorittamista, vaan se toteuttaa tehtävät juuri niin, kuin robotin ohjelmistot koodannut ihminen on halunnut. Kynnys autonomisten järjestelmien lähettämiseksi taisteluihin on ihmistaistelijan lähettämiseen verrattuna matalampi. Sellainen robotti, joka ei osaa itse tuottaa tai analysoida tilannekuvaa, tekee vain yksipuolisen suorituksen. Edellä mainituista näkökulmista johtuen myös tulevaisuuden

ihmissotilas tarvitsee enenevässä määrin kykyä analysoida tilanteita.



Kuva 1.7: Tulevaisuuden aseistettu robotti. Messukuvitusta Russian Arms Expossa 2015. (Kuva: PVTUTKL/Markku Mesilaakso)

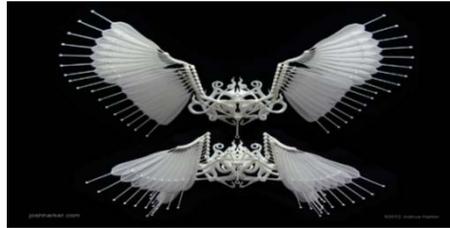
Sotateknologia kehittyä energia-intensiivisestä fossiilista energiaa käyttävästä järeästä teknologiasta pieniin, autonomisiin, vaikeasti havaittaviin ja tuhottaviin eri vaihtoehtoisilla energiamuodoilla toimiviin laitteisiin ja järjestelmiin. Energian siirtoon ja energian saatavuuteen sekä datan siirtoon liittyvien uusien teknologioiden kehittyminen tulee olemaan disruptiivista ja nämä teknologiat ovat jo nyt muuttaneet voimakkaasti taistelukentän kuvaa. Esimerkkejä täysin energian saantiin ja tiedonsiirtoyhteyksiin kytköksissä olevista tulevaisuuden teknologioista ovat mm. laseraseiden, drone- ja UAV-teknologioiden sekä taistelukentällä toimivan henkilön tilannekuvaa tuottavan teknologian kehitys. Suoritus-

kykyä rajoittavana tekijänä on energian riittämättömyys.

Energian paikallinen varastointikyky ja nanoteknologiaan perustuva akkuteknikka tulevat vaikuttamaan dramaattisesti (positiivisesti) järjestelmien suorituskykyyn. Järjestelmistä saadaan uusien teknologioiden avulla keveitä ja energiapihejä ja niiden toiminta-ajat ovat pitkiä. Riippumattomuus ulkoisista energialähteistä kasvaa. Kehityksen mahdollisena hidastajana voivat olla tietoturvaongelmat – jos tiedon siirtoa voidaan estää tai manipuloida, syntyy haittaa edistyneille datariippuvaisille järjestelmille.

Kolmiulotteisen (3D) tulostusteknologian kehittyminen ja nopeutuminen tulee hyödyttämään prototyyppien, koneiden ja aseiden osien valmistusta. Lisäksi teknologia mahdollistaa sellaisten yksilöllisten rakenteiden tuottamisen, joka perinteisillä työstötavoilla on mahdotonta. Huollon varaosavarastoa ei tarvita, koska varaosat pystytään tulostamaan. 3D-tulostus on seuraava tieteellinen ja teknologinen läpimurto, jonka vaikutukset tulevat asiantuntijoiden mukaan olemaan samaa suuruusluokkaa kuin höyrykoneen keksiminen tai internet. Kyseessä on merkittävä teollinen vallankumous, joka mullistaa teollisuutta, ja myös puolustusvoimien logistiikan, seuraavien noin 20 vuoden kuluessa.

Tulostusmateriaalina voidaan käyttää muovia, lasia, keraamisia materiaaleja, metalleja tai niiden seoksia aina teräksestä kultaan asti. 3D-tulostuksen etuja ovat, että mikään muoto ei ole enää liian mutkikas valmistettäväksi, kappaleissa ei ole saumoja eikä liitoksia, esine valmistuu kerralla, eikä sitä tarvitse koota osista ja tulostuspaikkaa voidaan helposti vaihtaa. Kriisitilanteessa, merikuljetusten ollessa mahdollisesti saarrettuna, 3D-tulostus takaa varaosien jatkuvan saannin ympäri maata. Tulostimet voivat sijaita lähellä tapahtumaa, joko rekka-autoissa tai koneteissa. Varaosien kuljetustarve poistuu. 3D-tulostuskyky lienee eräs Mars-matkan mahdollistajista.



Kuva 1.8: 3D-tulostimella tulostettuja kappaleita. (Kuvat: Josh Harker (ylempi) ja Solid Concepts)

2 Energeettiset teknologiat

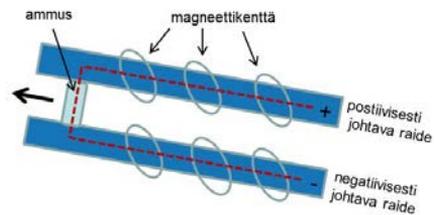
Räjähdeiden kehittymisen suuntaviivoja määrittelevät tarpeet kasvattaa suorituskykyä, vähentää räjähteiden haavoittuvuutta ja pidentää niiden käyttöikää. Monimutkaistuvien räjähdesevovellusten myötä räjähteiden mekaanisten ominaisuuksien merkitys korostuu. Ajoaineiden palokaasujen havaittavuuteen tulee kiinnittää enemmän huomiota, kun erilaiset aktiiviset varoitimet ja omasuojajärjestelmät kehittyvät. Räjähdeteknologian kehittymistä ennakoitaessa ja sen kehitystyöhön osallistuessa ei saa unohtaa ympäristönäkökohtia: alati tiukkeneva kansallinen ja kansainvälinen ympäristölainsäädäntö ei voi olla vaikuttamatta myös sotilassooveluksiin. Tässä luvussa on tarkasteltu näitä näkökulmia, mutta myös muita pajassa esiin tulleita, tulevaisuutta muuttavia teknologioita.

Taistelukenttä

Taistelukentällä toimittaessa pyritään täsmälliseen vaikuttamiseen eli osumaan tarkasti kohteeseen ja vain tarvittavalla voimalla. Erilaiset ohjautuvat amukset ovat tulevaisuudessa edelleen kehitystyön kohteena. Optimaalisesti ohjautuvan ammuksen toimintaa eivät haittaa olosuhteet ja sen ohjaus perustuu yksinkertaiseen paikannustekniikkaan. Ohjusaseilla käsitetään tyypillisesti kauas lentävi-

en, rakettimoottoreilla varustettujen aseiden ryhmää, mutta ohjausteknologian käyttäminen esimerkiksi pienkalliiperisovelluksiin tulee yleistymään ja muuttamaan taistelua sekä suojautumista.

Tulevaisuudessa tutkimusta tehdään liike-energian tuhovoimaan perustuvien asejärjestelmien kehittämiseksi. Mullistavaa on, että liike-energiaa hyväksi käyttäviin ammuksiin ei tarvita enää suuria räjähdysainemääriä, koska tuhon aiheuttaa ammuksen erittäin kova nopeus. Tällaisia ammuksia vastaan on hyvin vaikea puolustautua. Esimerkiksi raidetykki (rail gun) on keksitty 1900-luvun alussa, mutta se on noussut uudelleen kiinnostuksen ja kehityksen kohteeksi. Sähköenergian muuntaminen liikeenergiaksi magneettikentän avulla mahdollistaa ammuksen lähtönopeuden (useita kilometrejä sekunnissa), joka on aivan ylivoimainen ruutiaseisiin verrattuna. Raidetykkiteknologian kypsyminen voi ratkaista tulevaisuuden hypersonisten ohjusten torjuntahaasteen.



Kuva 2.1: Rail gun -aseen toimintaperiaate. (Kuva: PVTUTKL/Eeva-Maija Turpeinen)

Täsmävaikuttamiseen voidaan hyödyntää magneettiteknologiaa. Esimerkiksi paineilmalla singottava magneetin ja räjähdysaineen yhdistelmäpanos voi kiinnittyä optimaalisesti tuhottavaan kohteeseen.

Nanoteknologisten ratkaisujen käyttö suojamateriaaleissa ja pinnoituksissa fyysisen suojan tuottamiseksi tulee yleistymään. Lisäksi tulevaisuudessa käytetään nanomateriaaleja esimerkiksi ohjusten rakenteissa ja näin saadaan kevyempiä tuotteita käyttöön. Nanomateriaalit tulevat myös pienempikokoisiin, tehokkaampiin ja helpommin liikuteltaviin räjähteisiin.

Räjähdysainetta voidaan tulevaisuudessa käyttää rakenteellisena elementtinä. Esimerkiksi tietokone tai UAV voidaan valmistaa osittain räjähdysaineesta, jolloin sen voi tarvittaessa tuhota kaukolaukaisulla tai näppäilemällä suojakoodi. Tällä olisi mahdollista tuhota esimerkiksi tietokoneen sisältämä materiaali ja estää sen joutuminen vastustajan käsiin. Myös elektroniset mikroräjähdepiirit voisivat tuottaa kohdistetun tuhoamisvaikutuksen esim. laitteen muistiin.

Laseraseteknologian kehittyminen muuttaa disruptiivisella tavalla sodankäynnin muotoja. Tällä hetkellä laserit ovat kuitenkin vielä liian isoja, painavia ja teholtaan riittämättömiä. Tosin jo nyt on demonstroitu laseraseen käyttö ohjuksen ja lennokin alas ampumisessa. Ratkaistavaksi

asiaksi tulee laseraseen tarvitseman energian varastoiminen ja siirtäminen taistelukentällä. Yksittäisen taistelijan käyttöön soveltuva lasersokaisu on jo mahdollista ottaa käyttöön ja tämä tekniikka on myös edullista (noin 1 sentti/kpl). Vastateknologiaksi on välttämätöntä kehittää erilaisia ilmaisu- ja suojauskeinoja. Kansainvälisten sopimusten mukaan sokaisuaseiden käyttö on kiellettyä.



Kuva 2.2: Boeing 747-400F lentokoneen nokkaan asennettu kemiallinen happi-jodi-laser. (Kuva: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Energia-ase>)

Tulevaisuuden taistelija kantaa mukanaan enenevässä määrin elektroniikkaa ja erilaiset järjestelmät perustuvat laajamittaisesti elektroniikan käyttöön. Eräs tulevaisuuden aseista on taistelijan henkilökohtainen mikroaaltoase, joka soveltuu elektroniikan tekemiseen toimintakyvyttömäksi. Sitä voidaan käyttää myös vastapuolen taistelijoiden pakottamiseen etäämmälle. Kun mikroaaltoasteily

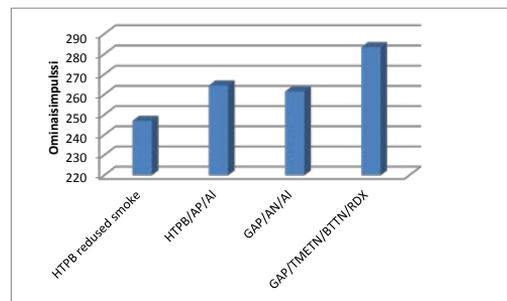
on tarpeeksi voimakasta, ihminen ei pysty olemaan säteilyalueella. Mikroaaltosäteilyn käyttäminen on eittappava keino uhata vastustajaa, silloin kun perinteisen aseiden käytölle ei ole tarvetta.

Tulevaisuudessa käytetään myös rajoitettua, kannettavaa elektromagneettista pulssia (EMP) aseena. Tällä tekniikalla on mahdollista häiritä tai jopa tuhota vihollisen elektroniikkalaitteistoja tai vastaavasti omia laitteita, joita ei haluta jättää viholliselle hyödynnettäväksi. Omien järjestelmien suojauksesta vastaavalla hyökkäykseltä on huolehdittava.

Nesteruuteja ja niitä käyttäviä järjestelmiä kehitetään erityisesti avaruusteknologian sovelluksiin. Nesteruuteja on nykyisin käytössä sotilassovelluksissa lähinnä pitkän kantaman mannertenvälisissä ballistisissa ohjuksissa sekä avaruus- ja kantoraketisovelluksissa. Sotilassovelluksiin perinteisten nesteruutien vaatimien polttoaine- ja hapetintankkien koko ja paino ovat usein liian suuria, moottoritekniikka pumppuineen ja venttiileineen on monimutkaisempaa sekä hankalampaa ja kalliimpaa ylläpitää ja huoltaa. Avaruus- ja kantoraketeissa nesteruudit puoltavat paikkaansa, koska niiden ominaisimpulssi on korkeampi kuin kiinteillä ruudeilla, palaminen on säädeltävissä eikä kantomatka ole moottorin koosta riippuvainen. Lisäksi nesteruudit ovat halvempia ja helpompia tuottaa. Perinteisen ruutiaseen ruudin kilpailijaksi

nesteruuti tuskin nousee, sillä sen käytöllä ei nähdä merkittäviä etuja, jotta tutkimus- ja kehitystyö kannattaisi.

Energeettiset sideaineet tulevat muuttamaan nesteruutien ohella ajoainekenttää. Energeettiset sideaineet tulevat korvaamaan komposiittiruudeissa lähes yksinomaan käytetyn HTPB-sideaineen ja haastamaan tulevaisuudessa perinteisen nitroselluloosan aseruutien perusraaka-aineena. Komposiittiruudeissa energettisen sideaineen käyttöönotto mahdollistaa ympäristölle haitallisten perkloraattien käytöstä luopumisen, joten tämän teknologian uskotaan tulevan käytöön jo lähitulevaisuudessa. Potentiaalisimpia energettisiä sideaineita ohjus- ja asesovelluksiin ovat glysydyliatsidipolymeeri (GAP) ja bisatsidometyylioksetaanin kopolymeerit (BAMO).



Kuva 2.3: Uusien, ympäristöystävällisten ja korkeaaenergistien energettisten materiaalien vertailu ominaisimpulssin suhteen.

Taistelukentällä tullaan käyttämään tehokkaampia energian tuotto- ja varastointikeinoja. Uusien laitteiden virrankulutus on aikaisempaa vähäisempi, mutta energian kokonaistarve kasvaa. Tulevaisuudessa voidaan hyödyntää miniatyrisoituja mobiilienergiälähteitä, jotka perustuvat esim. pienikokoisista superkondensaattoreista koottuun elektroniseen piiriin, jossa myös nanorakenteilla saattaa olla keskeinen tehtävä. Toisaalta yhä enemmän kiinnitetään huomioita ympäristöystävällisyyteen, jolloin biopohjaiset energialähteet ovat tulevaisuudessa laajasti käytössä.

Nanoteknologia on ratkaisu suurempaan energiatiheuteen, mutta myös vähemmän kuluttavien laitteiden komponenttien kehityksessä. Kehitystä ainakin vähemmän kuluttavissa laitteissa on saavutettavissa viiden vuoden sisällä. Ajanjaksolla 10+ vuotta saadaan käyttöön kenttäkelpoisia, pienimuotoisia, liikuteltavia tai kannettavia sähköntuottolaitteita ja aurinkokennoja, kuten printattuja lakanoita. Taistelija voi asemassa ollessaan levittää lakanan ja pystyy tuottamaan satoja watteja aurinkosähköä omiin tarpeisiinsa. Ajanjaksolla 10–20 vuotta saataneen käyttöön orgaaniset aurinkokennot. Niihin liittyvät kehitys- ja sovellusmahdollisuudet ovat huikeat. Ajanjaksolla yli 20 vuotta toteutunee suprajohtavuus korkeissa lämpötiloissa, mikä mullistaa mm. liikkumiseen liittyviä teknologioita.

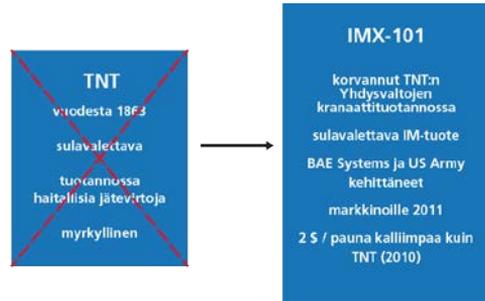
Kauko-ohjattavien ja ohjautuvien miehittämättömien ajoneuvojen (RPV:t kuten UAV, UMV) kehitys tulee jatkumaan voimakkaana ja niitä otetaan lähivuosina operatiiviseen käyttöön enenevässä määrin. Ne soveltuvat hyvin tiedustelu- ja vakoilutoimintaan. Niitä voidaan käyttää myös miniatyrisoitujen aseiden, ampumatarvikkeiden ja tehokkaampien räjähdysaineiden avulla taistelussa ja tuhoamistehtävissä kiinteitä ja liikkuvia maaleja vastaan.

Tulevaisuuden taisteluväline on esimerkiksi hyönteistä jäljittelevä pienellä räjähteellä varustettu UAV, joka kykenee itsenäisesti ohjautumaan esimerkiksi ihmisen pään onkaloihin. Hyttynen voidaan myös rakentaa tiedustelutehtäviin soveltuvaksi. Tällaisten ”hyttysten” havaitseminen ja niiltä suojautuminen on haasteellista. Uhkana on, että RPV-tekniikoiden nopea kehittyminen ja hinnan alhaisuus sekä komponenttien helppo saatavuus toisi nämä välineet myös epäsymmetriseen sodankäyntiin. Hyttysteknikkaa voisi laajentaa käyttämällä luontoa jäljitteleviä ohjattavia tai ohjautuvia ”lintuparvia”, joilla pääsee huomaamatta vastustajan lähistölle. Näitä voidaan käyttää tiedustelussa liittämällä mukaan kamera tai tuhoamistarkoituksessa liittämällä mukaan räjähdde. Mukana voi olla yksi suurempi ”emolintu” lähistöllä, jota voidaan käyttää tuki- ja ohjausyksikkönä tai energiavarastona ”pikkulinuile”.

Räjähdysaineet

Räjähteiden kehittämistä säätelevät muun muassa ympäristö- ja työterveyslainsäädäntö sekä Reach-asetus. Tämän vuoksi esimerkiksi ruutien palonsäätöaineina käytettäville lyijy-yhdisteille ja pehmittiminä käytettäville ftalaateille sekä raketiruutien hapettimina käytettäville kloraateille pyritään löytämään korvaavia yhdisteitä. Tutkimus alalla on vilkasta, mutta uusien koostumusten saattaminen käyttöönvaiheeseen kestää kymmenestä kahteenkymmeneen vuotta.

Epäherkät räjähteet (IM-räjähteet) tulevat valtaamaan markkinat ainakin länsimaissa, koska valtaosa uusista kehitteillä olevista ampumatarvikkeista on ainakin osittain IM-tuotteita. Sotilasräjähteiden epäherkyydellä tulee olemaan disruptiivinen vaikutus räjähteiden logistiikkaan ja operatiiviseen käyttöön. IM-räjähteiden käyttöönotto lisää räjähdeturvallisuutta (varastointi, kaupunkisota) ja alentaa varastointikustannuksia, mutta tulee aiheuttamaan hävittämiskäytäntöihin muutoksia. IM-räjähteille on laadittava omat varastointiohjeistukset. Lisäksi epäherkkiä räjähteitä varten on kehitettävä uusia sytytysjärjestelmiä.



Kuva 2.4: Perinteisestä TNT:sta IM-räjähteeseen IMX-101. (Kuva: PVTUTKL/Eeva-Maija Turpeinen)

Kranaattien suorituskykyä kehitetään muovisidosteisia räjähdysaineita ja kuorirakenteita kehittämällä. Räjähteiden kehitystyössä pyritään saamaan aikaan uusia, eri käyttötarkoituksiin paremmin soveltuvia yksilöllisiä räjähdysaineseoksia, tehokkaampia räjähdysaineita ja erilaisia kuorirakenteita. Perinteiset, edulliset massatuotantoräjähteet tulevat silti pitämään asemansa vielä pitkään.

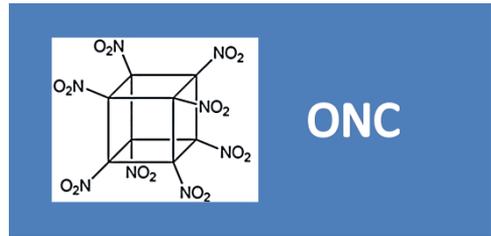
Nanohiukkaskoon RDX- ja HMX-rakenteet yleistyvät tulevaisuudessa, sillä niiden isku- ja hankausherkyys on merkittävästi alhaisempi kuin mikrohiukkaskoon rakenteilla. Nanokoko mahdollistaa perinteisten räjähdysaineiden käytön turvallisuuden kasvaessa. Korkeampi energiatiheys ja näin ollen suurempi lämpöenergia saadaan koostumukseen kuuluvilla metallisilla polttoaineilla kuten Mg, Al, B ja Ti. Heikkoutena on kuitenkin melko alhainen reaktionopeus. Optimaalisessa, metallia sisältävässä räjähdysaineessa reaktiiviset kom-

ponentit on sekoitettu hapettimen yhteyteen esimerkiksi hienojakoisessa muodossa.

Korkean energiatiheyden räjähteet tulevat haastamaan tulevaisuudessa perinteiset räjähdysaineet. Korkean energiatiheyden räjähdysaineet perustuvat entistä tiiviimpään molekyyli-rakenteeseen johon on liittyneenä entistä enemmän nitroryhmiä (NO_2). Räjähdysaineessa oleva typpi muutetaan detonaatiossa täydellisesti kaasumaiseksi, kaksiatomiseksi typeksi, millä on suotuisat vaikutukset räjähdysominaisuuksiin: detonaation nopeuteen, paineeseen ja tiheyteen.

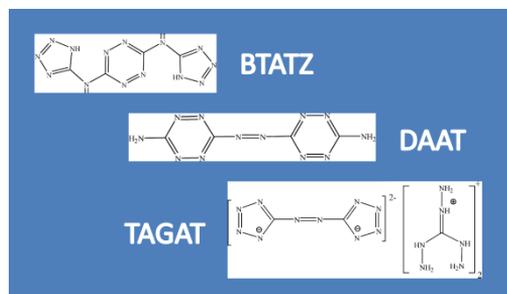
Teoreettisen laskennan tuloksena on löydetty useita uusia ja tehokkaita räjähdysainemolekyylejä. Vain harvoja moderneja molekyylejä on kuitenkin onnistuttu syntetisoimaan. Usein tuotannon prosessimittakaavaan siirtämisen haasteena on kehitystyön erittäin hidas eteneminen ja raaka-aineiden kalleus.

Häkkimolekyyliin $(\text{CH})_8$ on onnistuttu synteettisesti liittämään NO_2 -ryhmiä. Molekyylin detonaationopeuden on laskettu olevan yli 10000 m/s ja detonaatiopaineen yli 500 kbar. Oktanitrokubaanin syntetisointi onnistui 2000-luvun alussa, mutta todellisuudessa sen energiatiheys oli laskennallista merkittävästi alhaisempi. Oktanitrokubaanirakennetta pidetään kuitenkin erittäin mielenkiintoisena ja sen tutkimusta jatketaan.



Kuva 2.5: Oktanitrokubaanissa on häkkimolekyyliin sitoutunut kahdeksan NO_2 -ryhmää ($\rho=2,1 \text{ g/cm}^3$).

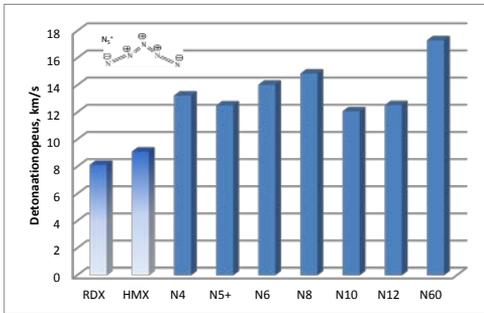
Korkean typpipitoisuuden sisältävät suurienergiset aineet ovat tulevaisuudessa aktiivisen tutkimuksen kohteena. Näissä molekyyleissä pyritään saamaan typpi-typpi (N–N) ja hiili-typpi (C–N) atomien välisten kemiallisten sidosten määrä korkeaksi, sillä molekyyliissä olevien yksinkertaisten C–N- ja N–N-sidosten katketessa ja N–N-kolmoissidoksen muodostuessa vapautuu valtava määrä energiaa.



Kuva 2.6: Tulevaisuuden suurienergisiä molekyylejä, jotka muodostuvat tyyppistä ja vedystä.

Räjähdysaineiden kehityksessä polymeerisen tyyppien aikaansaamisella tulee olemaan disruptiivinen vaikutus, niin räjähdystehon kuin ympäristövaikutusten osalta. Polymeerisen tyyppien detonaatio-ominaisuudet ovat niin musertavat, että sen kehittämisen

myötä räjähteiden käyttö tulee muuttamaan ja tulee mahdolliseksi kehittää uusia räjähdesovelluksia, joita ei nykyisin käytössä olevilla räjähdysaineilla voida toteuttaa. Toistaiseksi kehitys tällä saralla on alkuvaiheessa, mutta ionisen N_5^+ -molekyylin löytyminen herätti uudelleen polymeerisen tyyppien syntetisointipyrkimykset.



Polynitroyhdiste	Tiheys g/cm ³	VoD km/s	Detonaatiopaine GPa
RDX	1,6	8,13	26
HMX	1,9	9,11	39
N ₄	1,75	13,24	77
N ₅₊	1,85	12,51	74
N ₆	1,97	14,04	93
N ₈	2,15	14,86	108
N ₁₀	2,21	12,08	58
N ₁₂	2,28	12,53	64
N ₆₀	2,67	17,31	196

Kuva 2.7: Polymeerisen tyyppien (N_x) tiheyksien, detonaationopeuksien (VoD) ja detonaatiopaineiden vertailu perinteisiin sotilasräjähdysaineisiin (RDX, HMX) verrattuna.

Nestemäistä vetyä ja happea sekä nestemäisiä hiilivetyjä käytetään propulSION lähteenä lähinnä avaruusraaketeissa ja pitkän kantaman mannerten

välisissä ohjuksissa. Scramjet-moottoreita kehitetään ottamaan palamiseen tarvittava happi suoraan ilmasta, jolloin erillistä hapetintankkia ei tarvita. Scramjet-teknologia mahdollistaa niin sanotut hypersoniset nopeudet (yli 5 MACH).

Hypersonisten ohjusten ja ilma-alusten kehittyminen on disruptiivista, koska näillä aseilla saadaan vaikutus maapallon toiselle puolelle alle tunnissa. Yli viisi kertaa ääntä nopeammat ohjusaseet tulevat tuottamaan suuria haasteita vastatoimille. Hypersonisia nopeuksia tavoitellaan tällä hetkellä lähinnä mannertenvälisiin pitkän kantaman ohjuksiin ja avaruusrakettisovelluksiin sekä pitkän kantaman ilma-aluksiin. Tutkimusta on tehty USA:ssa, Venäjällä, Kiinassa ja Intiassa jo kymmeniä vuosia, mutta teknologia ei ole vielä operatiiviseen käyttöön kypsää. Teknologian kehittäminen vaatii edelleen huomattavia tutkimuksellisia ja taloudellisia resursseja. Arvellaan, että Kiinalla voisi olla näitä resursseja, joskin vielä tällä hetkellä kehityksessä kuljetaan rinta rinnan esimerkiksi Kiinan ja USA:n välillä.



Kuva 2.8: Boeing X-51 Waverider lensi 1.5.2013 yli 5 MACH:n nopeudella 210 s. Tämä on pisimmän ajan hypersonisella nopeudella kestänyt lento. Järjestelmässä B-52 pommikone kuljettaa ennen laukaisua X-51:n 15 km korkeudelle. Kuvassa X-51 näkyy B-52 aluksen siiven alla. (Kuva: www.businessinsider.com)

Sotilas

Lämpökameratähtäimet saattavat muuttaa jalkaväen sodankäyntiä. Taistelijat eivät enää pysty suojautumaan metsään, vaan heidät voidaan paikallistaa lämpökameratekniikalla. Disruptiivista on lämpökameratähtäinten käytön laajentuminen jokaisen taistelijan varusteeksi. Lämpökamerat ovat halpoja ja ne yleistyvät nopeasti myös arkielämän käyttösovelluksissa. Yksittäisen taistelijan lämpökameratähtäimen muodostama kuva jaetaan ryhmänjohtajalle, joka saa tilannekuvan vastustajan sotilaiden sijoituksista. Tämän avulla ryhmänjohtaja pystyy ohjaamaan taistelijoitaan monipuolisesti. Lämpökameratähtäimen lisäksi asean kiskoon tai taistelijan

kypärsään voidaan liittää etäisyysmittari, jolloin asean säätämisen jälkeen saadaan lisää osumatarkkuutta.

Kivääriranaatti soveltuu erinomaisesti kaupunkisodankäyntiin. Taistelija mittaa etäisyyden kohteeseen ja asettaa ranaattiin laskemansa räjähdysketken. Teknologia ei ole kallista. Kivääriranaatti tuo tulivoimaa, mutta ei kuitenkaan korvaa luotiasetta. Termobaarinen (TBX) ranaatti sisätiloihin ammuttuna on tehokas elävää voimaa vastaan.

Kivääriin integroitava älyominaisuus on yksinkertainen parannus taistelijan aseistukseen. Kiväärin inertia-stabiloinnilla voidaan poistaa kiväärin värinän aiheuttama osumaepätarkkuus. Inertiamittaus voidaan toteuttaa ns. MEMS-antureilla (Micro Electro Mechanical Systems). Perustaistelijan osumatarkkuus saadaan merkittävästi paremmaksi. Kivääriranaatti ja inertia-stabilointi ovat toteutettavissa 5–10 vuoden kuluessa.

3 CBRN-teknologiat

CBRN-teknologioilla tarkoitetaan tässä yhteydessä joukkotuhousteiden ja -aineiden kehittämiseen, valmistamiseen ja käyttöön tarvittavia teknologioita. Käsittely kattaa myös kemiallisia, biologisia ja säteilyn uhkia, joita ei ole edes alun perin suunniteltu asekäyttöön, vaan ne ovat läsnä vaaroina tai myrkkyyinä toimintaympäristössä muista syistä. Tällaisia syitä voivat olla esimerkiksi onnettomuus, rikollisuus ja terrorismi. CBRN-teknologioihin lasketaan kuuluvaksi myös CBRN-aineilta suojautumiseen liittyvät tekniikat, teknologiat ja innovaatiot.

Muuttuva CBRN-ympäristö

Kemiallisiin ja biologisiin joukkotuhousteisiin (CB-aseet) liittyvät uhkakuivat ovat viiden viimeisen vuosikymmenen aikana kokeneet huomattavia muutoksia. 1960- ja 1970-luvut olivat CB-asevarustelun aikaa. Suurvalloilla oli pyrkimys kehittää CB-joukkotuhousteita tavoitteena luoda pelote sekä kyky kostoiskuun ja voimannäyttöön. Myös monet kehitysmaat hankkivat kemiallisia aseita. Doktriineihin kuului C-aseiden käyttö osana konventionaalista asekäyttöä. Biologiset aseet nähtiin ydinaseen kaltaisena pelotteena. Irakin ja Iranin välisessä sodassa käytettiin varsin mittavassa määrin kemiallisia aseita,

esimerkiksi Halabjan kylään kohdistuneessa hermokaasuiskussa 1988 surmattiin julkisten tietojen mukaan ainakin 3500 siviiliä.

C-aseriisuntaneuvottelut käynnistyivät 1970-luvulla ja kemiallisten aseiden kieltosopimus astui voimaan 1997. Biologisten ja toksiiniaseiden kieltosopimus on ollut voimassa vuodesta 1975. Kansainväliset sopimukset, lääketieteen kehitys ja kehittynyt ydinaseteknologia ovat vaikuttaneet siten, että perinteiset, sopimusten tarkoittamat kemialliset ja biologiset taisteluaineet ja sopimusten kieltämä kemiallisten ja biologisten aseiden käyttö ovat muuttuneet merkityksellöiksi osana kehittyneiden valtioiden sotilaallista pelotetta ja -voimaa. Toistaiseksi sopimuksissa mukana olevat valtiot ovat sopimuksia kunnioittaneet.

Maaailmanlaajuinen kemiallinen aseeriisunta, johon liittyy viimeisten Venäjän ja USA:n kemiallisten aseiden varastojen lopullinen hävittäminen, saataneen päätökseen 2020-luvulla. Muut valtiot ovat saattaneet hävitystoiminnan päätökseen. Valtiollisten toimijoiden mielenkiinto kohdistuu tällä hetkellä kehittyvien teknologioiden hyödyntämiseen ja tavoitteena niillä on inkapasitoivien agenssien kehittäminen. Kemiallisten aseiden kieltosopimuksen sisältö ei vastaa muuttuvaa tilannetta – eikä sopimukseen olla yrityksistä huolimatta saamassa muutoksia.

Muuttunut sodan kuva, ääriliikkeet, radikalisoituminen ja terrorismi ovat lisänneet kemiallisten, biologisten ja säteilevien aineiden sekä improvisoitujen levitysmenetelmien käytön todennäköisyyttä. Ei-valtiollisten toimijoiden kasvava kiinnostus hankkia joukkotuhontakykyä johtuu halusta voiman näyttöön ja käyttöön, pelon herättämiseen ja halusta aiheuttaa vakavia häiriöitä elintärkeissä toiminnoissa suuntaamalla iskut kriittistä infrastruktuuria, logistisia järjestelmiä ja tuotantoketjuja vastaan.

Tokion metrossa tapahtunut hermo-kaasuisku vuonna 1995 ja pernarutokirjelähetykset Yhdysvalloissa vuonna 2001 laukaisivat ennennäkemättömän huolen kemiallisesta ja bioterrorismin uhasta. Syyrian Ghoutassa tapahtunut sariinihermo-kaasuisku elokuussa 2013 surmasi mahdollisesti yli 1300 siviiliä. Aikaisemmin joukkotuhontaan kehitetyt aseet oli tarkoitettu käytettäväksi taistelukentällä sotilaita vastaan operatiivisten tavoitteiden saavuttamiseksi, nyt kohteena on suojaamaton siviiliväestö. Ei-valtiolliset toimijat eivät tavallisesti kykene hyödyntämään modernia teknologiaa, joten perinteisten joukkotuhoaineiden uhka säilyy. Joukkotuhoaineet konventionaalisten tai improvisoitujen ammusten kuormana ovat realistinen uhka, kuten Syyriassa tapahtunut on osoittanut.

Alla olevaan taulukkoon on koottu muutamia keskeisiä avainkohtia liit-

tyen muuttuneeseen CBRN-ympäristöön ennen 1990-lukua ja nykypäivään tultaessa.

Taulukko 3.1: CBRN-toimintaympäristön vertailua ennen 1990 ja sen jälkeen.

Ennen 1990-luvun alkua
<ul style="list-style-type: none"> • Strateginen pelote • Valtiolliset toimijat • Massa- ja joukkotuhoaseet (WMD) • Osana konventionaalista asekäyttöä • Pääpaino sotilaskäyttöön kehitetyissä agensseissa • Lyhytaikaiset vaikutukset (taktinen käyttö) • Sotilaan CBRN-suoja
1990-luvulta alkaen
<ul style="list-style-type: none"> • Pienimuotoinen, rajoitetuksi aiottu käyttö • Kohteena siviiliväestö ja infrastruktuuri, tuotanto ja logistiikka, mahdollisesti tärkeät yhteiskunnalliset tai sotilaskohteet • Ei-valtiolliset toimijat • Hazmat (onnettomuudet, TIC, TIM) • Pelastus ja raivaus, jossa uhkana CB-tekijät • C-terrorismi ja häirintä • WMD-hävittäminen ja non-proliferaatio • Kehittyvät teknologiat ja dual use • Varautuminen

Joukkotuhoaseiden mahdollisten käyttötapojen ja -tarkoituksen ei voida suurelta osin nähdä muuttuvan tulevaisuudessa. Kemiallisia taisteluvälineitä, taudinaiheuttajia tai radioaktiivista materiaalia voidaan edelleen käyttää tahallisesti ihmisiä vastaan, elintarvikkeiden tai ruokakasvien saastuttamiseen ja tekemään esimerkiksi alueen tai infrastruktuurin käyttö vaikeaksi tai mahdottomaksi. Eläintautien toteaminen tuotantoeläimissä tai elintarvikkeissa voi johtaa viennin rajoituksiin ja suuriin

taloudellisiin vaikutuksiin sekä tuottajan että koko yhteiskunnan tasolla.

Biologiset uhkakuvat muuttuvat. Biologisessa uhka-arviossa voidaan edelleen erottaa luonnolliset epidemiat ja pandemiat vs. tahallinen levitys (biologinen sodankäynti, bioterrorismi). Globalisaatio ja ihmisten entistä suurempi liikkuvuus mahdollistaa tautien aikaisempaa nopeamman leviämisen maailmanlaajuisesti. Myös ilmastonmuutos vaikuttaa luonnollisten tartuntatautien leviämiseen. Ilmaston lämpenemisen myötä Suomeen voi tulla uusia tartuntatauteja ja eläinlajeja, jotka levittävät tauteja. Ilmastonmuutoksen myötä kuivuus, tulvat ja aavikoituminen voivat aiheuttaa uusia, entistä laajempia luonnollisia tartuntatautiepidemioita. Uusiin uhkakuviin voidaan lisätä ekoterrorismi, jonka motiivina on maapallon suojele ihmisen vaikutukselta kuten liikakan-soitukseksi.

Ruuan tuotannon globalisaatio ja keskittyminen tietyille alueille aiheuttaa tuotannon yksipuolistumista hyvin tuottavilla alueilla ja mahdollisesti rajua vähenemistä vaikeammin viljeltävillä alueilla, joilla tuotanto on kalliimpaa. Jo nyt on käynnissä paljon energiaa vaativa massiivinen ruuan kuljetus eri puolille maailmaa. Kuljetus voi häiriintyä monista syistä, mm. poliittisista syistä, polttoaineen saatavuusongelmien tai luonnon katastrofien seurauksena. Vähimmäisomavaraisuuden säilyminen Suomessa kuulostaa tätä taustaa vas-

ten järkevältä päämäärältä. Diversiteetin väheneminen ruoantuotannossa, pitkät globaalit kuljetusketjut ja teollisuuden prosessien keskittyminen valtavan suuriin yksiköihin lisäävät häiriöalttiutta ja haavoittuvuutta myös CBRN-uhkille. On kuitenkin syytä painottaa myös sitä tosiasiaa, että ihmiskunnalla on huomattavasti paremmat mahdollisuudet kuin koskaan ennen sen historiansa aikana kohdata ja torjua biologisia uhkia.

Biolääketieteessä ja -teknologiassa menetelmien kaksikäyttöisyyden mahdollisuus on suuri. Samoja tutkimuksia, menetelmiä ja teknologioita, joiden avulla pyritään kehittämään rokotteita tai lääkkeitä vaarallisia taudinaiheuttajia vastaan voidaan käyttää myös väärin tarkoituksiin. Yksi tieteen kriteereistä on avoimuus, ja tutkijat pyrkivät julkaisemaan kaiken mikä voi hyödyttää tutkimusta. Tällä tavalla voidaan tahtomattaan antaa myös bioterroristeille välineitä. Biolääketieteessä on keskusteltu paljon, pitäisikö osa tutkimuksista salata, tai julkaista vain rajoitetusti.

Kemianteknologian, bioteknologian ja molekyylibiologian nopea kehittyminen ja toisaalta kaiken tiedon siirtyminen verkkoon ovat tuoneet yksityiskohtaista taistelua-aineisiin tai muihin vaarallisiin aineisiin liittyvää tietoa halukkaiden ulottuville. Käytännön esimerkkinä näin syntyvistä uusista uhkista voidaan mainita mahdollisuus taudinaiheuttajien perintö-aineuksen ja tätä kautta ominaisuuksi-

en muokkaamiseen ja muuttamiseen halutun kaltaiseksi, vaikkapa aiemmin ilmaitse leviämättömän taudinaiheuttajan muuttaminen ilmaitse tarttuvaksi. Teknologian kehittyessä päästään vähitellen tilanteeseen, jossa tämä on mahdollista myös yksittäisen toimijan toteuttamana ja ilman merkittävää taloudellista panostusta tai erikoisvälineitä. Kehitys mahdollistaa kokonaan synteettisten, biologisena taisteluaineena käyttökelpoisten taudinaiheuttajien valmistamisen sekä pitemmällä aikajaksolla myös ohjelmoidun toiminta-ajan ja kohteen omaavien täsmätaisteluaineiden luomisen.

Tulevaisuuden täsmätaisteluaine voi olla ihmiselimestöön ujutettu nanokoinen, ulkoisella merkillä kuten radiotaajuisella signaalilla aktivoituvaa kone, joka käskystä vapauttaa sisältämänsä taudinaiheuttajan tai kemiallisen myrkyt. Biologisia taisteluaineita voidaan myös kapseloida ja pinnoittaa paremmin ympäristöolosuhteita kestäväksi tai ilmaisun välttämiseksi, ja synteettisesti luodut taudinaiheuttajat voivat olla jo perusominaisuuksiltaan vapaita luonnon tuottamien biologisten uhkatekijöiden perinteisistä heikkouksista. Osittain edellä on jo kuvattu nykyhetkeä. Esimerkkinä uusista mikrobeista ovat syöpähoidoissa käytössä olevat täsmäkohdennetut virusvektorit, joiden avulla hoito kohdennetaan tappamaan vain syöpäsoluja. Samoja teknologioita käyttäen voitaisiin tulevaisuudessa kohdistaa biologinen taisteluaine

vain tiettyä kudostyyppiä tai vaikka ihmisryhmää kohtaan.

Edellä kuvattu teknologinen kehitys kasvattaa todennäköisyyttä yksittäisen tahon tai toimijan joukkotuhoaineilla toteuttamaan uhkailuun, häiriköintiin ja terrorismiin luomalla tilanteen, jossa sekä kyky että mahdollinen halu ja tarve käyttää CBR-aineita voivat yhdistyä. Aineen levittämiseen ja kohteeseen saattamiseen liittyy kuitenkin myös tulevaisuudessa vaatimus siihen soveltuvasta teknologiasta – rajapinta taisteluaineen ja varsinaisen joukkotuhoaseen välillä. Tavallisesti tämä on tekijä, joka rajoittaa mahdollisen käytön kohdetta, vaikutuksia ja laajuutta ja sitä kautta pienentää todennäköisyyttä joukkotuhoaineiden käytölle. Joukkotuhoaseelle ominaisten laajojen vaikutusten saavuttaminen jää poikkeuksellisiin tilanteisiin – tällainen voisi olla esimerkiksi vaarallisen luonnollisen epidemian tahallinen edistäminen käyttämällä tartunnan hankkivia ihmisiä levittämään tautia mahdollisimman tehokkaasti edelleen. Toisaalta edellä mainitun kaltainen skenaario vaatii toteutuakseen suuren toimijajoukon, joka puolestaan lisää aikeiden paljastumisen todennäköisyyttä.

Bioinformatiikan voimakas kehittyminen mahdollistaa yhdessä molekyylibiologian kanssa myös esimerkiksi taudinaiheuttajien erittäin spesifisen ja yksityiskohtaisen, nopean tunnistamisen. Nykyiset tietokannat

ovat avoimia eikä pääsyä niihin kontrolloida. Kuka “omistaa” nykyiset avoimet tietokannat ja kenellä on valta kontrolloida pääsyä niihin? Voiko näiden käytön estämisestä tulla joskus vallankäytön väline? Olisiko tähän syytä varautua? Avoimuuteen pyrittäessä tietokantojen käyttöä ei olisi syytä estää.

Informaation välityksen parantuessa tilannekuva taistelukentän toimijalla täydentyy reaali maailman päälle heijastettavalla virtuaalitodellisuudella, johon syötetään informaatiota useista eri lähteistä. Tilannekuvan paraneminen mahdollistaa uusia käyttötapoja myös tulevaisuuden taistelussa käytettäville aineille - mikäli vaikutusalue on täysin tiedusteltavissa levittäjän toimesta ja taisteluaineen kohde, vaikutusmekanismi ja -aika täysin hallittavissa, omien joukkojen ja erityisesti sivullisten joutuminen taisteluaineen vaikutuksen kohteeksi estyy. Täsmätaisteluaineiden käyttö voisi olla houkuttelevaa esimerkiksi konventionaalisiin aseisiin verrattuna aineen ja energian vähäisen tarpeen ja toisaalta altistumisen toteamiseen liittyvän viiveen vuoksi, varsinkin sellaisessa tilanteessa että vastapuolen teknologinen taso on huomattavasti hyökkääjää alempi.

Joukkotuhoaseiden vaikutukset kohdistuvat terveyteen, ympäristöön, talouteen ja yhteiskuntaan, jossa sillä on sekä poliittisia ja psykologisia vaikutuksia. Esimerkiksi säteilylähteiden tai likaisen pommin vaikutuk-

seen kuolee välittömästi enintään muutama ihminen – sen sijaan esimerkiksi pommilla uhkaamisen tai räjäytyksen muut vaikutukset kuten taloudelliset menetykset ja paniikki voivat olla erittäin merkittäviä ja aiheuttaa suurta vahinkoa. Likaisen pommin uhka on varsin pieni.

Sotateknologian kehityksen muutos erittäin energia-intensiivisestä fossiilista energiaa käyttävästä järeästä teknologiasta pieniin, autonomisiin, vaikeasti havaittaviin ja tuhottaviin eri vaihtoehtoisilla energiamuodoilla toimiviin laitteisiin ja järjestelmiin tuottaa tulevaisuudessa todennäköisesti erilaisia biomekaanisia sovelluksia. Näissä esimerkiksi energia tuotetaan biologisilla prosesseilla tai sensorit ovat elävää kudosta tai keino-tekoisia elimiä. Yksi mahdollinen uusi biologisten taisteluaineiden ja biologisten aseiden kehitymissuunta onkin paitsi kriittistä materiaalia tuhoavat mikrobit, jotka on suunnattu infektoimaan ja tekemään käyttökelvottomiksi esimerkiksi vastustajan polttoaineita, räjähteitä tai akkuja, myös taudinaiheuttajat ja biologiset tekijät, jotka on suunniteltu ja luotu sairastuttamaan tulevaisuuden biomekaanisia laitteita ja järjestelmiä.

Ennakointi ja varautuminen

Perinteisessä CBRN-uhkassa oli selkeä ase-vasta-ase asetelma ja varautuminen uhkan mukaisesti. CBRN-aseiden käytön kohteeksi joutumiseen

varauduttiin kehittämällä menetelmiä asekäytön havaitsemiseen ja suojautumiseen asekäytön vaikutuksilta (esimerkiksi suojanaamarilla). Kehitettiin myös välineitä saastuneen henkilöstön, materiaalin ja kohteiden puhdistamiseen.

Muuttunutta CBR-uhkakuvaa karakterisoi kompleksisuus, asymmetrisyys, yllätyksellisyys, ennalta-arvaamattomuus ja monimuotoisuus. Lisäksi uhka on tehtävä- ja missiokohtainen, tilanteeseen ja paikkaan sidottu. Käytön kohteena eivät ole pelkästään ihmiset, vaan rakennettu infrastruktuuri, tuotanto- ja logistinen ketju. Tekijöinä ovat ei-valtiolliset toimijat tai valtiollisten toimijoiden tukemat ryhmittymät.

Tulevaisuudessa varautuminen CBRN-uhkiin perustuu kokonaisvaltaisen uhkakuvan muodostamiseen, johon vaikuttavat mm. erilaisista valvonta- ja ennakoitijärjestelmistä saatavan informaation sekä sensoreista saatavan mittausdatan mahdollistama reaaliaikainen CBRN-tilannekuva, CBRN-uhkan maailmanlaajuiset, yleiset trendit sekä henkilöihin ja riskikohteisiin kohdistuva valvonta. Eri-tyisesti henkilöiden ja CBRN-materiaalien reaaliaikaiseen paikantamiseen ja valvontaan liittyvillä teknologioilla on suuri vaikutus varautumisen kehittymiseen.

Henkilöiden valvonta lisääntyy lähi-vuosina turvallisuudelle kriittisten alojen opiskelussa ja työssä. Turvalli-

suusselvitykset lisääntyvät, samoin yksilöille annettavan tiedon luokittelu esimerkiksi opetuksessa. Paine myös yksityisen toiminnan ja vapaa-ajan valvomiseen kasvaa, kun nk. insider-uhkien torjunta nousee keskeiseksi. Seuraavien kahdenkymmenen vuoden kuluessa tiedonsiirto- ja paikannusteknologian kehitys mahdollistavat kaikkien yksilöiden reaaliaikaisen tunnistamisen ja seurannan myös yksilön omasta tahdosta riippumatta (esimerkiksi kasvontunnistukseen soveltuvat ja molekyylibiologiset menetelmät). Kognitiivisten järjestelmien kehittyessä, ja osin myös yksityisyyden turvaamiseksi, yhä suurempi osa tiedon käsittelystä ja tulkinnasta tehdään automaattisesti.

Vaarallisten materiaalien luokittelu sekä ainemäärien ja kulutuksen valvonta kehittyy. Yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa tilaturvallisuuteen kiinnitetään nykyistä parempaa huomiota. Ajoneuvojen ja kuljetusten tekniseen valvontaan, liikennevirtojen valvontaan ja materiaalien valvontaan liittyvä teknologia vastaa osaltaan esimerkiksi improvisoitujen aseiden uhkaan. Rajavalvonta ja kaksikäyttötuotteiden kaupan valvonta lisääntyy ja kansainvälinen yhteistyö tiivistyy kaupankäynnin ja henkilöiden seurannassa. Kaupan lainsäädäntö on tässä suhteessa puutteellista ja laahaa kehityksen perässä. Teollisuus on yhä enenevässä määrin ilmoitusvelvollinen toimistaan.

Strategisten kohteiden lamaannuttamisen uhkakuva säilyy. Riskikohteiden turvajärjestelyt kehittyvät. Samalla riskimateriaalien kuljetus- ja säilytysjärjestelyt täsmentyvät. Kansalaisten tietoisuutta uhka-aineista ja niiden vaikutuksista lisätään. Lisäksi viranomaisten tiedotustaitoa kehitetään, jotta varmistetaan valtion johdon tietoisuus ja säilytetään yhteiskunnallinen yhtenäisyys mahdollisissa painostus- ja poikkeustilanteissa.

Ilmaisu ja tunnistaminen

Ilmaisuun käytetty sensoriteknologia kehittyi edelleen seuraavan kymmenen vuoden kuluessa. Tulevaisuuden teknologiaa luonnehtivat robotiikka, automatisointi, nopeus ja liikkuvuus sekä biosensorit. Henkilön mukanaan kantamat sensorit ja julkisten tilojen valvonnan sensorit yleistyvät 5–20 vuoden aikajänteellä. Sensoriteknologia arkipäiväistyy, valmistetaan pienempiä laitteita ja niiden ilmaisuherkkyys kasvaa. Nanoteknologiaa sovelletaan kemiallisten ja biologisten sensorien valmistuksessa. Nanoteknologiaa hyödyntämällä päästään tulevaisuudessa siihen, että muutama tai muutama kymmentä molekyyliä tuottaa ilmaisen.

Nanoteknologian tuottamien hyötyjen toteutumisen aikajännettä voidaan arvioida peilaamalla menneisyyteen. Nykyinen kemiallisten taisteluaineiden ilmaisu perustuu monessa tapauksessa ioniliikkuvuuspektrometri-

aan (IMS, ion mobility spectrometry), teknologiaan, joka on kehitetty 1970-luvulla. Nanoteknologian sovellutukset kemiallisessa ilmaisussa ovat vielä kypsyytasolla TRL 2. IMS-teknologia on edelleen laajasti käytössä kemiallisten aineiden ilmaisuun ja näköpiirissä ei ole sen korvaavaa teknologiaa – oletettavasti korvaava ratkaisu hyödyntää nanoteknologiaa. Jo 1990-luvulla esitettiin arvioita että biosensorit tulevat korvaamaan spektrometriset menetelmät. Näin ei kuitenkaan ole vielä tapahtunut.

Kuinka laajalti modernia nano- ja bioteknologiaa hyödynnetään tulevaisuuden CB-sensoreissa, riippuu siitä miten uhka kehittyy tai realisoituu. Matalan uhkatason tilanteessa T&K-rahoitus on vähäistä ja uuden teknologian kehitys tapahtuu hitaasti ja muilla sovellusalueilla. Yksi nouseva trendi CB-aineiden ilmaisussa ja tunnistamisessa on biologinen monitorointi. Tämän tavoitteena ei ole tunnistaa yksittäistä CB-ainetta, vaan havaita sen vaikutus kohteessa. Ihmisen altistuessa haitalliselle C- tai B-aineelle, hänessä tapahtuu fysiologisia ja biokemiallisia muutoksia, joita monitoroimalla saadaan tietoa tarvittaviin vastatoimenpiteisiin ryhtymiseksi. Yksi esimerkki on lentomatkustajien kuumeen etämittausta.

Radioaktiivisten aineiden rajavalvontaa ja säteilytiedustelua vaikeuttavat taustasäteilyn vaihtelu, lailliset kuljetukset ja maskeeraus. Lähitulevaisuudessa (alle 10 vuotta) aktiiviset

havainnointimenetelmät tulevat merkittävästi lisäämään viranomaisten kykyä havaita uraani, plutonium ja tietyt vaaralliset kemikaalit.

Säteilevien aineiden ilmaisuun on kehitteillä uudenlaista teknologiaa. Gammakamera on kaupallistettu – sen avulla saadaan kohteesta isotooppikohtainen kuva (fotonit). Myös neutronikamera on keksitty, joskaan sen tekninen taso ei vielä riitä rutiinomaisiin kenttätehtäviin, mutta tilanne paranee muutaman vuoden kuluessa. Tampereen teknillisessä yliopistossa ja Säteilyturvakeskuksessa on viime vuosina panostettu alfasäteilijöiden kuvaamiseen etäältä. Ensimmäiset protolaitteistot on rakennettu, ja onnistuneita kuvauksia on tehty muutaman metrin etäisyydeltä. Teknologiaa voidaan soveltaa myös suurille etäisyyksille, jopa kilometriin saakka (suuret peilit).

Improvisoitu ydinase (IND) on kasvava uhka, sillä teknologian kehittyessä ei-valtiollinen toimija voi sen valmistaa. Valmistus voidaan estää vain estämällä asekelpoisen uraanin tai plutoniumin hankinta. Plutoniumia on vaikea käsitellä. Uraania on helpompi käsitellä, mutta tykkiperiaatteella toimivaan pommiin tarvitaan kymmeniä kiloja uraania (jopa 100 kg). Uhka on todellinen, sillä eräiden valtioiden ydinmateriaalikirjanpidoista puuttuu merkittäviä määriä uraania tai plutoniumia (jopa satoja kiloja), ja toisaalta on havaintoja

näiden aineiden salakaupasta ja varkauksista.

Biologisten taisteluaineiden ilmaisussa ja tunnistamisessa on haastavinta ensihavainnon saaminen. Nopea taudinaiheuttajien tunnistaminen mahdollistaisi nopeat vastatoimet (eristäminen, lääkintä, dekontaminaatio). Biologisten taisteluaineiden havaitseminen ja tunnistaminen nopeutuu ja tarkentuu lähitulevaisuudessa. Teknologiat ja tieteenalat, jotka ensisijaisesti vaikuttavat tähän kehitykseen, ovat molekyylibiologia ja bioinformatiikka sekä optiset ja spektroskooppiset menetelmät. Instrumentaation kehittyminen ja miniatyrisointi mahdollistaa halvemmat ja pienemmät laitteet.

Taulukko 3.2: Biologisen agenssin ilmaisuteknologioita

Keskeisiä B-ilmaisuun käytettäviä teknologioita
<ul style="list-style-type: none">• Laserindusoitu fluoresenssi• Massaspektrometria (Maldi-TOF, pyrolyysi-IMS, ...)• Mikrobiologiset menetelmät• Immunologiset menetelmät• DNA-monistus ja -hybridisaatio• Sekvensointi

Sekvensoinnin eli eliön perimän ja molekyylien primäärirakenteen tutkimisen sekä sekvensointi-instrumenttien muuttuminen joka laboratorion arkipäiväiseksi bedside-tunnistusvälineeksi potilasdiagnostiikassa tapahtuu lähivuosisikymmenen aikana. Tällöin pystytään tunnetut taudinaiheuttajat tunnistamaan luotetavasti ja tarkasti näytteistä minuuttien–tuntien aikajänteellä. Teknologia

tulee suurelta osin korvaamaan nykyisin käytössä olevan laboratorio-analytiikan taudinaiheuttajien tunnistamisessa ja sitä sovelletaan myös biologisten taisteluaineiden ilmaisuun ja tunnistamiseen kenttäkäyttöisten bioidentifikaattorien muodossa, ensin kenttälaboratorioissa ja myöhemmin on-site -käytössä. Henkilökohtaiseen terveyden ja ympäristön valvontaan soveltuvat biotunnistimet kehittyvät seuraavana. Tulevaisuudessa pystytään tietokonesimuloinnin ja molekyylihallinnuksen keinoin tunnistamaan myös uudet, aikaisemmin tuntemattomat eliöt ja molekyylit taudinaiheuttajiksi tai ihmiselle vaaralliseksi.

Henkilökohtainen multi-ilmainen on todellisuutta 20 vuoden kuluessa. Tulevaisuuden sensori on huoltovapaa ja käyttäjän kannalta huomaamaton. Vääriä positiivisia hälytyksiä antavia järjestelmiä ei hyväksytä. Suuntaherkän havaitsemisen teknologia on olemassa ja arkipäiväistyy.

Sensorien antaman informaation lisääntyessä korostuu kerätyn datan jaostaminen informaatioksi ja tiedoksi. Informaatiota opitaan yhdistämään uusilla tavoilla automaattisesti. Tilannekuvan muodostamiseen perustetaan tiimejä (kemisti, toksikologi, lääkäri). Ihmisiä ja materiaalia ei kuljeteta, vaan sensorit mittaavat ja välittävät datan edelleen analysoitavaksi.

Merkkiaineita voidaan käyttää altistumisen tunnistamiseen, mutta hyvän merkkiaineen kehittäminen on haasteellista ja prosessiin menee vuosia. Merkkiaineen (aine itse, sen aineenvaihduntatuote tai solun tai elimistön vaste) ja sen mittaamenetelmän tulee olla riittävän herkkä ja tarkka, sekä mahdollisimman helppo myös kenttäolosuhteissa käytettäväksi. Lisäksi on tutkittava minkälainen näyte on paras (esim. veri, virtsa vai solunäyte), kuinka paljon näytettä tarvitaan, ja miten näyte on käsiteltävä mittausta varten. Viimeisenä tutkitaan kyseessä olevalle aineelle altistuneilla, toimiiko merkkiaine todellisessa tilanteessa. Myrkyllisten kemiallisten aineiden tutkimustyö on tärkeätä tietotaidon ylläpitämiseksi ja myös tunnettujen aineiden tunnistamisen edelleen kehittämiseksi. Monien vanhojen tunnettujen aineiden altistumisen mittaamiseksi ei vielä ole olemassa hyviä merkkiaineita.

Taulukko 3.3: Biologisten agenssien ominaisuuksia.

Fysikaaliset ominaisuudet
<ul style="list-style-type: none"> • Partikkelien lukumäärä • Agenssin lukumäärä/partikkeli • Partikkelien kokojakauma
Biologiset ominaisuudet
<ul style="list-style-type: none"> • Mikä agenssi on kyseessä? • Aktiivisen agenssin solujen/partikkelien lukumäärä • Aktiivisen agenssin infektoiva annos

Biologisten taisteluaineiden etäilmaisu perustuu aerosolipartikkelien fysikaalisten ja biologisten ominaisuuksien mittaamiseen. Keskeisiä ominai-

suuksia on luetteloitu alla olevassa taulukossa. Näiden kaikkien parametrien mittaamiseksi tarvitaan jatkossakin useiden eri teknologioiden hyödyntämistä.

Biologisten taisteluaineiden etäilmaisun kehityksen ei voida nähdä olevan erityisen nopeaa, vaan niiden ilmaisu ja tunnistaminen perustuu seuraavien 20 vuoden aikana yhä näyttöön keräämiseen, sen käsittelyyn ja näyttöön perusteella saatavaan tunnistukseen. Nopean ensihavainnon saaminen mahdollisesta tahallisesta käytöstä on vaikeata.

Esimerkiksi kaupallisten sensorien antama biologinen ilmaisu perustuu tällä hetkellä tavallisesti hiukkasen koon tunnistamiseen valon sironnan avulla. Aerosolihiukkasten biologisen alkuperän toteaminen onnistuu UV-fluoresenssiin perustuvilla kaupallisilla laitteilla, mutta biohiukkasen koostumuksen todellinen tunnistaminen tapahtuu vasta molekyylibiologisin menetelmin (geenimonistus, vasta-aineet). Biologisten aerosolien tapauksiin ei ole tällä hetkellä näköpiirissä teknologiaa, jolla tunnistettaisiin vaikkapa taudinaiheuttajan pintarakenteita tai perimäaineksen virulenssitekijöitä yksittäisistä ilmassa olevista aerosolihiukkasista. Tunnistuksen saaminen tällaisesta suuresta massasta vaatiikin todennäköisesti vielä kymmenien vuosien kehityksen ilmaisuteknologiassa, jotta saavutetaan kyky yksittäisten aerosolihiukkasen tutkimiseen ja tunnistamiseen niihin

koskematta. Tämänhetkinen teknologinen taso mahdollistaa hiukkasten koon ja ominaisuuksien karkean luokittelun sekä biologisen alkuperän toteamisen suuresta hiukkasten joukosta.

Tulevaisuuden biologinen ilmaisu-teknologia perustuu bioinformatiikkaan eli kansainvälisen tiedeyhteisön tuottamaan jatkuvasti kumuloituvaan tietoon eliöiden kuten taudinaiheuttajien perimästä, sen säätelystä ja molekyylien rakenteesta, ja toisaalta ohjelmistoista, algoritmeista ja teknologiasta, joiden avulla tällaista tietoa voidaan käyttää, etsiä ja luokitella. Biologisten taisteluaineiden ilmaisun ja tunnistamisen osalta tällainen tieto on jo nyt kauppatavaraa, esimerkkinä kaupallisten analyysilaitteiden käyttämät laajat tunnistuskirjastot. Kehitys jatkuu todennäköisesti voimakkaasti tulevaisuudessa, jolloin kaupalliset intressit ja bioturvallisuuteen liittyvät kysymykset rajoittavat tiedon vapaata julkaisua ja käyttöä. Se, jolla tätä teknologiaa ei ole omasta takaa, joutuu jatkossakin maksamaan saadakseen siihen pääsyn.

Seuraavissa taulukoissa on koottu vertailua kemialliseen, biologiseen ja säteilyn uhkaan, varautumiseen, ilmaisuun ja tunnistamiseen, suojaukseen, pelastamiseen, hoitoon, puhdistukseen ja palauttamiseen liittyen nyt ja tulevaisuudessa. Käsittely ei ole asiaa tyhjentävä.

Taulukko 3.4: Biologinen: nykyisen ja tulevaisuuden vertailua eri osa-alueilla.

Biologinen	Nyt	Tulevaisuus
Uhka	<ul style="list-style-type: none"> • Luonnolliset epidemiat ja pandemiat vs. tahallinen levitys (biologinen sodankäynti, bioterrorismi) • Uudelleen ilmestyvät taudit • Antibioottiresistenssin kasvu • B-agenssien helppo saatavuus • Biolääketieteen ja -teknologian menetelmien halpeneminen kasvattavat väärinkäytön riskiä 	<ul style="list-style-type: none"> • Luonnolliset epidemiat ja pandemiat vs. tahallinen levitys (biologinen sodankäynti, bioterrorismi) • Bioteknologian, genetiikan ja DNA-teknologioiden väärinkäyttö: keinotekoiset ja muunnellut mikrobit • Materiaaleja tuhoavat mikrobit • Nanokoneet • Täsmätaisteluaaineet: etniset ryhmät, genetiikkaan perustuvat • Globalisaatio: tautien nopea leviäminen • Infrastruktuurien romahtaminen: lääkkeiden ja rokotteiden saatavuus, epidemiat, uudelleen ilmestyvät taudit • Agroterrorismi (eläimet, kasvit)
Varautuminen	<ul style="list-style-type: none"> • Rokotteet, lääkkeet • Viranomaisyhteistyö • Tilannekuva • Tautitilanteiden seuranta 	<ul style="list-style-type: none"> • Rokotteet, lääkkeet • Viranomaisyhteistyö • Kansainvälinen yhteistyö • Tilannekuvajärjestelmä, T&K • Henkilökohtainen varautuminen ja lääkintä • Tekoäly ja älykäs arvaus
Tunnistaminen	<ul style="list-style-type: none"> • Viljely ja kasvatus • Molekyylibiologiset menetelmät: nukleiinihapot, antigeenit 	<ul style="list-style-type: none"> • Molekyylibiologian instrumentaatio pienenee ja analyysit nopeutuvat • Robotiikka, automatisointi, nopeat ja liikuteltavat tunnistusmenetelmät • Biosensorit, assosiativiset sensorit
Suojaus	<ul style="list-style-type: none"> • Rokotteet, lääkkeet • Henkilökohtainen suojavarustus • Rajoitukset matkustamisessa 	<ul style="list-style-type: none"> • Antimikrobiset nanomateriaalit
Pelastaminen	<ul style="list-style-type: none"> • Viranomaisyhteistyö, kansainvälinen yhteistyö 	<ul style="list-style-type: none"> • Kohdistettu tiedottaminen vaarassa oleville • Pikakoulutus esim. medialaitteiden (puhelimet, PDA jne.) välityksellä
Hoito	<ul style="list-style-type: none"> • Yleinen ensihoito 	<ul style="list-style-type: none"> • Tuettu, spesifinen ensihoito • Tiede ja teknologia, robotit
Puhdistus	<ul style="list-style-type: none"> • Erillinen valmius, tilapuhdistus rajoitettu 	<ul style="list-style-type: none"> • Itsepuhdistuvat pinnat • Ilmaisuteknologian kehitys vastaa puhdistamisen tarpeeseen ja puhdistustuloksen määrittämiseen
Palauttaminen		<ul style="list-style-type: none"> • Edellisten toimenpiteiden yhdistelmä, tilanteen ajantasainen ja kohdennettu tiedotus kaikissa vaiheissa, palauttamisen konseptit

Taulukko 3.5: Kemiallinen: nykyisen ja tulevaisuuden vertailua eri osa-alueilla.

Kemiallinen	Nyt	Tulevaisuus
Uhka	<ul style="list-style-type: none"> • Myrkylliset teollisuuskemikaalit (TIC), inkapasoivat aineet • Taisteluaaineet • CBR-pommi, kemikaalien ja valmistusohjeiden helppo saatavuus 	<ul style="list-style-type: none"> • TIC, inkapasoivat aineet, toksiinit • Taisteluaineet, monihuoltilanne, kehittyneet valmistus- ja levitystekniikat, bioteknologian kehitys, infrastruktuurin ja väestön keskittyminen. ICT-tekniologian mahdollistama 'ryhmätyö'
Varautuminen	<ul style="list-style-type: none"> • Viranomaisyhteistyö • Tilannekuva 	<ul style="list-style-type: none"> • Viranomaisyhteistyö • Kansainvälinen yhteistyö • Tilannekuvajärjestelmä, T&K
Ilmaisu Tunnistaminen	<ul style="list-style-type: none"> • Yksittäinen ilmainen • Varmennus laboratoriossa • Verifikaatio 	<ul style="list-style-type: none"> • Integroitu ja tuettu ilmainen • Robottiikka • Liikkuvat ja erityisesti lentävät havaintoasemat, reaaliaikainen varmennus, vuorovaikutteinen CFD -laskenta • Verifikaatio
Suojaus	<ul style="list-style-type: none"> • Henkilökohtainen suojarustus • Väestösuojaus 	<ul style="list-style-type: none"> • Itsepuhdistuvat pinnat. Monikäyttötuotteet • Ennaltaehkäisy, tiedotus, tilojen etähallinta
Pelastaminen	<ul style="list-style-type: none"> • Pelastusviranomainen 	<ul style="list-style-type: none"> • Viranomaisyhteistyö, kansainvälinen yhteistyö • Altistuneiden nopea luokitus, etäopastettu itsepelastus
Hoito	<ul style="list-style-type: none"> • Yleinen ensihoito 	<ul style="list-style-type: none"> • Tuettu, spesifinen ensihoito • S&T, etäopastettu itsehoito
Puhdistus	<ul style="list-style-type: none"> • Erillinen valmius, tilapuhdistus rajoitettu 	<ul style="list-style-type: none"> • Yhteiskunnan integroitu kyky • Uudet teknologiat
Palauttaminen		<ul style="list-style-type: none"> • Edellisten toimenpiteiden yhdistelmä, tilanteen ajantasainen ja kohdennettu tiedotus kaikissa vaiheissa, palauttamisen konseptit

Taulukko 3.6: Säteily/ydinase: nykyisen ja tulevaisuuden vertailua eri osa-alueilla.

Säteily/ydinase	Nyt	Tulevaisuus
Uhka	<ul style="list-style-type: none"> Likainen pommi, häirintä 	<ul style="list-style-type: none"> Ydinaseateriaali vanhoista aseista (liikainen pommi, kiristys)
Varautuminen	<ul style="list-style-type: none"> Viranomaisyhteistyö Tilannekuva 	<ul style="list-style-type: none"> Viranomaisyhteistyö Kansainvälinen yhteistyö Tilannekuvajärjestelmä, T&K
Ilmaisu Tunnistaminen	<ul style="list-style-type: none"> Yksittäinen ilmaisin Varmennus laboratoriossa Verifikaatio 	<ul style="list-style-type: none"> Integroitu ja tuettu ilmaisu Robotiikka Liikkuvat ja erityisesti lentävät havaihtoasemat, reaaliaikainen varmennus, verifikaatio Vuorovaikutteinen CFD-laskenta Tavallisen elektroniikan käyttö ilmaisimina ilman erityistä asiaan liittyvää tietoa (puhelimet, muistipiirit)
Suojaus	<ul style="list-style-type: none"> Henkilökohtainen suojavarustus Väestösuojat 	<ul style="list-style-type: none"> Itsepuhdistuvat pinnat, monikäyttötuotteet Ennaltaehkäisy, tiedotus, tilojen etähallinta
Pelastaminen	<ul style="list-style-type: none"> Pelastusviranomainen 	<ul style="list-style-type: none"> Viranomaisyhteistyö, kansainvälinen yhteistyö Altistuneiden nopea luokitus, itseluokittelu omin sensorein
Hoito	<ul style="list-style-type: none"> Yleinen ensihoito 	<ul style="list-style-type: none"> Tuettu, spesifinen ensihoito Tiede ja teknologia
Puhdistus	<ul style="list-style-type: none"> Erillinen valmius, tilapuhdistus rajoitettu 	<ul style="list-style-type: none"> Yhteiskunnan integroitu kyky Uudet teknologiat
Palauttaminen		<ul style="list-style-type: none"> Edellisten toimenpiteiden yhdistelmä, tilanteen ajantasainen ja kohdennettu tiedotus kaikissa vaiheissa, palauttamisen konseptit

Yksilön ja väestön suojaaminen

Yksilön ja väestön suoja voidaan jakaa kahteen pääkomponenttiin: havainnesuoja ja fyysinen suoja. Havainnesuoja tarkoittaa haitallisen aineen, myrkyt tms. havaitsemista, jotta siltä voitaisiin suojautua. Kyse on vaaran ilmaisusta ja tunnistamisesta sekä hälyttämisestä. Fyysinen suojaus tarkoittaa altistumisreittien suojaamista ja altistumisen estämistä. Jos kyseessä on ilmalevitteiden kaasu tai

aerosoli, niin silloin hengityksen ja ihon suojaus on keskeistä. Teknologiasta näkökulmasta katsottuna tämä tarkoittaa suodatusta tai eristämistä.

Jo lähes vuosisadan ajan suodatus-tekniikat ovat perustuneet aktiivihiihlen käyttöön. On vaikea kuvitella lähitulevaisuudessa sitä korvaa materiaalia. Metall-organisiin rakenteisiin (metal-organic framework, MOF) perustuvat absorptiomateriaalit ovat ehdolla korvaajiksi. MOF-materiaalit ovat metalli-ioneja tai niistä muodostuneita klustereita koordinoituneena

orgaanisiin molekyyliin. Tällä tavalla on muodostunut huokoisia 2- tai 3-dimensionaalisia rakenteita. Nykyiset MOF -materiaalit kestävät huonosti kosteutta.

Eristävässä ihon suojauksessa hengittämättömät kumi- ja muovimateriaalit ovat korvautumassa goreextyyppisillä materiaaleilla ja täysin hengittävillä aktiivihiihlikankailla. Reaktiiviset voiteet (esim. RSDL, reactive skin decontamination lotion) ovat yksi vaihtoehto ihon suojaamiseen ja puhdistamiseen.

Yli puolet ihmisistä elää kaupungeissa, joissa elinympäristöt ovat fysiologisesti stressaavia. Älykkäät tekstiilit, älykkäät sensorit ja älykäs suojautuminen arkipäivässä lisääntyvät tulevaisuudessa. Uusia suojamateriaaleja, kuituja ja pinnoitteita kehitetään. Tarpeen aiheuttaa tavanomaisen kaupunki- ja työympäristön vaaratekijöiden välttämisen pakko. Uusia teknologioita sovelletaan myös erilaisten uhkien varalle.

Itsepuhdistuvat suojavälineet kehittyvät. Esimerkiksi nanoteknologian innovaatioiden ja nanomateriaalien käyttö yleistyy CBRN-suojaa antavissa pinnoitteissa. Teknologiaa hyödynnetään myös älykkäissä taistelijan CBRN-suojasissa, joka ilmaisee, tunnistaa, suojaa ja puhdistaa. Tämä toteutuu yli 20 vuoden kuluessa. Pintojen mikrorakenteen avulla voidaan ehkäistä mikrobien kiinnittymistä pinnoille tai tuhota ne esi-

merkiksi nanometriin kokoluokkaa olevien neulujen avulla.

Ensivastehenkilöstön suojaaminen kehittyy. Henkilökohtainen sensorivarustus kehittyy esimerkiksi tulostettavan elektroniikan ja materiaalien mahdollistamana – käyttöön tulee sensorina toimivat materiaalit. Altistuneet henkilöt voidaan tunnistaa kantamansa sensorin tietojen perusteella tietojen välittyessä langattomasti eteenpäin. Sensori-informaatio voidaan yhdistää laajalta maantieteelliseltä alueelta. Tämä toteutuu 10–20 vuoden kuluessa.

Tiedonsiirtoteknologian ja esimerkiksi akkuteknologian kehittyessä langattomia sensoreita tullaan enenevässä määrin käyttämään uhkakuvien mukaisissa kohteissa. Sensorit ovat pieniä ja tehokkaita. Väestön varoittaminen vaarasta, ja rajaamalla viesti uhkaa kokevaan väestöön toteutuu alle 10 vuoden aikajänteellä. Teknologia siihen on olemassa. Tietokoneiden laskentakyvyt kehittyessä vuorovaikutteisen virtauslaskennan (CFD, Computational Fluid Dynamics) avulla voidaan yhdistää sensoritietoa paikallisen topografian, rakennetun ympäristön tietojen sekä sääolosuhteiden kanssa päästölähteen paikantamiseksi ja päästön voimakkuuden arvioimiseksi. Näiden tietojen perusteella voidaan puolestaan ennakoida vaara-alueen sijaintia ja laajuutta sekä suunnata pelastautumisohjeita täsmällisesti CBRN-uhkien vaikutuspiirissä oleville henkilöille.

Datan keruu, jalostaminen tiedoksi ja operatiiviseksi toiminnaksi on mahdollista tulevaisuudessa kaikkialla läsnä olevan Internetin (verkon) avulla. Verkottumisella on käyttöä myös yksilön ja väestön suojaamisessa. Rakennusten taloautomaation kehityksessä voidaan rakennuksia etäohjata ja asukkaita suojella esimerkiksi ohjaamalla ilmanvaihtoa automaattisesti tilanteissa, joissa ilman kautta leviää myrkyllisiä aineita. Uuden teknologian avulla voidaan myös tuloilman suodatusta parantaa niin, että ilmanvaihdon kautta kulkeutuvien myrkyllisten aineiden määrät voidaan minimoida.

Säteilyn havaitseminen on korkealla tasolla ja laajoja sensorijärjestelmiä tullaan rakentamaan. Muiden uhkien havaitsemiseen verrattuna säteilyn havaitseminen on helppoa. Viranomaisten välisenä yhteistyönä on Suomessa kehitetty radioaktiivisten aineiden valtakunnallinen havaitsemisarkkitehtuuri ydinturvan kehittämiseen (REPO-hanke). Uusia teknisiä innovaatioita kehitetään.

Pelastaminen ja vaikutusten rajaaminen

Suomessa viranomaisten välinen yhteistyö ja työnjako on selkeä ja osapuolten tiedossa. Viranomaisyhteistyö on sujuvaa. Pelastustoiminta on osaavaa ja harjoiteltua, mutta saattaa todellisessa vaaratilanteessa kohdata resurssien vajausta kentällä ja/tai sairaaloissa sekä hoitopisteissä. Pelastushenkilökunnan käyttämät va-

rusteet ovat painavia ja kömpelöitä, eikä niitä voida käyttää kuin lyhyitä jaksoja, jonka jälkeen henkilön on riisuttava ne ja mentävä tauolle. Tarvitaan keveitä ja hyvin suojaavia varusteita, joissa on helppoa toimia. Hengityksen, ihon ja silmien suojaamisen tulee olla vaivatonta. Tulevaisuudessa uudet teknologiat ja kehitettävät materiaalit täyttävät yhä paremmin pelastamisen ja suojaamisen erityisvaatimukset.

Saastuneella toiminta-alueella on tiedettävä alueen laajuus. Ilmaisinten herkkyys, toimintavarmuus ja erotteleväkyky eivät nykyisin yllä laboratoriotason instrumenttien tasolle. Siten toimijat eivät varmuudella voi tietää toiminta-alueen tilaa. Ihmisten pelastamisen ja pois siirtämisen jälkeen kulku toiminta-alueelle estetään ja alue eristetään. Kehitystyötä kenttäkäyttöön soveltuvien laitteiden suorituskyvyn lisäämiseksi tehdään jatkuvasti. Tavoitteena on aineiden tunnistaminen tapahtumapaikalla ja siten kenttäkelpoisen todistusvoimaisen analyysin toteuttaminen. Nykyinen kiinteän laboratorion suorituskyky tulee kenttäkäyttöön noin 10–20 vuoden kuluessa. Tähän ajaa tarve nopeaan ja luotettavaan elinympäristön turvallisuuden varmistamiseen.

Laitteiden kehittyessä yhä suorituskykyisemmiksi ja käyttäjälle asetettujen vaatimusten lisääntyessä korostuu tukeutumisen tarve operaatiokeskuksista tai tukeutumiskeskuksista (RBC, Reach Back Center) kenttätyötä tekeville. Tukeutumiskeskuksen asiantun-

tijajoukko pystyy palvelemaan kentällä toimijoita käytännöllisissä ja teoreettisissa kysymyksissä. Monipuolinen, turvallinen ja salattu tiedonsiirto toimijoiden kesken on jo nyt mahdollista.

Paikallista tilannekuvaa, mm. saastuneen alueen kartoittamiseksi, voidaan tuottaa miehittämättömillä pienikokoisilla lentävillä laitteilla (mini-UAV) sekä niihin sijoitetuilla sensoreilla, kameroilla ja datan siirtotekniikoilla. UAV:t eivät ole vielä yleistyneet, mutta niitä oletetaan olevan laajamittaisesti käytössä 10 vuoden aikajaksolla. Jo nykyään on saatavilla suorituskykyisiä laitteita muutaman satasen hintaan.

Terveys ja hoitaminen

Luonnolliset epidemiat ja pandemiat ovat tällä hetkellä suurin biologinen uhka väestölle. Myös tahalliseen leviytykseen on varauduttava (biologinen sodankäynti, bioterrorismi). Uudelleen ilmestyvät taudit ja antibioottiresistenssin kasvu ovat suuri uhka, joka korostuu tulevaisuudessa. Esimerkiksi tuberkuloosibakteeri on kehittänyt vastustuskykyä useita antibiootteja kohtaan. Myös muut multi-resistantit bakteerit, kuten sairaalabakteerit (MRSA) aiheuttavat uhkaa. Jo hävinneen patogeenin, kuten isorokon leviäminen rokottamattomaan väestöön saattaisi aiheuttaa suurta tuhoa.

Yhden uuden lääkkeen kehittäminen kestää 10–15 vuotta ja saattaa maksaa miljardi euroa. Työssä tarvitaan oivalluksia, rohkeutta, sinnikkyyttä ja onneakin. Vielä ei ole kehitetty tehokasta parantavaa lääkehoitoa syöpiin. Esimerkiksi hermokaasu somaatin myrkytyksen hoitoon tehoavan oksiimin kehittäminen kesti 40 vuotta. Lisäksi kemiallisia taisteluaineita vastaan suunnattujen antidoottien antamista lapsille ei ole tarkasteltu riittävästi, vaan annokset on suunniteltu aikuisille.

Tulevaisuudessa ihminen valvoo terveyttään ja ympäristöään reaaliaikaisesti monin keinoin. Biosensorointi mittaa jatkuvasti elimistön tilaa ja huomauttaa mahdollisista tarpeista ja poikkeustilanteista. Nanoteknologia ja nanovastalääketeknologia mahdollistavat uusia hoitomuotoja 20 vuoden kuluessa. Kaukaisessa tulevaisuudessa tulee mahdolliseksi nk. ”personalized medicine”, henkilökohtainen lääkintä. Tulevaisuuden täsmälääkkeet voidaan suunnata juuri tiettylle ihmistyyppille ja/tai tiettyyn tilanteeseen – henkilön oireet aiheuttaneesta agenssista saatuun ilmaisuun perustuen. Tällöin myös lääkeaineiden ja tarvikkeiden valmistus voidaan mahdollisesti toteuttaa jopa tulostamalla, paikan päällä.

Puhdistaminen ja palauttaminen

Puhdistamis- eli dekontaminaatioteknologiat voidaan jakaa fysikaalisiin,

kemiallisiin ja biologisiin. Usein dekontaminaatiomenetelmä on yhdistelmä näistä, esimerkkinä emulsio, jossa yhdistyy liuotinpesu ja kemiallinen hapettaminen. Toiminnallisesti dekontaminaatiomenetelmät voidaan jakaa kuiviin (absorptio, ionisoiva säteily, kuumennus), märkiin (puhdistusemulsiot) ja kaasumaisiin (VHP, vaporized hydrogen peroxide, klooridioksidi, formaldehydi) menetelmiin.

Taulukko 3.7: Puhdistusmenetelmiä.

Fysikaalinen	Kemiallinen	Biologinen
<ul style="list-style-type: none"> • Absorptio • Pesu • Kuumennus • Ionisoiva säteily • Peittäminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrolyysi • Hapettaminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Entsyymit • Mikrobit

Saasteen puhdistaminen nykyteknikoilla on pitkälti pesemistä kemikaaleja käyttäen ja sen jälkeistä huuhtelua. Nykyiset puhdistusaineet ovat vaahtoja tai emulsioita. Ne eivät sovellu herkille kohteille, jotka sisältävät esimerkiksi elektroniikkaa. Käytetyt kemikaalit ovat tavallisesti erilaisia pintoja kohtaan erittäin aggressiivisiä ja syövyttäviä. Puhdistuskemikaaleja käytetään tavallisesti paljon suhteessa saasteen määrään eikä esimerkiksi säteilyä saada tuhotuksi niin kuin kemiallisia ja biologisia aineita. Puhdistuminen perustuu puhdistusaineen kemiallista ja biologista ainetta rikkovaan ominaisuuteen. Toimintaperiaate on kemiallinen. Lisäksi on kokeiltu entsyymaattisia puhdistusmenetelmiä, joiden kehitys on kuitenkin seisahtanut.

Ideaalinen puhdistusmenetelmä on tehokas, ympäristöystävällinen ja mahdollisimman myrkytön. Puhdistusaineesta ei jää haitallisia jäämiä, eikä se saa vahingoittaa puhdistettavia kohteita. Hyvä menetelmä soveltuu sekä kemiallisille että biologisille agensseille ja on halpa.

Jotkut aerosolit ovat osoittautuneet lupaaviksi CB-puhdistuksessa. Lisäksi on kehitetty reaktiivisiin kaasuihin pohjautuvia puhdistusmenetelmiä, joiden etuna on hyvä tunkeutuminen myös monimutkaisten kappaleiden pinnoille ja jopa laitteiden sisäosiin. Höyrystetty vetyperoksidi (VHP) on lähes ideaalinen biologiseen dekontaminaatioon soveltuva teknologia. Sillä voidaan dekontaminoida myös kemiallisia aineita. Edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi sillä on kyky diffundoitua polymeeristen materiaalien (kuten muovit) sisään ja dekontaminoida ”pintaa syvemmältä”. Tämä ominaisuus johtuu vetyperoksidimolekyylin pienestä koosta ja poollittomuudesta. ”Pintaa syvemmältä” dekontaminaatio-ominaisuus on erityisen toivottavaa tilanteissa, jossa kemiallisia taisteluaineita on tunkeutuneena materiaalin sisään. Uusi kehiteillä oleva menetelmä on myös kaasuplasma, jota voidaan hyödyntää varsinkin herkkien laitteiden dekontaminaatiossa.

Nanoteknologia on mahdollistanut jo nykyisin mm. sairaaloihin ja keittiöihin erilaisia itsepuhdistuvia pintoja. Pinnat toimivat joko hylkivästi siten, että niihin ei saaste tartu tai ne rea-

goivat saasteen kanssa sitä tuhoten, yleensä esim. UV-valon edesauttamana. Nanorakenteinen titaanidioksidipinnoite toimii näiden fotokatalyyttisten itsepuhdistuvien pintojen dekontaminoivana elementtinä. Kemiallisia ja biologisia taisteluaineita puhdistavien pintojen prototyyppinä on jo olemassa, tehokkaimmat niistä puhdistavat myös kaasua pinnan yläpuolella. Teknologia on kuitenkin vielä kehitysvaiheessa, ja toistaiseksi titaanidioksidipohjaisten nanopinnoitteiden dekontaminaatio-ominaisuudet ovat suhteellisen huonoja verrattuna perinteisiin tekniikoihin. Paremmin toimivia pintoja saataneen noin 10 vuoden kuluessa.

Infrastruktuurin, esimerkiksi suuren rakennuksen puhdistaminen ja jälleen käyttöön palauttaminen voivat olla erittäin kallis ja aikaa vievä operaatio. Puhdistajien on varmistuttava kohteiden puhtaudesta ja todennettava se. Näytteitä on otettava valtavia määriä, ne on analysoitava ja niiden on osoitettava kohteen olevan puhdistuksen jälkeen puhdas. Pahimmassa tapauksessa edessä on rakennuksen tai korttelin purkaminen tai hylkääminen ja eristäminen. Millään nykyään tiedossa olevilla pinnoitteilla ei voida rakennuksia suojata sisältä ja päältä etukäteen. Teknologioita puhdistamiseen ja palauttamiseen kehitetään. Edistystä asiassa tapahtuu hitaasti.

Puhdistusteknologioiden lisäksi vaarallisten kemiallisten ja biologisten tekijöiden ilmaisuteknologiassa tule-

vaisuudessa tapahtuvat kehitysaskeleet vaikuttavat voimakkaasti CBR-puhdistamisen teknologioihin. Nopeilla, tarkemmilla ilmaisumenetelmillä voitaisiin määrittää helposti puhdistamisen lopputulos, mahdollisesti myös puhdistamisen tarve. Näin puhdistuksen painopiste voisi siirtyä varmuuden vuoksi tehtävästä laajasta dekontaminaatiosta ainoastaan tarpeen vaatiessa suoritettavaan täsmäkäsittelyyn.

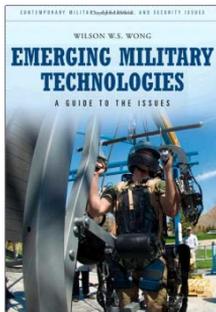
Tulevaisuudessa puhdistamiseen ja palauttamiseen liittyviä konsepteja kehitetään edelleen ja niitä voidaan soveltaa erilaisissa, toimintaympäristöä saastuttaneissa tapauksissa.

4 Kirjallisuutta

Ennen pajoja osallistujat tutustuivat seuraavassa esiteltyyn kirjallisuuteen.

Wilson W.S. Wong (2013): Emerging military technologies: A Guide to the issues (Contemporary, Military, Strategic and Security Issues).

Emerging Military Technologies: A Guide to the issues examines the po-



tential of the United States to bring new technologies to deployment in the service of America's security and defence. The work also discusses how other inter-

national actors may regard the United States' investment in these high-tech capabilities, identifying possible resultant counter actions, and presents several divergent viewpoints on what the future may bring.

The book thoroughly explores three general categories of emerging technologies: autonomous computers, nanotechnology and biotechnology, and the interrelated topics of directed energy weapons and ubiquitous space access. Security studies expert Wilson W.S. Wong balances coverage of today's cutting-edge science and engineering with treatment of real-world concerns of effectiveness, military ethics, and international relations in the 21st century. An invaluable re-

source for members of the military and intelligence communities, this book also provides general readers with an accessible introduction to these highly technical topics.

D. Franklin & John Andrews (2012): Megachange: The World in 2050.

"Megatrends" are great forces in so-



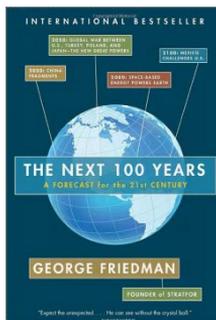
cietal development that have profound impacts on states, markets, and civil society in the now and for the years to come. They can effectively be employed as a starting point for analyzing our

world.

Megachange: The World in 2050 looks at these sweeping, fundamental trends that are changing the world faster than at any time in human history. Including chapters on approximately twenty of these "megatrends," each elegantly outlined by contributors from The Economist, and rich in supporting facts and graphics, the book is a compelling read as well as a valuable research and reference tool.

George Freidman (2010): The Next 100 Years.

A fascinating, eye-opening and often shocking look at what lies ahead for

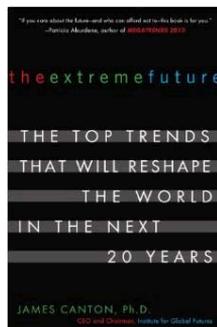


the U.S. and the world from one of our most incisive futurists.

In his thought-provoking new book, George Friedman, founder of STRATFOR – the preeminent private intelligence and forecasting firm – focuses on what he knows best, the future. Positing that civilization is at the dawn of a new era, he offers a lucid, highly readable forecast of the changes we can expect around the world during the twenty-first century all based on his own thorough analysis and research. For example, The U.S.–Jihadist war will be replaced by a new cold war with Russia; China’s role as a world power will diminish; Mexico will become an important force on the geopolitical stage; and new technologies and cultural trends will radically alter the way we live (and fight wars). Riveting reading from first to last, The Next 100 Years is a fascinating exploration of what the future holds for all of us.

James Canton (2007): The Extreme Future: The Top Trends That Will Reshape the World in the Next 20 Years.

A renowned global futurist prepares businesses and individuals for the radical changes on the horizon.



An advisor to three presidents spanning over thirty years, Dr. James Canton identifies probable outcomes

and future trends in business, technology, environment, terrorism, population, and medicine to help companies and individuals prepare for the coming complex and volatile global changes, including:

- How climate change and energy trends will reshape the planet
- How astounding medicine trends will enhance people’s lives
- How the rise of China will bring on a new global power struggle.

William E. Halal (2008): Technology's promise: Expert Knowledge on the Transformation of Business and Society.

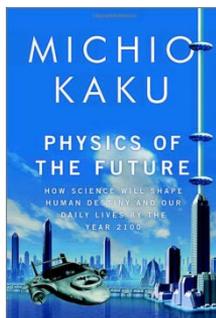
With the onset of a knowledge economy, modern nations are hard at work using ever more sophisticated information systems to power a "technology revolution" that is transforming our lives.



This book is based on the work of the TechCast Project, conducted over the past decade at the George Washington University. Pooling the knowledge of 100 high-tech CEOs, scientists, engineers, academics, consultants, futurists, and other experts from around the world, the resulting book is the best forecast data ever assembled, covering the entire span of scientific and technological innovation.

Michio Kaku (2011): The Physics of the Future: How Science Will Shape Human Destiny and Our Daily Lives by the Year 2100.

Space elevators. Internet-enabled contact lenses. Cars that fly by floating on magnetic fields. This is the stuff of science fiction – it's also daily life in the year 2100.

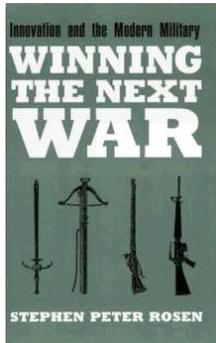


Renowned theoretical physicist Michio Kaku details the developments in computer technology, artificial intelligence, medicine, space travel, and more, that are poised to happen over the next hundred years. He also considers how these inventions will affect the world economy, addressing the key questions: Who will have jobs? Which nations will prosper? Kaku interviews three hundred of the world's top scientists – working in their labs on astonishing prototypes. He also takes into account the rigorous scientific principles that regulate how quickly, how safely, and how far technologies can advance. In *Physics of the Future*, Kaku forecasts a century of earth-shaking advances in technology that could make even the last centuries' leaps and bounds seem insignificant.

Stephen Peter Rosen (1994): *Winning the Next War: Innovation and the Modern Military* (Cornell Studies in Security Affairs).

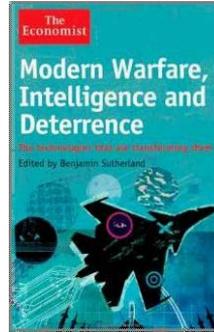
How and when do military innovations take place? Do they proceed differently during times of peace and times of war? In *Winning the Next War*, Stephen Peter Rosen argues that armies and navies are not forever doomed to "fight the last war." Rather, they are able to respond to shifts in the international strategic situation. He also discusses the changing relationship between the civilian innovator and the military bureaucrat.

In peacetime, Rosen finds, innovation has been the product of analysis and the politics of military promotion, in a process that has slowly but successfully built military capabilities critical to American military success. In wartime, by contrast, innovation has been constrained by the fog of war and the urgency of combat needs. Rosen draws his principal evidence from U.S. military policy between 1905 and 1960, though he also discusses the British army's experience with the battle tank during World War I.



Benjamin Sutherland (2012): *Modern Warfare, Intelligence and Deterrence: The technologies that are Transforming them.*

An in-depth look at Western military technology from the experts at The Economist.



Much has been made of the limitations of Western technology when pitted against today's low-tech insurgencies.

Modern Warfare, Intelligence and Deterrence: The Technology That is Transforming Them explores emerging high tech military technologies and places them in the larger context of today's politics, diplomacy, business, and social issues, arguing that, broadly speaking, defence technologies will continue to provide enormous advantages to advanced, Western armed forces.

The book is organized into five parts: land and sea, air and space, the computer factor, intelligence and spy craft, and the road ahead (which examines the coming challenges for Western armies, such as new wars against insurgents operating out of civilian areas). Comprised of a selection of the best writing on the subject from The Economist, each section includes an introduction linking the technological developments to civilian matters.