

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA DRUŽBENE VEDE

Jan Seliškar

Orožja usmerjene energije in njihova uporaba kot nesmrtonosna sredstva

Diplomsko delo

Ljubljana, 2013

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA DRUŽBENE VEDE

Jan Seliškar

Mentor: doc. dr. Uroš Svete

Orožja usmerjene energije in njihova uporaba kot nesmrtonosna sredstva

Diplomsko delo

Ljubljana, 2013

*Zahvaljujem se mentorju, doc. dr. Urošu Svetetu, za vso pomoč in izkazano
potrpljenje pri nastajanju diplomskega dela.*

Orožja usmerjene energije in njihova uporaba kot nesmrtonosna sredstva

Orožja usmerjene energije, ki delujejo na principu laserjev, radijskih frekvenc, mikrovalov, milimetrskih valov ali akustike, posedujejo bistveno drugačne lastnosti kot že poznano projektilno in drugo kinetično orožje. Odlikujejo jih med drugim izjemna natančnost, nastavljivost moči ter površine delovanja in druge prednosti. Hkrati trpijo zaradi številnih pomanjkljivosti – problemi pri oblikovanju snopa energije, motenje s strani atmosferskih pojavov, drag razvoj in nefunkcionalna teža, poraba ter velikost sistema, nesorazmerno premočni ali prešibki učinki glede na stopnjo uporabljene moči... Zato predstavljajo v najboljših primerih alternative obstoječemu orožju in ne nekaj, kar bi lahko v celoti zamenjalo trenutne oborožitvene sisteme. Tudi iz tega razloga se zdi, da se je fokus razvoja orožij usmerjene energije preusmeril k nesmrtonosnim sredstvom.

Vendar tudi iz nesmrtonosnega vidika orožje usmerjene energije ne daje neke nove, popolne rešitve, ki ne bi imela prisotne možnosti smrtonosnega učinka ali trajnih posledic. Zaenkrat še nobeno DEW, ne glede na princip delovanja ali učinke na človeško telo in vedenje, ni doseglo ravni rezultatov, ki bi povzročila preboj pri pojmovanju in uporabi nesmrtonosnih orožij.

Ključne besede: orožja usmerjene energije, nesmrtonosna orožja, nesmrtonosna sredstva.

Directed Energy Weapons and Their Application as Non-Lethal Means

Directed energy weapons, which operate on the principle of lasers, radio frequencies, microwaves, millimeter-waves or acoustics, possess significantly different properties than already familiar projectile and other kinetic weapons. They are characterized by, for example, extreme precision, adjustable power and area of effect, and other benefits. At the same time they suffer from many disadvantages – problems with the formation of a directed beam of energy, interference from atmospheric phenomena, expensive research, dysfunctional weight, size and power consumption, disproportionately too strong or too weak effects at different rates of used power... Therefore in the best of cases, they merely represent alternatives to existing weapons, and not something that could completely replace current weapon systems. Because of this, it seems that the focus in development of directed energy weapons has shifted to non-lethal means.

But even from its non-lethal aspect, directed energy weapons do not deliver a new, complete solution, where there would not be present potential lethal or permanent effects. So far there is no DEW, regardless of operating principles or effects on human body and behavior, that has reached a level of results that could lead to a breakthrough in conception and use of non-lethal weapons.

Key words: directed energy weapons, non-lethal weapons, non-lethal means.

Kazalo

Seznam kratic	6
1 Uvod	7
2 Metodološko-hipotetični okvir	7
2.1 Predmet in cilji proučevanja	7
2.2 Raziskovalno vprašanje	8
2.3 Metode proučevanja	8
3 Temeljni pojmi	8
3.1 Orožje usmerjene energije	8
3.2 Nesmrtonosna orožja	9
4 Laserji	10
4.1 Laserska orožja usmerjene energije	11
4.1.1 Natančnost usmerjanja in sledenja	12
4.1.2 Prenos in nadzor snopa	13
4.1.3 Prenos energije na tarčo	13
4.1.4 Vir napajanja	14
4.2 Nizko-energetski laserji	15
4.2.1 Protokol IV Konvencije o prepovedi ali omejitvi uporabe nekaterih vrst klasičnega orožja, za katere se lahko šteje, da imajo čezmerne travmatične učinke ali da glede ciljev delujejo enako	17
4.2.2 Laserji za začasno bliskovno oslepitev	19
4.2.3 Sodobni projekti	21
4.3 Visoko-energetski laserji	22
4.3.1 Lasersko inducirana plazma	24
4.3.2 Brezžična električna orožja – elektrolaserji	25
4.3.3 Termalni laserji	26
5 Radijske frekvence, mikrovalovi in milimetrski valovi	26
5.1 Nesmrtonosna orožja na principu radijskih valov, milimetrskih valov ter mikrovalov	28
5.1.1 Active Denial System – sistem aktivnega zavračanja	30
5.1.2 Mikrovalovni sluh	33
6 Zvok	33
6.1 Biološki učinki zvoka	34
6.2 Podvodna akustična orožja	36
7 Zaključek	37
8 Literatura	40

Seznam kratic

ABL – Airborne Laser
ADS – Active Denial System
AFRL – Air Force Research Laboratory
ALL – Airborne Laser Lab
C-CLAW – Close Combat Laser Assault Weapon
CRAM – Counter Rocket, Artillery, and Mortar
DARPA – Defense Advanced Research Projects Agency
DEW – Directed Energy Weapon
EPIC – Electromagnetic Personnel Interdiction Control
GLOW – Green Light Optical Warner
HALT – Hinder Adversaries with Less than-lethal Technology
HEL-TD – High Energy Laser Technology Demonstration
JNLWD – Joint Non-Lethal Weapons Directorate
LADS – Laser Area Defense System
LCMS – Laser Countermeasure System
LIPC – Laser-induced Plasma Channel
MEDUSA – Mob Excess Deterrent Using Silent Audio
NATO – North Atlantic Treaty Organization
NIJ – National Institute of Justice
PELT – Portable Efficient Laser Testbed
PHaSR – Personnel Halting and Stimulation Response
PEP – Pulsed Energy Projectile
PIKL – Pulsed Impulsive Kill Laser
SADAG – Sequential Arc Discharge Generator
THEL – Tactical High Energy System

1 Uvod

Usmerjena energija svetlobe, radijskih frekvenc, mikrovalov, zvoka ter drugih elektromagnetnih pojavov je danes vseprisotna. Uporabljena ni le v industrijske namene, najbolj množično se pojavlja na ravni potrošnika, ki postaja odvisen od nje. V mnogih primerih je takšna tehnologija izšla iz vojaških raziskav in je šele po letih razvoja do aplikativne stopnje našla svoje mesto tudi v civilni sferi. Čeprav so osnovni principi delovanja in pripadajoča uporabna tehnologija elektromagnetnih ter drugih pojavov, ki bodo opisani v tem delu, prisotni že zadnjih sto let, jih kljub temu še vedno smatramo ne za tehnologijo vsakdana, temveč prihodnosti. Seveda slednje za vojaški um pomeni predvsem oborožitev prihodnosti.

Fantastični naravi laserjev, mikrovalov, radijskih frekvenc in podobnih pojavov, ki burijo našo domišljijo že od svojega odkritja, pripisujemo neverjetne lastnosti in ugibamo o njenih aplikacijah. Z njimi se srečujemo v znanstveno-fantastičnih romanih ter televizijskih oddajah, kjer so predstavljeni kot s časom logičen napredek iz današnje ravni razvoja. Dejstvo je, da na začetku niso tako mislili le pisci romanov in scenaristi, temveč tudi svetovne oborožene sile, ki so upale na razvoj »super-orožij«. Ker vidimo, da dandanes še vedno igrajo glavno vlogo pri vodenju vojne puške ter topovi in ne orožje usmerjene energije, je očitno, da še ni prišlo do pričakovanega preboja v tehnologiji, ali pa so za potrebe vojske premalo destruktivna, da bi lahko nadomestila obstoječe oborožitvene sisteme. V primeru slednjega bodo orožja usmerjene energije morda našla svojo nišo med nesmrtonosnimi sredstvi, kjer glavno merilo ni uničevalna moč. Njihova glavna prednost bi lahko bila nastavljivost moči delovanja, ki bi implicirala dvojno rabo, zmanjšanje kolateralne škode in bolj razločujoče delovanje.

2 Metodološko-hipotetični okvir

2.1 Predmet in cilji proučevanja

Predmet proučevanja te diplomske naloge bodo orožja usmerjene energije in njihova uporaba v nesmrtonosne namene. Opisani bodo različni principi delovanja tovrstnih oborožitvenih sistemov. V delu ne bodo omenjeni vsi, ampak le pomembnejši prototipi, ki pomenijo ali

začetek razvoja na določenem področju ali pa so dali smernice za nadaljnji razvoj. Predstavljeni bodo sodobni projekti nesmrtonosnih orožij, ki delujejo na principu usmerjene energije.

V tem diplomskem delu ne bodo obravnavana orožja, ki uporabljajo snop pospešenih delcev (particle beam weapons), ali druge oblike orožja usmerjene energije, ki obstajajo le na konceptualni ravni.

2.2 Raziskovalno vprašanje

Katere bistvene prednosti prinašajo orožja usmerjene energije na področje nesmrtonosnih sredstev ter kakšne so njihove pomanjkljivosti?

2.3 Metode proučevanja

Pri pisanju diplomskega dela so bile uporabljene sledeče metode proučevanja:

- metoda zbiranja literature;

Zaradi relativno novih dosežkov na področju orožja usmerjene energije prevladujejo internetni viri. Zaupna narava razvoja tovrstnega orožja (še posebej pri zgodnjih projektih) je še dodatno otežila zbiranje virov.

- metoda analize in interpretacije primarnih ter sekundarnih virov;

Analiza in interpretacija primarnih virov je bila uporabljena v prvi vrsti pri razlagi temeljnih pojmov in s pravom povezane tematike, interpretacija sekundarnih virov pa pri podajanju bistvenih ugotovitev.

- deskriptivna metoda;

Z deskriptivno metodo sem opredelil lastnosti posameznih principov delovanja orožja usmerjene energije in njihovih pomembnejših prototipov.

3 Temeljni pojmi

3.1 Orožje usmerjene energije

Directed Energy Weapon (DEW) ali orožje usmerjene energije je orožje, ki na svojo tarčo prenese shranjeno energijo brez uporabe projektila oziroma izstrelka (Kopp 2008). Od

kinetičnega (ali projektilnega) orožja, kot so puške, rakete in bombe, ki uničujejo svoj cilj s kinetično energijo udara, nadtlakom, šrapneli in zažigalnimi učinki, se na fundamentalni ravni sicer ne razlikuje. Oba tipa oborožitve delujeta po principu velikih količin shranjene energije, bodisi v pogonski snovi (propellant) ali eksplozivu v bojni glavi bodisi v akumulatorju, ki se nato prenese na tarčo. DEW in kinetično orožje se torej ločita po načinu prenosa shranjene energije, za kar kinetična orožja potrebujejo izstrelek, orožja usmerjene energije pa to dosežejo brez njega.

DEW se ločijo po principu delovanja, vendar različni viri niso enotni kar se tiče kategorij, ki jih navajajo. Nekateri pisci se omejujejo zgolj na določene tipe DEW, npr. laserje in elektromagnetna orožja, ker se zdijo najbolj perspektivni, medtem ko v starejši literaturi vse zvrsti DEW niti niso pokrite. V nekaterih virih se akustična orožja omenja ločeno od DEW, čeprav po svojih značilnostih in principu delovanja nedvomno spadajo med preostale oblike orožja usmerjene energije.

3.2 Nesmrtonosna orožja

Ministrstvo za obrambo ZDA v direktivi št. 3000.3 tako definira nesmrtonosna orožja (non-lethal weapons):

3.1 Nesmrtonosna orožja. Orožja, zasnovana izrecno in v prvi vrsti uporabljena za onеспособitev oseb ali materialnih sredstev z minimalnimi smrtnimi žrtvami, trajnimi poškodbami oseb in neželjeno škodo posesti in okolju.

3.1.1 Napram konvencionalnim orožjem, ki uničijo svoje tarče načeloma skozi eksplozijo, penetracijo in fragmentacijo, nesmrtonosna orožja uporabljajo drugačna sredstva kot golo uničenje, da preprečijo delovanje svoji tarči.

3.1.2. Nesmrtonosna orožja naj bi imela eno ali obe od sledečih karakteristik:

3.1.2.1. Imajo relativno popravljive učinke na osebe in materialna sredstva.

3.1.2.2. Na predmete znotraj svojega območja delovanja delujejo različno.

(Department of Defense Directive 1996)

Davison se zavzema za manj ohlapno pojmovanje koncepta nesmrtonosnega orožja, ker moramo po njegovem izhajati iz zavedanja, da pod pravimi pogoji nobeno orožje ni nesmrtonosno. Njegova definicija se glasi:

Nesmrtonosna orožja so namenjena, zasnovana in uporabljena izključno za onеспособljanje ljudi, z začasnimi učinki, ki so popravljivi. Zato nesmrtonosno orožje ne bi smelo povzročiti osebi trajne škodljive spremembe, ne glede na to, ali je ta fizična, psihična ali fiziološka. Morala bi biti razločujoča in ne povzročati nepotrebnega trpljenja. Morala bi zagotavljati alternativo uporabi smrtonosne sile.

(Davison 2009, 9)

Nekatere druge definicije vsebujejo kvantitativna določila, kot na primer: orožje je definirano kot nesmrtonosno, če onesposobi 98% oseb, na katerih je uporabljeno, in pri tem ne ubije več kot 0,5% ter trajno ne poškoduje več kot 0,5% oseb, na preostali 1% pa nima učinka (Fidler v Koplow 2006, 8).

Seveda moramo vedeti, da se vsa nesmrtonosna orožja ne more smatrati kot popolnoma nesmrtonosna. Nesmrtonosna orožja so sicer namenjena zmanjšanju žrtev in nepopravljive škode, vendar teh posledic ne izključujejo popolnoma. Poleg tega je njihovo delovanje odvisno v precejšnji meri od okoliščin, v katerih je uporabljeno. Znanih je več primerov, ko je pri policijskem posredovanju slepilna ročna bomba zanetila požar in povzročila smrtne žrtve. Spet druga sredstva, namenjena onesposobitvi, imajo na osebe različne učinke – sredstva, ki bi le onemogočila zdravega odraslega človeka, bi lahko imela usoden učinek na starejšega človeka ali otroka (Koplow 2006, 9). V obzir moramo vzeti še druge dejavnike, prostor, okolje itd. Iz tega razloga se poimenovanje »nesmrtonosna orožja« včasih izpodbija ali poskuša zamenjati z drugimi pojmovanji, kot so »manj kot smrtonosna orožja« (less-than-lethal) in izrazi (orožje za onesposabljanje, manj smrtonosna orožja...).

4 Laserji

Beseda laser je kratica za Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, kar pomeni ojačevanje svetlobe s stimulirano emisijo sevanja in označuje delovanje mehanizma, ki oddaja ozek snop svetlobe strogo določene valovne dolžine. V laserski napravi se nakopiči energija, ki se nato v trenutku sprosti v močnem svetlobnem curku v obliki pulza ali kontinuiranega snopa. Za oddano svetlobo je značilna velika intenziteta, pravilna porazdelitev po preseku žarka, majhna divergenca, koherentnost in značilna valovna dolžina. Vsak laser je sestavljen iz treh osnovnih delov:

- **sredice oz. medija**, ki je lahko glede na vrsto laserja kristal, cev s tekočino ali plinom itd., kamor dovajamo energijo,
- **napajalne naprave**, ki lahko proizvajajo močne bliske svetlobe ali močne radijske valove (npr. bliskavica),
- **resonatorja**, ki ustvarja stoječe elektromagnetno valovanje in natančno usmeritev laserskega curka (ponavadi dve vzporedni zrcali, eno nepropustno, drugo pa pol propustno).

Glede na princip delovanja ločimo sledeče glavne vrste laserjev:

- **plinski laserji**, med katere sodijo tudi kemični in ekscimerski laserji,
- **trdninski laserji**, ki uporabljajo trdne materiale, npr. rubin, optična vlakna in fotonske kristale,
- **optični laserji**, ki so pravzaprav podvrsta trdninskih laserjev, ki uporabljajo optična vlakna,
- **barvni laserji**, ki delujejo z uporabo organskih barv,
- **prosto-elektronski laserji**, ki za svoje delovanje uporabljajo elektrone namesto atomov,
- **polprevodniški laserji**, včasih poimenovani tudi diodni laserji ali laserske diode, ki uporabljajo za ojačevalno sredstvo polprevodnike.

(Schroeder 1987, 12-15)

Zaradi značilnosti, ki imajo potencialno vojaško rabo, so pri razvijanju DEW najpogosteje uporabljeni kemični, trdninski, optični in prosto-elektronski laserji (GlobalSecurity 2008).

4.1 Laserska orožja usmerjene energije

Vse od odkritja laserja v letu 1960, se je zanj iskalo primerno vlogo tudi v vojaške namene, kot komplement h konvencionalnemu orožju. Laserji posedujejo vrsto lastnosti, ki jih delajo zanimive in primerne za vojaško rabo. Pri delovanju na primer ne proizvajajo zvoka ali (človeškemu očesu) vidne svetlobe, zato bi bil njegov uporabnik v precejšnji taktični prednosti, ker ne bi izdal svojega položaja. So skrajno natančni in površina ter moč njihovega delovanja sta nastavljivi. Vendar se zaradi nedozorele tehnologije s tega področja na tej točki še ni dalo razviti laserske naprave z zadostno močjo, da bi jo uporabili kot orožje. Zato so laserji v vojaški domeni najprej našli svoje mesto kot daljinomeri, določevalci tarč, sistemi za odkrivanje bojnih strupov, namerilne naprave, komunikacijski mediji itd. Sčasoma je laserska tehnologija dohitela pričakovanja vojaško-obrambne industrije in prišlo je do razvejitve v pojmovanju prioritet pomena in načina uporabe laserjev v vojaške namene. Nekateri so bolj zagovarjali vlaganje v visoko-energetske laserje, ki bi bili sposobni izjemne uničevalne moči, spet drugi so si od nizko-energetskih laserjev obetali orožje, ki bo sposobno oslepiti nasprotnikovo živo silo in onesposobiti elektro-optične senzorje.

Tabela 4.1: IEC 60825-1 sistem klasifikacije varnosti laserjev

Class 1	varen pod vsemi pogoji, tudi ob uporabi povečevalne optike
Class 1M	varen pod vsemi pogoji, razen ob uporabi povečevalne optike
Class 2	varen, ker refleks mežikanja omeji izpostavljenost očesa na 0,25 sekunde ($\leq 1\text{mW}$)
Class 2M	varen zaradi refleksa mežikanja, razen ob uporabi povečevalne optike
Class 3R	nizka verjetnost poškodbe očesa ($\leq 5\text{mW}$)
Class 3B	nevarnost poškodbe prostemu očesu ($\leq 500\text{mW}$)
Class 4	lahko trajno poškoduje vid, opeče kožo in vname material (tudi preko odboja)

Vir: Rockwell Laser Industries (1996).

Laserji so trenutno najbolj obetavno področje raziskovanja orožij usmerjene energije, med drugim zaradi svoje dvojne vloge, saj so tako nizko- kot visoko-energetski laserji množično uporabljeni v industriji in vsakdanji tehniki. Razvoj laserjev zato ne zanima le oboroženih sil, temveč v prvi vrsti civilna podjetja in inštitute, ki so pogosto prejemniki pogodb za raziskovanje in razvoj laserske tehnologije tako v obrambne kot komercialne namene (Gummet in Stein 1997, 10-14). Obrambne strukture se zato nagibajo k sofinanciranju civilnih projektov, ki se ji zdijo zanimivi in bi morda privedli do vojaško-aplikativnih rezultatov. Lasersko orožje usmerjene energije je sestavljeno iz dveh podsistemov: a) naprave, ki proizvaja laserski snop, ter v primeru, da ne gre za ročno prenosljivo orožje v smislu puške, b) podporne tehnologije, ki služi usmerjanju laserske naprave, sledenju cilja ipd.

4.1.1 Natančnost usmerjanja in sledenja

Natančnost ima pri laserskih DEW zaradi narave laserjev drugačen pomen, kot na primer pri navadnem strelnem orožju. Laserski snop je popolnoma raven in ker potuje s svetlobno hitrostjo, je učinek na tarčo dosežen praktično takoj ob »stisku sprožilca«. To pomeni, da lahko tudi pri večjih razdaljah zanemarimo prehitek zaradi gibanja cilja ali močnega vetra. Laserski snop tudi ni podvržen vplivu gravitacije in deluje v povsem ravni liniji, ne glede na razdaljo. Te lastnosti pridejo najbolj do izraza pri delovanju proti relativno počasnim kopenskim ciljem, ki jim ni težko slediti. V smislu uporabe proti ciljem, kot so artilerijski izstrelki, minometne mine ali letala, je potrebno laserski napravi zagotoviti platformo, ki se je sposobna hitro ter natančno usmeriti na cilj in mu nato slediti.

Zaradi narave delovanja laserjev lahko odmislimo povratni sunek, ki je pri laserskih DEW neznaten (Park 2007, 3, 4, 5) in tako ne igra pri natančnosti oborožitvenega sistema nobene vloge.

4.1.2 Prenos in nadzor snopa

Izraz prenos snopa označuje potovanje žarkov skozi prostor in učinke, ki se pri tem zvrstijo. Okolje, še posebej okolje bojišča, ima na laserski snop negativne učinke, ki sorazmerno z razdaljo zmanjšujejo kvaliteto in energijo laserja. Molekule zraka, prašni delci, dim in podobni dejavniki motijo laserski snop in imajo bistven vpliv na delovanje laserskega orožja (GlobalSecurity 2008). Zaradi narave laserjev se pri potovanju žarkov skozi zrak snop začne širiti (razprševanje žarkov) in oddajati energijo v atmosfero. Ta pojav se imenuje »toplotno cvetenje« (thermal blooming) in ima neposredno vlogo pri prenosu količine energije na tarčo, kar z drugimi besedami pomeni zmanjšano učinkovitost (Kopp 2008, Narcisse in drugi 2009). Atmosferski pojavi, kot so dež, sneg, megla, oblaki ipd. še dodatno povečajo vpliv cvetenja laserskega snopa. Poleg tega vpijajo energijo laserskega snopa in ga slabijo. Enak učinek imajo stebri prahu, ki se dvigajo v zrak zaradi eksplozij in so na bojišču pogost pojav. Namesto na cilj se energija laserja prenese na prah, zaradi česar lasersko orožje postane neučinkovito.

Nadzor snopa pomeni proizvodnjo in oblikovanje laserskega snopa. Glede na vrsto laserja lahko žarke procesiramo na različne načine, s čimer se izognemo odstopanju z osi snopa in izgubi energije, ali pa delovanje v več fazah, ki pomagajo premagati vplive atmosfere in aerosolov (GlobalSecurity 2008).

Lasersko orožje projicira snop žarkov, ki je nastavljen po površini, ki jo obseva. To pomeni, da je lahko skrajno fokusiran, ali pa prekrije veliko površino, teoretično celo večjo od površine uničenja, kot jo imajo nekateri kinetični oborožitveni sistemi. Od fokusa in moči laserja je odvisen tudi učinkoviti domet, ki pa je bistveno večji kot pri balističnem orožju, zato se pri uporabi laserskega DEW razmišlja tudi o protiraketni obrambi, ki bi sestreljevala medcelinske rakete že iz višjih slojev atmosfere.

4.1.3 Prenos energije na tarčo

Skrajna moč laserja (peak power), se izrazi z energijo laserskega pulza glede na čas trajanja ($J/s=W$). Ta lahko pri sodobni laserjih doseže tudi nad 100 kW (Wallace 2009). Uničevalni potencial laserja - fluenca (fluence) pa se izraža z energijo pulza glede na fokusno površino (joule/cm^2), kar nam pove kakšno mero »ubojnosti« lahko dosežemo z laserskim orožjem pri specifičnih tarčah. Za uničenje cilja moramo tako upoštevati več faktorjev – moč laserja (P), kvaliteto laserskega snopa, razdaljo do tarče (R) in čas izpostavljenosti tarče laserskemu snopu (t). Primer enačbe za izračun uničevalnega potenciala:

$$F = 0,86 (P \cdot t) (D/\Lambda R)^2$$

F= uničevalni potencial (fluence)
 P= moč laserja
 t= čas izpostavljenosti laserskemu snopu
 D= diameter ogledala
 Λ = valovna dolžina svetlobe
 R= razdalja do tarče

Iz enačbe je razvidno, da se bo fluenca povečala, če a) povečamo moč laserja (P), b) podaljšamo čas izpostavljenosti snopu (t), ali c) povečamo diameter zrcala laserja (D). Po drugi strani se bo fluenca zmanjšala, če a) povečamo valovno dolžino laserske svetlobe (Λ), ali b) povečamo razdaljo do tarče (R) (Schroerer 1987, 16). Pri tem imajo D, Λ in R kvadratni učinek – če podvojimo D ali razpolovimo Λ ali R, se bo fluenca (F) povečala štirikratno.

Pri razvoju učinkovitega laserskega orožja je potrebno upoštevati tudi cilj sam. Predvideti je treba kakšne učinke bo imel laserski snop na površino cilja, ki je lahko koža, kovina, tkanina in drugo. Vsak od teh materialov ima svoje značilnosti, ki lahko ovirajo ali preprečijo želeni učinek laserja. V zakup je torej potrebno vzeti sposobnost toplotne absorpcije materialov, njihovo odbojnost, debelino in morebitne protiukrepe¹, ki jih bo nasprotnik razvil.

4.1.4 Vir napajanja

Velika prednost in hkrati slabost laserskega orožja je vir napajanja. Ker je »strelivo« laserskega orožja električna energija, pomeni to manj logističnih problemov in prihrank pri stroških delovanja v primerjavi s kinetičnim orožjem na račun oskrbe, ter glede na energijski vir, skoraj neomejeno količino streliva (Antal 2011). Po drugi strani potrebujejo vojaški laserji za izpolnjevanje svojega namena velike količine energije, kar pomeni, da orožje, ki ni priključeno v fiksno električno omrežje, potrebuje vir napajanja, ki bo lahko shranjeval

¹ Mornarica ZDA je kljub relativnemu pomanjkanju orožja usmerjene energije, ki bi bilo na operativni stopnji razvoja, že izdala razpis za raziskovanje protiukrepov proti visoko-energetskim laserjem, mikrovalovnemu in elektromagnetnemu orožju ter drugim oblikam DEW (Keller 2009).

zadostno količino energije za normalno delovanje oborožitvenega sistema. Današnja tehnologija tega zaenkrat še ni sposobna zagotoviti, še posebej, če razmišljamo v smislu osebne pehotne oborožitve vojaka. Slab energijski izkoristek sodobnih laserjev (najboljši izkoristki se gibljejo okrog 20%, preostala energija se porazgubi v obliki toplote), preveliki in pretežki napajalni viri ter sistemi hlajenja bodo ovirali nadaljnji razvoj v tej smeri, dokler se bolj ne razvijeta ali laserska tehnologija ali tehnologija shranjevanja energije.

4.2 Nizko-energetski laserji

Laserji nizke moči so bili v začetni fazi razvoja oborožitvene laserske tehnologije bistveno bolj na dosegu roke kot visoko-energetski laserji zaradi relativno preprostejšee zasnove, manjše logistične zahtevnosti in predvsem nižje cene. Do leta 1980 je bil razvoj laserskega orožja, namenjenega zaslepljevanju ljudi in senzorjev nasprotnika, že v teku. Učinek tovrstnih sredstev lahko uvrstimo v tri stopnje:

- motenje nasprotnika in vsiljevanje uporabe zaščitnih sredstev,
- začasna bliskovna oslepitev (»dazzle«² učinek),
- trajna poškodba optičnih sistemov in človeškega očesa.

Medtem ko se za prvo kategorijo učinkov ni nikoli razvilo zadostno zanimanje, ker je v primerjavi z drugima dvema brez oprijemljivejšega vpliva na nasprotnika in bržkone za njegove sile le zlahka premostljiva neprijetnost, se je oblikovalo precejšnje povpraševanje po laserskem oborožitvenem sistemu, ki bi bil sposoben uničiti optično opremo. Ker pa so lahko tovrstni laserji poleg optičnih naprav trajno onеспособili tudi človeški vid, se jih je v devetdesetih letih kot dodana vrednost oprijela še oznaka nesmrtonosnih orožij, ki jih je moč uporabiti v situacijah, ki ne zahtevajo uporabe smrtonosne sile. Zgodnji projekti laserskega orožja ZDA so se začeli okrog leta 1975 z ALQ-169 Optical Warning/Detection device, ki naj bi bil nameščen na helikopterju, vendar je bil projekt preklican leta 1986. V zgodnjih 80-ih so kopenske sile ZDA začele s snovanjem orožja, namenjenega trajni onеспособitvi nasprotnikove optike in vetrobranskih stekel, ki je dobilo ime C-CLAW (Close Combat Laser Assault Weapon). Sposobno je bilo tudi trajno oslepiti ali poškodovati vid človeka, ki bi se znašel v območju delovanja laserja. Orožje naj bi bilo nameščeno na tanke in helikopterje, vendar so prototip pestili številni problemi, predvsem velika teža, in projekt je bil ukinjen leta

² *dazzle*: onеспособiti vid z intenzivno svetlobo (Dictionary.com)

1983 (Human Rights Watch 1995). V istem časovnem obdobju je podjetje Martin Marietta (ki se je kasneje združilo z Lockheed Corporation in oblikovalo podjetje Lockheed Martin) razvilo oborožitveni sistem Stingray, ki je prav tako bil v prvi vrsti namenjen onesposobitvi optičnih naprav. Stingray je s svojimi lastnimi senzorji tipal za signali nasprotnikove optične naprave in ob zaznavi sprožil laser, ki je preobremenil ciljno optiko, hkrati pa tudi trajno oslepil človeka, ki je v tistem trenutku napravo uporabljal. Prototip Stingray, ki je bil nameščen na vozilo, so testirali leta 1986. Ob izbruhu Zalivske vojne 1991 so v Savdsko Arabijo poslali dva primerka, ki pa nista bila uporabljena (Davison 2009, 148). Iz Stingray-a izpeljani projekt Outrider, ki je uporabljal isto lasersko tehnologijo v kompaktnější verziji, nameščeni na vozilo HMMWV, je bil opisan kot nesmrtonosno sredstvo za spopade nizke intenzivnosti in posebne operacije (Human Rights Watch 1995, Davison 2009, 148). Drugi primerljivi laserski projekti so še Coronet Prince, Compass Hammer in Cameo Bluejay.

Čeprav so opisani oborožitveni sistemi zmožni človeškemu očesu povzročiti trajne poškodbe, so bili njihovi primarni cilji povečini optične naprave in senzorji nasprotnika, nameščeni pa so bili na vozilih, ladjah ali letalih. Toda v 80-ih letih so stekle tudi raziskave laserskega orožja, ki je bilo bistveno bolj usmerjeno k onesposobitvi žive sile, saj je bilo prenosno in je imelo krajši domet. Podjetje Allied Corp. je za Kopensko vojsko ZDA razvilo Dazer, prenosni laserski oborožitveni sistem, ki ga je sestavljala laserska puška ter nahrbtnik s pripadajočo elektroniko in baterijo. Laserski snop lahko deluje na različnih valovnih dolžinah, kar oteži morebitno zaščito ali protiukrepe. Senzorje in človeka je sposoben oslepiti na razdalji do 1 km (Human Rights Watch 1995, Davison 2009, 148). Konkurenčno podjetje McDonnell-Douglas je pod imenom Cobra razvijalo podoben sistem, prav tako v dimenzijah mitraljeza, s trdninskim laserjem, ki je deloval na treh različnih valovnih dolžinah. Kopenska vojska ZDA je na koncu izbrala tretji sistem, AN/PLQ-5 od podjetja Lockheed Sanders, ki je bil nato preimenovan v Laser Countermeasure System (LCMS). LCMS tehta okrog 19 kilogramov in se namesti na puško M-16. V dometu 1 km poškoduje optična elektronska sredstva ali človeško oko, pri čemer lahko povzroči tudi trajno slepoto. Leta 1995 je bilo Lockheed Sanders posredovanih 12 milijonov dolarjev, da bi do leta 1997 proizvedli 20 kosov LCMS. Proizvodnjo so še istega leta prekinili, ker je bil v tem času oblikovan Protokol IV Konvencije o prepovedi ali omejitvi uporabe določenih konvencionalnih orožij, ki prepoveduje uporabo laserskega orožja, katerega edina ali ena izmed funkcij je trajno poškodovanje človeškega vida ali oslepitev (Human Rights Watch 1995, Davison 2009, 149).

Oborožene sile ZDA pa niso bile edine, ki so v laserski tehnologiji videle potencialno orožje. Sovjetska zveza je razvila vrsto lastnih programov laserske oborožitve, med drugim tanka

1K11 Stilet in 1K17 Szhatie, ki nista nikoli presegla prototipne faze, najverjetneje zaradi izredno visokih stroškov proizvodnje takega orožja v že tako ali tako zaostrenih ekonomskih okoliščinah Sovjetske zveze (1K17 Szhatie je za delovanje potreboval 30 kg rubinov) (English Russia 2012). Velika Britanija je razvila Laser Dazzle Sight ali Outfit DEC za zaslepljevanje (sistem je bil sposoben povzročiti trajno slepoto) sovražnikovih letalskih in helikopterskih pilotov, ki je bil nameščen na ladje in uporabljen v falklandski vojni z Argentino. Ljudska republika Kitajska je leta 1994 izdala na trg ZM-87 Portable Laser Disturber – lasersko orožje v velikosti mitraljeza na trinožnem podstavku, ki ga napaja baterija in tehta 35 kilogramov (brez baterije). Po podatkih proizvajalca Norinco lahko orožje trajno poškoduje človeško oko na razdalji od 2.000 do 3.000 metrov. Če človek uporablja optično napravo z vsaj sedemkratno povečavo, se efektivna razdalja poveča na 5.000 metrov (Dockery 2007, 312, 313). V iraško-iranski vojni, kjer je bilo v iranskih vrstah zabeleženih preko 4.000 primerov trajnih poškodb očesa z laserjem, na iraški strani najverjetneje ni bilo uporabljeno specializirano lasersko orožje za zaslepljevanje kot tako, marveč se je z enakim učinkom uporabljalo laserske namerilne sisteme in daljinomere tankov (FAS 2010). Lastne oborožitvene sisteme za zaslepljevanje naj bi razvijali tudi v Franciji in Izraelu (Human Rights Watch 1995).

4.2.1 Protokol IV Konvencije o prepovedi ali omejitvi uporabe nekaterih vrst klasičnega orožja, za katere se lahko šteje, da imajo čezmerne travmatične učinke ali da glede ciljev delujejo enako

Konvencija o prepovedi ali omejitvi uporabe nekaterih vrst klasičnega orožja, za katere se lahko šteje, da imajo čezmerne travmatične učinke ali da glede ciljev delujejo enako, izhaja iz leta 1980 in navaja dodatne omejitve, ki jih je potrebno upoštevati pri vodenju vojne. Danes sestavlja konvencijo pet protokolov, zadnji je bil dodan leta 2003. Protokoli za države podpisnice (da se državo smatra za podpisnico, mora ta podpisati vsaj dva od petih protokolov) so sledeči:

- Protokol I omejuje uporabo orožja z rentgensko nezaznavnimi drobci;
- Protokol II omejuje uporabo min, pasti ter drugih sredstev;
- Protokol III omejuje uporabo zažigalnih orožij;
- Protokol IV omejuje uporabo slepilnega laserskega orožja;
- Protokol V narekuje obveznosti in najboljše prakse za odstranitev eksplozivnih ostankov vojne.

Protokol IV je bil sprejet leta 1995 in je stopil v veljavo leta 1998. Nastal je na pobudo Mednarodnega odbora Rdečega križa, Human Rights Watch in nekaterih držav. Določa sledeče:

1. člen

Prepovedano je uporabljati lasersko orožje, posebej zasnovano tako, da je njegova edina bojna naloga ali ena od bojnih nalog povzročiti trajno slepoto pri nepovečanem pogledu, to je pri pogledu s prostim očesom ali s korekcijskimi pripomočki. Visoke pogodbenice tega orožja ne smejo prenašati na nobeno državo ali drug nedržavni subjekt.

2. člen

Pri uporabi laserskih sistemov visoke pogodbenice sprejmejo vse izvedljive previdnostne ukrepe, da ne bi prišlo do trajne slepote pri nepovečanem pogledu. Ti previdnostni ukrepi vključujejo usposabljanje njihovih oboroženih sil in druge praktične ukrepe.

3. člen

Oslepitev kot naključen ali postranski učinek zakonite vojaške uporabe laserskih sistemov, vključno z laserskimi sistemi, ki se uporabljajo proti optični opremi, ni zajeta v prepovedi iz tega protokola.

4. člen

Za namene tega protokola "trajna slepota" pomeni neozdravljivo in nepopravljivo izgubo vida z resno invalidnostjo brez obetov za ozdravljenje. Za resno invalidnost gre pri ostrini vida, ki znaša manj kot 20/200 snelenov, izmerjeni ob uporabi obeh oči.

(Uradni list Republike Slovenije 2002)

Ta določila so odziv na tedanjo proliferacijo nizko-energetskega laserskega orožja, opisanega v prejšnjih odstavkih, ki med svoje taktične zmožnosti štejejo trajno poškodbo očesa in trajno slepoto in jih oglašujejo kot nesmrtonosna sredstva. Mednarodna skupnost je dosegla konsenz, da nekatere oblike nesmrtonosnega bojevanja niso sprejemljive. Kljub temu, da je tako lasersko orožje izjemno natančno in povzroči namesto smrti »le« slepoto, ter da ima konvencionalno orožje lahko enake posledice, je potrebno razumeti sledeče: lasersko orožje za zaslepljevanje je namenjeno izključno pohabi, ki bo prizadetega posameznika zaznamovala do konca življenja, najverjetneje celo v večji meri kot izguba uda.

Kot je razvidno iz 3. člena, Protokol IV ne prepoveduje uporabe laserskega orožja za onesposobitev optičnih elektronskih naprav ali laserskih sistemov, ki se uporabljajo pri optični opremi. Čeprav so ti tipi laserskih sistemov in orožja popolnoma sposobni povzročiti trajno poškodbo očesu ali slepoto, je uporabnost raznih laserskih določevalcev cilja, daljinomerov in proti-senzorskih sredstev tolikšna, da se jim ni pripravljena odpovedati

nobena država, zato na modernem bojišču v določeni meri še vedno ostaja prisotna laserska grožnja vidu (Davison 2009, 149, Koplów 2006, 43).

4.2.2 Laserji za začasno bliskovno oslepitev

Po sprejetju Protokola IV v letu 1995 je prišlo do mišljenja, da je to zaključek zgodbe laserjev, katerih namen je onesposobitev vida. To prepričanje ni trajalo dolgo, saj se je pozornost preprosto preusmerila s slepilnih laserjev na lasersko orožje z »dazzle« učinkom ali začasno bliskovno oslepitvijo, ki ne bi pustilo trajnih posledic na vidu prizadetega. Bliskovno oslepitev povzroči izpostavljenost očesa svetlobnemu blisku velike intenzitete. Pri tem pride do prenasičenosti pigmenta mrežnice. Sčasoma se pigment vrne v normalno stanje in s tem tudi vid. Na očesu pri tem ne nastane trajna škoda, razen v primeru izjemne moči bliska (npr. pri jedrski eksploziji). Čeprav je tovrstno lasersko orožje izvzeto iz določil Protokola IV, obstaja dvom, da njihov učinek le ni tako neškodljiv. Dazzler, ki na vrhuncu svojega učinkovitega dometa povzroči začasno slepoto, lahko pri kratkih razdaljah deluje tudi z močjo, ki presega mejo začasnega učinka in povzroči dolgoročne posledice. Obstaja tudi mnenje, da bi bili laserji za začasno oslepitev lahko uporabljeni le ponoči, ko je zenica v očesu razširjena in tako bolj občutljiva na svetlobo – podnevi bi bilo namreč ob zoženi zenici potrebno za enak učinek uporabiti večjo moč laserja, kar bi lahko trajno poškodovalo oko (Davison 2009, 149).

Prvi laser za začasno bliskovno oslepitev je bil razvit še pred nastankom Protokola IV. Šlo je za Saber 203 Laser Illuminator, ki so ga v letih od 1990 do 1993 skupaj razvili Raziskovalni laboratorij zračnih sil ZDA (Air Force Research Laboratory - AFRL), Obrambna jedrska agencija (Defense Nuclear Agency) in podjetje Science and Engineering Associates Inc. Naprava je vsebovala 250 mW rdeči polprevodniški laserski diodni sistem, ki se ga je namestilo v 40mm podceveni bombomet M203, ter ohišje z baterijo in sprožilcem, ki se je nahajalo na spodnji strani bombometa. Laser je lahko deloval deset sekund preden bi prišlo do trajnih poškodb očesa (USAF Fact Sheet 2006, Davison 2009, 150, Dockery 2007, 313). Marinci ZDA so Saber 203 uporabili v Somaliji v letu 1995 kot sredstvo odvracanja, vendar je bilo orožje kasneje zaradi skrbi glede domnevne začasne oslepitve, slabih rezultatov doseženih podnevi in preozkega laserskega snopa (ki ga je bilo težko imeti ves čas namerjenega v oči tarče), umaknjeno iz uporabe (Davison 2009, 150, Dockery 2007, 313). Koncept laserskega orožja za začasno oslepitev se je vseeno razvijal dalje v obliki sorodnih programov Laser Dissuader in HALT (Hinder Adversaries with Less than-lethal Technology).

Laser Dissuader je v letu 1997 neodvisno razvilo podjetje Science and Engineering Associates Inc., le-ta pa uporablja enak laser kot Saber 203, toda z večjo močjo. Ima obliko večje baterijske svetilke in ob aktivaciji najprej deluje s kontinuiranim 10 sekundnim pulzom, nato pa z utripanjem. Laserski snop je pri tem moč zožiti ali razširiti za delovanje pri različnih razdaljah. HALT je uporabljal isto tehnologijo kot Laser Dissuader, vendar je bil prilagojen za potrebe Zračnih sil ZDA. Sistem je bil lahko nameščen na puško, ali pa je bil uporabljen neodvisno. Glavna razlika med laserskima sistemoma HALT in Laser Dissuader na eni strani in Saber 203 na drugi, je v varnosti na zelo kratkih razdaljah. Prva dva sistema sta lahko varno delovala tudi v neposredni razdalji, medtem ko je Saber 203 imel minimalno varnostno razdaljo šestih metrov. Toda tudi to ne drži v celoti – HALT in Laser Dissuader očesu ne povzročita trajne poškodbe le v primeru, da oko laserskemu snopu ni izpostavljeno dlje od četrte sekunde (čas v katerem se sproži refleks mežikanja). Če človek uporablja optično napravo s povečavo (npr. daljnogled), se potemtakem minimalna varnostna razdalja pomakne na 116 metrov in več (Davison 2009, 150, 151). Kasneje so testi pokazali, da Laser Dissuader podnevi povzroči le moteč blesk, ponoči pa začasno slepoto do 50 metrov. Orožje, katerega cena se giblje okrog 5.000 dolarjev, je bilo sprejeto med redna nesmrtonosna sredstva Zračnih sil ZDA, vendar njegova uporaba po vsem sodeč ni močno razširjena. HALT je bil v letu 2002 še v fazi operativnega testiranja in razvoja, nakar je bil projekt ukinjen (Davison 2009, 151).

Zaradi problemov, ki sta jih imela Laser Dissuader in Saber 203 pri doseganju zelenih učinkov podnevi, se je pri nadaljnjem razvoju »dazzling« laserjev začelo eksperimentirati z zelenimi laserji. Človeško oko je v primerjavi z rdečim diodnim laserjem do osemkrat bolj občutljivo na svetlobo valovne dolžine, ki jo odda zeleni laser. Zračne sile ZDA so zaradi tega dejstva leta 1990 razvile BOSS (Battlefield Optical Surveillance System), laserski oborožitveni sistem, nameščen na vozilo HMMWV, ki je namenjen uporabi na večje razdalje in je bistveno močnejši od sistemov Saber 203 in Laser Dissuader. Njegova minimalna varnostna razdalja je 100 metrov. V letu 1996 je podjetje LE Systems Inc. prejelo koncesijo za razvoj orožja z zelenim laserjem, ki bi ob uporabi nastavljivega žarišča (ali fokusa) laserskega snopa lahko bolj učinkovito delovalo tudi podnevi. Rezultat tega raziskovanja sta bila Laser Dazzler (200 mW) in Compact High Power Laser Dazzler (500 mW). Slednji je bil tudi sprejet med redna sredstva nekaterih formacij oboroženih sil ZDA (Davison 2009, 151-153).

Uporabnost laserskega orožja za začasno oslepitev v primerih, ko ni potrebna smrtonosna sila, je splošno priznana in dandanes se jih nekatere izmed držav, ki izvajajo vojaške operacije, ki kličejo po uporabi nesmrtonosnih sredstev, vedno bolj poslužujejo. To je nedvomno najbolj pospešilo naraščajoče število nedolžnih žrtev na kontrolnih točkah v Iraku in Afganistanu, kjer vojaki niso imeli ustreznih sredstev za opozarjanje in ustavljanje vozil na zadostni razdalji, kar je privedlo do nepotrebne uporabe sile. Britanske oborožene sile na primer v ta namen uporabljajo Thales-ov Green Light Optical Warner (GLOW), ZDA pa opremljajo svoje sile z laserskimi oborožitvenimi sistemi XADS PD/G-105, MiniGreen, GBD III, HELIOS, GHOST in drugimi. ZDA so v letu 2006 v Irak poslale 2.000 kosov tovrstnega laserskega orožja, ki bi pomagalo preprečiti žrtve med civilnim prebivalstvom (Jackson in Hutchinson 2006).

Po drugi strani je razvidno, da je uporaba tovrstnih naprav izredno situacijska. Kritizirali bi jih lahko zaradi njihove pogojne »začasne oslepitve«, kjer se žrtvi lahko povzroči trajne poškodbe očesa, če se nahaja preblizu vira laserske svetlobe, ali pa uporablja optično napravo s povečavo. Po drugi strani laser za začasno oslepitev nima zelenega učinka, če se tarča nahaja predaleč stran ali nosi preprosto zaščito za oči.

4.2.3 Sodobni projekti

Čeprav je že precej nizko-energetskih laserskih oborožitvenih sistemov prešlo v operativno fazo in so v redni rabi oboroženih sil, se njihov razvoj nadaljuje. Obstoječo tehnologijo se nadgrajuje in kombinira v prizadevanju, da bi dobili bolj univerzalno nesmrtonosno sredstvo. Eden izmed takih projektov je Personnel Halting and Stimulation Response (PHaSR) - lasersko orožje, po izgledu podobno puški, ki je namenjeno odvracanju, dezorientaciji in onesposobitvi nasprotnikove žive sile. PHaSR je izšel iz projekta, s katerim je leta 2001 začel Raziskovalni laboratorij zračnih sil ZDA (Air Force Research Laboratory - AFRL) pod imenom Portable Efficient Laser Testbed (PELT). Projekt sta financirala Združeni direktorat za nesmrtonosna orožja (Joint Non-Lethal Weapons Directorate – JNLWD) in Nacionalni pravosodni inštitut (National Institute of Justice - NIJ). V letu 2005 se je PELT preimenoval v PHaSR in istega leta sta tako NIJ kot JNLWD dobila vsak svoj prototip (Davison 2009, 154). V začetni fazi (PELT) naj bi šlo le za orožje, ki bi na območju laserskega snopa celo skozi tanjša oblačila povzročilo segrevanje kože in ustvarilo občutek pekoče bolečine. Kasneje se je na orožje vgradilo še drugi laser, namenjen zaslepljevanju (dazzler). V obeh primerih gre za

diodni laser nizke moči, pri čemer prvi deluje v srednjem območju infrardečega valovanja, drugi pa v vidnem spektru (USAF Fact Sheet 2006). Tehta manj kot 10 kilogramov, zato se z njim lahko strelja iz rame, optimalno pa z uporabo dvonožnega podstavka (Dockery 2007, 313, 314).

PHaSR zaenkrat še ni prešel iz prototipne faze. Eden izmed glavnih ciljev nadaljnjega razvoja je v orožje integrirati laserski merilec razdalj, s katerim bi se lahko glede na razdaljo do tarče avtomatično nastavila intenzivnost laserskega snopa za zaslepljevanje. Na ta način bi se izognili potencialnim trajnim poškodbam očesa (Dockery 2007, 314).

Še ena obetavna smer razvoja laserskega orožja je »veiling glare laser«, ki ob zadostni intenziteti vijolične svetlobe povzroči fluorescenco očesa, ki ga zaslepi v celotnem vidnem polju. Hkrati to pomeni, da je enako učinkovit tako podnevi kot ponoči (Žabkar 2007, 260, 261). Pri tem konceptu si osnove sposoja tudi raziskovanje laserskega orožja, ki bi s stroboskopskim osvetljevanjem očesa z izmenično rdečim in modrim laserjem izzvalo slabost, vrtoglavico in morda celo epileptični napad (Davison 2009, 157).

4.3 Visoko-energetski laserji

Prednosti visoko-energetskih laserskih oborožitvenih sistemov pred konvencionalnim orožjem, kot so izjemna natančnost, električna energija namesto streliva in svetlobna hitrost laserskega snopa, so zagotovili laserskemu orožju svoje mesto v raziskovalnih prizadevanjih modernih oboroženih sil. V duhu časa, v katerem se je razvoj laserskega orožja začel, so za visoko-energetske laserje takoj predvideli vlogo protibalistične zaščite. V ZDA so večji del takratnih sredstev za raziskovanje laserske tehnologije v vojaške namene dodelile projektu kot je Airborne Laser Lab (ALL) iz leta 1976. Šlo je za oborožitveni sistem, nameščen na vojaško transportno letalo NKC-135, ki naj bi bil sposoben s 456 kW laserjem sestreliti balistično raketo. Projekt se je zaradi takrat še slabo razvite tehnologije z laserskega področja spopadal z najrazličnejšimi težavami, zato je bil projekt leta 1984 ukinjen. Ideja protibalističnega laserskega orožja s tem ni zamrla in leta 1996 so Zračne sile ZDA podjetjem Boeing, TRW in Lockheed-Martin plačale 1,1 milijardo dolarjev za izgradnjo sodobne različice ALL - Airborne Laser (ABL) (Kopp 2008). Projekt je še vedno v razvoju, vendar bo letalo Boeing 747-400 predvidoma krožilo na širšem področju izstrelišč balističnih raket ali

satelitov in jih z laserskim sistemom, nameščenim v nosu letala, kmalu po vzletu nad mejo oblakov sestrelilo.

Kasneje se je več pozornosti začelo posvečati orožju, ki bilo sposobno zaščititi lastne sile pred izstrelki. Oborožene sile ZDA v okviru programov kot so THEL (Tactical High Energy System, ki ga ZDA razvija v sodelovanju z Izraelom), LADS (Laser Area Defense System), HEL-TD (High Energy Laser Technology Demonstration) in drugi raziskujejo premične in stacionarne vrste laserske zaščite pred raketami ter artilerijskimi in minometnimi izstrelki (CRAM - Counter Rocket, Artillery, and Mortar), ki bi bila sposobna v zraku prestreči in uničiti prihajajoče izstrelke (Defense Update 2009). Tovrsten dosežek bi bil izrednega pomena za sodobno bojevanje v kontekstu tako simetričnega kot asimetričnega vojskovanja. Ameriški Lockheed Martin in nemški Rheinmetall sta že razvila sisteme z zadostno močjo, mobilnostjo in miniaturizacijo, da lahko uspešno uničujejo brezpilotna letala, ter različne tipe izstreljenih ali lansiranih projektilov (Hughes 2013, Antal 2013). Ob primerni stopnji zanesljivosti in zadostnem številu sistemov tega tipa na istem območju, bi kopenske sile lahko bile skoraj povsem varne pred artilerijskimi udari nasprotnika ali nenadnimi napadi urbane gverile opremljene z raketometi in minometi. Morda bo v prihodnosti tehnološki napredek v tej smeri omogočil razvoj aktivnega sistema zaščite, ki bo kot neke vrste miniaturni CRAM varoval vozila pred raznimi izstrelki, npr. raketami in minami. Protiukrepi, ki jih uporabljajo današnji primerki aktivnega sistema zaščite, so zaenkrat navadni projektili, vendar bi jih morda nekoč lahko nadomestil laser.

Podobne oborožitvene sisteme kot so bili opisani so si zamislili tudi Sovjeti, ki so za sestreljevanje balističnih raket prav tako razvijali laserski sistem, nameščen v nos letala. Projekt Almaz/Beriev A-60 High Energy Laser Directed Energy Weapon Testbed, kot je bil znan zahodnemu bloku, se je začel leta 1981 in končal kmalu po razpadu Sovjetske zveze. Za varovanje pred izstrelki so razvijali Almaz-Antey High Energy Laser, laserski oborožitveni sistem, nameščen na vozilo MAZ-7910 8 x 8 (Kopp 2008).

Lasersko orožje velike moči je samo po sebi neprimerno za uporabo v nesmrtonosne namene. Obstaja sicer prepričanje, da bi visoko-energetski laserji lahko bili uporabljeni le proti materialnim sredstvom, na primer za prediranje zračnic, tankov goriva in onesposabljanje električnih in komunikacijskih povezav, ter bili zaradi svoje velike natančnosti pri tem imenovani za nesmrtonosna sredstva. Toda vsega tega je s primerljivo učinkovitostjo zmožno tudi konvencionalno orožje. Poleg tega nič ne preprečuje uporabe laserskega orožja na živi

sili. Le od posameznika, ki bi s takim oborožitvenim sistemom upravljal, bi bilo odvisno, ali bo uporabljen v smrtonosne ali nesmrtonosne namene – v tem smislu je lahko potemtakem nesmrtonosno sredstvo tudi vsaka puška. Kljub temu imajo visoko-energetski laserji pomembno vlogo pri razvoju prihodnjih nesmrtonosnih orožij. Z drugimi faktorji namreč sodelujejo pri pojavih, kot so nastanek visoko-energetske plazme, brezžični prenos toka skozi prostor in termalni učinki, ki imajo potencialno nesmrtonosno rabo.

4.3.1 Lasersko inducirana plazma

O orožju, ki bi delovalo na principu lasersko inducirane plazme, se je začelo govoriti v devetdesetih, ko je v okviru programa Low Collateral Dammage Munitions Kopenskih sil ZDA steklo raziskovanje nekonvencionalnega orožja različnih učinkov. Projekt Pulsed Impulsive Kill Laser, ki se je začel leta 1992, na začetku ni bil usmerjen v razvoj nesmrtonosnega sredstva, temveč je predvidel izgradnjo na vozilo nameščenega visoko-energetskega pulznega laserja, ki bi s pomočjo plazme na razdalji 1-2 kilometra lahko povzročil onesposobitev ali smrt. Poskusi, ki so jih izvedli na usnju (kot simulaciji kože), tkanini vojaške uniforme in kevlarških vlaknih, so pokazali, da en sam pulz ne povzroči smrti ali resnih poškodb in da je za nastanek večje škode potrebnih več pulzov. Leta 1998 je zato prišlo do spremembe nadaljnjega razvoja projekta PIKL, ki se je preusmeril s smrtonosnega na nesmrtonosno in se preimenoval v Pulsed Energy Projectile (PEP) (Davison 2009, 157, 158).

JNLWD, ki je kasneje financiral projekt, je PEP opisal kot orožje, ki bo uporabljalo pulzni devterij-fluoridni laser, ki bo na površini tarče proizvedel ionizirano plazmo. Plazma bo proizvedla nadzvočni val pritiska, ki bo prešel v telo in stimuliral živce v koži, kar bo povzročilo bolečino in začasno paralizo. Kmalu zatem so se pojavile skrbi, da so učinki PEP kljub vsemu premočni za uporabo v nesmrtonosne namene. Raziskave so pokazale, da je plazma sposobna prežgati svojo pot skozi oblačila, vali visokega pritiska pa imajo večjo penetracijo kot predvideno. Zadetek v usta bi zato lahko pomenil poškodbo pljuč, udarec v predel trebuha ali prsi pa bi lahko poškodoval notranje organe. Zadetek kjerkoli v bližini ušes bi počilo bobnič in človeka oglušilo, medtem ko bi visok pritisk ob stiku z očmi najverjetneje povzročil slepoto in celo smrt (Davison 2009, 158, 159). Kljub tem in nekaterim drugim tehničnim težavam se je razvijanje PEP nadaljevalo, saj je bilo v letih od 2002 do 2006 projektu namenjenih 13 milijonov dolarjev in nato v letih od 2007 do 2009 še vsako leto po 4 milijone dolarjev. Dodatne dobre 3 milijone so JNLWD, NIJ in Kopenske sile ZDA namenili

dvema laserskima sistemoma, ki sta izpeljana iz istega principa delovanja, kot ga uporablja PEP, ki bosta učinke omejila le na oči in ušesa, z namenom dezorientacije in onesposabljanja ljudi (Davison 2009, 160). Čeprav se raziskovanje pri projektu PEP nadaljuje, se moramo vprašati po smotrnosti nadaljnjega razvoja v nesmrtonosne namene, glede na to, da to vlogo v zadostni meri že izpolnjujejo obstoječi nesmrtonosni kinetični izstrelki vseh vrst (bean bag, gumijasti naboji, hydro-impact bag itd.).

4.3.2 Brezžična električna orožja – elektrolaserji

Delovanje brezžičnih električnih orožij, poimenovanih tudi elektrolaserji, temelji na principu lasersko induciranega plazemskega kanala (laser-induced plasma channel – LIPC). Pri tem pojavu laserski snop segreje in ionizira okoliške pline, zaradi česar nastane plazma. Plazma nato po osi laserskega snopa vzpostavi prevoden plazemski kanal. Preko slednjega je nato do tarče možno poslati električni tok (Davison 2009, 161).

Zanimanje za elektrolaserje v smislu orožja je vzkliklo šele v devetdesetih. Eden najdlje trajajočih projektov na tem področju se je začel v letu 2004, ko je AFRL v sodelovanju s podjetjem Ionatron Inc. (kasneje se je Ionatron preimenoval Applied Energetics) začel raziskovati potencialna orožja s principom LIPC, ki bi lahko z električnim tokom deloval proti živi sili, vozilom, elektronskim sistemom ter minam in improviziranim eksplozivnim sredstvom. V mislih so imeli tako smrtonosno kot nesmrtonosno delovanje. Kasneje so se k projektu pridružile tudi Kopenske sile in mornarica ZDA (Davison 2009, 161).

Tehnologija LIPC zaenkrat še ni na ravni, ki bi podpirala pričakovanja oboroženih sil, saj dosednji poskusi niso dosegli zelene razdalje 10-30 metrov pri prenosu toka skozi prostor – le-ta trenutno znaša zgolj nekaj metrov. Zaradi velikosti in teže sistemov ti najverjetneje ne bodo prenosni, temveč v najboljšem primeru nameščeni na vozilo. Kljub temu podjetje HSV Technologies Inc. obljublja nesmrtonosen elektrolaser, ki bo prenosen ter imel večji domet kot Taser (že uveljavljeno nesmrtonosno orožje, ki izstrelji dve elektrodi, ki ju z orožjem povezuje žica, preko katerih v telo spusti električni tok). Elektrolaserji bi lahko ponudili tudi boljše sposobnosti pri premagovanju oblačil in druge morebitne zaščitne tarče. Napovedujejo tudi različico, katere namen bo onesposabljanje motornih vozil (Forestier in drugi 2012). Raziskovanje elektrolaserjev v tej smeri bi lahko pomenil razvoj statične ali prenosne naprave za onesposabljanje vozil, ki bi bila uporabljena na vstopnih točkah vojaških inštalacij, v

kontrolnih conah mednarodnih kontingentov na misiji ipd. ter bi jih v širšem smislu lahko primerjali z bodicami, ki jih uporablja policija za luknjanje zračnic pri pregonih vozil.

4.3.3 Termalni laserji

Pri izrazu termalni laserji gre za potencialno oborožitev, ki bo podobno kot Active Denial System, temeljila na povzročanju bolečine – nevzdržnega pekočega občutka na koži in očeh – za odvrčanje ljudi brez trajnih posledic. V tem primeru bo za segrevanje kože namesto mikrovalovnega sevanja uporabljen optični laser, ki bo deloval v infrardečem spektru. Dosedanji razvoj je pokazal, da termalni laserji niso tako učinkoviti pri penetraciji oblačil in delovanju na kožo kot mikrovalovi. Kljub temu je bil ta princip vključen v revidirano zasnovo projekta PhaSR za večjo vsestranskost orožja. Poleg tega naj bi JNLWD leta 2005 podjetju NP Photonics Inc. dodelil dve pogodbi (v vrednosti 1,5 milijona in 1,3 milijon dolarjev) za raziskovanje aplikacij optičnih laserjev, med njimi tudi opisanih termalnih laserjev (Davison 2009, 162).

5 Radijske frekvence, mikrovalovi in milimetrski valovi

Elektromagnetno valovanje ima širok spekter frekvenc, ki imajo lahko zelo različne učinke glede na način uporabe. Najbolje raziskana veja teh DEW se ukvarja z uničevanjem in obrabo nasprotnih elektronskih sistemov, vendar imajo mikrovalovi ter radijski in milimetrski valovi pod pravimi pogoji različne biološke posledice, ki so odvisne od uporabljene moči, frekvence, časa izpostavljenosti, narave žarčenja in obsevanega dela telesa. Do sedaj so znanstveniki zabeležili nešteto mikrovalovnih učinkov, med katerimi so biološke posledice na celični ravni, spremembe v možganski kemiji in funkcijah, spremembe delovanja srca in ožilja, okvare očesa, začasna onesposobitev in smrt (Geis v Davison 2009, 146). Vsi ti učinki še niso povsem razumljeni in so še vedno predmet raziskovanja. Na splošno ločimo dve vrsti delovanja tovrstnega orožja:

- s termalnim učinkom, ki temelji na segrevanju tkiva in deluje podobno kot mikrovalovna pečica in
- brez termalnega učinka, pri katerem gre za motenje možganskih funkcij in sluha ter spremembe v vedenju živih bitij.

(Davison 2009, 146)

Tabela 5.1: Elektromagnetni spekter

Valovanje	Valovna dolžina	Frekvenca
Gama žarki	manj kot 0,01 nm	več kot 10 EHz
Rentgenski žarki	0,01 nm – 10 nm	30 EHz – 30 PHz
Ultravijolična	10 nm – 400 nm	30 PHz – 790 THz
Vidni spekter	390 nm – 750 nm	790 THz – 405 THz
Infrardeča	750 nm – 1mm	405 THz – 300 Ghz
Mikrovalovi	1 mm – 1 m	300 GHz – 300 MHz
Radijska frekvenca	1 mm – 100.000 km	300 GHz – 3Hz

Začetek razvoja orožja, ki spada v kategorijo radijskih frekvenc, milimetrskih valov in mikrovalov, lahko umestimo v petdeseta leta 19. stoletja, ko so se v vojaški sferi ZDA začeli zavedati negativnih učinkov mikrovalovnega sevanja v okolici radarskih in drugih inštalacij, ki so uporabljale mikrovalovno tehnologijo. V ZDA so že zgodaj odkrili termalni učinek mikrovalovnih žarkov, ki so lahko segreli material ali živo tkivo. Raziskovanje zaradi zaskrbljenosti glede bioloških učinkov je potekalo še v osemdesetih, medtem ko so v Sovjetski zvezi raziskovali predvsem mikrovalovno sevanje nizke intenzitete ter posledice letga na človeško vedenje. Posledično so se s tem začeli ukvarjati tudi znanstveniki ZDA in leta 1965 je DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) začela s tajnim programom Project PANDORA, v okviru katerega so na živalih in ljudeh izvajali poizkuse z mikrovalovi nizke moči (Davison 2009, 163). Program je v omejenem obsegu demonstriral potencial psiholoških učinkov mikrovalovnega orožja. Kasneje se je izkazalo, da so se podobne raziskave o manipuliranju človeškega vedenja z mikrovalovi vršile celo v okviru zloglasnega programa CIA-e, MKULTRA³. CIA se je v svojih težnjah po nadzoru in oblikovanju človeškega vedenja poslužila zgodnjih raziskav ameriške mornarice iz poznih štiridesetih, ki jih je nato razširila na več svojih programov.

Vojaško raziskovanje učinkov mikrovalov, radijskih frekvenc in milimetrskih valov se je v ZDA nadaljevalo še v sedemdesetih. Toda fokus raziskovanja mikrovalov tistega časa se je obdržal na uničevanju materialnih sredstev s posebnim poudarkom na onesposabljanju elektronske opreme ter toliko manj na delovanju proti živi sili (tako v smrtonosnem kot nesmrtonosnem smislu). Zanimanje za mikrovalovna orožja je zaradi odkritij novih načinov pridobivanja mikrovalov višjih frekvenc in povečujoče se uporabe elektronike v vojaške

³ MKULTRA je bil obsežen program Centralne obveščevalne agencije ZDA, ki je z začetkom v zgodnjih šestdesetih trajal približno deset let. Cilj programa je bil med drugim raziskati možnosti vplivanja na človeško vedenje s pomočjo kemičnih in bioloških sredstev (npr. LSD-ja), hipnoze, deprivacije čutov, elektrošokov, električne stimulacije možganov in mikrovalov (Davison 2009, 163). Poizkusi so bili izvedeni na ameriških in tujih državljanih ter v precejšnjem številu primerov brez njihovega privoljenja.

namene (proti kateri naj bi bila tovrstna orožja uporabljena) sicer naraščalo, vendar je proračun namenjen za njihovo raziskovanje in razvoj v zgodnjih osemdesetih znašal le 1% vseh takratnih sredstev, ki so bila vložena v razvoj orožij usmerjene energije (Davison 2009, 164). Precejšen preostali del sredstev je bil namenjen programu raziskovanja laserjev visoke moči, ki je bil precej večji v primerjavi s programom mikrovalov in radijskih frekvenc.

Kasneje se je v letu 1982 z ameriško študijo Urada zračnih sil za znanstveno raziskovanje (Air Force Office of Scientific Research) zopet pojavilo zanimanje za orožja, ki bi lahko z uporabo radijskih frekvenc dosegla določene biološke učinke (Davison 2009, 164). Glavni cilji študije so bili načrtati nadaljnje raziskovanje a) potenciala teh orožij za onesposobitev žive sile, b) učinkov protimaterialnih orožij, delujočih na principu radijskih frekvenc, na živo silo in c) zaščite ter protiukrepe proti tovrstnim orožjem (vključno z zaščito za njihove operaterje). Študijo je pospremila ugotovitev, da bi se najprej splačalo raziskati vplive na živo tkivo skozi termalne učinke in šele nato dvoumne psihološke posledice obsevanja z radijskimi frekvencami, kar se je zagotovo zrcalilo v dosedanjem razvoju orožij na principu mikrovalov, radijskih frekvenc in milimetrskih valov.

5.1 Nesmrtonosna orožja na principu radijskih valov, milimetrskih valov ter mikrovalov

V ZDA so se prva razmišljanja o uporabi mikrovalov in radijskih frekvenc v nesmrtonosne namene pojavila leta 1986 na konferenci pravosodnega ministrstva, kjer so obravnavali potencialne načine onesposobitve z elektromagnetnim sevanjem. Kasneje v devetdesetih letih je bilo, na podlagi raziskav o bioloških odzivih na elektromagnetno energijo, predlaganih več možnih načinov uporabe mikrovalov. Med njimi so bili umetno zviševanje telesne temperature, povzročitev občutljivosti na svetlobo in sprožitev epileptičnih napadov (Davison 2009, 165). Vzporedno s tem se je s porastom uporabe elektronike v vojaške namene začela povečevati potreba po orožjih, ki bi bila to tehnologijo sposobna uničiti, četudi (ali ravno s tem namenom) brez večjih posledic za nasprotnikovo živo silo.

Elektronska vezja so se v takšni ali drugačni obliki začela pojavljati v vseh razen najbolj preprostih oblikah orožja in vojaške opreme. Zaradi njihove kompleksnosti je dosti bolj enostavno, da se namesto fizičnega uničenja celotnega oborožitvenega sistema ali inštalacije doseže »mission kill« ali preprečitev opravljanja njihove funkcije, bodisi z uspešnim

motenjem delovanja bodisi delne poškodbe ali uničenja elektronskih delov sistema. To funkcijo v določeni meri izpolnjuje elektronsko bojevanje, ki je omejeno na mašenje signalov in motenje nasprotnikovih sistemov in še to le, ko ti delujejo (Walling 2000). Prav tako je za uspešno motenje potrebno precejšnje predznanje o nasprotnikovih sistemih, obstajajo pa tudi ukrepi, ki omogočajo nadaljnjo nemoteno delovanje (npr. povečanje frekvenčne pasovne širine sistema). Mikrovalovna orožja pa po drugi strani ne bi potrebovala podrobnega predznanja o nasprotnikovih sistemih, niti ne bi bila omejena le na čas njihovega delovanja. Mikrovalovi imajo dolgoročne ali trajne učinke, ki se jih ne da izničiti s ponastavitvijo sistema, kar lahko zahteva dolgo trajna in draga popravila. Tako orožje bi delovalo bolj nediskriminatorno kot elektronsko bojevanje, zato bi moral nasprotnik zaščititi celoten elektronski sistem in ne le posameznih komponent ali vezij. To bi bilo zlasti uporabno pri bojevanju proti nasprotniku, ki uporablja taktiko bojnega roja čolnov – pri BAE Systems razvijajo mikrovalovno orožje, ki bo nameščeno na ladje in bo namenjeno prav temu (Fulghum 2011). S širokim poljem delovanja bi lahko onesposobilo motorje, radarje, komunikacijske naprave in drugo elektroniko, ter jih na takšen ali drugačen način izločilo iz boja. Hkrati obstaja možnost, da bi tak sistem lahko deloval po omejenem delu spektra frekvenc in tako vplival le na delovanje točno določenih naprav.

Raziskovanje protimaterialnega vidika mikrovalov se nadaljuje, kljub temu, da še ni znan noben primer operativne uporabe tovrstnega orožja. Razvoj zaenkrat še omejujejo težave preprečevanja prijateljskega ognja in kolateralne škode, cenovno zahtevno raziskovanje in nepraktična velikost ter teža mikrovalovnih protimaterialnih oborožitvenih sistemov, predvsem pa nezadosten razvoj tehnologije (Walling 2000).

Od orožja z biološkimi učinki na principu mikrovalovanja, milimetrskih valov in radijskih frekvenc pa so si po drugi strani v ameriških zračnih silah obetali tehnologijo, ki bo sposobna človeškim bitjem zadati bolečino na različnih nivojih, vzbuditi občutek dezorientacije ali jih onesposobiti in s katero bi lahko nasprotnikovim silam preprečili vstop in delovanje na določenem področju (area denial) ali ščitili svoje lastne sile z omejevanjem nasprotnika (force protection). Raziskovalno delo na tem področju se je izvajalo v bazi zračnih sil Brooks, kjer so že leta 1968 začeli z raziskovanjem bioloških učinkov radijskih frekvenc, mikrovalov in milimetrskih valov, da bi ugotovili kakšno nevarnost predstavljajo radarski sistemi, ter kakšni zaščitni ukrepi so potrebni za ljudi ob njihovem delovanju. Raziskovanje je obsegalo poizkuse na podcelični ter celični ravni, glodalcih, kozah, opicah in ljudeh, ki so bili izpostavljeni akutnim in kroničnim ponovitvam obsevanja z radijskimi valovi. Biološki učinki, ki so

zanimali raziskovalce so obsegali biokemične, genetske, nevrološke, fiziološke, vedenjske in kognitivne spremembe pri testnih subjektih (Davison 2009, 166). Njihovi izsledki imajo dvojno rabo – kot standardi za zaščito ljudi pred delovanjem radarjev in mikrovalovnih protimaterialnih orožij, ter kot temelj za razvoj orožja zoper živo silo.

5.1.1 Active Denial System – sistem aktivnega zavračanja

Od vseh razvojnih programov, ki so temeljili na uporabi mikrovalov ter radijskih in milimetrskih valov, terja Active Denial System (ADS) največ pozornosti preprosto zaradi dejstva, da je bil med njimi najbolj uspešen pri doseganju zastavljenih ciljev ter prišel v smislu (skorajšnje) uvedbe v oborožene sile bistveno dlje od drugih primerkov. Ker mikrovalovi, radijske frekvence in milimetrski valovi potujejo s svetlobno hitrostjo, lahko oborožitveni sistem kot je ADS z uporabo antene za oblikovanje snopa deluje s takojšnjim učinkom in izjemno natančnostjo. Mikrovalovnega sevanja in radijskih frekvenc ne ovirajo atmosferski pojavi v tolikšni meri kot laserje. Oborožitveni sistem tega tipa tudi ni logistično in cenovno zahteven v primerjavi s kinetičnimi oborožitvenimi sistemi z vidika streliva, ker ga napaja elektrika. Vendar tudi v tem primeru razvoj ovira energijski vir, saj slednji za sprejemljivo delovanje determinira velikost in težo oborožitvenega sistema. Kljub temu, da je ADS že dosegel operativno fazo in je bil predviden za prehod med redna sredstva oboroženih sil ZDA v Iraku, do njegove uvedbe in uporabe ni prišlo. Leta 2010 je bilo določeno število primerkov ADS za krajše obdobje poslanih v Afganistan, vendar niso bili nikdar uporabljeni (Magnuson 2012). Eden izmed razlogov za to so najverjetneje vprašanja o varnosti njegove uporabe in potencialnih trajnih posledicah na človeško telo.

Active Denial System izvira iz zaupnega programa zračnih sil ZDA, ki so v 80. začele z razvojem novih načinov varovanja svojih vojaških inštalacij, v prvi vrsti jedrskih silosov, ki bi temeljili na principu usmerjene energije. Tekom razvoja so obravnavali »aktivne« načine odvracanja z uporabo laserskih, akustičnih, radarskih in drugačnih tehnologij, ki bi vsiljivcem na nesmrtonosen način preprečevale gibanje in delovanje na določenem področju ter zagotovile dovolj časa za primeren taktični odziv (in po potrebi prehod na uporabo smrtonosne sile). Projekt ADS je dobil svoje ime in lasten proračun leta 1993 in do leta 2005 so oborožene sile vložile vanj 51\$ milijonov dolarjev, pri čemer je 9 milijonov znašalo že samo raziskovanje učinkov orožja na človeško telo (Davison 2009, 168).

Prvi prototip s polno zmogljivostjo, imenovan ADS System 0, je po koncesiji izdelalo podjetje Raytheon Co. leta 1999. Po ukinitvi zaupnosti projekta v letu 2000 so se začela testiranja na ljudeh z več kot 200 prostovoljci in 3500 obsevanji. Tekom raziskovalne faze programa so potencialne aplikacije ADS prerasle začetni namen varovanja vojaških inštalacij, saj se je izkazalo, da bi v primeru namestitve oborožitvenega sistema na vozilo lahko oborožene sile ZDA izboljšale svoje delovanje v urbanem okolju. Sledila je izgradnja prototipa 2. generacije, ADS System 1 (prav tako ga je izdelal Raytheon Co.), ki ga napaja baterija, ploska antena pa je nameščena na streho vozila Humvee. Prototip je bil nared za testiranje leta 2004 in naj bi bil po vseh podatkih sodeč sposoben učinkovito delovati na razdalji do 1 kilometra z dovolj širokim snopom, da deluje na tri ali štiri ljudi hkrati. V 2007 je bil dokončan ADS System 2, ki je prilagojen za delovanje v toplejših klimah in lahko deluje s fiksne lokacije ali pa ga prenaša vozilo (Davison 2009, 167-170).

Po nastanku temeljnih modelov ADS, System 0, System 1 in System 2, je bilo razvitih (ali pa so še vedno v razvoju) več verzij tega orožja, prirejenega za različne povpraševalce in namene uporabe. Ministrstvo za obrambo (DoD) in Ministrstvo za notranje zadeve (DoJ) Združenih držav Amerike sta skupaj razvila prenosno, 400-vatno verzijo, ki se jo namesti na trinožno stojalo. Leta 2004 je njihov Nacionalni pravosodni inštitut (National Institute of Justice) podjetju Raytheon Co. namenil sredstva za razvoj ročne inačice ADS, ki bi v velikosti šibrovke na razdalji 15 metrov in s snopom premera 8 centimetrov dosegala učinke, primerljive s tistimi od prototipov polne velikosti. Po njihovi lastni oceni pa trenutna tehnologija zaenkrat ne omogoča zadostne funkcionalne moči in doseganja pravih frekvenc. V popolnem kontrastu z miniaturizacijo slednjega primera, ki bi ga bilo moč uporabiti v nevojaške, policijske namene z večjo mero selektivnosti, so zračne sile ZDA začele s prilagajanjem sistema ADS, da bi se ga lahko namestilo na večja letala, kot na primer C-130. Ta prizadevanja, ki so se prav tako začela leta 2004, stremijo k oborožitvenemu sistemu, ki bo hkrati bolj zmogljiv in bo lahko deloval iz razdalj večjih od 3 kilometrov. Raytheon Co. je neodvisno razvil tudi svojo lastno, komercialno verzijo sistema ADS. Podjetje pod imenom Silent Guardian nudi 30-kilovatno verzijo srednjega dosega (okrog 250 metrov), ki ima anteno s premerom 1,14 metra in se ga lahko namesti na fiksno lokacijo, vojaško transportno vozilo, ali večji poltovornjak. Po besedah proizvajalca, je oborožitveni sistem nared za uporabo po ceni 10 milijonov dolarjev, vendar do sedaj še ni našel kupca. (Davison 2009, 172)

Osnovni koncept delovanja ADS je usmerjen snop milimetrskih valov ob uporabi ploske antene, ki s frekvenco 95GHz⁴ segreje zgornje sloje kože do globine 0,3-0,4 milimetra na temperaturo od 45° do 55° Celzija, kar povzroči pri človeku nevzdržno bolečino v roku nekaj sekund, z omejenim časovnim oknom izpostavljenosti preden pride do opeklin (Davison 2009, 167). Najpomembnejša faktorja sta torej čas izpostavljenosti in intenziteta snopa. Po prepričanju njegovih stvariteljev naj bi pri uporabi ADS do poškodb ne prišlo, ker se bo žrtev obsevanja odmaknila iz območja delovanja snopa še preden se bo koža segrela do praga trajne škode, oči pa bo zavaroval refleks mežikanja. Sistem ima vgrajene senzorje, ki omogočajo operaterju, da vidi sicer človeškemu očesu nevidni snop milimetrskih valov in mu pomagajo pri usmerjanju, ter avtomatski nadzor maksimalnega dovoljenega časa delovanja po sprožitvi. Kljub temu lahko pride do trajnih poškodb v primeru, da bi bile iste tarče po operaterjevi presoji obsevane večkrat zapored, pri čemer bi se temperatura kože hitro stopnjevala. Na ta način bi se lahko povzročile opekline druge in tretje stopnje s potencialno smrtonosnimi posledicami, ker je snop milimetrskih valov dovolj širok, da zajame celotno človeško telo. Prav tako ni nujno, da se bodo prizadeti lahko uspešno umaknili pred snopom, ker jih bodo morda omejevali drugi ljudje v množici ali okolica sama – še posebej, če si bodo pri tem morali hkrati ščititi oči pred milimetrskimi valovi (Davison 2009, 169, 170). Kam in za koliko časa bo usmerjen snop, določa operater sistema, ki ne more vedeti, kdaj točno lahko pride do poškodbe. Tudi sicer so žrtve podvržene edino presoji operaterja, ki je lahko tudi sam tarča napada, kar vpliva na njegovo percepcijo o tem, kaj je sprejemljivo in kaj ne. Po drugi strani se bodo sistemi, kakršen je ADS, prej ko slej srečali s preprostimi protiukrepi. Čeprav snop milimetrskih valov lahko nemoteno deluje na kožo tudi skozi oblačila, ga nevtralizira kakršnokoli trše kritje, še posebej odbojne lastnosti kovine, enako pa velja tudi za radijske frekvence in mikrovalove. Upoštevati je treba, da je sistem ADS sposoben povzročiti trajne poškodbe po več zaporednih intervalih ali daljšem neprekinjenem intervalu obsevanja.

Tudi tekom testiranja prototipov ADS na ljudeh je bilo zabeleženih nekaj primerov opeklin, toda dodatno varnostno vprašanje se pojavlja v zvezi z dolgoročnimi učinki takšnega obsevanja. Poizkusi na miših, ki so jih izvajali razvijalci projekta sicer niso odkrili nobenega dokaza, da bi ADS povzročal raka. NATO poročilo iz leta 2004 pa navaja, da se dolgoročne posledice obsevanja z milimetrskimi valovi ter radijskimi frekvencami še vedno preučuje in

⁴ To je frekvenca, ki naj bi omogočala optimalen prenos snopa milimetrskih valov skozi zrak (Davison 2009, 167).

zaenkrat ne obstajajo rezultati, ki bi pripeljali do dokončnega sklepa o potencialnih dolgoročnih učinkih (Davison 2009, 170).

5.1.2 Mikrovalovni sluh

Mikrovalovni sluh ali zvočni učinek mikrovalovnega sevanja je pojav, pri katerem mikrovalovne pulze določenih karakteristik človek sliši kot brnenje in klike (ali z dodatno modulacijo kot besede). Zaradi naglega (toda relativno majhnega) dviga temperature, ki ga povzroči mikrovalovni pulz, se možgansko tkivo razširi, slušni mehanizem notranjega ušesa pa zazna ta val pritiska in ga prevede v zvok, ki ga lahko slišijo celo gluhi. Prvič so se tega učinka mikrovalovanja zavedli v 2. svetovni vojni v bližini radarskih anten. Sodobna projekta MEDUSA (Mob Excess Deterrent Using Silent Audio) in EPIC (Electromagnetic Personnel Interdiction Control), ki ju sponzorirajo oborožene sile ZDA, želita izkoristiti biološki učinek mikrovalovnega sluha na način, ki bi pri ljudeh vzbudil porušen občutek za ravnotežje, motnje sluha, nevzdržen zvok in slabost (Davison 2009, 175). Kljub temu, da naj bi projekt EPIC že izdal prototip, pa sta oba programa še daleč od operativne faze. Vprašanje je tudi, kako bodo pred učinki takšne naprave zavarovani njeni operaterji in na kakšen način bosta kontrolirana intenzivnost in območje delovanja.

6 Zvok

Razvijalci akustičnih orožij so računali na posebne lastnosti zvoka in številne učinke, ki jih lahko ima zvok na človeško telo. Ciljali so na oborožitvene sisteme, ki bi lahko pri različnih frekvencah in moči, na razdaljo, v snopu in s kontrolirano jakostjo odvrnili ali onеспособili človeka, celo skozi zidove.

Izkazalo se je, da se zvok pri prenosu skozi atmosfero prehitro porazgubi, kar povzroča probleme pri oblikovanju snopa in kratek domet. Če bi res želeli akustično orožje, ki bi delovalo skozi stene ali po celotni stavbi, bi potrebovali neprimerno veliko, težko in potratno napravo, katere zvočni valovi bi zaradi prej omenjenega problema najverjetneje zajeli tudi upravljavce. Učinke, ki bi se smatrali za uporabne pri odvrčanju ali onеспособljanju, spremljajo trajne poškodbe sluha in drugi učinki na dihala ter organe, ki so neskladni z namenom nesmrtonosnega orožja. V preostalih primerih so učinki zanemarljivi oziroma

prešibki, da bi lahko pri delovanju resno ovirali odločnega človeka ali premagali preprosto slušno zaščito.

Ker zvočno valovanje na materialna sredstva nima konkretnih učinkov primerljivih npr. z mikrovalovnim sevanjem, so se prizadevanja za razvoj akustičnega orožja usmerila izključno na delovanje zvoka, ki bi lahko dezorientiralo ali onesposobilo posameznika ali skupino ljudi. Raziskovanje v tej smeri zato navadno vključuje razvoj vzdrževanega zvočnega snopa ali pulzov z različnimi frekvencami, trajanjem in tlakom na začetku akustičnega vala, ki vplivajo na notranje organe, čutila in centralni živčni sistem. Med odkrite učinke, ki jih lahko povzroči zvok, sodijo poškodbe sluha, nelagodje, izguba ravnotežja, motnje dihanja, notranje krvavitve, mišični krči, dvig telesne temperature in opekline ter akustična kavitacija⁵ (Žabkar 2007, 263).

Žal so zaradi tehnoloških omejitev ter same narave zvoka, meje med uporabnimi in neuporabnimi učinki zabrisane, nesmrtonosne učinke, ki so jih razvijalci orožja želeli doseči, pa pogosto spremljajo trajne poškodbe sluha. Posamezniki se med seboj razlikujemo v telesni konstituciji, zato tudi v določeni meri nekateri učinki niso pri vseh ljudeh enaki. Poleg tega skoraj vsa akustična orožja spremljajo težave z oblikovanjem usmerjenega snopa in kratek uporabni doomet, ki ga lahko dosežejo.

6.1 Biološki učinki zvoka

Pri večini akustičnih orožij se uporabljajo predvsem visoki nivoji zvoka (merjeni v decibelih – dB) nizkih frekvenc (infrazvok in low audio) in high audio frekvenc.

Infrazvok je lahko pri visokih nivojih izredno neprijeten, vendar nima bolj oprijemljivih učinkov. Low audio je zmožen povzročiti onesposobitev, vendar le pri zelo visokih zvočnih nivojih, ki že lahko pomenijo trajno poškodbo sluha. Nizkih frekvenc se tudi ne da oblikovati v usmerjen snop in njihovih visokih zvočnih nivojev se ne da generirati na večjih razdaljah, kar pomeni, da bi bila uporaba takega oborožitvenega sistema omejena na kratke razdalje, najverjetneje notranjost zgradb, njihovo delovanje pa bi zajelo tudi njegove upravitelje (Davison 2009, 186, 187).

⁵ Kavitacija je pojav, ki ga spremlja nastanek mehurčkov telesnih tekočin, ki lahko s povečano temperaturo in pritiskom fizično uničijo živo tkivo (Žabkar 2007, 263).

Tabela 6.1 – Pragovi zvočnih nivojev za različne učinke na človeško telo pri različnih frekvencah v zraku

Frekvenčni razpon (Hz)	Infrazvok 1 – 20 Hz	Low audio 20 – 250 Hz	High audio 250 Hz – 8 kHz	Very high audio / Ultrazvok >8 kHz / 20 kHz
bolečina v ušesih	60 - 140 dB	40 – 135 dB	140 dB, nelagodje pri 120 dB	140 dB
trajne poškodbe sluha pri kratki izpostavitvi	brez učinkov do 170 dB	brez učinkov (do 150 dB)	135 dB (7 min) 150 dB (0,4 s)	brez učinkov (do 156 dB)
počen/raztrgan bobnič	nad 170 dB	160 dB	160 dB	N/A
motnje v ravnotežju	brez učinkov (do 170 dB)	150 dB – rahla slabost	140 db – rahle motnje v ravnotežju	brez učinkov (do 154 dB)
učinki na dihalne organe	brez učinkov (do 170 dB)	150 dB – nevzdržno dušenje, kašljanje itd.	140 dB – žgečkanje v ustni votlini 160 dB - segrevanje	140 dB – žgečkanje v ustni votlini 160 dB - segrevanje

Vir: Davison (2009, 187).

Visoke frekvence so po drugi strani lahko oblikovane v snop, vendar so zelo visoki nivoji zvoka pri teh frekvencah lahko projicirani le več deset metrov, če želimo pri tem ohraniti napravo za oddajanje zvoka v kakršnikoli praktični velikosti (Davison 2009, 187). Poleg tega se pri visokih nivojih zvoka v slišnem spektru človeškega ušesa, kjer se začno pojavljati občutni stranski učinki zvoka, lahko pojavi nepopravljiva škoda sluha, kar ni več sprejemljivo za namene nasmrtonosnega orožja. Pri zmernejših nivojih, kjer možnost poškodbe sluha ne obstaja (razen pri dolgotrajni izpostavljenosti), pa je učinek preblag, da človeku povzročil kaj drugega kot nelagodje ob preglasnem in neprijetnem zvoku. To ne bi nujno učinkovito onemogočilo ali odvrnilo človeka, še posebej če upoštevamo, da se da tovrstne učinke še dodatno ublažiti s preprosto slušno zaščito.

Prve oblike nesmrtonosnega akustičnega orožja so bile pravzaprav izredno močni zvočni sistemi kot je HPS-1 iz 60-ih let, ki je lahko projiciral zvok prek 4 kilometre daleč. Američani so ga v vietnamski vojni, nameščenega na helikopterje, uporabljali za psihološke operacije, kmalu pa so prepoznali njegovo uporabnost pri nadziranju množic in razbijanju protestov. Ob uporabi pomožnega sistema, imenovanega »Curdler«, se je HPS-1 spremenil v napravo, ki je oddajala prediren, zavijajoč zvok, ki je onemogočal komunikacijo med protestniki ter jih prisilil, da so si pokrili ušesa (Davison 2009, 188).

Največ zanimanja za akustična orožja je bilo zabeleženega v ZDA, kjer so v 90-ih različne veje njihovih oboroženih sil in agencij za notranjo varnost izvedle precejšen nabor raziskav o psiholoških in bioloških učinkih zvoka ter njihovih potencialnih aplikacijah.

Kopenska vojska ZDA je v letu 1992 v okviru svojega programa za razvoj alternativnih orožij, namenjenih znižanju kolateralne škode, namenila koncesijo podjetju SARA Inc. za razvoj dveh prototipov akustičnih orožij: prvo z visoko-energetskim, nizko-frekvenčnim akustičnim snopom, ki bi bilo namenjeno uporabi proti živi sili v vozilih in bunkerjih; in drugo v obliki sistema anten, ki bi lahko ustvarile »akustični naboj«, ki bi lahko po izbiri povzročil človeku nelagodje, ga onesposobil ali smrtno poškodoval (Davison 2009, 189-191). Raziskovalni laboratorij Kopenske vojske (ARL) je zgradil prototipno napravo, imenovano SADAG (Sequential Arc Discharge Generator), ki je proizvajala akustične impulze s pomočjo sproščanja električne energije visoke napetosti, iz vrst Marincev pa je prišla naprava Gayl Blaster, ki je bila zmožna ustvarjati usmerjene frekvence zvoka (Davison 2009, 191).

Testiranje nekaterih omenjenih prototipov na živalih, ki ga je izvedel AFRL v obdobju 1996 – 1999, je pokazalo na precejšnje razhajanje v pričakovanjih ter realnimi dosežki. Testiranju na opicah in prašičih je bilo podvrženih skupno pet prototipov, ki so delovali v slišnem spektru – trije iz podjetja SARA Inc., Gayl Blaster in SADAG, pri čemer noben izmed njih ni dosegel rezultatov bistvenega pomena. Izkazalo se je, da nobena od teh naprav ni imela pričakovanega učinka na živali, kakršnokoli stopnjevanje v jakosti delovanja, pa bi povzročilo trajne poškodbe slušnih organov živali. Kot tako bi raziskovanje padlo izven domene nesmrtonosnega orožja, zato s poskusi ni imelo smisla nadaljevati. V istem obdobju je AFRL, podprt s sredstvi DARPA in NIJ raziskoval tudi učinke neslišnih, ultra-nizkih frekvenc na človeško počutje in fizično stanje, ki bi se lahko izkazali koristni pri reševanju talcev ipd. Opice, zaprte v resonančno komoro, skozi katero se je širil infrazvok s 160 dB, so se sicer na to odzvale s panično reakcijo, vendar so raziskovalci sklenili, da je to prešibak odziv, da bi imel praktično aplikacijo (Davison 2009, 192, 193). Poleg tega bi bilo isti princip mnogo težje uporabiti v zgradbi ali odprtem prostoru kot v idealnih pogojih majhne komore, zato so ob pomanjkanju rezultatov nadaljnje raziskovanje opustili.

6.2 Podvodna akustična orožja

Ker zvok v vodi poseduje drugačne značilnosti kot v zraku, in posledično tudi drugače vpliva na okolje, bi bil smiseln razvoj podvodnega nesmrtonosnega orožja, ki bi bilo namenjeno odvrčanju potapljačev in plavalcev v bližini pristanišč in drugih obmorskih inštalacij. To opcijo so raziskovali tako v mornarici kot obalni straži ZDA, pri čemer je bil njihov cilj

razviti napravo, ki bi s pomočjo zvoka pri plavalcu povzročila motnje dihanja in ravnotežja ter odpoved prostorske zaznave pri potapljačih (Davison 2009, 201-204). Raziskovanje v tej smeri so opustili, ker so uvideli, da bi omenjeni učinki, ki bi bili dovolj močni, da bi učinkovito preprečili približevanje območju delovanja naprave, hkrati lahko povzročili utapljanje pri plavalcih ali dekompresijsko bolezen zaradi preneglega dviga v primeru potapljačev. Nadaljnji razvoj se je zato preusmeril k preprostemu podvodnemu opozarjanju z zvokom in svetlobnimi bliski.

7 Zaključek

Orožju usmerjene energije je spodletelo prav na točkah, kjer je obljubljal največ. Skrajna natančnost, delovanje s svetlobno hitrostjo in neodvisno od gravitacije, ki jih implicira usmerjena energija, pestijo težave pri oblikovanju snopa. Ti problemi postanejo še izrazitejši zaradi specifičnih lastnosti prenosa energije skozi prostor in vplivov atmosferskih pojavov kot so dež, megla itd. Kvaliteta usmerjenega snopa je poglobitna lastnost DEW, saj je od njega odvisno območje delovanja, učinkoviti domet ter sam efekt na tarčo. Očitno je, da so razvijalci tovrstnih orožji računali na napravo, pri kateri bo mogoče nastavljeni površino delovanja snopa in hkrati količino prenesene energije, kar bi omogočalo velik nabor učinkov, od smrtonosnih do nesmrtonosnih. Delno jim je to uspelo pri sistemu ADS, v ostalih primerih pa so naleteli na takšne ali drugačne omejitve, ki so naredile napravo nefunkcionalno.

Stopnjevanje moči in posledično učinkov se je že samo po sebi izkazalo za problematično. Dezorientacija, bolečina, motnje ravnotežja, začasna onesposobitev in podobni učinki, ki so zanimali raziskovalce nesmrtonosnih DEW, so se pojavljali ali v prešibkih oblikah, da bi jih lahko smatrali za uporabne, ali vzporedno s trajnimi poškodbami, ki bi diskvalificirale tako orožje iz uporabe v nesmrtonosne namene. Enako velja za DEW, ki bi lahko vplivali na vedenjske vzorce, razpoloženje ter druge psihološke vidike – učinki mikrovalovnega sluha so se izkazali za prešibke, medtem ko zvok, pri moči in frekvencah, ki bi lahko izzvale takšne rezultate, že garantira pretirane poškodbe telesa.

V večini primerov orožja usmerjene energije terjajo precejšnjo porabo energije. Prednost, ki bi olajšala logistične in finančne zahteve oborožitvenega sistema, pravzaprav predstavlja eno

večjih ovir pri nadaljnjem razvoju. Slabi energijski izkoristki in tehnološke omejitve so razlog, da mora večina DEW imeti precejšen vir napajanja, kar bistveno doda k teži in volumnu sistema ter zmanjša njegovo uporabnost. Če oborožitveni sistem ni statičen, bo za njegovo delovanje potrebna platforma, najverjetneje tovorno vozilo, ki bo sposobno prevažati tako sistem sam kot tudi zadosten energijski vir za njegovo delovanje. Nekatere oblike DEW manjše moči se že bližajo dimenzijam osebnega orožja, kot na primer PHaSR, vendar bo treba zaradi praktičnega vidika tudi v tem primeru nadaljevati z miniaturizacijo sistema.

Ob primerjavi DEW s preostalimi obstoječimi nesmrtonosnimi sredstvi vidimo, da so slednja v prednosti. Ker so tehnološko manj napredna in preprostejša, so zaradi tega tudi enostavnejša za uporabo in finančno bolj dostopna. Nekatera so v uporabi že mnogo let in so zato že dodobra uveljavljena. Orožja usmerjene energije po drugi strani niso dosegle zadanega cilja – razviti oborožitvene sisteme, ki bi lahko z bistveno manjšo verjetnostjo trajnih poškodb in z nastavljivo intenziteto v poljubni meri odvrčale ali onesposobile svoje tarče.

Morda je taka ocena prestroga, glede na to, da so nesmrtonosna DEW šele v razvoju, vendar trenutni projekti ne obljublajo nobenih revolucionarnih sprememb v svetu nesmrtonosnih sredstev.

Pregled preteklega razvoja DEW nam jasno pove, da je bilo vanje položenih veliko upov za nove smrtonosne in nesmrtonosne oblike orožja. Principi delovanja akustičnih, laserskih in mikrovalovnih orožij ter orožij, ki uporabljajo milimetrskе valove in radijske frekvence, so obljubljali preskok v vojaški miselnosti. Vendar raven tehnologije ni omogočala zadostnega napredka pri razvoju uničevalnega potenciala orožja usmerjene energije, da bi lahko nadomestila konvencionalna projektilna orožja. Posledično se je večina raziskovanja preusmerila k nesmrtonosnemu delovanju in podpori že obstoječih sredstev. Tudi na tem področju je njihov razvoj potekal počasi in z omejenimi rezultati, medtem ko so druge oblike nemrtonosnega orožja vmes hitro polnile vrzeli v potrebah sodobnega vojskovanja.

Kljub svojim edinstvenim lastnostim nesmrtonosna DEW največ novosti napram preostalim nesmrtonosnim orožjem prispevajo zaradi svojih različnih principov delovanja. Vendar imajo vsa izmed njih po primerljivih učinkih analogne, že obstoječe predstavnike. Zato, kot vidimo, bistvenih prednosti, po katerih se sprašujemo v hipotezi tega diplomskega dela, na tej stopnji ni. V najboljšem primeru so zgolj alternative drugim nesmrtonosnim sredstvom.

Očitno je, da zaradi pomanjkanja konkretnih rezultatov – orožja, ki bi bilo pripravljeno na operativno uporabo na širši ravni – zanimanje za DEW upada. Ameriško ministrstvo za obrambo je DEW financiralo že leta 1975, v letu 1983 je financiranje doseglo vrhunec z 827 milijoni dolarjev, nato pa začelo postopoma upadati in v letu 1993 je proračun znašal le še 162 milijonov dolarjev (GlobalSecurity 2008). Vendar edinstvene lastnosti orožja usmerjene energije, ki so do sedaj pritegovale zanimanje in sredstva oboroženih sil po svetu, obljublajo, da se bo kljub neuspehom raziskovanje v tej smeri nadaljevalo. Če pomislimo kako dolgotrajen je bil razvoj smodniškega orožja, vemo, da je potrebno večasih pri razvijanju orožja razmišljati v desetletjih in stoletjih. Rečemo lahko, da se je razvoj orožij usmerjene energije in njihovih nesmrtonosnih vidikov šele dobro začel.

8 Literatura

1. Alexander, John B. 2000. *Future war: non-lethal weapons in twenty-first-century warfare*. New York: Thomas Dunne Books.
2. Antal, John. 2011. Phasers on Stun. *Military Technology* 35 (7). Dostopno prek: <http://ehis.ebscohost.com.nukweb.nuk.uni-lj.si/eds/detail?sid=df89bf24-7755-4059-84cb-718377292021%40sessionmgr4004&vid=2&hid=4111&bdata=Jmxhbm9c2wmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#db=edsgao&AN=edsgcl.265150294> (24. november 2013).
3. --- 2013. Today's Directed Energy Weapons. *Military Technology* 37 (10). Dostopno prek: <http://ehis.ebscohost.com.nukweb.nuk.uni-lj.si/eds/detail?sid=74ac0213-8c6c-494b-8f8b-03cc249929c1%40sessionmgr110&vid=2&hid=102&bdata=Jmxhbm9c2wmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#db=a9h&AN=91806338> (24. november 2013).
4. FAS. 2010. *Convention on Conventional Weapons*. Dostopno prek: <http://www.fas.org/nuke/control/ccw/index.html> (10. januar 2010).
5. Defense Update. 2009. *The U.S. Army's Tactical High-Energy Laser Weapon is Underway*. Dostopno prek: http://defense-update.com/newscast/0808/2108081_heltd.html (10. januar 2010).
6. Davison, Neil. 2009. *'Non-Lethal' Weapons*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.
7. Department of Defense. 1996. *DIRECTIVE NUMBER 3000.3*. Dostopno prek: <http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/pdf/300003p.pdf> (22. maj 2009).
8. Dictionary.com. 2013. *dazzle*. Dostopno prek: <http://dictionary.reference.com/browse/dazzle?s=t> (17. oktober 2013).
9. Dockery, Kevin. 2007. *Future weapons*. New York: Berkley Caliber.
10. English Russia. 2012. *Star Wars Laser Machines of the Soviet Past*. Dostopno prek: <http://englishrussia.com/2012/05/15/star-wars-laser-machines-of-the-soviet-past/> (24. november 2013).
11. Fulghum, David A. 2011. Directed Energy at Sea. *Aviation Week & Space Technology* 173 (15). Dostopno prek: <http://ehis.ebscohost.com.nukweb.nuk.uni-lj.si/eds/detail?sid=90e258a1-83de-4b87-94c3-c366ac208c5f%40sessionmgr4001&vid=1&hid=4102&bdata=Jmxhbm9c2wmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#db=buh&AN=62283052> (24. november 2013).

12. Forestier B., A. Houard, I. Revel, M. Durand, Y. B. Andre, B. Prade, A. Jarnac, J. Carbonnel, M. Le Neve, J. C. de Miscault, B. Esmiller, D. Chapuis in A. Mysyrowicz. 2012. Triggering, guiding and deviation of long air spark discharges with femtosecond laser filament. *AIP Advances* 2. Dostopno prek: http://www.bahaistudies.net/asma/laser_filament.pdf (24. november 2013).
13. GlobalSecurity. 2008. *Directed Energy Weapons*. Dostopno prek: <http://www.globalsecurity.org/space/systems/dew.htm> (10. januar 2010).
14. Gummet, Phillip in Josephine Anne Stein. 1997. *European defence technology in transition*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers.
15. Hughes, Robin. 2013. Rheinmetall widens the aperture for laser weapons. *IHS Jane's Defence Weekly*, 29. oktober. Dostopno prek: <http://www.janes.com/article/29166/rheinmetall-widens-the-aperture-for-laser-weapons> (24. november 2013).
16. Human Rights Watch. 1995. *U.S. Blinding Laser Weapons*. Dostopno prek: <http://www.refworld.org/cgi-bin/texis/vtx/rwmain?page=category&category=COI&publisher=HRW&type=&coi=USA&docid=3ae6a7cf10&skip=0> (24. november 2013).
17. Jackson, Richard B., Jason R. Hutchinson. 2006. Lasers are Lawful Non-Lethal Weapons. *The Army Lawyer*. Dostopno prek: http://www.loc.gov/rr/frd/Military_Law/pdf/08-2006.pdf (24. november 2013).
18. Keller, John. 2009. Navy wants ideas from industry on how to counter directed-energy weapons. *Military & Aerospace Electronics* 20 (11). Dostopno prek: <http://ehis.ebscohost.com.nukweb.nuk.uni-lj.si/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=ce2a9a34-12a8-469b-8479-11fa7f8a2fb3%40sessionmgr4004&vid=1&hid=4113> (24. november 2013).
19. Knight, Will. 2005. *US military sets laser PHASRs to stun*. Dostopno prek: <http://www.newscientist.com/article/dn8275> (10. januar 2010).
20. Koplou David A. 2006. *Non-lethal weapons: the law and policy of revolutionary technologies for the military and law enforcement*. New York: Cambridge University Press.
21. Kopp, Carlo. 2008. *High Energy Laser Directed Energy Weapons*. Dostopno prek: <http://www.ausairpower.net/APA-DEW-HEL-Analysis.html#ATL> (10. januar 2010).
22. Magnuson, Stew. Weight, Size Issues Stymie Fielding of Directed Energy Weapons. *National Defense* (705). Dostopno prek: <http://ehis.ebscohost.com.nukweb.nuk.uni->

- lj.si/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=7c58035e-0e78-4ad0-90c7-65ec16886186%40sessionmgr4002&vid=1&hid=4210 (24. november 2013).
23. Narcisse, Leon C., Steven T. Fiorino in Richard J. Bartell. 2009. Optimizing the Effectiveness of Directed Energy Weapons with Specialized Weather Support. *Air & Space Power Journal* 23 (2). Dostopno prek: <http://ehis.ebscohost.com.nukweb.nuk.uni-lj.si/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=c54baee1-d6db-4a0c-bd73-88399225ad86%40sessionmgr4003&vid=1&hid=4210> (24. november 2013).
24. Park, Charles E. 2007. Directed Energy Weapons and the Asymmetric Fight. *WSTIAC Quarterly*. Dostopno prek: <http://wstiac.alionscience.com/pdf/WSTV7N1.pdf> (10. januar 2010).
25. Rockwell Laser Industries. 1996. *Laser Standards and Classifications*. Dostopno prek: <http://www.rli.com/resources/articles/classification.aspx> (24. november 2013).
26. Schroerer, Dietrich. 1987. *Directed-Energy Weapons and Strategic Defence: A Primer*. London: International Institute for Strategic Studies.
27. Shukman, David. 1996. *Tomorrow's War: The Threat of High-Technology Weapons*. York, San Diego, London: Harcourt Brace.
28. *Ukaz o razglasitvi zakona o ratifikaciji Dodatnega protokola h Konvenciji o prepovedi ali omejitvi uporabe nekaterih vrst klasičnega orožja, za katere se lahko šteje, da imajo čezmerne travmatične učinke ali da glede ciljev delujejo enako*. Dostopno prek: <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlImpid=200277> (10. januar 2010).
29. USAF Fact Sheet. 2006. Dostopno prek: <http://www.kirtland.af.mil/shared/media/document/AFD-070404-043.pdf> (24. november 2013).
30. Wallace, John. 2009. *Northrop Grumman's electric laser tops the 100 kW mark*. Dostopno prek: <http://www.optoiq.com/index/display/article-display/356645/articles/laser-focus-world/technology-news/northrop-grummans-electric-laser-tops-the-100-kw-mark.html> (10. januar 2010).
31. Walling, Eileen M. 2000. *High Power Microwaves: Strategic and Operational Implications for Warfare*. Dostopno prek: <http://www.globalsecurity.org/military/library/report/2000/ocpppr11.htm> (24. november 2013).
32. Žabkar, Anton. 2007. *Pehotna oborožitev in oprema: stanje in smeri razvoja*. Ljubljana: Defensor.