

ARMELE CU ENERGIE DIRECȚIONATĂ – COMPONENTĂ A TEHNOLOGIEI EMERGENTE PERTURBATOARE CU IMPLICAȚII ASUPRA STABILITĂȚII STRATEGICE

Colonel (r.) dr. Romică CERNAT

*Cadru didactic universitar asociat, Departamentul de Științe Politice,
Facultatea de Științe Politice, Filosofie și Științe ale Comunicării, Universitatea de Vest, Timișoara
10.55535/GMR.2024.4.38*

Directed energy weapons represent an emerging, disruptive, credible, relevant technology with the potential for use in all military action domains and with the role of influencing the power balance globally.

Given that the nature of the threats has changed in the current security environment, the great powers need a more strategic approach to capitalize on future technologies, including directed energy weapons, in a successful manner. Against the background of escalating tensions in many regions of the globe, emerging technologies are an essential lever for both defence and deterrence. In relation to conventional kinetic weapons, directed energy weapons have some advantages – precision, reduced costs, calibrated effects, possibility to be employed to neutralize vital targets for adversaries without causing collateral damages –, but also some disadvantages: decreasing the force and effect of the radius/beam, relatively range short, impossibility of being employed against the targets located behind some obstacles, low progress in adapting to the needs of the armed forces services and fielding in weapon systems.

Electromagnetic radiation is critical for communications, command and control, navigation, targets acquisition, information collection, surveillance, reconnaissance, missile guidance, early warning, and neutralization of targets, aspects that have propelled the development of capabilities, including directed energy weapons directed, to counteract efficient use of electromagnetic spectrum or to neutralize some targets.

Keywords: directed energy weapons; high energy lasers; high-power microwave weapons; electromagnetic spectrum; drones;

INTRODUCERE

Schimbarea ordinii mondiale este în desfășurare, la fel și cea mai mare competiție tehnologică din ultima epocă. Este din ce în ce mai dificil pentru o superputere să mențină supremația tehnologică, având în vedere ascensiunea și progresele Chinei, dar și evoluțiile tehnologice ale celorlalte mari puteri. Rusia și China, împreună cu aliații lor, fac eforturi vizibile să reorganizeze ordinea globală și să promoveze interesele lor economice și politice la nivel global – acțiuni care amenință statutul SUA de lider global (Booz, 2024, pp. 1-10).

Atât în documentele SUA privind securitatea națională, cât și în studiile privind echilibrul de putere și descurajarea la nivel global sunt menționate un număr de *tehnologii emergente* care ar putea avea un impact perturbator asupra celor două domenii în anii următori, dar și implicații semnificative pentru cursa înarmării, conceptele militare ale operațiilor și viitorul războiului. Aceste tehnologii includ: *inteligența artificială, sistemele letale de arme autonome, armele hipersonice, armele cu energie direcționată, biotehnologia și tehnologia cuantică.*

Armele cu energie direcționată (AED) sunt definite ca acele arme care folosesc energie electromagnetică concentrată, pentru a împiedica funcționarea normală, provocarea de daune fizice care să le afecteze utilizarea, scoaterea din funcțiune, distrugerea echipamentelor, tehnicii și armamentului, precum și neutralizarea personalului inamicului. Costurile reduse pentru lovituri și capacitatea aproape nelimitată de executare a focului le transformă în mijloace eficiente și eficace, în raport cu cele convenționale, pentru apărarea împotriva salvelor de rachete și a grupărilor aeriene mari și dense de vehicule fără pilot.

Teoretic – datorită vitezei de reacție –, armele cu energie direcționată ar putea reprezenta o opțiune viabilă pentru interceptarea rachetelor în faza de impuls, dar experții nu sunt convingși de fezabilitatea și implementarea acestei soluții. AED ar putea fi folosite pentru a dezactiva temporar sau pentru a deteriora/avaria sateliții și senzorii, acțiune ce ar putea afecta operațiile de colectare a informațiilor, comunicațiile militare, precum și sistemele de poziționare, navigație și sincronizare utilizate pentru determinarea țintelor. *Armele cu microunde de mare putere mare (AMMP), ca parte a AED, reprezintă mijloace non-cinetice pentru neutralizarea sistemelor de comunicații, electronice, precum și a dispozitivelor explozive improvizate.* De asemenea, a fost explorată și posibilitatea utilizării acestora

pentru controlul mulțimii (Sayler, ian. 2024, pp.1-3, O'Rourke, 2023, pp. 1-20, Sayler, febr. 2024, pp. 1-3).

Suntem într-o perioadă a unei competiții accentuate pentru statutul de superputere, care are consecință un mediu de securitate din ce în ce mai contestat, cu războaie în Europa și Orientul Mijlociu, dar și confruntări în Mările Chinei de Sud și de Est. SUA consideră China principala amenințare pentru securitatea sa națională, urmată îndeaproape de Rusia. În ultima perioadă, ambele au susținut un program amplu de investiții în știință și tehnologie militară. China, pentru a contracara Joint All-Domain Command and Control initiative/JADC2 (Inițiativa întrunită de comandă și control în toate mediile a SUA), dezvoltă un nou proiect militar, cunoscut sub numele de *Război de precizie multi-mediu*, pentru a-și moderniza forțele specifice fiecărui mediu, de la cel cibernetic la cel spațial. Ambele concepte operaționale fundamentale se bazează pe interconectarea comenzii și controlului, comunicațiilor, calculatoarelor, informațiilor, supravegherii și recunoașterii pentru a coordona rapid puterea de foc și a exploata punctele slabe ale adversarului. Analizii din zona apărării susțin că AED vor juca un rol cheie în ceea ce este cunoscut sub numele de *apărare stratificată*, dispunând de tehnologia sau contramăsurile necesare pentru a neutraliza multiple amenințări în situații complexe. Implementarea AED este afectată de complexitatea lor tehnologică, dar și de anumite materiale, cum ar fi germaniul și galiul, și de componentele scumpe pentru precizie (Demarest, 2024, pp. 1-5).

AED includ *lasere cu energie mare* (LEM), *arme cu microunde de mare putere* (AMMP) și *arme cu fascicul de particule* (Sayler, febr. 2024, pp. 1-3). AED fac parte dintr-un set de capabilități avansate și domenii care sunt esențiale pentru *descurajare* și *menținerea avantajului competitiv* de către marile puteri. Acest articol examinează unele dintre consecințele introducerii acestor arme în înzestrarea armatelor, pentru stabilitatea globală (Townshend, 2019, pp. 2-15; Department of Defense, 2022, pp. 1-22).

Efectul de descurajare al tehnologiilor emergente funcționează atunci când potențialilor adversari li s-au pus la dispoziție suficiente date privind un anumit sistem de arme, pentru a-l considera cert, autentic și, concomitent, li se creează incertitudine privind potențialul propriilor capabilități (Townshend, pp. 2-15). Conflictul din Ucraina a evidențiat și o schimbare în strategia marilor puteri, generată de întrebuintarea în luptă, în toate mediile, a unui spectru larg de sisteme și platforme de arme, de la cele convenționale la capabilități bazate pe tehnologiile emergente, război politic și informațional, instrumente culturale și forme sofisticate de exercitare a puterii. *O nouă dimensiune a descurajării este determinată*

de proiectarea puterii bazată pe asocierea/combinarea noilor tehnologii emergente cu noile tehnici de război hibrid și provocări și praguri ambigue. Adaptarea la aceste noi realități, prin adoptarea unor abordări eficiente și ferme la acest tip de descurajare, poate fi o modalitate de răspuns (Ib.). O generație nouă de arme – multe dependente de așa-numita tehnologie emergentă – va permite forțelor desfășurate în teatrul de acțiuni militare descoperirea și lovirea oportună, cu precizie, rapidă, a țintelor în toate mediile de ducere a acțiunilor de luptă.

Marile puteri alocă fonduri considerabile pentru dezvoltarea AED – tehnologii de apărare critice și emergente –, cu scopul de a le folosi pentru a anihila amenințările prezentate de drone și rachete, dar și pentru utilizarea în calitate de capabilități spațiale. Printre aplicațiile potențiale de aplicare pot fi enumerate *LEM* și capabilități cu *MMP*, *sisteme cu rază scurtă de acțiune utilizate pentru apărarea aeriană (SRSAAA)* și pentru a neutraliza *sistemele aeriene fără pilot (SAP)*, precum și neutralizarea *rachetelor, pieselor de artilerie și aruncătoarelor (RAA)* (Demarest, 2023, pp. 1-12). *NATO a accelerat procesul de transformare și adaptare pentru a face față amenințărilor prezente și viitoare și pentru a menține avantajul tehnologic, inclusiv prin experimentarea și implementarea mai rapidă a tehnologiilor emergente* (North Atlantic Council, 2024, pp. 1-6).

Laserul întrebuintează energia direcționată pentru neutralizarea unei ținte. Aceasta nu se realizează prin încălzire și topire, nu există o interacțiune a undelor, ci doar o cantitate mare de energie. Se focalizează un fascicul sau un fascicul de energie pentru a orbi, a tăia sau a provoca daune prin încălzire asupra unei ținte. AMMP folosesc spectrul electromagnetic în aer, spațiu pentru a anula/opri capacitatea de a opera corespunzător, a oricărui sistem care folosește tensiune electrică și curent electric. Acestea emit unde de energie care suprasolicită sau „prăjesc” componentele electronice. Fiecare tip de armă cu energie direcționată are *puncte forte* și *puncte slabe*. Pentru ca un laser să fie eficient, sistemul său trebuie să poată detecta o amenințare și să o urmărească. Chiar dacă sunt puternice, practice, iar sistemul are dimensiuni relativ reduse, distanța estimată la care operează actualele sisteme este de aproximativ 7 kilometri (Demarest, ib.), iar starea vremii și durata de acțiune pot încă să le afecteze utilitatea. În timp ce AMMP pot avea un efect aproape instant asupra componentelor electronice, eficacitatea lor este redusă la distanțe mai mari. Și, în timp ce LEM pot perfora materiale diferite, anumite condiții atmosferice, inclusiv ceața sau vântul, pot afecta sau modifica rezultatul la țintă. Având în vedere că totul este automatizat, platforma este dependentă de producția, continuitatea și cantitatea de energie electrică

care o alimentează. Armatele fac eforturi pentru a materializa sistemele de energie direcționate în capacități ofensive și defensive.

În comunitatea de apărare, în general, este recunoscut că există un decalaj mare între *dezvoltarea* unei tehnologii, *implementare* și *achiziția* acesteia. Referitor la armele cu energie direcționată – tehnologie prea importantă pentru a fi ignorată, potrivit experților –, se constată o presiune și urgență pentru accelerare, generate și de Războiul din Ucraina, pentru necesitatea finalizării procesului de dezvoltare și implementare (ib.). Datorită dezvoltării explozive a tehnologiei moderne și accelerării proliferării armamentelor, există o îngrijorare reală în rândul oamenilor de știință cu privire la efectele științei și tehnologiei asupra omenirii, pozitive și negative, potențiale și reale și, mai ales, despre rolul științei și al oamenilor de știință în evoluția echilibrată a implementării în domeniul militar a rezultatelor acestora. Întrucât conflictele din Ucraina și Orientul Mijlociu continuă, marile puteri acționează pentru adaptarea forțelor armate la noua realitate a războiului și eficientizarea strategiilor de modernizare pentru a face față provocărilor mediilor de ducere a acțiunilor de luptă (Demarest, 2024, pp. 1-5).

Stabilitatea globală, de regulă, este afectată atunci când o mare putere dispune de capacități militare pentru care celelalte mari puteri, încă, nu dispun de capacitățile necesare pentru a le contracara sau o mare putere poate obține un avantaj evident prin declanșarea unui război. Dacă se face referire la SUA, China, Rusia, sistemul global va fi instabil atunci când una dintre aceste mari puteri are capacitatea ca, printr-o primă lovitură, să elimine întreaga capacitate de răspuns a celeilalte. În această situație, niciuna dintre părți nu ar avea niciun motiv de a nu iniția ea prima lovitură nucleară, dar, totodată, fiecare parte știe că orice război total va produce daune masive, indiferent de cine a declanșat prima lovitură, așadar, situația este relativ stabilă. Paradoxul consecințelor dezvoltării armelor ce folosesc tehnologie emergentă este că, aparent, se reduc efectele distructive asupra personalului și tehnicii sau pericolul declanșării unui război, dar, în realitate, omenirea se îndreaptă către o lume volatilă și periculoasă (Gertler, 1987, pp. 1-2, 5-15).

AED au potențialul de a schimba modul de ducere a acțiunilor militare și natura războiului, cu implicații pentru securitatea națională a marilor puteri. Aceste implicații se referă, printre altele, la: *scurtarea duratei de la senzor la mijlocul de executare a focului, pot angaja mai multe ținte înainte ca adversarul să poată răspunde, pot fi folosite atât ca senzor, cât și ca armă; AED contribuie la realizarea supremației aeriene prin neutralizarea apărării aeriene inamice, AED localizează rapid și atacă sistemele sol-aer mobile*. AMMP reprezintă capacități de atac

anti-radiere, interzic acțiunile și măsurile anti-detectare ale sistemelor de apărare aeriană inamice și le atacă prin oprirea sistemelor lor; pot fi întrebuințate, în special AMMP, în operațiile precise, bazate pe efecte prin contracararea celor mai problematice strategii asimetrice folosite de inamic: utilizarea civililor ca scuturi, fără a răni civilii din zonă; AED pot contribui la realizarea controlului spațial limitat. În scop defensiv, asigură protecția mijloacelor proprii în spațiu, în scop ofensiv, pot interzice temporar întrebuințarea capacităților spațiale de către inamic și neutralizarea sau distrugerea sateliților inamici (Feickert, 2018, pp. 1-29). AED reprezintă o sursă de avantaj operațional pentru statul posesor de asemenea arme și, apoi, aceste tehnologii emergente au potențialul, odată desfășurate, de a influența echilibrul de putere global. În raport cu alte capacități, AED dețin ca atribute unice provocarea de efecte precise și adaptate împotriva mai multor ținte aproape instantaneu, la un cost foarte redus pe lovitură, cu un randament operațional ridicat (Gunzinger, 2012, pp. xiii, 1, 20-28).

Acțiunile de luptă cu energie direcționată sunt acțiuni militare care implică utilizarea de arme, dispozitive și contramăsuri cu energie direcționată pentru scoaterea din funcțiune, provocarea de daune directe sau distrugerea echipamentelor, tehnicii și armamentului, precum și neutralizarea personalului inamicului sau pentru a întrerupe, exploata, reduce sau preveni utilizarea ostilă a spectrului electromagnetic (SEM) prin deteriorare, distrugere și perturbare. De asemenea, includ acțiuni întreprinse pentru a proteja echipamentele proprii, instalațiile și personalul și pentru a menține utilizarea proprie a SEM. Acestea sunt parte a misiunilor războiului electronic și includ tehnologie de interdicere activă, lasere, arme cu frecvență radio, sisteme anti-satelit cu energie direcționată și sisteme de AMMP (Defense Intelligence Agency, 2022, pp. 41-48; Gunzinger, ib.).

Energia direcționată (ED) este o expresie folosită pentru a descrie **o gamă largă de capacități non-cinetice care produc un fascicul de energie electromagnetică concentrată sau particule atomice sau subatomice capabile să deterioreze sau distrugă echipamentele, instalațiile și personalul inamic în toate mediile de ducere a acțiunilor de luptă**. Acțiunile de luptă cu energie direcționată includ acțiuni întreprinse pentru a **proteja echipamentele, instalațiile și personalul forțelor proprii și asigurarea utilizării spectrului electromagnetic de forțele proprii** (Gunzinger, ib.). Armata care dezvoltă și introduce în dotarea forțelor armate arme laser sau cu AMMP va avea un avantaj militar distinct. AED vor complementa armele cinetice și vor combate diferite amenințări emergente, cum ar fi roiriile de drone, navele de atac rapid și rachetele de croazieră. Detalii în figura 1, 2 și 3. În figura 1 sunt înfățișate drone și rachete care atacă (Demarest, 2023 p. 4).



Figura 1: Modul în care armele cu energie direcționată pot fi utilizate în acțiunile de luptă (Demarest, p. 4)

Sunt analiști care susțin că potențialul AED ar putea schimba însăși natura războiului sau pot asigura statelor care posedă asemenea arme un avantaj necontestat, în timp ce alții subliniază că proiectele bazate pe laser nu s-au dezvoltat în ritmul prognozat (Feickert, 2018, p. 5).

LASERUL – TRĂSĂTURI ȘI ÎNTREBUINȚARE ÎN ACȚIUNI DE LUPTĂ

LEM folosesc lumină concentrată pentru a provoca daune fizice unei ținte. AED, prin desfășurarea de sisteme viabile de arme, prezintă o relevanță potențială în abordarea unor amenințări actuale și emergente, concepute pentru a neutraliza rachete, artilerie și aruncătoare, eliminarea anumitor amenințări pentru apărarea aeriană, împotriva mijloacelor cu rază scurtă de acțiune și pentru obținerea succesului în acțiunile de luptă în toate mediile (O'Rourke, 2023, pp. 1-20). LEM aeropurtate au potențialul de a schimba natura luptei în toate mediile. Aeronavele sau platformele dotate cu LEM se pot întrebuința pentru lovirea rachetelor balistice, rachetelor aer-sol, vehiculelor aeriene de luptă fără pilot, ambarcațiuni de suprafață, a altor platforme aeriene, precum și a sistemelor dispuse în spațiu, putând fi întrebuințate cu succes în executarea de lovituri cu precizie asupra unor ținte inamice extrem de apărute, dar și pentru autoapărarea navelor de suprafață sau a echipamentului forțelor terestre (O'Rourke, 2024, pp. 1-20).

Spectrul electromagnetic. Spectrul electromagnetic (SEM) este o gamă de lungimi de undă sau frecvențe ale radiațiilor electromagnetice. Include unde radio, microunde, lumină vizibilă, raze X și raze gamma. Pe măsură ce lungimea de undă

a radiațiilor electromagnetice se scurtează, undele au o frecvență mai mare – cât de rapid undele electromagnetice se succed reciproc – și, prin urmare, mai multă energie (figura 2). Aceste unde sunt numite *unde electromagnetice*, deoarece au atât proprietăți electrice, cât și magnetice. Astfel de unde variază în frecvență, lungime de undă și energie. Oamenii de știință clasifică undele electromagnetice după lungimea de undă sau frecvența lor. Undele cu lungimi de undă mai scurte (de exemplu, raze gamma) au frecvențe mai mari și energie mai mare; undele cu lungimi de undă mai lungi (de exemplu, unde radio) au frecvențe mai mici și energie mai mică (Hoehn, 2022, pp. 1-3). În domeniul militar, majoritatea echipamentelor de comunicații se bazează pe unde radio și microunde, iar spectrele infraroșii și ultraviolete sunt folosite pentru tehnologii laser și colectarea de informații. Laserele cu infraroșu și ultraviolet au o lățime de bandă mai mare decât frecvențele radio și permit diseminarea unor volume mari de date (de exemplu, video) pe distanțe lungi, din cauza puterii semnalului. În domeniul militar, se pot folosi laserele ca mijloace ofensive, pentru a orbi temporar senzorii sateliților, a distruge drone și în alte scopuri (Sayler, 2021, pp. 1-21).

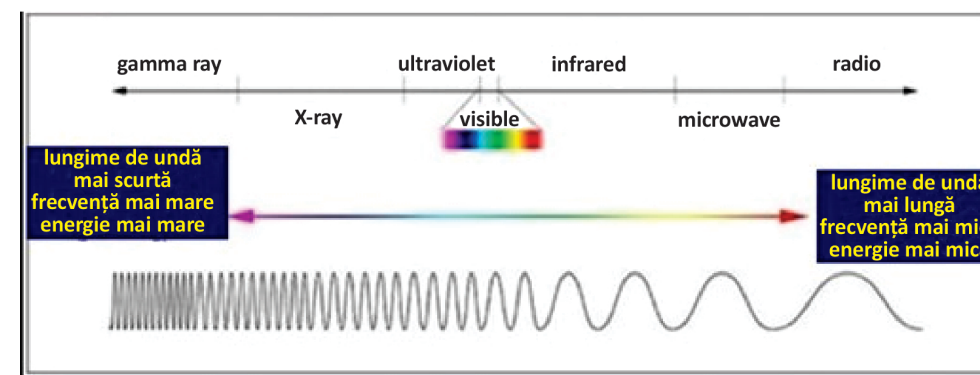


Figura 2: Spectrul electromagnetic (Hoehn, p. 1).

Aplicații militare actuale ale spectrului. Aproape toate sistemele de arme moderne, cum ar fi cele folosite de aeronave, sateliți, mijloacele de luptă terestre, nave și stațiile radio, depind de spectrul pentru a funcționa. SEM este folosit și pentru: **comunicații** – transmiterea de date aproape instantaneu între elementele dispozitivului de luptă, prin întrebuințarea stațiilor radio terestre și a sateliților de comunicare; **conștientizarea situațională** – utilizarea undelor radio, a microundelor și a radiațiilor infraroșii pentru a dezvolta o imagine a spațiului de luptă, determinând locația forțelor proprii și ale inamicului. Cele mai frecvente aplicații: de conștientizare situațională este radarul pasiv (LIDAR – **detectarea luminii**

și a distanței), detectarea și colectarea emisiilor spectrului (SIGINT) și senzori infraroșii; **război electronic** – utilizarea SEM pentru a câștiga și a menține controlul operațional al acestuia; **operații de spectru** – comanda și controlul (C2), **managementul semnăturii** (manipularea spectrului pentru reducerea semnăturii electromagnetice și identificarea și neutralizarea forțelor) și **confruntări de navigație** (acțiuni ofensive și defensive deliberate pentru utilizarea eficientă a poziționării, navigării și utilizarea oportună a informațiilor concomitent cu interzicerea acestor acțiuni pentru adversar prin angajarea coordonată a capacităților de spațiu, ciberspațiu și război electronic), comanda și controlul și, mai ales, pentru **aplicații militare emergente ale SEM** (generația a-5-a de comunicații -5 G-, utilizarea și aplicațiile inteligenței artificiale, tehnologiile de ED – comunicații laser, AED, sisteme de contracarare a UAV) (Sayler, pp. 4-19). **Războiul electronic este definit prin acele activități militare care folosesc energie electromagnetică pentru a controla spectrul electromagnetic („spectrul”) și a ataca un adversar** (Hoehn, pp. 1-3). Sunt programe care urmăresc realizarea unor lasere pentru a rezolva decalajul de capabilități necesare abordării amenințărilor asimetrice – aeronave fără pilot (AFP), nave mici și senzori de informații, supraveghere, recunoaștere.

Laserul folosește electricitatea pentru a genera fotoni sau particule de lumină. Fotonii trec printr-un mediu de amplificare – un amalgam de substanțe – care generează rapid un număr imens de fotoni, toți având aceleași caracteristici cu fotonul inițial. Acest fapt determină caracteristica de coerență a fasciculelor laser – pentru ca, în final, să fie focalizați într-un fascicul îngust (Boyd, 2024, pp. 1-3). Sistemele laser de înaltă energie – utilizate în domeniul militar – se bazează pe lasere în stare stabilă, care folosesc cristale speciale pentru a converti energia electrică de intrare în fotoni. Caracteristica principală a laserelor în stare stabilă de mare putere este că fotonii sunt creați în segmentul infraroșu al spectrului electromagnetic și, în consecință, nu pot fi văzuți de ochiul uman (Gunzinger, pp. 20-28).

Avantaje potențiale și limitări ale armelor ce întrebuințează LEM

Principalele avantaje sunt reprezentate de: *costul scăzut pe lovitură; încărcător inepuizabil de lovituri; timpul rapid de angajare a țintei*, lumina dintr-un fascicul laser poate lovi aproape instantaneu o țintă, provocând țintei daune în câteva secunde, după care, imediat, poate angaja o altă țintă; *capacitatea de a contracara rachetele ghidate*, prin urmărirea și menținerea fasciculului pe rachete; *angajarea țintei cu precizie*, spotul de lumină emis de laser poate avea un diametru de câțiva centimetri și deteriorează numai ceea ce lovește, fără pagube colaterale și răspunsuri calibrate, putând realiza și alte efecte decât distrugerea țintelor,

respectiv detectarea și monitorizarea țintelor sau producerea de efecte nonletale precum blocajul reversibil al senzorilor electrooptici.

Limitările potențiale ale laserelor se referă la: *linia de vedere*, lumina laser se deplasează prin atmosferă pe o traiectorie dreaptă, limitându-le, astfel, bătaia. Vor fi angajate doar țintele situate până la orizont sau care nu sunt protejate de anumite adăposturi; *absorbția atmosferică, dispersare și turbulență*, substanțele din atmosferă pot afecta calitatea, eficacitatea și bătaia razei laser. Absorbția crește proporțional, în general, cu distanța la țintă. Ploaia sau ceața pot împiedica funcționarea normală a laserelor; *declanșare termică*. Un sistem laser care trage în aceeași țintă pentru o perioadă mai mare de timp poate încălzi aerul prin care trece, iar acest fenomen alterează calitatea fasciculului laser și reduce efectul la țintă; *atacuri limitate*. Un laser poate ataca o singură țintă simultan, necesită câteva secunde pentru a fi dezactivat și a fi redirecționat către următoarea țintă. Aceasta condiționează limita maximă de ținte ce pot fi angajate într-o perioadă de timp; *ținte rezistente și cu contramăsuri*. Laserele cu puteri ale fasciculului mai mici, măsurate în kilowați, pot avea o eficacitate mai redusă împotriva țintelor ecranate, din material ablativ sau cu suprafețe extrem de reflectorizante ori care se rotesc rapid, precum și împotriva țintelor ce folosesc măsuri de mascare; *risc de deteriorare colaterală* a aeronavelor, sateliților și a vederii umane. Raza laser cu orientare ascendentă, care nu lovește ținta, își continuă deplasarea, cu riscul de lovi aeronave, radare, senzori sau sateliți și a le provoca daune colaterale nedorite. Lumina emisă de lasere pe anumite frecvențe poate provoca daune permanente privind vederea umană, inclusiv orbirea (O'Rourke, 2024, pp. 3-27; 2023, pp. 1-20). Efectele armelor cu LEM față de cele cu MMP sunt prezentate în figura 3.

Sunt numeroase **aplicații militare** care folosesc LEM. Printre acestea pot fi enumerate: lasere la extremitățile infraroșii și ultraviolete ale spectrului pentru a orbi temporar senzorii sateliților și distrugerea dronelor; folosirea de către tehnologiile de comunicații emergente a laserelor – transmitând lumină, în loc de unde radio, între antene; folosirea laserelor pentru a dezactiva senzori de colectare a informațiilor, distrugerea SAP mici și comunicațiile cu sateliții; munițiile ghidate cu precizie utilizează lasere pentru îmbunătățirea preciziei armamentului la mai puțin de **3 m** (Lucas, 2022, p. 1); dezvoltarea, procurarea și desfășurarea de sisteme laser de mare putere pentru neutralizarea, distrugerea SAP – la joasă înălțime, lente, mici – numite, în mod obișnuit, drone; operații sub acoperire sau clandestine de identificare a personalului la distanțe de aproximativ 200 m (Sayler, 2023, p. 1); nu există un consens cu privire la nivelul precis de putere care ar fi necesar pentru

a neutraliza diferite seturi țintă, anumite documente susțin că laserele de aproximativ 100 kW (Sayler, 2024, pp. 1-3) ar putea angaja sisteme de aeronave fără pilot, bărci mici, rachete, artilerie și aruncătoare, în timp ce laserele de aproximativ 300 kW (Ib.) ar putea angaja în plus rachete de croazieră care zboară în anumite profiluri (adică zboară peste – mai degrabă decât către – laser), pentru a apăra mijloacelor critice fixe sau semi-mobile, împotriva rachetelor de croazieră, a aeronavelor fără pilot și a rachetelor, artileriei și aruncătoarelor. Laserele de 1 MW ar putea potențial neutraliza rachete balistice și arme hipersonice – la o distanță de până la aproximativ 20 km; arme pentru distrugerea, degradarea sau avariarea sateliților și a enzorilor acestora dispuși în spațiu pe o orbită joasă, inclusiv a sateliților non-optici; arme laser terestre care pot neutraliza senzori spațiali dispuși pe o orbită joasă; sisteme laser de putere mai mare care pot scoate din funcțiune sateliți non-optici; capacități distructive care utilizează laserul pentru neutralizarea armelor contra-spațiale; sisteme de rachete ghidate cu laser; arme cu laser de 50 de kW pentru apărarea împotriva amenințărilor aeriene și artileriei; capacități de protecție împotriva tragerilor indirecte; detectarea luminii și a distanței – LIDAR – este o metodă de teledetecție care folosește lumina laser pulsată pentru a măsura distanța, viteza și/sau altitudinea obiectelor fizice în scopul cartografierii mediului înconjurător. LIDAR permite măsurători tridimensionale exacte, precise și rapide ale mediilor naturale și artificiale, cu o detectare de înaltă rezoluție și distanțe mari. LIDAR poate fi folosit și pentru a identifica și determina adâncimea câmpurilor de mine pe litoral și pentru monitorizarea meteo; lasere mai puternice la bordul navelor de suprafață ale marinei pentru contracararea unei game largi de ținte de suprafață și aeriene la o distanță de până la aproximativ 20 km (Hoehn, pp.1-3, Sayler, 2024, pp. 1-3, O'Rourke, 2024, pp. 18-21).

După *mediul de amplificare*, laserele **sunt clasificate** în: *cu gaz* – neon de heliu pentru aplicații de metrologie, dioxid de carbon pentru prelucrarea materialelor; *cu semiconductor (diodă)* – conține o joncțiune semiconductor pozitiv-negativ. Sunt cele mai eficiente privind raportul putere-cost, eficiență de conversie mare a puterii, eficiență cuantică ridicată și o gamă largă de lungimi de undă disponibile. Sunt utilizate în telecomunicații, procesarea materialelor, scanarea codului de bare, lasere medicale și sisteme LIDAR; și *lasere cu stare solidă* – utilizează cristale sau materiale de sticlă dopate cu metal de tranziție sau ioni tereștri rari. Pot atinge cele mai mari puteri din toate laserele disponibile și sunt utilizate pentru prelucrarea materialelor, în domeniu medical și militar. (Edmund Optics, 2023, pp.1-3). *Tipuri de lasere în stare solidă* dezvoltate pentru utilizarea potențială în diferite

medii: *lasere în stare solidă cu fibre* alimentate cu energie electrică, *lasere de plăci* și *lasere fără electroni*. Toate cele trei tipuri sunt alimentate electric sau chimic. În marină se folosește sistemul de energie electrică existent pe navă (O'Rourke, 2023, pp. 9-14). Este evidentă utilizarea în creștere a capacităților ce folosesc laser în cadrul sistemului integrat de apărare antiaeriană și antirachetă, cel mai probabil în nivelul inferior ca altitudine de angajare a țintelor.

Deocamdată, AED sunt cel mai potrivite pentru a lupta împotriva AFP. Utilizarea armelor cu laser ar putea reprezenta o alternativă, mai puțin costisitoare, la apărarea bazată pe rachete, care poate fi suprasolicitată de ținte multiple, împotriva scenariilor cu roiuri de drone mici și ieftine care zboară la altitudini mici.

ARMELE CU MICROUNDDE DE PUTERE MARE – TRĂSĂTURI, ÎNTREBUINȚARE ÎN ACȚIUNI DE LUPTĂ

Armele cu microundde de putere mare sunt o parte a armelor cu energie direcționată, pot fi utilizate ca mijloace non-cinetice de scoatere din funcție a echipamentelor electronice, a sistemelor de comunicații și a dispozitivelor explozive improvizate sau ca sisteme „*raze de căldură*” neletale pentru controlul mulțimii (Sayler, 2021, pp. 1-21). Detalii în *figura nr. 1, 2 și 3*. Conflictele din Ucraina și Israel oferă suficiente dovezi privind oportunitatea de a neutraliza grupurile de drone autonome – capacități asimetrice – cu costuri reduse, întrebându-se arme non-cinetice, respectiv cu MMP.

Există programe pentru dezvoltarea a **două tipuri** de arme ce folosesc MMP: AMMP cu **unde continue** și **pulsate**. MMP-urile cu *undă continuă* emit un flux constant de energie cu microundde într-o zonă largă, pot fi folosite în operațiile de interdicere a zonei împotriva personalului sau a dispozitivelor electronice mici, cum ar fi SAP. AMMP-urile cu *undă pulsată* emit impulsuri de microundde de energie, de mare putere și scurtă durată, într-o gamă largă de frecvențe care variază de la **1 megahertz** la **100 gigahertzi** și pot asigura o angajare precisă a țintei. Armele ce folosesc MMP cu undă pulsată angajează un set de ținte specifice, cu intenția de a distruge sau a degrada componentele sale electrice. **Cunoașterea frecvenței țintei este obligatorie** pentru determinarea energiei necesare penetrării componentei electronice și obținerii efectului dorit. Transferul de energie către receptor/țintă este determinat de suprapunerea frecvențelor, adică dacă sunt în bandă sau în afara benzii. Cantitatea de energie care ajunge la țintă este afectată de modul în care energia se propagă prin atmosferă. Transferul folosind o bandă îngustă asigură o cantitate mai mare de energie cu microundde la țintă, dar cuplarea se realizează

mai greu. În ultimii douăzeci de ani, sursele de energie pentru AMMP au evoluat, s-a micșorat greutatea și a crescut puterea microundelor. În 2003, un dispozitiv de **400** de kg producea **20** de **gigawați** putere, iar acum se pot produce terawați de energie, făcând posibilă instalarea acestor sisteme pe platforme mai mici. A evoluat, de asemenea, distanța de la care AMMP pot angaja cu succes o țintă, de la câteva sute de metri, în 2002, la câțiva kilometri, acum (McGonegal, 2020, pp. 3-15). Statele Unite, Rusia și China au înregistrat progrese semnificative în dezvoltarea acestor arme. AMMP, datorită puterii mari de microunde care trebuie transmise, nu sunt suficient de eficiente la distanțe cu mult mai mari decât câțiva kilometri.

Dispozitivele MMP, după mărimea lungimea benzii pe care o emit, se pot clasifica în două tipuri: cu **bandă ultra-largă (BUL)**, care utilizează creșteri accentuate de înaltă tensiune în formă de impuls, cuplate cu o antenă pentru a radia pe intervalul de frecvență de ieșire dorit; și cu **bandă îngustă**, care folosesc un fascicul de electroni pentru a genera semnale de frecvențe radio de mare putere la o frecvență de bandă specifică. Deoarece energia se dispersează pe toată lățimea de bandă, există o probabilitate redusă ca sursele **BUL** să aibă puterea necesară pentru a deteriora un dispozitiv. Pentru dispozitivele cu **bandă îngustă**, datorită lățimii de bandă înguste, există riscul ca frecvențele țintei să nu se suprapună cu lățimea de bandă a dispozitivului sau ținta să dispună de ecranare puternică pentru banda de frecvență utilizată de dispozitiv și, în final, ținta să nu fie neutralizată. Având în vedere complexitatea realizării ecranării țintei, dispozitivele MMP reprezintă mijloace eficiente pentru neutralizarea dispozitivelor electronice (Green, 2022, pp. 71-73).

Printre scopurile **aplicațiilor militare** care folosesc AMMP pot fi enumerate: pentru a apăra aeronavele împotriva rachetelor sol-aer; îmbunătățirea semnificativă a capabilităților de atac antiradiere și contracararea acțiunilor sistemelor de apărare aeriană inamică pentru evitarea detectării și de atac prin oprirea sistemelor lor; neutralizarea facilităților ANM care sunt adăpostite, fortificate sau dispuse în apropierea zonelor cu populație sau infrastructură civilă; participarea la executarea de operații bazate pe efecte precise; pot ataca, practic, orice sistem electronic fără a face rău direct civililor din apropierea țintelor; întreruperea producerii și a distribuției energiei electrice pe termen scurt sau distrugerea subsistemelor; executarea de lovituri strategice împotriva sistemelor industriale și a infrastructurii militare, dependente de energia electrică și sistemele electronice; în scop ofensiv, pot interzice temporar utilizarea mijloacelor spațiale de către adversari și distrugerea sateliților inamici (Feickert, 2018, pp. 1-29; Walling, 2020, pp. 11-17).

Sunt studii care susțin că AMMP dispun de capacitatea de a scoate din funcțiune rețele de calculatoare, neutraliza drone, grupuri de drone și rachete. Totodată, pot fi întrebuințate eficient împotriva minelor și a câmpurilor de mine, în special a minelor inteligente. Analizând sursele cu microunde cu spectre de ieșire diferite, a rezultat că sursele de bandă înguste sunt mai eficiente, dar se preferă sursele de bandă largă pentru a excita rezonanțele în pachetele electronice. Toate tipurile de dispozitive MMP întrebuințează o sursă de putere pulsată, de care depinde eficacitatea în luptă. Transmiterea MMP la țintă se poate face utilizând un mijloc fix, care nu presupune tehnologii complexe sau miniaturizarea componentelor critice (antena și sursa), astfel încât să poată fi transportate la țintă cu ajutorul rachetelor (Green, pp. v-vi).

Sursa de alimentare a AMMP se poate dispune pe rachete de croazieră pentru a le transporta și lansa, dar și pe aeronave. Înainte ca aeronavele să lansează aceste rachete să decoleze, se programează traiectoria rachetei și lista de ținte. Odată lansată de aeronavă, racheta va deplasa sarcina utilă – MMP – pe traiectoria sa pre-programată, permițându-i să lovească ținta planificată. Fiecare armă ce folosește MMP produce efecte asupra țintei, dar se diversifică modul și mijloacele cu care se vor transporta AMMP la țintă, care pot fi inclusiv sisteme autonome. Tehnologia MMP va evolua prin crearea mai multor opțiuni pentru a dispune această tehnologie pe diferite platforme, noi sau vechi, pentru a deveni o tehnologie fezabilă. Eficacitatea AMMP depinde de sprijinul semnificativ de informații pentru urmărirea în mod eficient a țintelor și identificarea frecvențelor radarelor și a sistemelor țintă inamice. Cunoașterea de informații detaliate despre țintă permite utilizarea unei bande înguste care asigură livrarea maximă de energie către țintă pentru degradarea componentelor electrice (McGonegal, pp. 3-15). Sistemele de arme cu microunde sunt diferite de cele specifice războiului electronic – limitate la bruiaj –, chiar dacă ambele folosesc spectrul de frecvență împotriva electronicilor inamicului. Armele cu microunde – au efecte de durată, sistemele electronice inamice nu trebuie să fie în funcțiune, protecția împotriva lor presupune acțiuni la nivelul sistemului în ansamblu – sunt întrebuințate pentru a penetra sistemele electronice și a copleși capacitatea unei ținte de a respinge, dispersa sau rezista energiei primite (Walling, p. 2).

SMMP pot scoate din funcțiune sau distruge echipamentele electronice utilizate de adversar. Un grup de drone poate fi neutralizat – degradând circuitele electronice din drone datorită încălzirii termice excesive, distrugând joncțiunile semiconductoare sau schimbând starea memoriei în programe și crearea de erori

în procesare – prin emiterea unui singur impuls scurt de mare putere în gama de frecvență, gigahertzi. Efectele sunt mai mari atunci când frecvența centrală a pulsului coincide cu rezonanțele din circuite. Eficacitatea este determinată de sincronizarea lungimii de undă prin care se transmite puterea necesară pentru neutralizarea completă a fiecărei drone din grup, la o distanță adecvată, care face ca operația inamicului să nu aibă efectul dorit. AMMP, datorită zonei de efect mai largi, devin mijloace ideale pentru misiuni de neutralizare a grupurilor mari de drone.

Efectele impulsului cu MMP asupra unui dispozitiv electronic sunt condiționate de mai mulți factori și pot produce **deteriorarea** sau **scoaterea din funcțiune**. Dacă magnitudinea câmpului electric generat de pulsul AMMP are dimensiuni considerabile sau relativ mari, astfel încât perforează stratul de oxid al semiconductorilor din cadrul dispozitivului sau provoacă efecte în cascadă pe benzile de frecvențe utilizate la transmiterea datelor, rezultatul este **deteriorare**. Dacă voltajul/tensiunile induse în dispozitivul electronic sunt satisfăcătoare sau acceptabile în calitate sau cantitate pentru a provoca o modificare a informațiilor binare transmise sau stocate în dispozitiv sau pentru a schimba starea de comutare a semiconductorilor din cadrul dispozitivului, rezultatul este **scoaterea din funcțiune**. Prin urmare, potrivit legilor fizice ale propagărilor electromagnetice, același impuls AMMP ar putea să scoată din funcțiune dispozitive electronice la o distanță mai mare față de distanța la care ar produce deteriorarea (Green, pp. 1-10, 71-76).

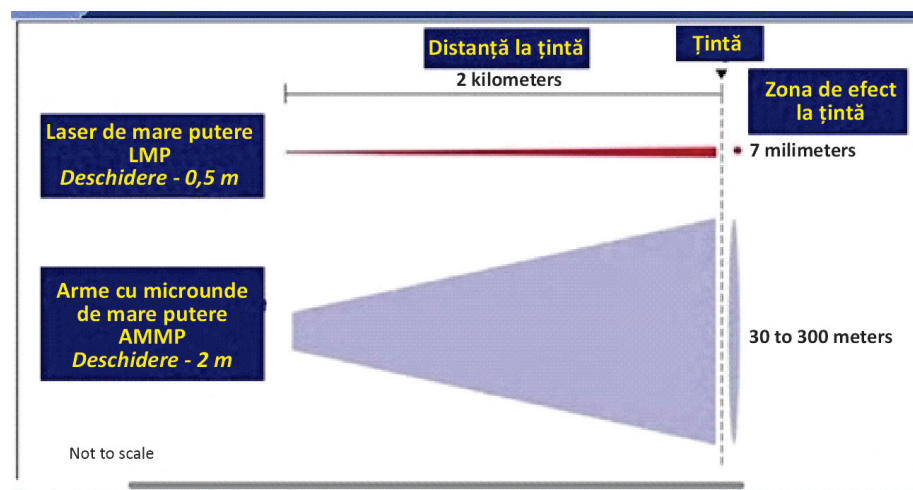


Figura 3: Efecte ilustrative ale armelor cu LMP față de AMMP (O'Rourke, 2023, p. 2).

Avantaje potențiale și limitări ale armelor ce întrebuițează MMP

Principalele avantaje sunt reprezentate de: *capacitate nelimitată de executare a loviturilor; costuri reduse pe lovitură; timp de angajare a țintelor în timp scurt și răspunsuri graduale; efecte temporare sau specifice sistemului*. Armele MMP pot genera unde de frecvențe și niveluri de putere diferite pentru a perturba temporar sau permanent sistemele electronice stabilite ca ținte fără a afecta alte sisteme; *efecte ample*. Armele MMP pot distruge o gamă largă de sisteme electronice militare sau comerciale neprotejate. În plus, au capacitatea de a scoate din funcțiune orice sistem electronic situat în conul lor electromagnetic; *aplicații non-letale*. Anumite arme MMP, cum ar fi „*razele de căldură*”, ar putea reprezenta o capacitate non-letală anti-personal în circumstanțe în care altfel s-ar fi utilizat forța letală; *daune colaterale limitate*. Armele MMP nu produc daune colaterale structurilor fizice. Această caracteristică le face adecvate pentru acțiuni în zonele urbane sau în situații punctuale.

Limitările potențiale ale MMP se referă la: *constrângeri privind bătaia*. Fasciculele MMP sunt mai difuze decât cele ale laserelor și au o capacitate a concentrare a efectului mai redusă, astfel energia pe unitate de suprafață scade proporțional cu distanța și se reduce distanța la care pot produce efectele dorite; *risc de fratricid*. Deoarece armele MMP afectează toate sistemele electronice neprotejate din raza de acțiune, sistemele forțelor proprii trebuie protejate sau scoase în afara razei de acțiune; *eficacitatea contramăsurilor*. Ecranarea țintelor favorizează absorbția radiațiilor electromagnetice, în consecință, armele MMP pot deveni ineficiente împotriva țintelor protejate (O'Rourke, 2023, pp. 1-20).

CONCLUZII

Conflictele din Ucraina și Orientul Mijlociu au arătat că mediul de amenințare se schimbă, iar tehnologiile emergente au rol din ce în ce mai relevant într-un conflict, război modern, descurajare și echilibrul de putere global. Marile puteri dezvoltă programe, pe termen lung și scurt, pentru a valorifica cu succes tehnologiile viitorului, pentru identificarea, cercetarea, realizarea de prototipuri și, ulterior, introducerea în dotare ca arme operaționale. Datorită faptului că majoritatea acțiunilor militare întrunite sunt dependente sau se bazează pe întrebuițarea dispozitivelor electronice, marile puteri au investit în programe și tehnologii pentru perfecționarea acestor mijloace, dar și pentru a contracara funcționarea acestor dispozitive.

AED – capacități unice – pot contribui la realizarea constrângerii prin mijloace convenționale, putând fi întrebuintate în operații militare pentru a schimba modul de acțiune al adversarului și pot avea ca țintă inclusiv elemente care sunt vitale pentru statul inamic. Datorită acestor posibilități, AED reprezintă mijloace capabile și credibile ce contribuie la realizarea descurajării și victoriei într-un război total. AED – element cheie în viitoarele războaie – pot fi desfășurate, de către marile puteri, în diferite zone ale globului în situații care sunt sub pragul războiului, ca răspuns la unele acțiuni militare ale unor state care reprezintă amenințări și desfășoară acțiuni ostile împotriva acestora. Folosirea AED poate duce la întreruperea comunicațiilor într-o țară prin distrugerea componentelor electrice, limitând, astfel, desfășurarea normală a funcțiilor vitale într-o societate și capacitatea de a desfășura acțiuni militare. AED pot fi întrebuintate pentru managementul situațiilor de criză. În acest moment, sunt multe tehnologii cu energie direcționată care au depășit faza de proiectare-dezvoltare și fabricație și sunt la cea de introducere în dotare ca armă operațională. Înzestrarea cu AED dispuse pe mai multe platforme diferite oferă modalități noi și inovatoare pentru a neutraliza ținte importante și contribuie la menținerea avantajului competitiv asupra adversarilor.

AED reprezintă o tehnologie emergentă și oferă flexibilitate în luarea deciziilor, posibilitatea desfășurării de acțiuni împotriva adversarului în mod deschis sau ascuns. AED pot reprezenta mijloace suplimentare armelor convenționale, acționând ca un multiplicator de forță și ca opțiune viabilă de a răspunde amenințărilor complexe. Pot fi întrebuintate cu succes în neutralizarea centrelor de decizie și comunicații și în perturbarea procesului de exercitare a comenzii și controlului. Utilizarea pe scară largă a dronelor în războiul din Ucraina a dus la o solicitare la fel de mare pentru echipamente antidrone. AED reprezintă o opțiune alternativă, un instrument eficient de apărare împotriva atacurilor cu SAP înarmate, care au fost folosite pe scară largă în războiul ruso-ucrainean și în alte conflicte regionale. Având în vedere că, în conflicte, se întrebuintează pe scară largă dronele, cu costuri reduse și grad de autonomie cât mai ridicat, apărarea aeriană trebuie adaptată și dotată cu mijloace non-cinetice cu un grad mare de autonomie.

Armele care folosesc energia direcționată sunt eficiente, au fost implementate în mediul operațional, existând potențialul de a fi diversificate în următorii ani. AED reprezintă o tehnologie emergentă perturbatoare care este valorificată și dezvoltată de marile puteri pentru a-și menține avantajul competitiv.

O lecție importantă a ultimelor conflicte este aceea că obținerea succesului în războiul modern este condiționată și de valorificarea rapidă și eficientă a tehnologiilor emergente în operațiile militare.

BIBLIOGRAFIE:

1. Booz, A. (mai 2024). *Top 10 emerging technologies for DoD and national security*. Velocity Magazine: Special Edition Report, pp. 1-10, 54-60, <https://www.boozallen.com/content/dam/home/docs/natsec/top-ten-emerging-technologies.pdf>, accesat la 20 septembrie 2024.
2. Defense Intelligence Agency (2022). *Challenges to Security in Space*, pp. 2-30, 41-48, https://www.dia.mil/Portals/110/Documents/News/Military_Power_Publications/Challenges_Security_Space_2022.pdf, accesat la 20 septembrie 2024.
3. Demarest, C. (5 ianuarie 2023). *China developing own version of JADC2 to counter US*, C4ISRNET, pp. 1-7; *China developing own version of JADC2 to counter US (c4isrnet.com)*, accesat la 20 septembrie 2024.
4. Demarest, C. (23 ianuarie 2024). *Directed energy weapons need full Pentagon commitment, industry says*. Defense News, pp.1-5, [defensenews.com](https://www.defensenews.com), accesat la 20 septembrie 2024.
5. Demarest, C. (18 septembrie 2023). *Directed energy weapons making jump from sci-fi to real world*, C4ISRNET, pp.1-12, [c4isrnet.com](https://www.c4isrnet.com), accesat la 20 septembrie 2024.
6. Department of Defense (27 octombrie 2022). *The 2022 National Defense Strategy of The United States of America*, U.S. Department of Defense, pp. 1-22, <https://media.defense.gov/2022/Oct/27/2003103845/-1/-1/1/2022-NATIONAL-DEFENSE-STRATEGY-NPR-MDR.PDF>, accesat la 20 septembrie 2024.
7. Edmund Optics (2023). *Common Laser Types*, Laser Optics Resource Guide, pp.1-3, *Common Laser Types | Edmund Optics*, accesat la 20 septembrie 2024.
8. Feickert, A. (12 februarie 2018). *U.S. Army Weapons-Related Directed Energy (DE) Programs: Background and Potential Issues for Congress*. Congressional Research Service, pp. 1-29, <https://crsreports.congress.gov/prod,uct/pdf/R/R45098>, accesat la 20 septembrie 2024.
9. Gertler, J.J. (1987). *Emerging Technologies in the Strategic Arena, A Primer*, Rand Corporation, pp.1-2, 5-15, accesat la 20 septembrie 2024.
10. Green, D. (februarie 2022). *Military Applications of High-Power Microwaves*, Defence Research and Development Canada, pp.1-10, 71-76, https://cradpdf.drdc-rddc.gc.ca/PDFS/unc427/p816672_A1b.pdf, accesat la 20 septembrie 2024.
11. Gunzinger, M. (2012). *Changing the game: the promise of directed-energy weapons*. The Center for Strategic and Budgetary Assessments, pp. xiii,1, 20-28, 36-48, 73-103, https://csbaonline.org/uploads/documents/CSBA_ChangingTheGame_ereader.pdf, accesat la 20 septembrie 2024.

12. *High-energy laser weapons: A defense expert explains how they work and what they are used for* (7 martie 2024). The conversation, pp. 1-5, theconversation.com, accesat la 20 septembrie 2024.
13. Hoehn, J.R. (14 noiembrie 2022). *Defense Primer: Military Use of the Electromagnetic Spectrum*, Congressional Research Service, pp. 1-3, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11155/15>, accesat la 20 septembrie 2024.
14. Hoehn, J.R. (14 noiembrie 2022). *Defense Primer: Electronic Warfare*, Congressional Research Service, pp. 1-3, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11118>, accesat la 20 septembrie 2024.
15. Lucas, N.J. (2022). *Defense Primer: U.S. Precision-Guided Munitions*, Congressional Research Service, p. 1, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11353>, accesat la 20 septembrie 2024.
16. McGonegal, J. (2020). *High power microwave weapons: disruptive technology for the future*, Air Command and Staff College, primăvara, pp. 3-15, <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1107488.pdf>, accesat la 20 septembrie 2024.
17. North Atlantic Council (10 iulie 2024). *Washington Summit Declaration issued by the NATO Heads of State and Government participating in the meeting of the North Atlantic Council in Washington, D.C.* pp. 1-6, https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_227803.htm, accesat la 20 septembrie 2024.
18. O'Rourke, R. (22 august 2023). *Department of Defense Directed Energy Weapons: Background and issues for Congress*, Congressional Research Service, pp. 1-20, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46925/7>, accesat la 20 septembrie 2024.
19. O'Rourke, R. (14 februarie 2024). *Navy Ship board Lasers: Background and Issues for Congress*, Congressional Research Service, pp. 1-20, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R44175/103>, accesat la 20 septembrie 2024.
20. Sayler, K.M. (10 august 2021). *Overview of Department of Defense Use of the Electromagnetic Spectrum*, Congressional Research Service, pp. 1-21, 23-24, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46564>, accesat la 20 septembrie 2024.
21. Sayler, K.M. (2023). *Biometric Technologies and Global Security*, Congressional Research Service, p. 1, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11783>, accesat la 20 septembrie 2024.
22. Sayler, K.M. (30 ianuarie 2024). *Defense Primer: Emerging Technologies*, Congressional Research Service, pp. 1-3, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11105/11>, accesat la 20 septembrie 2024.
23. Sayler, K.M. (1 februarie 2024). *Defense Primer: Directed-Energy Weapons*, Congressional Research Service, pp. 1-3, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11882>, accesat la 20 septembrie 2024.
24. Townshend, A. (februarie 2019). *Revisiting Deterrence in an Era of Strategic Competition*. Sydney: United States Studies Centre, pp. 2-15, <https://cdn.sanity.io/files/ooh1fq7e/production/905518c5dc5275b0875e07640ffb8dc9c6281f0f.pdf/Revisiting-deterrence-in-an-era-of-strategic-competition.pdf>, accesat la 20 septembrie 2024.
25. Walling, E.M. (mai 2000). *High Power Microwaves Strategic and Operational Implications for Warfare*. Center for Strategy and Technology Air War College, pp. 2, 11-17, <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA425472.pdf>, accesat la 20 septembrie 2024.